

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TÜP İÇİNDE TÜP BURKULMASI KONTROL EDİLMİŞ ÇELİK
ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞININ
ARAŞTIRILMASI**

MELTEM AKÇE SÜNNÜ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ONUR ŞEKER

EKİM 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TÜP İÇİNDE TÜP BURKULMASI KONTROL EDİLMİŞ
ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERİN DEPREM
DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

MELTEM AKÇE SÜNNÜ

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

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ONUR ŞEKER

EKİM 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**INVESTIGATION OF SEISMIC BEHAVIOR OF STEEL
TUBE-IN-TUBE BUCKLING-CONTROLLED BRACED
FRAMES**

MELTEM AKÇE SÜNNÜ

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING
PROGRAM**

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. ONUR ŞEKER

OCTOBER 2024

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 22/10/2024 tarih ve 2024/58 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 30/10/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Meltem AKÇE SÜNNÜ'nün tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Onur ŞEKER

ÜYE

: Prof. Dr. Bülent AKBAŞ

ÜYE

: Doç. Dr. Reşat Atalay OYGUÇ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Geleneksel türdeki çelik çaprazlar, basınç yükleri altında burkulma eğilimi gösterir ve bu durum yapısal performansın azalmasına yol açabilir. Tüp içinde tüp burkulması kontrol edilmiş (TnT) elemanlar, bu sorunu çözmek için geliştirilmiştir. TnT çaprazların çekme ve basınç yükleri altında simetrik davranış sergilemesi enerji sönümleme kapasitesinin ve dayanımının artmasına katkı sağlar.

Tasarımı ve modellenmesi SAP2000 sonlu elemanlar analiz programından faydalanılarak, dört ve sekiz katlı yatay yük taşıyıcı sistemi TnT çaprazlar olan çerçeveler modellenmiştir.

Bu çerçevelere eşdeğer deprem yüküne göre yapılan statik itme analizlerinde, yapının yatay kuvvetlere karşı gösterdiği deformasyonlar ve yapısal elemanların kapasite sınırları izlenmiştir.

Çerçevelerin göçme değerlendirmesini yapabilmek için maksimum olası deprem (MCE) yanıt spektrumlarından MCE-SDC- D_{maximum} kullanılarak bu tasarım spektrumuna uyumlu olarak seçilmiş deprem kayıtları ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında artımsal dinamik analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda FEMA P-695 metodolojisine göre bazı belirsizlikler göz önünde bulundurularak yapının göçme riski analizi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sayesinde sismik talep ve kapasite arasındaki ilişki incelenmiş olup, taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R) göçme performansının olasılıksal olarak değerlendirilmesi sonucu güvenli olup olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tüp İçinde Tüp Burkulması Kontrol Edilmiş Çelik Çaprazlar (TnT), Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Itme Analizi, Deprem Performansı, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), FEMA P695.

ABSTRACT

Traditional steel bracings tend to buckle under compressive loads, which can lead to poor structural performance. Tube-in-Tube (TnT) buckling-controlled braces have been developed to address flaws in seismic behavior of conventional buckling braced frames. TnT braces exhibit symmetrical behavior against tensile and compressive loads, contributing to increased energy dissipation capacity and strength.

The design and modeling of frames with four and eight stories incorporating TnT bracings were conducted using SAP2000 structural analysis program. In the static pushover analyses performed, the deformations exhibited by the structure against horizontal forces and the capacity limits of structural elements were monitored.

To evaluate the collapse of the frames, incremental dynamic analyses were conducted in a nonlinear time history domain using earthquake records selected in accordance with the maximum considered earthquake (MCE) response spectrum, specifically the MCE-SDC- D_{maximum} . The results were examined using the collapse analysis method. Based on the analyses, the collapse risk assessment of the structure was evaluated considering certain uncertainties according to the FEMA P-695 methodology. This assessment has examined the relationship between seismic demand and capacity and has determined whether the response modification factor (R) is safe.

Keywords: Tube-in-Tube Buckling Restrained Steel Braces (TnT), Nonlinear Time-History Analysis, Seismic Performance, Response Modification Coefficient (R), FEMA P695.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve yüksek lisans tezim boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, kıymetli zamanını ayıran danışman hocam Doç. Dr. Onur ŞEKER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm çalışmam boyunca yanımda olan, desteğini her zaman hissettiğim sevgili eşim ve meslektaşım Bünyamin SÜNNÜ'ye, hayatımın her döneminde olduğu gibi bu süreçte de beni yalnız bırakmayan sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	4
1.2. Amaç ve Kapsam	8
1.3. FEMA P-695 Metodolojisine Genel Bakış	9
2. TÜP İÇİNDE TÜP BURKULMASI KONTROL EDİLMİŞ ÇAPRAZLAR	14
2.1. Tüp içinde Tüp Burkulması Kontrol Edilmiş (TnT) Çaprazlar	14
2.2. BÖÇ Elemanların Tasarım Yaklaşımı	16
3. PROTOTİP BİNALARIN TASARIMI	17
3.1. TnT Çaprazların Tasarımı	22
3.2. Kiriş Tasarımı	24
3.3. Kolon Tasarımı	29
3.4. Etkin Göreli Kat Ötelenmesi	32
4. SAYISAL MODELLEMeye İLİŞKİN ESAS VE KABULLER	33
5. YAPISAL ANALİZ VE DEĞERLENDİRME	39
5.1. Statik İtme Analizi	39
5.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik İtme Analizi	46
5.2.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi	46
5.2.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik İtme Analiz Sonuçları	48
5.2.3. Deprem Göçme Performansının Belirlenmesi	59
6. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	68
TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR	69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ACMR	: Düzeltilmiş göçme marj oranı
b_f	: Eleman kesit başlık genişliği
CMR	: Göçme marj oranı
C_d	: Yer değiştirme arttırma katsayısı
C_h	: Sistemin doğrusal olmayan davranışına bağlı katsayı
C_t	: Periyot hesabında kullanılan katsayı
d	: Eleman profil yüksekliği
$F_E^{(X)}$	: Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
F_u	: Karakteristik kopma dayanım değeri
F_y	: Karakteristik akma gerilmesi
$F_{y,sc}$	: TnT iç profil malzemesinin karakteristik akma gerilmesi
$F_{b,E}$	: TnT çaprazda bir kat için oluşan sismik eksenel yük
$F_{b,DL}$	: TnT çaprazların üzerinde ölü yüklerin oluşturduğu eksenel yük
$F_{b,LL}$	: TnT çaprazların üzerinde hareketli yüklerin oluşturduğu eksenel yük
$F_{b,S}$	: TnT çaprazların üzerinde kar yüklerinin oluşturduğu eksenel yük
g	: Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
h_i	: Kat yüksekliği
H_N	: Bina yüksekliği
IM	: Büyüklük ölçüsü
M_{DL}	: Ölü yüklerin çaprazlı çerçeve kirişlerinde oluşturduğu moment
M_E	: Dengelenmemiş çapraz kuvvetlerinin çaprazlı çerçeve kirişlerinde oluşturduğu moment
M_{LL}	: Hareketli yüklerin çaprazlı çerçeve kirişlerinde oluşturduğu moment
M_S	: Kar yüklerinin çaprazlı çerçeve kirişlerinde oluşturduğu moment
M_{pr}	: Kiriş olası akma dayanımlarına göre plastik moment kapasitesi
M_r	: Hesap ekseninde elemanın gerekli eğilme momenti
N	: Yapıdaki kat sayısı
n	: Kat kütlesi hesabında hareketli yük katılım katsayısı
P	: TnT elemanının maksimum basınç kuvveti
P_c	: Tasarım eksenel kuvvet dayanımı
$P_{c,E}$	: TnT çerçevede seçilen bir kat için sismik kolon eksenel yükü
$P_{c,DL}$	: Çerçeve kolonları üzerinde ölü yüklerin oluşturduğu eksenel yük
$P_{c,LL}$	: Çerçeve kolonları üzerinde hareketli yüklerin oluşturduğu eksenel yük
$P_{c,S}$	: Çerçeve kolonları üzerinde kar yüklerinin oluşturduğu eksenel yük
P_E	: Deprem yükleme durumunda çapraz elemanlarda oluşan eksenel kuvvet
P_g	: İkincil kirişlerin çerçeve kirişlerine aktardığı tekil yük
P_n	: Nominal eksenel kuvvet dayanımı
P_r	: Gerekli eksenel basınç kuvveti
P_y	: Eksenel akma dayanımı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_y	: Malzemenin karakteristik akma gerilmesinden olası akma gerilmesinin bulunmasında kullanılan katsayı
$S_{ac}(T)$	: Elastik tasarım spektral ivme değeri (g)
S_{CT}	: Medyan göçme olasılığına karşılık gelen spektral ivme değeri
S_{MT}	: İzin verilen göçme olasılığına karşılık gelen spektral ivme değeri

S_{DS}	: Kısa periyot tasarım ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot tasarım ivme katsayısı
SSF	: Frekans içeriği katsayısı
T	: TnT eleman maksimum basınç kuvveti
$T_a^{(X)}$	: Yapının hakim doğal titreşim periyodu
t_f	: Eleman profili başlık kalınlığı
t_w	: Eleman profili gövde kalınlığı
V_u	: İtme analizlerinde yapıdaki en büyük taban kesme kuvveti
V_d	: İtme analizlerinde yapıda ilk akmanın başladığı andaki taban kesme kuvveti
w	: Kat ağırlığı
x	: TnT çerçeve periyot hesabında kullanılan katsayı
μ_T	: Periyot bazlı süneklik
Δ_u	: İtme analizlerinde yapıdaki en büyük taban kesme kuvvetine karşılık gelen yatay deplasman
Δ_y	: İtme analizlerinde yapının akma durumunda oluşan yatay deplasman
Ω_0	: İtme analizleri ile belirlenen dayanım fazlalığı katsayısı
β	: TnT elemanlar için basınç düzeltme katsayısı
β	: Lognormal kümülatif dağılım fonksiyonu sabiti
β_{RTR}	: İvme kayıtlarından kaynaklanan belirsizlik katsayısı
β_{DR}	: Tasarımdan kayıtlarından kaynaklanan belirsizlik katsayısı
β_{TD}	: Test sonuçlarından kayıtlarından kaynaklanan belirsizlik katsayısı
β_{MDL}	: Modellemekten kaynaklanan belirsizlik katsayısı
β_{TOT}	: Toplam belirsizlik katsayısı
$\delta_i^{(X)}$	: Seçilen kat için etkin görel kat ötelenme miktarı
ϕ	: Normal kümülatif dağılım fonksiyonu
θ	: Lognormal kümülatif dağılım fonksiyonu sabiti
$\lambda_{hd}^{başlık}$	: Yüksek sünek elemanların başlığı için en kesit koşulu sınır değeri
$\lambda_{hd}^{gövde}$	: Yüksek sünek elemanların gövdesi için en kesit koşulu sınır değeri
$\lambda_p^{başlık}$	: Kompakt elemanlar için kesit başlığı narinlik sınır değeri
$\lambda_p^{gövde}$	: Kompakt elemanlar için kesit gövdesi narinlik sınır değeri
$\lambda_r^{başlık}$	: Kompakt olmayan elemanlar için kesit başlığı narinlik sınır değeri
$\lambda_r^{gövde}$	: Kompakt olmayan elemanlar için kesit gövdesi narinlik sınır değeri
ω	: BÖÇ elemanlar için pekleşme etkisi düzeltme katsayısı
AISC	: American Institute of Steel Construction 358-16
ASCE 7-10	: American Society of Civil Engineers 7-10
ASCE 41-17	: American Society of Civil Engineers 41-17
BÖÇ	: Burkulması önlenmiş çelik çapraz
DD-1	: Deprem yer hareket düzeyi-1
DD-2	: Deprem yer hareket düzeyi-2
GKÖ	: Görel kat öteleme açısı
PEER	: Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü
TnT	: Tüp içinde tüp burkulması kontrol edilmiş çapraz

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Geleneksel türdeki çelik çaprazların eksenel kuvvet – eksenel yer değiştirme davranışı [1].	1
Şekil 1.2: Geleneksel türdeki çelik çaprazların eksenel kuvvet – eksenel yer değiştirme adımları [1].	1
Şekil 1.3: Klasik beton dolgulu BÖÇ elemanların katmanları [2].	2
Şekil 1.4: BÖÇ eksenel kuvvet – eksenel yer değiştirme diyagramı [2].	2
Şekil 1.5: TnT detayı.	3
Şekil 1.6: Tipik bir TnT prototipinin deneysel testlerden elde edilen eksenel kuvvet – eksenel yer değiştirme diyagramı [3].	3
Şekil 1.7: ABRB özellikleri [7].	5
Şekil 1.8: TinT-BCB Özellikleri [10].	6
Şekil 1.9: TinT-BCB'in çevrimsel yükleme altındaki davranışı [3].	7
Şekil 1.10: Deprem parametrelerinin gösterimi [18].	10
Şekil 1.11: Göçme performansının P-695 prosedürüne göre değerlendirilmesi [18].	11
Şekil 1.12: Sismik tasarım kategorileri [18].	11
Şekil 1.13: İdealize edilmiş statik itme eğrisi [18].	13
Şekil 1.14: CMR değeri [18].	13
Şekil 2.1: TnT boru detayı [3].	14
Şekil 2.2: TnT elemanlar için çapraz düzeni [3].	15
Şekil 2.3: Burkulma kontrollü çaprazlı çerçeve örneği [3].	15
Şekil 2.4: Şematik eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme davranışı [13].	16
Şekil 3.1: Tasarım planı.	17
Şekil 3.2: Prototip-1 en kesiti.	18
Şekil 3.3: Prototip-2 en kesiti.	18
Şekil 3.4: Çapraz elemanlara gelen şematik düşey yükler.	22
Şekil 3.5: Deprem yükleme durumunda çapraz eksenel kuvvetlerinin belirlenmesi.	22
Şekil 3.6: TnT145 profilinin deneysel testlerden elde edilen eksenel kuvvet(kips) – görelî kat ötelemesi (%) diyagramı [3].	24
Şekil 3.7: Çapraz basınç ve çekme kuvveti hesaplaması.	25
Şekil 4.1: P-Δ kolonu.	33
Şekil 4.2: P-Δ kolonunun yük alanı.	34
Şekil 4.3: Tipik çapraz birleşim detayı.	35
Şekil 4.4: Plastik mafsallık bölgeleri.	35
Şekil 4.5: TnT çaprazlar için tanımlanan link elemanların kuvvet-yer değiştirme davranışı (Prototip-1).	36
Şekil 4.6: TnT çaprazlar için tanımlanan link elemanların kuvvet-yer değiştirme davranışı (Prototip-2).	36
Şekil 4.7: Kirişlere ait plastik mafsallık tanımlanması.	37
Şekil 4.8: Kolonlara ait plastik mafsallık tanımlanması.	37
Şekil 5.1: Prototip-1 statik itme eğrisi.	39
Şekil 5.2: Prototip-2 statik itme eğrisi.	40
Şekil 5.3: Birleştirilmiş statik itme eğrileri.	40
Şekil 5.4: Çaprazların statik itme analizinde ilk plastik mafsallık oluşumu (Prototip-1).	42

Şekil 5.5: Çaprazların statik itme analizinde son plastik mafsall oluşumu (Prototip-1).	42
Şekil 5.6: Çaprazların statik itme analizinde ilk plastik mafsall oluşumu (Prototip-2).	43
Şekil 5.7: Çaprazların statik itme analizinde son plastik mafsall oluşumu (Prototip-2).	44
Şekil 5.8: Kolon ve kirişlerin statik itme analizinde ilk (sol) ve son plastik mafsall oluşumu (Prototip-1).	45
Şekil 5.9: Kolon ve kirişlerin statik itme analizinde ilk (sol) ve son plastik mafsall oluşumu (Prototip-2).	45
Şekil 5.10: Hedef spektruma göre deprem ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesi.	46
Şekil 5.11: Arttırılmamış deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen görel kat öteleme açıları (rad).	48
Şekil 5.12: Prototip-1 için arttırılmamış deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen görel kat öteleme açıları (rad).	49
Şekil 5.13: Prototip-2 için arttırılmamış deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen görel kat öteleme açıları (rad).	49
Şekil 5.14: Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında dinamik itme eğrisi.	50
Şekil 5.15: Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında dinamik itme eğrisi.	50
Şekil 5.16: Prototip-1 için ölçeklendirilmemiş ID No:120111 için birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivme değerinin ($S_{ae}[T_1]$) elde edilişi.	51
Şekil 5.17: Prototip-1 için ölçeklendirilmemiş ID No:120111 deprem kaydına ait TnT çaprazlar için tanımlanan linkin eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme (yatay) davranışı.	52
Şekil 5.18: Prototip-2 için ölçeklendirilmemiş ID No:120111 için birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivme değerinin ($S_{ae}[T_1]$) elde edilişi.	52
Şekil 5.19: Prototip-2 için ölçeklendirilmemiş ID No:120111 deprem kaydına ait TnT çaprazlar için tanımlanan linkin eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme (yatay) davranışı.	53
Şekil 5.20: Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında katlarda oluşan görel kat ötelemesi açısının zamanla değişimi.	54
Şekil 5.21: Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında katlarda oluşan görel kat ötelemesi açısının zamanla değişimi.	54
Şekil 5.22: Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında dinamik itme eğrisi.	55
Şekil 5.23: Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında dinamik itme eğrisi.	56
Şekil 5.24: Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında arttırılmış deprem yükleri etkisinde bina yüksekliği boyunca en büyük görel kat ötelemesi açısı dağılımı.	57
Şekil 5.25: Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında arttırılmış deprem yükleri etkisinde bina yüksekliği boyunca en büyük görel kat ötelemesi açısı dağılımı.	57
Şekil 5.26: Prototip-1 dinamik itme eğrileri.	58
Şekil 5.27: Prototip-2 dinamik itme eğrileri.	58
Şekil 5.28: Prototip-1' e ait kırılma eğrisi [22].	60
Şekil 5.29: Prototip-2' e ait kırılma eğrisi [22].	60

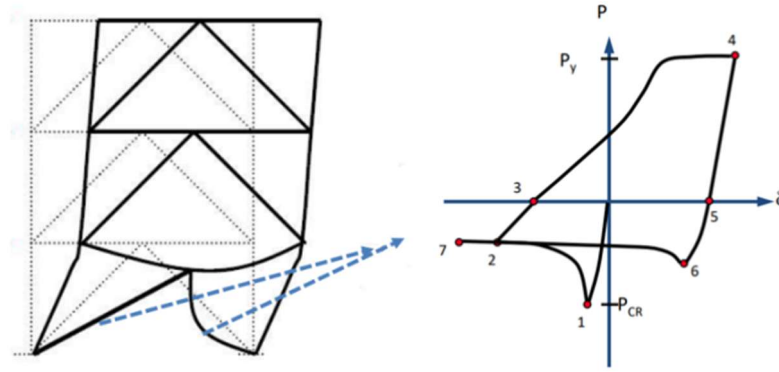
TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Tasarıma esas sabit yük değerleri.	19
Tablo 3.2: Prototip-1 için kat kütleleri ve bina toplam kütlelerinin hesaplanması.	19
Tablo 3.3: Prototip-2 için kat kütleleri ve bina toplam kütlelerinin hesaplanması.	19
Tablo 3.4: Tasarım parametreleri.	20
Tablo 3.5: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve katlarına etkiyecek eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.	21
Tablo 3.6: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve katlarına etkiyecek eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.	21
Tablo 3.7: Prototip-1 için çapraz elemanlarının deprem ve düşey yüklere göre gerekli eksenel kuvvetleri.	23
Tablo 3.8: Prototip-2 için çapraz elemanlarının deprem ve düşey yüklere göre gerekli eksenel kuvvetleri.	23
Tablo 3.9: Prototip-1 için TnT elemanların seçilmesi ve dayanım oranları.	23
Tablo 3.10: Prototip-2 için TnT elemanların seçilmesi ve dayanım oranları.	24
Tablo 3.11: Prototip-1 için maksimum çapraz basınç ve çekme kuvveti hesaplaması.	25
Tablo 3.12: Prototip-2 için maksimum çapraz basınç ve çekme kuvveti hesaplaması.	26
Tablo 3.13: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kirişleri moment hesaplaması.	26
Tablo 3.14: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kirişleri moment hesaplaması.	26
Tablo 3.15: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kiriş kesitlerinin belirlenmesi.	27
Tablo 3.16: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kiriş kesitlerinin belirlenmesi.	27
Tablo 3.17: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kirişleri süneklik düzeyi kontrolü.	28
Tablo 3.18: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kirişleri süneklik düzeyi kontrolü.	28
Tablo 3.19: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kolonları eksenel yük talebinin belirlenmesi.	29
Tablo 3.20: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kolonları eksenel yük talebinin belirlenmesi.	29
Tablo 3.21: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kolonlarının kesitlerinin belirlenmesi.	30
Tablo 3.22: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kolonlarının kesitlerinin belirlenmesi.	30
Tablo 3.23: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kolonları süneklik düzeyi kontrolü.	30
Tablo 3.24: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kolonları süneklik düzeyi kontrolü.	31
Tablo 3.25: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve elemanları nihai kesitleri.	31
Tablo 3.26: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve elemanları nihai kesitleri.	31
Tablo 3.27: Prototip-1 için etkin görelî kat ötelemesi sonuçları.	32
Tablo 3.28: Prototip-2 için etkin görelî kat ötelemesi sonuçları.	32
Tablo 5.1: Statik itme sonuçları.	41
Tablo 5.2: Deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları.	47
Tablo 5.3: Göçme marjı oranı değerleri.	61
Tablo 5.4: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}) (Model kalitesi: A ve $\mu_T > 3$ için) [18].	62
Tablo 5.5: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}) (Model kalitesi: B ve $\mu_T > 3$ için) [18].	63
Tablo 5.6: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}) (Model kalitesi: C ve $\mu_T > 3$ için) [18].	63

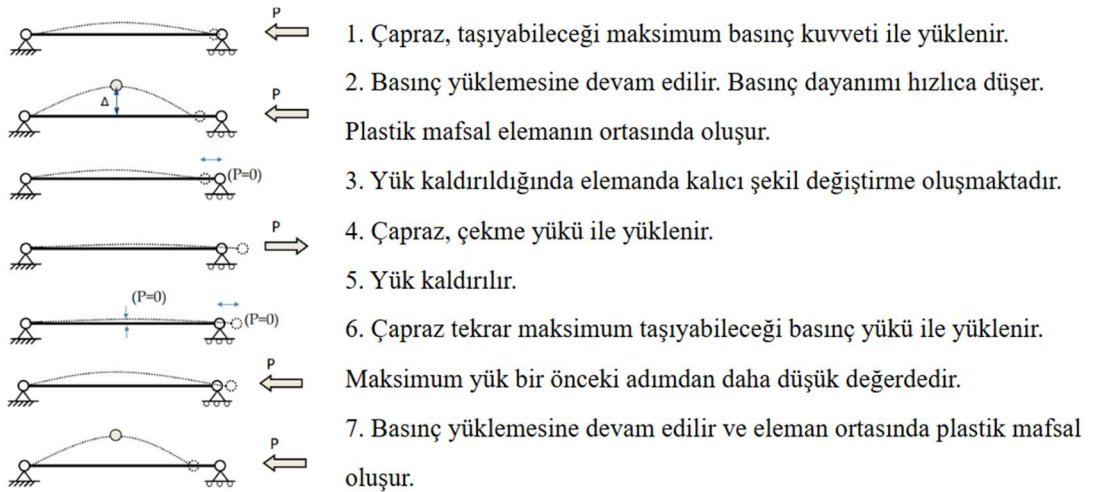
Tablo 5.7: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}) (Model kalitesi: D ve $\mu_T > 3$ için) [18].	63
Tablo 5.8: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}), göçme olasılığı ve göçme marjı değerleri.	64
Tablo 5.9: Göçme performansının değerlendirilmesi.	64

1. GİRİŞ

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler rüzgar ve deprem gibi yatay yük taşıyıcı yapısal sistemlerden biridir. Geleneksel türdeki çelik çaprazlar çevrimsel yükleme altında oluşabilecek global burkulmadan dolayı düşük sismik enerji sönümlene kapasitesine sahiptir. Bu durum çevrimsel yükleme altında çapraz elemanın eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme ilişkisinde asimetrik bir davranışına sebep olur ve basınç altında önemli oranda dayanım kaybı gözlemlenir. Çapraz bir elemanın çevrimsel yüklemesi **Şekil 1.1**'de, yükleme adımları **Şekil 1.2**'de gösterildiği gibidir.

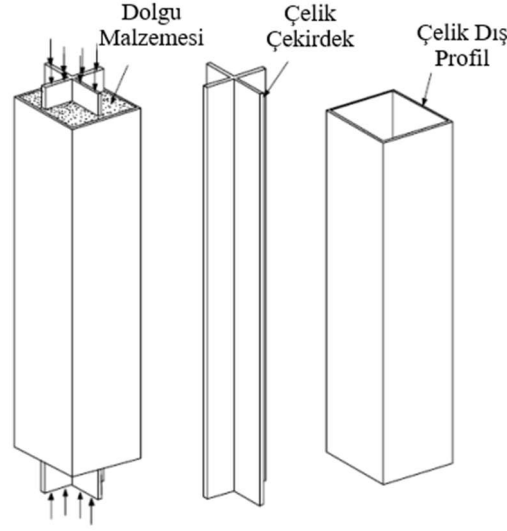


Şekil 1.1: Geleneksel türdeki çelik çaprazların eksenel kuvvet – eksenel yer değiştirme davranışı [1].

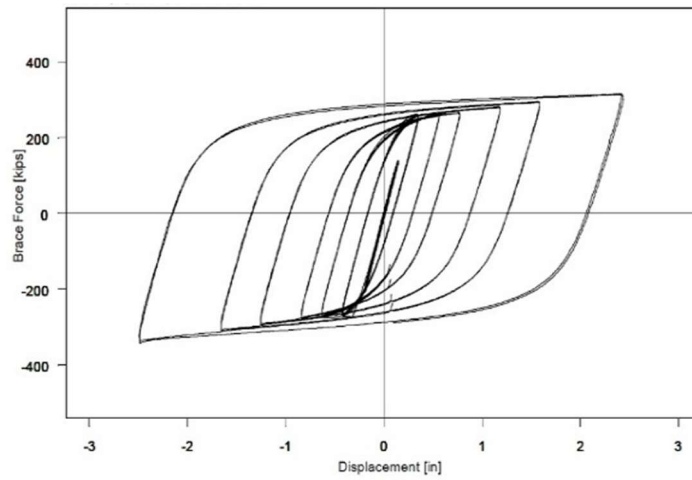


Şekil 1.2: Geleneksel türdeki çelik çaprazların eksenel kuvvet – eksenel yer değiştirme adımları [1].

Burkulması önlenmiş çelik (BÖÇ) çaprazlar ve tüp içinde tüp burkulması kontrol edilmiş (TnT) çaprazlar geleneksel türdeki çelik çaprazlara alternatif olarak kullanılmaktadır. BÖÇ elemanlar iç kısımda eksenel kuvvetleri taşıyan çelik bir çekirdek, aderans önleyen tabaka, harç ve çelik çekirdeği sararak burkulmasını önleyen çelik dış profilden oluşmaktadır. Dolgu malzemesi ince lastik, polietilen, silikon gres, bant şerit vb. gibi farklı malzemeler olabilir. Hangi malzeme kullanılırsa kullanılsın, burada önemli olan sürtünmeden kaynaklanan kuvvet aktarımının engellenmesidir. BÖÇ elemanlarının katmanları **Şekil 1.3**'te gösterildiği gibidir. BÖÇ elemanlar **Şekil 1.4**'te gösterildiği gibi çevrimsel yükleme altında simetrik bir davranış sergiler.

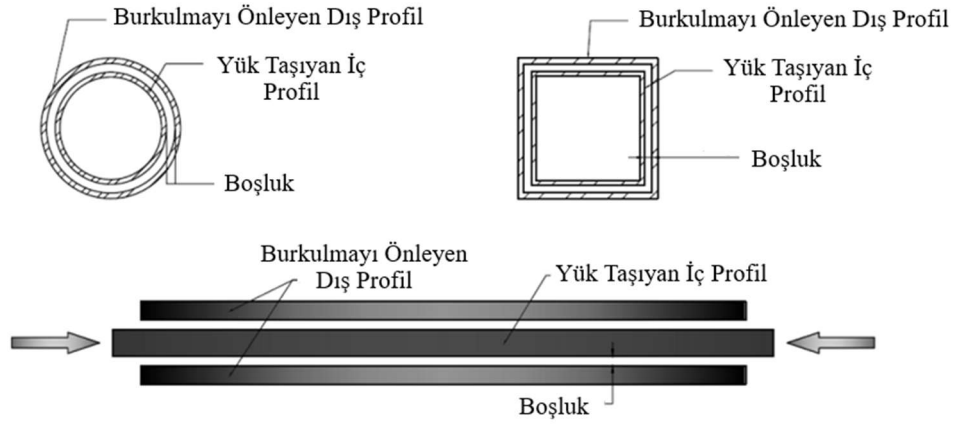


Şekil 1.3: Klasik beton dolgulu BÖÇ elemanların katmanları [2].

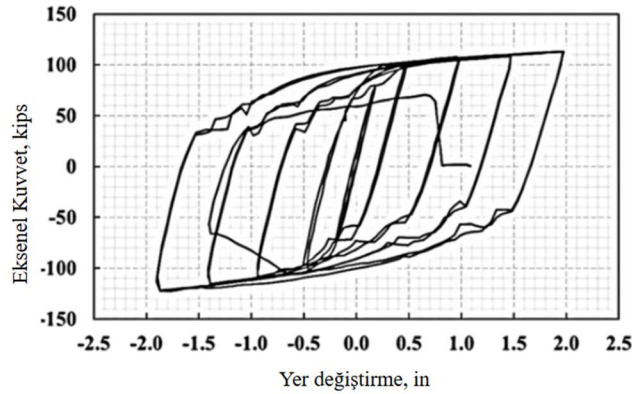


Şekil 1.4: BÖÇ eksenel kuvvet – eksenel yer değiştirme diyagramı [2].

TnT elemanlar **Şekil 1.5**'te gösterildiği gibi iç ve dış olmak üzere dairesel veya kare formunda profillerden, uç bağlantı plakalarından ve dış profili sabitleyen elemanlardan oluşmaktadır. İç ve dış profilin arasında olan boşluk, yük taşıyıcı iç profilin yanıl hareketine izin vermek için bırakılmıştır. Burkulmayı önleyen dış profil, yük taşıyıcı profilin uzunluğu boyunca sürekli yanıl destek sağlar. Bu durum elemanın burkulmasını kontrol altına alır ve çevrimsel yükleme altında simetrik bir davranış ortaya çıkar. Bu yüzden basınç yüklemesi altında dayanım kaybına uğramayan elemanın enerji sönümleme kapasite de oldukça yüksektir. Tipik bir TnT prototipinin deneysel testlerden elde edilen aksenal kuvvet – aksenal yer değıştirme diyagramı **Şekil 1.6**'da gösterildiği gibidir.



Şekil 1.5: TnT detayı.



Şekil 1.6: Tipik bir TnT prototipinin deneysel testlerden elde edilen aksenal kuvvet – aksenal yer değıştirme diyagramı [3].

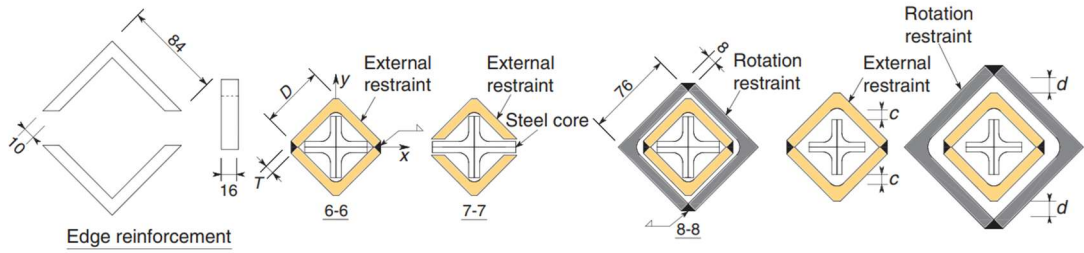
1.1. Literatür Özeti

Burkulması önlenmiş çapraz düzeni üzerine ilk testler 1976 yılında Kimura vd. tarafından yapılmıştır [4]. Bu çalışma 1988 yılında Watanabe vd. tarafından genişletilerek aynı dikdörtgen kesitli çelik merkez elemanın çeşitli boyutlarda beton iç dolgusu ile hazırlanmış çelik tüpler içerisine yerleştirilmesiyle oluşturulan beş farklı çapraz eleman iki yönlü tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Hazırlanan numuneler için hesaplanan Euler yük değerlerinin merkez elemanın akma yüküne oranı 3.53 ile 0.55 arasında değişmektedir. Çalışmanın sonucuna göre çelik tüpün Euler burkulma yükünün merkez elemanın akma dayanımından büyük olması durumunda yapısal elemanda burkulma görülmeyeceği anlaşılmıştır. Çalışma sonucunda çelik tüp içinde kapalı olan çapraz elemanların Euler burkulma yükü çekirdek akma yükünün 1.5 katından fazla olması gerektiği tavsiye edilmiştir [5].

Son yıllarda, burkulması önlenmiş çelik çaprazlarda dolgu malzemesi kullanmak yerine tamamı çelik olacak şekilde çalışmalar yapılmıştır.

Çelik çekirdek plakaya burkulmasını önlemek için kaynaklı veya bulonlu bağlantı yapılarak kaplama yapılmıştır. 12 adet numune oluşturulan çalışmanın sismik davranışının dışında bağlantı detayları ve seçilen plaka, profilin etkisi de incelenmiştir. Deneysel sonuçlara dayanarak, çekirdek ile kaplama arasında doğrudan temas sağlanmasının, yüksek gerilmelerde kararlı çevrimsel davranış için yeterli olduğunu ortaya koymuştur. Kaplamanın sürekli kaynakla veya sıkı cıvatalarla sabitlenmesinin zararlı olduğu bulunmuştur. Çekirdeğin kaplamaya nokta kaynağı ile tutturulması, kaplamanın kaymasını önlemek için uygun bir seçenek olarak değerlendirilmiştir. Deneysel bulgulara dayalı olarak bir dizi tasarım önerisi sunulmuştur. Çekirdek plaka en-boy oranı 16'ya kadar olan uygun şekilde detaylandırılmış çelik kaplı BÖÇ'lerin yeterli çevrimsel davranışı sağladığı belirlenmiştir. Çelik kaplamalı burkulması önlenmiş çeliklerin sismik yükleme koşulları altında istenilen performans özelliklerine ulaşabileceği sonucuna varılmıştır [6].

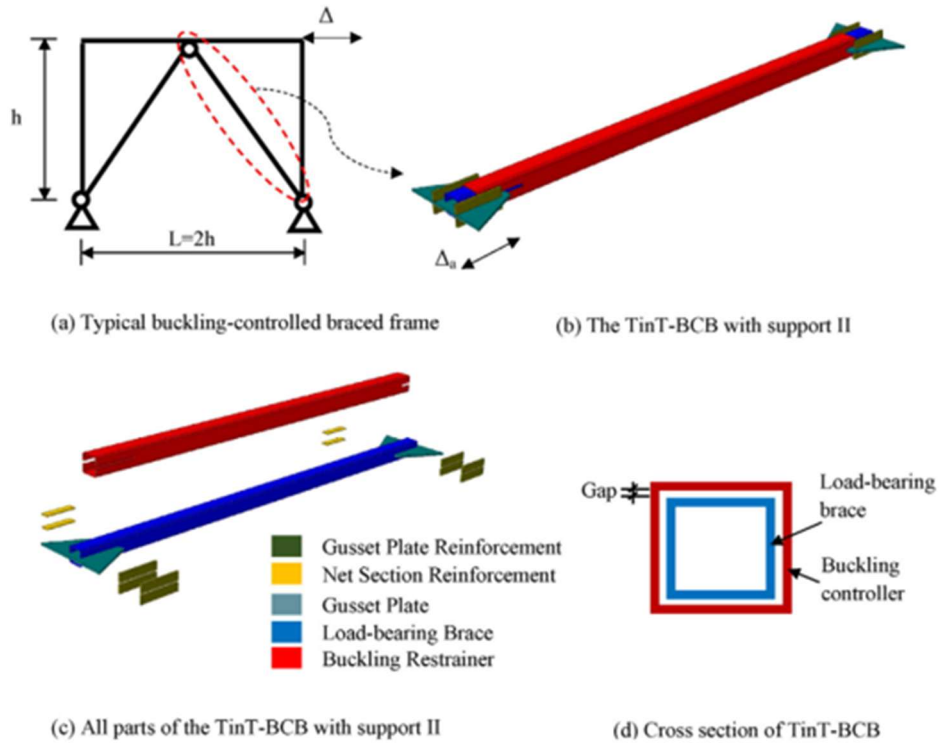
Zhao vd. [7] yeni bir tür burkulması önlenmiş çapraz türü geliştirmiştir (ABRB). Bu çalışmada çelik çekirdek, dört açılı çeliğin kaynak yapılmadan hac şekli oluşturmasıyla meydana gelir ve bu çekirdek, uzunlamasına kaynaklanarak kare bir tüp oluşturan iki dış çelik ile kısıtlanır. Bu tüp, burkulma kısıtlayıcısı olarak görev yapmaktadır. ABRB özellikleri Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



Çalışmanın bulgularına göre, tüpün çekirdekten daha yüksek rijitlik oranına sahip olmasının, genel burkulmayı önlemek için maliyet açısından etkili olmadığı ve daha küçük bir boşluğun çapraz uçlarındaki dönme talebini hafifletebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, çekirdeğin genişlik-kalınlık oranının azaltılmasının, çekirdek yerel stabilitesini sağlamak için boşluğun azaltılmasından daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu çalışmalarda; boşluk, sürtünme, tüp ve çekirdek rijitlik oranı arasındaki ilişkiyi sistematik olarak inceleyen bir çalışma eksikliği olduğu belirtilmiştir. Boşluğun küçük olmasının faydalı olabileceği ancak olası boşluk aralığı tartışılmamıştır. Eğer boşluk çok küçük olursa, çekirdek ile tüp arasında sürtünme kuvveti oluşacaktır ve bu da çalışmalarda ele alınmamıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen yeni ABRB tipi, burkulması önlenmiş çaprazlarda karşılaşılan sorunlara çözüm sunmakta ve sismik enerji sönümleyici olarak etkili bir şekilde kullanılabilirliğini göstermektedir [7, 8, 9].

Shen vd. [10], burkulmayı kontrol etmek amacıyla dış tüp ile çevrelediği çelik burkulma kontrollü çaprazın (TinT-BCB) çevrimsel davranışını etkileyen temel faktörleri belirlemek için bir çalışma sunmuştur. TinT-BCB'in özellikleri **Şekil 1.8'**de gösterildiği gibidir. İç tüpün serbestçe kaymasına izin vermek için tüpler arasındaki boşluk, dış tüpün aksenal yük taşıyan tüpe katkıda bulunmamasını sağlar. Küçük ölçekli deneyler, TinT-BCB'nin %2 kat ötelenmesi üzerindeki çevrimsel yükler altındaki davranışını gözlemlemeye yardımcı olmuş ve simülasyonlar için sonlu eleman modelleri geliştirilmiştir. Model tabanlı sayısal simülasyonlar; boşluk, sürtünme katsayısı ve iki boru arasındaki göreceli kalınlık oranına odaklanmış ve bu parametrelerin burkulma kontrollü çaprazların çevrimsel davranışı üzerindeki etkilerini nicel olarak değerlendirmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre iki boru arasındaki boşluk, yerel ve global burkulmayı etkileyen hassas bir parametredir. Boşluk ne kadar küçük olursa, yerel ve global burkulma olasılığı o kadar azalır. İki

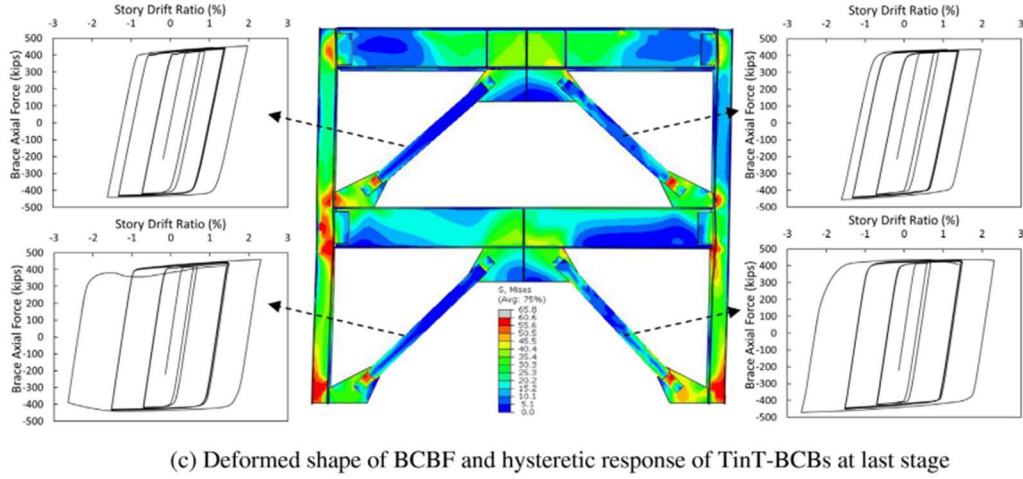
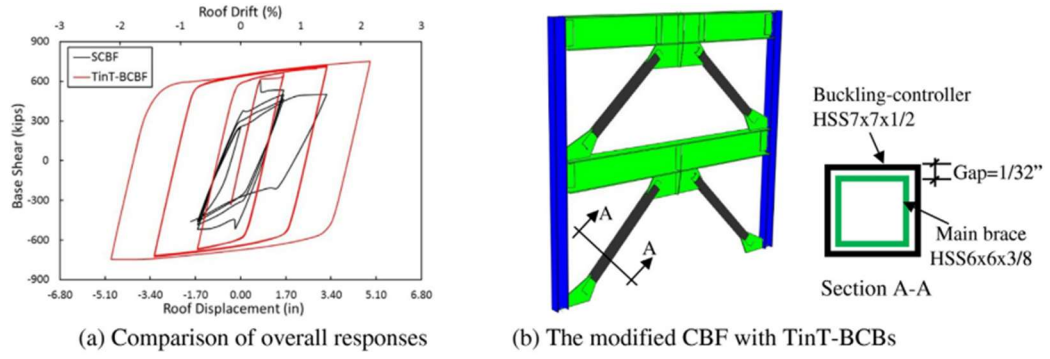
boru arasındaki sürtünme çok hassas bir faktördür çünkü TinT-BCB 'nin çevrimsel davranışı üzerindeki etkisi diğer iki ana faktöre bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Boşluk sıfıra yaklaştığında ve dış boru iç borudan daha ağır olduğunda sürtünme daha belirgin hale gelir. Kalınlık oranı, burkulmayı kontrol etmedeki etkinliği belirler. Genel olarak, 1.0'lik bir kalınlık oranı global burkulmayı kontrol etmek için yeterlidir, ancak hem yerel hem de global burkulmayı kontrol etmek için 1.0'dan büyük bir oran gereklidir [10].



Şekil 1.8: TinT-BCB Özellikleri [10].

Yapılan diğer bir çalışma da ise TinT-BCB'lerin verimliliği, deneysel ve sayısal yöntemlerle değerlendirilmiştir. Çalışmada, çeşitli tasarım parametrelerine sahip çok sayıda TinT-BCB numunesi, çevrimsel yükleme altında test edilerek histeretik davranışları değerlendirilmiştir. Değerlendirilen başlıca parametreler, iç ve dış borular arasındaki boşluk, dış borunun rijitliği ve kullanılan bağlantı türlerini içerir. TinT-BCB, 0.035–0.04 kat öteleme oranına kadar burkulmayı etkili bir şekilde kontrol ederek kararlı ve simetrik bir tepki göstermiştir.

Testlerden elde edilen TinT-BCB'e ait çevrimsel davranış **Şekil 1.9**'da gösterilmiştir [3].



Şekil 1.9: TinT-BCB'in çevrimsel yükleme altındaki davranışı [3].

Sabelli vd. [11] tarafından eş merkezli BÖÇ çaprazlara sahip 3 ve 6 katlı çelik çerçeve taşıyıcı sistemin deprem davranışını incelenmiştir. Bu çalışmada davranış katsayısı 6 ve 8, sismik tehlike seviyesi 50 yılda aşılma olasılığı %50, %10 ve %2'ye karşılık gelecek şekilde tasarlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre sismik tehlike seviyesi %10 olasılıkta, maksimum yer değiştirme %1.5 ile %1.6 arasında değişmiştir. %2 olasılık ise bu oran %4.5'a kadar çıkmış, bu da sismik tehlike seviyesi arttıkça yer değiştirme taleplerinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Bu durum R katsayısının 6 veya 8 olması durumunda neredeyse hiç değişmemiştir [11].

Speicher vd. [12] ASCE 41'de [13] verilen eşdeğer deprem yükü ve modal hesap yöntemini kullanarak hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analiz prosedürünü kullanarak eş merkezli BÖÇ çaprazlara sahip 4, 8 ve 16 katlı çelik çerçeve taşıyıcı sistemin deprem davranışını incelenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi sonucunda çeşitli öneriler geliştirilmiştir. ASCE 7'nin [14] tasarım amacına göre performansı kıyaslamak için BÖÇ binasının göçme olasılığının belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çalışmalar sonucunda belirli kat sayısına sahip çerçeveler (örneğin, 4 ve 16 katlı) genellikle tatmin edici performans gösterirken, 8 katlı çerçevelerin performansı yetersiz bulunmuştur. Ayrıca, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi, doğrusal yöntemlere kıyasla daha güvenilir sonuçlar üretmektedir.

FEMA P695 metodolojisini kullanarak BÖÇ'lerin yer değiştirme arttırma katsayısını (C_d) araştırmak üzere sayısal bir çalışma yapılmıştır [15]. 24 arketip model üzerinde yapılan çalışma da kat ötelemesi bir kriter olarak dikkate alındığında C_d katsayısının binanın yüksekliği boyunca eşit olmadığı ve ilgili yönetmelikte önerilen 5 değerini aştığı görülmüştür. Sonuç olarak C_d faktöründe önerilen değişikliklerin beklenen çapraz deformasyonlarında kabul edilebilir çözümler sağladığını göstermiştir.

4 katlı BÖÇ çaprazlara sahip bir yapının sismik performansı incelenmiştir [16]. Çerçevenin, mevcut sismik tasarım yönetmeliklerine [13] göre tasarımı yapılmış ve doğrusal olmayan dinamik analizlerle değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, davranış katsayısı (R), yönetmelikte verilen $R=8$ değerinden 1.49 kat daha fazla, dayanım fazlalığı katsayısı (Ω_0) ise 2.14 değeri bulunarak yönetmelikte verilen $\Omega_0=2.5$ değerinden daha az çıkmıştır.

3, 6, ve 9 katlı BÖÇ çaprazlı çerçevelere, davranış katsayısı (R) 1'den 8'e kadar değerler verilerek 24 arketip oluşturulmuştur [17]. Çerçevelerin göçme değerlendirmesini yapabilmek için maksimum olası deprem (MCE) yanıt spektrumlarından MCE-SDC- D_{max} kullanılmıştır [18]. Sonuçlar, özellikle 6 ve 9 katlı BÖÇ sistemlerinin R faktörü 4'ün üzerinde olduğunda kalıcı yer değiştirmelere maruz kaldığını ve bu durumun yapının tamamen yıkılmasına yol açabileceğini göstermiştir. Ayrıca, R faktörü 4 ($C_d = 2.5$) ile tasarlanan BÖÇ'lerin, MCE-SDC- D_{max} seviyelerindeki performans açısından en uygun çözüm olduğu tespit edilmiştir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı; yatay yük taşıyıcı sistemi TnT çaprazlar olan yapıların göçme riski analizinin yapılarak, sismik talep ve kapasite arasındaki ilişkinin incelenmesi ve taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R) göçme performansının olasılıksal olarak değerlendirilmesi sonucu güvenli olup olmadığının tespit edilmesidir.

Çalışma kapsamında sonlu elemanlar analiz programından faydalanılarak, güncel yönetmeliklere göre tasarlanmış [13][14][19] dört ve sekiz katlı yatay yük taşıyıcı sistemi TnT çaprazlar olan çerçeveler modellenmiştir. Bu çerçevelere eşdeğer deprem yüküne göre yapılan statik itme analizlerinde, yapının yatay kuvvetlere karşı gösterdiği deformasyonlar ve yapısal elemanların kapasite sınırları izlenmiştir.

Çerçevelerin göçme değerlendirmesini yapabilmek için tasarım spektrumuna uyumlu olarak seçilmiş deprem kayıtları [20] ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında artımsal dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçları, FEMA P-695 [18] metodolojisi doğrultusunda göçme riski değerlendirilmesi için incelenmiştir.

1.3. FEMA P-695 Metodolojisine Genel Bakış

P-695 yatay yük taşıyıcı sistemlerin tasarımında, olasılıksal göçme riskinin değerlendirilmesinde ve depreme göre tasarım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu parametrelerin seçimi konusunda rehberlik sağlamayı hedeflemektedir. Bunlar taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), dayanım fazlalığı katsayısı (Ω_0), yer değiştirme arttırma katsayısıdır (C_d).

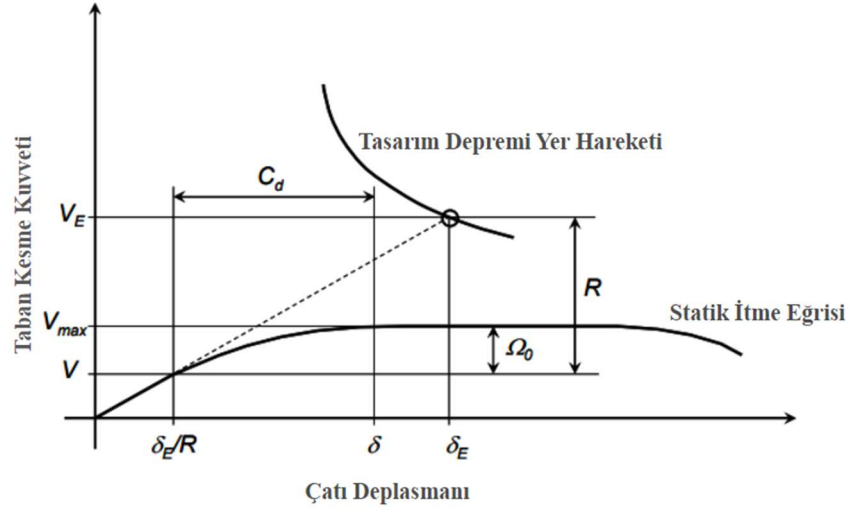
1988 NEHRP şartnamesinde R katsayısı şu şekilde tanımlanmıştır: “...sistemin maksimum yer değiştirme noktasına yaklaşacak kadar büyük yer değiştirmelere izin verebilecek süneklik ve sönüm yapısını dikkate alan katsayıdır”. 1988 NEHRP şartnamesinde göre bu katsayılar Denklem (1.1), (1.2) ve (1.3)’te gösterilmiştir.

$$R = \frac{V_E}{V_d} \quad (1.1)$$

$$\Omega_0 = \frac{V_u}{V_d} \quad (1.2)$$

$$C_d = \frac{\delta}{\delta_E} x R \quad (1.3)$$

Şekil 1.10’da taban kesme kuvvetine karşılık gelen çatı deplasmanı gösterilmiştir [18]. Burada V_E yapının elastik sınırlar içinde maruz kaldığı en yüksek taban kesme kuvvetini temsil eder, V_d (V) tasarım kesme kuvveti, V_u (V_{max}) maksimum akma dayanımıdır.



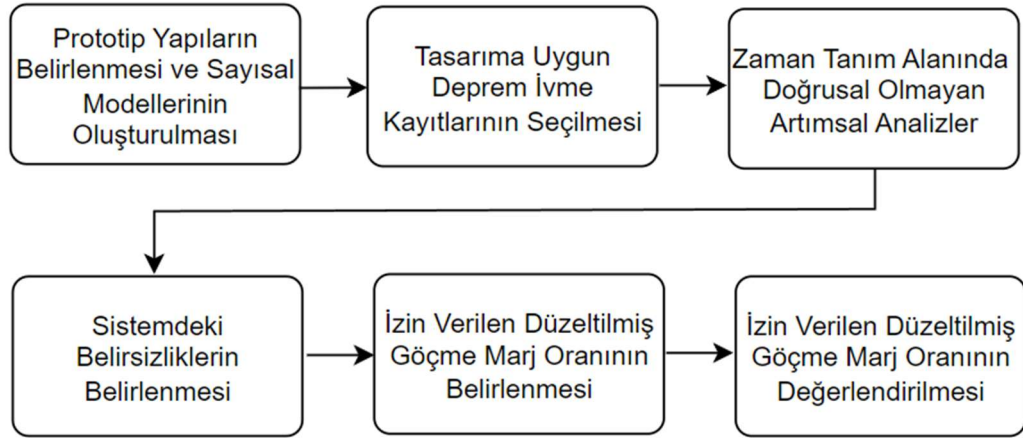
Şekil 1.10: Deprem parametrelerinin gösterimi [18].

P-695 prosedürü, yapıların deprem performansını değerlendirmek ve güvenilir bir sismik tasarım sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu prosedür de, yapıların "göçme olasılığı" gibi performans hedeflerini sağlayıp sağlamadığını belirlemek için belirli adımlar izlenir. Bu adımlar aşağıda sıralandığı gibidir:

1. Tasarım prensipleri dikkate alınarak çalışmanın temelini oluşturacak prototip yapıların belirlenmesi,
2. Belirlenen prototip yapıların sayısal modelleme teknikleri kullanılarak modellenmesi,
3. Tasarım kriterlerine uygun deprem ivme kayıtlarının seçilmesi,
4. Prototip yapıların doğrusal olmayan zaman tanım alanında artımsal dinamik analizlerinin yapılması,
5. Yapı sisteminin performansının analiz edilmesi,
6. Eğer "göçme olasılığı" belirlenen sınır değerinin altındaysa,
7. Çalışmanın bağımsız hakemler tarafından değerlendirilmesi ve yayınlanması.

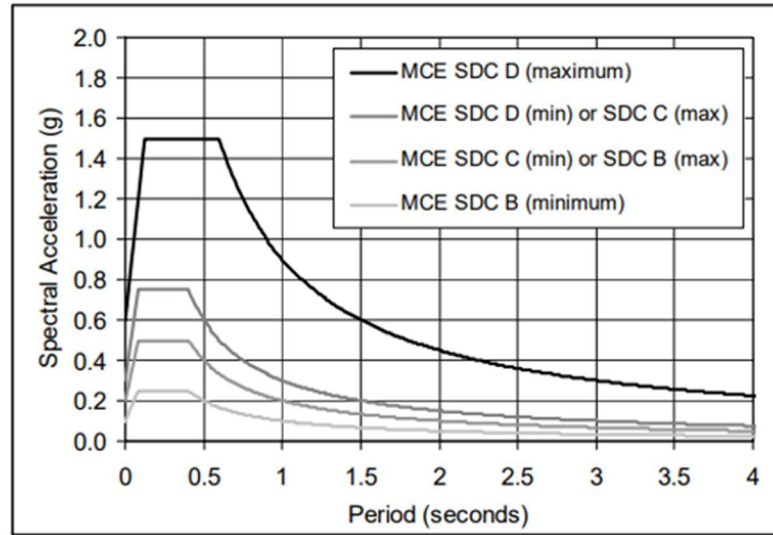
Altıncı adımda bahsedilen "göçme olasılığı" belirlenen sınır değer üzerinde çıkarsa, birinci veya ikinci adıma tekrar dönmelidir.

P-695 prosedüründe izlenecek adımlar **Şekil 1.11**'de gösterilmiştir [18].



Şekil 1.11: Göçme performansının P-695 prosedürüne göre değerlendirilmesi [18].

Çerçevelerin göçme değerlendirmesini yapabilmek için **Şekil 1.12**'de gösterilen maksimum olası deprem (*MCE*) yanıt spektrumlarından $MCE-SDC-D_{\text{maximum}}$ kullanılmıştır. Doğrusal olmayan artımsal dinamik analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesinde Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü (PEER) [20] veri tabanı kullanılmıştır. Deprem özellikleri P-695 Bölüm A-9'da belirtildiği gibidir.



Şekil 1.12: Sismik tasarım kategorileri [18].

Tasarım ve performans parametreleri dinamik itme analizi (zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal dinamik analiz) yardımıyla olasılıksal olarak belirlenmektedir.

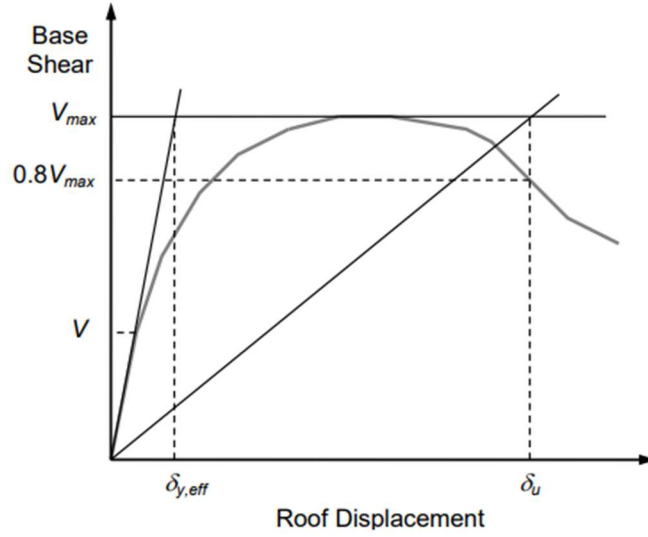
Dinamik itme eğrileri belirli bir deprem kaydına verdiği en büyük tepki değeri (hasar ölçüsü) ile o deprem kaydına ait büyüklük ölçüsü arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Bu eğriler farklı büyüklükleri temsil etmesi için artımsal şekilde ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiziyle elde edilmektedir. Dinamik itme analizinde deprem büyüklüğü, analiz edilen yapının birinci periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivmeyle temsil edilmektedir [21].

P-695'e göre güvenlik, bir göçme marjı oranı cinsinden ifade edilir. Bunun için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yardımıyla bazı belirsizlikler göz önüne alınarak yapının göçme riski analizi değerlendirilmektedir. Bahsedilen bu belirsizlikler dört temel başlık altında toplanmıştır. İvme kayıtlarından kaynaklanan (β_{RTR}), tasarımdan kaynaklanan (β_{DR}), test sonuçlarından kaynaklanan (β_{TD}) ve modellemeden kaynaklanan (β_{MDL}) belirsizliklerdir. Bunlar birleştirilerek toplam belirsizlik katsayısı olan β_{TOT} elde edilmiştir [18].

Düzeltilmiş göçme marj oranının ($ACMR$) belirlenmesinde kırılma eğrilerinden faydalanılmıştır. Burada birinci moda karşılık gelen elastik spektral ivme değeri büyüklük ölçüsü olarak belirlenmiş olup göçme sınır durumu ile arasındaki ilişkiyi ifade eden kırılma eğrileri oluşturulmuştur. Sınır durum olan göçme, büyüklük ölçüsüne karşılık oluşma olasılığını ifade etmektedir. Kırılma eğrileri Baker' in olasılıksal yaklaşım kullanılarak oluşturulmuştur [22]. Göçme riskinin belirtilen sınırın üzerinde çıkması halinde Şekil 1.11'de belirtilen ilk adıma tekrar dönülmeli ve kalan adımlar tekrarlanmalıdır [18].

P-695 e göre göçme kapasitesinin belirlenmesinde frekans içeriği katsayısı yer almaktadır. Frekans içeriği katsayısı (SSF), yapının hakim periyodu, T1 sünekliği (μ_T) ve sismik tasarım kategorisinin (SDC) fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. μ_T Denklem (1.4)'te belirtildiği gibi hesaplanmaktadır. δ_u değeri Şekil 1.13'te gösterilen doğrusal olmayan statik itme analizinde, maksimum taban kesme kuvvetinin %80'ine karşılık gelen deplasmanı ifade etmektedir [18].

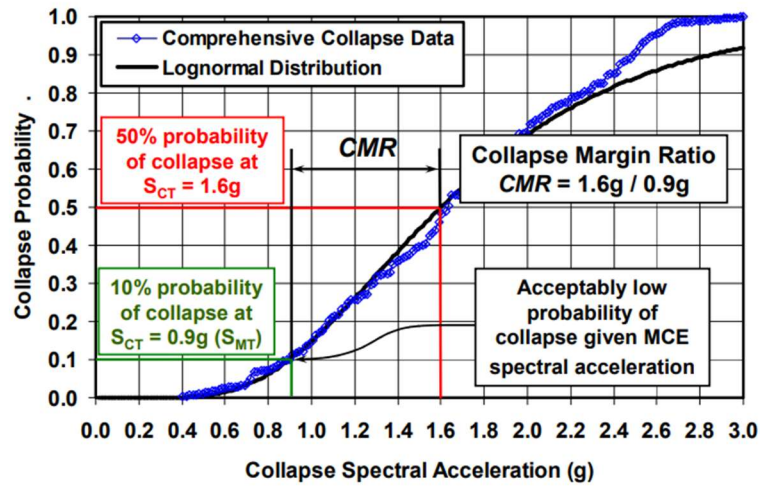
$$\mu_T = \frac{\delta_u}{\delta_{y,eff}} \quad (1.4)$$



Şekil 1.13: İdealize edilmiş statik itme eğrisi [18].

Göçme marjı Denklem (1.5)'te verilen CMR değeridir. Burada Şekil 1.14'te gösterildiği gibi S_{MT} ve S_{CT} değerleri, kırılma eğrisinde %50 (S_{MT}) ve %10'luk (S_{CT}) göçme olasılığına karşılık gelen S_{ac} değeridir.

$$CMR = \frac{S_{CT}}{S_{MT}} \quad (1.5)$$



Şekil 1.14: CMR değeri [18].

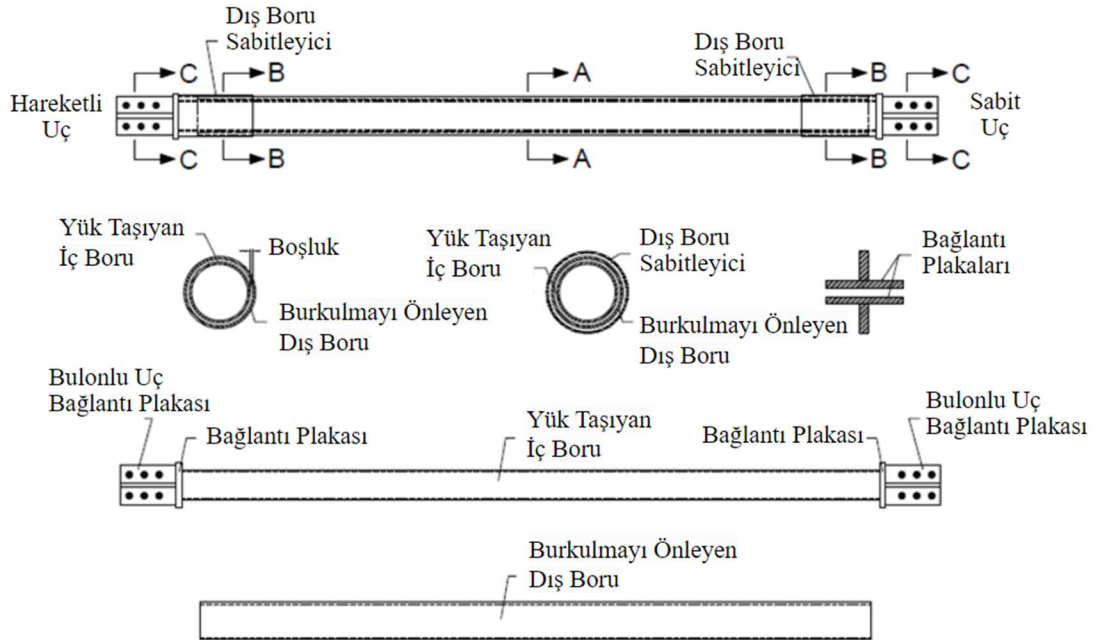
$ACMR$ (düzeltilmiş göçme marjı değeri) değeri Denklem (1.6)'da belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$ACMR = CMR \times SSF \quad (1.6)$$

2. TÜP İÇİNDE TÜP BURKULMASI KONTROL EDİLMİŞ ÇAPRAZLAR

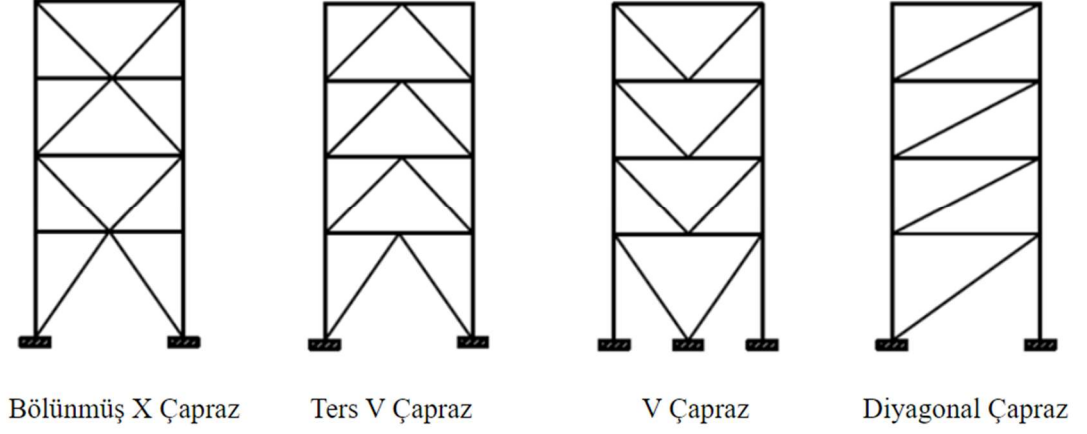
2.1. Tüp içinde Tüp Burkulması Kontrol Edilmiş (TnT) Çaprazlar

TnT elemanlar Şekil 2.1’de gösterildiği gibi iç ve dış olmak üzere dairesel veya kare formunda profillerden, uç bağlantı plakalarından ve dış profili sabitleyen elemanlardan oluşmaktadır. Yatay kuvvetler altında çekme ve basınç kuvvetini taşıyan iç kısımda bulunan profil enerji sönmölemekten sorumludur. Burkulmayı önleyen dış profil, yük taşıyıcı profilin uzunluğu boyunca sürekli yanal destek sağlar. Boşluk, yük taşıyıcı iç profilin yanal hareketine izin vermek için bırakılmıştır. Uç bağlantı plakaları, taşıyıcı iç profilde oluşan eksenel yükü her iki uçtaki bağlı yapısal elemanlara (kolon, giriş) aktarır. Dış profil sabitleyici, imalatın kapalı bir şekilde oluşmasını sağlayarak taşıyıcı profil üzerindeki korozif etkileri sınırlandırmak için kullanılır. Ayrıca, sabit uçtaki sabitleyici dış profile yapılan kaynak sayesinde dış profili stabilize eder [3].



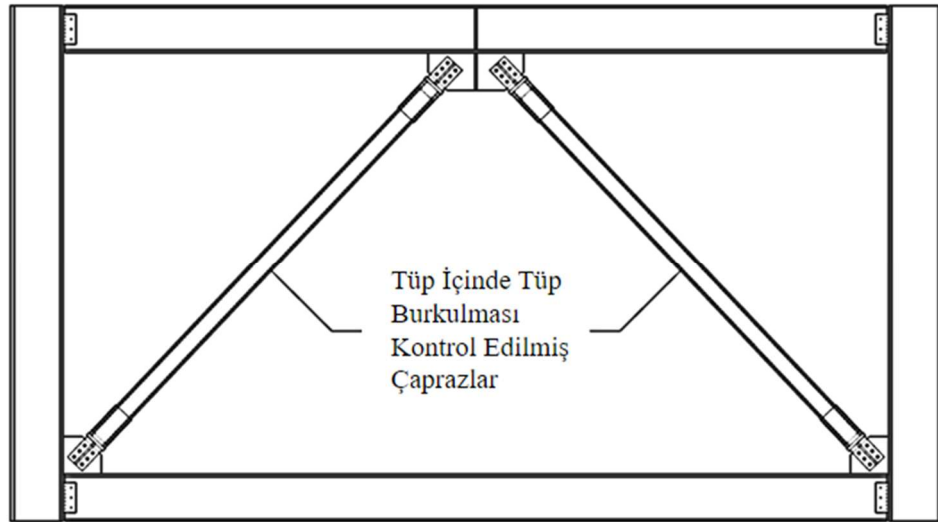
Şekil 2.1: TnT boru detayı [3].

TnT elemanlar için olası çapraz konfigürasyonlarının örnekleri **Şekil 2.2**'de gösterilmektedir. Bunlar bölünmüş X destekli, ters V destekli, V destekli ve diyagonal destekli çaprazlardır [3].



Şekil 2.2: TnT elemanlar için çapraz düzeni [3].

Burkulma kontrollü çaprazlı çerçeveler, kolonlar, kirişler ve TnT çaprazların bağlantı elemanlarından oluşur. **Şekil 2.3**'te, tipik bir ters-V tipi TnT çaprazlara sahip çerçeve gösterilmiştir.

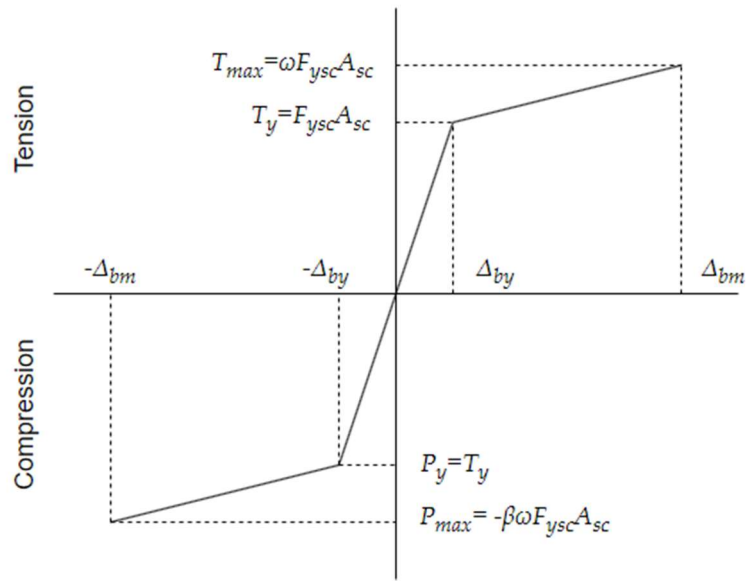


Şekil 2.3: Burkulma kontrollü çaprazlı çerçeve örneği [3].

2.2. BÖÇ Elemanların Tasarım Yaklaşımı

BÖÇ elemanlar özellikle deprem etkilerine karşı yapıda gerekli yanal stabiliteyi sağlamak amacı ile kullanılır. Deneysel testlerden elde edilen genel çalışma mekanizmaları dikkate alındığında, eksenel çekme ve basınç deformasyonlarından oluşan davranışları hemen hemen eşittir.

BÖÇ elemanların maksimum basınç ve çekme kuvveti taşıma kapasiteleri, **Şekil 2.4**'de şematik olarak gösterilmiştir [13].



Şekil 2.4: Şematik eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme davranışı [13].

Pekleşme etkisi düzeltme katsayısı (ω) ile basınç dayanımı düzeltme katsayısı (β) Denklem (2.1) ve (2.2)'ye göre belirlenmiştir [13].

$$\beta = \frac{P_{max}}{T_{max}} \quad (2.1)$$

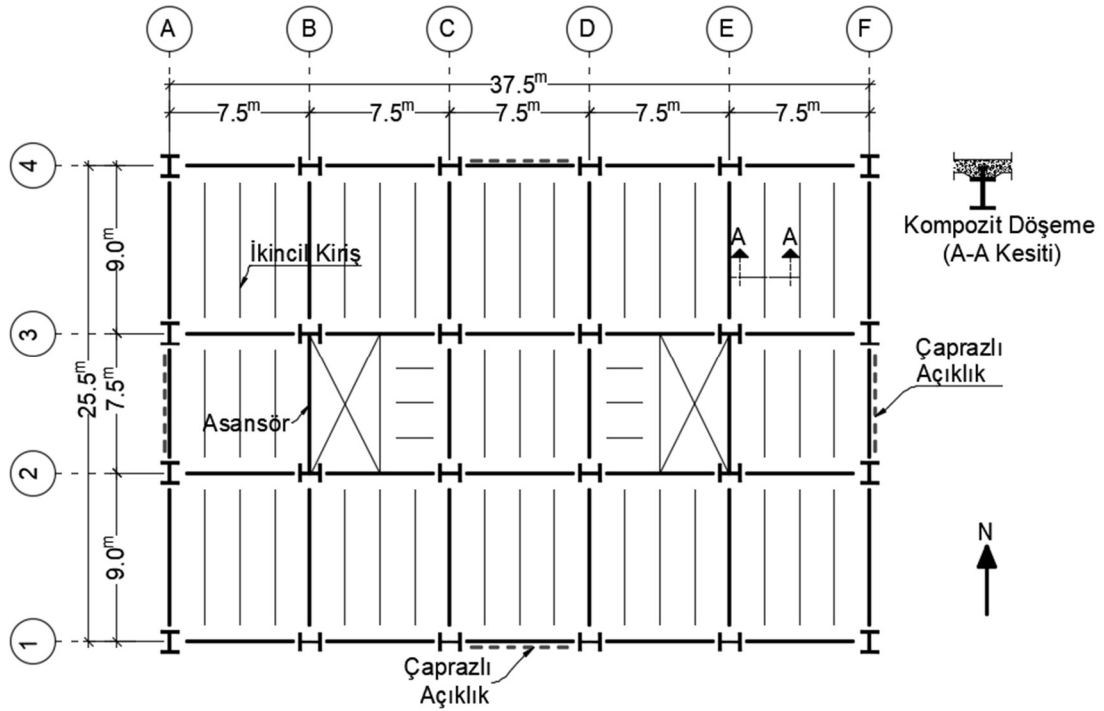
$$\omega = \frac{T_{max}}{F_{ysc} x A_{sc}} \quad (2.2)$$

Burkulması önlenmiş çaprazlar, en az %2 görelî kat ötelemesine ve tasarım görelî kat ötelemesinin iki katına karşı gelen şekil değiştirme durumlarının büyüğü esas alınarak boyutlandırılacaktır [13].

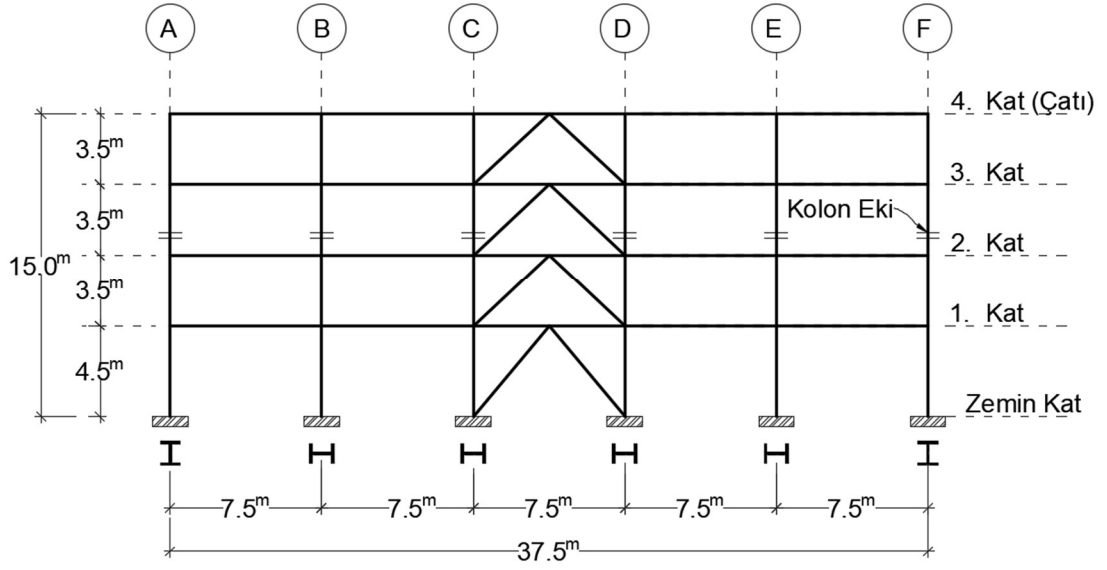
3. PROTOTİP BİNALARIN TASARIMI

Çalışma kapsamında, tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareket düzeyi-2 (DD-2) için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) 1.00, 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DI}) 0.60 ve yerel zemin sınıfı ZD olan bir konumda konut nitelikli dört ve sekiz katlı çelik bir yapının, yatay yük taşıyıcı sistem çeşidinin TnT çaprazlı çerçeve olması durumunda tasarımı yapılmıştır.

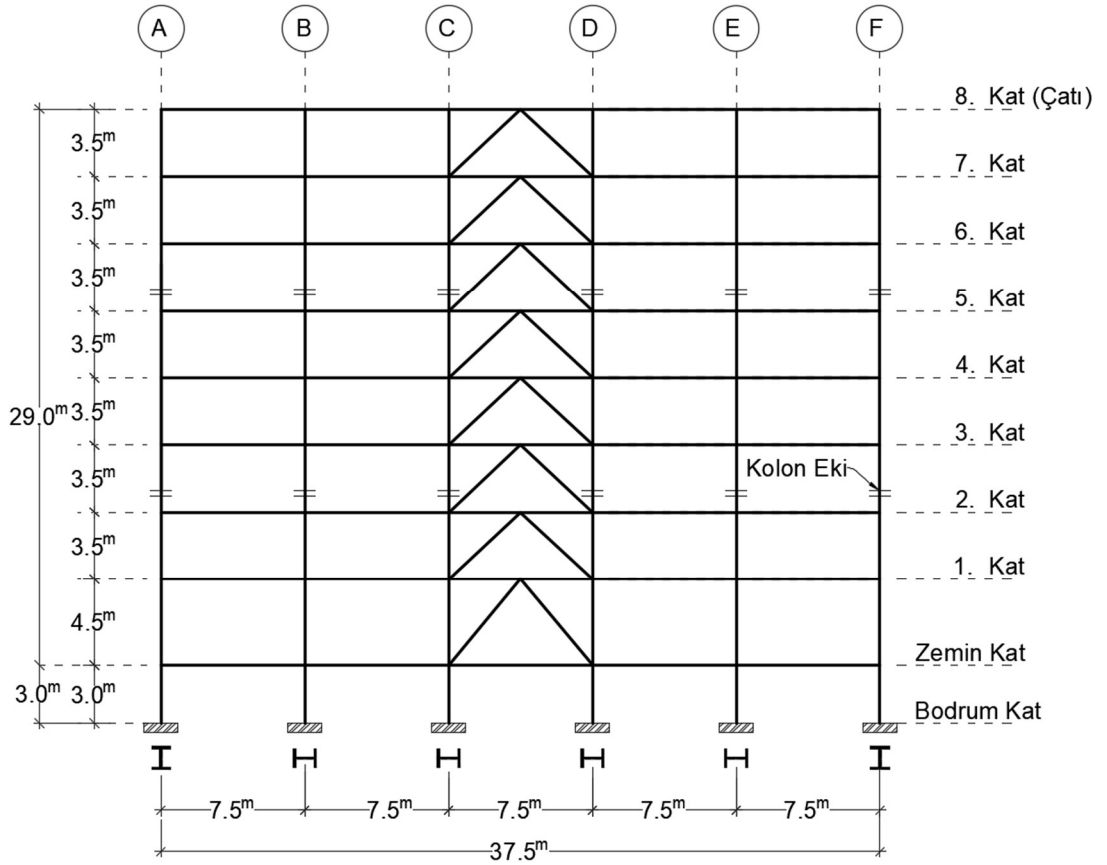
Tasarımda, yatay yük taşıyıcı sistemlerin seçilen deprem kuvvetlerine direnç gösterebilmesi için deprem ivmelerinin olduğu yöne uygun olarak Şekil 3.1’de gösterildiği gibi TnT çaprazlar tanımlanmıştır. Bütün kiriş, kolon ve çapraz birleşimleri moment taşımayan basit birleşimler olarak düşünülmüş ve hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında olan çaprazların geometrik konfigürasyonları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Tasarım planı.



Şekil 3.2: Prototip-1 en kesiti.



Şekil 3.3: Prototip-2 en kesiti.

Tasarımda dikkate alınacak sabit düşey yükler çatı katı ve diğer katlar için **Tablo 3.1**'de olduğu gibi belirlenmiştir [1].

Tablo 3.1: Tasarıma esas sabit yük değerleri.

<i>Sabit yükler</i>	<i>Kat yükü</i>	<i>Çatı yükü</i>
	<i>(kN/m²)</i>	<i>(kN/m²)</i>
Taşıyıcı sistem öz ağırlığı	0.8	0.4
Döşeme hafif betonu (10 cm)	2.0	2.0
Metal döşeme sacı (38 mm)	0.1	0.1
Çatı izolasyon ve kaplama	-	0.5
Bölme duvarları	0.8	-
Elektromekanik aksam-asansör ekipmanı	0.3	0.3
Döşeme kaplaması (22.2 mm parke)	0.2	-
Asma tavan	0.1	0.1
Yangın koruma sistemi	0.1	0.1
<i>Toplam</i>	<i>4.4</i>	<i>3.5</i>

Hareketli yükler, çatı katı için 0.96 kN/m², diğer katlar için 2.4 kN/m² olarak dikkate alınmıştır [14].

Kat kütleleri **Tablo 3.2** ve **Tablo 3.3**'teki gibi hesaplanmıştır [14].

Tablo 3.2: Prototip-1 için kat kütleleri ve bina toplam kütlelerinin hesaplanması.

<i>Kat</i>	<i>Sabit Yük (kN/m²)</i>	<i>Hareketli Yük (kN/m²)</i>	<i>Kar Yükü (kN/m²)</i>	<i>Alan (m²)</i>	<i>Kat Ağırlık (kN)</i>	<i>Kat Kütle (kN.s²/m)</i>
4	3.5	0.96	0.75	956.25	3837.4	391.2
3	4.4	2.4	-	956.25	4896.0	499.1
2	4.4	2.4	-	956.25	4896.0	499.1
1	4.4	2.4	-	956.25	4896.0	499.1
<i>Toplam</i>					<i>18525.4</i>	<i>1888.4</i>

Tablo 3.3: Prototip-2 için kat kütleleri ve bina toplam kütlelerinin hesaplanması.

<i>Kat</i>	<i>Sabit Yük (kN/m²)</i>	<i>Hareketli Yük (kN/m²)</i>	<i>Kar Yükü (kN/m²)</i>	<i>Alan (m²)</i>	<i>Kat Ağırlık (w)(kN)</i>	<i>Kat Kütle (kN.s²/m)</i>
8	3.5	0.96	0.75	956.3	3837.4	391.2
7	4.4	2.4	-	956.3	4896	499.08
6	4.4	2.4	-	956.3	4896	499.08
5	4.4	2.4	-	956.3	4896	499.08
4	4.4	2.4	-	956.3	4896	499.08
3	4.4	2.4	-	956.3	4896	499.08
2	4.4	2.4	-	956.3	4896	499.08
1	4.4	2.4	-	956.3	4896	499.08
<i>Toplam</i>					<i>38109.4</i>	<i>3884.8</i>

Doğal titreşim periyodu (T), yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları (T_0 , T_S) ve yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyoduna (T_L) bağlı olarak oluşturulan yatay elastik tasarım spektrumu ASCE 7 Bölüm 11.4.6’da ifade edilmiştir.

TnT çaprazlı çerçeve yapılarının hakim doğal titreşim periyotları ($T_a^{(x)}$) için Denklem (3.1)’e göre hesaplama yapılmıştır [14].

$$T_a^{(x)} = C_t H_n^x \quad (3.1)$$

C_t ve x katsayıları ASCE 7 Tablo 12.8.2’den 0.0731 ve 0.75 olarak elde edilmiştir. h_n değeri ise binanın temel üstü yüksekliği olarak prototip-1 için 15.0m, prototip-2 için 29.0m olarak alınmıştır. Denklem (3.2) ve (3.3)’te belirtildiği gibi hesaplamalar yapılmıştır [14].

$$T_{a-P1}^{(x)} = 0.0731 \times (15.0)^{0.75} = 0.56 \text{sn} \quad (3.2)$$

$$T_{a-P2}^{(x)} = 0.0731 \times (29.0)^{0.75} = 0.91 \text{sn} \quad (3.3)$$

Tasarım parametreleri ASCE 7’den elde edilerek **Tablo 3.4**’te listelenmiştir [14].

Tablo 3.4: Tasarım parametreleri.

<i>Parametre</i>	<i>Değer</i>	<i>Referans</i>
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R	8	<i>Tablo 12.2-1, ASCE 7</i>
Dayanım fazlalığı katsayısı, Ω_0	2.5	<i>Tablo 12.2-1, ASCE 7</i>
Deplasman arttırma katsayısı, C_d	5	<i>Tablo 12.2-1, ASCE 7</i>

Yapıya etkiyen yatay deprem yükleri aynı doğrultuda 1 ve 2 aksları boyunca uzanan özdeş TnT çaprazlı çerçeveler tarafından karşılanacağı için bulunan eşdeğer deprem yüklerinin her kat için yarısı dikkate alınarak tasarım yapılmıştır.

Binaya yatay yönde etkiyen ve taban kesme kuvveti olarak da adlandırılan toplam eşdeğer deprem yükü ($V^{(X)}$) ve sismik tepki katsayısı olan C_s , Denklem (3.4) ve (3.5)’e göre hesaplanmıştır [14].

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} \quad (3.4)$$

$$V = C_s \times W \times \rho \quad (3.5)$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Denklem (3.6)'da olduğu gibi hesaplanmıştır. Bu değerler **Tablo 3.5**'te ve **Tablo 3.6**'da gösterilmiştir [14].

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (3.6)$$

Tablo 3.5: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve katlarına etkiyecek eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.

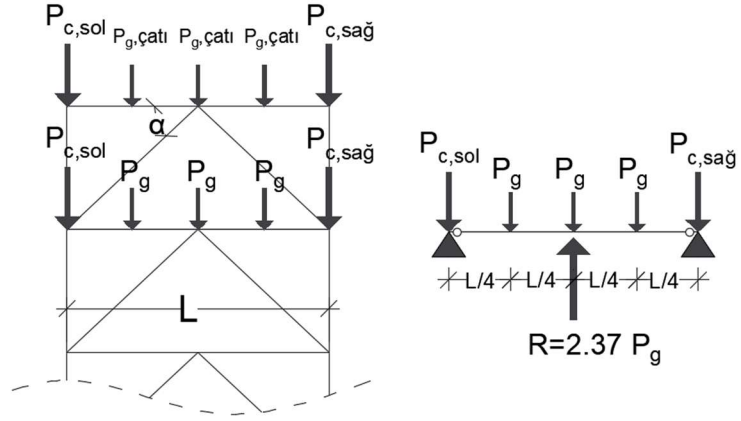
Kat	w_x (kN)	h_x (m)	$w_x h_x^k$	C_{vx}	F_x (kN)	$F_x/2$ (kN)
4	3837.4	15.0	57561.5	0.33	1065.9	533.0
3	4896.0	11.5	56304.0	0.32	1042.6	521.3
2	4896.0	8.0	39168.0	0.22	725.3	362.7
1	4896.0	4.5	22032.0	0.13	408.0	204.0
Toplam			175065.5	1	3241.8	1620.9

Tablo 3.6: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve katlarına etkiyecek eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması.

Kat	w_x (kN)	h_x (m)	$w_x h_x^k$	C_{vx}	F_x (kN)	$F_x/2$ (kN)
8	3837.4	29.0	111285.5	0.2	723.8	361.9
7	4896.0	25.5	124848.0	0.2	812.0	406.0
6	4896.0	22.0	107712.0	0.2	700.6	350.3
5	4896.0	18.5	90576.0	0.1	589.1	294.6
4	4896.0	15.0	73440.0	0.1	477.7	238.8
3	4896.0	11.5	56304.0	0.1	366.2	183.1
2	4896.0	8.0	39168.0	0.1	254.8	127.4
1	4896.0	4.5	22032.0	0.0	143.3	71.7
Toplam			625365.5	1.0	4067.4	2033.7

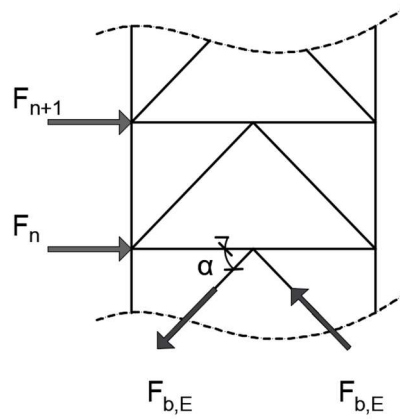
3.1. TnT Çaprazların Tasarımı

Çapraz elemanlara gelen düşey yükleri bulmak amacıyla her bir ikincil kirişten gelen tekil yük değerleri şematik olarak (P_g) **Şekil 3.4**'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Çapraz elemanlara gelen şematik düşey yükler.

Yatay deprem yüklerinin çapraz elemanlarda oluşturacağı aksel kuvvetler **Şekil 3.5**'te gösterildiği gibi bütün katlar için oluşturularak hesap yapılmıştır.



Şekil 3.5: Deprem yükleme durumunda çapraz aksel kuvvetlerinin belirlenmesi.

Yatay kuvvet denkliği Denklem (3.7)'de olduğu gibi kurulmuştur.

$$F_E^n = \frac{F_n + F_{n+1} + F_{çatı}}{2 \cos \alpha} \quad (3.7)$$

Yapılan hesaplamalar ile kat deprem kuvvetlerine göre ($F_{b,E}$) çaprazlar için elde edilen gerekli aksel kuvvetler **Tablo 3.7** ve **Tablo 3.8**'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7: Prototip-1 için çapraz elemanlarının deprem ve düşey yüklere göre gerekli eksenel kuvvetleri.

<i>Kat</i>	$F_{b,E} (kN)$	$F_{b,DL}(kN)$	$F_{b,LL} (kN)$	$F_{b,S} (kN)$	$P_r (kN)$
4	364.4	52.0	14.3	11.1	453.6
3	720.8	32.7	17.8	0.0	784.3
2	968.7	32.7	17.8	0.0	1032.3
1	1260.8	32.7	17.8	0.0	1324.4

Tablo 3.8: Prototip-2 için çapraz elemanlarının deprem ve düşey yüklere göre gerekli eksenel kuvvetleri.

<i>Kat</i>	$F_{b,E} (kN)$	$F_{b,DL} (kN)$	$F_{b,LL} (kN)$	$F_{b,S} (kN)$	$P_r (kN)$
8	247.4	52.0	14.3	11.1	336.7
7	525.0	32.7	17.8	0.0	588.6
6	764.5	32.7	17.8	0.0	828.1
5	965.9	32.7	17.8	0.0	1029.4
4	1129.1	32.7	17.8	0.0	1192.7
3	1254.3	32.7	17.8	0.0	1317.9
2	1341.4	32.7	17.8	0.0	1405.0
1	1582.0	32.7	17.8	0.0	1645.5

Hesaplanan gerekli eksenel kuvvetler ve seçilen çaprazlar profil kesitlerine göre dayanım oranları Tablo 3.9 ve Tablo 3.10’da gösterildiği gibidir.

Tablo 3.9: Prototip-1 için TnT elemanların seçilmesi ve dayanım oranları.

<i>Kat</i>	<i>Profil Kesiti</i>	$\phi P_y (kN)$	$P_r (kN)$	<i>Dayanım Oranı</i>
4	TnT115	507.1	453.6	0.89
3	TnT195	876.3	784.3	0.90
2	TnT255	1138.0	1032.3	0.91
1	TnT335	1490.2	1324.4	0.89

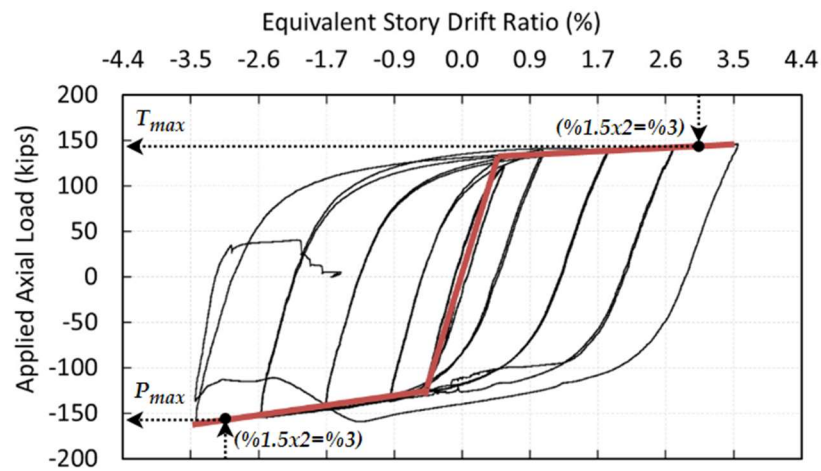
Tablo 3.10: Prototip-2 için TnT elemanların seçilmesi ve dayanım oranları.

Kat	Profil Kesiti	ϕP_y (kN)	P_r (kN)	Dayanım Oranı
8	TnT85	387.0	336.7	0.87
7	TnT145	640.5	588.6	0.92
6	TnT210	938.6	828.1	0.88
5	TnT255	1138.7	1029.4	0.90
4	TnT285	1267.7	1192.7	0.94
3	TnT335	1490.2	1317.9	0.88
2	TnT335	1490.2	1405.0	0.94
1	TnT395	1757.0	1645.5	0.94

3.2. Kiriş Tasarımı

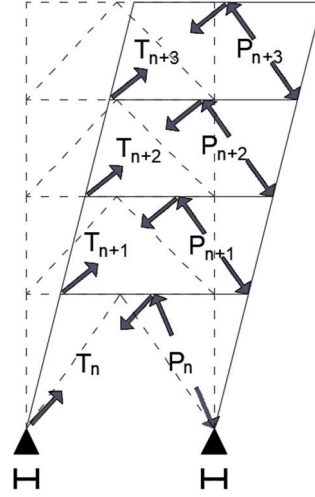
BÖÇ elemanlar en az %2 görel kat ötelemesine veya tasarım görel kat ötelemesinin iki katına karşı gelen şekil değiştirme durumlarının büyüğü esas alınarak boyutlandırılacaktır [13]. Pekleşme etkisi düzeltme katsayısı (ω) ile basınç dayanımı düzeltme katsayısının (β) belirlenmesi için Şekil 3.6’da gösterilen TnT145 profiline ait deney sonuçları dikkate alınmıştır. Belirlenen kuvvetler prototip binaların hesabından yola çıkılarak bulunan yapıların tasarım görel kat ötelemesinin iki katına karşılık gelen yaklaşık değerlerdir. Sonuçlar irdelendiğinde pekleşme etkisi düzeltme katsayısı (ω) 1.1, basınç kuvveti düzeltme katsayısı (β) 1.2 olarak kabul edilmiştir.

Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı olan R_y katsayısı A952 çelik sınıfı için AISC-341 Tablo A3.1’den alınmıştır [13].



Şekil 3.6: TnT145 profilinin deneysel testlerden elde edilen aksel kuvvet(kips) – görel kat ötelemesi (%) diyagramı [3].

Çaprazlarda oluşan basınç ve çekme kuvveti şematik olarak **Şekil 3.7**'de gösterilmiştir. Hesaplanan basınç (T) ve çekme (P) değerleri **Tablo 3.11** ve **Tablo 3.12**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Çapraz basınç ve çekme kuvveti hesaplaması.

BÖÇ elemanların maksimum basınç ve çekme kuvveti kapasiteleri Denklem (3.8) ve (3.9)'a göre hesaplanmıştır [13].

$$T = \omega R_y F_{y_{sc}} A_g \quad (3.8)$$

$$P = \beta \omega R_y F_{y_{sc}} A_g \quad (3.9)$$

Tablo 3.11: Prototip-1 için maksimum çapraz basınç ve çekme kuvveti hesaplaması.

<i>Kat</i>	<i>Profil Kesiti</i>	A_g (mm ²)	R_y	ω	β	$F_{y_{sc}}$ (N/mm ²)	T (kN)	P (kN)
4	TnT115	1780	1.3	1.1	1.2	320	815	977
3	TnT195	3070					1405	1686
2	TnT255	4000					1830	2196
1	TnT335	5220					2389	2866

Tablo 3.12: Prototip-2 için maksimum çapraz basınç ve çekme kuvveti hesaplaması.

<i>Kat</i>	<i>Profil Kesiti</i>	$A_g (mm^2)$	R_y	ω	β	$F_{y,sc} (N/mm^2)$	$T (kN)$	$P (kN)$
8	TnT85	1355	1.3	1.1	1.2	320	620	744
7	TnT145	2245					1027	1233
6	TnT210	3290					1506	1807
5	TnT255	3994					1828	2193
4	TnT285	4439					2031	2438
3	TnT335	5219					2388	2866
2	TnT335	5219					2388	2866
1	TnT395	6161					2819	3383

TnT çerçeve kirişlerinde oluşacak momentin (M_r) bulunabilmesi için, ikincil kirişlerden aktarılan tekil yüklerin oluşturduğu ($M_{B,DL}$, $M_{B,LL}$, $M_{B,S}$) ve çaprazların dengelenmemiş kuvvetleriyle oluşan moment ($M_{B,E}$) belirlenmiştir. Kirişlere ait moment değerleri **Tablo 3.13** ve **Tablo 3.14**'te gösterildiği gibidir.

Tablo 3.13: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kirişleri moment hesaplaması.

<i>Kat</i>	<i>Kiriş Profil Seçimi</i>	$M_{B,E} (kNm)$	$M_{B,DL} (kNm)$	$M_{B,LL} (kNm)$	$M_{B,S} (kNm)$	$M_r (kNm)$	$Pr (kN)$
4	W18×50	208.3	112.2	30.7	24.0	401.0	59.5
3	W18×71	359.2	141.0	76.9	0.0	633.7	758.0
2	W18×97	468.1	141.0	76.9	0.0	742.5	1264.0
1	W21×111	686.1	141.0	76.9	0.0	960.6	1879.9

Tablo 3.14: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kirişleri moment hesaplaması.

<i>Kat</i>	<i>Kiriş Profil Seçimi</i>	$M_{B,E} (kNm)$	$M_{B,DL} (kNm)$	$M_{B,LL} (kNm)$	$M_{B,S} (kNm)$	$M_r (kNm)$	$Pr (kN)$
8	W18×50	158.5	112.2	30.7	24.0	351.2	45.3
7	W18×71	262.7	141.0	76.9	0.0	537.1	573.9
6	W18×97	385.0	141.0	76.9	0.0	659.4	936.5
5	W18×97	467.4	141.0	76.9	0.0	741.8	1344.8
4	W18×106	519.5	141.0	76.9	0.0	793.9	1618.8
3	W21×111	610.7	141.0	76.9	0.0	885.2	1808.8
2	W21×111	610.7	141.0	76.9	0.0	885.2	2095.9
1	W21×122	721.0	141.0	76.9	0.0	995.4	2127.4

Elemanların karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı (P_c), kritik burkulma gerilmesi (F_{cr}) ve elastik burkulma gerilmesi (F_e) AISC-360 bölüm E3'te ifade edildiği gibi hesaplanmıştır [19].

Kirişlerde oluşacak dengelenmemiş eksenel kuvvet ve moment taleplerinden dolayı geometrik eksenler etrafında eğilme etkisindeki eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti etkileşimi AISC-360 madde H1.1 de ifade edilen eşitliklere göre sınırlandırılacaktır.

Çaprazlı çerçeve kirişleri için hesaplanan P_r ve M_r değerlerine göre kesitler belirlenmiş olup (3.12) ve (3.13) eşitlikleri yardımıyla eksenel kuvvet moment etkileşiminin sağlanması kontrolü yapılmıştır. **Tablo 3.15** ve **Tablo 3.16**'da bu oranlar gösterilmiştir.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \quad \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_r}{M_c} \right) \leq 1.0 \quad (3.12)$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \quad \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_r}{M_c} \right) \leq 1.0 \quad (3.13)$$

Tablo 3.15: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kiriş kesitlerinin belirlenmesi.

<i>Kat</i>	<i>Kiriş Profil Seçimi</i>	<i>M_r (kNm)</i>	<i>P_r (kN)</i>	<i>M_c (kNm)</i>	<i>P_c (kN)</i>	<i>P_r / P_c</i>	<i>P-M Etkileşimi</i>
4	W18×50	401.01	59.57	515.04	2541.15	0.02	0.77
3	W18×71	633.74	758.02	741.54	3649.76	0.21	0.97
2	W18×97	742.58	1264.04	1073.52	5145.87	0.25	0.86
1	W21×111	960.64	1879.94	1417.92	6028.33	0.31	0.91

Tablo 3.16: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kiriş kesitlerinin belirlenmesi.

<i>Kat</i>	<i>Kiriş Profil Seçimi</i>	<i>M_r (kNm)</i>	<i>P_r (kN)</i>	<i>M_c (kNm)</i>	<i>P_c (kN)</i>	<i>P_r / P_c</i>	<i>P-M Etkileşimi</i>
8	W18×50	351.27	45.35	515.04	2540.80	0.02	0.67
7	W18×71	537.19	573.95	741.54	3649.76	0.16	0.65
6	W18×97	659.49	936.57	1073.52	5145.87	0.18	0.52
5	W18×97	741.88	1344.83	1073.52	5145.87	0.26	0.88
4	W18×106	793.96	1618.89	1169.70	5621.30	0.29	0.89
3	W21×111	885.24	1808.81	1417.92	6028.33	0.30	0.86
2	W21×111	885.24	2095.96	1417.92	6028.33	0.35	0.90
1	W21×122	995.48	2127.48	1560.64	6664.34	0.32	0.89

Kiriş elemanlarının alt ve/veya üst başlıkları yanal burkulmaya karşı desteklenmelidir. Yanal destek elemanları arasındaki en büyük uzaklık (L_b) AISC-341 D1.2 eşitliğine göre hesaplanmıştır.

Yanal burulmalı burkulma boyu (L_p) ASCE-360 eşitlik F2-5'e göre hesaplanmış olup tüm katlardaki değerlerde $L_p > L_b$ olduğu için yanal burulmalı burkulma sınır değerleri geçerli değildir.

Kirişlerdeki süneklik düzeyi kontrolleri için AISC 341 Tablo D1.1 sınır koşulları dikkate alınmıştır. **Tablo 3.17** ve **Tablo 3.18**'de giriş elemanların sınır durumları gösterilmiştir.

Tablo 3.17: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve girişleri süneklik düzeyi kontrolü.

<i>Kat</i>	<i>Kiriş Profil Seçimi</i>	h/t_w	$\lambda_{hd,w}$	b/t_f	$\lambda_{hd,f}$	<i>Süneklik</i>
4	W18×50	45.20	57.89	6.57	7.35	Yüksek Sünek
3	W18×71	32.40	50.84	4.71	7.35	Yüksek Sünek
2	W18×97	30.00	50.09	6.41	7.35	Yüksek Sünek
1	W21×111	34.10	48.86	7.05	7.35	Yüksek Sünek

Tablo 3.18: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve girişleri süneklik düzeyi kontrolü.

<i>Kat</i>	<i>Kiriş Profil Seçimi</i>	h/t_w	$\lambda_{hd,w}$	b/t_f	$\lambda_{hd,f}$	<i>Süneklik</i>
8	W18×50	45.20	58.16	6.57	7.35	Yüksek Sünek
7	W18×71	32.40	51.64	4.71	7.35	Yüksek Sünek
6	W18×97	30.00	51.15	6.41	7.35	Yüksek Sünek
5	W18×97	30.00	49.83	5.96	7.35	Yüksek Sünek
4	W18×106	27.20	49.39	5.96	7.35	Yüksek Sünek
3	W21×111	34.10	49.06	5.96	7.35	Yüksek Sünek
2	W21×111	34.10	48.25	7.05	7.35	Yüksek Sünek
1	W21×122	31.30	48.73	6.45	7.35	Yüksek Sünek

3.3. Kolon Tasarımı

Çaprazlı çerçevelerin kolon tasarımı için düşey yüklerin meydana getireceği eksenel yükler ($P_{c,DL}$, $P_{c,LL}$, $P_{c,SL}$) tüm kat kolonları için hesaplanmıştır. Aynı kattaki çaprazlarının çekme ve basınç kuvvetleri ve üst katlardaki yatay sismik kuvvetlerin (F_u) sağ ve sol düğüm noktalarında oluşturduğu moment denkliklerinden her iki tarafın kolon eksenel kuvvetleri ($P_{c,R}$, $P_{c,L}$) hesaplanmıştır. Katlarda hesaplanan her iki kolon kuvvetlerinin en büyüğü ise sismik kolon eksenel yükü olarak ($P_{c,E}$) dikkate alınmıştır.

Kolonlara ait eksenel yük talebi **Tablo 3.19** ve **Tablo 3.20**'de gösterilmiştir.

Tablo 3.19: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kolonları eksenel yük talebinin belirlenmesi.

Kat	$P_{C,E} (kN)$	$P_{C,DL} (kN)$	$P_{C,LL} (kN)$	$P_{C,S} (kN)$	$P_r (kN)$
4	55.55	118.91	32.62	25.48	259.74
3	707.40	268.40	114.16	25.48	1202.42
2	1791.25	417.89	195.70	25.48	2577.10
1	3203.70	567.38	277.24	25.48	4280.36

Tablo 3.20: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kolonları eksenel yük talebinin belirlenmesi.

Kat	$P_{C,E} (kN)$	$P_{C,DL} (kN)$	$P_{C,LL} (kN)$	$P_{C,S} (kN)$	$P_r (kN)$
8	55.55	118.91	32.62	25.48	259.74
7	681.66	268.40	114.16	25.48	1176.67
6	1485.63	417.89	195.70	25.48	2271.47
5	2638.02	567.38	277.24	25.48	3714.69
4	3858.03	716.87	358.78	25.48	5225.52
3	5241.39	866.36	440.32	25.48	6899.71
2	6868.41	1015.85	521.86	25.48	8817.56
1	8542.31	1165.34	603.40	25.48	10782.28

Seçilen kolon kesitlerinin dayanım oranları **Tablo 3.21** ve **Tablo 3.22**'de gösterilmiştir.

Tablo 3.21: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kolonlarının kesitlerinin belirlenmesi.

<i>Kat</i>	<i>Kolon Profil Seçimi</i>	P_r (kN)	P_c (kN)	<i>Dayanım Oranı</i>
4	W14×48	259.74	1930.41	0.13
3	W14×48	1202.42	1930.41	0.62
2	W14×132	2577.10	7036.00	0.37
1	W14×132	4280.36	6598.00	0.65

Tablo 3.22: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kolonlarının kesitlerinin belirlenmesi.

<i>Kat</i>	<i>Kolon Profil Seçimi</i>	P_r (kN)	P_c (kN)	<i>Dayanım Oranı</i>
8	W14×82	259.74	3840.05	0.07
7	W14×82	1176.67	3840.05	0.31
6	W14×82	2271.47	3840.05	0.59
5	W14×132	3714.69	6598.74	0.56
4	W14×132	5225.52	6598.74	0.79
3	W14×176	6899.71	8574.74	0.80
2	W14×176	8817.56	9514.82	0.93
1	W14×211	10782.28	11413.98	0.94

Kolonlardaki süneklik düzeyi kontrolleri için AISC 341 Tablo D1.1 sınır koşulları dikkate alınmıştır. **Tablo 3.23** ve **Tablo 3.24**'te kolon elemanların sınır durumları gösterilmiştir.

Tablo 3.23: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve kolonları süneklik düzeyi kontrolü.

<i>Kat</i>	<i>Kolon Profil Seçimi</i>	h/t_w	$\lambda_{hd,w}$	b/t_f	$\lambda_{hd,f}$	<i>Süneklik</i>
4	W14×48	22.40	55.99	5.92	7.35	Yüksek Sünek
3	W14×48	22.40	49.55	5.92	7.35	Yüksek Sünek
2	W14×132	17.70	48.04	7.15	7.35	Yüksek Sünek
1	W14×132	17.70	44.01	7.15	7.35	Yüksek Sünek

Tablo 3.24: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve kolonları süneklik düzeyi kontrolü.

<i>Kat</i>	<i>Kolon Profil Seçimi</i>	h/t_w	$\lambda_{hd,w}$	b/t_f	$\lambda_{hd,f}$	<i>Süneklik</i>
8	W14×82	22.40	55.99	5.92	7.35	Yüksek Sünek
7	W14×82	22.40	49.65	5.92	7.35	Yüksek Sünek
6	W14×82	22.40	45.47	5.92	7.35	Yüksek Sünek
5	W14×132	17.70	45.35	7.15	7.35	Yüksek Sünek
4	W14×132	17.70	41.78	7.15	7.35	Yüksek Sünek
3	W14×176	15.30	40.58	6.54	7.35	Yüksek Sünek
2	W14×176	13.70	38.53	5.97	7.35	Yüksek Sünek
1	W14×211	11.60	38.20	5.06	7.35	Yüksek Sünek

Nihai eleman seçimleri **Tablo 3.25** ve **Tablo 3.26**'da gösterilmiştir.

Tablo 3.25: Prototip-1 için çaprazlı çerçeve elemanları nihai kesitleri.

<i>Kat</i>	<i>Çapraz Profil Seçimi</i>	<i>Kiriş Profil Seçimi</i>	<i>Kolon Profil Seçimi</i>
4	TnT115	W14×48	W14×48
3	TnT195	W14×48	W14×48
2	TnT255	W14×132	W14×132
1	TnT335	W14×132	W14×132

Tablo 3.26: Prototip-2 için çaprazlı çerçeve elemanları nihai kesitleri.

<i>Kat</i>	<i>Çapraz Profil Seçimi</i>	<i>Kiriş Profil Seçimi</i>	<i>Kolon Profil Seçimi</i>
8	TnT85	W18×50	W14×82
7	TnT145	W18×71	W14×82
6	TnT210	W18×97	W14×82
5	TnT255	W18×97	W14×132
4	TnT285	W18×106	W14×132
3	TnT335	W21×111	W14×176
2	TnT335	W21×111	W14×176
1	TnT395	W21×122	W14×211

3.4. Etkin Göreli Kat Ötelenmesi

Etkin göreli kat ötelenmesi sınır durumları Denklem (3.11), (3.12) ve (3.13)'e göre hesaplanmıştır [14]. Çerçeveser, **Tablo 3.27** ve **Tablo 3.28**'de gösterildiği gibi etkin göreli kat ötelenmesi koşulunu sağlamıştır.

$$\delta_x = \frac{C_d x \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.11)$$

$$\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1} \quad (3.12)$$

$$\Delta_a = 0.02 x h_i \quad (3.13)$$

Tablo 3.27: Prototip-1 için etkin göreli kat ötelenmesi sonuçları.

<i>Kat</i>	<i>h_i (mm)</i>	<i>δ_{xe}(mm)</i>	<i>C_d</i>	<i>I_e</i>	<i>δ_x</i>	<i>Δ_x (mm)</i>	<i>Δ_a (mm)</i>	<i>Δ_x ≤ Δ_a</i>
4	3500	46.8	5	1	234.00	51.00	70	Koşul Sağlandı
3	3500	36.6	5	1	183.00	56.00	70	Koşul Sağlandı
2	3500	25.4	5	1	127.00	42.00	70	Koşul Sağlandı
1	4500	17.0	5	1	85.00	85.00	90	Koşul Sağlandı

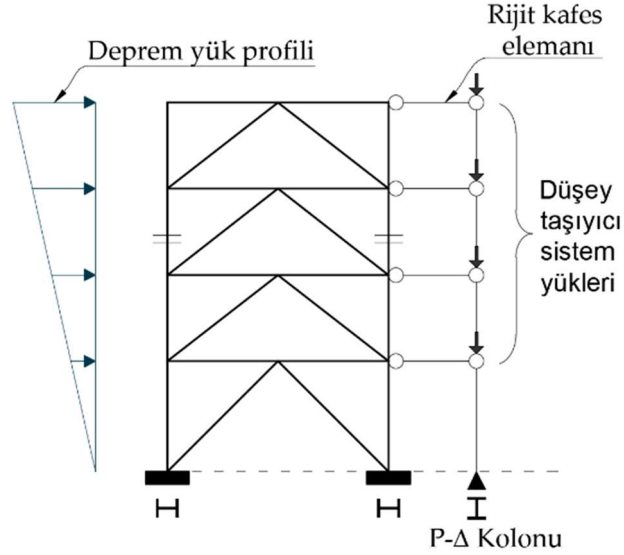
Tablo 3.28: Prototip-2 için etkin göreli kat ötelenmesi sonuçları.

<i>Kat</i>	<i>h_i (mm)</i>	<i>δ_x</i>	<i>C_d</i>	<i>I_e</i>	<i>δ_x</i>	<i>Δ_x (mm)</i>	<i>Δ_a (mm)</i>	<i>Δ_x ≤ Δ_a</i>
8	3500	92.4	5	1	461.92	61.90	70	Koşul Sağlandı
7	3500	80.0	5	1	400.00	64.00	70	Koşul Sağlandı
6	3500	67.2	5	1	336.00	62.40	70	Koşul Sağlandı
5	3500	54.7	5	1	273.60	62.40	70	Koşul Sağlandı
4	3500	42.2	5	1	211.20	59.60	70	Koşul Sağlandı
3	3500	30.3	5	1	151.60	52.40	70	Koşul Sağlandı
2	3500	19.8	5	1	99.20	48.40	70	Koşul Sağlandı
1	4500	10.2	5	1	50.80	50.80	90	Koşul Sağlandı

4. SAYISAL MODELLEMESİNE İLİŞKİN ESAS VE KABULLER

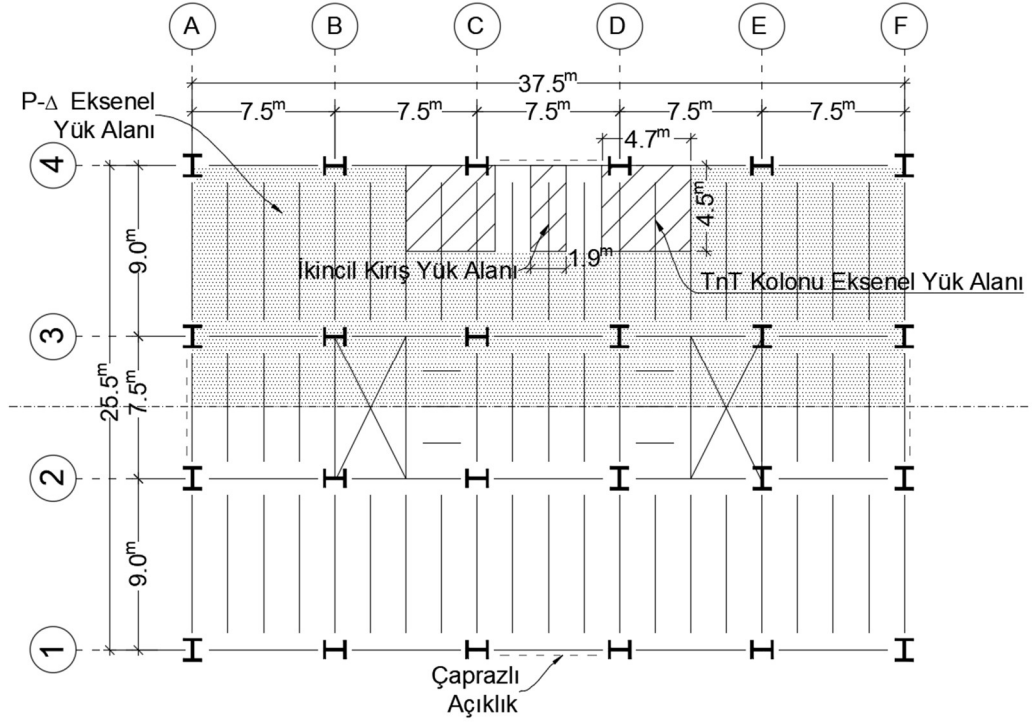
Sayısal modelleme, ilgili yönetmelikte [13] belirtilen modelleme parametreleri ve sınır koşulları dikkate alınarak yapılmıştır.

Analizlerde ikinci mertebeye etkileri Şekil 4.1'de gösterilen "sanal" P-Δ kolon yaklaşımı ile dikkate alınmıştır [23]. Sadece düşey yük taşıyıcı olarak tasarlanan ve iki boyutlu modele dahil edilmeyen kolonların üzerindeki düşey yükler, rijit çubuklardan oluşan bu "sanal" P-Δ kolona aktarılmış ve böylece iç açıklıklardaki düşey yüklerden kaynaklanan P-Δ etkileri göz önünde bulundurulmuştur.



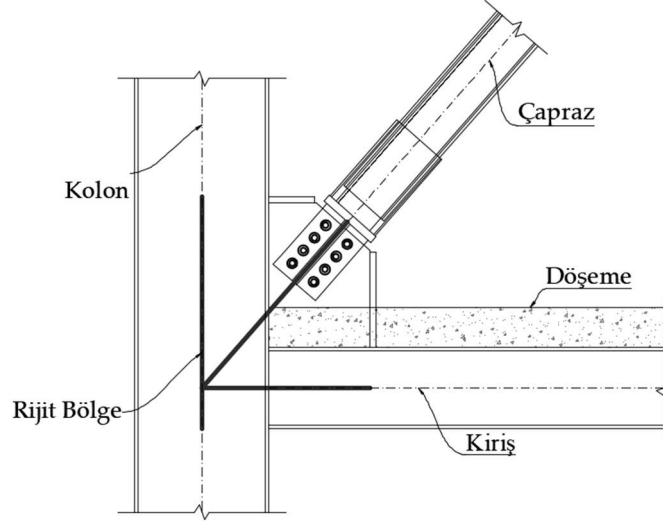
Şekil 4.1: P-Δ kolonu.

P-Δ kolonunun yükleme alanı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



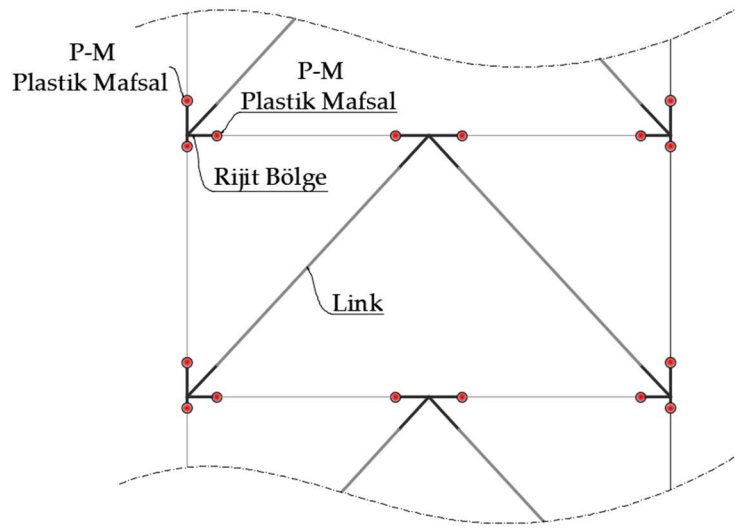
Şekil 4.2: P-Δ kolonunun yük alanı.

Çapraz elemanların uzunluğunun %80'i akma bölgesi olarak değerlendirilerek elemanın her iki ucuna uzunluğun %10'u kadarında rijit bölgeler tanımlanmıştır. Bu varsayıma göre çapraz uç kısımlarındaki guse levhalarının yüksekliği 0.4m, genişliği ise 0.3m olacak şekilde aynı bölgedeki kiriş ve kolon uçlarında da guse levhası sınırlarına uygun şekilde rijitlikler tanımlanmıştır. Tipik bağlantı detayı **Şekil 4.3**'te gösterilmiştir. Çatı katı kirişlerinin kolonlarla birleşim noktalarında guse levhası bulunmadığı için, bu katta sonsuz rijitlik tanımlaması yalnızca kolon ve kiriş elemanlarının yüksekliğinin yarısı göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3: Tipik çapraz birleşim detayı.

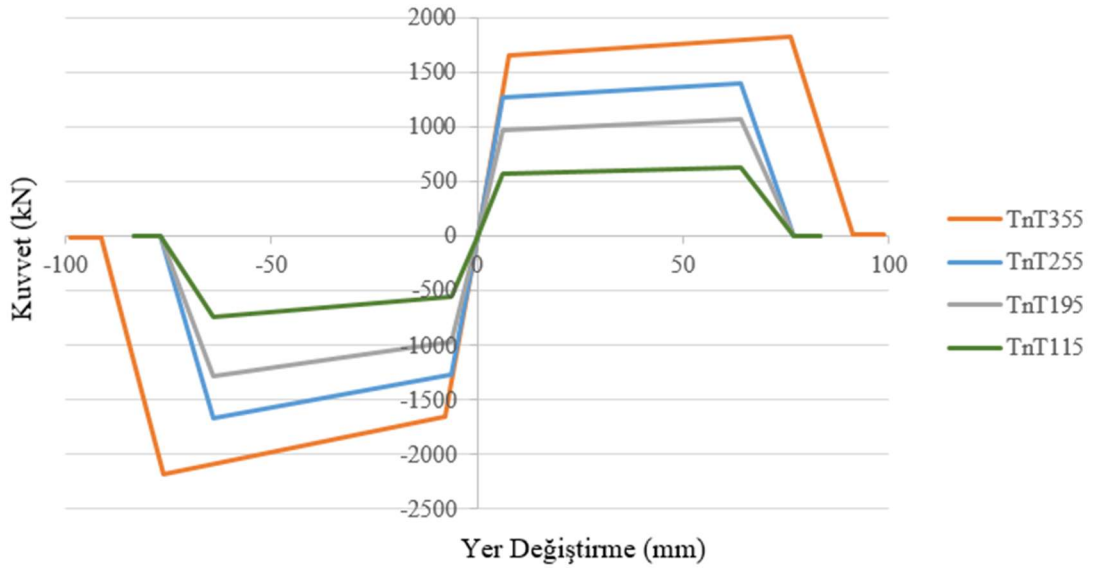
Plastik masraf bölgeleri Şekil 4.4’te gösterildiği gibidir.



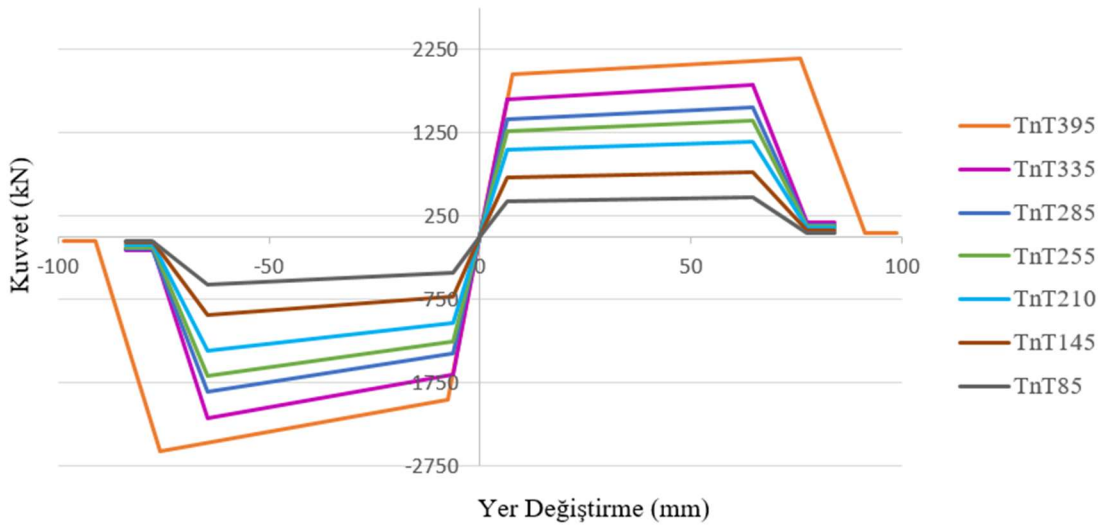
Şekil 4.4: Plastik mafsallık bölgeleri.

TnT çaprazlar için eksenel deformasyonu gözetten link tanımlaması yapılırken en yüksek dayanım bölgesi olan C için, (2.1) ve (2.2) eşitliklerinde tanımlanan ω ve β katsayıları kullanılmıştır.

Her TnT profili için tanımlanan linklerin istenilen eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme davranışları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterildiği gibidir.



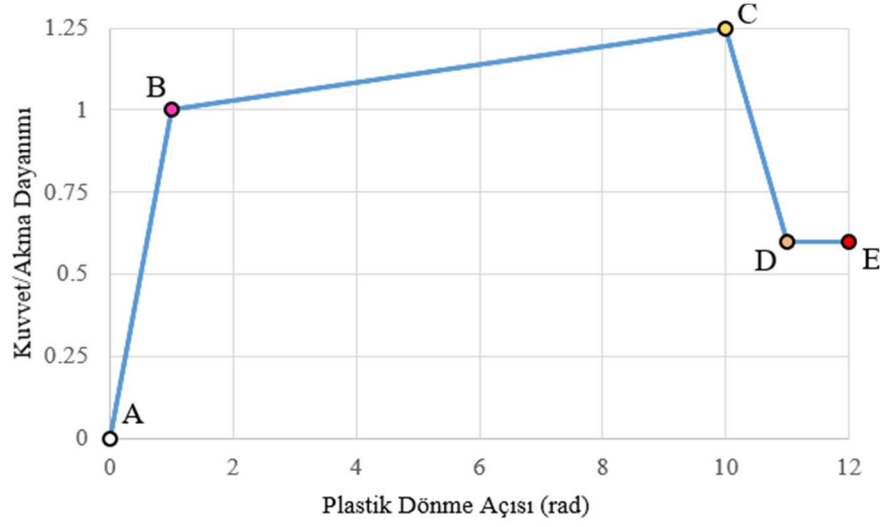
Şekil 4.5: TnT çaprazlar için tanımlanan link elemanların kuvvet-yer değiştirme davranışı (Prototip-1).



Şekil 4.6: TnT çaprazlar için tanımlanan link elemanların kuvvet-yer değiştirme davranışı (Prototip-2).

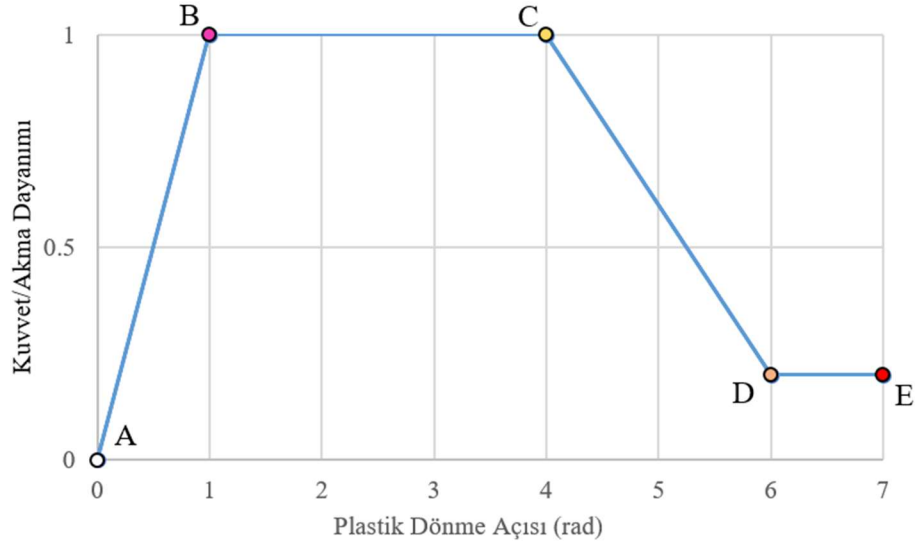
Kiriş elemanlarında hem eksenel kuvvet hem de moment oluşmasından dolayı bu kirişlerin uç kısımlarında, rijit bölgenin bittiği noktalarda eksenel kuvvet eğilme moment etkileşimini gözetten plastik mafsallar oluşturulmuştur. Çatı katı kirişi uç kısımlarında ise guse levhası olmadığı için bu noktalarda plastik mafsal yerine serbest mafsal eklenmiştir.

Kirişlere ait plastik mafsal tanımlanması **Şekil 4.7**'de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 4.7: Kirişlere ait plastik mafsalları tanımlanması.

Kolonlar da ise guse levhalarının olduğu rijit bölgelerin bittiği noktalara eksenel kuvvet eğilme moment etkileşimini gözetten plastik mafsallar oluşturulmuştur. Kirişlere ait plastik mafsalları tanımlanması **Şekil 4.8'**de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 4.8: Kolonlara ait plastik mafsalları tanımlanması.

Şekil 4.7 ve **Şekil 4.8**'de gösterilen deformasyona bağlı hareketlerin modelleme ve kabul kriterlerini belirlemek için kullanılan kuvvet-deformasyon eğrilerinde [13];

A ve B Noktaları: A noktası bileşenin yüklenmemiş durumunu, B noktası ise akma noktasını ve elemanın elastik davranışının sonlandığı ve doğrusal olmayan davranışın başladığı noktadır. A ve B arasında doğrusal bir yanıt gösterilir.

C ve D Noktaları: C noktası maksimum dayanımını gösterirken, elemanın plastik davranışının belirginleştiği ve hasar belirtilerinin başladığı noktadır. Bu aşamada elemanda gözle görülür kalıcı deformasyonlar oluşur, ancak eleman hala işlevini büyük ölçüde yerine getirebilir. D noktası dayanımın önemli ölçüde azalmaya başladığı noktayı temsil eder.

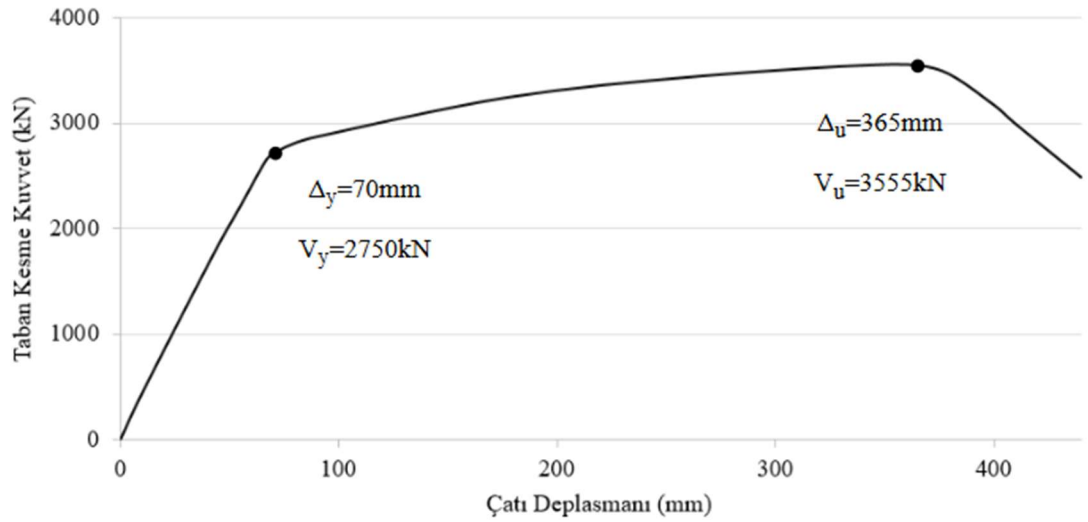
E Noktası: D noktasından sonra dayanım önemli ölçüde azalır ve E noktasında dayanım neredeyse sıfıra düşer.

5. YAPISAL ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

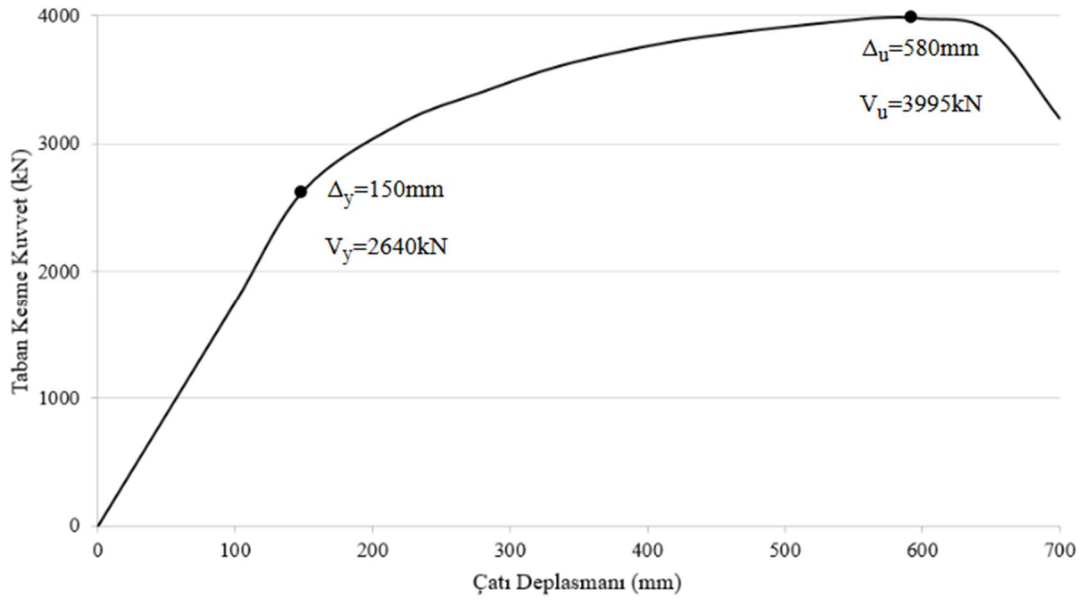
5.1. Statik İtme Analizi

Tasarımı ve modellemesi tamamlanan yapılara eşdeğer deprem yüküne göre statik itme analizleri yapılmıştır. Bu yöntem ile yapının yatay kuvvetlere karşı gösterdiği deformasyonlar ve yapısal elemanların kapasite sınırları izlenmiştir. Yapı, doğrusal bir davranışla (elastik) başlamış ve belirli bir kuvvet seviyesine ulaştığında doğrusal olmayan (plastik) davranış sergilemeye başlamıştır.

Statik itme eğrileri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterildiği gibidir. Burada V_u yapının sahip olduğu maksimum taban kesme kuvvetini, V_y akma durumunda oluşan taban kesme kuvvetini, Δ_u maksimum yatay deplasmanı, Δ_y ise yapının akma durumunda oluşan yatay deplasmanını ifade etmektedir.

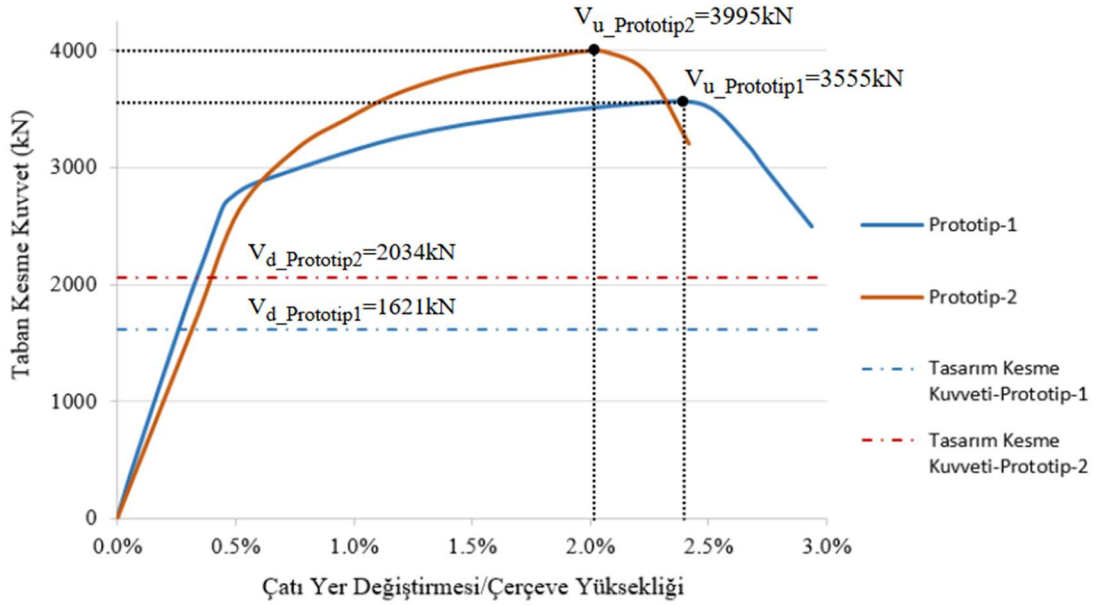


Şekil 5.1: Prototip-1 statik itme eğrisi.



Şekil 5.2: Prototip-2 statik itme eğrisi.

Şekil 5.3'te taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirmesinin çerçeve yüksekliğine oranı yüzde cinsinden gösterilmiştir. V_d tasarım taban kesme kuvvetidir.



Şekil 5.3: Birleştirilmiş statik itme eğrileri.

Yapıların dayanım fazlalığı katsayısı (Ω_o) ve elastik rijitlik (K_o) değerleri Denklem (5.1) ve (5.2)'ye göre hesaplanmıştır [18]. Bu sonuçlar **Tablo 5.1**'de gösterilmiştir. V_d , tasarım kesme kuvvetidir.

$$\Omega_o = \frac{V_u}{V_d} \quad (5.1)$$

$$K_o = \frac{V_y}{\Delta_y} \quad (5.2)$$

Tablo 5.1: Statik itme sonuçları.

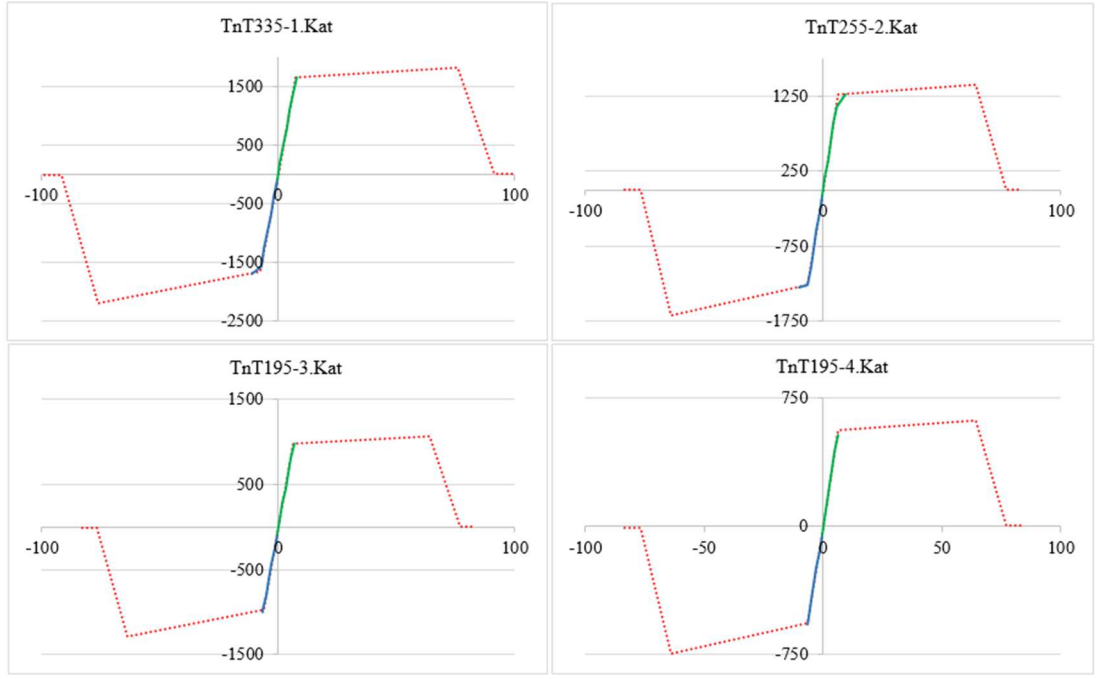
	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	V_y (kN)	V_u (kN)	V_d (kN)	K_o (kN/mm)	Ω_o statik
<i>Prototip-1</i>	70	365	2750	3555	1621	39.29	2.19
<i>Prototip-2</i>	150	580	2640	3995	2034	17.6	1.96

Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen çıkarımlara göre;

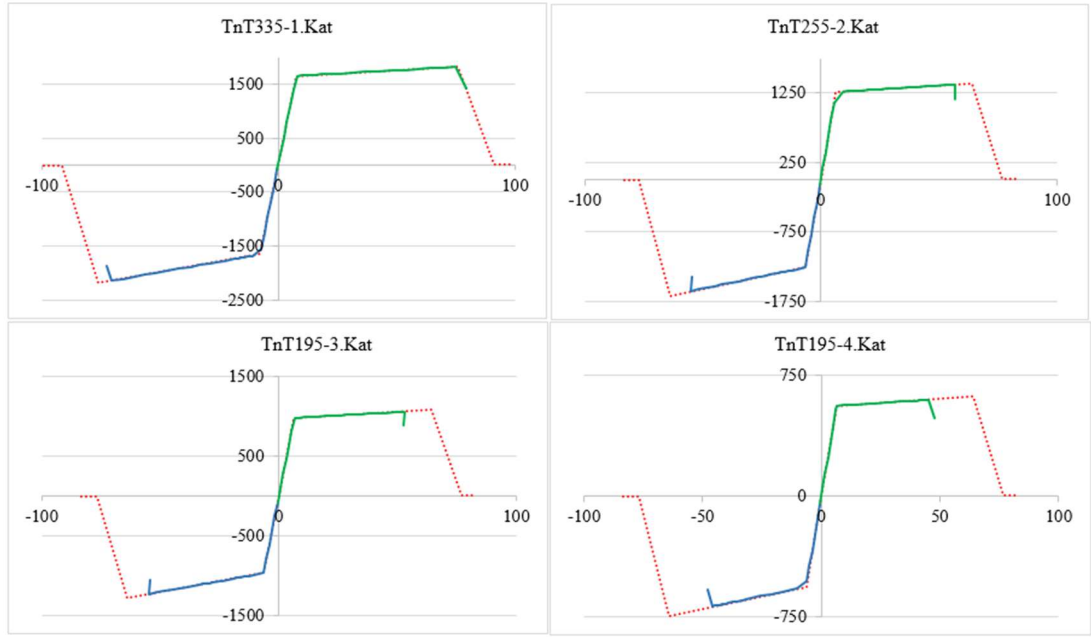
- Prototip-1 daha yüksek elastik rijitliğe sahiptir.
- Dayanım fazlalığı katsayısı prototip-1 de daha fazla olsa da her iki yapı içinde ilgili yönetmelikte [13] önerilen D=2.5'in altında kalmıştır.

Karşılaştırılan eksenel yük-ksenel yer değiştirme eğrilerinde gözlemlenen farklılıklar ve benzerlikler dışında doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin dağılımı ve gelişimi incelenmiştir. Çerçevelere ait doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin gelişimi; **Şekil 5.4**, **Şekil 5.5**, **Şekil 5.6**, **Şekil 5.7**, **Şekil 5.8** ve **Şekil 5.9**'da gösterilmiştir. Burada eksenel kuvvet (kN) ve eksenel yer değiştirme (yatay)(mm) ilişkisi gösterilmiştir.

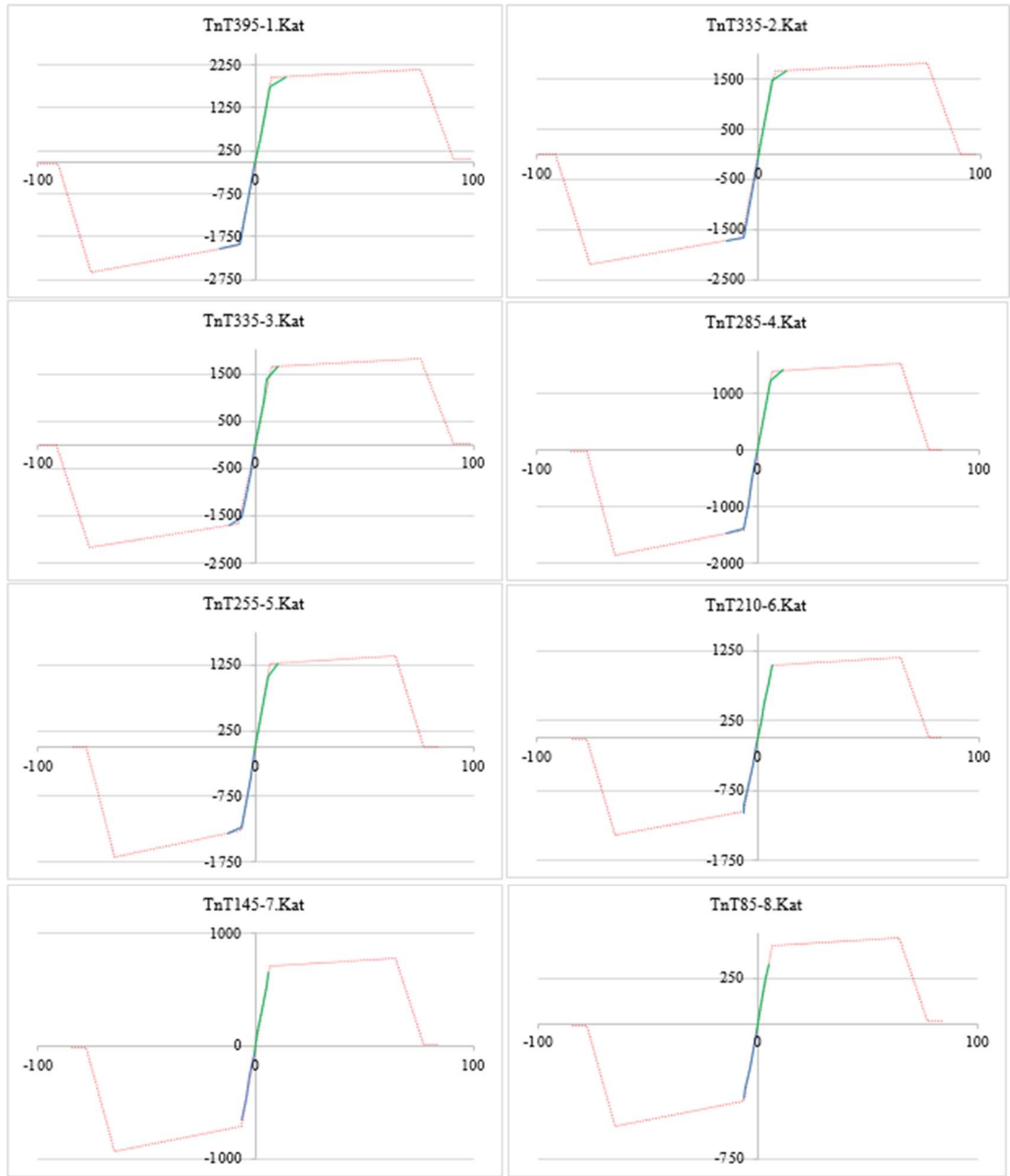
- İki çerçevede de ilk akma çapraz elemanlarda meydana gelmiştir.
- Prototip-1 de ilk akma 1. ve 2. kat çaprazlarında oluşmuştur. Son aşamada tüm çapraz elemanlar C-D bölgesine ulaşarak plastikleşmiştir. Kolon ve kirişlerde ilk akma ilk katta ve taban kesme kuvveti 2995kN'a ulaştığında gözlemlenmiştir.
- Prototip-2 de ilk akma, ilk beş kata ait çaprazlarda oluşmuştur. Son aşamada tüm çapraz elemanlar da akma meydana gelmiştir. Maksimum dayanıma ilk kat çaprazlarının ulaştığı ancak diğer kat çaprazlarının B-C bölgesinde kaldığı görülmektedir. Kolon ve kirişlerde ilk akma ilk katta ve taban kesme kuvveti 3400kN'a ulaştığında gözlemlenmiştir.



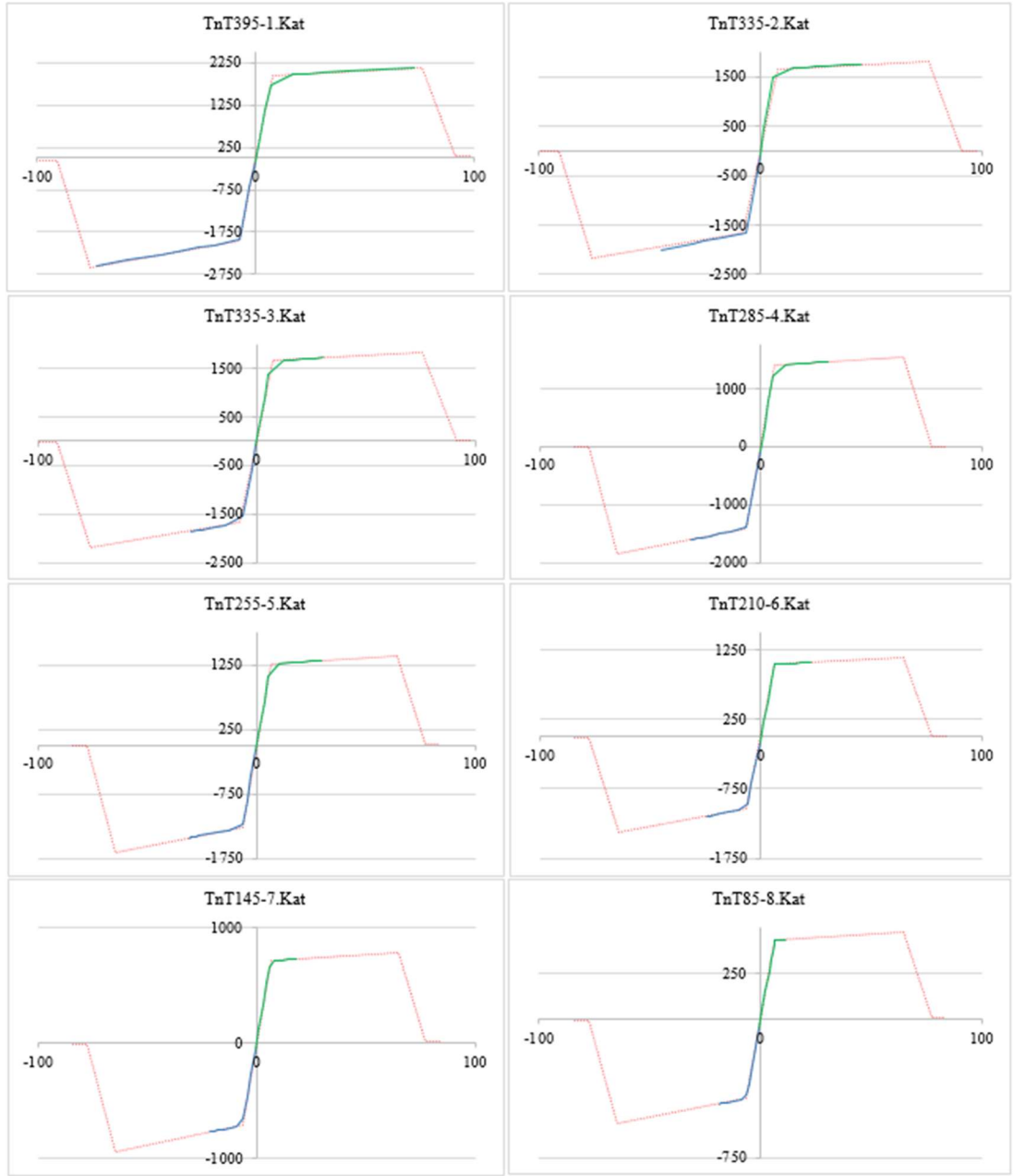
Şekil 5.4: Çaprazların statik itme analizinde ilk plastik mafsall oluşumu (Prototip-1).



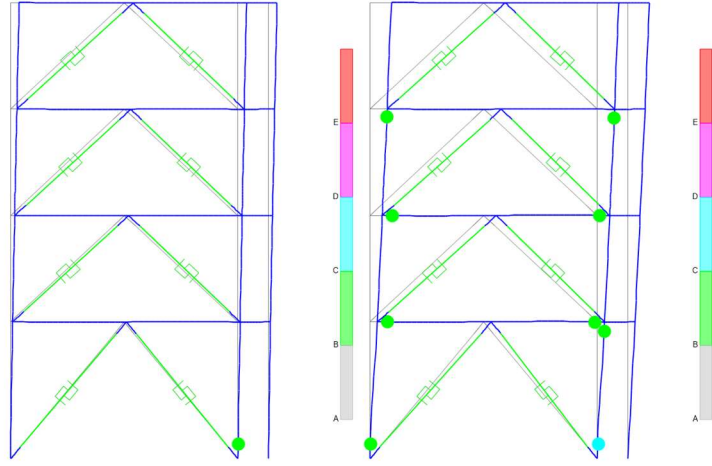
Şekil 5.5: Çaprazların statik itme analizinde son plastik mafsall oluşumu (Prototip-1).



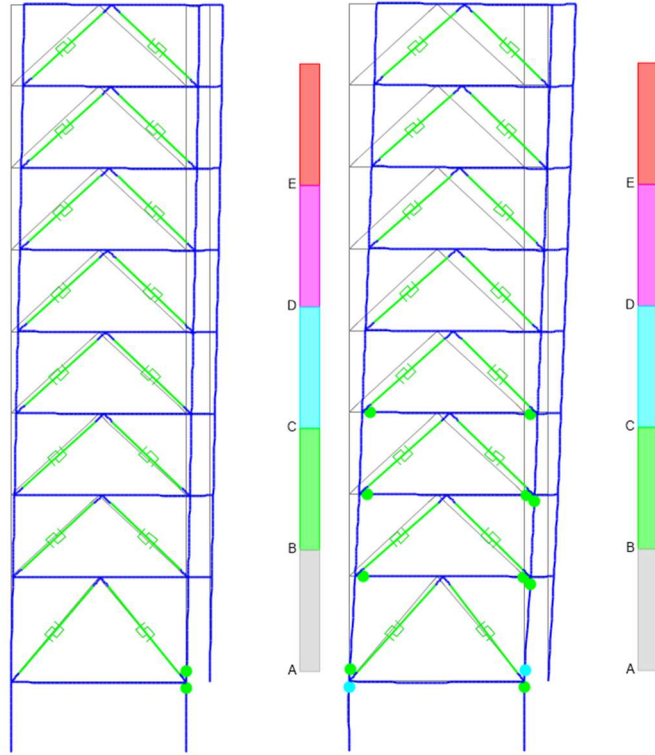
Şekil 5.6: Çaprazların statik itme analizinde ilk plastik mafsall oluşumu (Prototip-2).



Şekil 5.7: Çaprazların statik itme analizinde son plastik mafsall oluşumu (Prototip-2).



Şekil 5.8: Kolon ve kirişlerin statik itme analizinde ilk (sol) ve son plastik mafsall oluşumu (Prototip-1).



Şekil 5.9: Kolon ve kirişlerin statik itme analizinde ilk (sol) ve son plastik mafsall oluşumu (Prototip-2).

5.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik İtme Analizi

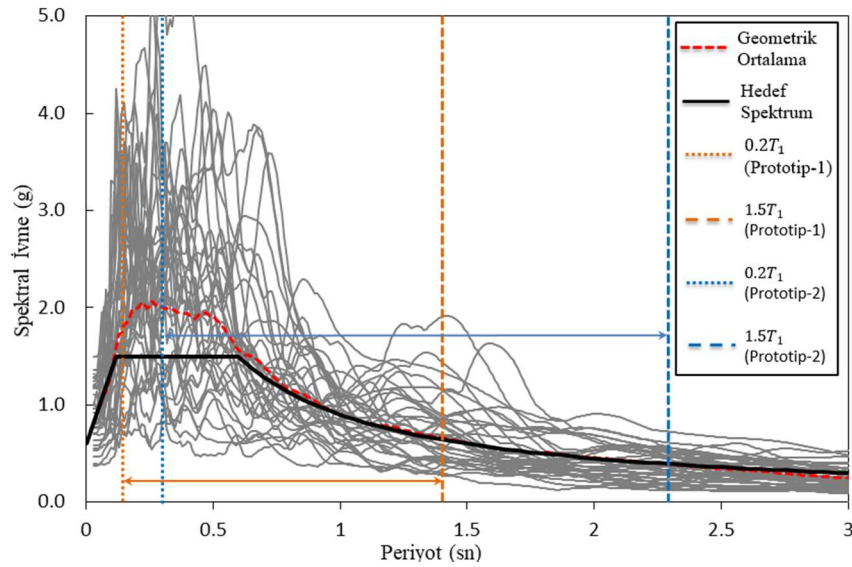
5.2.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Doğrusal olmayan artımsal dinamik analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesinde Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü (PEER) [20] veri tabanı kullanılmıştır. Toplamda 33 deprem kaydı seçilmiştir. Deprem kayıtlarına ait özellikler **Tablo 5.2**'de verilmiştir.

Hedef spektrumunun can güvenliği performans hedefi, yapıların en büyük depreme (50 yılda aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu 2475 yıl olan depremler) maruz kaldıklarında kabul edilebilir göçme olasılığına sahip olacak şekilde tanımlanmıştır.

Deprem ivme kayıtları **Tablo 5.2**'de verilen ölçeklendirme katsayıları ile çarpılmıştır. Bu katsayılar belirlenirken yapıların hakim periyodunun 0.2 ve 1.5 katı aralığında bütün kayıtların ortalama spektrum değerlerinin tasarım spektrumundan az olmaması hedeflenmiştir [13]. Prototip-1'e ait birinci titreşim periyodu yaklaşık 0.72 saniye, prototip-2'nin ise 1.53 saniyedir.

Seçilen bölgeye ait en büyük deprem spektrumu olan hedef spektrum, her bir deprem kaydına ait deprem spektrumları ve bunların geometrik ortalaması **Şekil 5.10**'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Hedef spektruma göre deprem ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesi.

Tablo 5.2: Deprem kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları.

<i>Deprem</i>	<i>PEER-NGA No</i>	<i>ID No:</i>	<i>Yıl</i>	<i>Süre (sn.)</i>	<i>Büyüklik (Mw)</i>	<i>Ölçeklendirme Katsayısı</i>
Northridge-BH-C1	953	120111	1994	30	6.7	1.69
Northridge-CC-C1	960	120121	1994	20	6.7	2.15
Düzce-Bolu-C1	1602	120411	1999	55.9	7.1	1.63
Hector Mine-Hector-C1	1787	120521	1999	45.3	7.1	2.83
Hector Mine-Hector-C1	1787	120522	1999	45.3	7.1	2.83
Imperial Valley-Delta-C1	169	120611	1979	99.9	6.5	3.40
Imperial Valley-Delta-C1	169	120612	1979	99.9	6.5	3.40
Imperial Valley-EC-C1	174	120621	1979	39	6.5	2.63
Imperial Valley-EC-C1	174	120622	1979	39	6.5	2.63
Kobe-SA-C1	1116	120721	1995	41	6.9	2.85
Kocaeli-Duzce-C1	1158	120811	1999	27.2	7.5	1.78
Kocaeli-Duzce-C1	1158	120812	1999	27.2	7.5	1.78
Kocaeli-Arcelik-C1	1148	120821	1999	30	7.5	3.52
Kocaeli-Arcelik-C1	1148	120822	1999	30	7.5	3.52
Landers-YFS-C1	900	120912	1992	44	7.3	2.56
Landers-CW-C1	848	120921	1992	28	7.3	2.98
Landers-CW-C1	848	120922	1992	28	7.3	2.98
Loma Prieta-Capitola-C1	752	121011	1989	40	6.9	2.82
Loma Prieta-Capitola-C1	752	121012	1989	40	6.9	2.82
Loma Prieta-GA#3-C1	767	121021	1989	39.9	6.9	2.28
Loma Prieta-GA#3-C1	767	121022	1989	39.9	6.9	2.28
Supersition Hills-EC-C1	721	121211	1987	40	6.5	2.25
Supersition Hills-EC-C1	721	121212	1987	40	6.5	2.25
Supersition Hills-PR-C1	725	121221	1987	22.3	6.5	3.04
Supersition Hills-PR-C1	725	121222	1987	22.3	6.5	3.04
Chi Chi-CHY101-C2	1244	121411	1999	90	7.6	1.06
Chi Chi-CHY101-C2	1244	121412	1999	90	7.6	1.06
Chi Chi-TCU045-C1	1485	121421	1999	90	7.6	2.49
Chi Chi-TCU045-C1	1485	121422	1999	90	7.6	2.49
San Fernando-LA-C2	68	121511	1971	28	6.6	5.43
San Fernando-LA-C2	68	121512	1971	28	6.6	5.43
Friuli-T-C2	125	121711	1976	36.3	6.5	3.73
Friuli-T-C2	125	121712	1976	36.3	6.5	3.73

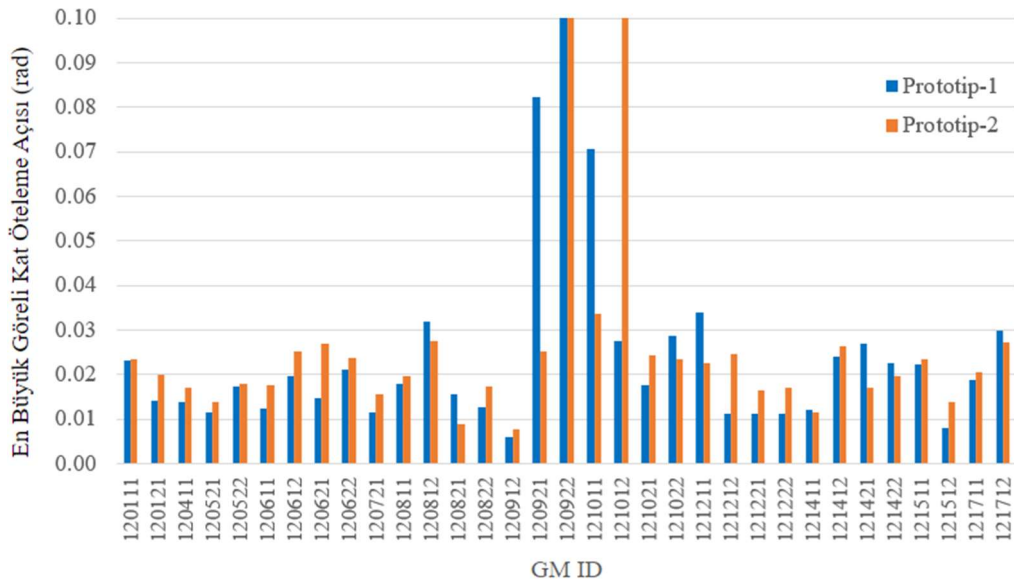
5.2.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik İtme Analiz Sonuçları

Prototip-1 ve prototip-2 için hedef spektruma uyumlu seçilen 33 deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında artımsal doğrusal olmayan analizler (dinamik itme analizi) yapılmıştır.

Dinamik itme eğrileri belirli bir deprem kaydına verdiği en büyük tepki değeri (hasar ölçüsü) ile o deprem kaydına ait büyüklük ölçüsü arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Bu eğriler farklı büyüklükleri temsil etmesi için artımsal şekilde ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle elde edilmektedir. Geleneksel olarak dinamik itme analizinde deprem büyüklüğü, analiz edilen yapının birinci periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivmeyle temsil edilmektedir [21].

Dinamik itme eğrileri, seçilen sismik talep ölçüsü (görelî kat öteleme açısı) ile deprem büyüklük arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Bu değerlerden yola çıkılarak çerçeveler 0.1 radyanlık görelî kat öteleme açısına ulaşana deprem kaydı ölçeklendirilerek arttırılmıştır.

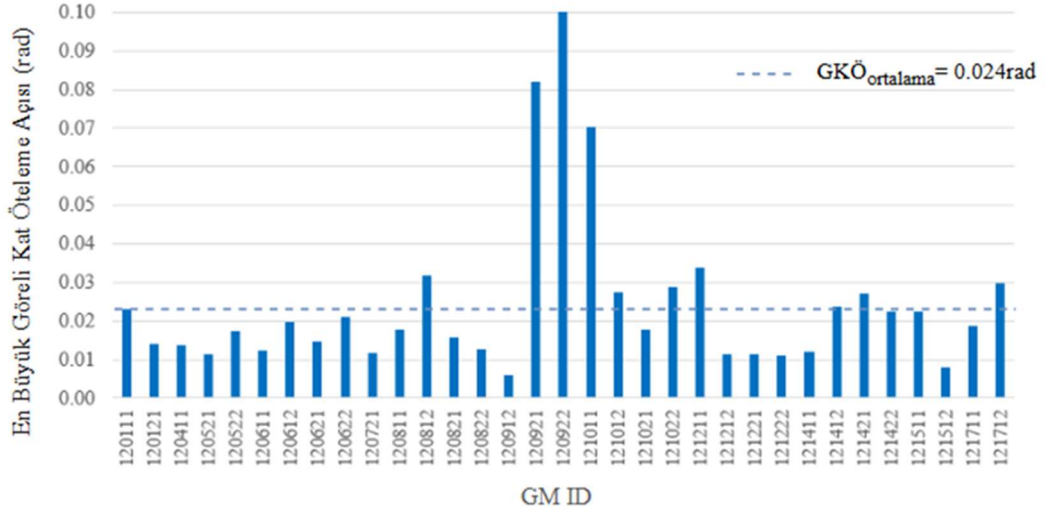
Şekil 5.11’de iki çerçeveye ait arttırılmamış deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen görelî kat öteleme açıları (rad) gösterilmektedir.



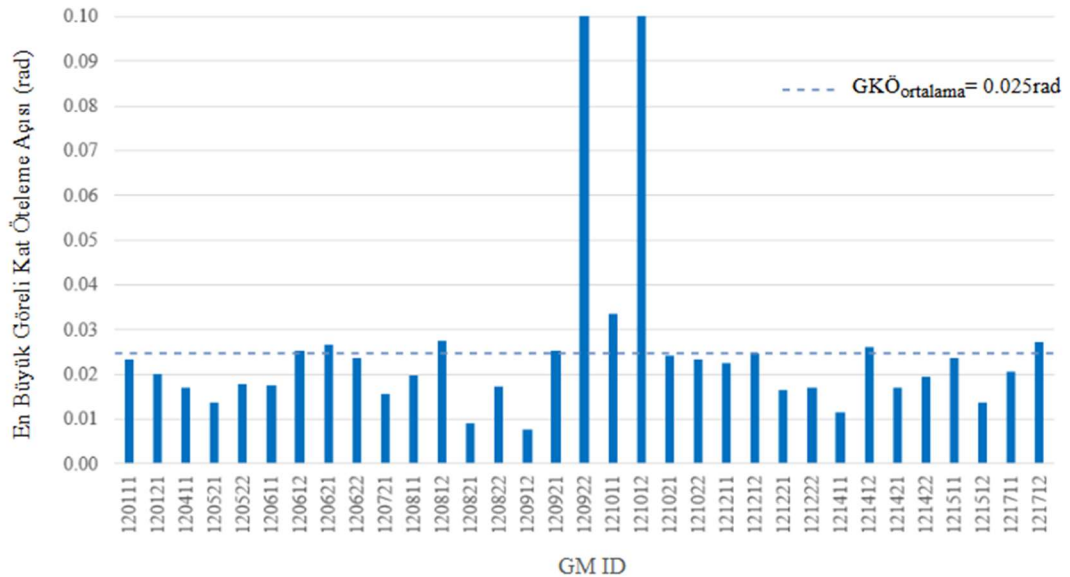
Şekil 5.11: Arttırılmamış deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen görelî kat öteleme açıları (rad).

Çerçeveler ayrı ayrı incelendiğinde Prototip-1 ve prototip-2 için seçilen arttırılmamış deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen görelî kat öteleme açıları (rad) Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te gösterildiği gibidir.

Arttırılmamış 33 deprem kaydı için spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen ortalama görelî kat öteleme açıları (GKÖ) Prototip-1 0.024 radyan, prototip-2 için 0.025 radyandır.

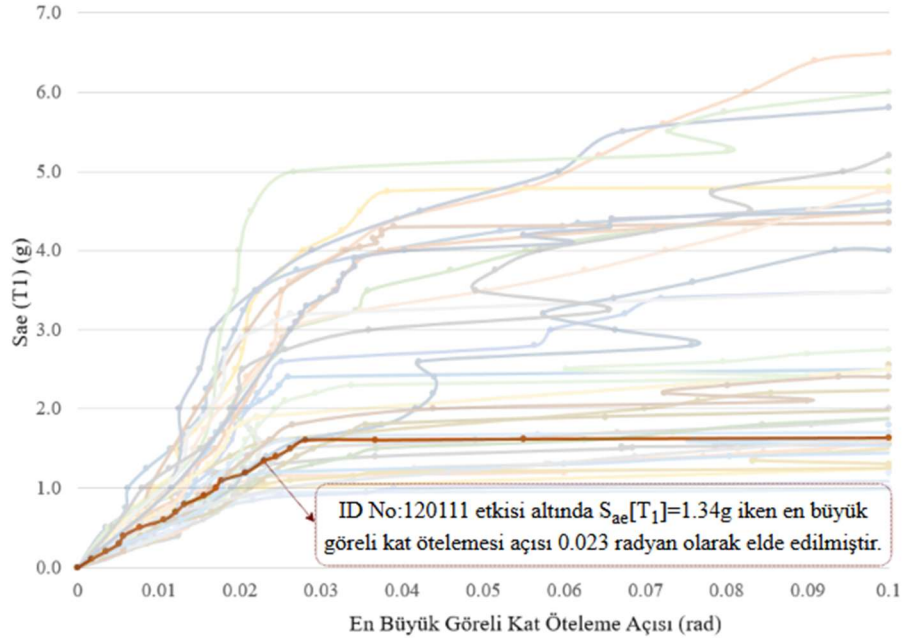


Şekil 5.12: Prototip-1 için arttırılmamış deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen görelî kat öteleme açıları (rad).

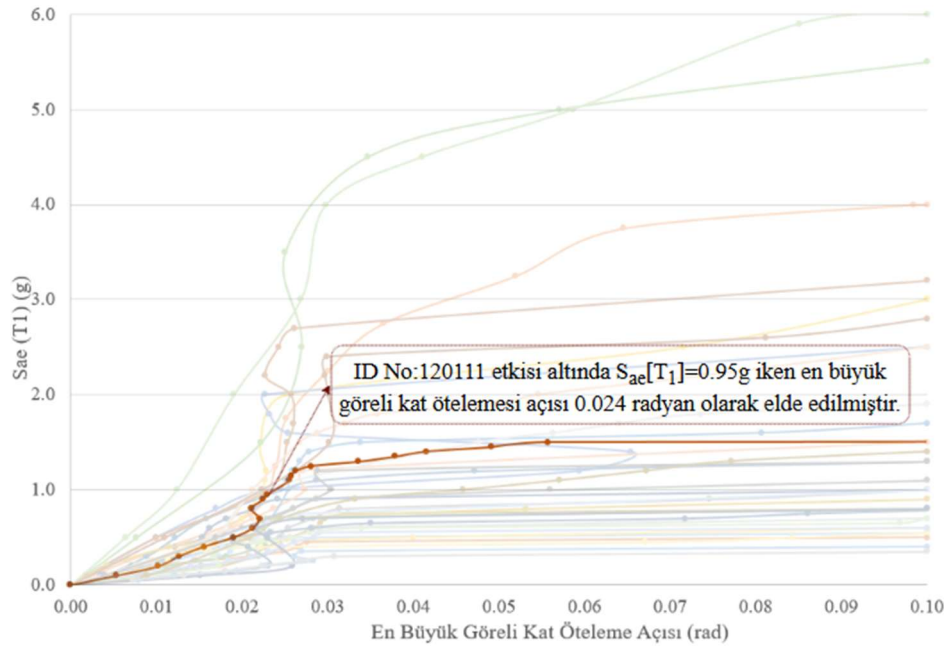


Şekil 5.13: Prototip-2 için arttırılmamış deprem kayıtlarına ait spektral ivme değerine ($S_{ae}[T_1]$) karşılık gelen görelî kat öteleme açıları (rad).

Çerçevelerin ortalama görelî kat öteleme açısı dikkate alınarak seçilen ID No:120111 deprem kaydına ait dinamik itme eğrileri prototip-1 ve prototip-2 için **Şekil 5.14** ve **Şekil 5.15**'te gösterilmiştir. Şekilde belirtilen her bir nokta farklı bir analizi temsil etmektedir.

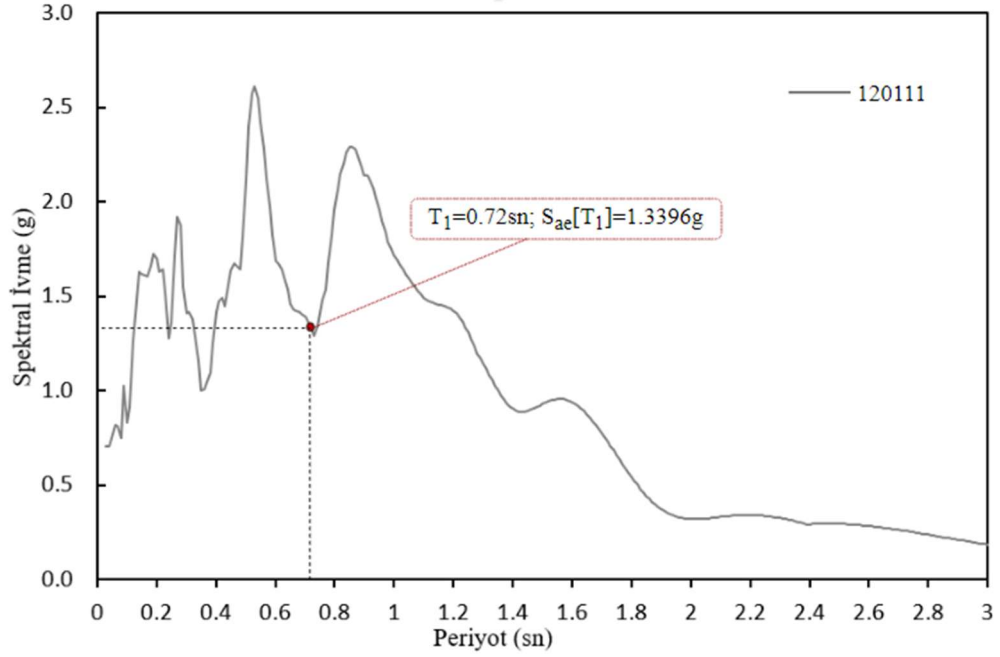


Şekil 5.14: Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında dinamik itme eğrisi.



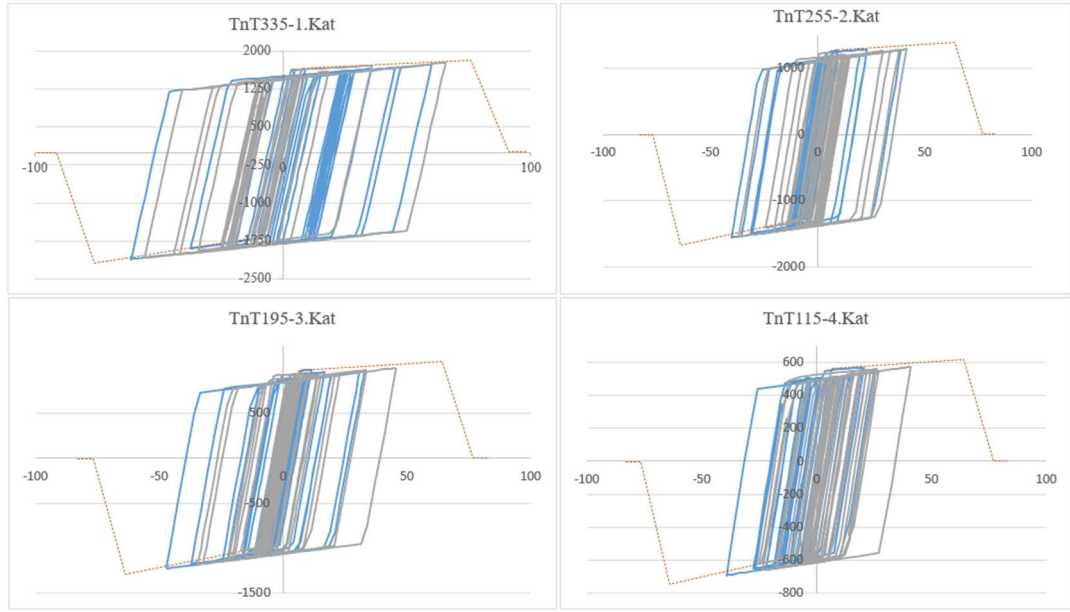
Şekil 5.15: Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında dinamik itme eğrisi.

Şekil 5.16'da prototip-1 için ID No:120111 deprem kaydına ait ölçeklendirilmemiş spektrum bulunmaktadır. Burada yapının birinci doğal titreşim periyodu olan 0.72 saniyede 1.3396g elastik spektral ivme değerinin karşılık geldiği görülmektedir. Bu büyüklük ölçüsü, deprem kaydı ölçeklendirilerek arttırılmıştır ve her bir deprem seviyesine karşılık gelen tepki değeri eşleştirilerek dinamik itme eğrileri oluşturulmuştur.



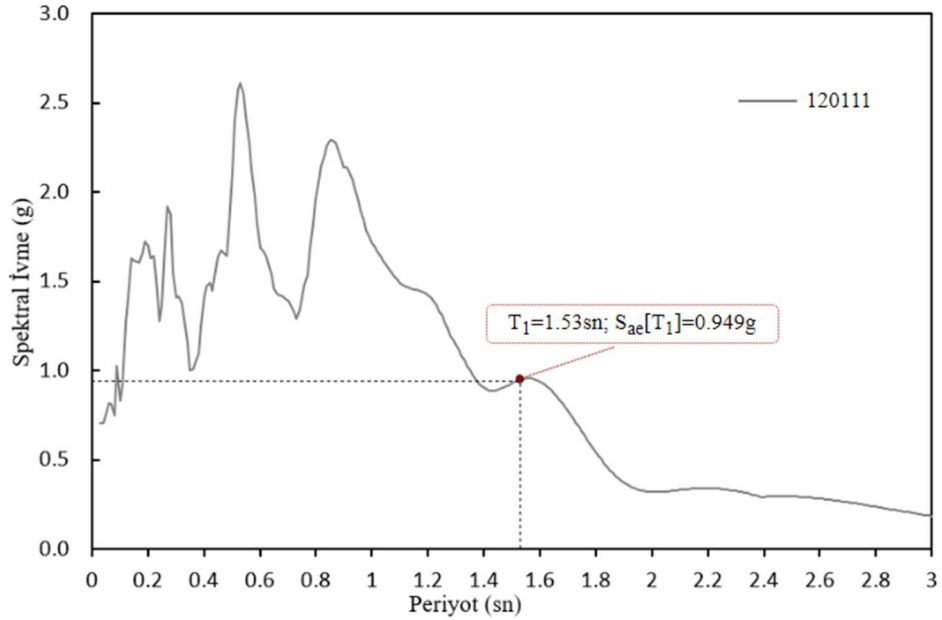
Şekil 5.16: Prototip-1 için ölçeklendirilmemiş ID No:120111 için birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivme değerinin ($S_{ae}[T_1]$) elde edilişi.

Prototip-1 için TnT çaprazların ölçeklendirilmemiş 120111 deprem kaydına ait eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme davranışları **Şekil 5.17'**de gösterildiği gibidir.



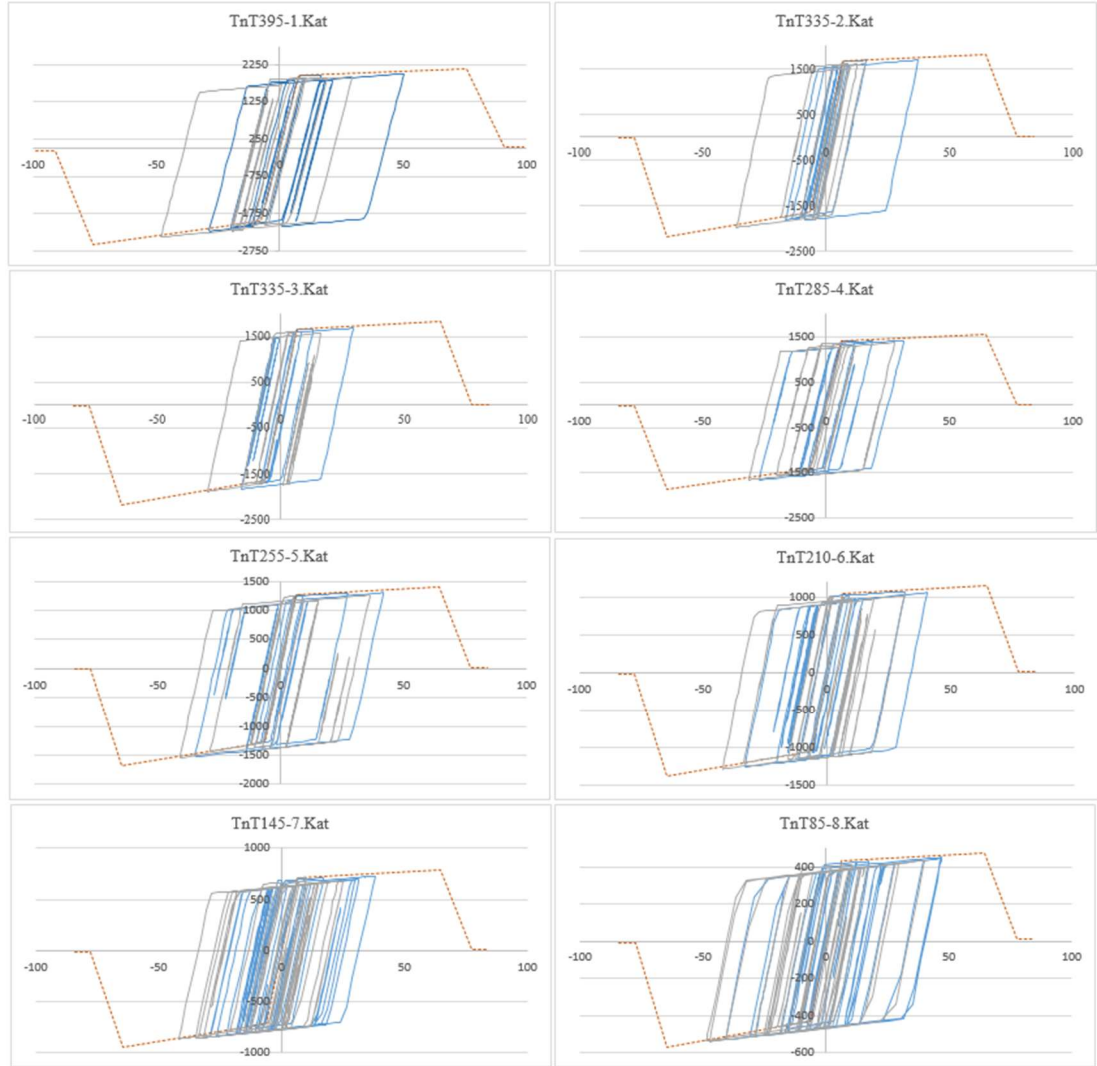
Şekil 5.17: Prototip-1 için ölçeklendirilmemiş ID No:120111 deprem kaydına ait TnT çaprazlar için tanımlanan linkin eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme (yatay) davranışı.

Şekil 5.18’de prototip-2 için ID No 120111 deprem kaydına ait ölçeklendirilmemiş spektrum bulunmaktadır. Burada yapının birinci doğal titreşim periyodu olan 1.53 saniyede 0.949g elastik spektral ivme değerinin karşılık geldiği görülmektedir.



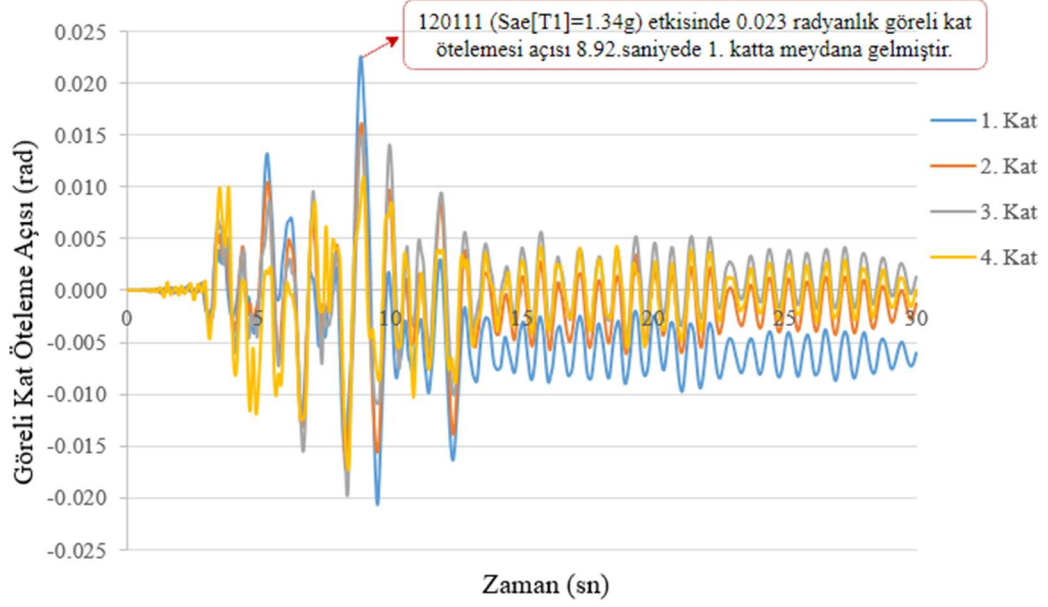
Şekil 5.188: Prototip-2 için ölçeklendirilmemiş ID No:120111 için birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivme değerinin ($S_{ae}[T_1]$) elde edilişi.

Prototip-2 için TnT aprazların ölçeklendirilmemiş 120111 deprem kaydına ait eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme davranışları **şekil 5.19**'da gösterildiği gibidir.



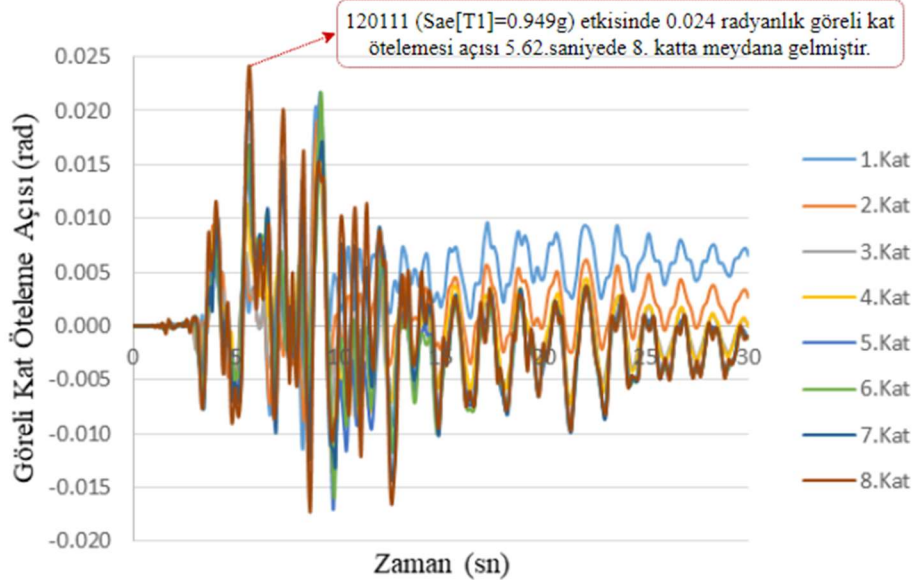
şekil 5.199: Prototip-2 için ölçeklendirilmemiş ID No:120111 deprem kaydına ait TnT çaprazlar için tanımlanan linkin eksenel kuvvet-eksenel yer değiştirme (yatay) davranışı.

şekil 5.20'de Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında katlarda oluşan görel kat ötelemesi açısının zamanla değişimi ($S_{ae}[T_1]=1.34g$) verilmiştir. Bu sonuçlara göre, en büyük görel kat ötelemesi değerinin, deprem kaydının 8.92. saniyede, 1. kat hizasından elde edildiği ve yaklaşık olarak %2.3 radyan olduğu görülmektedir.



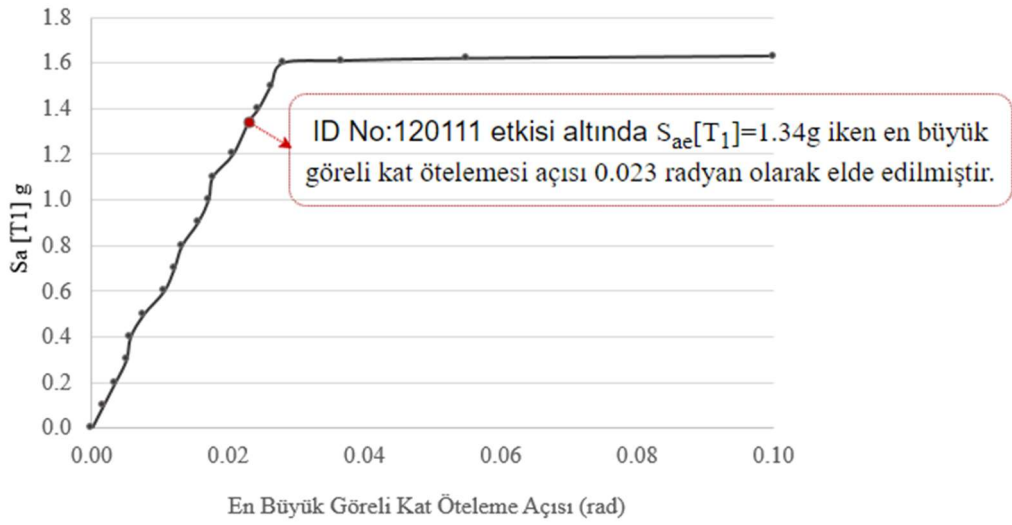
Şekil 5.20: Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında katlarda oluşan görel kat ötelemesi açısının zamanla değişimi.

Şekil 5.21’de Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında katlarda oluşan görel kat ötelemesi açısının zamanla değişimi ($S_{ae}[T_1]=0.95g$) verilmiştir. Bu sonuçlara göre, en büyük görel kat ötelemesi değerinin, deprem kaydının 5.62. saniyede, 8. kat hizasından elde edildiği ve yaklaşık olarak %2.4 rad. olduğu görülmektedir.



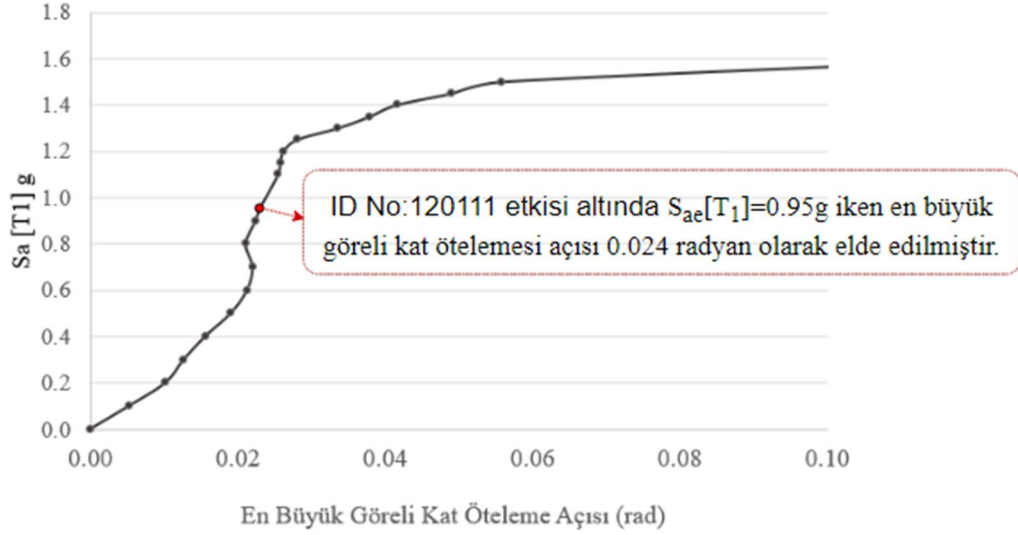
Şekil 5.21: Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında katlarda oluşan görel kat ötelemesi açısının zamanla değişimi.

0.023 radyanlık değer prototip-1 için **Şekil 5.22**'de ID No:120111 etkisi altında oluşturulan dinamik itme eğrisinde kırmızı nokta ile belirtilmiştir. $S_{ae}[T_1]=1.34g$ değerine karşılık gelen ölçeklendirme katsayısı **Tablo 5.2**'de belirtildiği gibi 1.69 değeridir. %10 radyanlık görel kat öteleme açısına ulaşana kadar ölçeklendirme katsayısı artırılarak her bir deprem için yaklaşık yirmi adet analiz yapılmıştır. **Şekil 5.24**'de $S_{ae}[T_1]=1.63g$ (ölçeklendirme katsayısı= 2.03) de istenilen değeri ulaştığı gözükmemektedir.



Şekil 5.22: Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında dinamik itme eğrisi.

0.024 radyanlık değer prototip-2 için **Şekil 5.23**'te ID No:120111 etkisi altında oluşturulan dinamik itme eğrisinde kırmızı nokta ile belirtilmiştir. $S_{ae}[T_1]=0.95g$ değerine karşılık gelen ölçeklendirme katsayısı **Tablo 5.2**'de belirtildiği gibi 1.69 değeridir. %10 radyanlık görel kat öteleme açısına ulaşana kadar ölçeklendirme katsayısı artırılarak her bir deprem için yaklaşık yirmi adet analiz yapılmıştır. Prototip-2 için ID No:120111 olan artırılmamış deprem kaydında 0.1 radyanlık görel kat öteleme açısına ulaşmadan dinamik kararsızlık meydana gelmiştir. Bu durumlarda o deprem büyüklüğü etkisinde göçtüğü kabul edilmiştir.

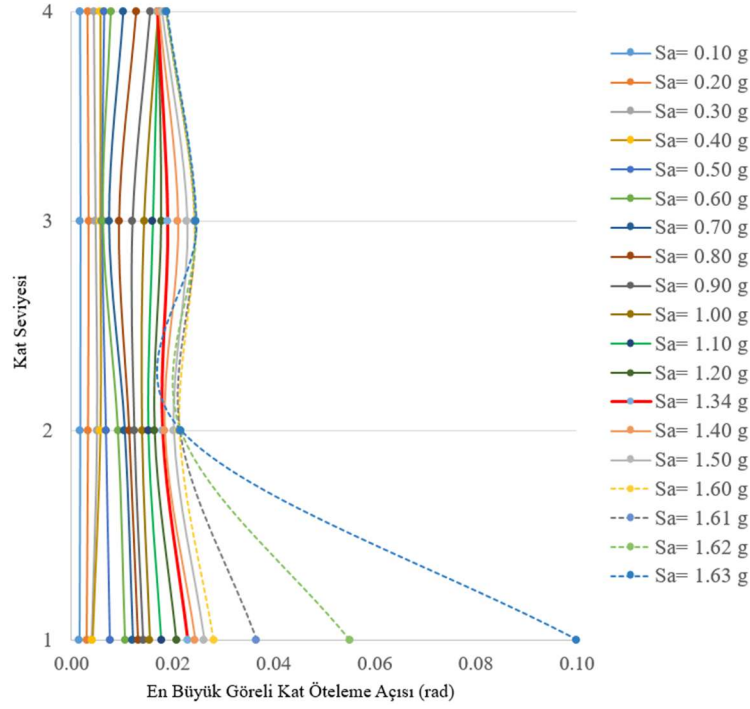


Şekil 5.23: Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında dinamik itme eğrisi.

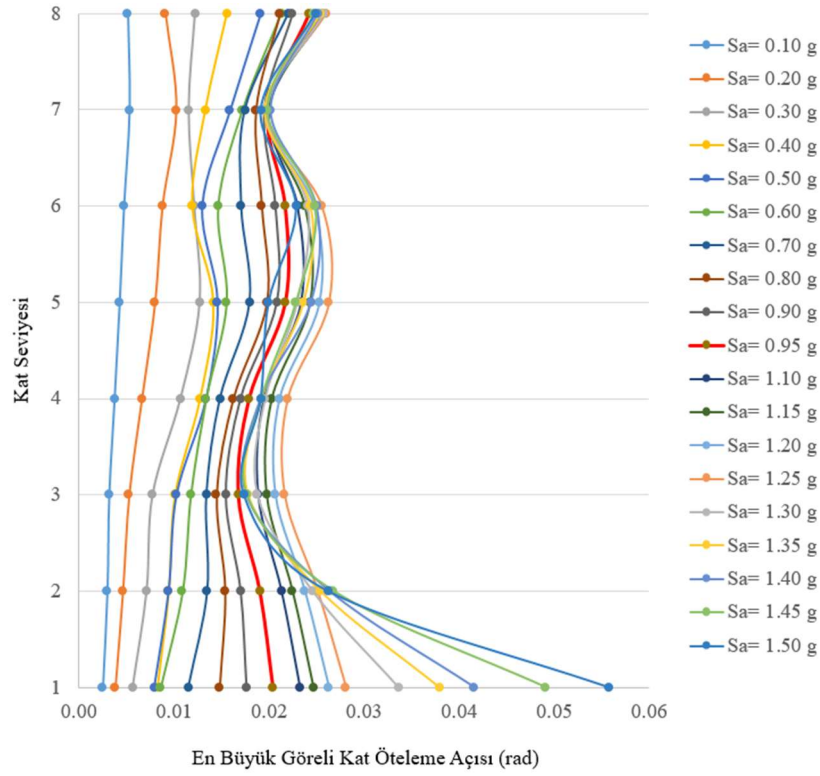
Şekil 5.24 ve **Şekil 5.25** yapının farklı deprem büyüklüklerine maruz kalması durumunda deformasyon şeklinin bina yüksekliği boyunca değişimini temsil etmektedir. Burada prototip-1 için $S_{ae}[T_1]=0.1g$ ile $S_{ae}[T_1]=1.6g$ değerleri arasında yapının görelî kat ötelemesi dağılımının katlar arasındaki farkı $\sim\%0.4$ değerindedir. $S_{ae}[T_1]=1.63g$ durumunda katlar arasında görelî kat ötelemesi farkı $\%7$ 'e kadar çıkmaktadır. Bu değişim yapının farklı deprem büyüklüklerine vermiş olduğu tepkiyi göstermektedir.

Prototip-2 için $S_{ae}[T_1]=0.1g$ ile $S_{ae}[T_1]=1.25g$ değerleri arasında yapının görelî kat ötelemesi dağılımının katlar arasındaki farkı $\sim\%0.7$ değerindedir. $S_{ae}[T_1]=1.5g$ durumunda katlar arasında görelî kat ötelemesi farkı $\%4$ 'e kadar çıkmaktadır. Bu değişim yapının farklı deprem büyüklüklerine vermiş olduğu tepkiyi göstermektedir. $S_{ae}[T_1]=1.5g$ değerinden sonra yapıda dinamik kararsızlık meydana gelmiştir.

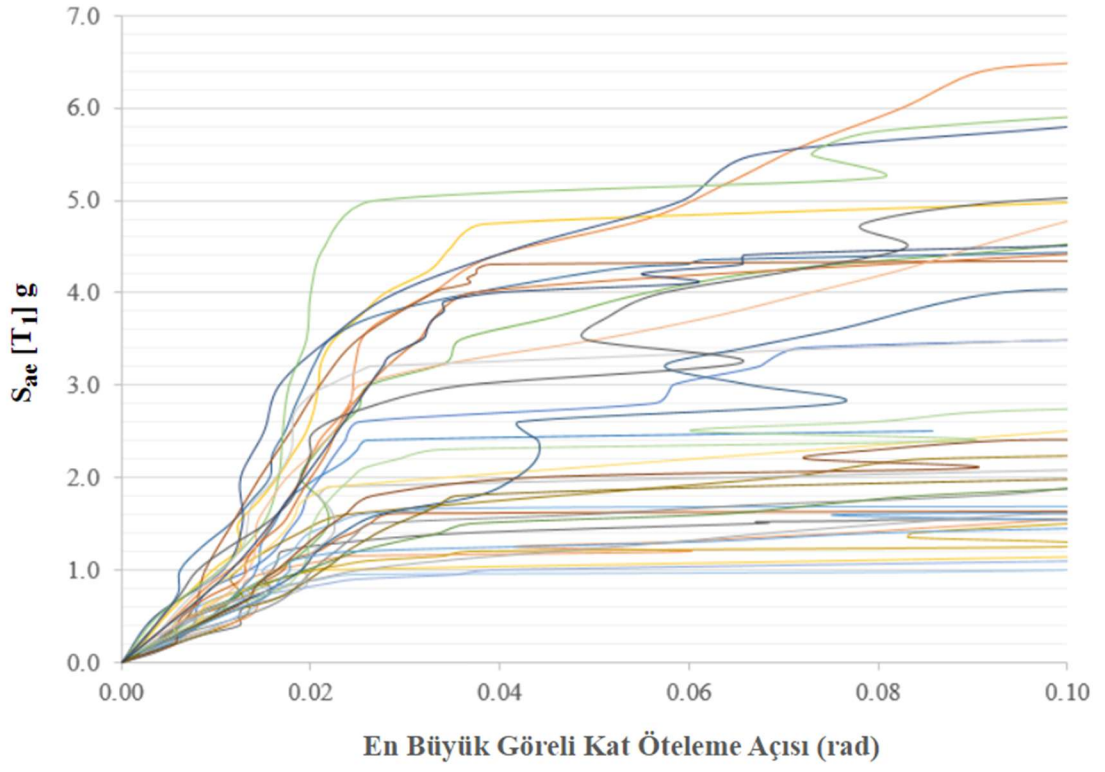
Birinci moda karşılık gelen elastik spektral ivme değeri ile herhangi bir katta oluşan en büyük görelî kat öteleme açısının arasındaki ilişkiyi gösteren dinamik itme analizi eğrileri **Şekil 5.26** ve **Şekil 5.27**'de gösterildiği gibidir.



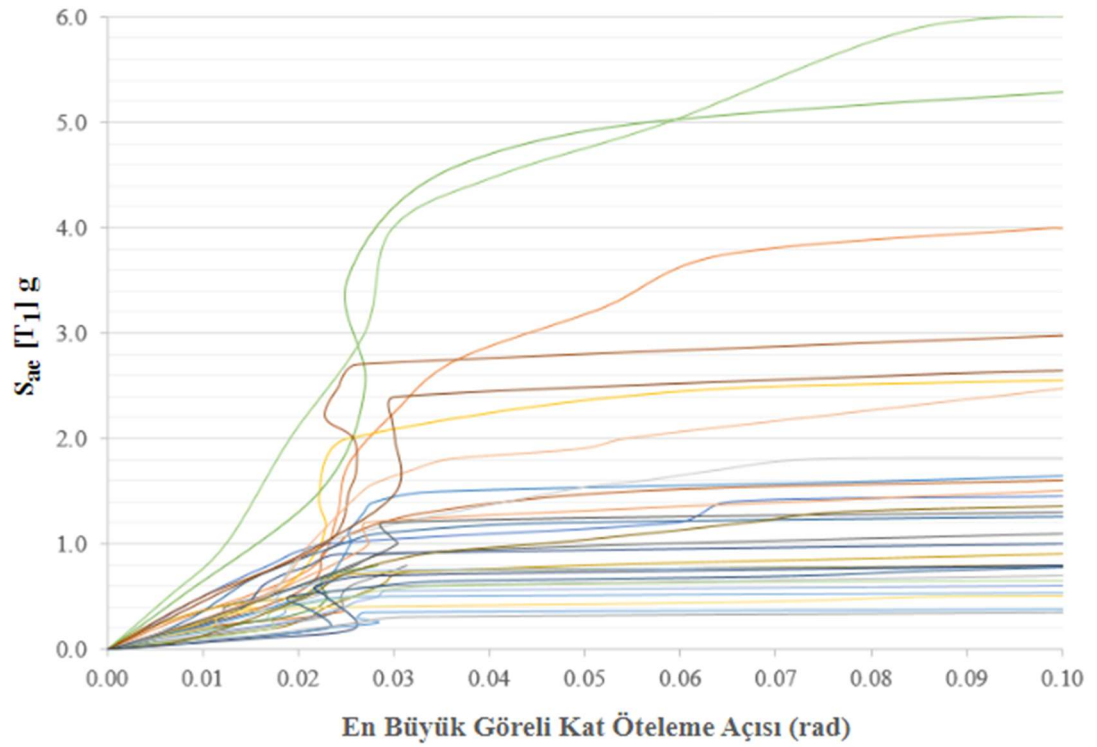
Şekil 5.24: Prototip-1 için ID No:120111 etkisi altında arttırılmış deprem yükleri etkisinde bina yüksekliği boyunca en büyük görel kat ötelemesi açısı dağılımı.



Şekil 5.25: Prototip-2 için ID No:120111 etkisi altında arttırılmış deprem yükleri etkisinde bina yüksekliği boyunca en büyük görel kat ötelemesi açısı dağılımı.



Şekil 5.26: Prototip-1 dinamik itme eğrileri.



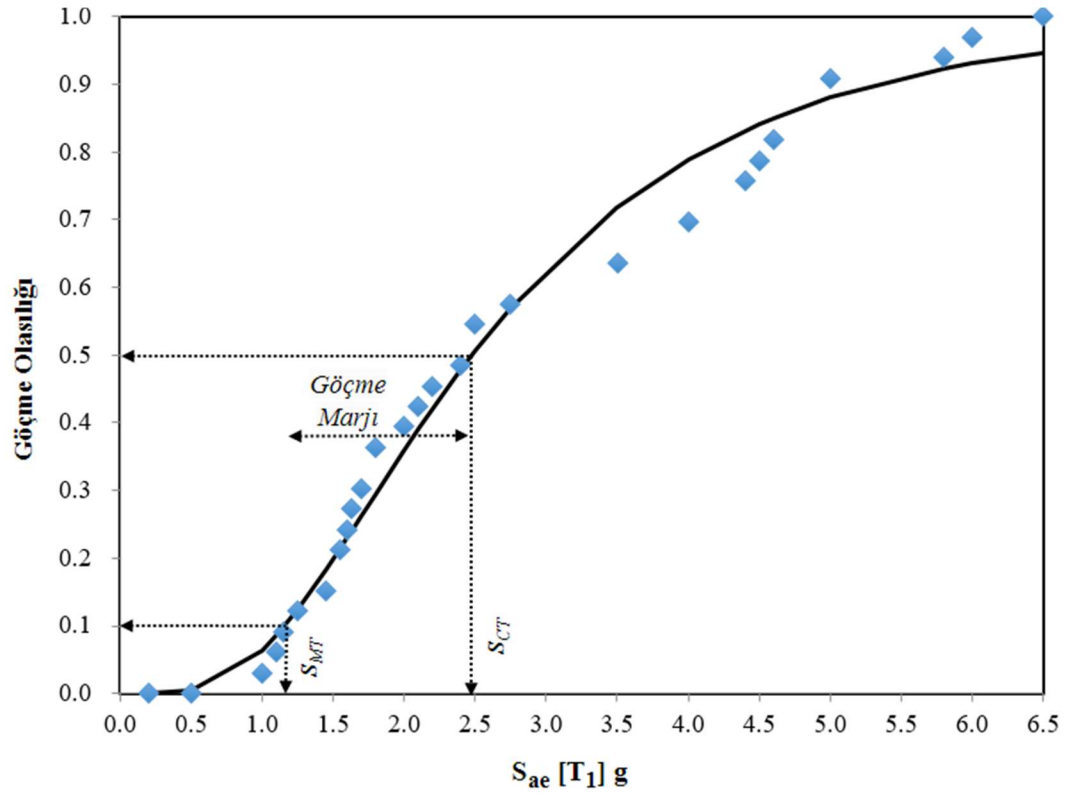
Şekil 5.27: Prototip-2 dinamik itme eğrileri.

5.2.3. Deprem Göçme Performansının Belirlenmesi

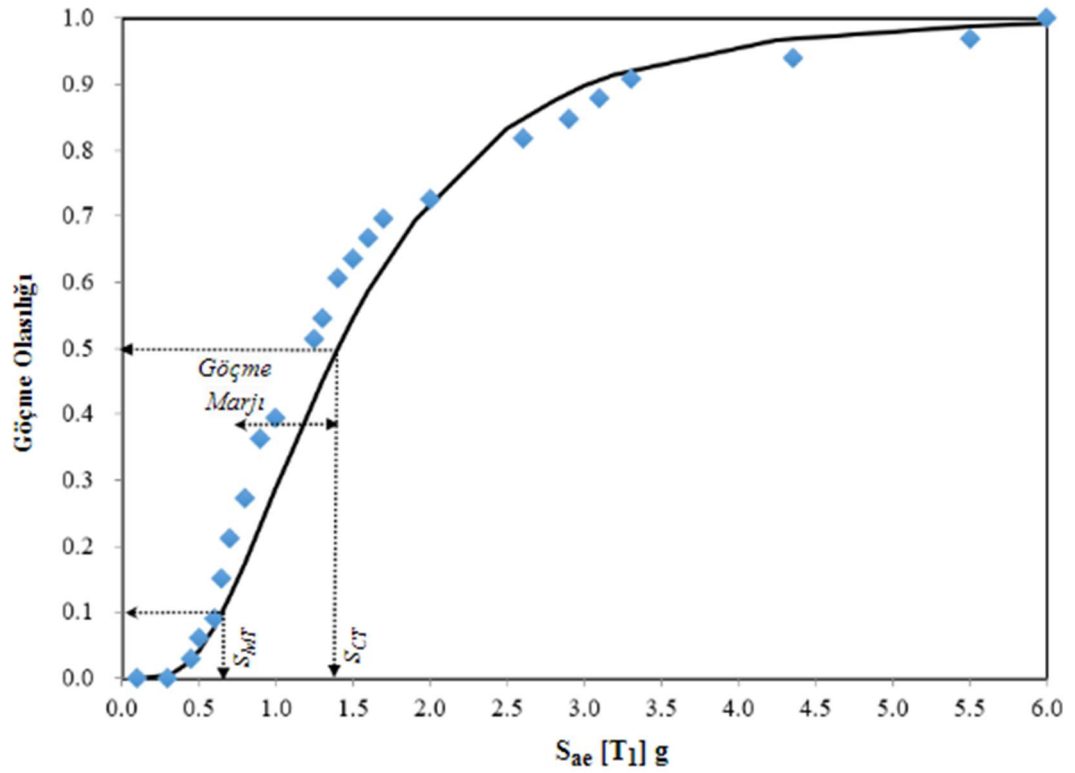
Göçme performansının belirlenmesinde birinci moda karşılık gelen elastik spektral ivme değeri ($S_{ae}[T_1]$) ile herhangi bir katta oluşan en büyük görel kat öteleme açısının arasındaki ilişkiyi gösteren dinamik itme eğrilerinden yararlanılmıştır. Burada birinci moda karşılık gelen elastik spektral ivme değeri büyüklük ölçüsü olarak belirlenmiş olup göçme sınır durumu ile arasındaki ilişkiyi ifade eden kırılma eğrileri oluşturulmuştur. Sınır durum olan göçme, büyüklük ölçüsüne karşılık oluşma olasılığını ifade etmektedir. Kırılma eğrileri Baker' in olasılıksal yaklaşım kullanılarak oluşturulmuştur [22]. Öncelikle her bir $S_{ae}[T_1]$ değerinde kaç deprem etkisinde göçme sınır durumuna ulaştığı belirlenmiştir. Kırılma eğrisi tanımlamakta kullanılan lognormal kümülatif dağılım fonksiyonu Denklem (5.3)'te verilmiştir. Burada; IM büyüklük ölçüsü ($S_{ae}[T_1]$), ϕ normal kümülatif dağılım fonksiyonu, θ ve β sabitlerdir.

$$P(C \setminus IM = x) = \phi\left(\frac{\ln(x/\theta)}{\beta}\right) \quad (5.3)$$

Prototip-1 ve prototip-2 için oluşturulan kırılma eğrileri **Şekil 5.28** ve **Şekil 5.29**'da gösterildiği gibidir. Kırılma eğrisi oluşturulurken öncelikle her bir $S_{ae}[T_1]$ değerinde kaç adet depremin göçme sınır durumuna ulaştığı tespit edilmiştir. Prototip-1'de yaklaşık 6.5g değerinde tüm deprem kayıtları göçme değerine ulaşmıştır, bu göçme olasılığının 6.5g de 1.0 olduğunu göstermektedir. Bu durum prototip-2 için 6.0g değerindedir. Her bir değere karşılık gelen analiz sayısı toplam analiz sayısına bölünerek **Şekil 5.28** ve **Şekil 5.29**'da belirtilen mavi noktalar belirlenmiştir. Bu noktalara göre Denklem (5.3)'ten elde edilen logaritmik olasılık değerlerinin toplamını mutlak değerce en büyük yapacak θ ve β değerleri yardımıyla kırılma eğrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kırılma eğrileri FEMA P-695 metodolojisine uygun şekilde ele alınarak belirtilen göçme marj oranı kullanılarak “yapı güvenliği” tanımlanacaktır.



Şekil 5.28: Prototip-1' e ait kırılma eğrisi [22].



Şekil 5.29: Prototip-2' e ait kırılma eğrisi [22].

Göçme marjı Denklem (5.4)'te verilen CMR değeridir. Medyan göçme olasılığına karşılık gelen spektral ivme değeri (S_{CT}) ile izin verilen göçme olasılığına karşılık gelen spektral ivme (S_{MT}) değerleri ATC 63 (2009)'ün önerdiği şekilde %50 ve %10'luk göçme olasılığı karşılık gelen $S_{ae} [T_1]$ değeridir. Bu değerler prototip-1 için sırasıyla 2.45 ve 1.20, prototip-2 için 1.39 ve 0.67 olarak bulunmuştur. Bu katsayılar kullanılarak CMR değeri hesaplanmıştır.

$$CMR = \frac{S_{CT}}{S_{MT}} \quad (5.4)$$

P-695'e göre göçme kapasitesinin belirlenmesinde frekans içeriği katsayısı yer almaktadır. Frekans içeriği katsayısı (SSF); yapının hakim periyodu, T_1 sünekliği (μ_{T1}) ve sismik tasarım kategorisinin fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. T_1 sünekliği eşitlik (1.4)'te belirtilen doğrusal olmayan statik itme analizinde maksimum taban kesme kuvvetinin %80 ine karşılık gelen deplasmanların birbirine oranıdır [18].

Frekans içeriği katsayısı deprem kayıtlarının göçme kapasitesini etkileyebilmektedir [14]. Bu sebeple, ATC 63 Tablo 7-1'den çekilen SSF değerleri kullanılarak Denklem (5.5)'ten elde edilen düzeltilmiş göçme marjı değeri (ACMR) hesaplanmıştır.

$$ACMR = SSF \times CMR \quad (5.5)$$

Tablo 5.3: Göçme marjı oranı değerleri.

<i>Prototip</i>	S_{CT}	S_{MT}	CMR	μ_T	SSF	$ACMR$
1	2.45	1.20	2.04	5.63	1.27	2.59
2	1.39	0.67	2.07	4.67	1.32	2.74

Tablo 5.3'te belirtildiği gibi ACMR değerleri Prototip-1 için 2.59, prototip-2 için 2.74 olarak belirlenmiştir. Göçme performansının yeterli olabilmesi için yapıların kabul edilebilir ACMR değerinin bu değerlerden fazla olması gerekmektedir. Kabul edilebilir ACMR değerinin bulunabilmesi için P-695 belirtilen belirsizliklerin göz önüne alınması gerekmektedir. Bahsedilen bu belirsizlikler dört temel başlık altında toplanmıştır. İvme kayıtlarından kaynaklanan (β_{RTR}), tasarımdan kaynaklanan (β_{DR}), test sonuçlarından kaynaklanan (β_{TD}) ve modellemekten kaynaklanan (β_{MDL}) belirsizliklerdir. Tüm belirsizlikler birleştirilerek toplam belirsizlik katsayısı olan β_{TOT} elde edilmiştir. β_{TOT} değeri Denklem (5.6)'da belirtildiği gibi hesaplanmaktadır [18].

Bütün belirsizlikleri kapsayacak şekilde β_{TOT} değeri **Tablo 5.4, Tablo 5.5, Tablo 5.6** ve **Tablo 5.7**'ye göre sayısal modelin belirlenen kalitesi ve periyot bazlı sünekliğin (μ_T) 3'ten büyük olması durumunda farklı test sonucu ve tasarım gerekliliklerinin kalitesine bağlı oluşturulmuştur. Prototip-1 ve prototip-2 için belirlenen periyot bazlı süneklik **Tablo 5.3**'te belirttiği gibi 3'ten büyüktür.

$$\beta_{TOT} = \sqrt{\beta_{RTR}^2 + \beta_{DR}^2 + \beta_{TD}^2 + \beta_{MDL}^2} \quad (5.6)$$

Tablo 5.4, Tablo 5.5, Tablo 5.7 ve **Tablo 5.7**'ye göre seçilen β_{TOT} değerlerine göre P-695 Tablo 7.3'ten yapıların kabul edilebilir düzeltilmiş göçme marjı ($ACMR\%10$) değeri belirlenmiştir. Analiz sonucu elde edilen düzeltilmiş göçme marjı ($ACMR$) değerleri ile kabul edilebilir düzeltilmiş göçme marjı ($ACMR\%10$) değeri karşılaştırılması **Tablo 5.8**'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4, Tablo 5.5, Tablo 5.6 ve **Tablo 5.7**'de koyu renkle belirtilen değerler prototip-1 için, koyu ve kırmızı renkle belirtilen değerler ise prototip-2 için olması durumunda göçme performans değerini sağlamamaktadır. Bu durumlar incelendiğinde genel olarak model kalitesinin, test sonuçlarının ve tasarım gerekliliklerinin kalitesinin orta (C) veya zayıf (D) olması durumunda olduğu gözükmemektedir. Örneğin model kalitesinin zayıf (D), tasarım gerekliliklerinin ve test sonuçlarının da orta (C) olması durumunda her iki çerçeve de güvenli tarafta kalamamaktadır.

Ancak tasarım gerekliliklerinin kalitesi ilgili yönetmelikler baz alındığı için “yüksek” yada “iyi” olmalıdır. Test sonuçlarının kalitesi ise birçok farklı araştırmacının test sonuçlarına dayandığı için “iyi” kabul edilebilir. Bu durumda model kalitesi gözetmeksizin her koşulda prototip-1 ve prototip-2 için göçme performansı değeri sağlanmaktadır.

Tablo 5.4: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}) (Model kalitesi: A ve $\mu_T > 3$ için) [18].

Test Sonuçlarının Kalitesi	Tasarım Gerekliliklerinin Kalitesi			
	(A) Yüksek	(B) İyi	(C) Orta	(D) Zayıf
(A) Yüksek	0.425	0.475	0.550	0.650
(B) İyi	0.475	0.500	0.575	0.675
(C) Orta	0.550	0.575	0.650	0.725
(D) Zayıf	0.650	0.675	0.725	0.825

Tablo 5.5: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}) (Model kalitesi: B ve $\mu_T > 3$ için) [18].

Test Sonuçlarının Kalitesi	Tasarım Gerekliliklerinin Kalitesi			
	(A) Yüksek	(B) İyi	(C) Orta	(D) Zayıf
(A) Yüksek	0.475	0.500	0.575	0.675
(B) İyi	0.500	0.525	0.600	0.700
(C) Orta	0.575	0.600	0.675	0.750
(D) Zayıf	0.675	0.700	0.750	0.825

Tablo 5.6: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}) (Model kalitesi: C ve $\mu_T > 3$ için) [18].

Test Sonuçlarının Kalitesi	Tasarım Gerekliliklerinin Kalitesi			
	(A) Yüksek	(B) İyi	(C) Orta	(D) Zayıf
(A) Yüksek	0.550	0.575	0.650	0.725
(B) İyi	0.575	0.600	0.675	0.750
(C) Orta	0.650	0.675	0.725	0.800
(D) Zayıf	0.725	0.750	0.800	0.875

Tablo 5.7: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}) (Model kalitesi: D ve $\mu_T > 3$ için) [18].

Test Sonuçlarının Kalitesi	Tasarım Gerekliliklerinin Kalitesi			
	(A) Yüksek	(B) İyi	(C) Orta	(D) Zayıf
(A) Yüksek	0.650	0.675	0.725	0.825
(B) İyi	0.675	0.700	0.750	0.825
(C) Orta	0.725	0.750	0.800	0.875
(D) Zayıf	0.825	0.825	0.875	0.950

Tablo 5.8: Toplam belirsizlik katsayısı (β_{TOT}), göçme olasılığı ve göçme marjı değerleri.

Toplam Sistem Belirsizlik Katsayısı	Göçme Olasılığı	Analiz Sonucu Elde Edilen Düzeltilmiş Göçme Marjı (ACMR) Değerleri	
	10%	Prototip-1	Prototip-2
0.500	1.90	2.59	2.74
0.525	1.96		
0.550	2.02		
0.575	2.09		
0.600	2.16		
0.625	2.23		
0.650	2.30		
0.675	2.38		
0.700	2.45		
0.725	2.53		
0.750	2.61		
0.775	2.70		
0.800	2.79		
0.825	2.88		
0.850	2.97		
0.875	3.07		
0.900	3.17		
0.925	3.27		
0.950	3.38		

Seçilen β_{TOT} değerine göre (Model Kalitesi: B, Tasarım Gerekliklerinin Kalitesi: B, Test Sonuçlarının Kalitesi: B), göçme olasılığı ve her iki sistem için düzeltilmiş göçme marjı değerleri karşılaştırılmalı olarak **Tablo 5.9**'da sunulmuştur.

Tablo 5.9: Göçme performansının değerlendirilmesi.

Toplam Sistem Belirsizlik Katsayısı	Göçme Olasılığı	Analiz Sonucu Elde Edilen Düzeltilmiş Göçme Marjı (ACMR) Değerleri	
	10%	Prototip-1	Prototip-2
0.525	1.96	2.59	2.74

Tablo 5.9'a göre her iki çerçevede beklenen performans düzeyini sağlamaktadır.

6. SONUÇLAR

TnT çaprazlara sahip çerçeve modellerinin deprem performansını değerlendirmek amacıyla P-695 metodolojisi takip edilerek yapılan değerlendirme kapsamında, 4 ve 8 katlı modeller karşılaştırılmıştır. Bu çerçevelere ait sayısal modeller, statik itme analizine ve 33 deprem ivme kaydı kullanılarak dinamik itme analizlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen nicel sonuçlar karşılaştırıldığında, aşağıda sıralanan çıkarımları yapmak mümkündür:

- Seçilen 33 deprem yer hareketi altında çerçevelerin görelî kat öteleme açısı (GKÖ) değerlendirildiğinde, her iki çerçevenin ortalama GKÖ değerinin neredeyse aynı olduğu gözlemlenmiştir (0.23g ve 0.24g),
- Her iki çerçevenin düzeltilmiş göçme marjları karşılaştırıldığında, değerler birbirine yakın olsa da prototip-2 için daha yüksektir (2.59 ve 2.74),
- $R=8$ 'e göre tasarlanan arketiplerin göçme performansının olasılıksal olarak değerlendirilmesi sonucu, düzeltilmiş göçme marjlarının, her iki yapı içinde güvenli tarafta kaldığı gözlemlenmiştir,
- P-695 metodolojisinde modelleme, test sonuçları vb. yönlerden belirsizliklerin göz önüne alınması ve performansın olasılıksal olarak değerlendirilmesine rağmen; bu belirsizlik katsayılarının belirlenmesi sırasındaki nesnel yaklaşımın, bu yöntemden elde edilecek sonuçları değiştirebileceği görülmüştür,
- Bu çalışma, P-695 metodolojisine göre TnT çaprazlı çerçevelerin deprem performansı hakkında verdiği bilgi bakımından gelecekteki olası çalışmalara zemin hazırlasa da, daha kapsamlı çıkarımlar elde edebilmek için, çok değişkenli bir inceleme yapılması gerekmektedir. Bu inceleme, bina yüksekliği, süneklik düzeyi, kullanılan malzeme ve yatay taşıyıcı sistem türü gibi faktörleri sistematik bir şekilde değerlendirmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Akbaş B., Eğilmez O., (2018), “Çelik Yapı Tasarımı”, İkinci Basımdan Çeviri, Nobel.
- [2] Clark, P., Aiken, I., Kasai, K., Ko, E., & Kimura, I. (1999, October). Design procedures for buildings incorporating hysteretic damping devices. In Proceedings, 68th Annual Convention, Structural Engineers Association of California, Santa Barbara.
- [3] Seker, O., & Shen, J. (2017). Developing an all-steel buckling controlled brace. *Journal of Constructional Steel Research*, 131, 94-109.
- [4] Kimura, K., Yoshioka, K., Takeda, T., Fukuya, Z., & Takemoto, K. (1976, October). Tests on braces encased by mortar in-filled steel tubes. In Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan (Vol. 1041, pp. 1-42).
- [5] Watanabe, A., Hitomi, Y., Saeki, E., Wada, A., & Fujimoto, M. (1988, August). Properties of brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube. In Proceedings of ninth world conference on earthquake engineering (Vol. 4, pp. 719-724).
- [6] Eryaşar, M. E., & Topkaya, C. (2010). An experimental study on steel-encased buckling-restrained brace hysteretic dampers. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 39(5), 561-581.
- [7] Zhao, J., Wu, B., & Ou, J. (2011). A novel type of angle steel buckling-restrained brace: Cyclic behavior and failure mechanism. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 40(10), 1083-1102.
- [8] Zhao, J., Wu, B., Li, W., & Ou, J. (2014). Local buckling behavior of steel angle core members in buckling-restrained braces: Cyclic tests, theoretical analysis, and design recommendations. *Engineering Structures*, 66, 129-145.
- [9] Zhao, J., Wu, B., & Ou, J. (2012). Effect of brace end rotation on the global buckling behavior of pin-connected buckling-restrained braces with end collars. *Engineering Structures*, 40, 240-253.
- [10] Shen, J., Seker, O., Sutchiewcharn, N., & Akbas, B. (2016). Cyclic behavior of buckling-controlled braces. *Journal of Constructional Steel Research*, 121, 110-125.
- [11] Sabelli, R., Mahin, S., & Chang, C. (2003). Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling-restrained braces. *Engineering Structures*, 25(5), 655-666.
- [12] Speicher, M. S., & Harris III, J. L. (2018). Collapse prevention seismic performance assessment of new buckling-restrained braced frames using ASCE 41. *Engineering structures*, 164, 274-289.

- [13] American Institute of Steel Construction (AISC). (2016). Seismic provisions for structural steel buildings (AISC 341-16). Chicago, IL: AISC.
- [14] American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI). (2022). Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-22). ASCE.
- [15] Özkılıç, Y. O., Bozkurt, M. B., & Topkaya, C. (2018). Evaluation of seismic response factors for BRBFs using FEMA P695 methodology. *Journal of Constructional Steel Research*, 151, 41-57.
- [16] Navvar, K. M., & Pandikkadavath, M. S. (2023). Seismic response modification factors evaluation of a 4-storey buckling-restrained braced frame (BRBF). *Materials Today: Proceedings*.
- [17] Güner, T., & Topkaya, C. (2020). Performance comparison of BRBFs designed using different response modification factors. *Engineering Structures*, 225, 111281.
- [18] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2009). ATC-63: Qualification of building seismic performance factors (FEMA P-695).
- [19] American Institute of Steel Construction (AISC). (2016). Specification for structural steel buildings. Chicago, IL: AISC.
- [20] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (2018, April 20). PEER Ground motion database. Retrieved from <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- [21] Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2002). Incremental dynamic analysis. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(3), 491-514.
- [22] Baker, J. W. (2015). Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis. *Earthquake Spectra*, 31(1), 579-599.
- [23] LeMessurier, W. J. (1977). A Practical Method of Second Order Analysis Part 2; Rigid Frames. *Engineering Journal*, 14(2), 49-67.

ÖZGEÇMİŞ

Meltem AKÇE SÜNNÜ, 2011 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başlamıştır. 2015 yılında lisans eğitimini tamamlayarak proje mühendisi olarak görev almıştır. 2023 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başlamış olup, mesleki kariyerini proje mühendisi olarak sürdürmektedir.

TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Sünnü M., Şeker O., (2024) “Tüp İçinde Tüp Burkulması Kontrol Edilmiş Çelik Çaprazlı Çerçevelerin Deprem Davranışının Araştırılması”, 8. GTÜ Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 31 Mayıs.