

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK BİNALARDA PERFORMANSA DAYALI TASARIM
VE DİRENÇLİLİK (RESILIENCE) ANALİZİ

ALİ DEDEOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2020

T.C.

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK BİNALARDA PERFORMANSA
DAYALI TASARIM VE DİRENÇLİLİK
(RESILIENCE) ANALİZİ**

ALİ DEDEOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ABDULLAH CAN ZÜLFİKAR

II. DANIŞMAN

DR. CÜNEYT TÜZÜN

GEBZE

2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**EARTHQUAKE PERFORMANCE BASED
DESIGN AND RESILIENCE BASED
ANALYSIS IN HIGH-RISE BUILDING**

ALİ DEDEOĞLU
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

DR. ÖĞR. ÜYESİ ABDULLAH CAN ZÜLFİKAR

II. THESIS SUPERVISOR

DR. CÜNEYT TÜZÜN

GEBZE

2020

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/02/2020 tarih ve 2020/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/02/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ali DEDEOĞLU'nun tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı / Deprem ve Yapı Mühendisliği programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Can ZÜLFİKAR

ÜYE

: Prof. Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Bahadır ŞADAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Bu çalışma, geleneksel yöntemlerle performansa dayalı tasarım ve analizleri yapılan yüksek bir binanın yeni nesil risk değerlendirme analizleri yapılmasını kapsamaktadır. Çalışma sadece yapısal riski değil aynı zamanda potansiyel bir deprem sonrası yapısal olmayan elemanlardan dolayı oluşabilecek riski, zaman ve maliyet kaybını da içerir. Çalışma bu yönü ile yüksek katlı yapıların deprem sonrası performanslarının ekonomiye olan maliyetinin hesaplanması konusunda oldukça faydalı bilgiler sağlayacaktır. Afet risk yönetimi hakkında yapılan tartışmalarda ilk akla gelen, yapıların ‘‘Performansa Dayalı Tasarımıdır’’. Yapıların gelecekteki olası büyük depremlerde doğal tehlikelere karşı daha dayanıklı olmasını nasıl sağlarız ve olası kayıpları nasıl önleyebiliriz gibi sorular artık gündeme gelmektedir.

Bu çalışmada, Performansa dayalı tasarım sonrasında yapısal olmayan elemanlar, süre ve maliyet kayıp analizlerini de içine alan sismik değerlendirme yöntemlerinden biri olan FEMA P-58-1 (2012) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında FEMA P58’de mevcut olan kırılma eğrileri kullanılmış ve yapının onarım maliyeti, onarım süresi, yaralanmalar ve sigorta maliyeti hakkında olasılıksal sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının, bina sahipleri, yöneticileri, sigorta firmaları ve risk yönetimi için değerli olacağına inanmaktayız. TBODY 2018 deprem yönetmeliği olası bir deprem sonrasında yapısal elemanlarda beklenen davranışı tahmin etmemizi sağlamaktadır. Ancak işletmeciler, işverenler ve yapı sahipleri artık bundan daha fazlasını talep etmektedir. Yeni nesil yönetmeliklerin içeriğine, olası deprem sonrasında maliyet ve süre kayıpları analizlerinin de eklenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma, Türkiye Deprem Bina Yönetmeliğinde (2018) yer alan performansa dayalı tasarım ilkelerine dayanarak tasarlanan yüksek (28) katlı tipik bir konut (rezidans) binası için yapısal olmayan elemanların, süre ve maliyet kayıplarının da yer aldığı sismik değerlendirme yönteminin uygulamasını içerir

Anahtar Kelimeler: Performans analizi, Yapısal elemanlar, Yapısal olmayan elemanlar, Hasar, Deprem.

SUMMARY

In general, in the design of high-rise buildings performance based designs and analyzes are carried out using traditional methods. This study suggests performing new generation risk assessment analyzes for high-rise buildings including not only structural risk but also the time and cost related loss that may occur due to non-structural elements after a potential earthquake.

The study will provide useful information on the assessment of the economic loss of high-rise buildings after a potential earthquake. The methods and measures taken during the traditional design process, their benefits, the new solutions and alternatives will be assessed. Until recently, the 'Performance Based Design' of structures was the first thing coming to mind in the earthquake risk assessment. However, nowadays the questions on resilience, potential economical and time losses in possible future earthquakes and how these possible losses can be prevented are raised.

In this study, non-structural elements, time and financial loss analysis was used. Within the scope of the study, the fragility curves available in FEMA P58 were used and probabilistic results were obtained about the repair cost, repair time, injuries and insurance costs of the building.

It is believed that the results of this study will be valuable for building owners, managers, insurance companies and risk management. The TBDY 2018 regulation allows us to predict the expected behavior of structural members during a possible earthquake, This reveals the need of new generation risk assessment including time and financial loss assessment.

The current study includes the application of new generation risk assessment tool for a 28 floors typical residential high-rise building with the evaluation of seismic performance of non-structural elements, recovery time and related financial loss analysis in addition to the performance based design analysis carried out according to the Turkey Building Earthquake Code (2018).

Keywords: Assessment of earthquake Performans, Nonstructural components, Structural components, İstanbul

TEŞEKKÜR

Akademik hayatımda ve eğitimimde desteğini ve özverili yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, bu çalışmanın tüm aşamalarında, bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Yr. Dç. Dr. Abdullah Can Zülfikar'a, her daim bilgi ve tecrübelerini özgün tavrı ve yaklaşımı ile aktaran, öğretilerini zevkle dinlediğim eş danışmanım Dr. Cüneyt TÜZÜN'e, Yüksek lisans eğitimim boyunca dinamizmi ve araştırmacı kimliği ile beni hep aynı heyecanda tutan çalışma arkadaşım Selim AYDIN'a, Yabancı kaynaklara ulaşmamda ve analiz çözümlerinde yardımcı olan sıra arkadaşım Wilfrid DJIMA'ya, ayrıca bütün çalışmam boyunca yanımda olan, hem teknik anlamda hem de manevi olarak her zaman varlığını ve desteğini hissettiğim hayat ve yol arkadaşım Şahnaz DEDEOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunar, bu çalışmayı bu sevgili insanlara adarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	3
2. HESAP VE TASARIM YÖNTEMLERİ	6
2.1. Geleneksel Yöntemlerle Tasarım	6
2.1.1. Klasik Hesap Yöntemi	6
2.1.2. Performansa Göre Tasarım ve Değerlendirme Yöntemi	6
2.2. Yeni Nesil Yöntemlerle Tasarım	7
2.2.1. Yeni Nesil Performans ölçütleri	9
2.2.2. Risk Değerlendirmesinde Etkenler	9
2.2.3. Yeni Nesil Performansı Etkileyen Belirsizlikler	10
2.2.4. Performans Ölçütlerinin Olasılıksal Fonksiyonları	11
2.3. Yapısal Bileşenler	12
2.4. Yapısal Olmayan Bileşenler	12
2.4.1. Mimari Bileşenler	13
2.4.2. Mekanik ve Elektrik, Tesisat bileşenler	13
2.4.3. Mobilya ve Demirbaş Ekipmanları	13
2.5. Yapısal Olmayan Hasar Nedenleri	15
2.5.1. Atalet Kuvvetleri	15
2.5.2. Bina Deformasyonları	16
2.5.3. Bina Ayrımları	17
2.5.4. Yapısal Olmayan Kısımların Etkileşimi	18
2.6. Yapısal Olmayan Hasarın Önemi	19

2.6.1. Can Güvenliği (LS)	21
2.6.2. Mülkiyet Kaybı (PL)	21
2.6.3. Fonksiyon Kaybı (FL)	22
2.7. Fema P58'in Uyguladığı Metodoloji	22
2.8. Redi (Rezilyansa Bağlı Tasarım) Metodolojisi	30
2.8.1. Bina Esnekliği	31
2.8.2. Örgütsel Esneklik	31
2.8.3. Ortam Esnekliği	31
2.8.4. Kayıp Değerlendirilmesi	33
2.8.5. Pact Programına Göre Tamir Süresi	36
2.8.6. Bina Bileşenleri İçin Ortalama Hasar Dereceleri	38
2.8.7. Hasar Değerlendirmesi İçin Onarım Sınıflarının Tanımlanması	39
2.9. Resilyansa Göre Tasarım Yapılan Binaların Dünya'da Örnekleri	40
2.9.1. British Columbia Üniversitesi Sismik Esneklik Çalışması	40
3. SAYISAL ÖRNEKLER VE SONUÇLARI	45
3.1. Yapısal Model, Malzeme Özellikleri ve Yük Kabulleri	45
3.1.1. Yapı Özelliklerinin Belirtilmesi	45
3.1.2. Deprem Parametreleri	50
3.1.3. Yapı Sisteminin Ön Tasarım Aşaması Hesapları	53
3.2. Yapı Analiz Sonuçları	54
3.2.1. Modal Analiz Sonuçları	54
3.3. Yapı Sisteminin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi	56
3.3.1. Yapının Doğrusal Olmayan Analiz Modeli	57
3.3.2. Deprem Düzeyleri	57
3.3.2.1. DD1 Deprem Düzeyi	58
3.3.2.1. DD2 Deprem Düzeyi	58
3.3.2.1. DD3 Deprem Düzeyi	58
3.3.2.1. DD4 Deprem Düzeyi	58
3.3.3. Bina Performans Düzeyleri	58
3.3.3.1. Kesintisiz Kullanım (KK)	59

3.3.3.2. Sınırlı Hasar (SH)	59
3.3.3.3. Kontrollü Hasar (KH)	59
3.3.3.4. Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	59
3.3.4. Bina Performans Hedefleri	59
3.3.5. Doğrusal Olmayan Tasarımda Kullanılan Malzeme Özellikleri	60
3.3.6. Etkin Kesit Rijitliği	62
3.3.7. Sönüm Oranı	63
3.3.8. Deprem Etkisinin Tanımlanması	63
3.4. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları	66
3.4.1. Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü	66
3.4.2. Perde Duvar Birim Şekil değiştirme Kontrolü	68
3.4.3. Perde Duvar Kesme Kapasitesi Kontrolü	70
3.4.4. Kolon Plastik Dönme Kontrolü	71
3.4.5. Kiriş Plastik Dönme Kontrolü	70
3.5. FEMA P58 Süre Bazlı Değerlendirme Yaklaşımı ve PACT Programı ile Kullanılan 28 Katlı Konut Binası Performans Tabanlı Risk Değerlendirmesi	72
3.5.1. Değerlendirme Türünün ve Performans Ölçüsünü Seçilmesi	73
3.5.2. Bina Performans Modelini Birleştirilmesi	73
3.5.3. Yapısal Bileşenler	76
3.5.4. Yapısal Bileşenlerde Kırılabilirlik Eğrisi Tanımlama	76
3.5.5. Yapısal Bileşenlerin Performans Grupları	77
3.5.6. Yapısal Olmayan Bileşenler	78
3.5.7. Deprem Tehlike analizlerinin Tanımlanması	79
3.5.8. Göçme Kırılabilirlik Eğrilerin ve Göçme Modlarının Tanımlanması	82
3.5.9. Analiz Yöntemi Seçilmesi ve Analitik Yapı Modeli Oluşturulması	84
3.5.10. Yapının 8 Yoğunluk Senaryosu için 7 Deprem Takımının Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları	88
3.5.11. Performans Seviyesinin Hesaplanması	90

4. DEĞERLENDİRME	92
4.1. Yeni Yönetmelik Uyumlu Bina İçin USRC Derecelendirme Aralığı (Yapısal Sisteme Bağlı)	96
4.2. Yeni Yönetmelik Uyumlu Bina İçin REDİ Derecelendirme Aralığı (Yapısal Sisteme Bağlı)	97
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	98
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	101

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
ASCE	: Amerikan Sivil Mühendislik Topluluğu
CG	: Can güvenliği
GÖ	: Göçme öncesi
PACT	: Performans Değerlendirme Hesaplama Aracı
USRC	Performans Derecelendirme Konseyi
ZB	: Yerel zemin sınıfı
ρ	Donatı oranı
τ_r	Yatay kayma gerilmesi
ϵ_y	Elemanın çekme bölgesinde birim şekil değiştirmesi
μ	: Sürtünme Katsayısı
δ_{ji}	: i' inci katta j' inci kolonun alt ve üst uçları arasındaki yerdeğiştirme farkı
C_{vx}	: Dikey dağılım faktörü
F_x	: Yapının x seviyesine uygulanan yanal kuvvet
F_{px}	: Diyafram kuvveti
f_{yk}	: Donatı akma dayanımı
h	: Yükseklik
m	: Metre
S_{DS}	: Spektral tepki ivmesi
T	: Bina periyodu
V	: Sismik temel kesme kuvveti
w_x	: Yapının temel sismik ağırlığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Deprem sonrası operasyonu önleyecek hale gelmiş işletmelere örnek.	2
1.2: Deprem sonrası operasyonu önleyecek hale gelmiş fabrika binası.	3
2.1: Yapıda düşey ve yatay yükleri taşıyan yapısal elemanlar.	6
2.2: Bu şekilde klasik yönetmeliklere göre performans seviyelerini göstermektedir.	7
2.3: Yapısal & yapısal olmayan elemanlar ve bunlar için kırılganlık eğrilerini göstermektedir.	8
2.4: Resilyansa göre tasarım-analiz akış şeması.	8
2.5: Resilyansa göre tasarım kayıp grafiği.	11
2.6: Yapısal eleman bileşenleri (a), Yapısal olmayan eleman bileşenleri (b).	14
2.7: Askıya alınmış boru ve kanallar.	16
2.8 Cephe ve cam bölmeler.	17
2.9: Borular ve Bina ayrıntıları.	18
2.10: Kazan dairesi mekanik ekipmanlar.	19
2.11: Yangın söndürme sistem boruları.	19
2.12: Resilyansa göre analiz akış diyagramı.	23
2.13: Yapısal olmayan bir elemanın kırılganlık eğrisi grafik örneği.	23
2.14: Resilyansa göre kırılganlık eğrisi grafik örneği.	24
2.15: Deprem seviyelerine göre hasar durumunu gösteren kırılganlık eğrisi.	24
2.16: Yapısal Eleman hasar seviyeleri.	25
2.17: Hasar seviyelerine göre zaman ve onarım maliyet kırılganlık eğrileri.	25
2.18: Yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için kırılganlık eğrileri.	26
2.19: Kişilerin binada bulunma sürelerini gösteren eğriler.	26
2.20: Örnek bir binanın deprem sonrası onarım maliyeti ve geçen zaman grafiği.	27
2.21: Yapısal olmayan elemanların depremden sonra nasıl olması gerektiğini gösteren durum.	28

2.22:	Yapısal olmayan elemanlarda alınması gereken önlemler	28
2.23:	Afetten sonra uygulama etken şeması.	29
2.24:	Toparlanma yeteneği gafiği.	29
2.25:	Resilyansa göre tasarım rehberi.	30
2.26:	Performansa dayalı sismik değerlendirme süreci.	32
2.27:	Örnek PACT kırılgenlik eğrisi ve sonuç fonksiyonu	33
2.28:	Örnek REDİ değerlendirme şeması.	34
2.29:	REDİ seviyelerine göre aranan özellikler.	34
2.30:	REDİ seviyesine göre başlangıç tasarım kararı.	35
2.31:	Hasar durumunu gösteren örnek bina modeli.	36
2.32:	PACT onarım zamanı verilerinin ayrıştırılması için talimatlar.	37
2.33:	Onarım süresi verisinin PACT'ten ayrıştırılması	37
2.34:	PACT ortalama hasar durumu verilerinin ayrıştırılması için talimatlar.	39
2.35:	Ortalama hasar durumu verilerinin PACT'ten ayrıştırılması.	39
2.36:	UBC bina portföyü.	41
2.37:	Kampüs binalarının ve kamu hizmetlerinin geri kazanılmasının nicelendirilmesi.	42
2.38:	Kampüs binalarının etki kayıp şeması.	43
3.1:	Çalışmada kullanılan binanın kesit ve plan görünüşleri.	46
3.2:	Yapı modelinin 3 boyutlu görünümü.	47
3.3:	Yapı modelinin plan görünümü (a) ve Yapı elemanlarının kesit özellikleri (b).	48
3.4:	DD2 tasarım ivme spektrum grafiği.	50
3.5:	Yatay elastik tasarım spektrumu.	50
3.6:	Perform3D modeli.	55
3.7:	ETABS modeli.	55
3.8:	Doğrusal olmayan yapı modeline tanımlanan taşıyıcı elemanlar.	56
3.9:	Doğrusal olmayan analizde kullanılan sahaya özel deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş davranış spektrum eğrisi.	62
3.10:	DD1 deprem düzeyi yer ivmesi kayıtları zaman tanımları.	63
3.11:	DD1 deprem düzeyi yer ivmesi kayıtları zaman tanımları.	64

3.12:	Bu şekil, görelî kat ötelemeleri sonuçlarının okunduğı noktaları göstermektedir.	65
3.13:	Bu şekil, görelî kat ötelemeleri sonuçlarının okunduğı noktaları göstermektedir.	66
3.14:	Bu şekil modelde perde üzerine yerleştirilen şekil değıştirme ölçerlerin yerlerini (a) ve perde isimlerini (b) göstermektedir.	67
3.15:	Performans düzeyleri grafikleri SG1, SG2, SG3 ve SG4 noktaları.	68
3.16:	Bu şekilde P09, P11, P01 ve P00 perdelerin aldığı kesme kuvvet değerlerini göstermektedir.	69
3.17:	Kolon dönmelerinin plastik dönme kapasiteleri ile karşılaştırılması.	70
3.18:	Kiriş plastik dönmelerinin performans üst sınırları ile karşılaştırılması.	71
3.19:	Bu şekilde PACT proje girişı gösterilmiştir.	73
3.20:	PACT bina bilgi girişı ekranı.	73
3.21:	Binada insanların yoğun bulunma saatlerinin tanımlanması ve yoğunluk grafiğı.	74
3.22:	Kiriş-Kolon düğüm noktası kırılğanlık eğrisi tanımlama.	75
3.23:	1. Katta yapısal bileşenlerin bilgilerinin tanımlanması.	76
3.24:	PACT Yapısal olmayan elemanların programa tanıtılması.	78
3.25:	Davranış spektrumu eğrisi, zemin sınıfı ZB, deprem seviyesi DD2.	79
3.26:	Zaman bazlı değerlendirme için kullanılacak bölümlere ayrılmış sismik tehlike eğrisi.	80
3.27:	Seçilen 7 deprem yer hareketi yanıt spektrumu tasarım spektrumu göre ölçeklendirilir.	81
3.28:	Yoğunluk 4 için drift sonuçlarının girişı, Yapısal Analiz Sonuçları.	89
3.29:	PACT tehlike eğrisi.	90
3.30:	PACT Katlara göre görelî kat ötelemeleri girişı.	90
4.1:	Yıllık onarım maliyetini gösteren Zaman a Bağlı Sonuçlar sekmesi şekil (a), şekil (b) de ise Onarım maliyetini gösteren PACT Senaryosu / Yoğunluk Sonuçları sekmesi (%50 olasılıkla onarım maliyeti 3.274.742,96 \$ olarak görölmektedir.).	92
4.2:	PACT Zamana bağlı 8 Yoğunluk senaryosu için maliyet kaybı grafiğı.	93

4.3:	Yaralıları gösteren Senaryo / Yoğunluk Sonuçları sekmesi. (%99 olasılıkla can kaybının olmaması ve %50 olasılıkla % yaralanan sayısının 0.14 ü geçmeyeceğini açıklamaktadır.).	93
4.4:	Bileşenlerin sismik hasarının deprem seviyelerine göre bileşenlerin türüne göre görüntülenmesi.	94
4.5:	FEMA P-58, gösterildiği gibi tüm PG'ler için kırılma eğrileri sağlar. Kırılma eğrileri yoluyla, farklı DS' glerde bir PG'nin olasılıkları belirli bir EDP altında belirlenebilir.	95
4.6:	USRC Derecelendirme sınıfı tablosu-Çalışmada kullandığımız bina bu USRC'e göre 3* derecesinde değerlendirilebilir	95
4.7:	REDİ Derecelendirme Sınıfı tablosu- Çalışmada hesaplanan bina bu derecelendirme sistemine göre gümüş sertifikası almaktadır.	96

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Yeni nesil performans ölçütleri.	9
2.2: Onarım sınıfı tanımları.	40
3.1: Malzeme tablosu.	49
3.2: Kısa ve uzun periyot davranış spektrum katsayıları.	50
3.3: Hareketli yük kütle katılım katsayısı.	51
3.4: Bina kullanım sınıfı.	51
3.5: Deprem Tasarım sınıfı.	51
3.6: Bina yükseklik sınıfı.	52
3.7: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.	52
3.8: Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği.	53
3.9: Binanın hâkim olan mod özellikleri.	54
3.10: Binanın minimum deprem yükü hesabı.	54
3.11: Deprem düzeyleri.	59
3.12: Beton ve donatı özellikleri & sargılı ve sargısı beton gerilme şekil değiştirme ilişkileri.	59
3.13: Donatı Çeliğine Ait Parametreler.	61
3.14: TBDY 2018 de görelî kat ötelemeleri için verilen sınır değerleri.	65
3.15: Sistem perdeleri uçlarında okunan birim şekil değiştirme değerleri.	67
3.16: Çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları.	68
3.17: Sa (T) hesap tablosu.	82
3.18: Yapısal analiz sonuçlarının özeti (Katlara göre drift ve ivme değerleri, doğrusal olmayan hesaplardan alınmıştır).	84
3.19: Yapısal Analiz Sonuçlarını, Yoğunluk 4'e göre 7 deprem takımı için yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları, X yönü görelî kat ötelemesi.	85
3.20: Yapısal Analiz Sonuçlarını, Yoğunluk 4'e göre 7 deprem takımı için yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları, Y yönü görelî kat ötelemesi.	86

- 3.21: Yapısal Analiz Sonuçlarını, Yoğunluk 4'e göre 7 deprem takımı için 87
yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları, X yönü katlara göre ivme
değerleri.
- 3.22: Yapısal Analiz Sonuçlarını, Yoğunluk 4'e göre 7 deprem takımı için 88
yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları, Y yönü katlara göre ivme
değerleri.

1. GİRİŞ

Ülkemizde yüksek binalar giderek yaygın bir şekilde tasarlanmakta ve inşa edilmektedir. Yüksek yapıların sayılarının artmasıyla birlikte bu yapıların analizinde ve sonrasında binanın olası deprem sonrasında bize nasıl hizmet vermeye devam edeceği sorunu son zamanlarda sürekli karşımıza çıkan bir sorudur (esastır). Tasarımda birçok sorunla karşılaşmaktadır. Binalar yükseldikçe taşıyıcı sistemin 2 önemli unsurla baş etmesi gerekmektedir. Bunlardan biri rüzgâr diğeri ise depremdir. Tasarım mühendisleri binalarımızın bu iki unsurla olan savaşını gerek yalıtım teknolojisinin gelişmesiyle gerekse yapılan gerçek bina testleriyle bir nebze de olsa kazanmayı başardılar. Ancak deprem sonrasında binaların nasıl hizmet vermeye devam edeceği bunların yatırımcıya nasıl ve ne şekilde yansıtacağı pek düşünülmedi. Deprem sonrası bina kullanım operasyonel performans çalışmaları ile ilgili literatürde özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar az da olsa bulunmaktadır.

Geleneksel olarak ülkemizdeki tüm yüksek veya yüksek olmayan binaların taşıyıcı sistemi betonarme perde ve çerçevelerden oluşturulmaktadır. Olası deprem altında yüksek binaların tasarımı için ülkemizde 1 Ocak 2019 da yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliği bulunmaktadır [TBDY 2018]. Bunun yanında uluslararası kaynak olan Tall Buildings Initiative [TBI, 2010] dan da yararlanılmaktadır. Bu yönetmelikler yüksek binalar için performansa dayalı tasarım ilkelerinin uygulanmasını gerektirmekte ve taşıyıcı sistem tasarımının doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analizler ile yapılmasını gerektirmektedir.

Ülkemizdeki yapı stokuna ve yapılmakta olan yeni binalara baktığımızda oldukça yoğun bir yapılaşma olduğunu gözlemlemekteyiz. Yönetmeliklere uygun binaların çoğu, yaralanmaları önlemek, hasarı sınırlamak veya hızlı yenilenmeyi sağlamak için değil, can güvenliği sağlamak için tasarlanmıştır. Tasarım mühendisinin ana görevi yapıda can güvenliğini sağlamaktır.

İnsanlar binaların doğal afetlerdeki performansı hakkında çok az şey biliyorlar. Bu neden önemli? Dayanıklılık, planlama ve hazırlık, oturanlara ve bina sahipleri için giderek daha önemli unsurlar haline geliyor. Deprem sonrası binaların durumunu analiz etmek için yönetmelik çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma USRC Derecelendirme Sistemi oturanların esnekliği planlamacılarına ve bina sahiplerine yardımcı olmak için önemli eksik bilgileri gidermeyi sağlar.

Bu çalışmada 2 farklı binanın sayısal analizi örnek olarak sunulan ve taşıyıcı sistem özellikleri diğerk bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanan yüksek binada, deprem sonrası binanın yapısal performansının yanı sıra binada yapısal olmayan elemanların ve binanın hizmet vermesi için gereken zaman ve maliyet hesaplarını sunmaktadır.

Mimari ve mekanik bileşenler bir binanın mülk zararlarının %70'inden fazlasını oluşturabilir. Kayıp giderleri ve iş kesintisi maliyetleri binanın değeri ni aşabilir.



şekil 1.1: Deprem sonrası operasyonu önleyecek hale gelmiş işletmelere örnek.

şekil 1.1 ve 1.2'de Nisan 2016 yılında Japonya'da meydana gelen depremde hasar görmüş 4 Sony Kumamoto sensor fabrikasını göstermektedir.



Şekil 1.2. Deprem sonrası operasyonu önleyecek hale gelmiş fabrika binası.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Çeşitli tasarım yöntemleri ve tercihleri bulunmaktadır. Betonarme binalar, çelik sistemin kullanıldığı yüksek yapılar ve kompozit (karma) yapılar gibi. Çeliğin hızlı yapım süreci ve mukavemeti, betonun ekonomik oluşu ve yangına karşı direnci, kompozit yapıların ise, özellikle yüksek yapılarda birçok sorunu aynı anda çözebilmesi nedeniyle kullanılması tasarım tercihlerini şekillendirmede önemli rol oynamaktadır.

Yukardaki belirtilen sistemlerdeki binalar ileri analiz yöntemler ile analiz edilir ve yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem; betonarme perde ve çevre kirişli, çerçeve sistemli elemanlarla tasarlanır. Binanın hesap modeli oluşturulmadan önce, yapıda betonarme bir perde, kiriş ve kolonların sistem bazında nasıl modelleneceği ayrıntılı bir şekilde araştırılır. Biz bunlara geleneksel yöntemler diyebiliriz ve bunları iki grupta inceleyebiliriz.

Oluşturulan taşıyıcı sistem modelinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yapılmış ve bu konular ile ilgili detaylı araştırmalar yapılmıştır. Gerekli araştırmalar, [TDBY 2018] ve literatür çalışmaları ve kabul görmüş ulusal ve uluslararası kaynaklardan yapılmıştır.

Birinci örnekteki yapımızda yapı taşıyıcı sisteminde çekirdek kısmını oluşturan betonarme perdeler bulunmakta ve bu perdeler betonarme bağ kirişleri ile birbirine bağlanmaktadır. Çekirdek perdelerinin iç kısımlarında betonarme döşemeler bulunmaktadır. Çekirdek perdeler dışında kalan bölümlerde ise çerçeve sistem bulunmaktadır. Çerçeveler Betonarme kolonlar ve betonarme kirişlerden oluşmaktadır. Betonarme kirişlerin üzerinde betonarme döşemeler bulunmaktadır. Bu yapı 24 Nk, Zemin kat ve 2 adet bodrum kat olmak üzere toplam 27 katlıdır.

İkinci örnekteki yapı 2007 TDBYBHY yönetmeliğine göre yapılmış olan yapımızın taşıyıcı sisteminde çekirdek kısmını oluşturan betonarme perdeler bulunmakta ve bu perdeler betonarme bağ kirişleri ile birbirine bağlanmaktadır. Çekirdek perdelerinin iç kısımlarında betonarme döşemeler bulunmaktadır. Çekirdek perdeler dışında kalan bölümlerde ise çevre kirişli kirişsiz plak sistem bulunmaktadır. Bu yapı 18 NK, Zemin kat ve 1 bodrum kat olmak üzere 20 katlıdır.

Yukarda bahsedilen binalar zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile analiz edilmiş ve yapı davranışı özetlenmiştir. Binaların yapısal performans seviyeleri belirlenmiştir. Zaman tanım alanında hesaplar PERFORM-3D programına aktarılmış ve doğrusal olmayan analizler bu programda yapılmıştır. Ardından risk değerlendirmesini yapmak için USRC çalışmasının yanında [FEMA P-58] kırılgenlik [PACTH] eğrileri kullanılmıştır.

Yapılan analizler sonucu ortaya çıkan sonuçlar hem eleman,hem de sistem bazında değerlendirilmiştir. Ayrıca performans seviyesi sınırlarına ve risk puanına değinilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar ile ülkemizdeki betonarme yapıların çekirdek perdeli, kirişli plak veya kirişsiz döşeme taşıyıcı sisteme sahip yüksek binalar ile ilgili deprem sonrasında yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyelerinin belirlenmesi ve bu konuda alınabilecek önlemler ile ilgili bilgi birikiminin artmasına katkıda bulunulmuştur. Mevcut analiz yöntemleri, taşıyıcı sistem modelleri, yapısal analiz programları, yapısal ve mimari fonksiyonlar ve [FEMA-P58] belgesinde yayımlanan varsayılan veri tabanı aracılığıyla elde edilen bölgesel deprem kaybı tahmini için önerilen [FEMA-P58] yönteminin uygulanmasını ve avantajını göstermek ve irdelenerek çalışmanın yaygın etkisinin arttırılması sağlamaktır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçların ulusal ve/veya uluslararası konferanslarda/seminerlerde sunularak ülkemizde ve dünyada bu konudaki bilgi birikimine katkı sağlanacaktır.

Tez çalışması aşağıdaki adımların uygulanmasıyla gerçekleşecektir. Oluşturulacak olan yapı modeli için mevcut bina taşıyıcı sistemi dikkate alınacaktır. Bina risk analizi sanallaştırmaya dayanıyor (Monte Carlo analizi) ve bina hasarını tahmin etmek için çeşitli deprem senaryoları ve Bina riskleri. Bu tehlikede olan bir risk tehlikesiyle bilinir.

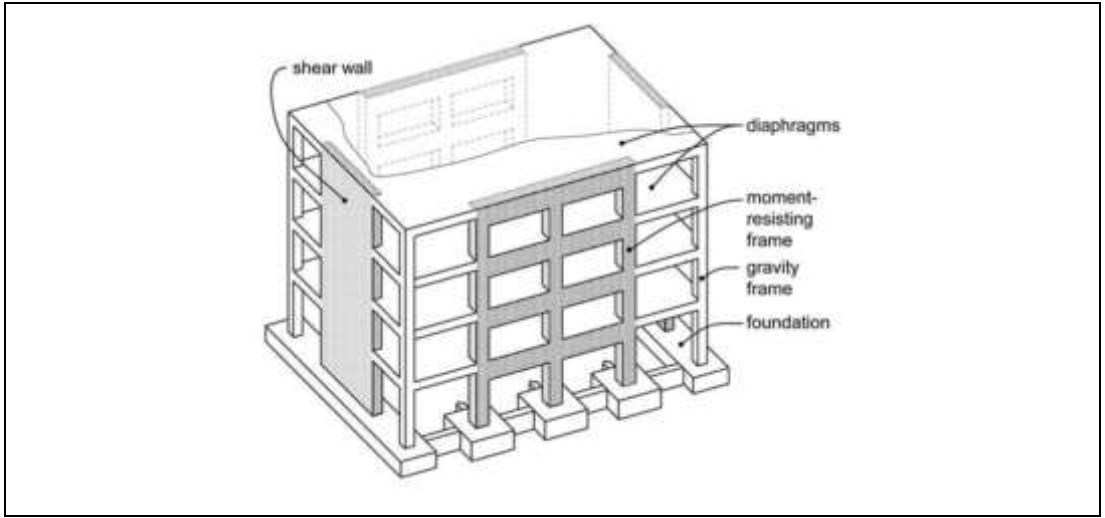
- Sismik tehlikenin ölçülmesi
 - Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapısal analiz
 - Binadaki kişi sayısı dahil olmak üzere maruz kalmadığı, miktar ve her bina için bina bileşenlerinin türü, içeriği ve değeri
 - Öngörülen ile ilgili kırılma işlevleri olarak ifade edilen güvenlik işlevi
- Yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerde hasara karşı bina hareketleri ve içerikler
- Her binada gelen hasarın onarımı ile ilgili sonuçları masraflar, onarım süresi, aksama süresi, kayıplar ve içerik kayıpları.

2. HESAP VE TASARIM YÖNTEMLERİ

2.1. Geleneksel Yöntemlerle Tasarım

2.1.1. Klasik Hesap Yöntemi

Mühendis yönetmelikteki kriterleri yerine getirmek için taşıyıcı elemanları ön hesaplarlar belirler, boyutlandırır, detaylandırır. Yönetmelikteki kriterlerin çoğu bir seviyede deprem performansını sağlama amacıyla geliştirilmiştir. Fakat hedeflenen performans çoğu zaman açık ve anlaşılır değildir.



Şekil 2.1: Yapıda düşey ve yatay yükleri taşıyan yapısal elemanlar.

2.1.2. Performansa Göre Tasarım ve Değerlendirme Yöntemi

Amaç tanımlanmış performans hedeflerinin gereksinimlerini sağlamak ve kontrol etmektir. Performans, bir binanın deprem sırasında göstereceği davranışta alacağı hasar miktarına bağlıdır. Kullanılan yönetmeliklerden bazıları şunlardır;

- [1997- FEMA 273], NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
- [2000- FEMA 356], Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings
- [2007 ASCE/SEI 41-06], Seismic Rehabilitation of Existing Buildings 13-17

- 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
- 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

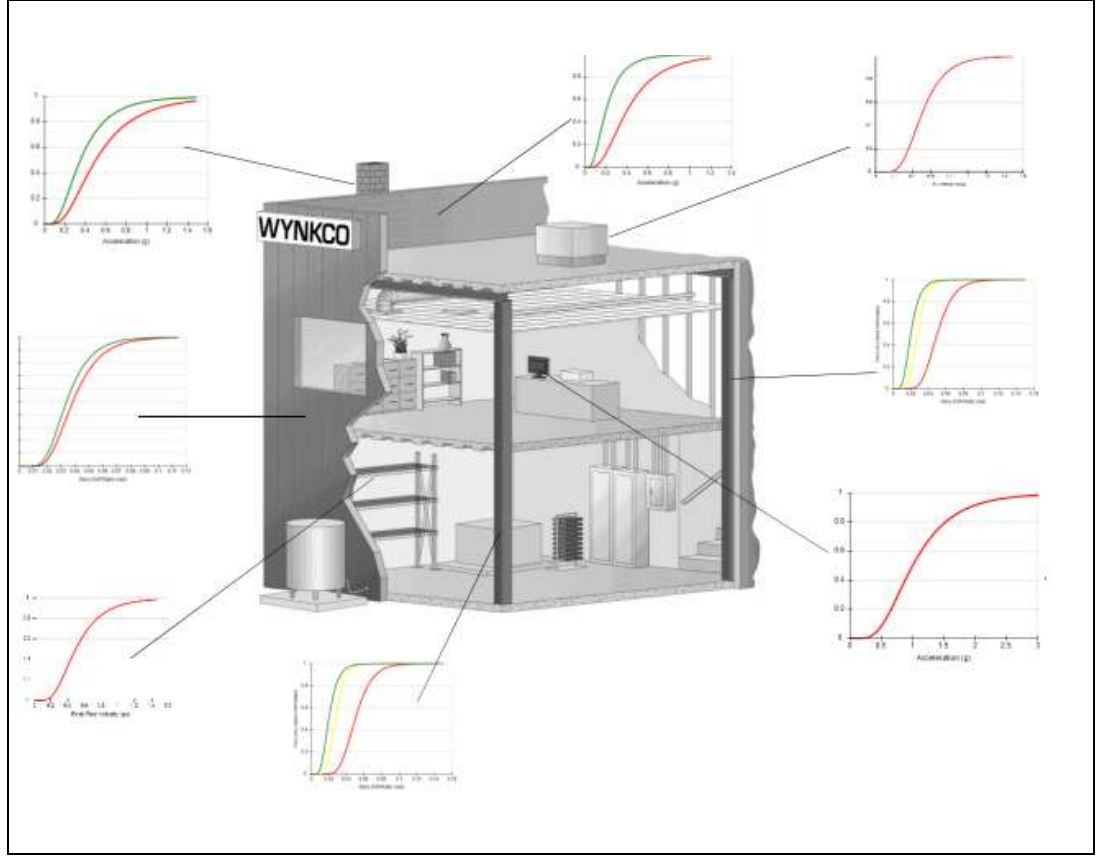
Performansa Göre Tasarım ve Değerlendirme (şimdiki durum) Kesintisiz Kullanım Sınırlı Hasar Kontrollü Hasar Göçmenin Önlenmesi gibi seviye hedefleriyle inceleme yapar.



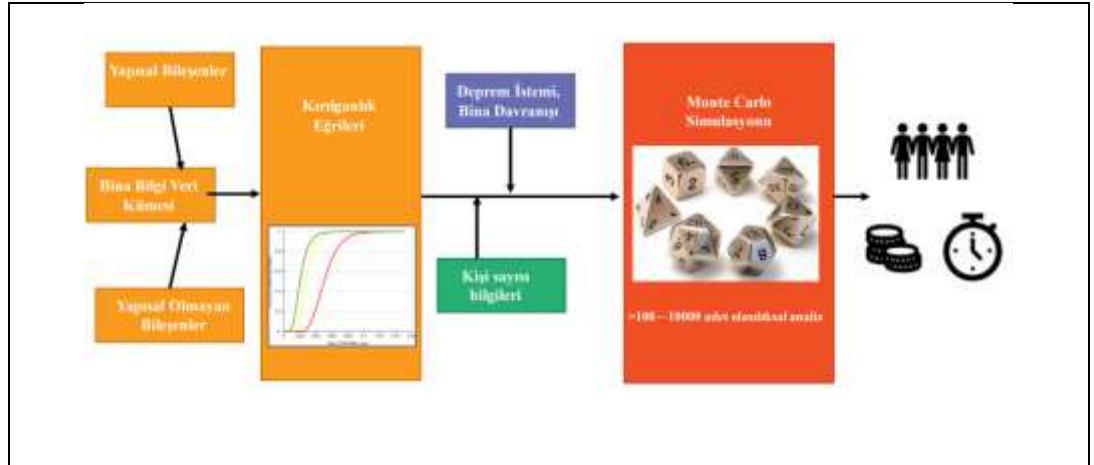
Şekil 2.2: Bu şekilde klasik yönetmeliklere göre performans seviyelerini göstermektedir.

2.2. Yeni Nesil Yöntemlerle Tasarım

Yeni gereksinimler yeni çözüm arayışları getirdiğinden son yıllarda; Bir yapının deprem sırası ve sonrasında çevresini bile ele almak kaydıyla farklı hesap yöntemleri geliştirme ve sonuçları derecelendirme Sistemleri üzerinde çalışılmaktadır. Bunlardan [FEMA P58] aracı yapısal olmayan elemanları da analize dahil ederek hesaplaması ve bu sonuçların [USRC] gibi derecelendirme programlarıyla yorumlanarak bir yapıyı ve süreci bütünüyle simule etmek amaçlanmaktadır.



Şekil 2.3: Yapısal & yapısal olmayan elemanlar ve bunlar için kırılmalılık eğrilerini göstermektedir.



Şekil 2.4: Resilyansa göre tasarım-analiz akış şeması.

Şekil 2.4’de gösterilen akış şemasına göre ilk olarak mevcut bir yapı için bilgi kütüphanesinin oluşturulmasından başlanabilir. Buna göre sırasıyla veri kümesinin oluşturulması. Analizlerimizi yapmadan şantiyeye gidip bilgi toplamak gibi düşünebiliriz. Yapısal bileşenler. (Düşey ve yatay taşıyıcı elemanlar) Yapısal olmayan

bileşenler. (Soğutma kuleleri, jeneratörler, raflar gibi bina için önemli olan bileşenler) Kırılabilirlik eğrileri. (Her değişik tipteki envanterler için (yapısal ve yapısal olmayanlar) kırılabilirlik eğrilerini [FEMA-P58] den alıyoruz. Kişi sayısı. Hangi katta kaç kişi çalışıyor, M2 ye kaç kişi düşüyor gibi bilgilerin alınması. Deprem istemi, Bina davranışı, yapısal model kurulup oradaki kat ivmeleri ve deplasmanları gibi verileri kullanarak ve elimizdeki kırılabilirlik eğrilerini Monte Carlo simülasyonu yaparak bir sonuç alabiliriz. Elde ettiğimiz sonuçları [USRC] (U.S. Resiliency Council) ve [REDİ] (Resilience-based Earthquake Design Initiative) gibi derecelendirme yöntemleri ile daha yorumlanabilir ve kullanılabilir hale getirebiliriz.

2.2.1. Yeni Nesil Performans ölçütleri

Yeni nesil performans ölçütleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Yeni nesil performans ölçütleri.

• Can kaybı / ağır yaralanmalar		
• Onarım maliyetleri.....		
• Binanın tekrar kullanımı için geçen süre.....		
• Çevresel etki.....		

2.2.2. Risk Değerlendirmesinde Etkenler

- Kat ivmeleri, göreceli kat yer değiştirmeleri
- Deprem yer hareketi
- Kişi sayısı ve konumları
- Yapısal bileşenler ve zafiyetler
- Hasarlar
- Yapısal olmayan bileşenler ve zafiyetler

2.2.3. Yeni Nesil Performansı Etkileyen Belirsizlikler

Aşağıda yeni nesil performansı etkileyen belirsizlikler verilmiştir:

- Hangi fay hattı?

Binamızın hangi fay hattından oluşacağını, fay hattının ne kadar uzaklıktan bizim binamıza etkilerin ulaşacağını bilemeyiz. Aradaki mesafede bulunan zemin katmanlarının tümünün davranışını kesin olarak bilemeyiz.

- Depremi gerçekleşeceği gün ve saat?

Olası büyük depremin ne zaman olacağını kesin bilemeyiz. Depremi olduğu saat okul saati mi? Katlardaki kişi sayısı bunun sonucunu etkileyebilir.

- Katlardaki kişi sayısı?

Deprem esnasında binada bulunan kişi sayısını kesin olarak bilemeyiz.

- Deprem dalgalarının geçeceği yeraltı katman özellikleri?

- Gerçek malzeme özellikleri?

Ne kadar kalıp deneyleri de alsak sahadaki malzemenin davranışını kesin olarak bilemeyiz.

- Yerde uygulanan imalat detayları?

Projedeki imalat detayları bizim milimetrik hesaplarımızla aynı mı yapıldı, bilemeyiz.

- Gerçekleşecek sönüm?

Belli bir değerler alıp analizlerimizi yapıyoruz. Gerçekte sönüm nedir bilemiyoruz.

- Zemin-yapı etkileşimi?

Bir yüksek yapı varsa bunun zemininden diğer yanındaki alçak binaya etkisi nedir, bunlarında bilinmesi gerekir.

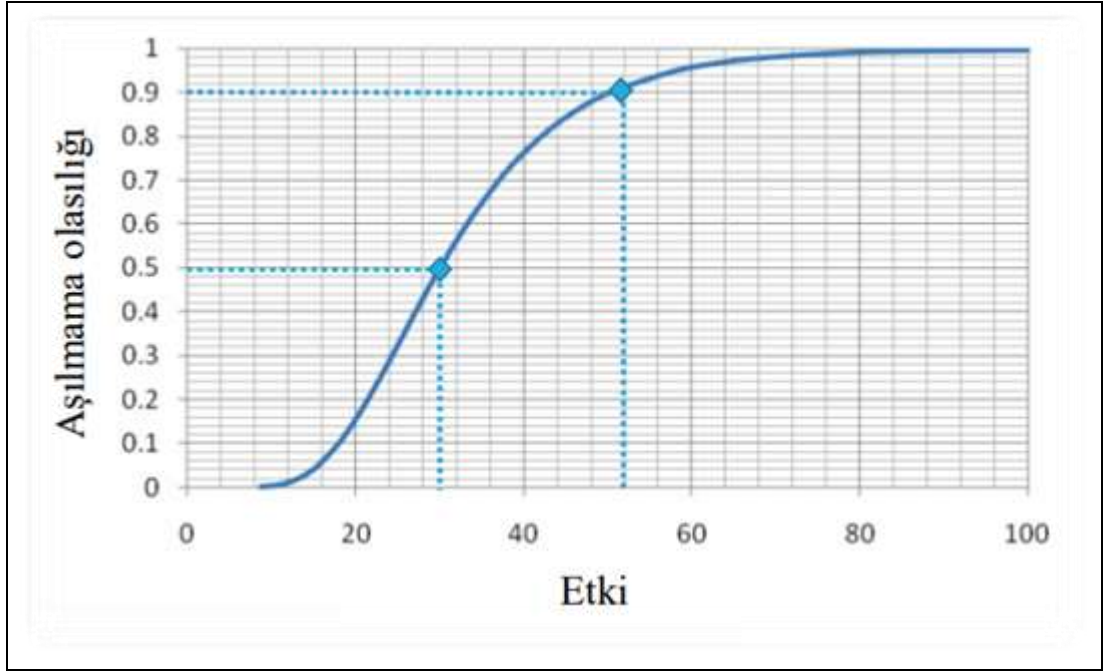
- Geçici yapısal olmayan envanterler?

Yapısal olmayan elemanların gerçek ağırlıkları. Biz yapısal analizlerimizde bu yükleri dikkate alıyoruz ama sonradan bu yükler değiştiriliyor mu?

- Laboratuvar deneylerinde öngörülen yüklemeler ve sonuçları?

Dolayısıyla bütün bu etkenleri baktığımızda bütün bunları metrik olarak bilmemiz mümkün değildir.

2.2.4. Performans Ölçütlerinin Olasılıksal Fonksiyonları



Şekil 2.5: Resilyansa göre tasarım kayıp grafiği.

Şekil 2.5’de Etki: can kaybı, onarım maliyeti, bina tekrar kullanabilme süresi, Onarım maliyetleri %50 olasılıkla yeniden yapım maliyetinin %30’unu aşmayacak veya Onarım maliyetleri %90 olasılıkla yeniden yapım maliyetinin %54’ünü aşmayacak gibi işverenlere indikatif değerler verebiliriz.

Geleneksel olarak yapı mühendisleri, çoğunlukla büyük ölçekli bir deprem boyunca hasara dayanabilecek yapılara odaklanır. Buna rağmen, zaman içinde görüldü ki, bina içindeki yapısal olmayan öğeler de deprem hasarına neden olmaktadır. Ayrıca, bina sakinlerinin güvenliği için bir risk oluşturabilir ve yapının kendisi ayakta kalmış olmasına rağmen ciddi maliyetlere neden olabilir.

Yapısal hasar riskini azaltma konusunda ilk çalışmalar, ABD’de meydana gelen 1906 San Francisco ve 1926 Santa Barbara depremlerinde parapet ve dış duvar hasarını gördükten sonra ortaya çıktı. Yapısal olmayan elemanlardan kaynaklı sonuçlar o zamana kadar ortaya çıkmamıştır. Riskleri azaltmak için yönetmelikler ve kod hükümleri sürekli revize edilmektedir. Yapısal olmayan elemanların hasarının önemi yaygın olarak ihmal edilir ve çoğu ülkede gerekli önlemler alınmaz. Günümüzde Türkiye’de yapısal olmayan hasarlarla ilgili olarak yayınlanan hiçbir yerel yönetmelik yoktur. Bu nedenle, Yapısal hasarın azaltılması konusunda en geniş bilgiye sahip

olmak için, bu gibi çalışmalarda “[FEMA 74] Yapısal Olmayan Elemanların Deprem hasar Riskini Azaltma” hükümleri aşağıda verilen referanslarla birlikte kullanılmaktadır.

- FEMA 397: Ofis Binalarında Artımlı Sismik Rehabilitasyon
- FEMA 420: Artımlı Sismik Rehabilitasyon İçin Mühendislik Kılavuzu
- FEMA 412: Mekanik Ekipman İçin Sismik Sınırlamalar Kurma
- FEMA 413: Elektrikli Ekipmanlar İçin Sismik Sınırlamalar Kurma
- FEMA 414: Kanal ve Boru İçin Sismik Sınırlamalar Takma
- FEMA 154/155: Potansiyel Sismik Tehlikelere Yönelik Binaların Hızlı Görsel Gösterimi
- FEMA 460: Alanlarda Bulunan Çelik Depolama Raflarında Sismik Konular
- Halka Erişilebilir
- ASCE 41-06 Mevcut Binaların Sismik Rehabilitasyonu

2.3. Yapısal Bileşenler

Bir binanın yapısal bileşenleri, yerçekimi nedeniyle yüklere dayanacak şekilde tasarlanmıştır, deprem, rüzgâr ve diğer yük türleri. Bu yüklere göre yapısal mühendis veya proje mühendisi dizayn eder. Bu hesaplamalar aşağıdaki yapısal elemanlara göre yapılır.

- Düşey taşıyıcılar, kolonlar gibi,
- Yatay bileşenler, kirişler, makaslar, döşemeler gibi,
- Yatay ve düşey bileşenler, perdeler, çaprazlar gibi,
- Döşemeler, çatı döşemeleri, kompozit döşemeler gibi,
- Temel sistemleri, radye temel ve kazıklı radye temel gibi,

2.4. Yapısal Olmayan Bileşenler

Bir binanın yapısal olmayan bileşenleri, yapısal elemanlar dışında tüm yapı parçalarını ve içeriğini içerir. Bu unsurlar, mimarlar tarafından iç detaylandırılabilir. Tasarımcılar, makine mühendisleri ve elektrik mühendisleri bu bileşenleri proje

aşamasında belirler. Bileşenler ayrıca inşaat tamamlandıktan sonra bina sahibi veya kiracıları tarafından eklenebilir.

Yapısal olmayan bileşenler üç ana kategoriye ayrılabilir,

2.4.1. Mimari Bileşenler

- Bina mimari donatıları, süsler kaplamalar
- Duvar bölmeleri,
- Tavanlar, asma tavan, ışık havuzları
- Camlar,
- Giydirme cepheler, vitrinler,

2.4.2. Mekanik ve Elektrik, Tesisat Bileşenler

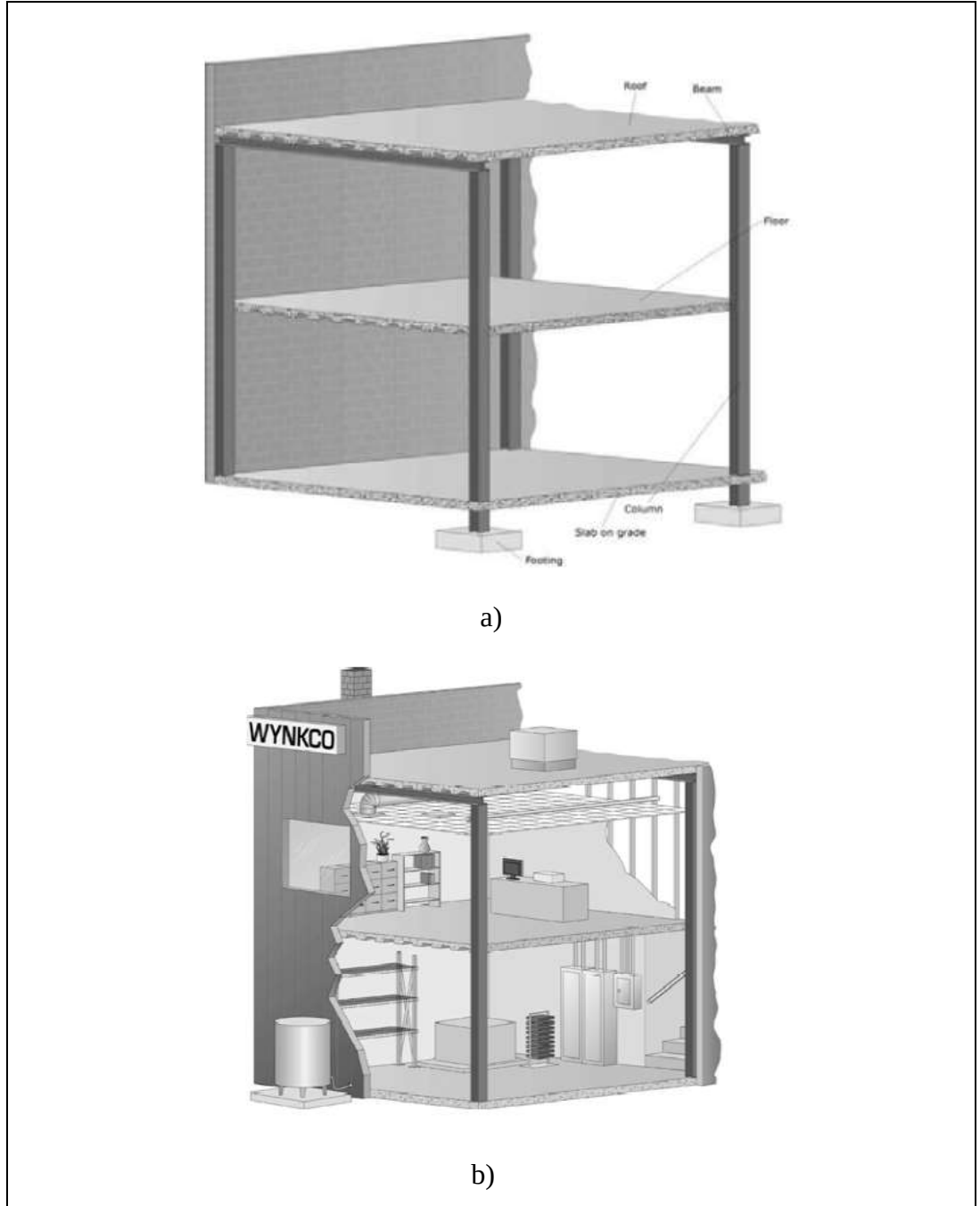
- Bina Pompaları
- Soğutucular,
- Fanlar, Klima santralleri
- Motor kontrol merkezleri,
- Sıcak ve Soğuk su dağıtım panoları
- Boru tesisatı,
- Kanal sistemi,

2.4.3. Mobilya ve Demirbaş Ekipmanları

- Raflar, kitaplıklar, Endüstriyel depo rafları
- Bilgisayarlar
- Serverlar,
- Duvara ve tavana monte TV ler
- Dosya dolapları
- Makine atölyesi,
- Diğer özel ekipmanlar,

[FEMA 74]'ten alınan aşağıdaki bu iki şekil, yalnızca yapısal unsurları içeren bir yapıyı (Şekil 2.6 a) ve yapısal olmayan unsurları içeren aynı yapıyı (Şekil 2.6 b)

temsil etmektedir. Yapısal bileşenlerin tipik olarak yapısal olmayan elemanlar tarafından görünmeden gizlendiğini unutulmaması gerekmektedir.



Şekil 2.6: Yapısal eleman bileşenleri (a), Yapısal olmayan eleman bileşenleri (b).

2.5. Yapısal Olmayan Hasar Nedenleri

Yapısal olmayan bileşenlerden kaynaklanan hasar veya kayıplar, atalet kuvvetlerinden, bina deformasyonlarından, yapılar arasındaki ayrımlardan ve yapısal olmayan etkileşimden kaynaklanabilir. Bütün bu konular sismik olaylar tarafından tetiklenir ve istirahat halindeki yapılar için risk oluşturmaz. Her bir risk kaynağına ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir.

2.5.1. Atalet Kuvvetleri

Bir deprem durumunda, bir binanın tabanı yerin hareketi ile hareket eder. Binanın üstünde, taban zeminin tersi yönde ileri geri sallanır. Atalet kuvvetleri, eğer binanın kütlesi daha büyükse, sallanmanın hızlanması veya şiddeti daha büyük veya yer değiştirme, uyarmaların yükseltildiği tabandan daha yüksekse, daha büyüktür.

Binanın tabanın üzerinde yaşadığı kuvvetler, bu nedenle, tabanda yaşayan kuvvetlerden çok daha büyük olabilir.

Zayıf kısıtlanmış eşyalar bu atalet kuvvetleri nedeniyle kayabilir, kayabilir, kayabilir, devrilebilir veya başka nesnelere çarpabilir.

Yapılarda oturanlar için can güvenliği açısından risk oluşturabilecek birçok madde şunlardır;

- Ağır, uzun tanklar
- Düzlem dışı düşme riski olan dolgu duvarları
- Askıya alınmış ekipman, klima üniteleri, elektrik panelleri veya tanklar
- Askıya alınmış kanallar, kablo kanalları ve borular
- Jeneratörler ve pompalar
- Dosya dolapları ve elektrik dolapları
- Serbest duran raflardan



Şekil 2.7: Askıya alınmış boru ve kanallar.

2.5.2. Bina Deformasyonları

Bir deprem sırasında, binaların yapısal elemanları, deprem kuvvetlerine yanıt olarak deforme olabilir, bükülebilir veya esneyebilir ve sıkışabilir. Daha uzun binalarda, deformasyonlar bir deprem sırasında her iki yönde de birkaç metreye kadar çıkabilir. Kat ötelemeleri veya yatay

Deplasman her katta yükseklik boyunca sapma, bitişik katlarda arasında en az 10 cm kadar olabilir.

Her kattaki deformasyonlar nedeniyle kolonlar ve duvarlar deforme olur ve şekülünden kayabilir. Yapısal olmayan eşyalar, hasarı ve yaşamı tehdit edici bir durumu önlemek için aynı miktarı deforme edebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Dolgu duvarların düzlem dışı yönünde Atalet kuvvetleri bu bileşenlerin kısımlarının yerinden çıkmasına ve muhtemelen gelip geçenler altlarında yaralanmasına kendi özgün konumundan uzakta düşmesine neden olabilir.

Bunlara örnek öğeler şunları içerir.,

- Yapıya sağlam bir şekilde tutturulmuş pencere çerçeveleri veya bölümleri
- Cam, sıva bölümleri, içi boş kil kiremit dolgu duvar veya kaplama gibi: gevrek malzemeler,



Şekil 2.8: Cephe ve cam bölmeler.

2.5.3. Bina Ayrımları

Bir deprem sırasında, binanın bitişiğindeki yapılar veya yapısal olarak bağımsız bölümleri, çarpma veya ayrılma veya genişleme derzleri boyunca hareketler nedeniyle hasar görebilir.

İki farklı bina yapısı arasında diferansiyel hareketlere izin vermek için sismik bir hareketli mekanizma veya dilatasyon bulunmalıdır. Sismik dilatasyon yetersizse, bitişik binalar arasındaki çarpma, eski binaların cephelerinde parapet, kaplama veya korniş gibi yapısal olmayan bileşenlere zarar verebilir.

Bitişik yapılar arasında veya bir binanın yapısal olarak bağımsız bölümleri arasında işlevsel bir süreklilik sağlamak için, tesisler bu bina bağlantı noktalarında sıklıkla uzanmalı ve her iki tarafta da sonlandırılacak mimari kaplamalar detaylandırılmalıdır.

Binalar arasındaki ayırım, eski inşaatlarda birkaç cm'den yeni binalarda bir metreye veya daha fazlasına kadar değişebilir.

Buna örnek öğeler şunları içerir:



Şekil 2.9: Borular ve Bina ayrıntıları.

2.5.4. Yapısal Olmayan Kısımların Etkileşimi

Bir deprem durumunda, bitişik yapısal olmayan elemanlar çarpışabilir veya etkileşime girebilir ve ek hasara neden olabilir. Yapısal olmayan bileşenler aynı alanı paylaşabilir ancak aynı şekli, boyutu, dinamik özellikleri veya destek gerekliliklerini uygun olmayabilir.

Yapısal olmayan etkileşimlerden kaynaklanan olası hasarlardan bazıları şunlardır:

- Yağmurlama dağıtım hatları, yağmurlama kafalarının tavanla etkileşime girerek kırılmalarına ve aşağıdaki odaya su sızdırmalarına neden olur.
- Farklı şekillerde veya boyutlarda bitişik borular birbirinden ayrılır ve birbiriyle çarpışır
- Askıya alınmış mekanik ekipman, bir pencere, panjur veya bölmeyi sallar ve zarar verebilir.
- Tavan bileşenleri veya ekipmanı, acil durum engellemesini düşürebilir, kaydırabilir veya devrilebilir.



Şekil 2.10: Kazan dairesi mekanik ekipmanlar.



Şekil 2.11: Yangın söndürme sistem boruları.

2.6. Yapısal Olmayan Hasarın Önemi

Geleneksel olarak, deprem mühendisleri, yapısal sistemlerin nasıl çalıştığını ve yapıya verilen zararı azaltma yollarına odaklandı. Bununla birlikte, deprem mühendisliği topluluğu deprem standartlarında ve sismik performansta iyileşme

beklentilerinde ilerledikçe, yapısal olmayan hasarın önemini anlamak daha da önem kazanmaktadır.

Sıradan bir konut binasının yapısal bileşenleri orijinal maliyetin yaklaşık %40'ını oluştururken, yapısal olmayan elemanlar (mekanik, elektrik, sıhhi tesisat ve mimari) bileşenleri toplam maliyetin %60'ını oluşturmaktadır.

Fabrika gibi üretim tesislerinde kullanılan ekipmanın normal yapıdaki bileşenlere göre maliyeti göz önüne alındığında, yapısal olmayan elemanların toplam maliyetin yaklaşık %80'ini oluşturması beklenmektedir.

Bir yapıdaki her bileşenin bir deprem durumunda risk teşkil etmemesine rağmen, bir deprem sırasındaki yapısal / yapısal olmayan unsurlardan doğabilecek olası risklerin farkında olmak, gerekli olması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bir deprem sırasındaki yapısal olmayan bileşenlerin hasarlarından dolayı yaralanmalara veya ölümlere neden olabilir, binalarda ve içeriklerinde maddi mal hasarına neden olabilir ve uygun onarımlar tamamlanana kadar konut, tıbbi ve üretim tesislerinin, işletmelerin ve devlet dairelerinin kapatılmasını gerektirebilir.

Bu elemanların hasarları hem maliyetli hem de tehlikeli olabilir. Deprem hasarının yapısal olmayan elemanlara olası sonuçları Yaşam Güvenliği (LS), Mülkiyet Kaybı (PL) ve İşlevsel Kayıp (FL) olarak ayrılabilir.

Hasar görüldüğünde, belirli bir yapısal olmayan eleman, farklı derecelerde risk oluşturabilir.

Kategorilerin her biri.

Bu rapor temel olarak yapısal ve yapısal olmayan hasarlara odaklanmaktadır; ancak, mevcut binaların can güvenliği, mülk ve işlevsellik için risk oluşturan yapısal hasarları da olabilir.

Yapısal olmayan elemanlarda koruma önlemlerinin, yapısal hasar veya tehlikelere karşı alınan önlemlere göre uygulanması daha basit ve daha ucuz olabilir. Ancak göreceli yapısal ve yapısal olmayan risk unsurlarının koruma kaynaklarını etkin kullandığı düşünülmelidir.

Yapısal olmayan elemanların arzu edilen sismik performansının, yapısal elemanlar deprem sarsılması sırasında iyi performans göstermedikçe, yapısal olmayan elemanların tasarımı ve bunların yapılara bağlanması ile sağlanamayacağına dikkat edilmelidir.

2.6.1. Can Güvenliği (LS)

Deprem durumunda can güvenliği için üç ana risk vardır. İlk tip, yolcuların hasar görmüş veya düşen yapısal olmayan bileşenler nedeniyle yaralanmaları veya ölmeleridir.

Aksi takdirde zararsız görünebilecek bileşenler düşebilir ve yoldan geçenlerin üzerine düşerse ölüme neden olabilir.

Bir diğerk risk, hasar görmüş yapısal olmayan bileşenlerin bir binadaki güvenli çıkışları engellemesidir. Ağır bir kitaplık veya dolap, yolcuların kaçmasını ve kurtulmasını önleyebilir ve yaşam güvenliği için bir tehdit oluşturabilir. Son olarak, yangından korunma boruları gibi bir can güvenliği sistemi hasar görürse, bu bir depremden sonra başlayan bir yangın için tehlikeli bir durum oluşturabilir.

Yapısal olmayan potansiyel hasar tehlikelerine örnekler:

- Kırık cam veya birkaç hikâyeden düşen cam,
- Devrilmiş yüksek, ağır dolaplar, raflar veya depolama rafları,
- Devrilmiş uzun, ağır ekipman,
- Tavan armatürleri ve aydınlatma gibi tavan üstü ekipmanları,
- Yırılmış gaz hatları veya tehlikeli maddeler içeren borular,
- Düşen kaplama parçaları veya duvar parçaları veya prekast beton duvarlar,
- Dolgu duvarı çökmesi,
- Bölme duvarının zarar görmesi nedeniyle kapıların sıkışması çıkmayı önlemesi

2.6.2. Mülkiyet Kaybı (PL)

Belirtildiği gibi, bir binadaki yapısal olmayan bileşenler, ana maliyetlerin büyük bir yüzdesini oluşturur. Hareketli bölmeler, mobilyalar, ofis veya tıbbi teçhizat gibi kullanıcılara veya mülk sahiplerine ait binanın içeriği ve bu durumda büyük tanklar ve teçhizat da risk altında önemli bir değeri temsil eder. Sadece içeriklere atfedilebilen ani mal zararlarının, toplam deprem zararının yaklaşık üçte biri olduğu tahmin edilmektedir [FEMA, 1981].

Mülkiyet kaybı, yapısal olmayan bir bileşenin doğrudan hasarına (doğrudan zarar) veya hasardan kaynaklanan dolaylı zararlara (dolaylı zarar) bağlanabilir. Patlamış yangın fiskiyesi hattı veya tehlikeli ya da tehlikeli olmayan malzemeler

içeren borular boruyu onarmak için doğrudan bir kayıp ve sızıntıdan gelen hasarı onarmak için dolaylı bir kayıp ile sonuçlanır.

Eğer yırtılmış boru gaz veya başka yanıcı maddeler içeriyorsa, yangından kaynaklanan mülk kaybı cihazdan çok daha büyük olacaktır.

2.6.3. Fonksiyon Kaybı (FL)

Can güvenliği veya mal kaybını göz önünde bulundurmanın yanı sıra, yapısal olmayan hasarların bir tesisin işlevlerini yerine getirmesini zorlaştırması mümkündür. Üretkenlik azalması veya deprem sonrası iş duruş süreleri ile ilgili riskler, genellikle fabrika, hastane, eğitim ve ofis gibi tesisler için can güvenliği endişesini takiben en önemli endişe kaynağıdır. Büyük bir olay olması durumunda, yapısal olmayan eşyaların yerine koyma maliyeti tipik olarak geri kazanım sırasındaki aksama süresine bağlı gelir kaybından çok daha düşüktür.

Birçok tesis, bir deprem veya diğer doğal afetlerin hemen ardından yapısal olmayan bileşenlerin kullanılmasını gerektirir. Örnek olarak, hastaneler, hastaların bir sonucu olarak zarar görmemelerini sağlamak için acil durum sistemlerine güç gerektirir ve ayrıca tesisin sel baskını, tahliyesini ve su taşmasını önlemek için iyi ankrajlı borular gerektirir. Yangın ve polis karakolları ayrıca, ticari veri işleme tesislerinin yanı sıra, bir depremden sonra da işlevsel kalmalıdır.

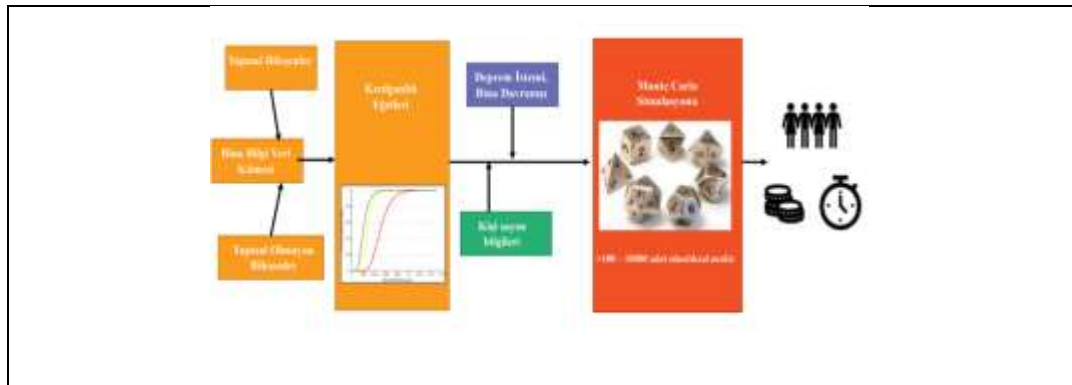
Müşterinin isteğine göre, bu çalışma yalnızca Can Güvenliği tehlike azaltma durumunu kapsar.

Onarım olarak önerilen tüm ürünler, sismik bir olay için 50 yılda %10'nin aşılma olasılığı olan can güvenliği risklerini azaltmayı / ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır.

2.7. Fema P58'in Uyguladığı Metodoloji

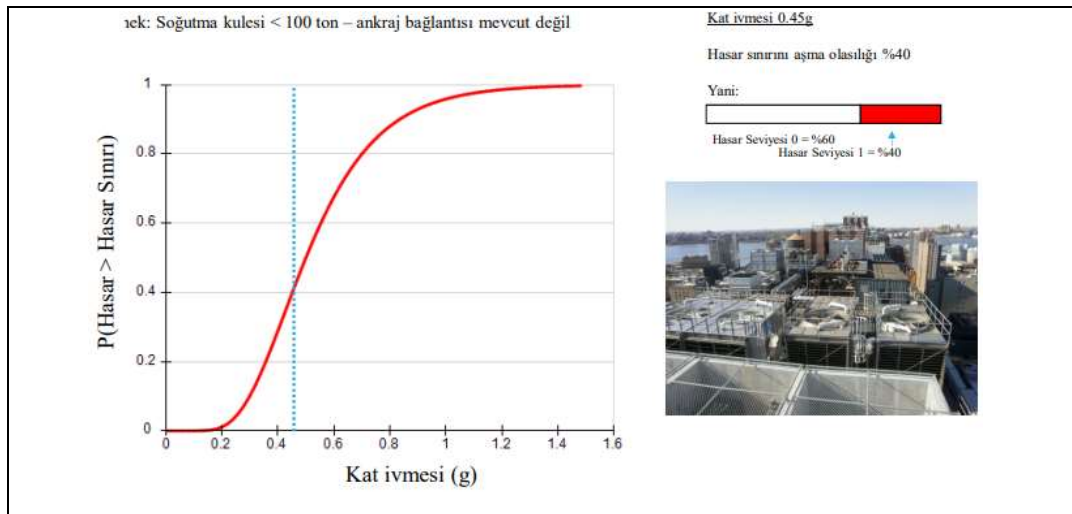
- Bilgi kütüphanesinin oluşturulması. Veri kümesinin oluşturulması. Analizlerimizi yapmadan şantiyeye gidip bilgi toplamak gibi düşünebiliriz.
- Yapısal bileşenler belirlenir. (Düşey ve yatay taşıyıcı elemanlar)
- Yapısal olmayan bileşenler belirlenir. (Soğutma kuleleri, jeneratörler, raflar gibi bina için önemli olan bileşenler)
- Kırılgenlik eğrileri tanımlanır. (Her değişik tipteki envanterler için (yapısal ve yapısal olmayanlar) kırılgenlik eğrilerini [FEMA-P58] den çıkarılmıştır.

- Kişi sayısı. Hangi katta kaç kişi çalışıyor, M2 ye kaç kişi düşüyor gibi bilgilerin alınması.
- Sahaya özgü deprem talebi belirlenir. Kat ivmeleri ve her kat için göreceli kat ötelemeleri oranları gibi performansa dayalı yapısal analiz sonuçları girdi olarak girilir.
- Monte-Carlo simülasyonu uygulanır.
- Sonuçlar [USRC] (ABD Dayanıklılık Konseyi) ve [REDI] (Dayanıklılık Tabanlı Deprem Tasarım Girişimi) gibi derecelendirme sistemleriyle yorumlanır.



Şekil 2.12: Resilyansa göre analiz akış diyagramı.

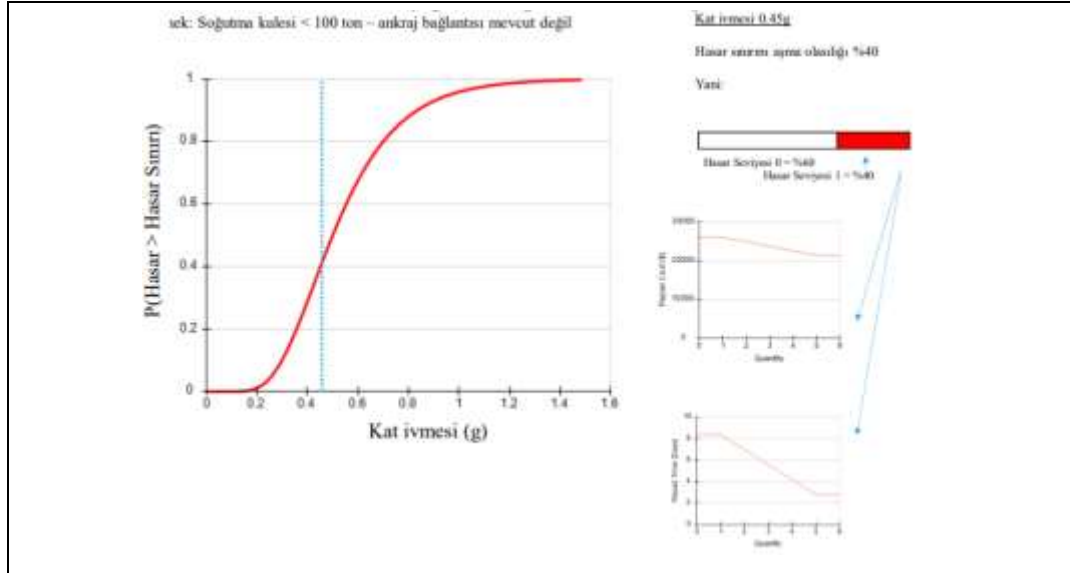
Yapısal olmayan bir elemanı örnek alırsak, soğutma kulesi [FEMA P58, 2002].



Şekil 2.13: Yapısal olmayan bir elemanın kırılmalık eğrisi grafik örneği.

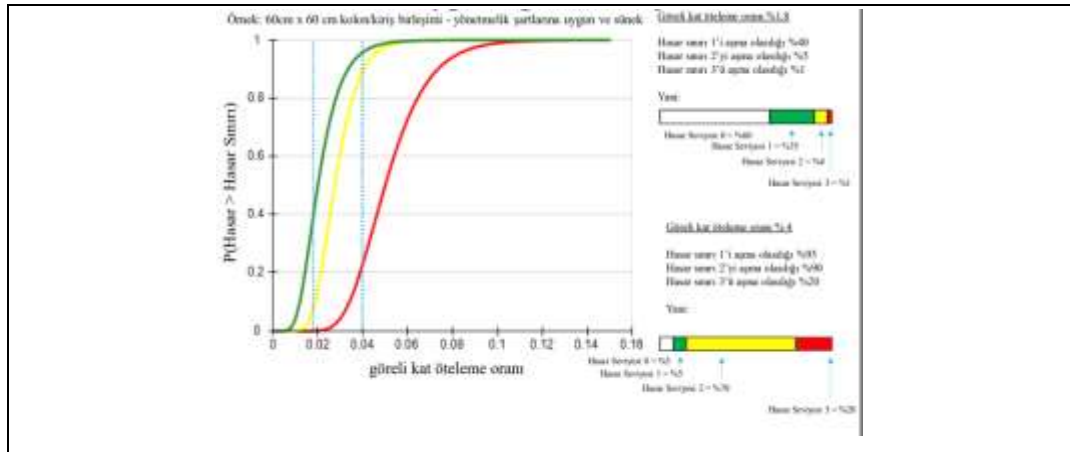
- Bu soğutma kulesi 100 ton altında bir ağırlığa sahip. Analizlerimiz sonucunda bu kattaki kat ivmesi değeri 0.45g dir. Buna göre hasar sınırına paralel bir çizgi

çektığımızda bu kırılmalık eğrisinin solunda kalan kısımda bu cihazın zarar görmediğini ancak sağ tarafında kalan alanda ise cihaz ya kullanılamayacak duruma geliyor veya onarım yapılması gerekiyor. Hasar seviyesine aşma olasılığı %40 olmuş oluyor [FEMA P58, 2002].



Şekil 2.14: Resilyansa göre kırılmalık eğrisi grafik örneği.

- Belli bir onarıma göre maliyet ve onarım sürelerini bu grafiklerden alabiliyoruz.
- Yapısal bir elemanda bu durumu incelersek [FEMA P58, 2002]

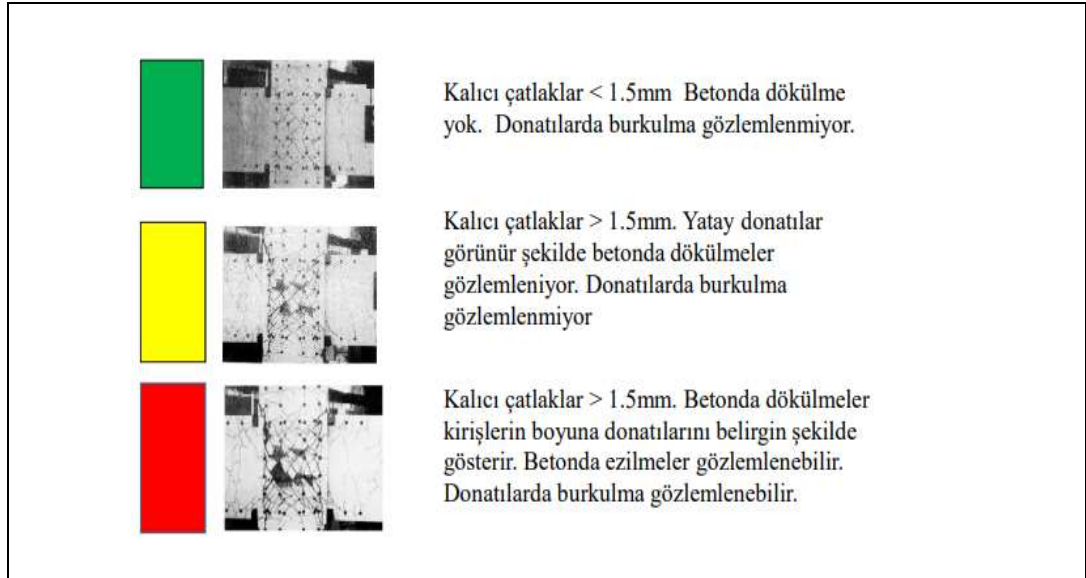


Şekil 2.15: Deprem seviyelerine göre hasar durumunu gösteren kırılmalık eğrisi.

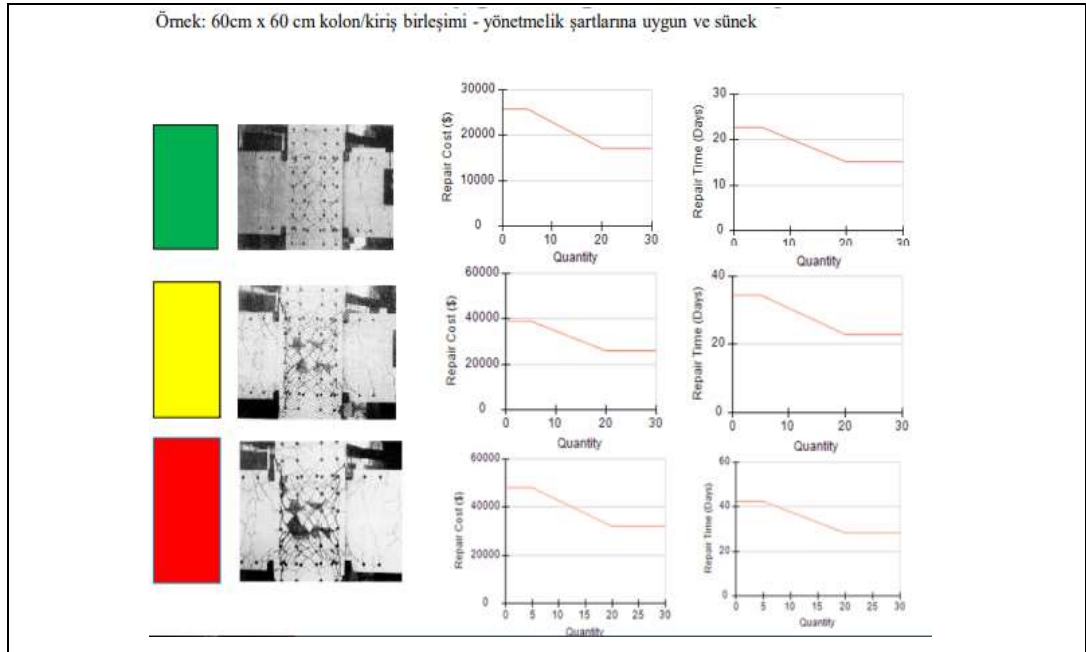
- Yönetmeliklere uygun olarak yapılmış sünük bir birleşim olarak kabul edilen 60x60 kolon kiriş birleşiminde olası bir depremde hasar alması, çatlakların olması beklenmektedir. Bunların deneysel ve olasılıksa çalışmalara göre

hazırlanan kırılabilirlik eğrilerine bakıldığında 3 tane hasar seviyesine göre kontrolü yapılmıştır. Bu hasar seviyeleri alttaki şekilde gösterilmiştir.

- Görelî kat ötelemesi %1.8 olduğunda hasar seviyesi 1 i aşma olasılığı %35 gibi , Hasar seviyesi 2 yi geçme olasılığı %5 ve hasar seviyesi 3 ü geçme olasılığı %1 gibi olmaktadır [FEMA P58, 2002].

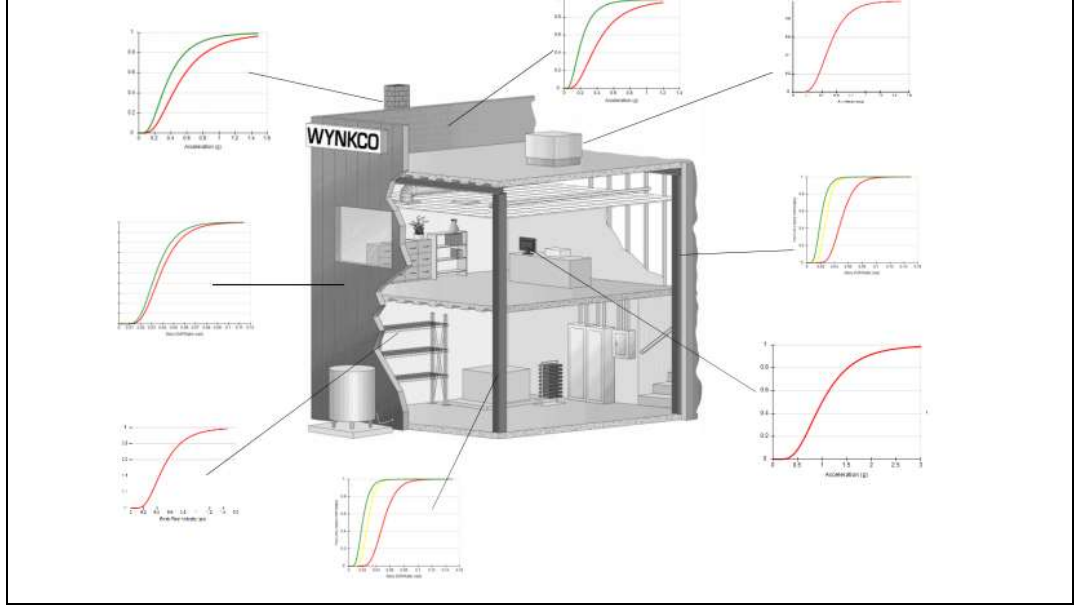


Şekil 2.16: Yapısal Eleman hasar seviyeleri.

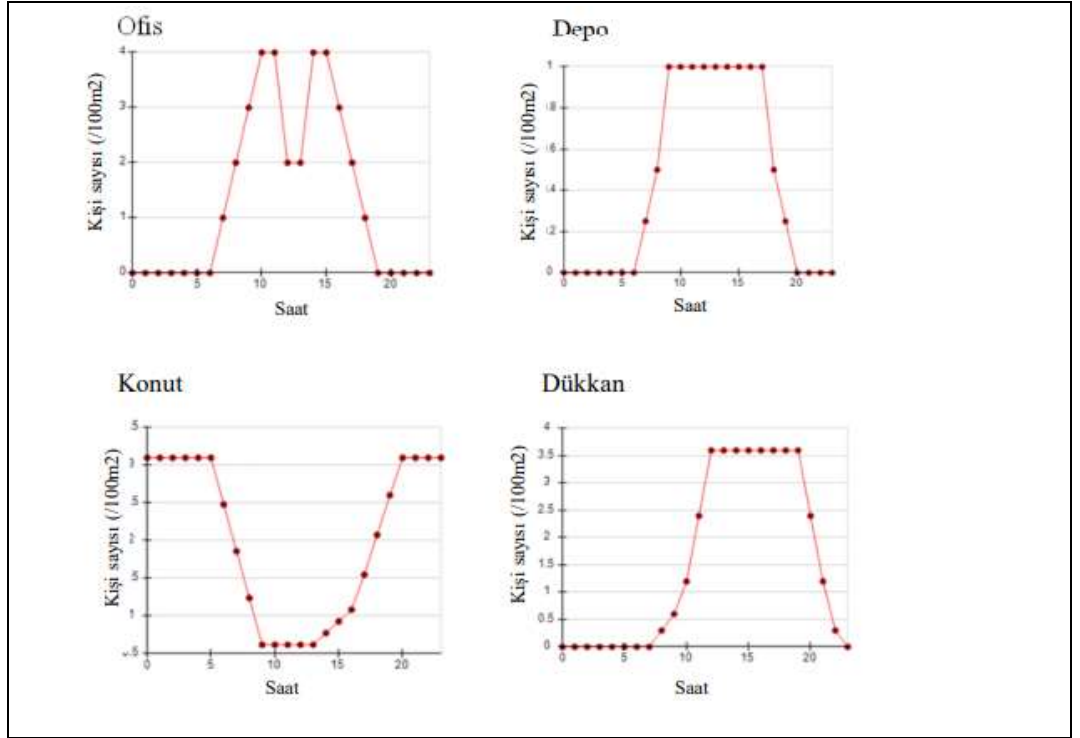


Şekil 2.17: Hasar seviyelerine göre zaman ve onarım maliyet kırılabilirlik eğrileri.

- Bu 3 hasar durumu için zaman ve onarım maliyeti olarak fonksiyonları vardır. Bu ekipmanların sayısına göre bu değerler tekrar geri kazanmak için gereken zaman ve onarım maliyetleri değişmektedir [FEMA P58, 2002].

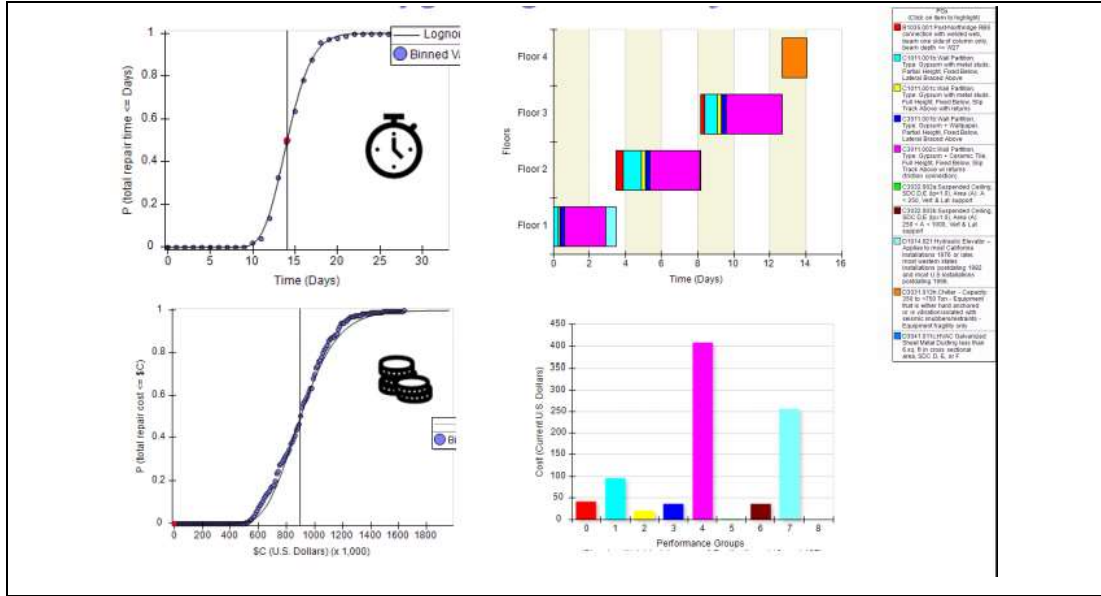


Şekil 2.18: Yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için kırılmalık eğrileri.



Şekil 2.19: Kişilerin binada bulunma sürelerini gösteren eğriler.

Buradaki kat ivmelerini bulduktan sonra binadaki kişi sayısı grafiklerini bulduktan sonra her bir envantere gelecek olasılıkları biliyoruz. Ardından binamızın ne kadar bir performans gösterdiğini bulmak için Monte Carlo simülasyonu yaparak bina davranış eğrisini oluşturuyoruz.



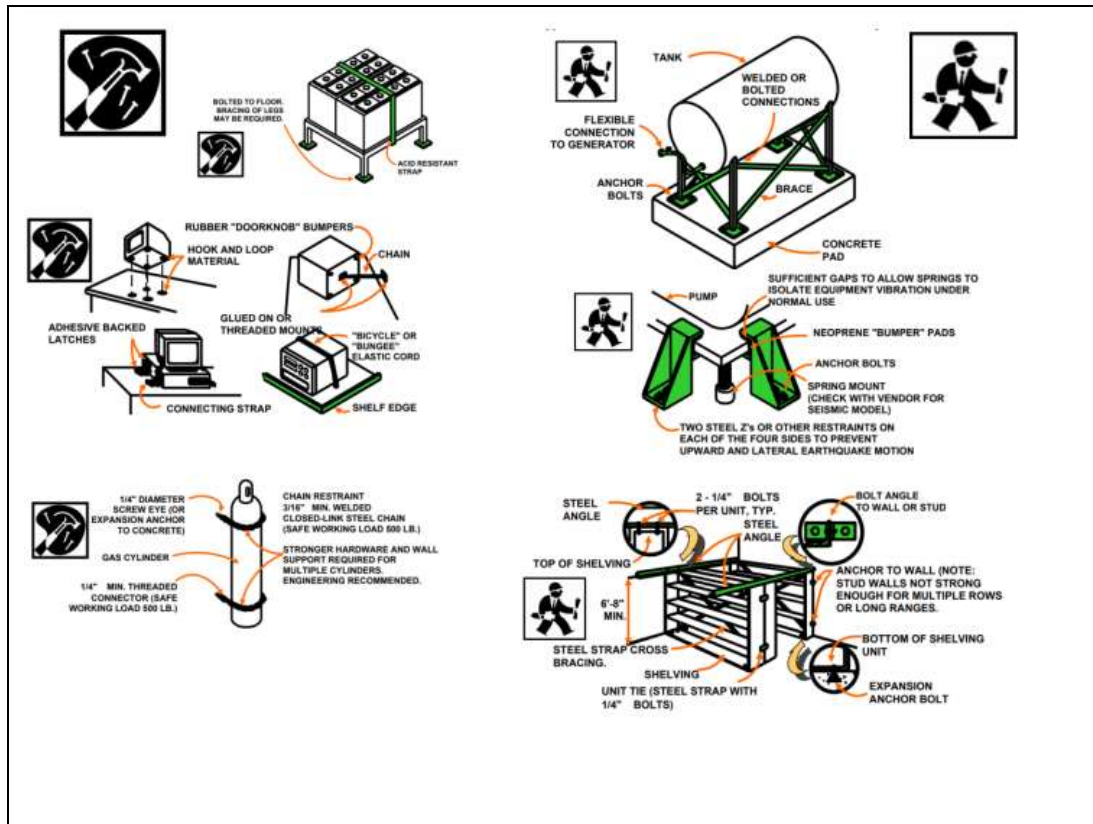
Şekil 2.20: Örnek bir binanın deprem sonrası onarım maliyeti ve geçen zaman grafiği.

- Sol üst taraftaki şekil binanın tekrar kullanılması için gereken süreyi veriyor. Yaklaşık olarak %50 olasılıkla 14 gün gibi bir sürede onarım ve yenileme çalışmaları bitiyor. Ve kullanıma hazır hale geldiğini anlıyoruz. Bu olasılığı %90 a çıkarmak istersek eğer, tekrar kullanıma hazır olması için geçen süre 20 güne çıkıyor.
- Sol alttaki grafik ise, bize binanın tekrar kullanılması için gereken maliyeti olasılıksal olarak veriyor. Örneğin %50 olasılıkla bu bina 100.000 \$ gibi bir para gerektiğini anlıyoruz. Eğer %90 olasılıkla ne kadar mal olacağını bulmak istersek, %90 ın kestiği eğriden aşağıya bir dikme çizdiğimizde bu paranın 1.400.000 \$ a çıkacağını görüyoruz.
- Sağ taraftaki renkler ise binada yapısal ve yapısal olmayan envanterin neler olduğunu anlatıyor. Örneğin pembe renkler duvarlar ve cephelerin hasarını ve buna bağlı toplam maliyetin ne kadarını kapsadığını gösteriyor. Diğer renkler ise ana taşıyıcılar (kolon kiriş birleşimleri), ana duvarlar, soğutma ısıtma cihazları, chiller vbz.

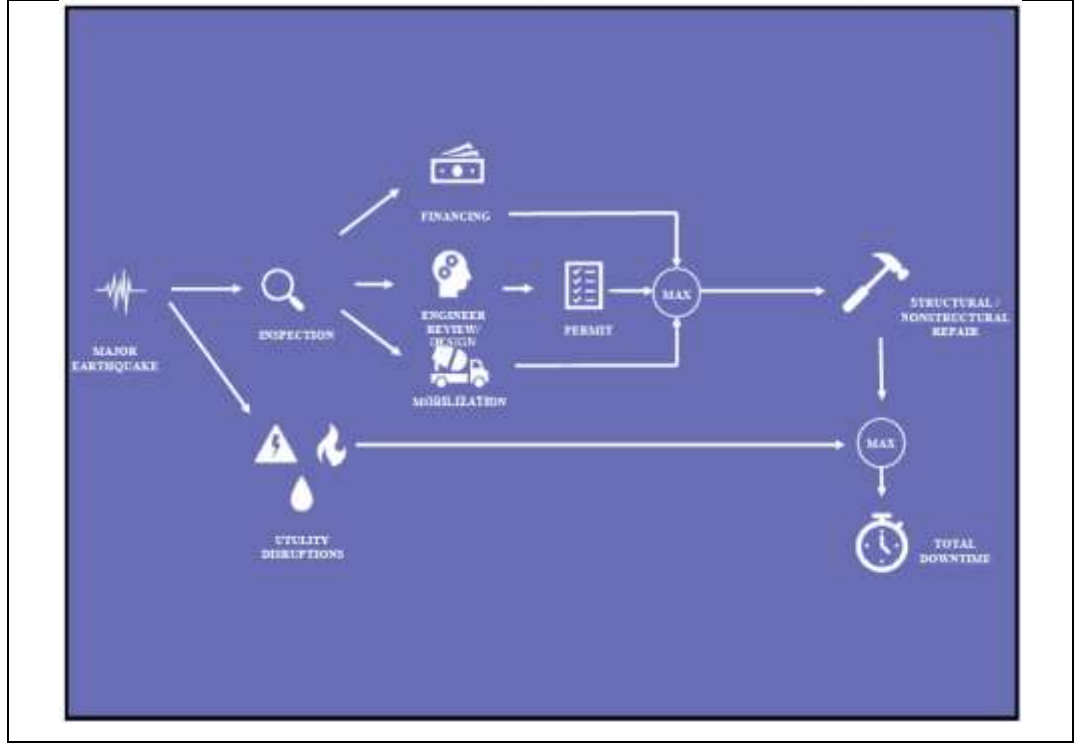
Yapısal Olmayan Bileşenlerde Hasarlar,



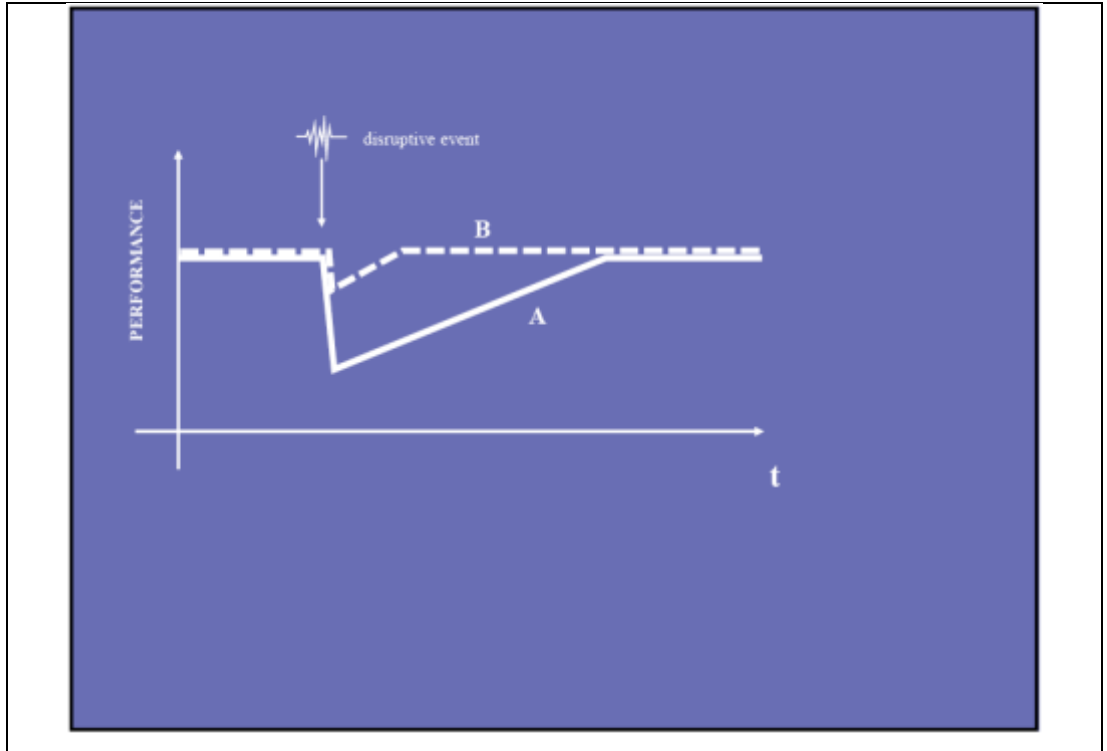
Şekil 2.21: Yapısal olmayan elemanların depremden sonra nasıl olması gerektiğini gösteren durum.



Şekil 2.22: Yapısal olmayan elemanlarda alınması gereken önlemler.



Şekil 2.23: Afetten sonra uygulama etken şeması.



Şekil 2.24: Toparlanma yeteneği gafığı.

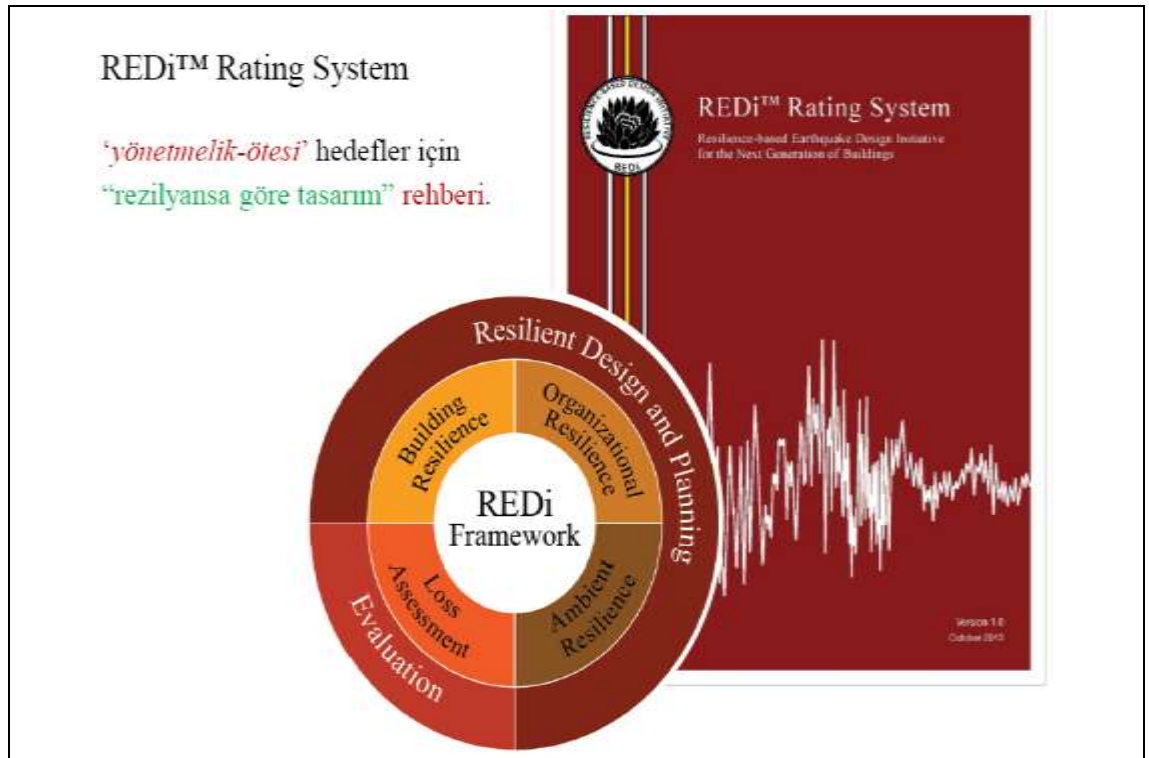
Şekil 2.24’de gösterilen bir afet olduğunda (deprem, sel, terör saldırısı) bir işletmeye, konuta veya ofise etkidiğinde o tesiste üretim performans kullanımını afet

sonrası hızlı bir düşüş olur. Tıpkı deprem sonrası binanın bir süre kullanılmaması gibi. Tekrar eski fonksiyonuna eski seviyesine gelmesi için gereken bir süre vardır. Biz tasarımcılar yapmamız gereken yaptığımız tasarımlar veya sonrasında aldığımız önlemlerle biz bunu A tarafından B tarafına çekmek istiyoruz. Buna toparlanma eğrisi denmektedir [FEMA –E74].

2.8. Redi (Rezilyansa Bağlı Tasarım) Metodolojisi

REDİ Resilyansa bağlı tasarım yapılmasını sağlayan bir girişimdir. Bu dökümanların geliştirilmesinde [ARUP] firması bazı akademisyenlerle

- Building Resilience = Bina tasarımında alınması gereken önlemler
- Organizational Resilience =İşletme sırasında bina kullanıcıları tarafından alınacak önlemler
- Ambient Resilience=Çevresel etkenlerin alınacak önlemler
- Loss Assessment=Bu üç kategoriye göre montecarlo similasyonu yapılarak doğrulama yapıp zaman ve maliyet kayıplarının bulunmasını sağlar.



Şekil 2.25: Resilyansa göre tasarım rehberi.

2.8.1. Bina Esnekliği

Temel izolasyonu ve enerji dağıtma sistemleri gibi güvenilir hasar kontrol teknolojileri son 15 yılda iyi bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Yapısal olmayan bileşenlerin detaylandırılması için geliştirilmiş yöntemler de geliştirilmiştir. Aynı zamanda, bilgisayar simülasyonundaki gelişmeler- yapısal davranış konusundaki gelişmiş bilgiye dayanarak- şimdi mühendislerin binaların büyük depremlerdeki davranışlarını gerçekçi bir şekilde tahmin etmelerini sağlıyor. Bu önemli gelişmeler, güçlü depremlerde geleneksel kod tasarımı binalara göre çok daha az zarar görecek ekonomik açıdan uygun binaların tasarlanmasını mümkün kılmaktadır. Deprem taleplerini en aza indirmek ve yapısal olmayan bileşenlerin kapasitesini artırmak için gelişmiş tasarımın kullanılması, can güvenliği sağlamanın yanı sıra işverenlerin varlıklarını da koruyabilmektedir.

Gelişmiş tasarım sayesinde yapısal, mimari ve MEP bileşenlerinde beklenen hasarı en aza indirmektedir.

2.8.2. Örgütsel Esneklik

Hasar görmüş bir binanın işlevsel olarak toparlanması için gereken zaman, sadece deprem hasarının neden olduğu gerekli onarımları tamamlamak için gereken zaman değildir.

İyileşme tekrar kullanıma açmak için gereken sürede önemli ek gecikmelere neden olabilir. Ek olarak, kesintilerin kamu hizmetlerine etkisi, yaşanabilir koşulları korumak ve işlerin bir depremden sonra devam etmelerini sağlamak için göz önünde bulundurulmalıdır.

Deprem ncesi acil durum planlaması bu potansiyel riskleri azaltmanın anahtarıdır.

Örgütsel Esneklik: Hizmet kesintileri ve iş sürekli liği için beklenmedik durum planlamasıdır.

2.8.3. Ortam Esnekliği

Son depremlerden bir ders, bina dışına çıkan tehlikelerin toparlanmayı etkileyebileceğidir. Site planlaması önemlidir. Bu, özellikle çevredeki yapıların yollara ve hatta binaya p dkebileceği yoğun hasarlı binalarda geçerlidir. Bir depremden sonra

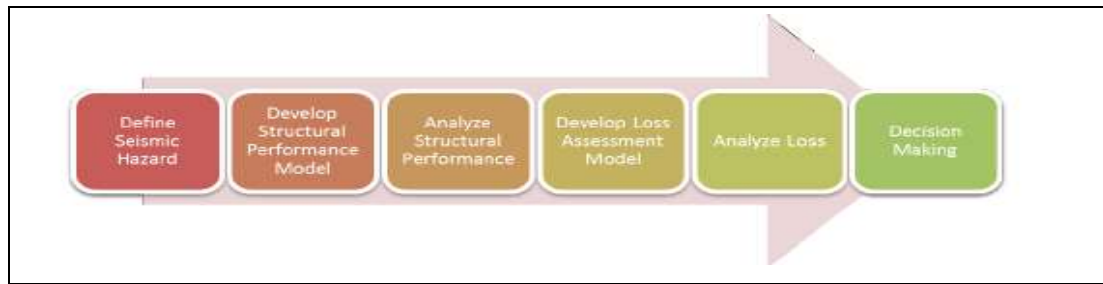
binaya erişim kolaylığı, aksama süresini en aza indirmede önemli bir faktördür. Duyarlı bölgelerde tsunamiler, sıvılaştırma, şev kaymaları veya deprem kaynaklı diğer tehlikeler, yerel halkın toparlanmaya başladığı zaman yıkıcı bir etkiye sahip olabilir. Bu, yapısal olarak dayanıklı binaların bile kurtarılmasını tehlikeye atabilir.

Ortam Esnekliği: Harici deprem kaynaklı tehlikelerin binaya zarar verme veya sahaya erişimi kısıtlama risklerini azaltılmasını sağlanmasının kontrol edilmesi.

2.8.4. Kayıp Değerlendirilmesi

Esnekliğe dayalı tasarım yaklaşımının [REDi] TM esneklik hedeflerini karşılamadaki başarısı doğrudan deprem riskini finansal kayıplar ve duruş süreleri açısından ölçen bir kayıp değerlendirmesiyle ölçülür. [FEMA] tarafından geliştirilen bir kayıp değerlendirme aracı olan [PACT], kullanıcının tüm bina bileşenlerinin ve içeriğinin miktarını ve yerini tanımlamasına olanak tanır.

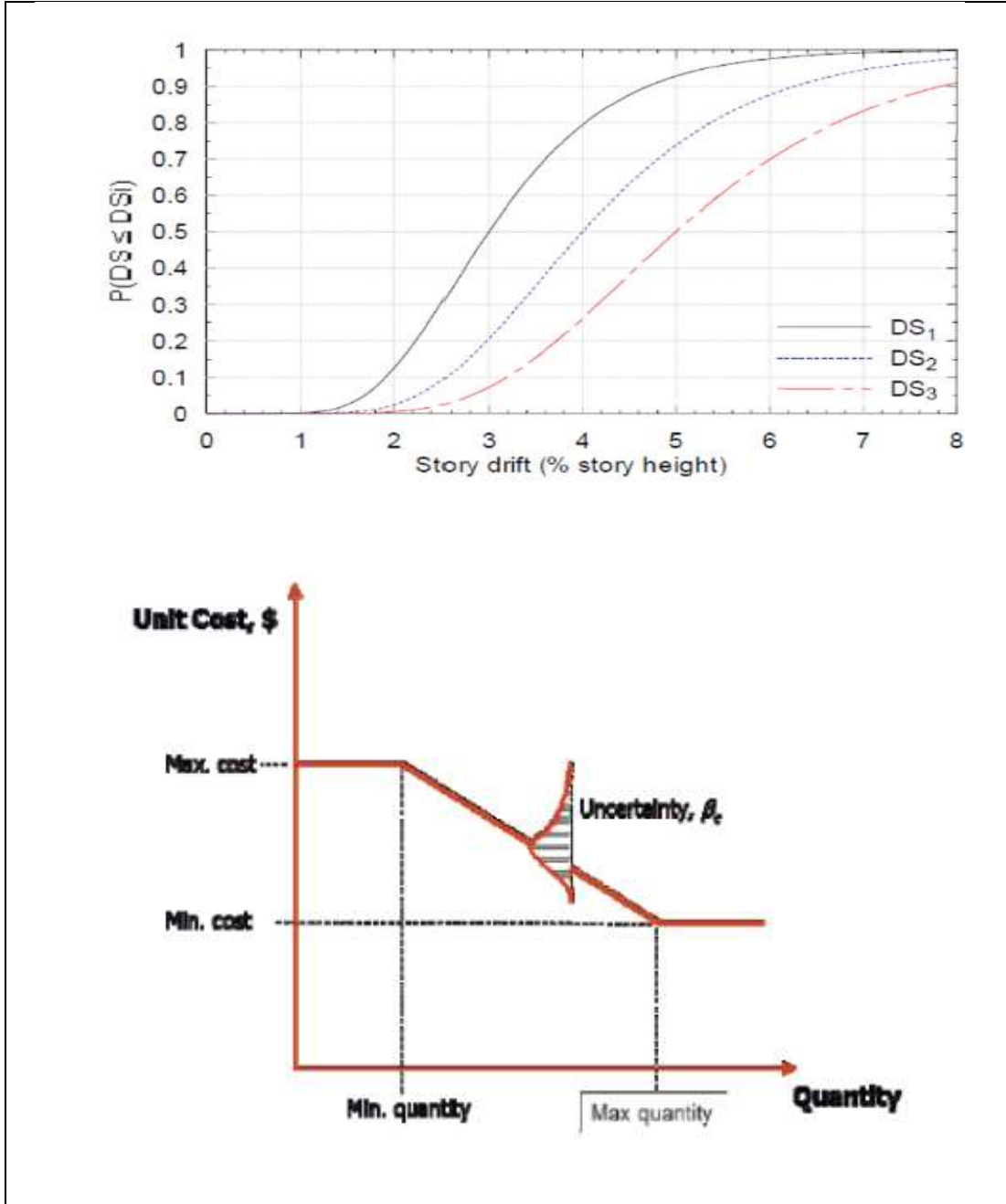
Bina yapısının beklenen deprem kaynaklı tepkileri (deformasyonlar, ivme vb.) İlk önce bilgisayar simülasyonu ile tahmin edilmektedir. Öngörülen tepkilerin neden olduğu her bina bileşenine beklenen hasar daha sonra hesaplanır. Son olarak, hasarın tamirat süresi ve tamirat maliyetleri açısından sonuçları ölçülür ve risk faktörleri (kayıpların en fazla oranına neden olan bileşenler) tanımlanır. [PACT] tarafından kullanılan zarar değerlendirme yöntemini, “taklit edici faktörler” ve daha fazla doluluk, fonksiyonel iyileşme veya tam iyileşme için gereken süreyi tahmin etmek için gereken zamanı tahmin etmek amacıyla daha gerçekçi.



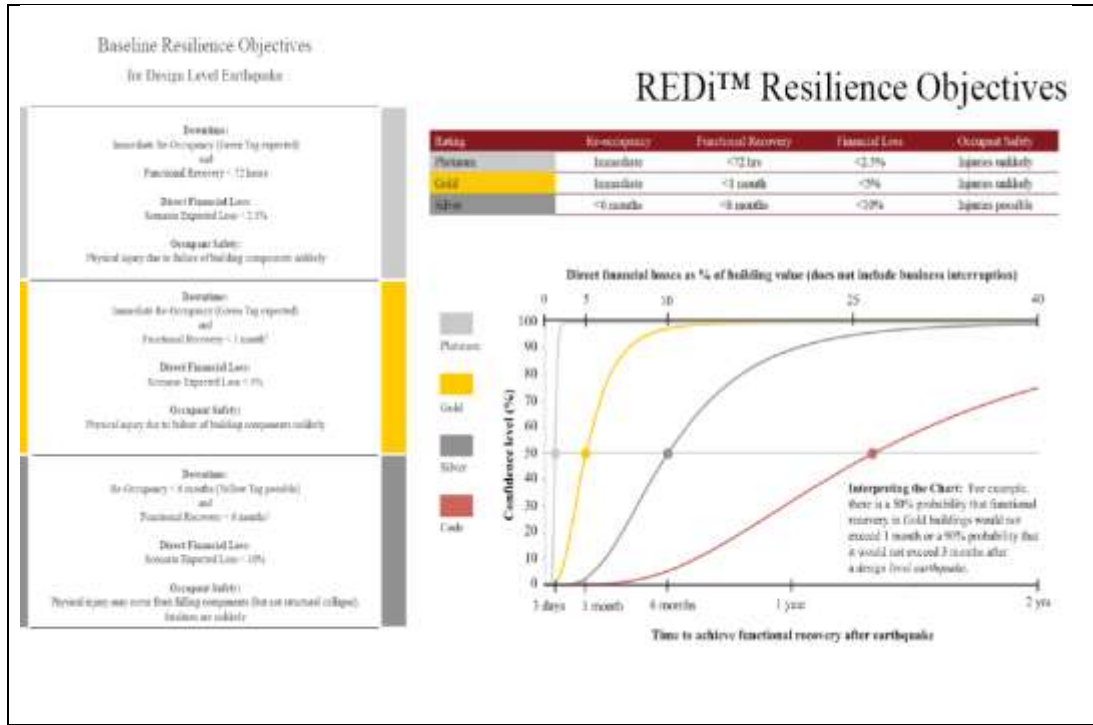
Şekil 2.26: Performansa dayalı sismik değerlendirme süreci.

Bir binayı tamir etme süresi, esasen yaşadığı hasarın ciddiyeti ile orantılıdır. Bina kritik olmayan bileşenlere sadece küçük hasar verirse, onarım süresi minimum olabilir ve fonksiyonel iyileşme üzerinde çok az etkisi olabilir. Ancak, hasarın kapsamı ve ciddiyeti arttıkça, işlevsel iyileşmeyi sağlamak için gereken süre, gerekli

onarımın miktarına bağı olarak katlanarak artabilir, ancak aynı zamanda onarımların başlatılmasını geciktiren “engelleyici faktörler” nedeniyle. Bu faktörler, deprem sonrası bina denetiminin tamamlanmasını, onarımlar için finansmanı güvence altına almayı, mühendislik hizmetlerini seferber etmeyi, hasarlı bileşenleri yeniden tasarlamayı, izin alma, bir müteahhit ve gerekli ekipmanı ve yükleniciyi harekete geçirmeyi içerir.

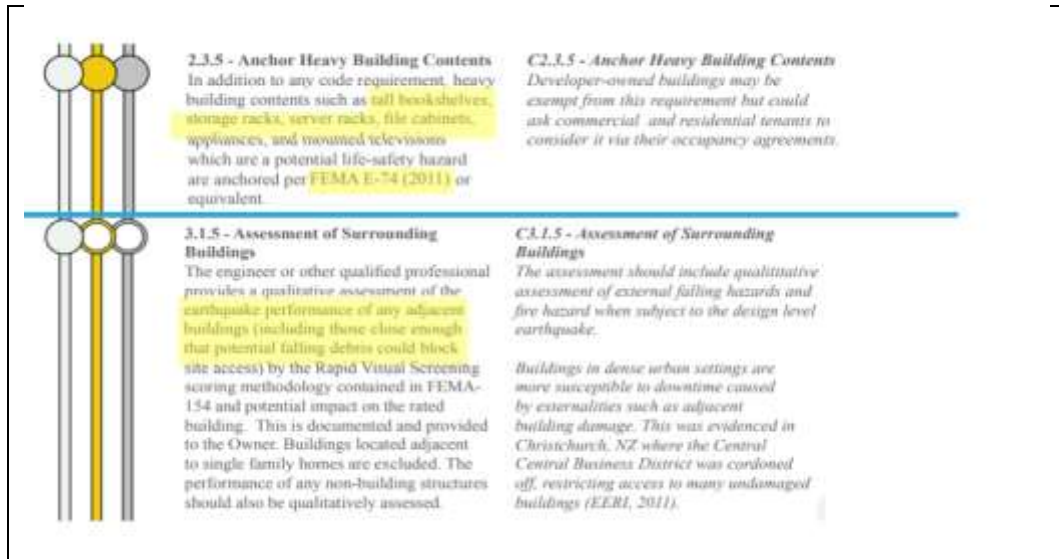


Şekil 2.27: Örnek PACT kırılmalık eğrisi ve sonuç fonksiyonu.



Şekil 2.28: Örnek REDİ değerlendirme şeması.

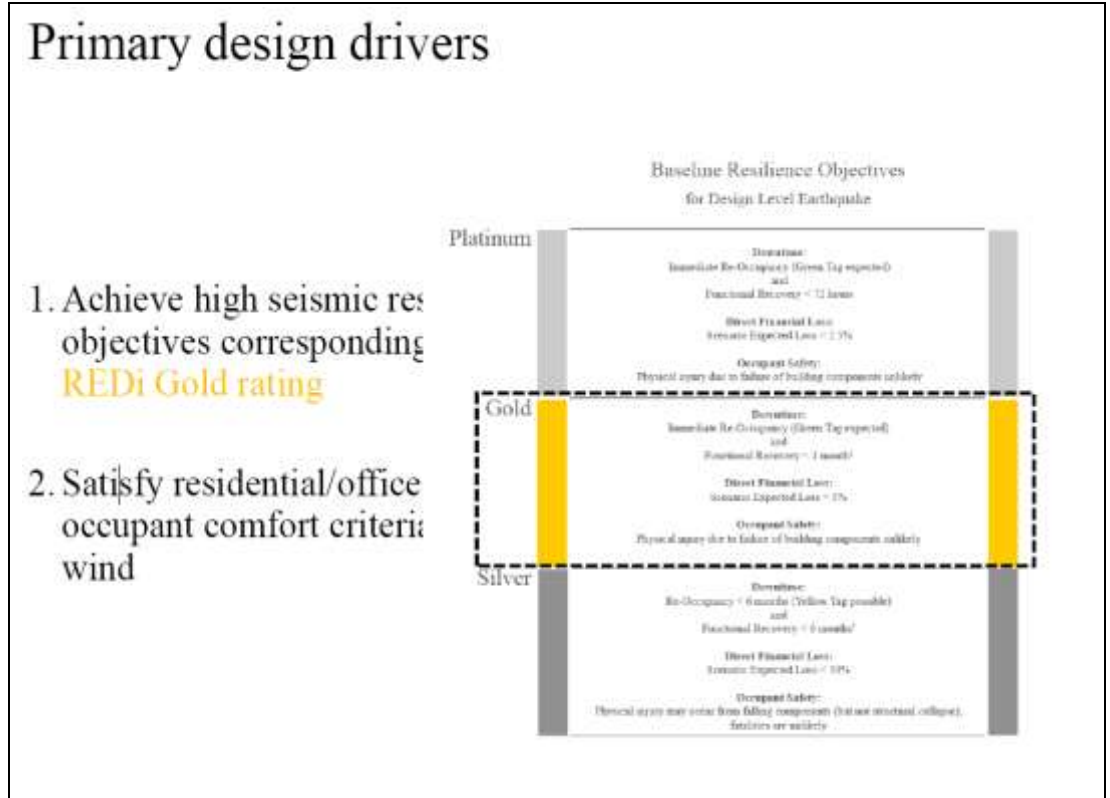
Yukarıdaki grafikte alt eksen tasarım depreminde %50 güvenlik seviyesine göre öngörülen platin, gümüş ve altın seviyeleri için içeri girebilme tekrar kullanabilme süresini gösteriyor. Bordo renk gösterilen normal yönetmeliğe göre yapılmış seviyeyi göstermektedir.



Şekil 2.29: REDİ seviyelerine göre aranan özellikler.

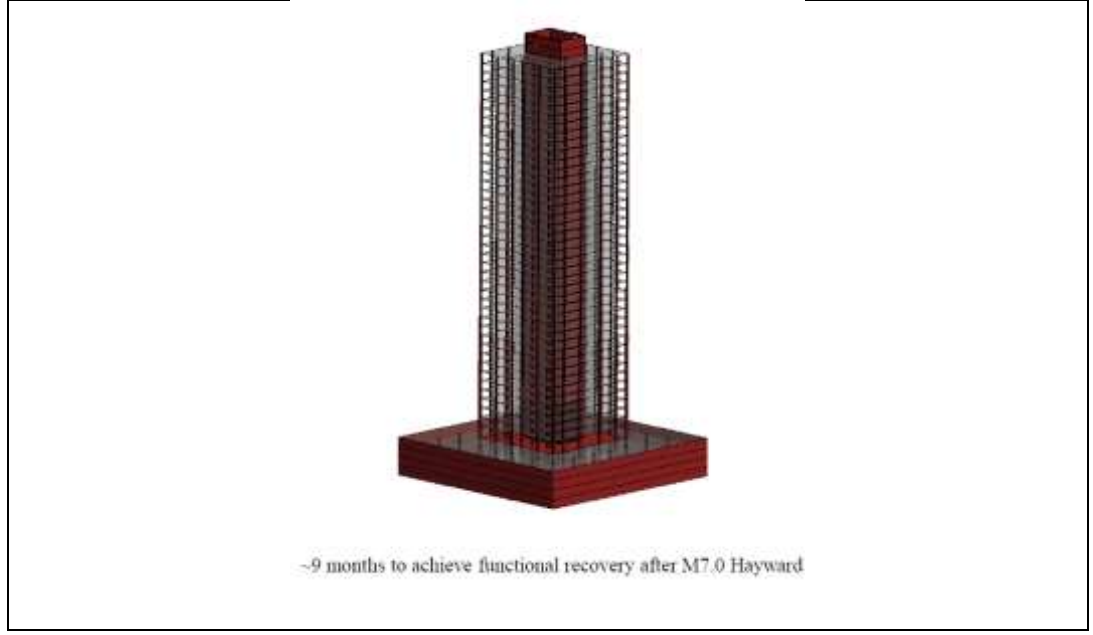
Örneğin bir gümüş seviyesinde bina içerisinde yapısal olmayan elemanlarda ek olarak önlemler alınmasını göstermektedir. Kitaplıkların sabitlenmesi, kabinetlerin [FEMA E74] e göre önlemlerin alınması gerektiğini gösteriyor.

Örneğin Platinum seviye için binanın çevresindeki binalarında performans seviyelerinin bilinmesi ve çevresel etkenlerin de bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 2.30: [REDİ] seviyesine göre başlangıç tasarım kararı.

İşveren veya bina sakinleri proje aşamasında yuvarlak masa etrafında tüm disiplinler (Statik, Mekanik, Elektrik, Yangın danışmanı, Mimari, Cephe danışmanı ve Geoteknik) bunun yanında işveren, finansal yatırım yapan bankacı ve buna ilave olabilecek sigortacılar resilansa bağlı bir atölye çalışması yaparak ortak karar alarak devam edilmelidir. Buna göre karar verilen seviye için tüm ekip bu seviyeyi sağlayacak tasarımlarını yapmalıdır. Aşağıdaki yapıda tüm verilere göre olabilecek en büyük depremde (7 büyüklüğünde) ortalama 9 ay gibi bu bina kullanılamaz hale geliyor.



Şekil 2.31: Hasar durumunu gösteren örnek bina modeli.

2.8.5. Pact Programına Göre Tamir Süresi

[PACT], her kattaki her bir hasarlı bileşen türü (yapısal ve yapısal olmayan) için gerekli onarım süresini sağlar.

‘Adam / Gün. Bu bilgiyi edinme süreci, aşağıdaki Tablo 1 ve Şekil 3'te verilmektedir.

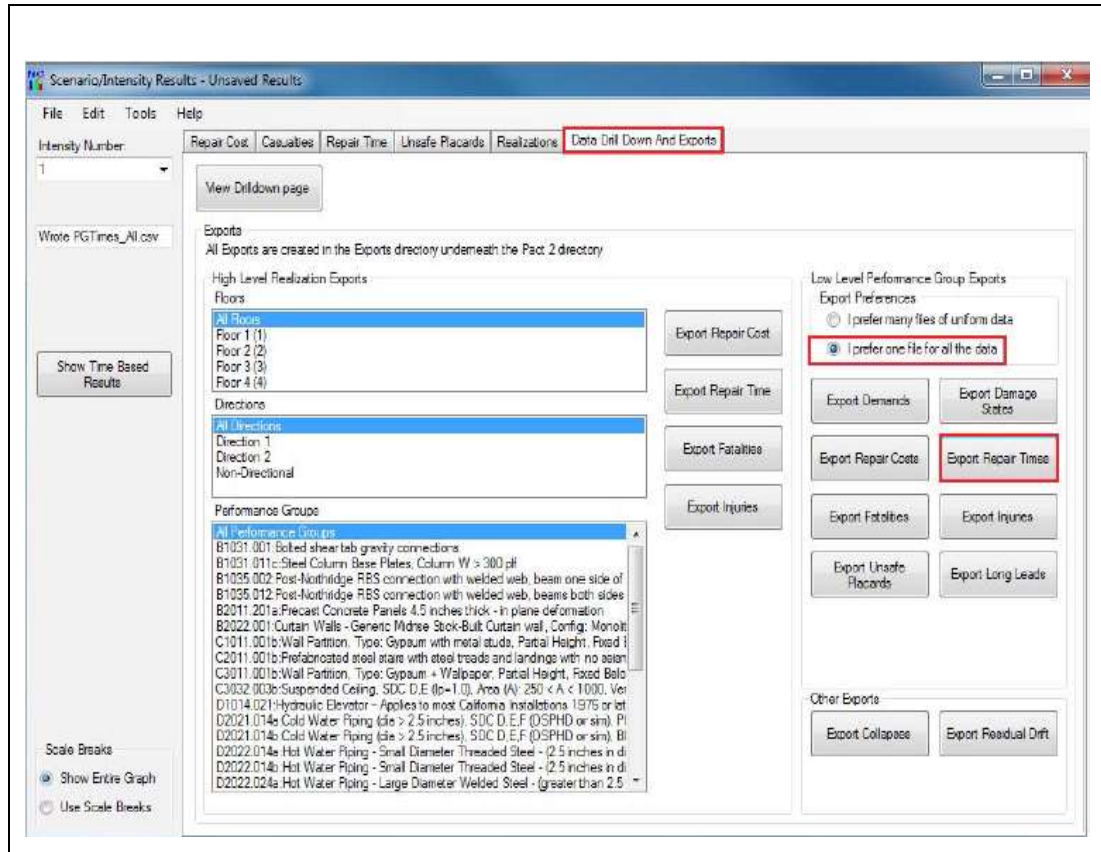
Onarımlar Nedeniyle Kesinti” bölümünde aşağıda verilen kesinti hesaplamalarını yapmak için gereklidir.

Toplam tamir süresi tahminleri, kat başına toplam 'adam-gün' sayısının her bir kata tahsis edilen işçi sayısına bölünmesiyle hesaplanır (kat taban alanına bağlı olarak) ve daha sonra tüm katlarda yapılan onarımların aynı anda (tüm katlarda olduğu varsayılır) paralel olarak tamir edilir) veya yalnızca bir kattaki onarımlar tamamlandığında (tüm katlar seri olarak onarılır), en düşük seviyeden başlayarak.

Paralel ve seri varsayım için tamir süresi tahminlerindeki fark önemli olabilir. Örneğin, paralel tahminler aylara göre olabilir ve seri tahminleri binadaki kat sayısına bağlı olarak yıllara göre olabilir. Sonuçlar hikâye sayısı arttıkça farklılık gösterir. Alt ve üst sınırlar arasındaki bu geniş aralık karar verme veya beklenmedik durum planlaması için kullanışlı değildir. Bu sınırlamaları ele almak için alternatif bir yöntem araştırılmıştır.

1. Click on the 'Examine Results' tab on the PACT Control Panel, then 'Data Drill Down and Exports' tab.
2. Select 'I prefer one file for all the data' and then click on 'Export Repair Times'. This will create a spreadsheet of repair times for each building component, as a function of floor level, direction, and each realization.
3. Add direction 1 and 2 repair time values for each drift-sensitive component for each realization.
4. Obtain median (or desired probability of non-exceedance) loss for each component at each floor level.
5. At this point the data has been filtered such that repair times are displayed for each component at each floor level only.

Şekil 2.32: PACT onarım zamanı verilerinin ayrıştırılması için talimatlar.



Şekil 2.33: Onarım süresi verisinin PACT'ten ayrıştırılması.

2.8.6. Bina Bileşenleri İçin Ortalama Hasar Dereceleri

Aşağıda sunulan metodoloji ortalama hasar durumlarının (DS) kullanımını içermektedir.

Ortalama hasar durumu (DS), belirli bir katta belirli bir yönde hasar görmüş bileşenlerin sayısını (diğer bir deyişle, performans grubu), aşağıdaki denklemle bulunabilir [FEMA,2013].

$$\overline{DS} = \frac{\sum_{i=1}^n i \cdot DS_i}{n} \quad (2.1)$$

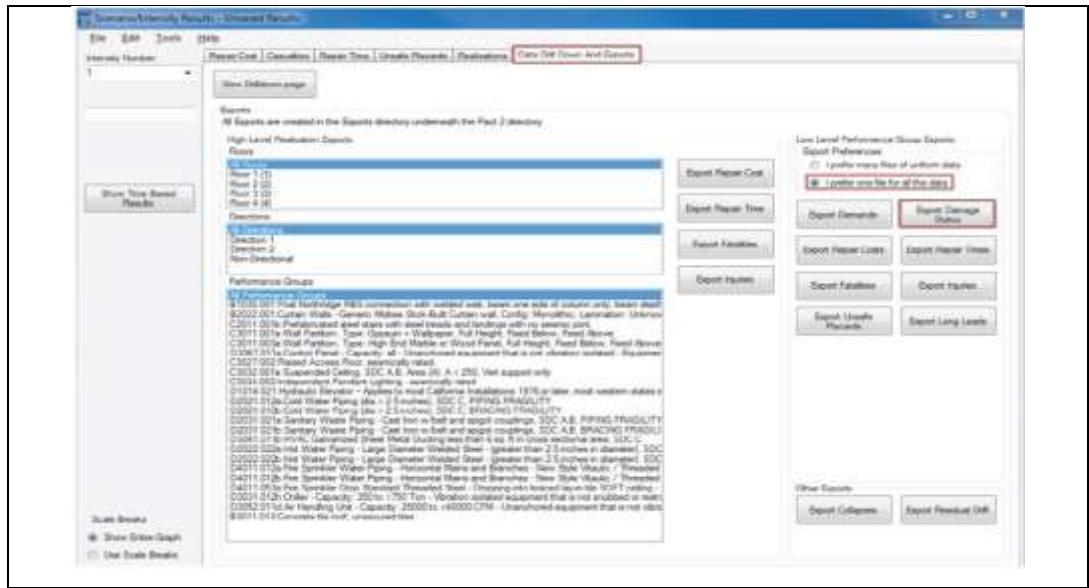
DS, belirli bir kattaki hasar durumundaki bir bileşenin miktarını belirli bir yönde belirli bir yönden temsil eder ve "n" o kattaki toplam bileşen sayısıdır.

$$\overline{DS} = \frac{\sum_{i=1}^n i \cdot DS_i}{n} = \frac{(1.2) + (2.5) + (3.3)}{10} = 2.1 \quad (2.2)$$

Ortalama hasar durumunu (DS) hesaplarken hasar dağılımı kaybedilse de belirli bir kat seviyesinde belirli bir bileşen için hasarın derecesinin makul bir göstergesi kabul edilebilir. Ne yazık ki, bu parametre tüm bileşenlerde normalize edilmemiştir, çünkü 3 hasar seviyesine sahip bileşenler maksimum 3 değerine sahipken, sadece 1 hasar durumuna sahip bileşenler maksimum 1 durumuna sahip olacaktır. Bu nedenle, 3 hasar durumuna sahip bileşenler (DS) = 3 civarında büyük hasar gösterirken 1 hasar seviyesine sahip bileşenler (DS) = 1 civarında büyük hasar gösterir. Bu, aşağıda tanımlanan “Onarım Sınıfları” nı tanımlama ihtiyacını gerektiriyordu. Her kattaki her bileşen tipi için ortalama hasar durumu değerleri elde etme prosedürü ana hatlarıyla aşağıda belirtilmiştir.

1. Click on the 'Examine Results' tab on the PACT Control Panel, then 'Data Drill Down and Exports' tab.
2. Select 'I prefer one file for all the data' and then click on 'Export Damage States'. This will create a spreadsheet of average damage states (DS) for each building component, as a function of floor level, direction, and each realization.
3. Take maximum of direction 1 and 2 for the average damage state values for each drift-sensitive component for each realization, since the more severely damaged component would govern the repair on that floor.
4. Obtain median (or desired probability of non-exceedance) loss for each component at each floor level.
5. At this point the data has been filtered such that average damage states are displayed for each component at each floor level only.

Şekil 2.34: PACT ortalama hasar durumu verilerinin ayrıştırılması için talimatlar.



Şekil 2.35: Ortalama hasar durumu verilerinin [PACT]'ten ayrıştırılması.

2.8.7. Hasar Değerlendirmesi İçin Onarım Sınıflarının Tanımlanması

Belirli kurtarma durumlarına ulaşmanın getirdiği arıza süresini hesaplamak için 'Repair Class' adlı bir parametre sunuyoruz. Onarım Sınıfları, her bir bileşene verilen hasarın (o bileşen için ortalama hasar durumuyla ölçülen) belirli iyileşme durumlarını engelleyip engellemeyeceğini açıklar. Ek olarak, Onarım Sınıfları, aşağıda "Gecikmelere Bağlı Kalma Süreleri" bölümünde açıklanan onarımların başlatılmasındaki gecikmelerin ("engelleyici faktörler") belirlenmesine yardımcı olmak için kullanılır. Onarım Sınıflarının tanımı Tablo 2.2de verilmiştir ve [PACT]'ta her bir bileşene bir Onarım Sınıfı atamak için mantık aşağıda daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Kullanıcı tanımlı kırılma sınıfları dahil edilirse, bu bileşenler için

Onarım Sınıfı ataması kullanıcının kararına bırakılır, ancak burada açıklananla aynı mantığa dayalı olması gerekir.

Tablo 2.2: Onarım sınıfı tanımları.

Repair Class	Repair Description
3	Heavily damaged <i>structural</i> or <i>non-structural</i> components which pose a risk to 'life-safety' and must be repaired to achieve Re-occupancy . Consequently, these components must also be repaired to achieve Functional Recovery and Full Recovery, since by definition they follow Re-occupancy.
2	Damaged <i>non-structural</i> components which do not pose a 'life-safety' risk or otherwise hinder Re-occupancy but must be repaired to achieve Functional Recovery . Consequently, the component must all be repaired to achieve Full Recovery, since by definition it follows Functional Recovery.
1	Minimal or minor cosmetic damage to <i>structural</i> or <i>non-structural</i> components which do not hinder Re-occupancy or Functional Recovery but must be repaired to achieve Full Recovery .

2.9. Resilyansa Göre Tasarım Yapılan Binaların Dünya’da Örnekleri

2.9.1. British Columbia Üniversitesi Sismik Esneklik Çalışması

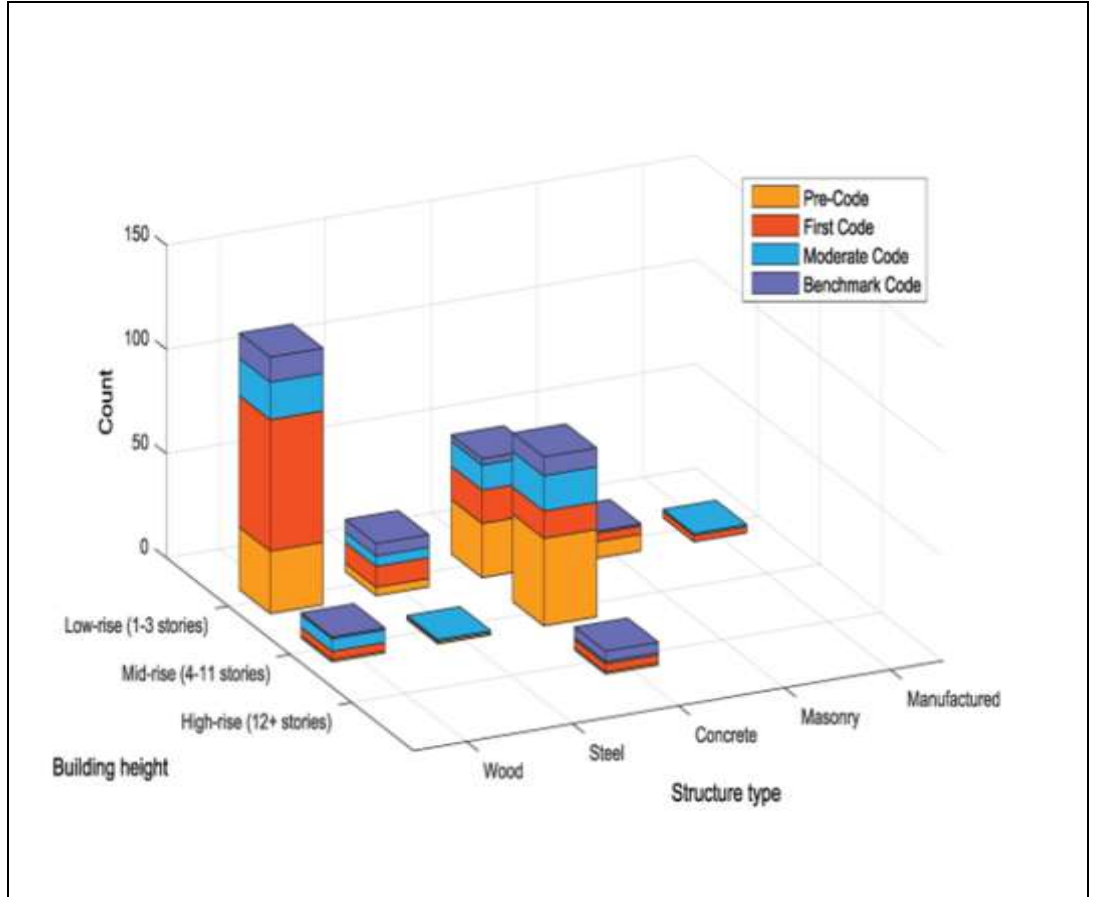
1990'lı yıllarda araştırmacılar, Cascadia'nın alt bölgelerinin, bu büyüklüğün önceki depreminin kanıtlarına dayanarak 9.0 büyüklüğünde bir deprem üretebileceğini keşfetti.

Bu bulgu, yer hareketinin öngörülmesi konusundaki gelişmiş araştırmaların yanı sıra, Kuzeybatı Pasifik'teki bilinen sismisitedeki önemli artış nedeniyle eski binaların savunmasız olabileceği anlamına geliyor. Modern bina kodları, bu tür olaylarda can güvenliğini sağlamaya yardımcı olmakla birlikte, orta ila büyük bir depremden sonra binaların yeniden kullanılmasını veya işlevsel olmasını sağlamaz. British Columbia Üniversitesi, büyük bir deprem durumunda, öğrencilerinin, fakültelerinin ve personelinin güvenliğini sağlamak ve aynı zamanda daha ılımlı depremlerde en az olacak şekilde öğretim ve araştırma kesintisini sağlamak istedi.

Proje özeti;

- Kampüsteki binalar sayısı 328
- Bireysel kampüs hizmetleri 5
- Vancouver kampüsündeki öğrenci sayısı 55887

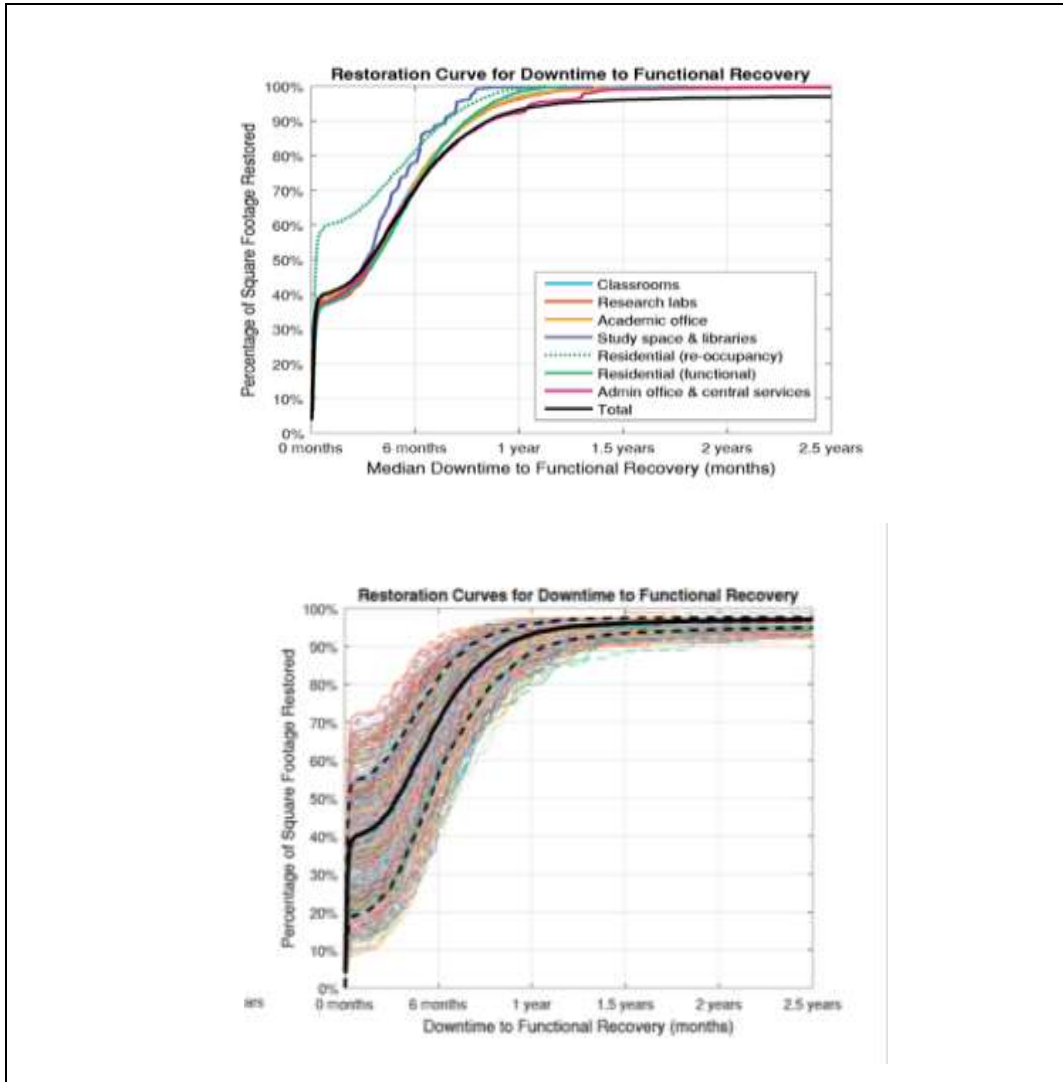
Sismik mühendislik portföyü risk değerlendirmesi yapmak ve mevcut yaklaşık 330 binası ve kampüste hizmet programı altyapısı için bütünsel bir esnekliğe dayalı tasarım stratejisi taslağı hazırlamak üzere British Columbia Üniversitesi [UBC] tarafından anlaşma sağladılar. Bu strateji, bozulmaları hafifletmeyi ve üniversite için kampüs yaşam güvenliği ve iş sürekliliği hedeflerini gerçekleştirmeyi amaçladılar.



Şekil 2.34: [UBC] bina portföyü.

Kampüsteki binalar ağırlıklı olarak alçak, hafif ahşap iskeletli binalar ve alçak-orta katlı betonarme binalarıdır. Bina stokunun üçte ikisi, modern sismik bina yönetmeliklerin çıkmasından önce inşa edildi. Sonuç olarak, deprem bilimindeki daha

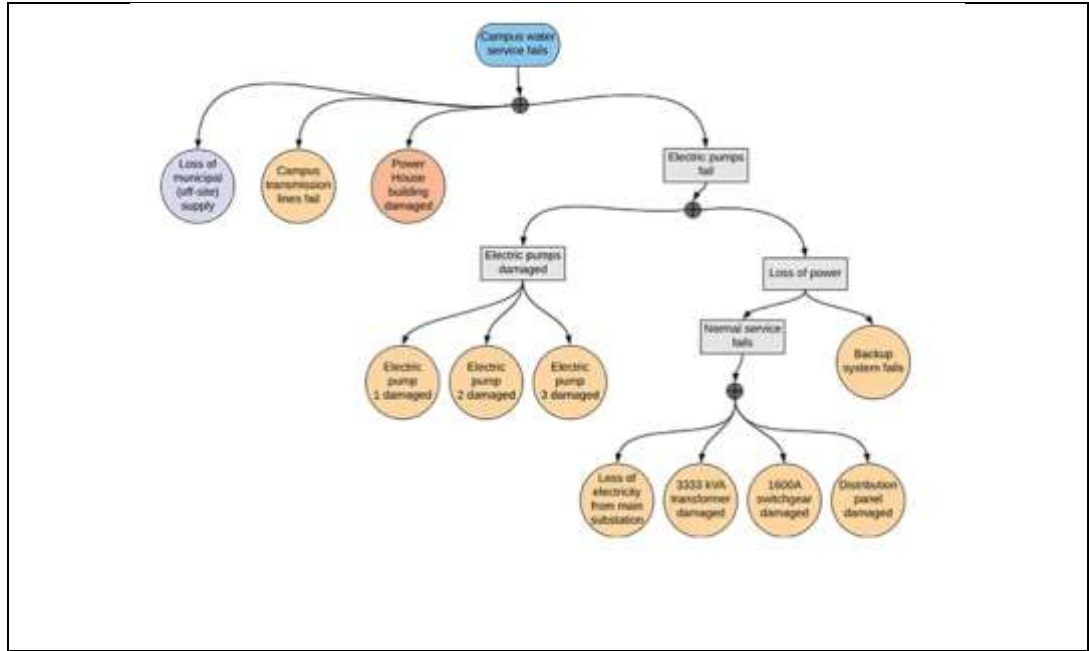
yeni gelişmeler ve önceki olaylardan öğrenilen dersler kampüsteki binaların çoğunun tasarımında ele alınmadan yapılmıştır.



Şekil 2.35: Kampüs binalarının ve kamu hizmetlerinin geri kazanılmasının nicelendirilmesi.

Kampüsteki mevcut binaların her biri için, binlerce farklı deprem senaryosunu neredeyse simüle ederek sayısal bir sismik risk değerlendirmesi yapıldı. [REDİ] kesinti değerlendirme metodolojisi- bir şokun (deprem gibi) tamamen muhtemel bir şekilde tahmin edilen bozulmasını tahmin etmeyi öngören bir metodoloji- öngörülen hasarın bina seviyesi kapalı kalma süresi, yeniden doluluk durumuna nasıl çevrildiğini anlamak ve fonksiyonel iyileşme için kullanıldı. Bu ölçütler daha sonra, dört farklı geri dönüş dönemi deprem olayı sonrasında farklı kampüs hizmetlerinin kesintiye uğradığı süreyi anlamak için UBC tarafından sağlanan

doluluk verileriyle ilişkilendirildi. Acil durum planlamasına yardımcı olmak için çeşitli kampüs hizmetlerinin temel riski hakkında bilgi kullanılabilir.



Şekil 2.36: Kampüs binalarının etki kayıp şeması.

Bir depremten sonra binalar göreceli olarak hasar görmemiş olsa bile, güç ve su gibi tesisler restore edilinceye kadar işlevselliğe devam edilemez. Kamu hizmetinin kesilmesi ve restorasyon, ağdaki karşılıklı bağımlılıklar ve fazlalıklar nedeniyle tahmin yapmakta zorlanabilir. Tasarım mühendisleri, sanal deprem simülasyonlarında kampüs kullanım ağını sağlam bir şekilde ele almak için bir fay ağacı analizi (sistemleri analiz konusunda kesinti yaklaşımı) gerçekleştirmiştir.

Öğrenci yer değiştirme ve dışarı göç çalışmaları;

Öğrenciler bir üniversitenin devamı ve çalışması için gereklidir. Eğer birçok öğrenci bir depremten sonra göç etmeli veya kalıcı olarak ayrılırsa, üniversitenin sosyal yapısını önemli ölçüde değiştirebilir, ününe zarar verebilir ve harç geliri ve araştırma hibeleri nedeniyle yıllarca finansal sağlığını etkileyebilir. Öğrenciler çeşitli nedenlerden dolayı göç etmeye karar verebilirler, ancak en önemlisi konutlarından uzun bir yer değiştirme, uyum sağlama kapasitelerinin sınırlı olması (örneğin, uluslararası bir öğrenci veya yerel bir destek ağına sahip olmayan yerel birinci sınıflar) ve öğretme konusunda önemli bir aksama.

Tasarım Mühendisleri, öğrencilerin çeşitli deprem senaryolarında yatakhanelerden ne kadar süre sonra yerlerinden edileceğini anlamak için nicel sismik

risk değerlendirmesi sonuçlarını kullanabildi. Bu bilgi, ğrenci göçünü tahmin etmek için ğrenci demografisiyle birleştirilmiştir.

Etki azaltma stratejisinin uygulanmasına doğru hareket;

Tasarım mühendisleri [UBC]'ye operasyonel önlemler ve fiziksel iyileştirmeler de dahil olmak üzere depremlere karşı dayanıklılığını arttırması için çeşitli adımlar attı. Güvenlik, niversite için ilk öncelik olduğundan, maliyet-fayda analizi ilkelerini kullanarak can güvenliğini en ciddi şekilde arttırmak için belirli bir bütçe dahilindeki çeşitli azaltma stratejilerini bilgilendirmeye yardımcı oldu. Kampüs, eksiklikleri ve ilgili güçlendirme kavramlarını daha iyi anlamak için detaylı yapısal analizler yapmak için çalışmadan en zayıf binaların bir alt kümesini seti. Bununla birlikte, British Columbia niversitesi, önemli sismik dayanıklılığa bir adım daha yaklaşmıştır.

3. SAYISAL ÖRNEKLER VE SONUÇLARI

3.1. Yapısal Model, Malzeme Özellikleri ve Yük Kabulleri

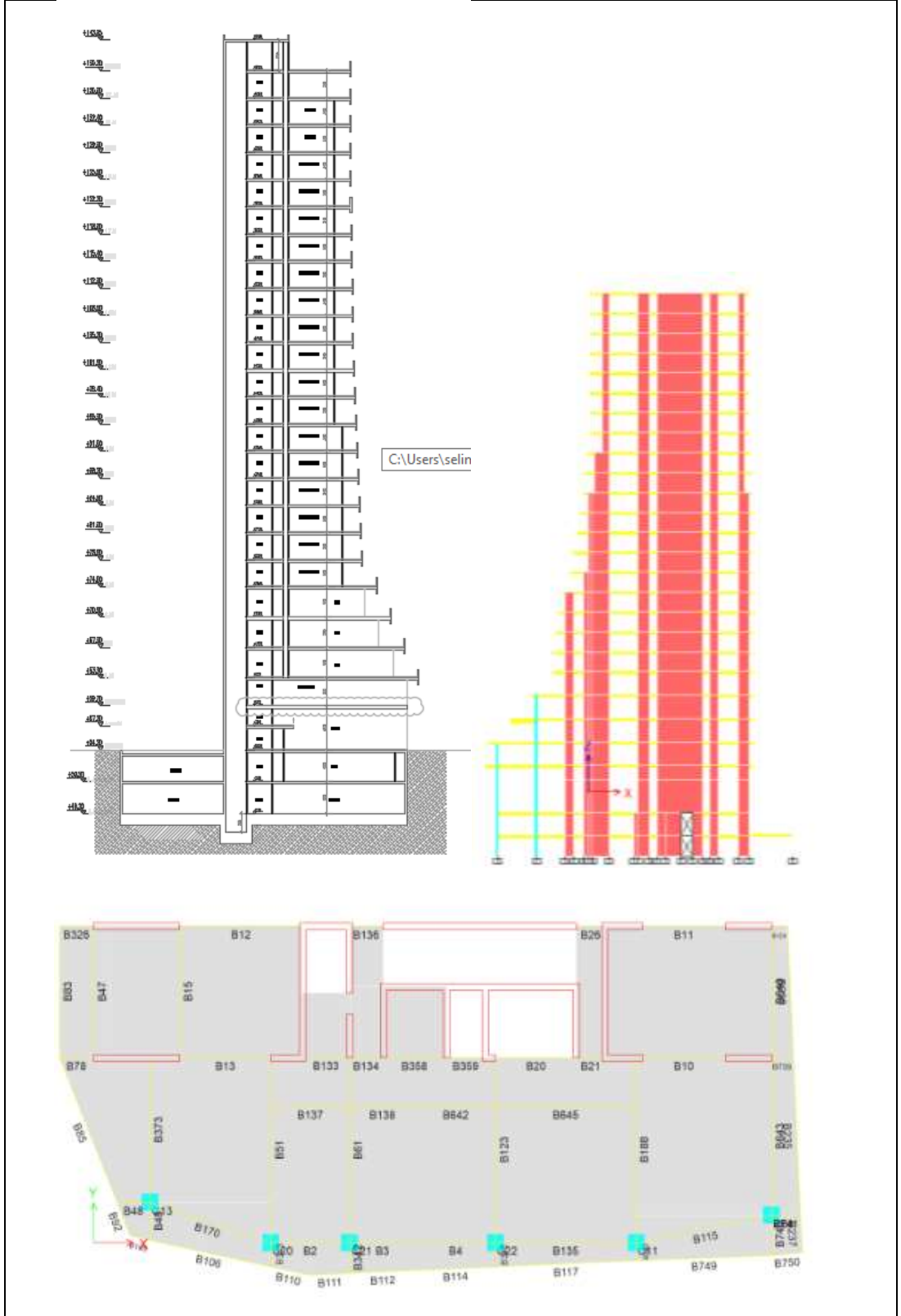
3.1.1. Yapı Özelliklerinin Belirtilmesi

Bu çalışmada 28 Katlı binanın doğrusal olmayan performansa dayalı tasarım gerçekleştirme hesaplarını içermektedir. Yapının 2 bodrum katının üzerinde zemin ve çatı katları da dahil olmak üzere 28 kattan oluşmaktadır. Çatının zeminden yüksekliği 80.85 metredir. Tipik kat yüksekliği normal katlarda 3.20, bodrum katlarında 4.00, 3.50 ve 3.80 metredir.

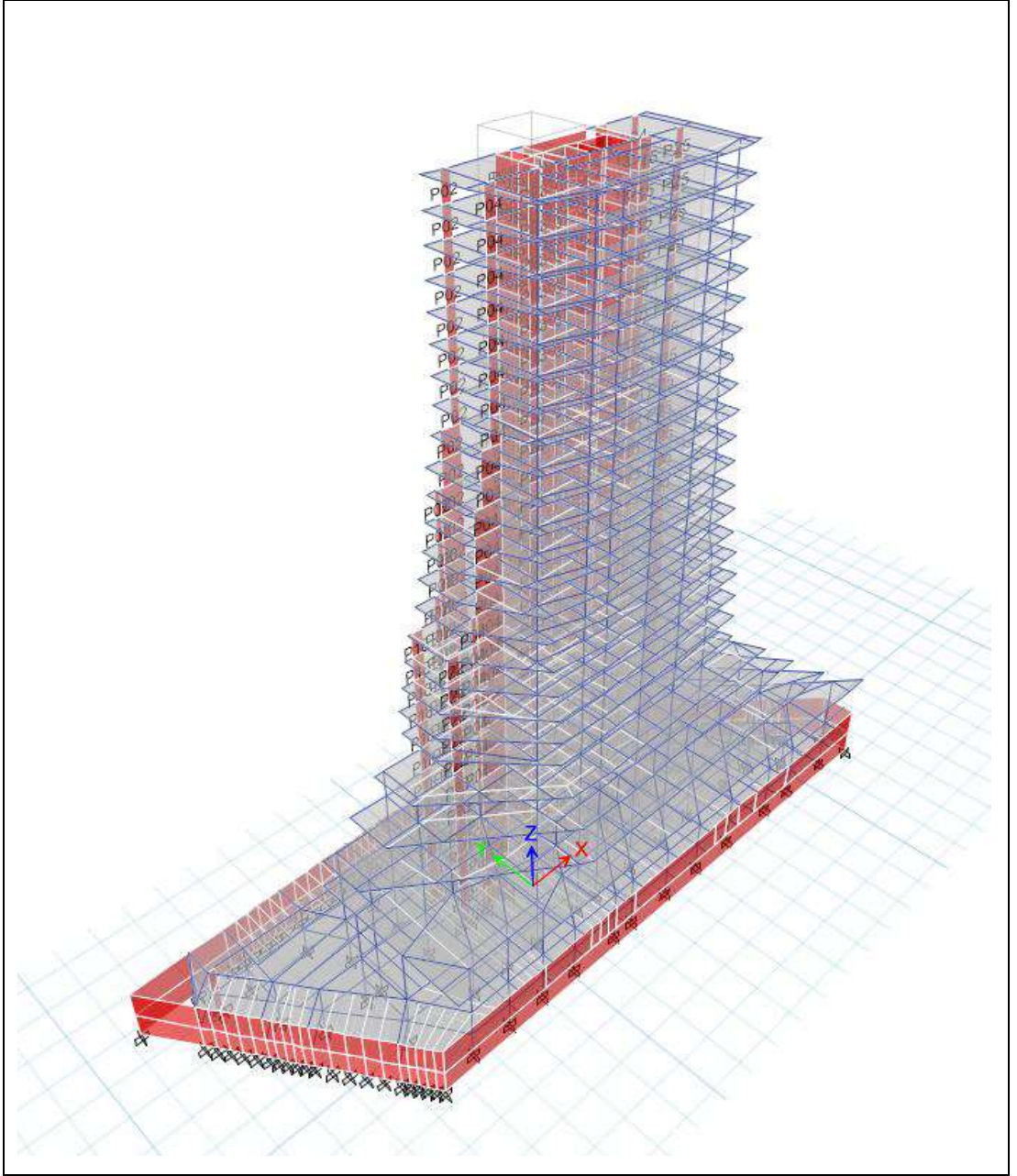
Bu çalışmada kullanılan binanın orta kısmında ve kenar aksta betonarme çekirdek perdeler bulunmaktadır. Bu perdeler betonarme bağ kirişleri ile birbirine bağlanmaktadır. Çekirdek perdeler dışında düşey/yatay taşıyıcı olarak betonarme kolonlar bulunmaktadır. Ana kirişler moment aktaran çerçeve b.a. kirişlerden oluşmaktadır. Döşeme sistemi kirişli plak sistem olarak düşünülmüştür.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile yapısal elemanların ve yapı sisteminin sismik davranışı incelenecektir. Yönetmeliğe göre performansı belirlenmesinin ardından [PACT] programı kullanılarak risk analizleri yapılacaktır. Tüm bu analizler öncesi ön tasarım yapılmalıdır. Yapısal analizde mod birleştirme yöntemi kullanılır. Sönüm oranı %5 alınacaktır. Yapı sistemindeki elemanların modellenmesinde tablo 7’de bulunan etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılacaktır. Bu aşamadaki analiz için Etabs 2017 programı kullanılmıştır. Daha sonra yapının doğrusal ötesi davranışı Perform-3D programı ile incelenmiştir.

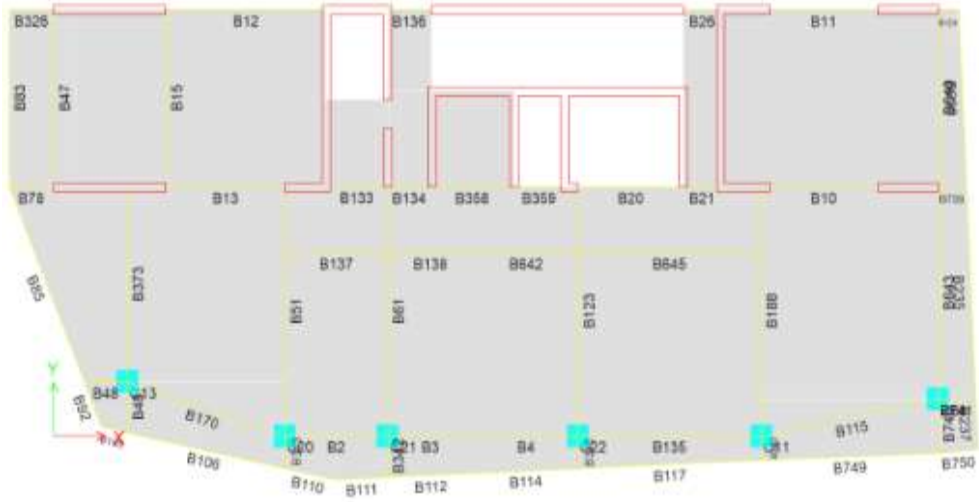
Bu bölümde ön tasarım hakkında kısa bilgiler verilecek olup doğrusal olmayan davranış hakkında ayrıntılı bilgiler verilecektir.



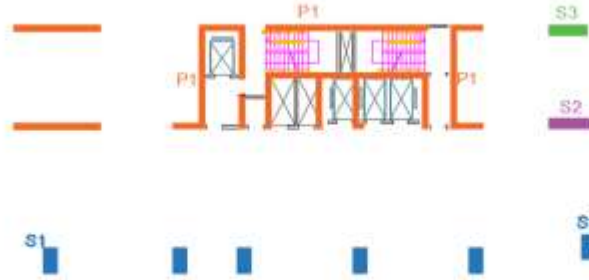
Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan binanın kesit ve plan görünüşleri.



Şekil 3.2: Yapı modelinin 3 boyutlu görünümü.



a)



Perde Boyutları		Kolon Boyutları	
P1 ■ $h_w = 30$ cm Tüm Katlar		S1 ■ 80*60 --- +115.40 --- Üst 80*80 --- +98.40 --- +112.00 80*100 --- +88.20 --- +100.00 80*120 --- +74.00 --- +84.00 80*150 --- +50.20 --- +70.00	
S2 ■ 130*30 --- +112.00 --- Üst 220*30 --- +98.40 --- +100.00 270*40 --- +88.20 --- +94.00 270*50 --- +74.00 --- +84.00 270*60 --- +50.20 --- +70.00	S3 ■ 130*30 --- +112.00 --- Üst 220*30 --- +98.40 --- +100.00 220*40 --- +88.20 --- +94.00 220*50 --- +74.00 --- +84.00 220*60 --- +50.20 --- +70.00		
Normal Katlarda		Bodrum Katlarda & Podyumda	
Döşeme Yüksekliği $h_f = 17$ cm Kiriş Yüksekliği $h_r = 50$ cm		Döşeme Yüksekliği $h_f = 20$ cm Kiriş Yüksekliği $h_r = 60$ cm	

b)

Şekil 3.3: Yapı modelinin plan görünümü a) ve Yapı elemanlarının kesit özellikleri b).

Yapı elemanları malzeme özellikleri;

Beton (TS 500)

Tablo 3.1: Malzeme tablosu.

C40 Dayanım	
Karaktersik Dayanım f_{ck} (kN/m ²) C40	40000
Elastisite Modülü E_c (TS-EN 1992-1) (kN/m ²)	34000000
Kayma Modülü G (kN/m ²)	13200000
Birim Hacim Ağırlığı γ_{beton} kN/m ³	25
Poisson oranı ν	0.25
γ_{mc}	1.5
Donatı Çeliği (B420-C) (kN/m ²)	420000
Elastisite Modülü (E_s)	200000000
Kopma Dayanımı	500000
kopma uzaması	0.12

Yük kabulleri şu şekildedir:

Döşeme Hareketli Yükleri:

- Hareketli yük (Konut) $q = 2.00$ kN/m²
- Hareketli yük (Otopark) $q = 5.00$ kN/m²
- Hareketli yük (Teras) $q = 3.50$ kN/m²

Döşeme Kaplama Yükleri:

- Otoparklarda Kaplama Yüğü $g = 2.20$ kN/m²
- Zemin Katta Kaplama Yüğü (30 cm toprak) $g = 7$ kN/m²
- Normal Katlarda Kaplama Yüğü $g = 2.20$ kN/m²

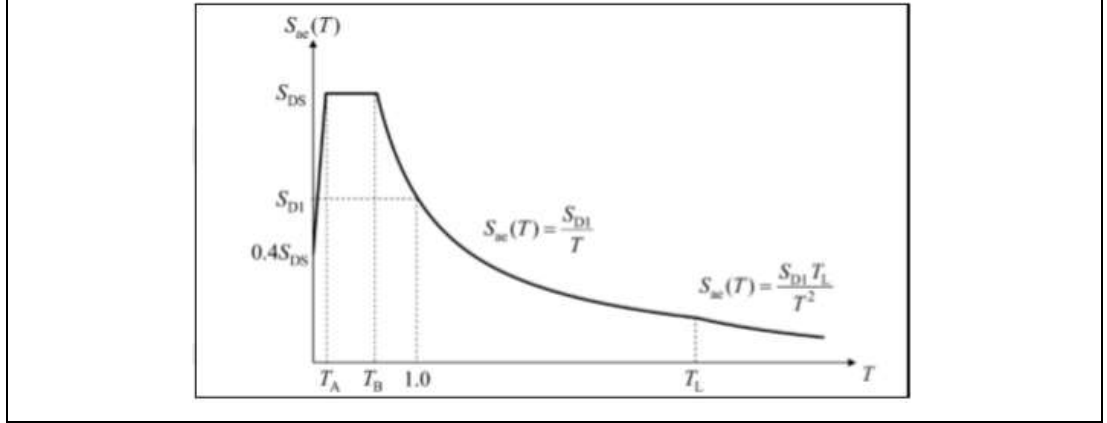
Duvar yükleri:

- Döşeme üzerinde yayılı olarak 1 kN/m² olarak etkittirilmiştir.

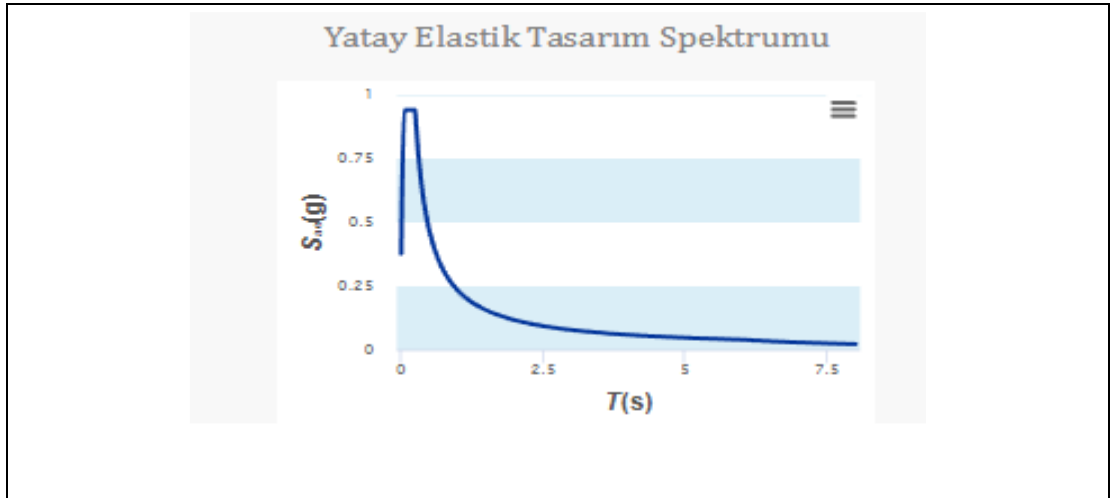
Yapısal elemanların kendi ağırlıkları kullanılan program tarafından otomatik olarak hesaplatılıp yapısal sisteme yüklenmektedir.

3.1.2. Deprem Parametreleri

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları TDTH verileri kullanılarak, <https://testtdth.afad.gov.tr/> adresinden, Deprem Yer Hareketi Düzeyi (DD2) için Tasarım İvme Tepki Spektrum Grafiği elde edilip, hesaplar buna göre yapılmıştır.



Şekil 3.4: DD2 tasarım ivme spektrum grafiği.



Şekil 3.5: Yatay elastik tasarım spektrumu.

Tablo 3.2: Kısa ve uzun periyot davranış spektrum katsayıları.

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	SS	1.042
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	S1	0.288
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	SDS	0.938
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	SD1	0.23

Tablo 3.3: Hareketli yük kütle katılım katsayısı.

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

Tablo 3.4:Bina kullanım sınıfı.

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (<i>I</i>)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kıışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Aalışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Tablo 3.5: Deprem Tasarım sınıfı.

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

Tablo 3.6: Bina yükseklik sınıfı.

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Tablo 3.7: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	$BYS \geq 2$
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	$BYS \geq 4$
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2.5	$BYS \geq 4$
A23. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> <i>doğrusal (azmolen)</i> veya <i>doğrusal tek doğrultulu diğli döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 6$
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> <i>doğrusal (azmolen)</i> veya <i>doğrusal tek doğrultulu diğli döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	$BYS \geq 6$
A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.3, 4.3.4.7)			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	$BYS \geq 7$
A32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$

3.1.3. Yapı Sisteminin Ön Tasarım Aşaması Hesapları

TBDY 2018 'deki 13.bölümdeki kurallara göre yapılmıştır. Bu bölümde boyut ve donatı belirlemek için yapılan tasarıma 1.aşama denilmektedir. Bu tasarım DD-2 deprem düzeyini can güvenliği (CG) performans seviyesinde sağlayacak şekilde dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımı ile yapılmıştır. Yönetmelikte bulunan 4.bölüm kurallarının yanı sıra 13.bölümde belirtilen kurallara göre tasarım yapılmaktadır. Tez çalışmasının asıl amacı doğrusal olmayan davranış olup bu bölümümde tasarım aşama 1 ile ilgili kısa bilgiler verilecektir. Taşıyıcı sistem elemanları modellenirken Taslak-[TBDY] bölüm-4 de belirtilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmıştır. İlgili değerler tablo 7'de sunulmuştur.

Deprem hesabı mod birleştirme yöntemi ile yapılmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R yönetmelikte bulunan tablo 4.1’den alınmıştır. Seçilen R değeri 6, D değeri ise 2.5’tir. Yüksek binanın ön tasarımında, $R = 6 \cdot 4 \cdot 5 = 4.8$, $D=2.5$ katsayısı kullanılmıştır. Mod birleştirme ile hesaplanan deprem kuvvetleri her iki yönde (x,y), yönetmelik bölüm-13’de verilen minimum taban kesme kuvveti (denklem 4.1) ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.8: Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği.

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

3.2. Yapı Analiz Sonuçları

3.2.1. Modal Analiz Sonuçları

Tablo 3.9: Binaın hâkim olan mod özellikleri.

		Kütle Katılım Oranı	
Mod	Periyot (s)	UX	UY
1.Mod	4.961	0.0001	0.4441
2.Mod	4.32	0.1851	0.0001
3.Mod	2.221	0.2882	0.001

Yapının depreme esas ağırlığı $G+nQ = 286.667 \text{ kN}$ 'dur

Azaltılmış iç kuvvetlerin, Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetine Göre Büyütülmesi

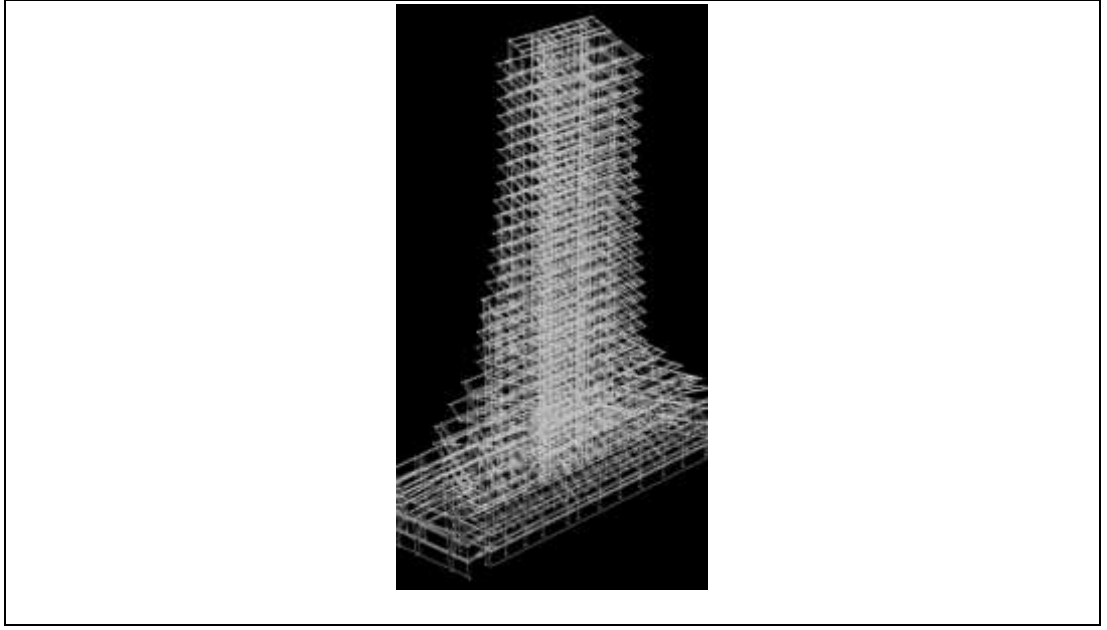
Tablo 3.10: Binanın minimum deprem yükü hesabı.

Mod Superpozisyonu Deprem X	SpecX
Mod Superpozisyonu Deprem Y	SpecY
$\gamma E =$	0.9
$G+nQ \quad W=$	285867 kN
$V_{tx} =$	10902 kN
$V_{ty} =$	9331 kN
$V_{tE^{(x)}}=$	7606 kN
$V_{tE^{(y)}}=$	3306 kN
Min $V_{tE} =$	10734 kN
Toplam Katılım X=	0.973
Toplam Katılım Y=	0.988
SaR ($T_p(x)$) =	0.027 g
SaR ($T_p(y)$) =	0.012 g

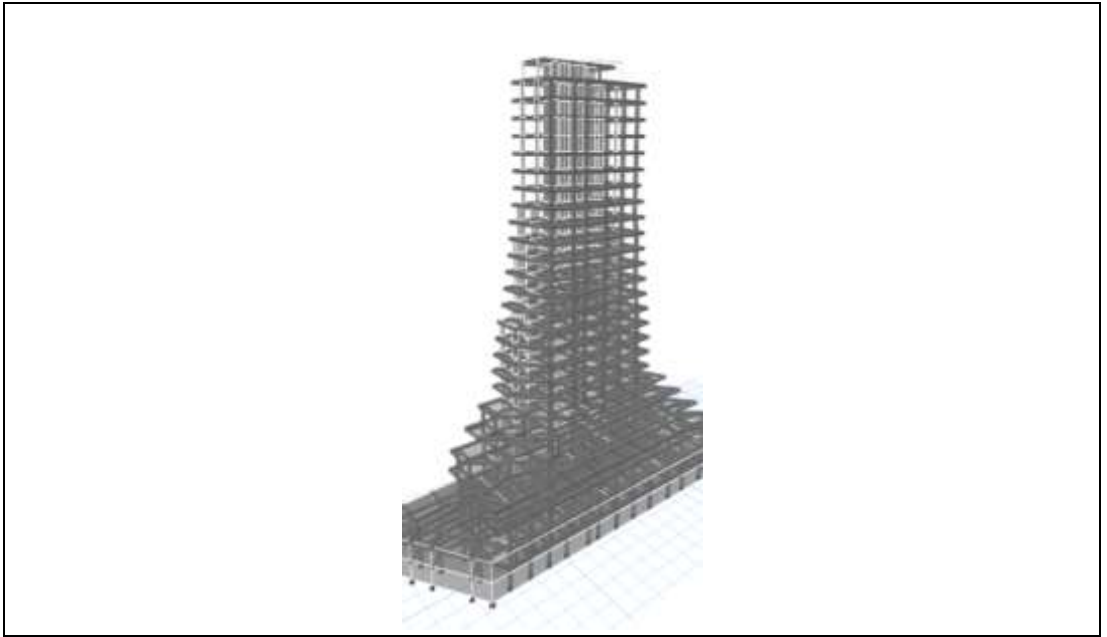
Y yönü için hesaplanan deprem kuvveti $10734/9331=1.04$ katsayısı ile büyütülmüştür. Hesaplanan deprem kuvvetleri, düşey yükler ile birleştirilerek yükleme kombinasyonları oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlara göre elemanların ön boyutlandırılması yapılmıştır.

3.3. Yapı Sisteminin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi

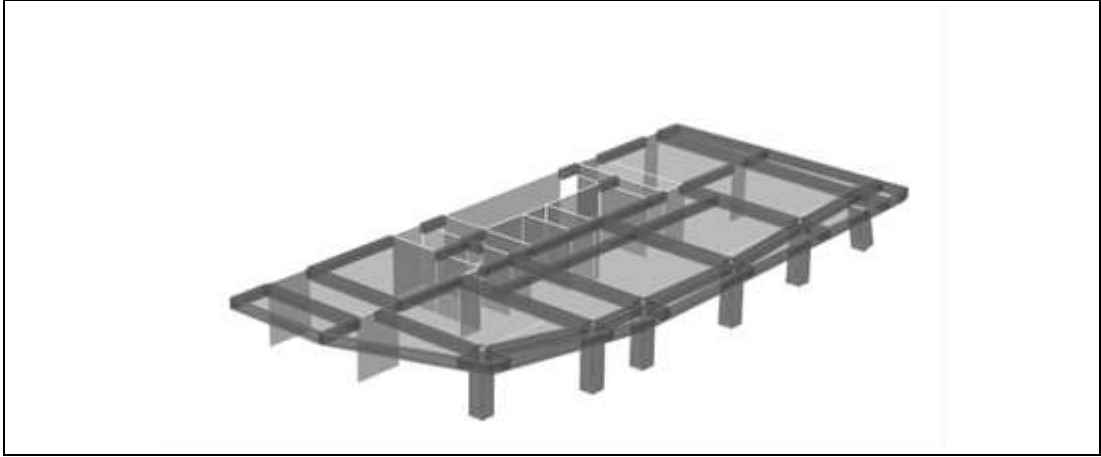
Bu çalışmada sunulan sonuçlar, tasarım raporları ve CSI ETABS analiz modeli baz alınarak ve binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi için CSI Perform3D programı kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 3.6: Perform3D modeli.



Şekil 3.7: ETABS modeli.



Şekil 3.8: Doğrusal olmayan yapı modeline tanımlanan taşıyıcı elemanlar.

3.3.1. Yapının Doğrusal Olmayan Analiz Modeli

Performansa dayalı tasarım kontrolü kapsamında yapının doğrusal olmayan analizleri için kullanılacak hesap modeli oluşturulurken doğrusal elastik modellemekten farklı olarak tüm yapısal elemanlar doğrusal olmayan modele dahil edilmeyebilir. Ancak, yapının yanal rijitliğine ve deprem etkileri altındaki davranışına belirgin bir şekilde katkıda bulunması beklenen yapısal elemanlar doğrusal olmayan modele dahil edilmelidir. Bu yapısal elemanların hangileri olacağına doğrusal elastik analiz sonuçları değerlendirilerek karar verilir.

Binanın taşıyıcı sistemini oluşturan yapısal elemanlar arasından binanın yatay rijitliğine belirgin katkı sağlaması beklenen elemanlar Şekil 2’de gösterilmiştir. Yapının deprem etkileri altındaki rijitlik ve dayanım özelliklerini oluşturacak ana taşıyıcı sistemin perde duvarlar, perde duvarları birbirine bağlayan kiriş ve bağ kirişler ve çerçeve sistemleri oluşturan kiriş ve kolon elemanlardan oluşması beklenmektedir. Bu raporda her iki ucundan perde duvarların rijit düzlemine bağlanan kirişler bağ kiriş olarak adlandırılmıştır. Yapının doğrusal olmayan modeli kapsamlı ve detaylı bir şekilde oluşturulmuştur.

3.3.2. Deprem Düzeyleri

Deprem düzeyleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [TBDY2018] Bölüm 3 Simgeler kısmında açıklanmıştır

3.3.2.1. DD1 deprem düzeyi

Bu deprem düzeyi, binaların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketlerini ifade eder. DD1 düzeyindeki depremin 50 yılda aşım olasılığı %2, buna karşılık gelen dönüş periyodu 2475 yıldır.

3.3.2.2. DD2 deprem düzeyi

Bu deprem düzeyi, binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ama şiddetli deprem yer hareketlerini ifade eder. D2 düzeyindeki depremin 50 yılda aşım olasılığı %10, buna karşılık gelen dönüş periyodu 475 yıldır.

3.3.2.3. DD3 deprem düzeyi

Bu deprem düzeyi, binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, göreceli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade eder. DD3 düzeyindeki depremin 50 yılda aşım olasılığı %50, buna karşılık gelen dönüş periyodu 72 yıldır.

3.3.2.4. DD4 deprem düzeyi

Bu deprem düzeyi, binaların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, göreceli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade eder. DD4 düzeyindeki depremin 50 yılda aşım olasılığı %68, buna karşılık gelen dönüş periyodu 43 yıldır.

3.3.3. Bina Performans Düzeyleri

Yüksek binaların performans düzeyleri, deprem etkisi altında meydana gelmesi beklenen hasarlara bağlı olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [TBDY2018] Bölüm 3.4'te tanımlanmıştır. Bu performans düzeyleri için kabul edilebilir hasar limitleri, her bir yapı tipi veya elemanı için ayrı ayrı ve sayısal olarak tanımlanacaktır.

3.3.3.1. Kesintisiz kullanım (KK)

Kesintisiz kullanım performans düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi ile yapısal ve yapısal olmayan hiçbir hasar meydana gelmemesi veya meydana gelecek hasarın çok sınırlı düzeyde olması durumunu tanımlayan performans düzeyidir.

3.3.3.2. Sınırlı hasar (SH)

Sınırlı Hasar performans düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi ile yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelecek hasarın çok sınırlı düzeyde olması durumunu tanımlayan performans düzeyidir.

3.3.3.3. Kontrollü hasar (KH)

Kontrollü hasar / can güvenliği performans düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında sınırlı ve onarılabilir düzeyde yapısal ve yapısal olmayan hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu durumda yüksek binaların kullanımında kısa süreli aksamaların meydana gelmesi normaldir.

3.3.3.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ)

Göçmeme güvenliği performans düzeyi, yüksek binalarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda yüksek binaların kullanımında uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta kullanımına son verilmesi mümkündür.

3.3.4. Bina Performans Hedefleri

Bina Performans Hedefleri Deprem Tasarım Sınıfına (DTS) ve Yer Hareketi Düzeyine bağlı olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [TBDY2018] Bölüm 3.5.1 Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.11: Deprem düzeyleri.

(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar (BYS = 1)				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

3.3.5. Doğrusal Olmayan Tasarımda Kullanılan Malzeme Özellikleri

Doğrusal olmayan yapısal modellemede malzeme ve özellikleri beton için Mander, J.B., Priestly, M.J.N., Park, R. (1988). Theoretical Stres-Strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Division [ASCE], 114(8), 1804-1826 makalesinde ve [TBDY 2018] Ek 5A’ da tanımlanan sargılı ve sargısız beton modelleri, çelik için ise yine [TBDY 2018] Ek 5A’ da tanımlanan gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları kullanılmıştır. Yüksek bina türü olan bu yapıda kullanılan beton ve çelik, beklenen dayanım özellikleri aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Tablo 3.12: Beton ve donatı özellikleri & sargılı ve sargısız beton gerilme şekil değiştirme ilişkileri.

	Beklenen1 Dayanım	
Beton (C40)	52 MPa	
Poisson Oranı (ν)	0.2	
Elastisite Modülü (E _c) (Mander et al. 1988)	36056 Mpa	
Etkin Elastisite Modülü (E _c) (TS-EN 1992-1)	36076 Mpa	
Kayma Modülü (G)	15032 Mpa	
Beton Birim Hacim Ağırlığı	25 kN/m ³	
Donatı Çeliği (B420C)	504 Mpa	
Elastisite Modülü (E _s)	200000 Mpa	

Beklenen dayanım beton için karakteristik dayanımın 1,3 katı, donatı çeliği için ise karakteristik dayanımın 1,2 katı olarak tanımlanmıştır.

Sargılı beton basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekil değıştirmesi f_c ’nin fonksiyonu olarak aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir:

$$f_c = \frac{f_{cc} r}{r - 1 + x^r} \quad (3.1)$$

Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co}; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (3.2)$$

Buradaki f_e etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir:

$$f_{cx} = k_c \rho_x f_{yw}; \quad f_{cy} = k_c \rho_y f_{yw} \quad (3.3)$$

Bu bağıntılarda f_{yw} enine donatının akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatının hacimsel oranlarını, k_e ise aşağıda tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (3.4)$$

Burada a_i kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_o ve h_o göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir. Normalize edilmiş beton birim şekil değiştirmesi x ile r değişkenine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}; \quad \varepsilon_c = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)]; \quad \varepsilon_{co} = 0.002 \quad (3.5)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}}; \quad E_c = 5000 \sqrt{f_{co}} [MPa]; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.6)$$

Sargılı beton maksimum basınç birim şekil değiştirmesi ε_{cu} aşağıda verilmiştir:

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.7)$$

Burada ρ_s toplam enine donatının hacimsel oranını (dikdörtgen kesitlerde), $\rho_s = \rho_x + \rho_y$, ε_{cu} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirmesini göstermektedir.

Doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, perdelerin fiber modellemesinde, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-birim şekil değiştirme bağıntılarından yararlanılmıştır:

Tablo 3.13: Donatı Çeliğine Ait Parametreler.

$f_s = E_s \varepsilon_s$
 $(\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy})$

$f_s = f_{ye}$
 $(\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh})$

$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{ye}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2}$
 $(\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})$

The figure is a stress-strain diagram for reinforcement steel. The vertical axis represents stress (f) and the horizontal axis represents strain (ε). The curve starts at the origin, rises linearly to a yield stress f_{yc} at strain ε_{sy}. It then remains constant at f_{yc} until strain ε_{sh}. After ε_{sh}, the stress increases parabolically to a ultimate stress f_{su} at strain ε_{su}. The yield strength f_{ye} is indicated as the stress at strain ε_{sh}.

Kalite	f _{ye} (MPa)	f _{su} / f _{ye}	ε _{sy}	ε _{sh}	ε _{su}
B420C	504	1.2	0.0025	0.008	0.08

3.3.6. Etkin Kesit Rijitliği

Değerleri; Doğrusal olmayan analiz modelinde, yayılı plastisite yaklaşımına göre modele dahil edilen elemanlarda etkin kesit rijitlikleri malzeme davranış eğrilerinden otomatik olarak hesaplanmaktadır. Yığılı plastisite yaklaşımına göre çubuk elemanlar kullanılarak modellenen kolon ve kirişler için ise etkin kesit rijitlikleri [TBDY2018] Bölüm 5.4.5'e göre aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3}; \quad \theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (3.8)$$

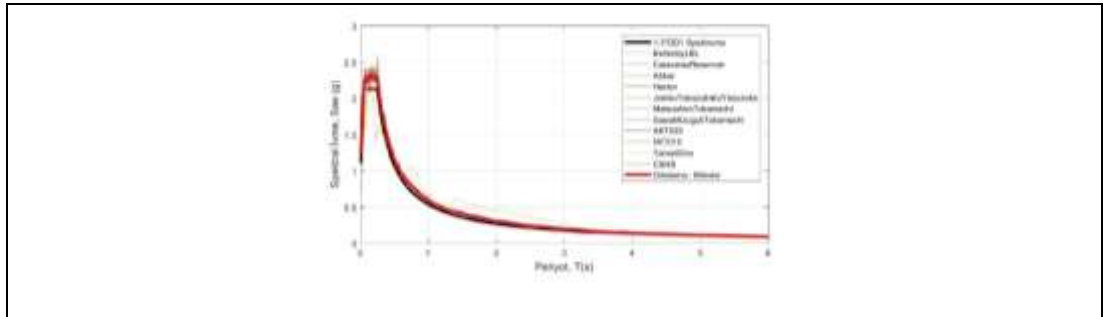
Bu bağıntıdaki M_y kiriş ve kolonların uçlarındaki eksenel yük etkisi de gözönüne alınarak hesaplanan akma momentidir. Kesitler için plastik mafsallarda akma dönmesi θ_y , yukarıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

3.3.7. Sönüm Oranı

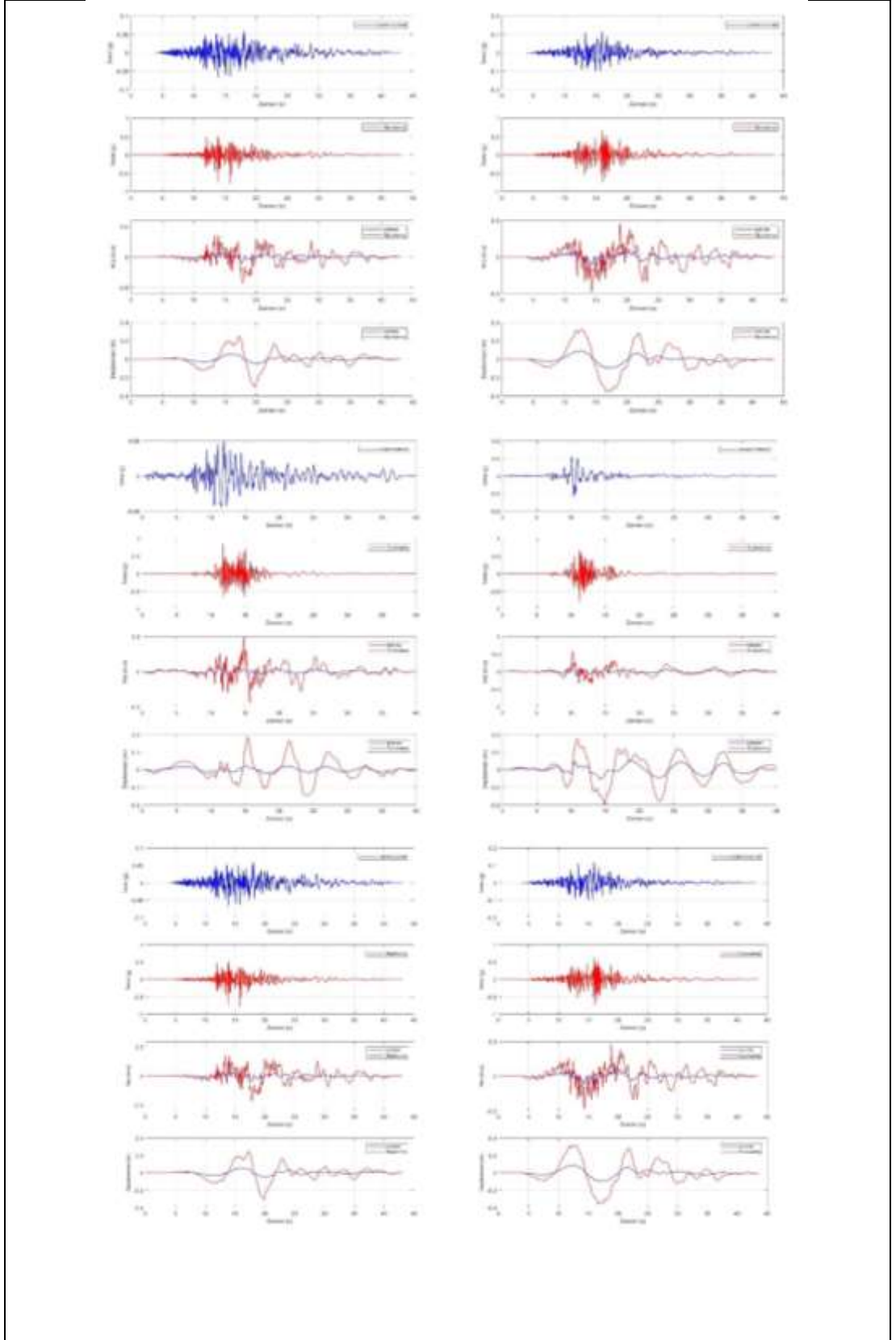
TBDY2018 13.5.2.5'e göre yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde %2,5 viskoz sönüm oranı kullanılmıştır. A.B.D' deki uygulamalarda genellikle kullanıldığı üzere, belirlenen sönüm oranının %2,4'ü modal sönüm oranı %0,1'i ise Rayleigh sönüm oranı olarak Perform3D modelinde tanımlanmıştır.

3.3.8. Deprem Etkisinin Tanımlanması

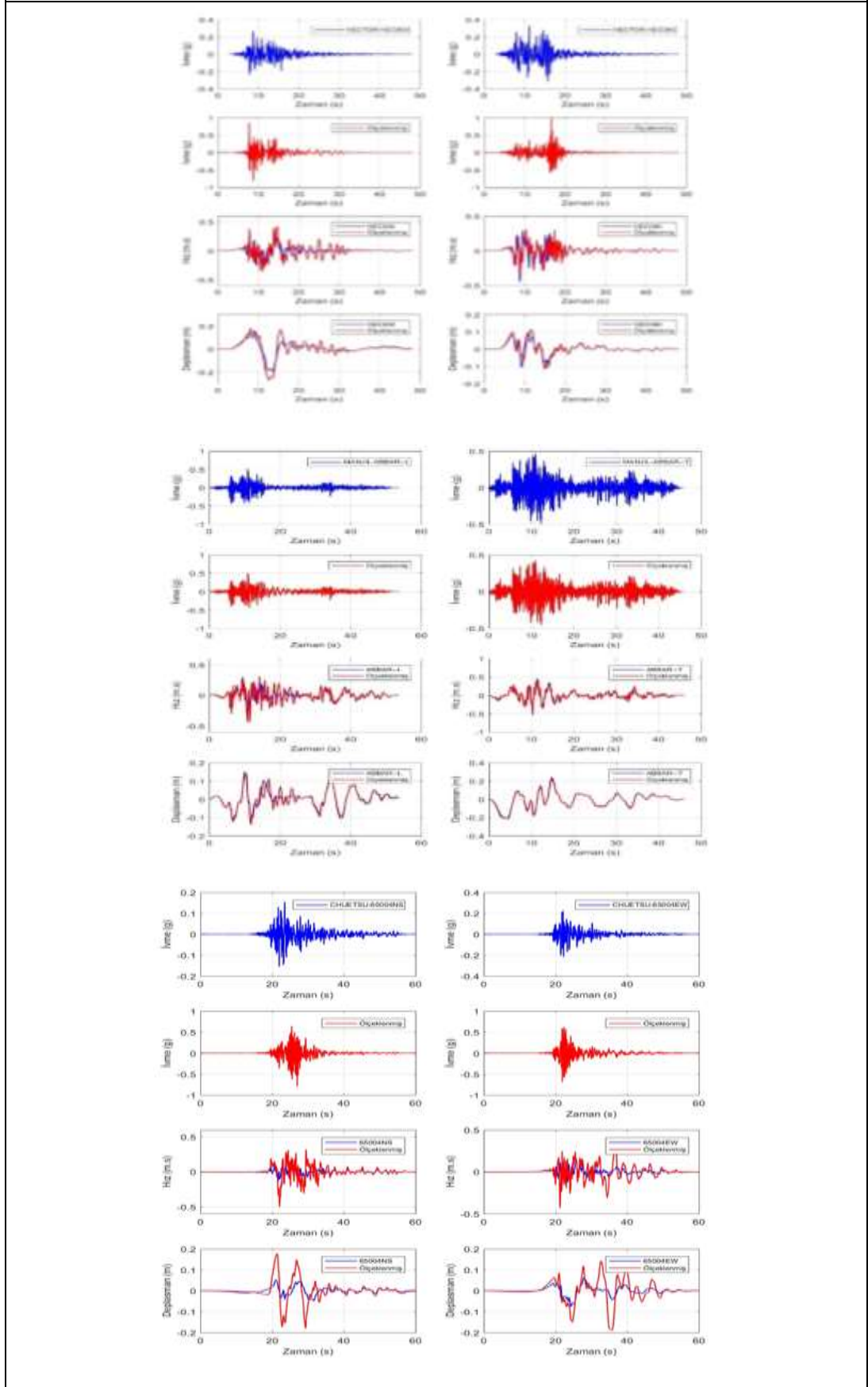
Yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde Proje sahası için hazırlanan deprem tehlikesi raporunda belirtilen yer hareketi seti ivme kayıtları kullanılmıştır. DD1 deprem düzeyi için ölçeklendirilmiş olan kayıtlar ise şunlardır, RSN4841_Chuetso-oki Japan, RSN4843_Chuetso-oki Japan, RSN4872_Chuetso-oki Japan, RSN5478_Iwate Japan, RSN5623_Iwate Japan, RSN5775_Iwate Japan, RSN6891_Darfield NewZealand, RSN1633_Manjil Iran, RSN1787_HectorMine, RSN750_LomaPrieta, RSN751_LomaPrieta kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 3.9: Doğrusal olmayan analizde kullanılan sahaya özel deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş davranış spektrum eğrisi.



Şekil 3.10: DD1 deprem düzeyi yer ivmesi kayıtları zaman tanımları.

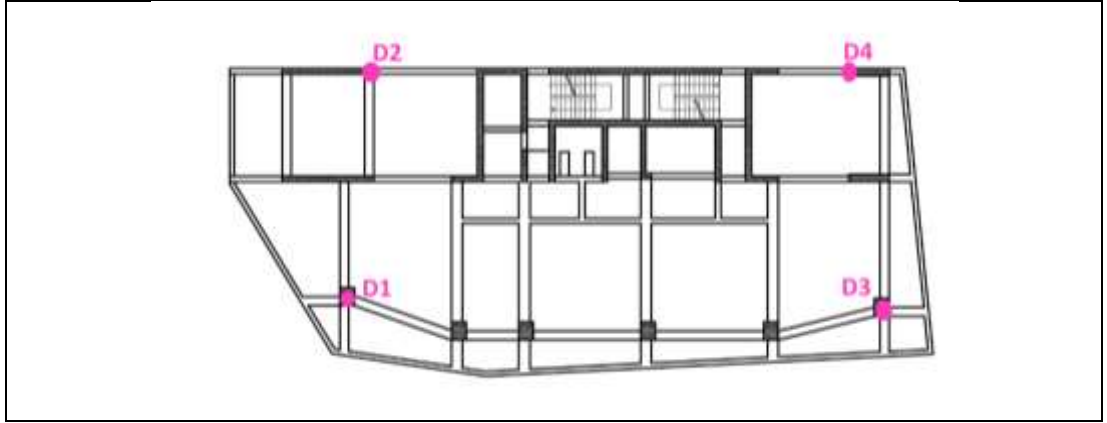


Şekil 3.11: DD1 deprem düzeyi yer ivmesi kayıtları zaman tanımları.

3.4. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

3.4.1. Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat ötelemesi okumaları her katta 4 farklı noktadan yapılmıştır ve her nokta için her iki yönde göreli kat ötelemesi kontrolleri yapılmıştır. Kat öteleme oranları, aşağıdaki Tablo 3.14’de gösterildiği üzere Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans seviyeleri için tanımlanan üst sınırların (%3) altında kalmaktadır.

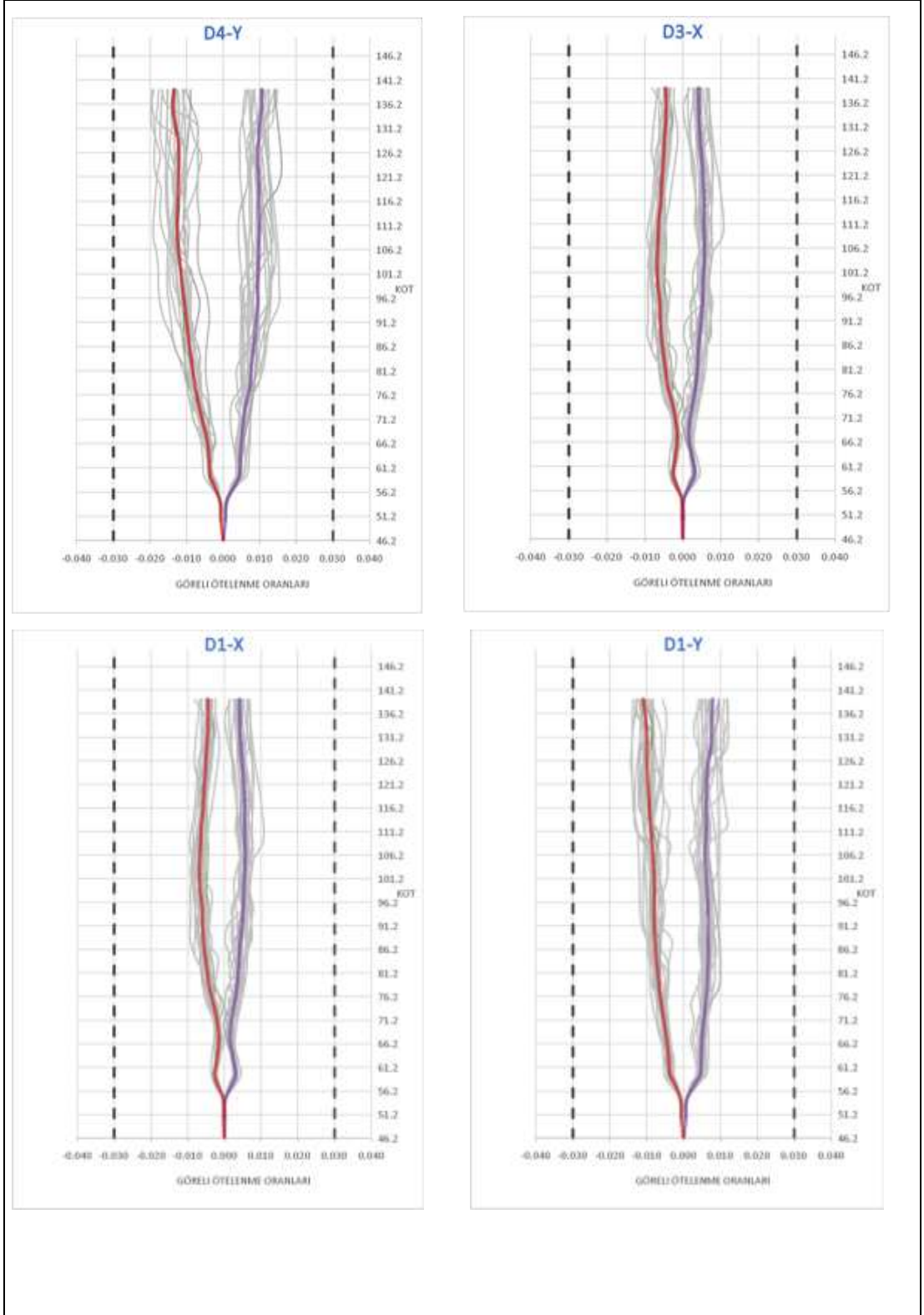


Şekil 3.12: Bu şekil, göreli kat ötelemeleri sonuçlarının okunduğu noktaları göstermektedir.

Tablo 3.14: TBDY 2018 de göreli kat ötelemeleri için verilen sınır değerleri

Deprem Düzeyi	DD1
Hedef Performans	Göçmeme Güvenliği
Görelî Kat Ötelemesi Oranı Sınırı	%3,0 (Ortama ¹)

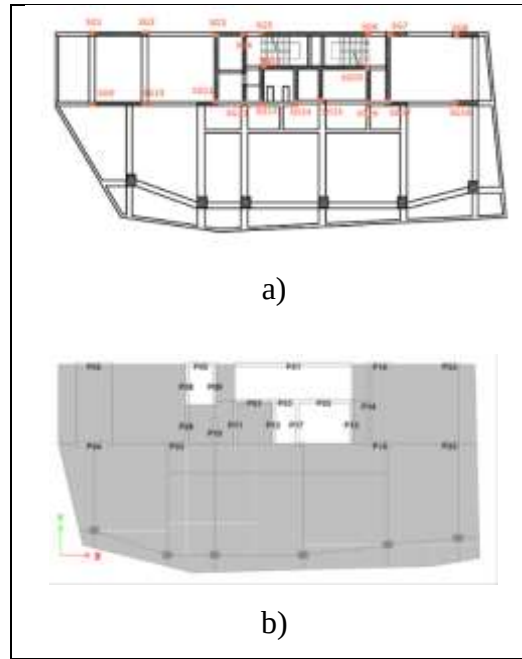
Şekil 3.13 (a) ve Şekil 3.13 (b) de katlara göre göreli kat öteleme değerlerinin sonuçları grafik üzerinde verilmiştir. Bu grafikte sınır değerler kesikli çizgi ile ifade edilmiştir. Koyu renkte çizilen çizgiler ise 11 adet depremin sonuçlarının ortalama değerini ifade etmektedir.



Şekil 3.13: Bu şekil, görelî kat ötelemeleri sonuçlarının okunduğu noktaları göstermektedir.

3.4.2. Perde Duvar Birim Şekil değıştirme Kontrolü

Perdeler için şekil değıştirme kontrolünde, tüm perde duvarlar için aşağıdaki şekilde yerleri gösterilen ölçüm elemanları kullanılarak birim şekil değıştirme kontrolleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarında gösterildiğı üzere beton ve donatı çeliğı için elde edilen ortalama birim şekil değıştirmeler, Göçmenin Önlenmesi ve Kontrollü Hasar performans seviyeleri için tanımlanan üst sınırların oldukça altında kalmaktadır.



Şekil 3.14: Bu şekil modelde perde üzerine yerleştirilen şekil değıştirme ölçerlerin yerlerini (a) ve perde isimlerini (b) göstermektedir.

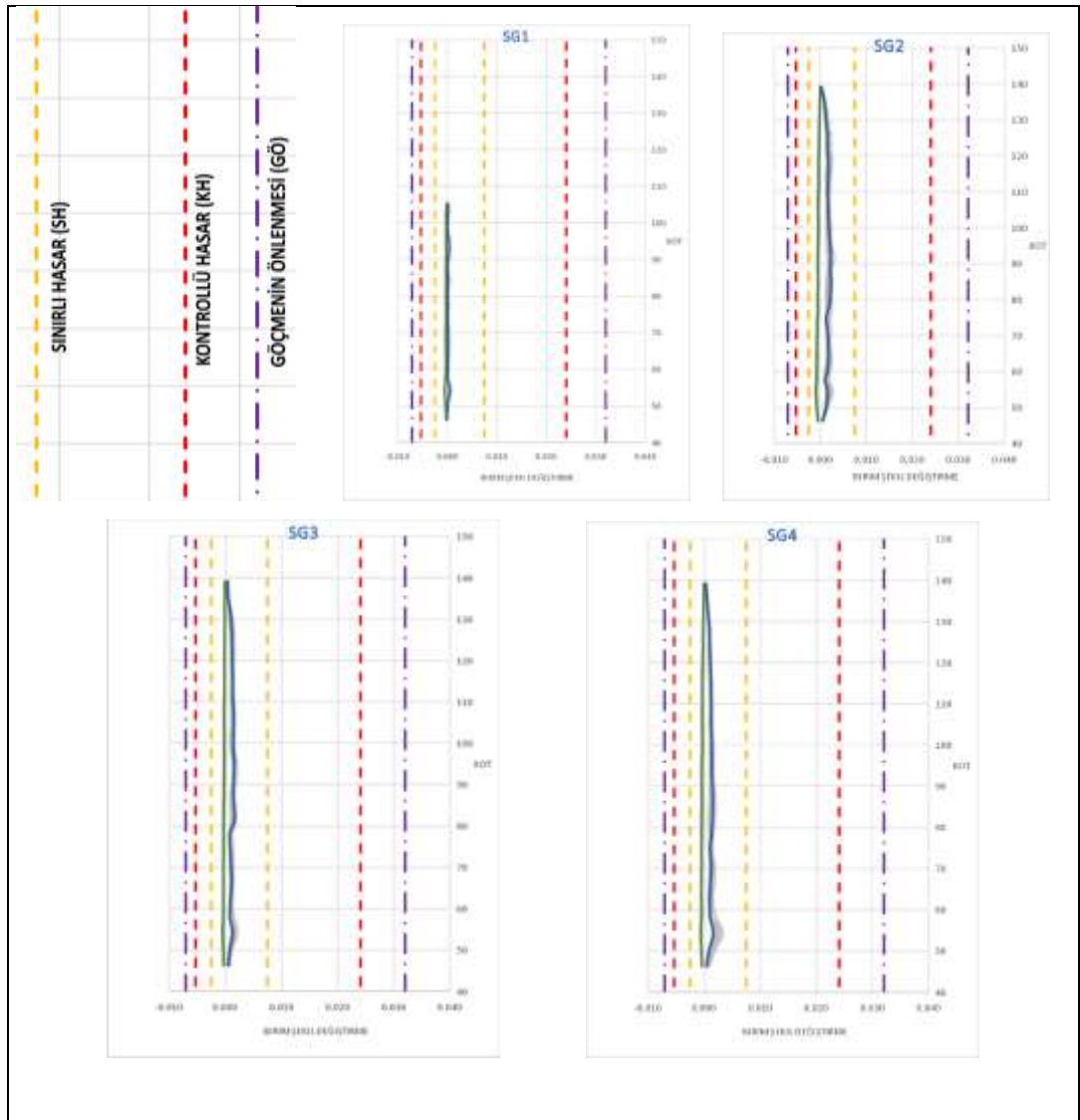
Tablo 3.15: Sistem perdeleri uçlarında okunan birim şekil değıştirme değeri.

Perde İsimleri	ϵ_c (gö)	Perde İsimleri	ϵ_c (gö)
P00	0.009618	P13	0.009257
P01	0.007155	P14	0.007875
P02	0.008438	P15	0.009618
P03	0.006909	P16	0.009618
P04	0.008438	P17	0.009257
P08	0.007875	P18	0.009618
P09	0.009257	P22	0.009618
P10	0.009618	P23	0.009618
P11	0.009257	P24	0.009746
P12	0.009257		

Tablo 3.16: Çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları.

Deprem Düzeyi; DD1 Hedef Performans	Göçmenin Önlenmesi	Kontrollü Hasar
Sargılı betonda basınç birim şekildeğiştirme sınırı (ϵ_{cg})	$0.0035+0.04*\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.0180$	$0.75* \epsilon_{cgö}$
Donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırı (ϵ_s)	0,032	0,024

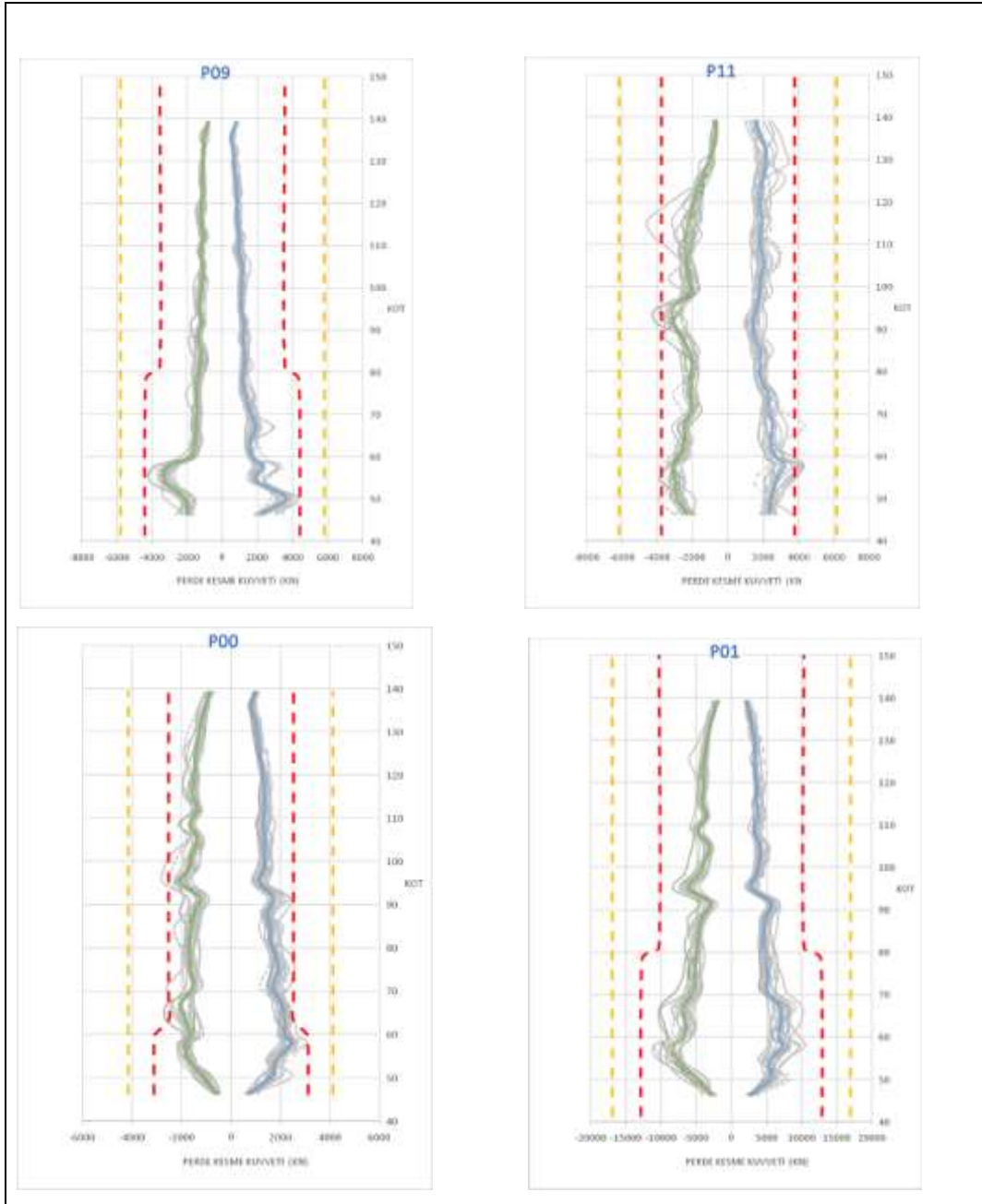
Burada; ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı Oran'ını göstermektedir.



Şekil 3.15: Performans düzeyleri grafikleri SG1, SG2, SG3 ve SG4 noktaları.

3.4.3. Perde Duvar Kesme Kapasitesi Kontrolü

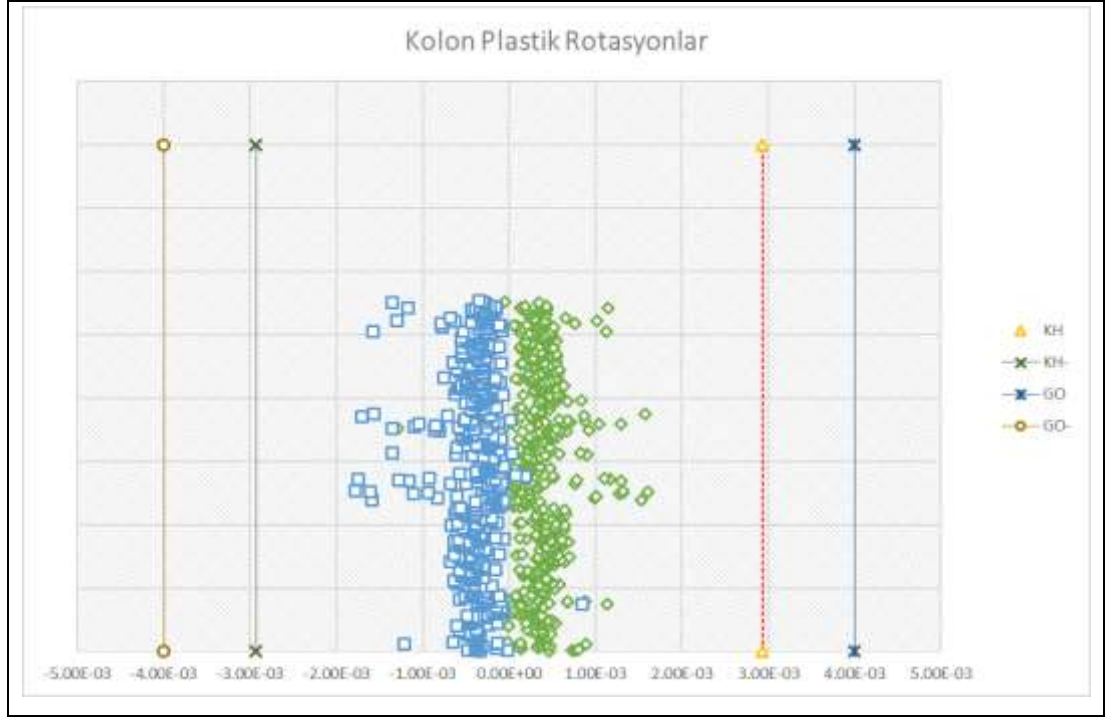
Binada bulunan perde duvarların kesme kapasitelerinin kontrolü tüm perde duvarlar için DD1 deprem düzeyinde oluşan kesme kuvvetleri için yapılmıştır. Bu sonuçlara göre perdelerde oluşan kesme kuvvetleri değerleri sınır değerin ($V_e \leq 0.85A_{ch} \cdot \sqrt{f_{ck}}$) altında kalmaktadır.



Şekil 3.16: Bu şekilde P09, P11, P01 ve P00 perdelerin aldığı kesme kuvvet değerlerini göstermektedir.

3.4.4. Kolon Plastik Dönme Kontrolü

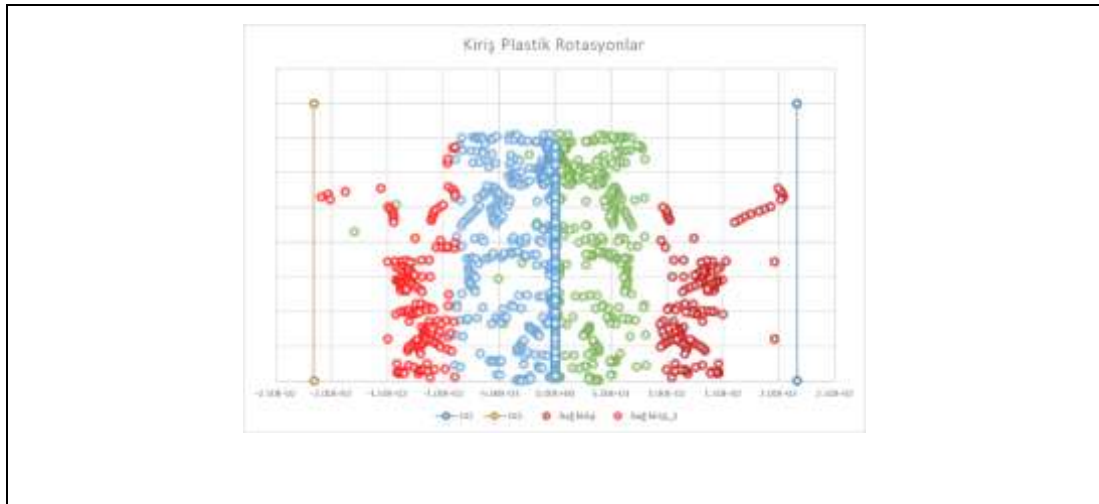
Doğrusal olmayan modeldeki kolon elemanlarının uç bölgelerinde oluşan plastik mafsallı dönmeleri kontrol edilmiştir. Kolon plastik dönmeleri, aşağıdaki şekilde gösterildiği üzere, üst sınırları güvenli tarafta kalacak şekilde seçilmiş olan Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi üst sınırlarını aşmamaktadır.



Şekil 3.17: Kolon dönmelerinin plastik dönme kapasiteleri ile karşılaştırılması.

3.4.5. Kiriş Plastik Dönme Kontrolü

Doğrusal olmayan modeldeki çerçeve kirişi ve bağ kiriş elemanlarının uç bölgelerinde oluşan plastik mafsallı dönmeleri kontrol edilmiştir. Kirişlerin büyük bölümünde oluşan plastik dönmeler, aşağıdaki şekilde gösterildiği üzere, göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans üst sınırını aşmamaktadır.



Şekil 3.18: Kiriş plastik dönmelerinin performans üst sınırları ile karşılaştırılması.

Bu Sonuçlara göre, DD1 deprem etkileri altında doğrusal olmayan performans analizi sonuçları ışığında aşağıdaki değerlendirme ve sonuçlara ulaşılmıştır;

- Yapıda oluşan görelî kat ötelemeleri Göçmenin Önlenmesi performans seviyesini sağlamaktadır.
- Yapıdaki Perde duvarlarda oluşan birim şekil değıştirmeler izin verilen sınır değerlerin altındadır.
- Yapıdaki Perde duvarların kesme dayanımları yeterlidir.
- Yapıda Kolon ve Kirişlerde oluşan deformasyon talepleri yönetmeliğın izin verdiği sınırların altında kalmaktadır.
- Yapıdaki Bağ kirişleri Göçmenin Önlenmesi performans seviyesini sağlamaktadır.

3.5. FEMA P58 Süre Bazlı Değerlendirme Yaklaşımı ve PACT Programı ile Kullanılan 28 Katlı Konut Binası Performans Tabanlı Risk Değerlendirmesi

Bu bölüm, 28 katlı betonarme konut binası için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi kullanarak değerlendirme metodolojisi için zamana dayalı performansın örnek bir uygulamasını sunmaktadır. Performans Değerlendirme Hesaplama Aracı [PACT, 2018 ver. 3.1.2] sağlanan kırılgenlik eğrileri ve sonuç işlev verileri ile bir ofis binası için, 50 yıllık ömrü boyunca %10 aşılma olasılığı bulunan,

onarım maliyetini yansıtan olası bir maksimum kayıp değeri elde etmek için gerekli olan çalışma aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Bina yeri ve bina özellikleri tanımlanması,
- Değerlendirme türünü ve performans ölçüsünü seçme,
- Bina performans modelini bu modele monte etmek,
- Analiz yönteminin seçilmesi ve analitik bina modeli oluşturulması,
- Deprem tehlikelerinin tanımlanması,
- Bina tepkisinin analiz edilmesi,
- Sonuç verilerinin girilmesi ve performansının hesaplanması,
- Seçilen performans ölçümleri için sonuçların gözden geçirilmesi,

3.5.1. Değerlendirme Türünün ve Performans Ölçüsünün Seçilmesi

Zaman bazlı değerlendirme, yıllık ortalama onarım maliyeti olarak dolar cinsinden ifade edilen bina performansı ile yapılmıştır. Sonuçta ortaya çıkan maliyet dağılımı, 50 yıllık bir süre boyunca %10'luk bir aşma olasılığı ile ilişkili kaybı belirlemek için kullanılır ve dolardan değiştirme maliyetinin yüzdesine dönüştürülür.

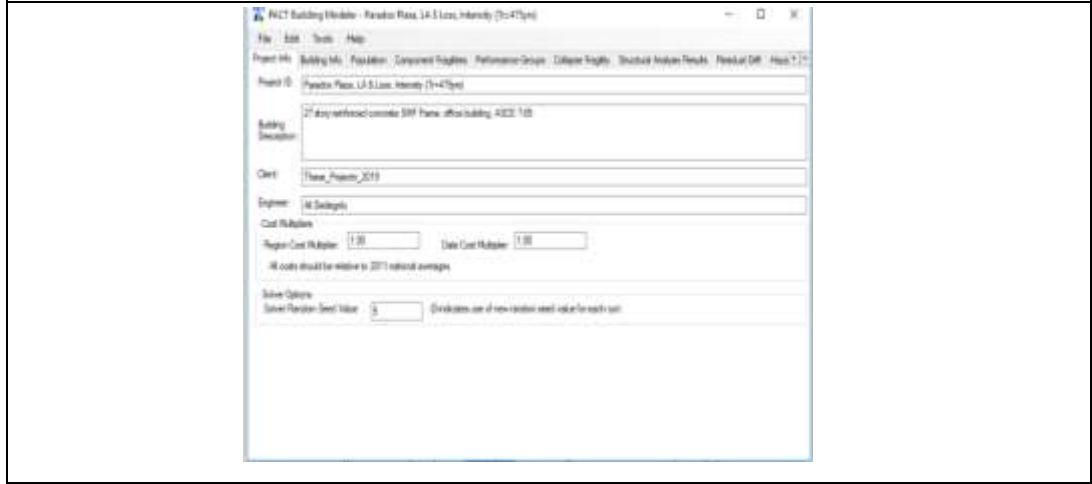
3.5.2. Bina Performans Modelini Birleştirilmesi

Bina performans modeli şu sırayı izleyerek oluşturulmuştur. Proje bilgileri sağlanması, kırılma özelliklerini ve performans gruplarını seçerek yapı özellikleri, göçme kırılma ve göçme modlarını belirleme ve artık sürüklenme kırılma sağlama. Bina bilgileri girişi aşağıdaki gibidir (bkz. Şekil 15(a) ve Şekil 15 (b) 'daki [PACT] girişi):

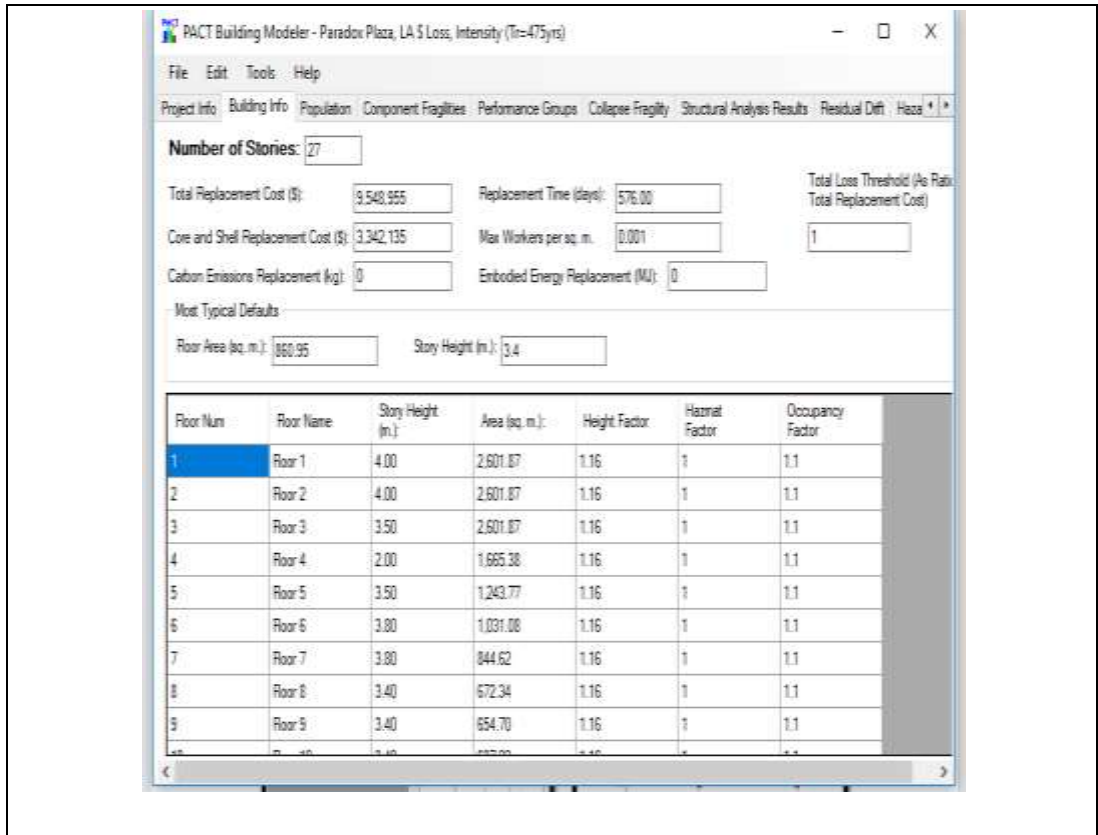
- Kat Sayısı: 28
- Toplam Bina Maliyeti: 9.548.955 \$ olarak tahmin edilmiştir.
- Yapım Süresi: Tahmini 576 gün.
- Ana Taşıyıcı Sistem Maliyeti: Tahmini 3.342.135 dolar.
- Alan Başına Maksimum İşçi: Varsayılan değer olan 0.001 kullanılır.
- Toplam Kayıp Eşiği (Toplam Değiştirme Maliyeti Oranı olarak): Varsayılan 1.0

değeri kullanılır.

- Kat Alanı: 860.95 m²
- Kat Yüksekliği: 3.4m Kat yüksekliğindeki değişiklik, tipik olmayan kat alanlarının da girilmesine izin veren Kat Sayısı açılır seçicisi aracılığıyla girilir.

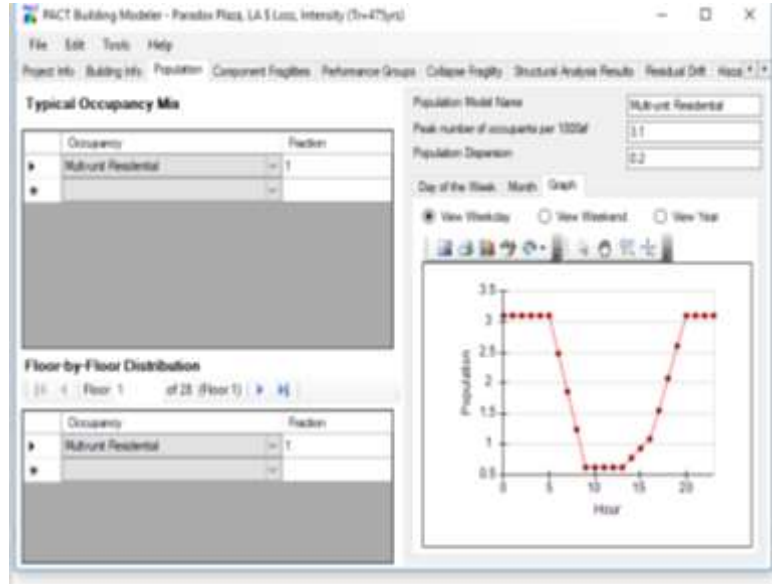


Şekil 3.19: Bu şekilde [PACT] proje girişi gösterilmiştir.

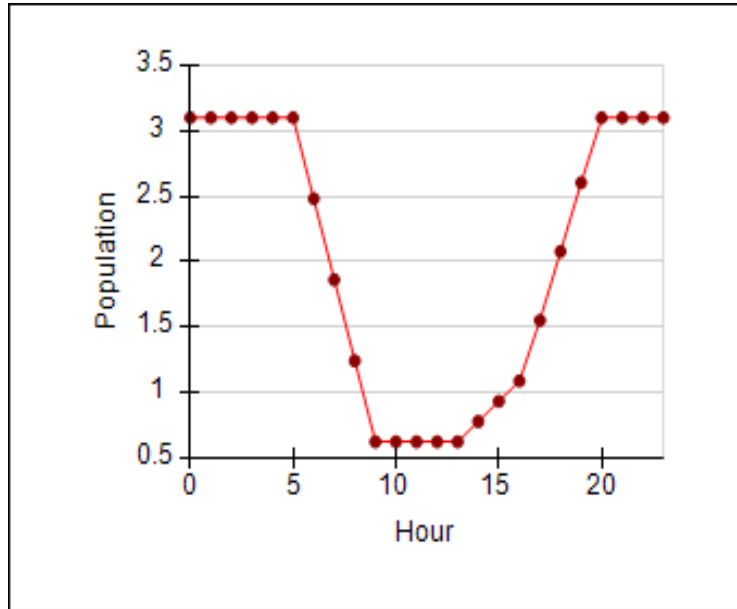


Şekil 3.20: [PACT] bina bilgi girişi ekranı.

[FEMA P58] –[PACT]’ e göre yapının tipine göre binadaki insanların zamana bağlı günlük yoğunluk grafiğinin tanıtılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullandığımız bina tipi konut olduğu için Şekil 3.21’ de görüldüğü gibi insan yoğunluk grafiği gündüz düşük gece saatlerinde ise yüksektir.



a)



b)

Şekil 3.21: Binada insanların yoğun bulunma saatlerinin tanımlanması ve yoğunluk grafiği.

3.5.3. Yapısal Bileşenler

Yapısal bileşenler olarak binada taşıyıcı sistem olarak bulunan kolon, kiriş, perde ve döşemelerden bahsedilmektedir.

3.5.4. Yapısal Bileşenlerde Kırılabilirlik Eğrisi Tanımlama

Yapısal bileşenler daha önce tarif edilen temel bina özelliklerine girilir. Yapısal kırılabilirlik gruplarını girmek için, Şekil 3.22'de gösterilen Bileşen Kırılabilirlikleri sekmesindeki seçimlerin açılır menüsü kullanılır. Aşağıdaki bilgiler performans değerlendirme modeline dahil edilen yapısal bileşenleri özetler.

PACT Building Modeler - Paradox Plaza, LA S Loss, Intensity (Tr=475yrs) *

File Edit Tools Help

Project Info Building Info Population Component Fragilities Performance Groups Collapse Fragility Structural Analysis Results Residual Drift Haza

Most Typical Specifications

Category	Component	Dir. 1	Dir. 2	Population Model
B101: Roof Construction	Please Select	☐	☐	
B102: Roof Construction	Please Select	☐	☐	
B103: Structural Slab	Please Select	☐	☐	
B104: Reinforced Concrete	Please Select	☐	☐	
B1041.002a: A		☒	☒	Multi-unit Residential
B1041.002b: A		☒	☒	Multi-unit Residential
B1049.031: Po		☒	☒	Multi-unit Residential

Floor-by-Floor Distribution

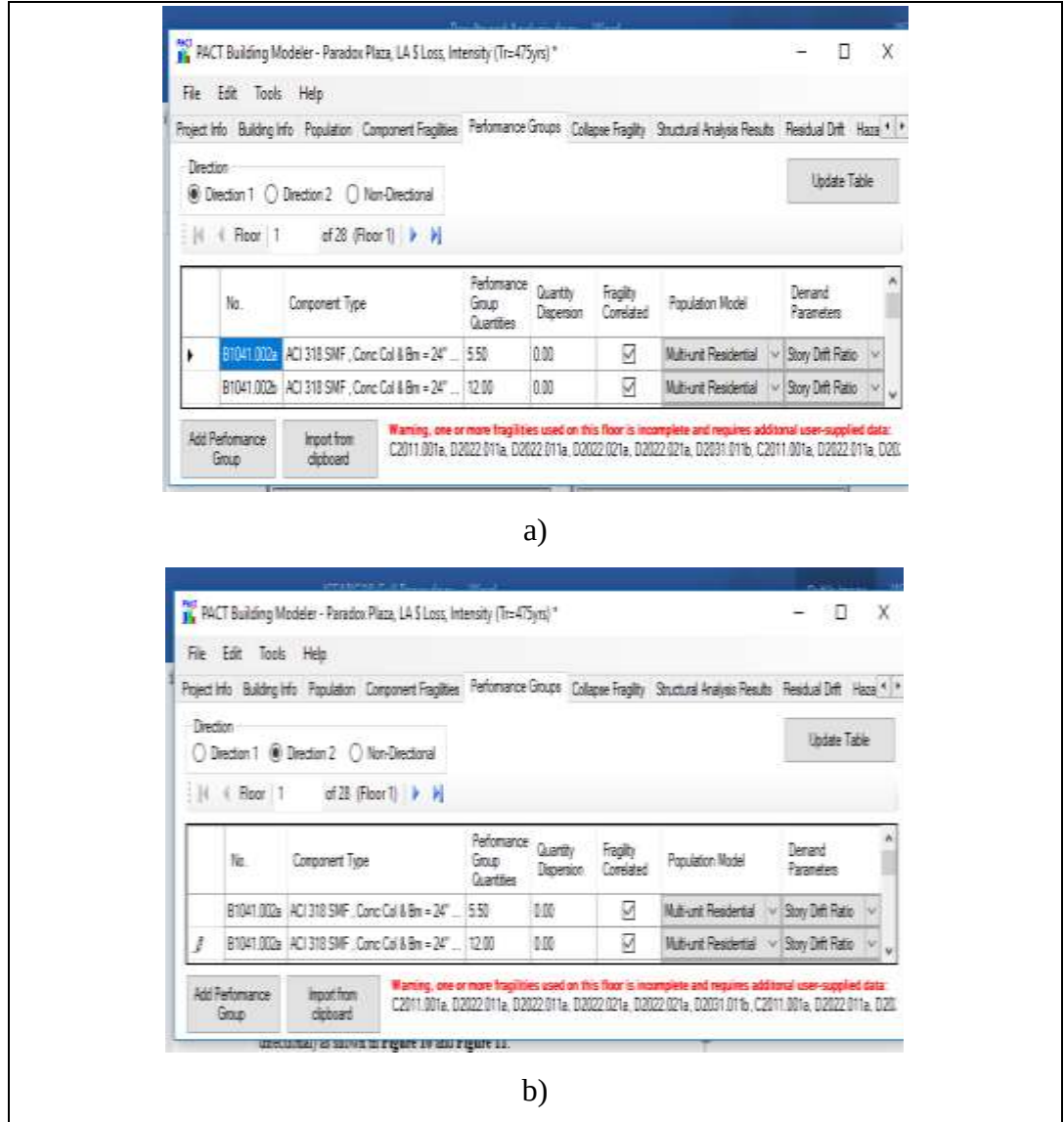
of 28 (Floor 1)

Category	Component	Dir. 1	Dir. 2	Population Model
A103: Slab on Grade	Please Select	☐	☐	
A20: Basement Construction		☐	☐	
A202: Basement Walls	Please Select	☐	☐	
B: Shell		☐	☐	
B10: Super Structure		☐	☐	
B101: Roof Construction	Please Select	☐	☐	
B102: Roof Construction	Please Select	☐	☐	
B103: Structural Slab	Please Select	☐	☐	
B104: Reinforced Concrete	Please Select	☐	☐	
B1041.002a: A		☒	☒	Multi-unit Residential
B1041.002b: A		☒	☒	Multi-unit Residential
B1049.031: Po		☒	☒	Multi-unit Residential

Şekil 3.22: Kiriş-Kolon düğüm noktası kırılabilirlik eğrisi tanımlama.

3.5.5. Yapısal Bileşenlerin Performans Grupları

Her kat için, önceden belirlenmiş spesifikasyonların her biri için her bina yönünde kat deplasmanına karşı moment çerçeve kiriş-kolon düğüm noktası sayısı girilir. Tablo 1 ve Şekil 10, A, B, C, D, E PACT ile tanımlayıcı performans gruplarını X (2) yönünde ve Y (1) de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ile özetlemektedir. Yön. Germe sonrası döşeme / kolon düğüm noktası bilgilerinin girişi her katta benzer şekilde eklenir; ancak, bu kırılma noktaları yönsüz olarak girilir. Örneğin, 77 adet kat 1 için düğüm noktası vardır. Performans grubu tanımlama işlemi, Şekil 3.23 (a) ve Şekil 3.23 (b) 'de gösterildiği gibi her bir kat için ve her bir yön için (yönsüz dahil) tekrarlanır.



Şekil 3.23: 1. Katta yapısal bileşenlerin bilgilerinin tanımlanması.

3.5.6. Yapısal Olmayan Bileşenler

Yapısal olmayan bileşenlerin tipini ve dağılımını belirleme ve seçme süreci, [PACT] Cilt 3'te verilen tahminleme aracı kullanılarak büyük ölçüde basitleştirilebilir. Bu araç, Şekil 3.24'te gösterildiği gibi bina kat alanlarının ve binaların basit girişi ile performans grubu miktarlarının tahminleri ile yapısal olmayan bileşenlerin kat kat listesini oluşturmak için kullanılabilir.

Çalışmada kullanılan projenin mekanik, elektrik ve mimari projesi incelendiğinde yapısal olmayan elemanlar aşağıdaki gibi tespit edilmiştir.

- Su Deposu, 15 M3 Modüler Su Deposu. Hsu=1,5m. Çelik Depo+Su Olarak= 1800kg/M2 (30cm Yüzer Beton Kaide Kaide Hariç)
- Soğutma Vrv Klima Dış Ünite Cihazları (Kaide Hariç- H=30cm Çelik Kaide) = 350kg/M2 (Kaide Hariç)
- Soğutma Chiller Cihazı (Kaide Hariç- 4 Köşe Takoz H=50cm Beton Kaide Kaide) =550kg/M2 (Kaide Hariç)
- Havalandırma Santral Cihazları =250-350 Kg/M2 (Kaide Hariç)
- Hrv (Dolap Tipi Isı Geri Kazanım Cihazları) Ofis Kulelerin De Kat Bazında Konulur = 250 Kg/M2 (Kaide Hariç)
- Kazan (Yer Tipi Yoğuşmalı) =200-450 Kg/M2 (Kaide Hariç)
- Merdiven, Asansör Basınçlandırma ve Duman Tahliye Fan'ları= 210kg/0,42m2=500kg/M2 (Atrium Çelik Çatılara Asılan Duman Fanları Mutlaka Statik Gruba Bildirilmeli)
- Hücreli Egzost Fanları (Mutfak-Wc..Vs)= 150-250 Kg/M2
- Norm Soğutma veya Isıtma Pompaları=1.010kg/0,98m2=1030kg/M2
- Yatık Denge Kabı (Büyük Sistemlerde) =500-750kg/M2 (Bu Sistemin Büyüklüğüne Göre Değişiklik Gösterir)
- Genleşme Kapları =1000-2000kg/M2
- Soğutma Kule Cihazları= 34.000kg/35m2=971kg/M2
- Enerji Odası 2.Bodrum Katta
- Server Bilgi İşlem Odası 3.Normal Katta
- Giydirme Cephe Elemanları ve Camları –Tüm Cephelerde
- Cephe Temizleme Cihazı Çatı Katında -7 Ton

N	O	P	Q	R	S	T	U	V
Compile		Processing of Incomplete Data		Processing of Zero Data		Sum Fragility by Floor		
		☐ Ignore Incomplete Data ☐ Include Incomplete Data		☐ Exclude Zero Data ☐ Include Zero Data		☐ List as Zero ☐ "Not Typically Included"		
						☐ Sum Components by Building & Floor ☐ Sum Components by Floor ☐ List All Components		
COMPONENT SUMMARY MATRIX								
OCCUPANCY				Fragility Number	Fragility Name	Assumed Quantity per component	Quantity	
Type	Occupancy #	Floor Name	Component Area (sq. ft.)				Directional	Non Directional
APARTMENT	1	22th	5115	B2022.001	B2022.001 Curtain Walls - Generic Midrise Stick-Bu	30 SF	25.58	--
APARTMENT	1	22th	5115	B3011.011	B3011.011 Concrete tile roof, tiles secured and com	100 SF	--	16.37
APARTMENT	1	22th	5115	C1011.001a	C1011.001a Wall Partition, Type: Gypsum with meta	100 LF	6.14	--
APARTMENT	1	22th	5115	C3011.001a	C3011.001a Wall Partition, Type: Gypsum + Wallpap	100 LF	1.95	--
APARTMENT	1	22th	5115	D2021.011a	D2021.011a Cold Water Piping (dia > 2.5 inches), SC	1000 LF	--	0.08
APARTMENT	1	22th	5115	D2022.011a	D2022.011a Hot Water Piping - Small Diameter Ther	1000 LF	--	1.08
APARTMENT	1	22th	5115	D2022.021a	D2022.021a Hot Water Piping - Large Diameter Wel	1000 LF	--	0.15
APARTMENT	1	22th	5115	D2031.011b	D2031.011b Sanitary Waste Piping - Cast Iron w/ffle	1000 LF	--	0.62
APARTMENT	1	22th	5115	D3041.011a	D3041.011a HVAC Galvanized Sheet Metal Ducting	1000 LF	--	0.26
APARTMENT	1	22th	5115	D3041.031a	D3041.031a HVAC Drops / Diffusers in suspended c	10 EA	--	4.09
APARTMENT	1	22th	5115	D3041.041a	D3041.041a Variable Air Volume (VAV) box with in-	10 EA	--	2.05
APARTMENT	1	22th	5115	D2022.011a	D2022.011a Hot Water Piping - Small Diameter Ther	1000 LF	--	0.03
APARTMENT	1	22th	5115	D2022.021a	D2022.021a Hot Water Piping - Large Diameter Wel	1000 LF	--	0.03
APARTMENT	1	22th	5115	D4011.021a	D4011.021a Fire Sprinkler Water Piping - Horizonta	1000 LF	--	1.13
APARTMENT	1	22th	5115	D4011.031a	D4011.031a Fire Sprinkler Drop Standard Threaded	100 EA	--	0.61
APARTMENT	1	21th	5115	B2022.001	B2022.001 Curtain Walls - Generic Midrise Stick-Bu	30 SF	25.58	--
APARTMENT	1	21th	5115	B3011.011	B3011.011 Concrete tile roof, tiles secured and com	100 SF	--	16.37
APARTMENT	1	21th	5115	C1011.001a	C1011.001a Wall Partition, Type: Gypsum with meta	100 LF	6.14	--
APARTMENT	1	21th	5115	C3011.001a	C3011.001a Wall Partition, Type: Gypsum + Wallpap	100 LF	1.95	--
Notes		Normative Quantity Estimate		Normative Quantity Database		Alternate Quantity Data		

Şekil 3.24: PACT Yapısal olmayan elemanların programa tanıtılması.

3.5.7. Deprem Tehlike Analizlerinin Tanımlanması

Zamana dayalı değerlendirmeler için, [FEMA P58] Cilt 1, Bölüm 4'teki prosedürler kullanılarak uygun yoğunluk değerlerine ölçeklendirilmiş, her biri n yer hareketi çiftinin m seti için doğrusal olmayan tepki geçmişi analizleri yapılır. M için 8 değeri önerilir. Çok zayıf binalar için m, 8'den daha küçük alınabilir. Yüksek yapılar için, segment sayısını arttırmak veya sabit sonuçlar elde etmek için segment aralığını arttırmak gerekebilir. Bu çalışmada m=8 ve n=7 değerleri alınmıştır.

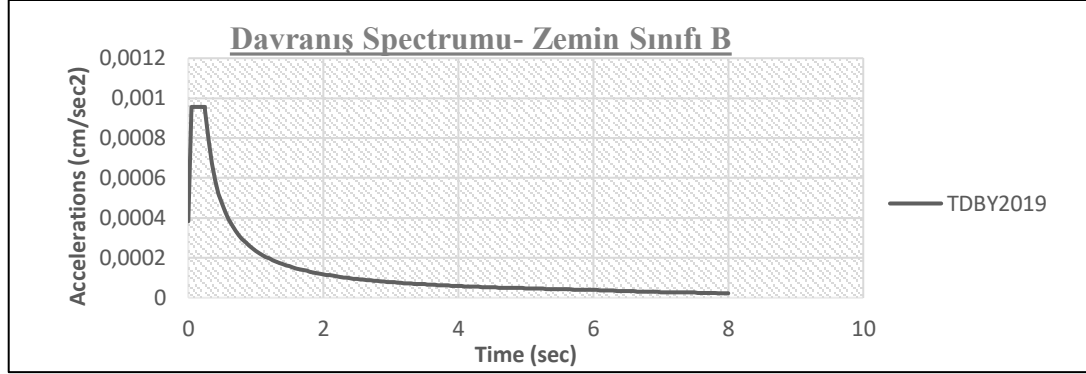
Zamana dayalı değerlendirmeler için yer hareketi kayıtları aşağıdaki gibi oluşturulur:

- Adım 1: Binanın periyotları her iki yön için ayrı ayrı belirlenir. (T_1^X and T_1^Y).

Her iki dik yönde bina periyotları $T_1^X = 2.94\text{sec}$; $T_1^Y = 4.06\text{sec}$

- Adım 2: Binanın ortalama periyodu bulunur $\bar{T} = \frac{T_x + T_y}{2} = 3.5\text{sec}$
- Adım 3. $S_a(\bar{T})$ için sismik tehlike spectrum eğrisi oluşturulur.

Her ne kadar sahaya özgü sismik tehlike analizi kullanılabilse de, bu örnekte, daha önce Şekil 3.25’de gösterildiği gibi, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasında www.tdth.afad.gov.tr adresinden alınmıştır.



Şekil 3.25: Davranış spektrumu eğrisi, zemin sınıfı ZB, deprem seviyesi DD2.

- Adım 4: $S_a^{\min}(T)$ ve $S_a^{\max}(T)$ tanımlanır. Çökmeye neden olan ivme ve ihmal edilebilir ivme değerleri bulunur. Önemli ölçüde çökme olasılığı yaratan yanıtı ihmal edilebilir hasar veren bina yanıtı arasındaki süre. $\bar{T} = 3.5$ sn $S_a^{\min}(T)$ için şu şekilde alınmalıdır.

$$S_a^{\min}(T) = \frac{0.05}{\bar{T}} = \frac{0.05}{3.5} = 0.014g \quad (3.9)$$

$$S_a^{\max}(T) = 2 * S_a(\bar{T}) \quad (3.10)$$

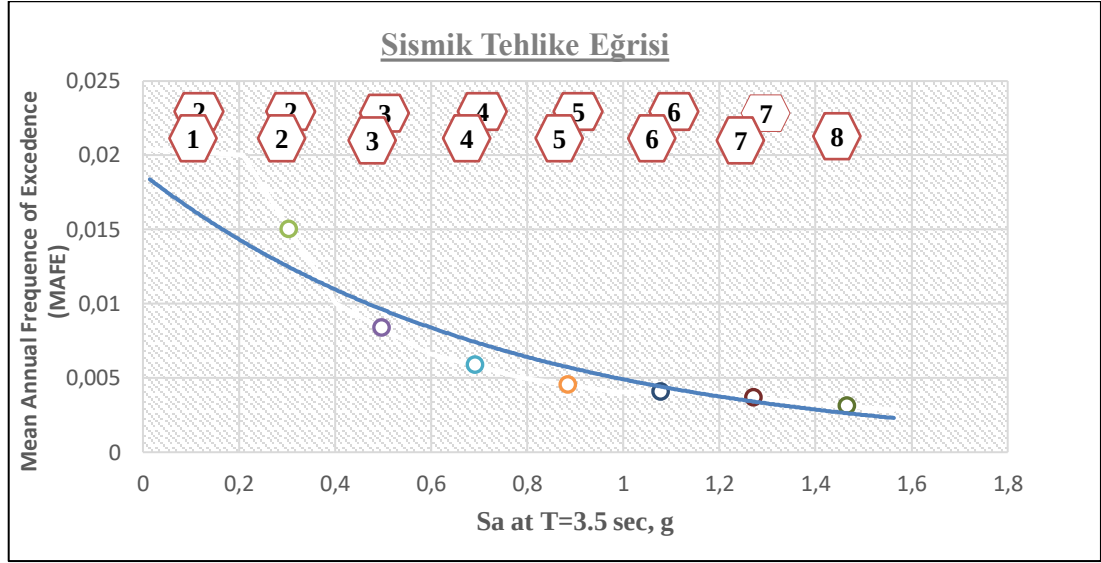
$S_a(\bar{T})$ Değeri 0.938g olarak entepole edilir.

$$S_a^{\max}(T) = 2 * 0.938 = 1.876g \quad (3.11)$$

- Adım 5: Sismik tehlike eğrisi $S_a(\bar{T})$ aralığını $S_a^{\min}(T)$ den $S_a^{\max}(T)$ e kadar 8 eşit parçaya bölünür.

$$S_a^{\min}(T) \text{ to } S_a^{\max}(T) = \hat{S}(T), S_a^{\max}(T) = 1.876g > \hat{S}(T) \quad (3.12)$$

Burada $\hat{S}(T) = 1.56g$ büyük olduğu için 1.56g alınmıştır.



Şekil 3.26: Zaman bazlı değerlendirme için kullanılacak bölümlere ayrılmış sismik tehlike eğrisi.

- Adım 6: Her segmentin orta noktasında $\hat{S}(T)$ 'nin merkezi değeri, yıllık ortalama aşma sıklığı ile birlikte belirlenir. Tablo 5 bu verileri özetlemektedir.

Tablo 3.15: Yoğunluk bölümlerine göre ivme değerleri.

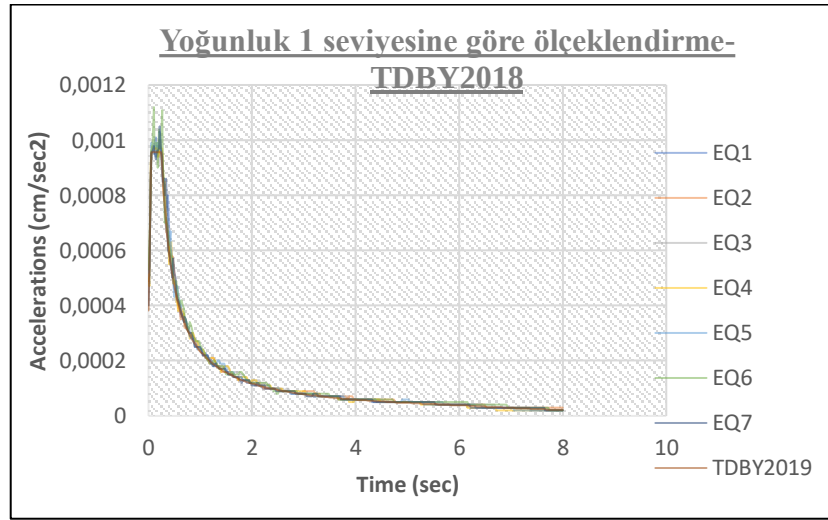
Spectral Bölümleri	PGA= Sa (T)	Frekans Değerleri
1	0.11109	0.020205
2	0.30469	0.015
3	0.49829	0.008335
4	0.69189	0.005835
5	0.88549	0.00453
6	1.07909	0.00403
7	1.2727	0.003665
8	1.4663	0.003095

- Adım 7: Yoğunluk temelli değerlendirme için Bölüm 3.3.1.1'de gösterildiği gibi, yer hareketi kayıt çiftlerinin geomeanını $\bar{S}_a$ 'daki (T) hedef spektrumun genliğine

göre seçin ve ölçeklendirin. Seçim ve ölçeklendirme için yer hareketleri http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php, www.peer.berkeley.edu, ve diğer web sitelerinde bulunabilir.

Bu örnekte, yer hareketi kayıtlarının spektral şekil eşleşmesi ve ölçeklendirilmesi için ve kullanıcı tarafından tanımlanan herhangi bir spektrumda kayıt çiftlerini seçmek ve ölçeklemek için SeismoMath programını kullanılmıştır.

Şekil 5-6 ve Şekil 5-7, spektral 1. Bölüm için hedef spektrumdakilerle bir uyum sağlamak için (ortalama geomean spektral koordinatlarının) 7 kaydın seçilmesini ve ölçeklenmesini göstermektedir.



Şekil 3.27: Seçilen 7 deprem yer hareketi yanıt spektrumu tasarım spektrumu göre ölçeklendirilir.

En az 7 eşleşmiş çift kayıt önerilir. http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php web sitesinde, yedi 7 yer hareketi kaydı seçtik.

- Adım 8: Her spektral bölüm için Adım 7'i tekrarlanır.

3.5.8. Göçme Kırılgnlık Eğrilerin ve Göçme Modlarının Tanımlanması

Göçme kırılgnlığı eğrileri ortalama bir değere $\hat{S}_a(T)$ ve bir dağılıma sahip olarak tanımlanır. Bu amaçla SAP2000'de tahmin tabanlı yaklaşım ve statik analiz yaklaşımını

kullanır. Kırılgenlik eğrisi fonksiyon gelişimini göçmeye yönelik bu yaklaşım, en son yapı yönetmelikleri gereksinimlerine uyan binalar için en uygundur.

Tahmin temelli süreç aşağıdaki adımlardan oluşur;

- Adım 1: En yüksek taban kesme kuvveti değeri olan V 'yi tahmin edilir, yapı [ASCE] / SEI 7-10 hükümlerine ve referans standartlarına tam uygun olarak her ana yönde ayrı ayrı yapılır.
- Adım 2: Tüm uygulanabilir [ASCE] / SEI 7 kriterlerine uygun olarak, yapının hâkim periyoduna göre, S_{aD} 'de tasarım spektral ivmesinin etkin değerini aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_{aD} = \frac{V}{W} R \quad (3.13)$$

Burada ‘ V ’, Aşama 1’de belirlenen taban kesme kuvvetidir. ‘ W ’, yapının sismik ağırlığı ve ‘ R ’ ise, [ASCE] / SEI 7’de tanımlanan yapının davranış katsayısıdır.

$V=9879\text{kN}$; $W=286667\text{kN}$; $R=6$

$$S_{aD} = \frac{9879}{286667} \cdot 6 = 0.206 \quad (3.14)$$

- Adım 3: Aşağıdan uygun formülü kullanarak, binanın hâkim periyoduna göre (T) ortalama göçme kapasitesini $S_a(T)$ hesaplanır. Binanın hâkim periyodu $T = 4.961$ saniyedir. Tablo 3.17’de hesaplar gösterilmiştir.

Tablo 3.17: $S_a(T)$ hesap tablosu.

$\widehat{S}(T) = 4S_{aD}$	$(T \geq 0.6 \text{ seconds})$
$\widehat{S}(T) = 4S_{aD} [5(1 - C_4)T + 3C_4 - 2]$	$(0.4 \leq T \leq 0.6 \text{ seconds})$
$\widehat{S}(T) = 4C_4 S_{aD}$	$(T \leq 0.4 \text{ seconds})$

Burada,

$$C_4 = \frac{\sqrt{2R - 1}}{R} \quad (3.15)$$

Bu çalışmada kullandığımız binanın periyodu $T \geq 0.6$ olduğu için $\hat{S}(T) = 4S_{ad} = 1.103$ İvme değeri hesaplanmıştır.

- Adım 4: Binanın hâkim periyodunu hesaplanan ortalama göçme kapasitesini dönüştürülür.

$$\hat{S}_a(\bar{T}) = \frac{T}{\bar{T}} Sa(T), \quad T \geq 0.6s \quad (3.16)$$

$$\hat{S}(\bar{T}) = Sa(T), \quad T < 0.6s \quad (3.17)$$

Bu durumda bina periyodu $T = 4.961sec \geq 0.6seconds$, $\hat{S}(\bar{T}) = \frac{4.961}{3.5} * 1.103$ hesaplandı zaman $\hat{S}(\bar{T}) = 1.56g$ çıkar. Bu nedenle, göçme kırılğanlığı medyan değeri 1.56 g ve dağılımı 0,6 olarak tanımlanmaktadır.

3.5.9. Analiz Yöntemi Seçilmesi ve Analitik Yapı Modeli Oluşturulması

Yapı, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi kullanılarak analiz edilir. Üç boyutlu bir analitik model, [FEMAP58]'in Bölüm 3.2.2 ve Cilt 1, Bölüm 5'lerinde açıklandığı gibi monte edilir. Bu amaçla ETAB2017 ve PERFORM 3D'yi kullanarak modellemeleri oluşturduk.

3.5.10. Yapının 8 Yoğunluk Senaryosu için 7 Deprem Takımının Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları

Sekiz yoğunluktan her biri için yedi yer hareketi seçildi ve ölçeklendirildi. Tablo 3.17 ve 3.21 arasında Sekiz şiddetin her birinde zamana bağlı doğrusal olmayan analizinden elde edilen yapısal ivme ve drift verilerini özetlenmiştir.

Analitik olarak üretilen medyan sapma ve ivme tahminlerine, tepki değişkenliğini yansıtmak için dağılım katsayısı atanmıştır. Atanan dağılım, β_m ve β_q olmak üzere iki bileşenden oluşur.

[FEMAP-58] Bölüm 3.3.1.2 ve Cilt 1, Bölüm 5, 'den alınan,

$$\beta_m = \sqrt{\beta_c^2 + \beta_q^2} \quad (3.18)$$

Bu örnekte,

$$\beta_c = 0.25, \quad \beta_q = 0.40, \quad \beta_m = \sqrt{0.25^2 + 0.4^2} = 0.47 \quad (3.19)$$

Tablo 3.18: Yapısal analiz sonuçlarının özeti (Katlara göre drift ve ivme değerleri, doğrusal olmayan hesaplardan alınmıştır).

Intensity 5 Sa(T)=0.885g			Intensity 6 Sa(T)=1.079g			Intensity 7 Sa(T)=1.273g			Intensity 8 Sa(T)=1.466g		
Demand	Median		Demand	Median		Demand	Median		Demand	Median	
KAT	Δ_i	a_i	KAT	Δ_i	a_i	KAT	Δ_i	a_i	KAT	Δ_i	a_i
13	0.00719	1.56555	13	0.00446	1.38828	13	0.00212	0.66847	13	0.00361	0.66693
22	0.00731	1.65939	22	0.00453	1.48368	22	0.00216	0.73422	22	0.00367	0.725
21	0.00733	1.7244	21	0.00454	1.5331	21	0.00216	0.74463	21	0.00368	0.74047
20	0.00735	1.77005	20	0.00455	1.57291	20	0.00217	0.76271	20	0.00369	0.75892
19	0.00723	1.60287	19	0.00448	1.43561	19	0.00213	0.71441	19	0.00363	0.70397
18	0.00694	1.70137	18	0.0043	1.51246	18	0.00205	0.73435	18	0.00348	0.73034
17	0.0067	1.85437	17	0.00415	1.64713	17	0.00197	0.79756	17	0.00336	0.79403
16	0.00663	1.66341	16	0.00411	1.48799	16	0.00196	0.7375	16	0.00333	0.72781
15	0.00644	1.67112	15	0.00399	1.49248	15	0.0019	0.73585	15	0.00323	0.72761
14	0.00617	1.72881	14	0.00382	1.54353	14	0.00182	0.76027	14	0.0031	0.75204
13	0.0054	1.59088	13	0.00335	1.42549	13	0.00159	0.71037	13	0.00271	0.69962
12	0.00527	1.75156	12	0.00326	1.57624	12	0.00155	0.79639	12	0.00264	0.78034
11	0.00538	1.79612	11	0.00333	1.61048	11	0.00159	0.80431	11	0.0027	0.79149
10	0.00527	1.64913	10	0.00327	1.47843	10	0.00155	0.73796	10	0.00264	0.72635
9	0.00475	1.74398	9	0.00294	1.55473	9	0.0014	0.76198	9	0.00238	0.75515
8	0.00473	1.76198	8	0.00293	1.57577	8	0.00139	0.78038	8	0.00237	0.77037
7	0.00486	1.99141	7	0.00301	1.77566	7	0.00143	0.87085	7	0.00244	0.86282
6	0.00468	1.57048	6	0.0029	1.40091	6	0.00138	0.68798	6	0.00235	0.68129
5	0.00494	1.44163	5	0.00306	1.28344	5	0.00146	0.62622	5	0.00248	0.62165
4	0.00467	1.71101	4	0.00289	1.53291	4	0.00138	0.76354	4	0.00234	0.75212
3	0.00447	1.35813	3	0.00277	1.21107	3	0.00132	0.59407	3	0.00224	0.58855
2	0.00437	1.78219	2	0.00271	1.5992	2	0.00129	0.80063	2	0.00219	0.78716
1	0.00424	1.70107	1	0.00262	1.51769	1	0.00125	0.74579	1	0.00213	0.73837
-4	0.00378	1.29132	-4	0.00234	1.1397	-4	0.00111	0.54	-4	0.0019	0.54209
-2	0.00351	1.63069	-2	0.00218	1.44714	-2	0.00104	0.6986	-2	0.00176	0.69631
-3	0.00236	1.89171	-3	0.00146	1.68264	-3	0.0007	0.81857	-3	0.00118	0.81351
-1	0.0005	1.17383	-1	0.00031	1.04576	-1	0.00015	0.51142	-1	0.00025	0.50725

Tablo 3.19: Yapısal Analiz Sonuçlarını, Yoğunluk 4'e göre 7 deprem takımı için yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları, X yönü göreli kat ötelemesi.

	Intensity 4 (PGA=0.692g)/Story Drift in X Direction						
KAT	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
23	0.00042	0.00816	0.00792	0.00752	0.00684	0.00575	0.0069
22	0.00042	0.0083	0.00805	0.00765	0.00696	0.00584	0.00701
21	0.00042	0.00832	0.00807	0.00766	0.00697	0.00586	0.00703
20	0.00042	0.00834	0.00809	0.00769	0.007	0.00588	0.00705
19	0.00042	0.00821	0.00796	0.00756	0.00688	0.00578	0.00694
18	0.00042	0.00787	0.00763	0.00725	0.0066	0.00554	0.00665
17	0.00042	0.00759	0.00736	0.007	0.00637	0.00535	0.00642
16	0.00042	0.00752	0.0073	0.00693	0.00631	0.0053	0.00636
15	0.00042	0.0073	0.00708	0.00673	0.00612	0.00514	0.00617
14	0.00042	0.00699	0.00678	0.00645	0.00587	0.00493	0.00591
13	0.00042	0.00611	0.00593	0.00563	0.00512	0.0043	0.00516
12	0.00042	0.00596	0.00578	0.00549	0.00499	0.0042	0.00503
11	0.00042	0.00608	0.0059	0.00561	0.0051	0.00429	0.00514
10	0.00042	0.00596	0.00578	0.00549	0.005	0.0042	0.00504
9	0.00042	0.00536	0.0052	0.00494	0.0045	0.00378	0.00453
8	0.00042	0.00533	0.00517	0.00492	0.00447	0.00376	0.00451
7	0.00042	0.00549	0.00532	0.00505	0.0046	0.00386	0.00464
6	0.00042	0.00528	0.00512	0.00487	0.00443	0.00372	0.00446
5	0.00042	0.00558	0.00541	0.00514	0.00468	0.00393	0.00472
4	0.00042	0.00527	0.00511	0.00486	0.00442	0.00371	0.00446
3	0.00042	0.00504	0.00489	0.00464	0.00423	0.00355	0.00426
2	0.00042	0.00492	0.00478	0.00454	0.00413	0.00347	0.00416
1	0.00042	0.00477	0.00463	0.0044	0.004	0.00336	0.00404
-4	0.00042	0.00425	0.00412	0.00392	0.00356	0.00299	0.00359
-2	0.00042	0.00394	0.00383	0.00363	0.00331	0.00278	0.00333
-3	0.00042	0.00262	0.00254	0.00241	0.0022	0.00185	0.00222
-1	0.00041	0.00049	0.00048	0.00045	0.00041	0.00035	0.00042

Tablo 3.20: Yapısal Analiz Sonuçlarını, Yoğunluk 4'e göre 7 deprem takımı için yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları, Y yönü göreli kat ötelemesi.

	Intensity 4 (PGA=0.692g)/Story Drift in Y Direction						
KAT	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
23	0.00059	0.01143	0.01108	0.01053	0.00958	0.00805	0.00966
22	0.00059	0.01162	0.01127	0.0107	0.00974	0.00818	0.00982
21	0.00059	0.01164	0.01113	0.01073	0.00976	0.0082	0.00984
20	0.00059	0.01168	0.01133	0.01076	0.00979	0.00823	0.00987
19	0.00059	0.01149	0.01114	0.01059	0.00963	0.00809	0.00971
18	0.00059	0.01101	0.01068	0.01015	0.00924	0.00776	0.00931
17	0.00059	0.01063	0.01031	0.0098	0.00891	0.00749	0.00899
16	0.00059	0.01053	0.01021	0.0097	0.00883	0.00742	0.0089
15	0.00059	0.01023	0.00992	0.00942	0.00857	0.0072	0.00864
14	0.00059	0.00979	0.0095	0.00902	0.00821	0.0069	0.00828
13	0.00059	0.00855	0.0083	0.00788	0.00717	0.00602	0.00723
12	0.00059	0.00834	0.00809	0.00768	0.00699	0.00587	0.00705
11	0.00059	0.00852	0.00826	0.00785	0.00714	0.006	0.0072
10	0.00059	0.00835	0.00809	0.00769	0.007	0.00588	0.00705
9	0.00059	0.0075	0.00728	0.00692	0.00629	0.00529	0.00634
8	0.00059	0.00747	0.00724	0.00688	0.00626	0.00526	0.00631
7	0.00059	0.00768	0.00745	0.00708	0.00644	0.00541	0.00649
6	0.00059	0.00739	0.00717	0.00681	0.0062	0.00521	0.00625
5	0.00059	0.00781	0.00758	0.0072	0.00655	0.0055	0.0066
4	0.00059	0.00738	0.00716	0.0068	0.00619	0.0052	0.00624
3	0.00059	0.00705	0.00684	0.0065	0.00592	0.00497	0.00596
2	0.00059	0.00689	0.00669	0.00635	0.00578	0.00486	0.00583
1	0.00059	0.00668	0.00648	0.00616	0.00561	0.00471	0.00565
-4	0.00059	0.00595	0.00577	0.00548	0.00499	0.00419	0.00503
-2	0.00059	0.00552	0.00536	0.00509	0.00463	0.00389	0.00467
-3	0.00059	0.00367	0.00356	0.00338	0.00308	0.00258	0.0031
-1	0.00058	0.00069	0.00067	0.00064	0.00058	0.00049	0.00058

Tablo 3.21: Yapısal Analiz Sonuçlarını, Yoğunluk 4'e göre 7 deprem takımı için yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları, X yönü katlara göre ivme değerleri.

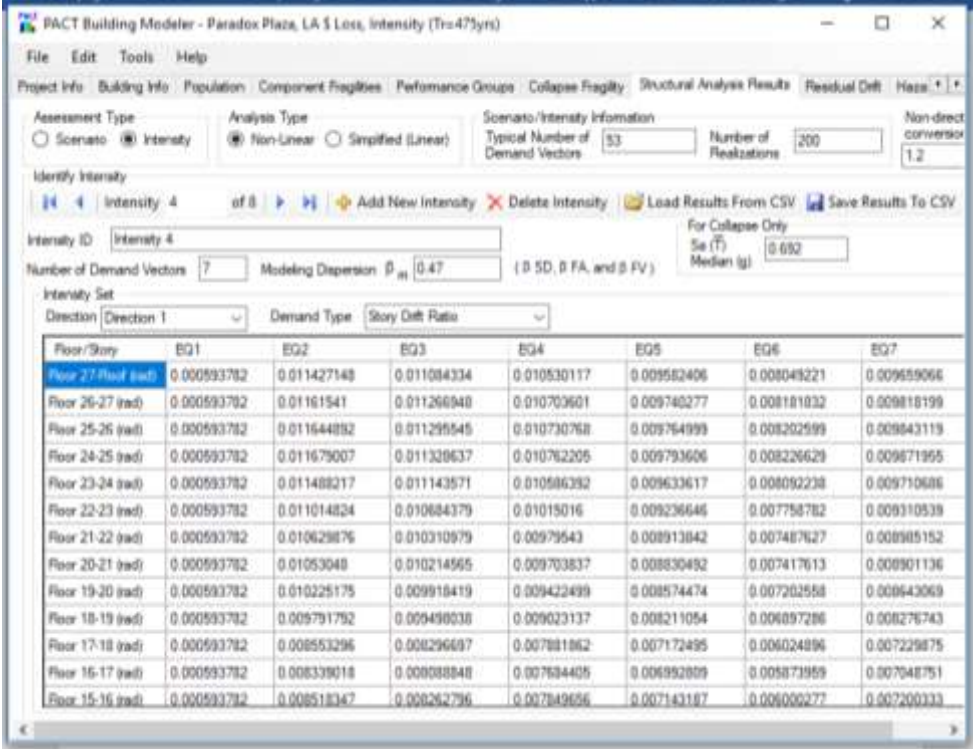
	Intensity 4 (PGA=0.692g)/Accelerations in X Direction						
KAT	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
13	1.00135	2.56438	2.48745	1.86684	1.69883	1.58506	2.1676
22	1.30823	2.3047	2.23556	2.43897	2.21946	1.58506	1.9481
21	1.18299	2.73675	2.65464	2.20548	2.00699	1.58506	2.3133
20	1.19867	2.85241	2.76684	2.23472	2.03359	1.58506	2.41107
19	1.31368	2.11644	2.05295	2.44913	2.22871	1.58506	1.78897
18	1.16397	2.69849	2.61754	2.17002	1.97472	1.58506	2.28096
17	1.24149	3.04098	2.94975	2.31455	2.10624	1.58506	2.57046
16	1.3258	2.28557	2.21701	2.47173	2.24928	1.58506	1.93193
15	1.2832	2.38706	2.31545	2.39231	2.177	1.58506	2.01772
14	1.31813	2.50587	2.4307	2.45742	2.23626	1.58506	2.11815
13	1.31635	2.16778	2.10275	2.35054	2.13899	1.51817	1.83237
12	1.58651	2.25181	2.18425	2.7368	2.49049	1.55598	1.90339
11	1.50821	2.37401	2.30279	2.8118	2.55874	1.58506	2.00669
10	1.37973	2.19114	2.1254	2.50864	2.28286	1.57052	1.85211
9	1.28198	2.67937	2.59899	2.32425	2.11507	1.54143	2.2648
8	1.39653	2.54457	2.46823	2.51441	2.28811	1.54143	2.15086
7	1.47119	3.10248	3.0094	2.69161	2.44937	1.55598	2.62244
6	1.1718	2.40285	2.33077	2.04386	1.85991	1.48327	2.03107
5	1.02454	2.14831	2.08386	1.89255	1.72222	1.57052	1.81591
4	1.41128	2.34674	2.27634	2.55696	2.32683	1.54143	1.98364
3	1.0049	1.90666	1.84946	1.87002	1.70172	1.58215	1.61165
2	1.52111	2.32949	2.2596	2.80984	2.55695	1.57052	1.96905
1	1.27506	2.42911	2.35624	2.45187	2.2312	1.63159	2.05326
-4	0.71654	2.20126	2.13523	1.34813	1.2268	1.5996	1.86067
-2	1.06526	2.66946	2.58938	1.96349	1.78678	1.58506	2.25643

Tablo 3.22: Yapısal Analiz Sonuçlarını, Yoğunluk 4'e göre 7 deprem takımı için yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları, Y yönü katlara göre ivme değerleri.

	Intensity 4 (PGA=0.692g)/Accelerations in Y Direction						
KAT	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
13	0.28388	0.727	0.70519	0.52925	0.48162	0.44936	0.61451
22	0.37088	0.65338	0.63378	0.69145	0.62922	0.44936	0.55229
21	0.33538	0.77587	0.75259	0.62525	0.56898	0.44936	0.65582
20	0.33982	0.80866	0.7844	0.63354	0.57652	0.44936	0.68354
19	0.37243	0.60001	0.58201	0.69433	0.63184	0.44936	0.50717
18	0.32999	0.76502	0.74207	0.6152	0.55983	0.44936	0.64665
17	0.35196	0.86212	0.83625	0.65618	0.59712	0.44936	0.72873
16	0.37586	0.64796	0.62852	0.70074	0.63767	0.44936	0.5477
15	0.36379	0.67673	0.65643	0.67822	0.61718	0.44936	0.57202
14	0.37369	0.71041	0.6891	0.69668	0.63398	0.44936	0.60049
13	0.37318	0.61457	0.59613	0.66638	0.6064	0.4304	0.51948
12	0.44978	0.63839	0.61924	0.77588	0.70605	0.44112	0.53961
11	0.42758	0.67303	0.65284	0.79715	0.7254	0.44936	0.5689
10	0.39115	0.62119	0.60255	0.7112	0.64719	0.44524	0.52507
9	0.36344	0.7596	0.73681	0.65893	0.59962	0.437	0.64207
8	0.39592	0.72138	0.69974	0.71283	0.64868	0.437	0.60977
7	0.41708	0.87955	0.85317	0.76307	0.6944	0.44112	0.74346
6	0.3322	0.68121	0.66077	0.57943	0.52728	0.42051	0.57581
5	0.29046	0.60905	0.59077	0.53654	0.48825	0.44524	0.51481
4	0.4001	0.6653	0.64534	0.7249	0.65966	0.437	0.56236
3	0.28489	0.54054	0.52432	0.53015	0.48244	0.44854	0.4569
2	0.43124	0.66041	0.6406	0.79659	0.7249	0.44524	0.55823
1	0.36148	0.68865	0.66799	0.69511	0.63255	0.46256	0.5821
-4	0.20314	0.62406	0.60534	0.3822	0.3478	0.45349	0.5275
-2	0.302	0.75679	0.73409	0.55665	0.50655	0.44936	0.6397
-3	0.37255	0.85823	0.83248	0.69456	0.63205	0.44936	0.72544
-1	0.24068	0.45475	0.4411	0.44871	0.40833	0.44936	0.38438

3.5.11. Performans Seviyesinin Hesaplanması

8 yoğunluk seviyesinin her biri için yapısal analiz sonuçları, Yapısal Analiz Sonuçları sekmesinde [PACT]'a girilir. Şekil 25 yoğunluk 4, yön 1 için drift giriş değerlerini gösterir. Giriş, spektral hızlanma ($S_a = 0.692g$), dağılım ($\beta_m = 0.47$) içerir ve 7 deprem talep vektörünün tümü için girişi içerir. Tepe kat ivmeleri de benzer şekilde girilir.



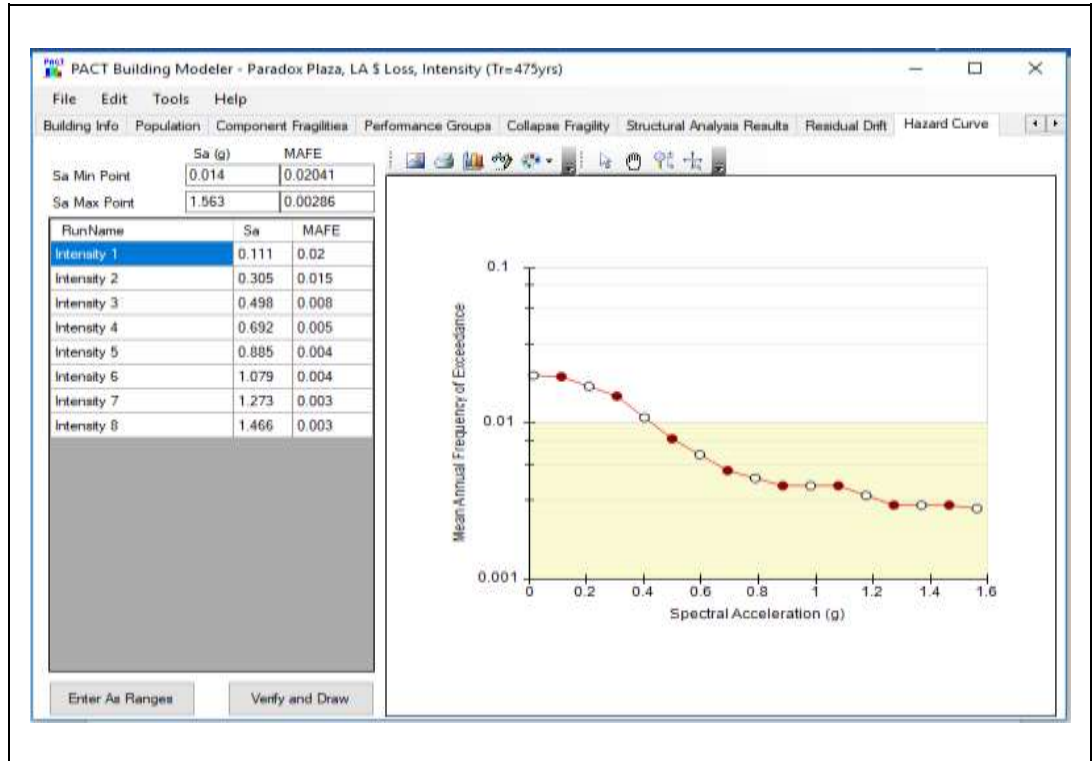
The screenshot shows the PACT Building Modeler software interface. The 'Assessment Type' is set to 'Intensity'. The 'Analysis Type' is 'Non-Linear'. The 'Scenario/Intensity Information' section shows 'Typical Number of Demand Vectors' as 53 and 'Number of Realizations' as 200. The 'Identify Intensity' section shows 'Intensity ID' as 'Intensity 4'. The 'Intensity Set' section shows 'Direction' as 'Direction 1' and 'Demand Type' as 'Story Drift Ratio'. The table below shows the drift results for various floors and earthquake intensities.

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
Floor 27-Roof (rad)	0.000593782	0.011427148	0.011084334	0.010530117	0.009562406	0.008048221	0.009559066
Floor 26-27 (rad)	0.000593782	0.01161541	0.011266948	0.010703601	0.009740277	0.008181832	0.009818199
Floor 25-26 (rad)	0.000593782	0.011644882	0.011295545	0.010730768	0.009764999	0.008202599	0.009843119
Floor 24-25 (rad)	0.000593782	0.011679007	0.011328637	0.010762205	0.009793606	0.008226629	0.009871955
Floor 23-24 (rad)	0.000593782	0.011488217	0.011143571	0.010586292	0.009633617	0.008092238	0.009710686
Floor 22-23 (rad)	0.000593782	0.011014824	0.010684379	0.01015016	0.009236646	0.007758782	0.009310539
Floor 21-22 (rad)	0.000593782	0.010629876	0.010310879	0.00979543	0.008913842	0.007487627	0.008985152
Floor 20-21 (rad)	0.000593782	0.01053048	0.010214565	0.009703837	0.008830492	0.007417613	0.008901136
Floor 19-20 (rad)	0.000593782	0.010225175	0.009918419	0.009422499	0.008574474	0.007202558	0.008643069
Floor 18-19 (rad)	0.000593782	0.009791792	0.009498038	0.009023137	0.008211054	0.006897286	0.008276743
Floor 17-18 (rad)	0.000593782	0.008553296	0.008296897	0.007881862	0.007172495	0.006024896	0.007229875
Floor 16-17 (rad)	0.000593782	0.008339018	0.008038848	0.007634405	0.006952809	0.005873959	0.007048751
Floor 15-16 (rad)	0.000593782	0.008518347	0.008262796	0.007849656	0.007143187	0.006000277	0.007200333

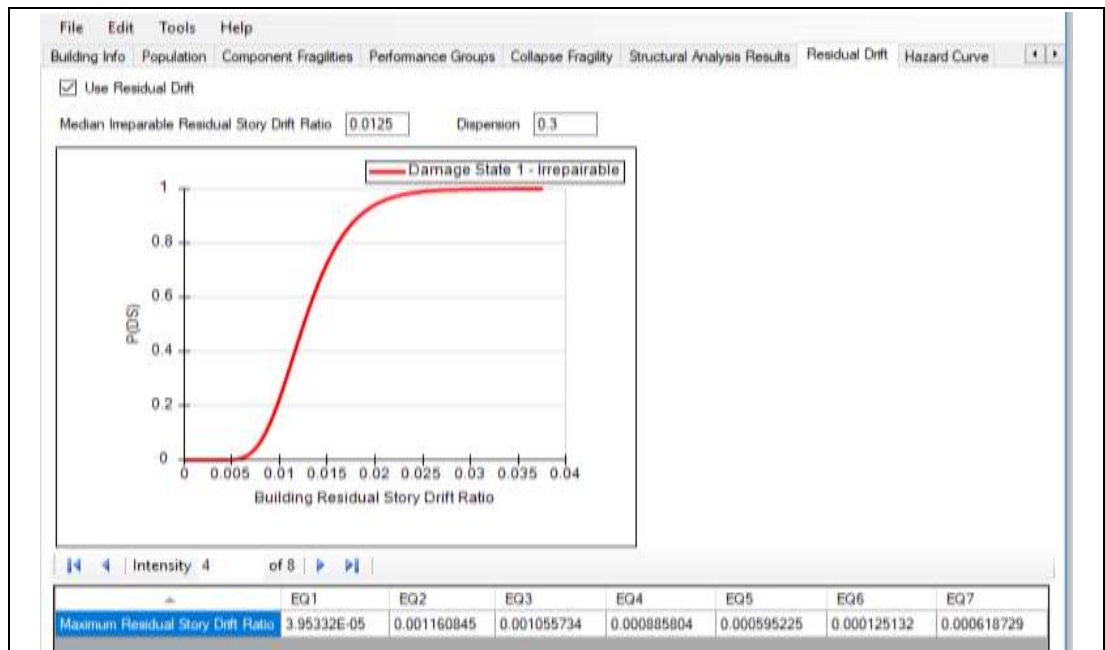
Şekil 3.28: Yoğunluk 4 için drift sonuçlarının girişi, Yapısal Analiz Sonuçları.

Tepe deplasman değerleri, deplasman sekmesi aracılığıyla [PACT]'a girilir. Şekil 5-9 yoğunluk 4 için bu girdiyi gösterilmiştir. Ekranın üst kısmındaki kırılma bilgisi, 0.0125 medyan değeri ve 0.3'lük bir dağılım olarak alınır [FEMA P58].

Yoğunlukların her birine karşılık gelen ortalama yıllık aşma değerleri sıklığı, Şekilde gösterildiği gibi Tehlike Eğrisi sekmesi aracılığıyla girilir.



Şekil 3.29: [PACT] tehlike eğrisi.



Şekil 3.30: [PACT] Katlara göre görel kat ötelemeleri girişi.

4. DEĞERLENDİRME

RİSK değerlendirme sonuçlarını Şekil 26 'da gösterildiği gibi farklı miktarlardaki onarım maliyeti için yıllık aşılma olasılığını ve ortalama yıllık kayıp değerleri verilmektedir. Şekil 26'da yıllık ortalama göçme olasılığı şeklin sol üst köşesindeki kutuda 0.0006475 olarak gösterilmiştir. Bu, $1 / 0.0006475 = 1544$ yıllık çöküş için ortalama geri dönüş süresine eşittir.

Benzer şekilde, bunun altındaki kutu, binada güvenli olmayan bir afişin yaklaşık 85 yıllık ortalama geri dönüş süresine eşit olacağı kadar şiddetli olması için yıllık ortalama 0.012 olasılık olasılığını göstermektedir. 50 yıllık kredi süresi boyunca % 10 aşılma olasılığına sahip olan onarım maliyetini belirlemek için, bu tür bir kayıp için karşılık gelen geri dönüş süresini hesaplamak gerekir

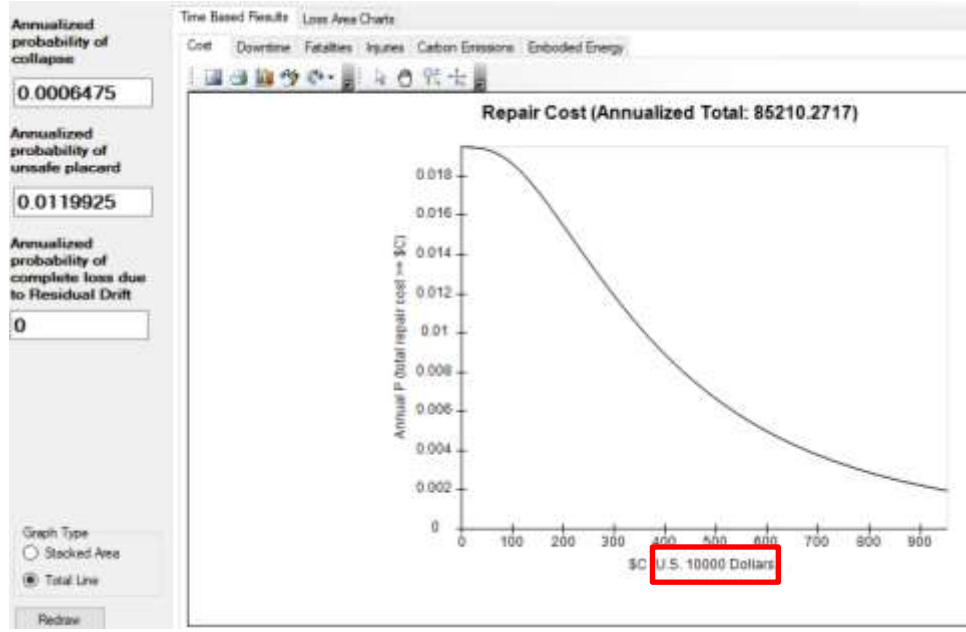
Ortalama geri dönüş süresi, P_R , ilgili dönemdeki yıl sayısının bir fonksiyonu, Y ve aşağıdaki formülü kullanarak istenen aşım olasılığı olan P_{EY} 'nin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir

$$P_R = \frac{-Y}{\ln(1 - P_{EY})} \quad (4.1)$$

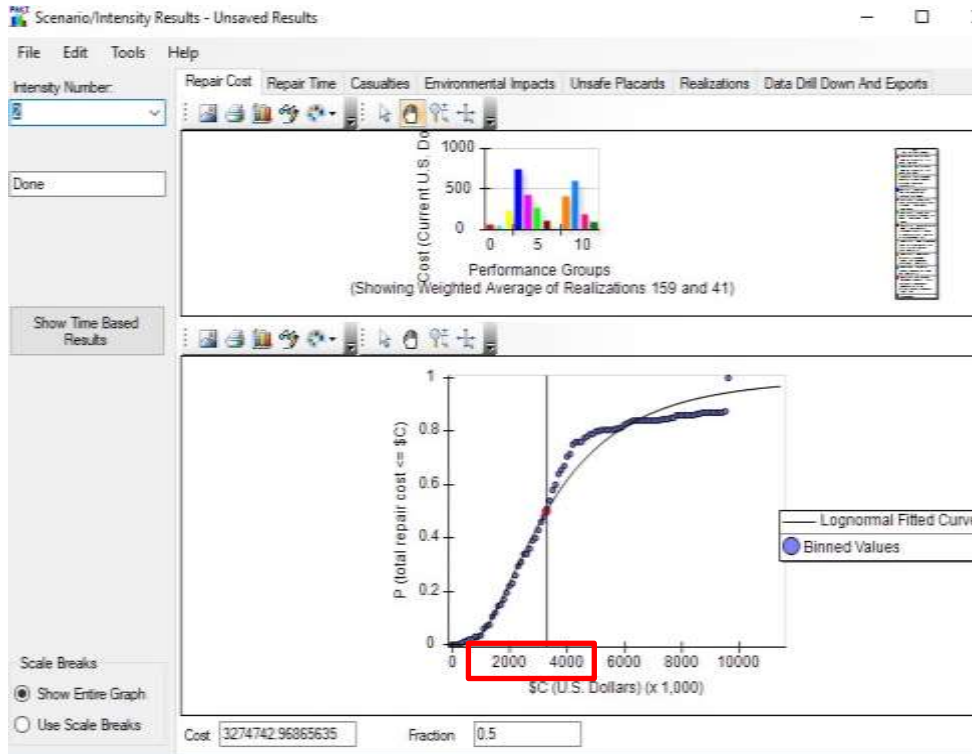
$Y = 50$ yılda, $P_{EY} = 10\% = 0.10$. Yerine yerleştirdiğimizde,

$$P_R = \frac{-50}{\ln(1 - 0.10)} = 475 \text{ yıl} \quad (4.2)$$

Bilinmesi istenen zararın yıllık geri dönüş süresi, yılda 1/475 yıl veya 0,0021 aşım sıklığına eşittir. Bu yıllık aşılmama olasılığına sahip olan Şekil 8 için, ilgili onarım maliyeti 8,75 milyon dolar olarak bulunmuştur. Bu, binanın toplam yenileme maliyetinin%91,63'ünü temsil eder. Benzer şekilde, Şekil 2'de gösterildiği gibi, yıllık ortalama onarım maliyeti 85210.2717 \$'dır. Bu değer sigorta primi için kullanılabilir.

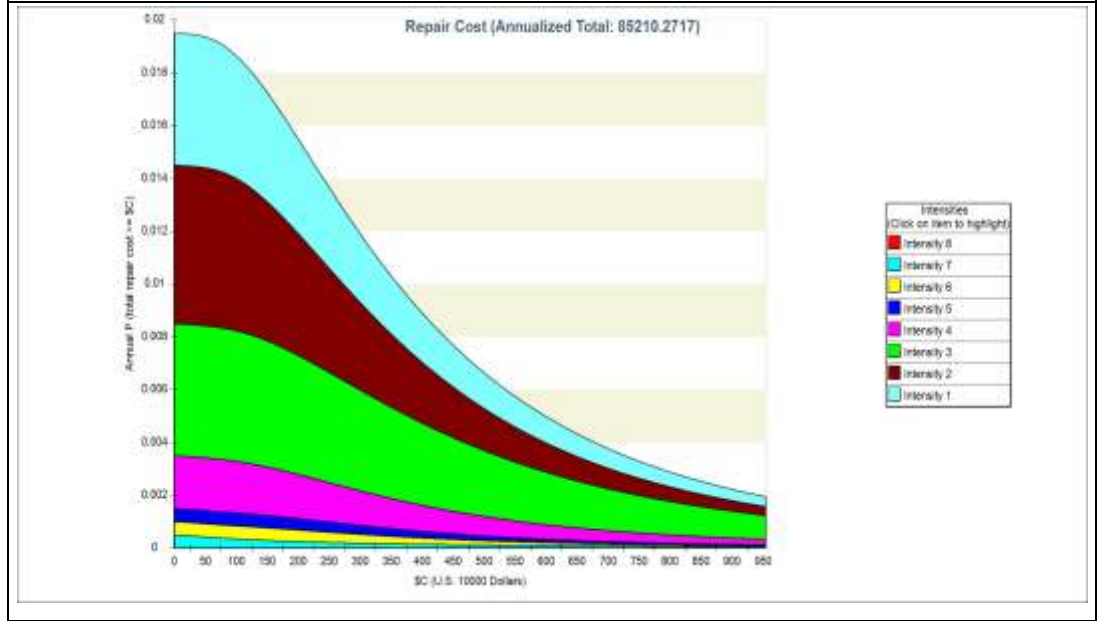


a)

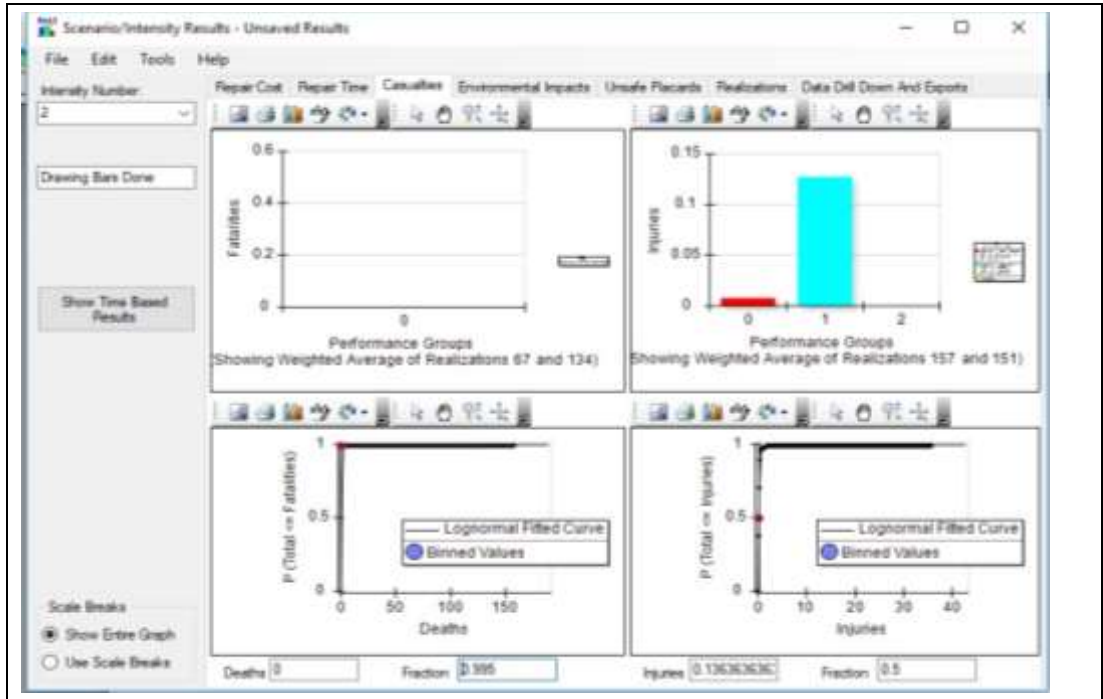


b)

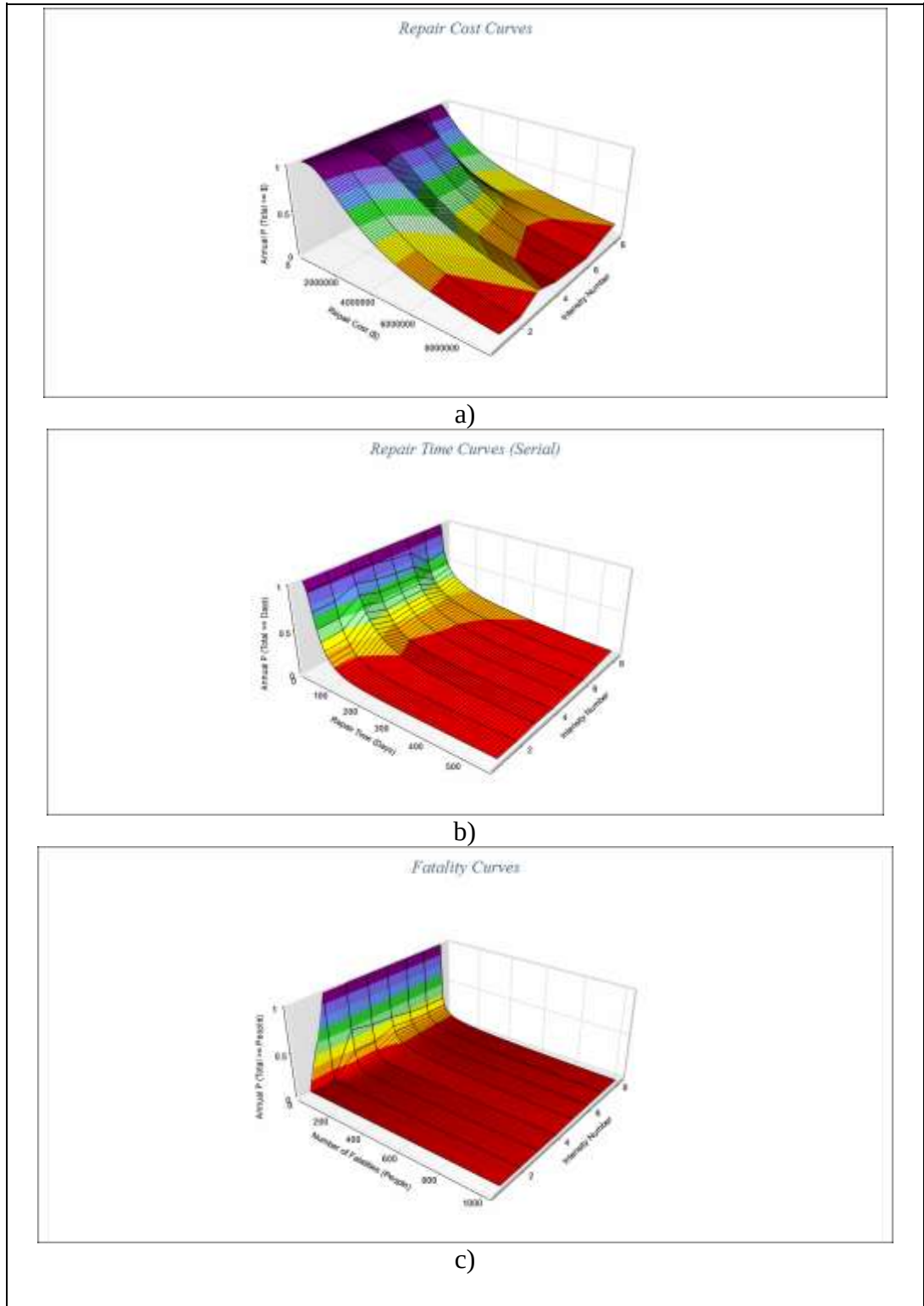
Şekil 4.1: Yıllık onarım maliyetini gösteren Zaman a Bağlı Sonuçlar sekmesi şekil (a), şekil (b) de ise Onarım maliyetini gösteren [PACT] Senaryosu / Yoğunluk Sonuçları sekmesi (%50 olasılıkla onarım maliyeti 3.274.742,96 \$ olarak görülmektedir.).



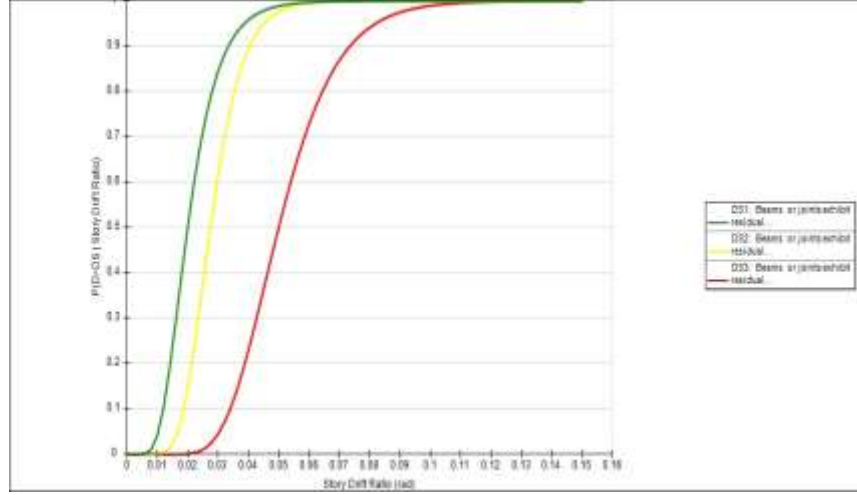
Şekil 4.2: [PACT] Zamana bağlı 8 Yoğunluk senaryosu için maliyet kaybı grafiği.



Şekil 4.3. Yaralıları gösteren Senaryo / Yoğunluk Sonuçları sekmesi. (%99 olasılıkla can kaybının olmaması ve %50 olasılıkla % yaralanan sayısının 0.14 ü geçmeyeceğini açıklamaktadır.).



Şekil 4.4: Bileşenlerin sismik hasarının deprem seviyelerine göre bileşenlerin türüne göre görüntülenmesi.



Şekil 4.5: [FEMA P-58], gösterildiği gibi tüm PG'ler için kırılabilirlik eğrileri sağlar. Kırılabilirlik eğrileri yoluyla, farklı DS' glerde bir PG'nin olasılıkları belirli bir EDP altında belirlenebilir.

4.1. Yeni Yönetmelik Uyumlu Bina İçin USRC Derecelendirme Aralığı (Yapısal Sisteme Bağlı)

Bu sertifika yöntemi [USRC] Derecelendirmesi, içinde yaşadığımız, çalıştığımız veya yatırım yaptığımız binaların beklenen afet performansını tanımlar. Binaların sertifika seviyesini onarım maliyetini, yaralanmaları ve tekrar onarım süresine bağlı olarak 5 yıldız şeklinde gruplara ayırmaktadır.

USRC		
Safety	Damage	Recovery
5 ★ Injuries and blocking of exit paths unlikely	5 ★ Minimal damage (< 5%)	5 ★ Immediately to days
4 ★ Serious injuries unlikely	4 ★ Moderate damage (< 10%)	4 ★ Within days to weeks
3 ★ Loss of life unlikely	3 ★ Significant damage (< 20%)	3 ★ Within weeks to months
2 ★ Loss of life possible in isolated locations	2 ★ Substantial damage (< 40%)	2 ★ Within months to a year
1 ★ Loss of life likely in the building	1 ★ Severe damage (40%+)	1 ★ More than one year
	NE Not Evaluated	NE Not evaluated

Şekil 4.6: [USRC] Derecelendirme sınıfı tablosu-Çalışmada kullandığımız bina bu [USRC]'e göre 3* derecesinde değerlendirilebilir.

4.2. Yeni Yönetmelik Uyumlu Bina İçin REDİ Derecelendirme Aralığı (Yapısal Sisteme Bağlı)

[REDİ] derecelendirme sertifikası binaların onarım maliyeti, onarım süresi ve yaralanmalara bağlı olarak “Platinyum, Altın, Gümüş” 3 ana grupta sertifika vermektedir.

Platinum	Downtime: Immediate Re-Occupancy (Green Tag expected) and Functional Recovery < 72 hours Direct Financial Loss: Scenario Expected Loss < 2.5% Occupant Safety: Physical injury due to failure of building components unlikely
Gold	Downtime: Immediate Re-Occupancy (Green Tag expected) and Functional Recovery < 1 month¹ Direct Financial Loss: Scenario Expected Loss < 5% Occupant Safety: Physical injury due to failure of building components unlikely
Silver	Downtime: Re-Occupancy < 6 months (Yellow Tag possible) and Functional Recovery < 6 months¹ Direct Financial Loss: Scenario Expected Loss < 10% Occupant Safety: Physical injury may occur from falling components (but not structural collapse), fatalities are unlikely

Şekil 4.7: [REDİ] Derecelendirme Sınıfı tablosu- Çalışmada hesaplanan bina bu derecelendirme sistemine göre gümüş sertifikası almaktadır.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada geleneksel yöntemlerle analiz edilen ve performans hesapları yapılan bir binanın yeni nesil risk değerlendirme analizleri yapılmıştır. Birkaç farklı metodolojiden biri olan [FEMA P58] kullanılarak yapılan çalışmada [FEMA P58] mevcut kırılabilirlik eğrileri kullanılmış ve yapının onarım maliyeti, onarım süresi, yaralanmalar ve sigorta maliyeti hakkında birçok değer olasılıksal olarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının, bina sahipleri, yöneticileri, sigorta firmaları ve risk yönetimi için değerli olacağına inanılmaktadır.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar;

- [TBDY 2018]'e göre DD1 deprem düzeyi altında “Göçmenin önlenmesi” performans seviyesinde olduğu sonucuna varılmıştır.
- Performans analizleri sonrasında yeni nesil resilyansa göre yapısal ve yapısal olmayan elemanların maliyet ve süre kayıpları için [FEMA P58]'e göre risk analizleri yapılmıştır. Buna göre bağımsız derecelendirme kuruluşu olan [USRC]'e göre 3 yıldız derecesine ve [REDİ]'ye göre ise gümüş sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Yapının sadece yapısal değil yapısal olmayan elemanlarıyla birlikte değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşım deprem sonrasında yapıda can güvenliğinin sağlanmasının ötesinde normal hayata tekrar geri dönüş için gerekli maliyet ve süre gibi yaklaşık hesaplarla öngörü oluşturup gerekli önlemlerin alınmasını sağlaması açısından değerli görülmektedir.

[TBDY 2018] deprem yönetmeliğinde yapıların olası deprem sonrasında yapısal elemanda beklenen davranışı tahmin etmemizi sağlamaktadır. Ancak işletmeciler, işverenler ve yapı sahipleri artık bundan daha fazlasını talep etmektedir. Yeni nesil yönetmeliklerin içeriğinde olası deprem sonrasında maliyet ve süre kayıplarının analizlerinin de eklenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır

Bu sonuçlara bağlı olarak uluslararası derecelendirme kuruluşları olan [USRC] (US Resiliency Council ve [REDİ] (Resilience-based Earthquake Design Initiative)'e göre yapı ve bölgelerin sismik risk kimlikleri oluşturulabilecektir.

KAYNAKLAR

ACI, (2008), Building Code Requirements for Masonry Structures and Specifications for Masonry Structures”, ACI-530-08, ASCE 5-08 / TMS 402-08 (2008), Masonry Standards Joint Committee of the American Concrete Institute, American Society of Civil Engineers, and the Masonry Society”, Farmington Hills, Michigan.

ACI, (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318-11, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.

ASCE, (2002), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE / SEI 7-02, the American Society of Civil Engineers, Reston, Virgin.

Djima W.G., Zulfikar C. and Tuzun C., (2019), Performance Based Design for Healthcare Facilities, International Civil Engineering and Architecture Conference, 17-20 April 2019, Trabzon, Turkey.

FEMA P-58-1, (2018), Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 1-Methodology Prepared by APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL 201 Redwood Shores Parkway, Suite 240 Redwood City, California 94065.

FEMA P-58-2, (2018), Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 2-Implementation Guide Prepared by APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL 201 Redwood Shores Parkway, Suite 240 Redwood City, California 94065.

P58 FEMA, (2002), “Next-Generation Building Seismic Performance Assessment Methodology”, RO

PACT; Performance Assessment Calculation Tool, ver. 3.1.2, FEMA (2018)

PEER Ground Motion Database, (2013), Pacific Earthquake Engineering Research Center.

REDI: Resilience-based Earthquake Design Initiative, (2017), Rezilyansa Göre Tasarım ve Değerlendirme Kılavuzu.

Sir MPSO's Hamburgers Gumpertz & Heger Inc., San Francisco, (2009), CA, USA, CA. Rojahn and Jim Heintz Applied Technology Council, Redwood City, CA, USA, MG Mahoney Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.

Toprak E., (2019),” Deprem sonrası bina ve tesis kullanımında olası süre kayıplarının değerlendirilmesi ve alınabilecek önlemler”, Presentation at the Chamber of Civil Engineers Istanbul Branch.

TBDY (2018) ; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.

USRC: US Resiliency Council, (2016), Building Rating Systems Improving Understanding of the Built Environment.

ÖZGEÇMİŞ

Ali DEDEOĞLU 1984 yılında Denizli’de dünyaya geldi. Denizli lisesindeki eğitiminin ardından Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2006 yılında mezun oldu. 2006 yılında özel sektörde mühendislik hizmeti veren Yapı Teknik firmasında işe başladı. Sırasıyla proje mühendisi, proje yöneticisi, ekip şefi ve Teknik müdür yardımcılığı görevlerinde bulundu. Çalışma hayatı boyunca, yüksek katlı yapılar, sanayi yapıları, hastaneler ve birçok ulusal ve uluslararası projede ihtisas yaptı. 2019 yılında kurduğu kendi mühendislik firmasıyla sektörde hizmet vermeye devam etmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır.