

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL DEPO RAF SİSTEMLERİNİN YAPISAL
GÜVENLİĞİNİN DİNAMİK ETKİLER ALTINDA İNCELENMESİ**

ALPER DENİZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL DEPO RAF
SİSTEMLERİNİN YAPISAL GÜVENLİĞİNİN
DİNAMİK ETKİLER ALTINDA İNCELENMESİ

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

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÜLGEN MERT TUĞSAL

GEBZE
2022

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

STRUCTURAL SAFETY
INVESTIGATION OF INDUSTRIAL STEEL
STORAGE RACK SYSTEMS UNDER
DYNAMIC EFFECTS

ALPER DENİZ

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING
PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. ULGEN MERT TUGSAL

GEBZE

2022

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20/01/2022 tarih ve 2022/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 31/01/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Alper DENİZ'in tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Ülgen MERT TUĞSAL

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR

ÜYE : Prof. Dr. Güven KIYMAZ

ONAY

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

ÖZET

Son yıllarda ülkemizdeki büyük halka açık depo mağazaları ve büyük firmaların depolama yapılarının sayısı artmıştır. Bu alanlarda kullanılan depo raf sistemleri endüstriyel ürünlerin ‘üretim-dağıtım-satış-tüketim’ döngüsü içinde güvenli bir şekilde depolanması/saklanması adına önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında iki farklı yüksekliğe ve kiriş-kolon bağlantı detayına sahip depo raf sistemlerinin deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Kiriş-kolon birleşim detayları bu yapıların sismik davranışında önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle özellikle koridor doğrultusundaki kiriş-kolon birleşimlerinin deprem davranışına katkısının değerlendirilmesi amacıyla oluşturulan yapısal modellerde iki farklı tip birleşim göz önüne alınmıştır. Oluşturulan 3-ve 5- katlı modeller için doğrusal olmayan statik ve dinamik yöntemler çerçevesinde yapısal analizler gerçekleştirilmiş ve deprem etkisi altındaki davranışları irdelenmiştir. Gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizlerde kolon-kiriş birleşimlerinin tersinir çevrimsel moment-dönme ilişkileri için literatürde yer alan deneysel çalışmalardan faydalanılmıştır.

Yapı yüksekliği ve birleşim noktası detayı unsurlarının sistemin deprem davranışını önemli ölçüde etkilediğinin belirlendiği bu çalışmada yapısal hasarın sınır durumlarını belirlemek için mühendislik talep parametreleri seçilmiştir. Doğrusal olmayan statik analiz sonuçlarına bağlı olarak elde edilen yapısal kapasiteler doğrusal olmayan artımsal dinamik analiz sonuçları ile değerlendirilerek ilgili talep parametreleri için olası hasar sınırları belirlenmeye çalışılmış ve bu çerçevede kırılma eğrileri oluşturulmuştur. Çalışmada elde edilen bulguların endüstriyel döngüde ürünlerin güvenli bir şekilde depolanması noktasında fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Depo Raf Sistemleri, Doğrusal Olmayan Statik ve Dinamik analiz, Kuvvetli Yer Hareketi, Deprem Davranışı.

SUMMARY

Recently, the number of large public warehouse stores and storage structures of large companies in our country has increased. The rack systems used in these areas are important for the safe storage of industrial products in the "production-distribution-sale-consumption" cycle.

In this study, earthquake behavior of storage rack systems with different heights and different cases of beam-to-column connections are examined while joint details play an important role in the seismic behavior of these systems. Therefore, two different connection types have been considered in the structural models to evaluate the contribution of these connections in the earthquake behavior of the models for the down-aisle direction. For the 3- and 5- storey models, static and dynamic structural analyses are carried out utilizing SAP2000 program and the earthquake behaviors' are determined within the framework of nonlinear analysis methods. During nonlinear analyses, the experimental studies in the literature are taken into consideration for the cyclic moment-rotation relationships of beam-to-column connections.

In which it was determined that the building height and beam-to-column connection detail significantly affect the seismic behavior of the system, engineering demand parameters were chosen to determine the limit states of structural damage. These limits were investigated by evaluating the structural capacities according to nonlinear static analysis and drift values that are obtained from incremental dynamic analysis. The fragility analysis was conducted depending on these limit failure conditions. It is believed that the findings obtained in this study will be beneficial at the point of safe storage of products in the industrial cycle.

Key Words: Industrial Storage Rack Systems, Nonlinear Static and Dynamic Analyses, Strong Ground Motion, Earthquake Behavior.

TEŞEKKÜR

BaŐta, y¼ksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hişbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu alıŐmanın oluşmasının yolunu aan danıŐmanım Dr.Őđr.¼yesi ¼lgen MERT TUĞSAL'a,

Tez danıŐmanımın yanı sıra bana verdikleri destekten ¼t¼r¼ tez komitesinin değerli ¼yeleri Prof. Dr. G¼ven KIYMAZ ve Dr. ¼đr. ¼yesi Ahmet Anıl DİNDAR'a,

Sevgili ailem ve kız arkadaŐım Cansu ¼ZER'e ve g¼stermiŐ olduğu desteklerden dolayı Metal Yapı Holding'e en içten teŐekk¼rlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. ÇELİK DEPO RAF SİSTEMLERİNİN TASARIMINA GENEL BAKIŞ	4
2.1. Çelik Depo Raf Sistemleri	4
2.2. Çelik Depo Raf Sistemlerinin Tasarımı	10
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME KAPSAMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER	19
3.1. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme	19
3.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	21
3.2.1. Doğrusal Olmayan Statik İtme Yöntemleri	22
3.2.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap	23
3.3. Artımsal Dinamik Analiz (Incremental Dynamic Analysis-IDA)	24
3.4. Kırılma Analizi	24
3.5. Depo Raf Sistemleri Özelinde Gerçekleştirilen Yapısal Performans Değerlendirme Çalışmaları	26
3.6. Tezin Katkısı	33
4. SAYISAL MODELLEME	34
4.1. Model Tanımlamaları	35
4.1.1. Malzeme Mekanik Özellikleri	36

4.1.2. Yapısal Modellerde Kullanılan Profil Özellikleri	37
4.1.3. Kolon-Kiriş Bağlantı Elemanlarının Moment-Dönme İlişkileri	39
5. DEPREM ETKİSİ ALTINDA ELDE EDİLEN BULGULAR	44
5.1. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi	46
5.2. Doğrusal Olmayan Artımsal Dinamik Analiz	48
5.2.1. IDA Göreli Kat Ötelenmesi Sonuçları	52
5.2.2. IDA Taban Kesme Kuvvetleri Sonuçları	57
5.3. Kırılma Analiz Sonuçları	59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	67
EKLER	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Acıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
Ψ_E	: İndirgeme Faktörü
Ψ_M	: Rijit kütle faktörü
WB.120.40.NP	: Kancalı kiriş-kolon bağlantısı
WB.120.40.4P	: 4 Civatalı kiriş-kolon bağlantısı
Γ_1	: Mod şekli'ne göre hesaplanan modal katkı çarpanı
Φ	: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin genliği
$d_I(p)$: Modal yerdeğiştirme istemi
$u_{xN1}(p)$: Tepe yerdeğiştirmesi istemi
V_{max}	: Maksimum yer hızı
A_{max}	: Maksimum yer ivmesi
MPa	: Megapascal
kN	: Kilo Newton
F_u	: Kopma dayanımı
F_y	: Çekme dayanımı
E	: Elastisite modülü
Δ	: Yerdeğiştirme
ε	: Birim Uzama
θ	: Katlar arası dönme oranı
q	: Süneklik düzeyi
W_i	: i.seviyedeki raftaki maksimum tasarım düşey yük
G_i	: i.seviyedeki rafın ölü ağırlığı
Q_i	: i.seviyedeki raftaki maksimum tasarım stoku yükü
T	: Sistemin doğal periyodu
T_B ve T_C	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_D	: Spektrum sabit yerdeğiştirme aralığının başlangıcını tanımlayan periyot değeri
S	: Zemin parametresi
n	: Sönüm düzeltme faktörü

β	:	Tasarım spektrumunu için alt sınır faktörü
$S_e(T)$:	Elastik yatay ivme spektrumunu
$S_d(T)$:	Tasarım spektrumunu
$S_{d,mod}$:	Tasarım spektrumunun ordinatını
E_{D1}, E_{D3}	:	Tasarım spektrumunu düzeltme katsayısı
K_D	:	Etkin spektrum düzeltme katsayısı
$P_{E,prod}$:	Depo raf sistemindeki toplam stok ağırlığı
P_E	:	Deprem tasarım durumunda toplam düşey ağırlık
V_E	:	Kesme Kuvveti
$W_{E,tot}$:	Deprem durumundaki toplam ağırlık
λ	:	LFMA deprem kesme kuvveti hesaplama katsayısı
F_i	:	i. Kata etkiyen yatay kuvvet
F_b	:	Taban kesme kuvveti
Z_i, Z_j	:	m_i ve m_j kütlelerinin zeminde olan yükseklikleri
m_i, m_j	:	Kütle
θ_i	:	i. kat θ değeri
$P_{E,i}$:	Sismik tasarım durumunda dikkate alınan i. kat ve üzerindeki toplam ağırlık
$d_{r,i}$:	i. kat görelî kat ötelenmesi
$V_{E,i}$:	i. kat deprem kesme kuvveti
h_i	:	i. kat yüksekliği
ASCE	:	American Society of Civil Engineers
ATC	:	Applied Technology Council
BSSC	:	Building Seismic Safety Council
CP	:	(Collapse Prevention) Göçme Öncesi Durumu
DD-2	:	Deprem düzeyi 2
DM	:	Hasar düzeyi
EERC-UCB	:	Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA	:	Federal Emergency Management Agency
IDA	:	Incremental Dynamic Analysis (Artımsal Dinamik Analiz)
IM	:	Deprem düzeyi
IO	:	(Immediate Occupancy) Hemen kullanım durumu

LDMA	:	Large Displacement Method of Analysis (Yerdeğiştirme Esaslı Analiz Yöntemi)
LFMA	:	Lateral Force Method of Analysis (Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi)
LS	:	(Life Safety) Can güvenliği durumu
MRSA	:	Modal Response Spectrum Analysis (Modal Tepki Spektrum Analizi)
MTP	:	Mühendislik Talep Parametreleri
NEHRP	:	Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
PDDM	:	Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği
PEER	:	Pasific Eartquake Engineering Research Center
PGA	:	Maksimum Yer İvmesi
RMI	:	Rack Manufacture Institute

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1:	Çelik depo raf sistemi. 1
2.1:	Gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri. 5
2.2:	Soğuk büküm ince cidarlı farklı enkesit özelliklerine sahip profiller 6
2.3:	Tipik çelik depo raf sistemi. 7
2.4:	Kiriş-Kolon birleşimi şematik şekil. 8
2.5:	Kiriş-Kolon birleşim tipleri. 8
2.6:	Taban bağlantısı. 10
2.7:	Profil dizilim tipleri. 11
2.8:	Tasarım yöntemi belirleme adımlarına ait akış şeması. 14
3.1:	Şematik itme eğrisi. 22
3.2:	Şematik kırılmalık eğrisi. 25
3.3:	Depo raf sistemi. 27
3.4:	Kiriş-Kolon moment dönme grafiği. 27
3.5:	Çelik Elemanlar için genelleştirilmiş kuvvet-yer değıştirme ilişkisi. 28
3.6:	Plastik deformasyon dağılımları. 28
3.7:	IDA eğrileri. 29
3.8:	Kırılmalık eğrileri. 30
3.9:	Kiriş-Kolon moment dönme grafiği ve test düzeneğı. 31
3.10:	3 Farklı hasar limit durumuna göre ait kırılmalık eğrileri. 32
3.11:	Taban kesme kuvveti-yerdeğıştirme grafiği. 32
3.12:	Kırılmalık eğrisi. 33
4.1:	3 Katlı model. 34
4.2:	5 Katlı model. 34
4.3:	3 Katlı model tanımı. 35
4.4:	5 Katlı model tanımı. 35
4.5:	Palet ağırlığı (kN). 36
4.6:	S235 çelik mekanik özellikleri. 36
4.7:	Kolon elemanının mekanik özellikleri (S235 çelik). 37
4.8:	Kiriş elemanının mekanik özellikleri, mm (S235 çelik). 38
4.9:	Çapraz elamanının mekanik özellikleri, mm (S235 çelik). 38

4.10:	Diresel çapraz elemanın mekanik özellikleri, mm (S235 çelik).	39
4.11:	Test düzeneğinin şematik gösterimi.	40
4.12:	Bağlantı tipleri.	40
4.13:	WB120.40.NP ve WB120.40.4P Moment-Eğrilik ilişkileri.	41
4.14:	Link eleman.	42
4.15:	WB 120.40.NP Kiri-Sol ucu moment-dönme ilişkisi tanımlaması.	43
5.1:	3- katlı modele ait 1.mod şekli.	44
5.2:	5- katlı modele ait 1.mod şekli.	44
5.3:	DD-2 deprem yer hareketi düzeyi ve ZC yerel zemin sınıfına göre tasarım spektrumları.	45
5.4:	WB 120.40.4P- 3 Katlı modal yerdeğiştirme talep diyagramı.	47
5.5:	WB.120.40.4P- 3 Katlı talep deplasman.	47
5.6:	Koridor doğrultusundaki itme eğrisi.	48
5.7:	Kuvvetli yer hareketlerine ait ivme zaman serileri.	50
5.8:	Kuvvetli yer hareketlerine ait ivme zaman serileri.	51
5.9:	Kuvvetli yer hareketlerine ait ivme zaman serileri.	52
5.10:	3 Katlı model görel kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.NP).	53
5.11:	3 Katlı model görel kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.4P).	53
5.12:	5 Katlı model görel kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.NP).	54
5.13:	5 Katlı model görel kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.4P).	54
5.14:	Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 2. kat görel kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).	55
5.15:	Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 2. kat görel kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).	55
5.16:	Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 2. kat görel kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).	56
5.17:	Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 2. kat görel kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).	56

5.18:	Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.NP).	57
5.19:	Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.4P).	57
5.20:	Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.NP).	58
5.21:	Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.4P).	58
5.22:	3 Katlı model kırılma analiz sonuçları (WB.120.40.NP).	61
5.23:	3 Katlı model kırılma analiz sonuçları (WB.120.40.4P).	61
5.24:	5 Katlı model kırılma analiz sonuçları (WB.120.40.NP).	62
5.25:	5 Katlı model kırılma analiz sonuçları (WB.120.40.4P).	62

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Soğuk büküm ince cidarlı farklı enkesit özelliklerine sahip profillerin akma mukavemetleri.	6
2.2: Kiriş-Kolon birleşimlerinin moment-dönme ilişkileri.	9
2.3: Yapı önem katsayısı.	11
2.4: Süneklik katsayısı.	12
2.5: Süneklik katsayısı.	12
2.6: Zemin tipine göre S değeri.	17
2.7: Palet kirişi sürtünme katsayısının referans değeri (μ_s).	17
4.1: Kiriş-kolon moment dönme ilişkileri.	41
5.1: θ_i (katlar arası ötelenme oranı) değerleri.	46
5.2: Talep deplasman değerleri.	47
5.3: Kuvvetli yer hareketi kayıtları.	49

1. GİRİŞ

Günümüzde çelik depo raf sistemleri, insanlığın gelişen ihtiyaçlarına bağlı olarak farklı endüstri kollarının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu sistemler, lojistik tedarik zincirinin en önemli unsuru olan ürünlerin ‘üretim-dağıtım-satış-tükeciye ulaşım’ döngüsü içinde güvenli bir şekilde depolanması/saklanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu bağlamda ülkemizde de taşımacılık, depolama, paketlenme, gümrükleme ve nihai tüketiciye erişimi de kapsayan lojistik hizmetleri gelişimini sürdürmekte ve bu sistemlerin kullanımını hızla yaygınlaştırmaktadır.

Farklı sektörlerde pek çok üretici ürünlerini (otomotiv, elektronik, beyaz eşya, gıda, tekstil, kimyasal madde, yapı malzemesi, vb.) farklı yükseklikteki endüstriyel depo raf sistemlerinde depolanmaktadır. Bu sistemler depolar için pratik ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Bunlara ilave olarak hızlıca kurulum özelliğine sahiptir. Zamandan ve alandan tasarruf etmemizi sağlar. Modern hayatın getirdiği yeniliklere paralel olarak artık günümüzde büyük alışveriş merkezlerinde, marketlerde, konsept mağazalarında halkın kullanımına da açık hale gelmiştir. Yaygın olarak kullanımına bağlı olası bir tehlike durumunda hayati ve finansal kayıp riskini en aza indirmek bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 1.1: Çelik depo raf sistemi.

Endüstriyel çelik depo raf sistemlerinin taşıyıcı sistemleri 3-boyutlu çerçevelerden oluşmakta olup, ince cidarlı, soğukta şekil verilmiş, narin çelik elemanların farklı mekanik bağlantı uygulamalarıyla bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Hafif ve taşıma kapasitesi yüksek sistemlerdir. Düşey taşıyıcı elemanlar yerel ve çarpımalı burkulmanın önlenmesi amacıyla kompleks formda kesitlere sahip olacak şekilde üretilmektedir. Bu elemanların üzerinde depolama esnekliği açısından delikler bulunmaktadır. Paetli ürünlerin yerleştirildiği yatay elemanlar kapalı ya da açık kesitli olarak üretilmekte olup, delikli kolonlara tırnaklı ya da bulonlu birleşimler ile bağlanmaktadır. Kullanım alanına bağlı olarak farklı yüksekliklerde üretilen bu sistemler günlük lojistik çevrim içerisinde ürünlerin yükleme/boşaltma ve depolama makinaları ile ilişkili birçok farklı yükleme durumlarına maruz kalabilmektedir. Bu sistemlerin bina tipi yapısal sistemlerden en önemli farkı, taşıyıcı sistem ağırlığının taşınan yükün ağırlığına oranla çok düşük olmasıdır (~1/20 mertebelerinde). Diğer tüm mühendislik yapılarında olduğu gibi, çelik depo raf sistemlerinin de mal ve can kaybına sebep olmayacak şekilde yapısal güvenliklerinin sağlanması büyük önem arz etmektedir. Depolanacak ürünlerin tehlikeli/kimyasal maddeler ihtiva etmesi durumunda olası riskin daha da tehlikeli boyutlara ulaşabileceği göz ardı edilmemelidir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Çelik raf sistemlerinde depolanan ürünlerin güvenli bir şekilde taşınması ticari açıdan oldukça önemli bir husustur. Taşıyıcı sistemde hasar oluşmasının ve hatta kısmi ya da toptan göçme meydana gelmesinin en önemli nedenlerinden biri de deprem etkisidir. Öncelikle literatürde söz konusu sistemler ile ilgili bugüne kadar yapılan araştırmalar detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmalarda kullanılan doğrusal olmayan analiz yöntemleri, kolon-kiriş birleşim özellikleri ve davranışları, yapısal performans değerlendirmeleri konuları üzerinde araştırmalar yapılmış ve uluslararası normlar bu hususlar çerçevesinde detaylıca incelenmiştir.

Bu sistemlerin deprem etkisi altındaki davranışlarını daha iyi anlamak için çalışma kapsamında 3-katlı ve 5-katlı olarak oluşturulan 2 farklı yüksekliğe sahip yapısal modeller göz önüne alınmıştır. Kiriş-kolon birleşim detayları çelik depo raf sistemlerinin deprem etkisi altındaki davranışlarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu

amaçla oluşturulan yapısal modellerin koridor doğrultusundaki davranışları irdelenmiş ve kolon-kiriş bağlantı bölgesinin farklı bağlantı tipleri kullanılarak teşkil edilmesi durumunda yapısal davranışın nasıl değiştiği araştırılmıştır. Sonlu elemanlar programı SAP2000 kullanılarak oluşturulan 3-ve 5- katlı yapısal modeller için doğrusal olmayan statik ve dinamik yöntemler çerçevesinde yapısal analizler gerçekleştirilmiş ve deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizlerde kolon-kiriş birleşimlerinin tersinir çevrimsel moment-dönme ilişkileri için literatürde yer alan deneysel çalışmalardan faydalanılmıştır.

Endüstriyel depo raf sistemlerinin dinamik davranışlarının yapı yüksekliği ve birleşim noktası detayı unsurlarından önemli ölçüde etkilediğinin belirlendiği bu çalışmada yapısal hasarın sınır durumlarını belirlemek için mühendislik talep parametreleri seçilmiştir. Doğrusal olmayan statik analiz sonuçlarına bağlı olarak elde edilen yapısal kapasiteler doğrusal olmayan artımsal dinamik analizi sonuçları ile birlikte değerlendirilerek kırılma analizine altlık oluşturacak yapısal hasar sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen limit hasar durumlarına bağlı olarak yapısal modellere ait kırılma eğrileri oluşturulmuştur. Çalışmada elde edilen bulguların endüstriyel döngüde ürünlerin güvenli bir şekilde depolanması noktasında fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

2. ÇELİK DEPO RAF SİSTEMLERİNİN TASARIMINA GENEL BAKIŞ

2.1.Çelik Depo Raf Sistemleri

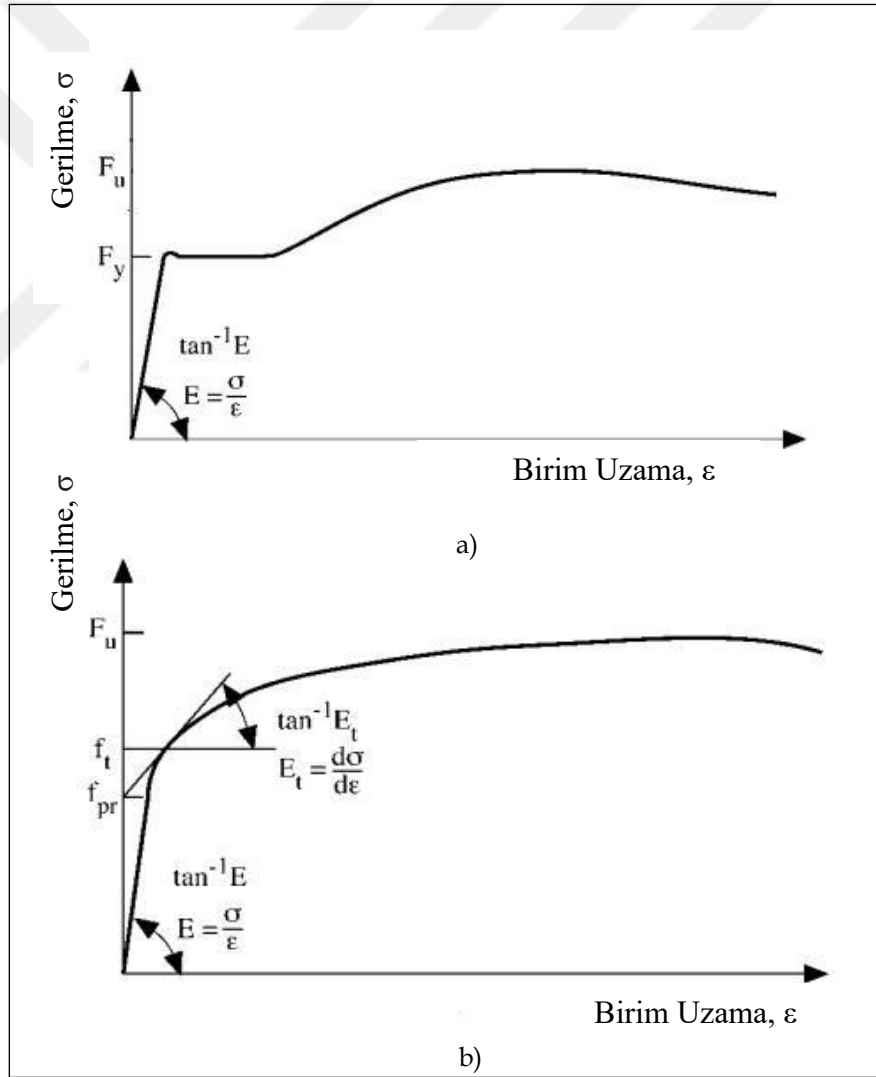
Çelik depo raf sistemleri endüstride depolama için yaygın olarak kullanılmakta ve genellikle paletlere yerleştirilen yükleri taşımaktadır. Tipik bir palet rafının yapısal elemanları, gövde ve başlıklar boyunca delinmiş olan soğukta şekillendirilmiş çelik dikmeler ile genellikle dikdörtgen kutu kesite sahip kirişlerden oluşmaktadır. Kirişler, kirişlerin uçlarına önceden kaynaklanmış uç bağlantılarla dikmelere bağlanmaktadır. Uç bağlantı tırnakları dikmenin deliklerine yerleştirilerek kirişi dikmeye bağlamak için kiriş aşağıya itilmektedir. Ayrıca, yukarı yönde hareket etmesine neden olabilecek bir kuvvetin mevcudiyetinde uç bağlantısının dikmeden dışarı çekilmesini önlemek amacıyla genellikle bir kilitleme (güvenlik) pimi kullanılmaktadır [Zhao et al., 2014].

Düşey taşıyıcı elemanlar (dikmeler) enkesit özellikleri ve kesitteki delikler nedeniyle farklı burkulma türlerine karşı narin bir davranış sergilemektedir. Tüm kolonda global burkulma veya flanşlarda lokal ya da çarpılma burkulması gibi etkilerin önlenmesi amacıyla bu elemanlar kompleks formda kesitlere sahip olacak şekilde üretilmektedir [Baldassino and Bernuzzi, 2000].

Kolon ve kiriş bağlantıları kancalı olabildikleri gibi civatalı veya kaynaklı olarak da teşkil edilebilmektedir. Yükleme etkisinde kiriş-kolon ve kolon-taban plakası bağlantılarının davranışları genellikle doğrusal değildir. Kolonlardan aktarılan aksenal yükler, taban plakası bağlantılarının kapasitesini belirlemektedir. Çapraz elemanları genellikle koridora dik doğrultuda bulunmakta ve bu elemanlar ile yanal stabilite sağlanmaktadır. Koridor doğrultusunda koyulabilecek çapraz elemanlar ürünlerin yerleştirilmesinde sorun oluşturabileceğinden bu durumda yanal yöndeki stabilite kiriş-kolon ve kolon-taban plakası birleşimleri ile sağlanmaktadır [Baldassino and Bernuzzi, 2000].

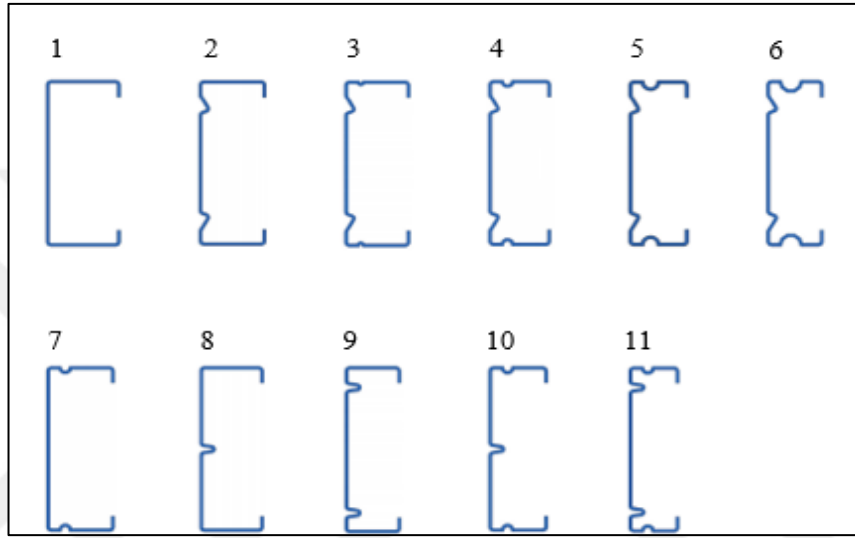
Depo raf sistemlerini oluşturan taşıyıcı sistemler soğukta şekil verilmiş, ince cidarlı, narin kolon, kiriş ve çapraz elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 2.3). Boyutları kullanım türüne göre farklılık göstermektedir. İnce cidarlı çelik elemanlar, çelik plakaların oda sıcaklığında işlenmesi ile elde edilir. Soğukta şekillendirilmiş çelik profiller hafiftir, çeşitli kesit konfigürasyonlarında üretilebilir, montaj süresi kısadır,

nakliye kolaylığı vardır ve geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Soğukta şekillendirilmiş profillerin mekanik özellikleri özellikle köşelerde, düz sac çeliklerden farklıdır. Bu yöntem akma ve çekme mukavemetinde artışa neden olurken sünekliği azaltmaktadır [Yu, W.W., 1991]. Ayrıca bu davranışı etkileyen birkaç parametre vardır. Söz konusu olan ilk parametre çeliğin kopma dayanımının akma dayanımı oranıdır (F_u/F_y). Diğer parametre ise iç büküm yarıçapının kalınlığa oranıdır (R/t). Yapısal analizlerde kullanılan iki farklı malzeme modeli Şekil 2.1’de sunulmuştur. Sıcak haddelenmiş çeliklerin genellikle daha keskin hatlara sahip olduğu (Şekil 2.1a), soğuk büküm çeliklerin ise daha kademeli bir geçişe sahip (Şekil 2.1b) olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 2.1: Gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri.

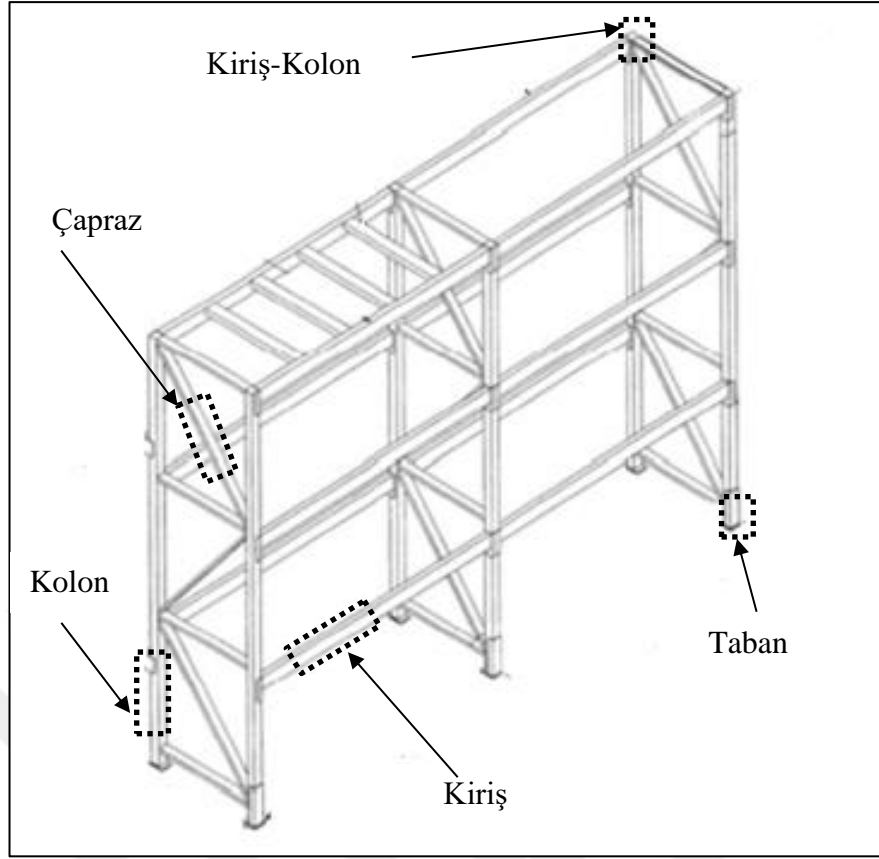
Depo raf sistemlerinde kullanılan soğukta şekillendirilmiş ince cidarlı elemanların akma gerilmelerinin irdelendiği çalışmada, 11 farklı tip geometriye sahip profil incelemiştirler (Şekil 2.2) [Quadir et al., 2020]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 2.1’de sunulmuş olup, profilin enkesit özelliklerindeki değişime bağlı olarak akma gerilmelerinin bir miktar değiştiği görülmektedir. Yapı performansını arttırmak için profillerin geometrisinde değişiklikler yapılabileceği ilgili çalışmada ortaya konulmuştur.



Şekil 2.2: Soğuk büküm ince cidarlı farklı enkesit özelliklerine sahip profiller.

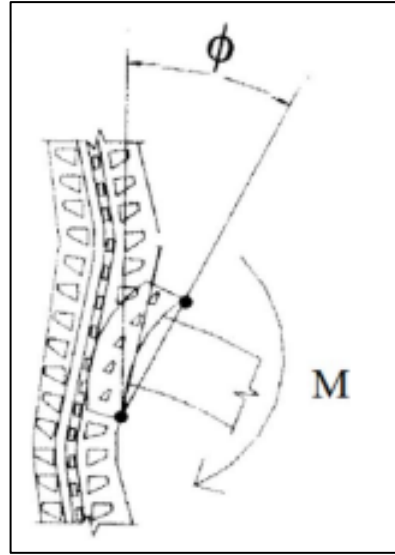
Tablo 2.1: Soğuk büküm ince cidarlı farklı enkesit özelliklerine sahip profillerin akma mukavemetleri.

Profil Kesit Numarası	Akma Gerilmesi (MPa)
1	522,74
2	526,4
3	529,37
4	527,76
5	527,08
6	526,4
7	524,09
8	525,3
9	527,85
10	526,65
11	529,21



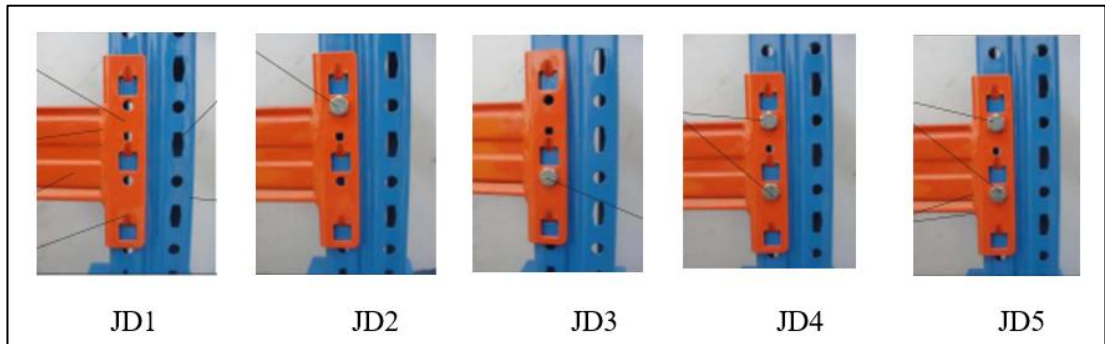
Şekil 2.3: Tipik çelik depo raf sistemi (Anonim).

Çelik depo raf sistemlerinde kiriş-kolon bağlantıları farklı bağlantı tiplerinin moment taşıma kapasitelerine göre gruplandırılmakta ve rijit, yarı rijit ve moment aktarmayan bağlantılar olarak sınıflandırılabilir. Yarı rijit bağlantıların moment taşıma kapasitelerinin deneysel ve teorik olarak belirlendiği bir çalışmada, kiriş-kolon birleşiminin kancalı olması durumu üzerinde incelemeler yapılmıştır [Aguirre, 2004]. Yaptığı deneysel testlerde davranışın yarı-rijit olduğunu belirlemiştir. [Bajoria et al., 2010], çalışmalarında kiriş-kolon birleşimlerini yarı rijit olarak kabul etmiş ve 3 boyutlu sonlu elemanlar programı olan ANSYS ile birleşimlerin moment-dönme ilişkilerini elde etmişlerdir.



Şekil 2.4: Kiriş-Kolon birleşimi şematik şekil.

Birleşim tiplerine göre dönme kapasitelerinin farklılık gösterdiği bulgusunun elde edildiği çalışmada 5 farklı tipte birleşim elemanı tasarlanmıştır [Yin et al., 2018]. Bu çalışmada kiriş-kolon birleşimlerinde farklı düzeylerde kaynak ve civata kullanımına bağlı olarak oluşturulan ve Şekil 2.5'te verilmekte olan farklı tipteki bağlantı türleri değerlendirilerek moment taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır (Tablo 2.2).



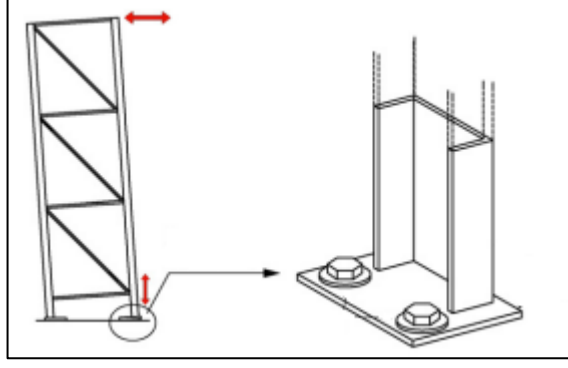
Şekil 2.5: Kiriş-Kolon birleşim tipleri.

Tablo 2.2: Kiriş-Kolon birleşimlerinin moment-dönme ilişkileri.

Bağlantı Tipi	Yük Doğrultusu	Birim	Sonuç
JD1	Pozitif	Θ_y / rad	0,0285
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	1,736
	Negatif	Θ_y / rad	0,0408
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	1,586
JD2	Pozitif	Θ_y / rad	0,0434
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	2,149
	Negatif	Θ_y / rad	0,0416
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	1,7749
JD3	Pozitif	Θ_y / rad	0,0314
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	1,9506
	Negatif	Θ_y / rad	0,0587
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	2,3906
JD4	Pozitif	Θ_y / rad	0,0452
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	2,1444
	Negatif	Θ_y / rad	0,054
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	2,3121
JD5	Pozitif	Θ_y / rad	0,049
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	2,7896
	Negatif	Θ_y / rad	0,769
		$M_y \text{ kN} - \text{m}$	2,9057

Civatalı kolon-kiriş birleşiminin döngüsel performansını bir test düzeneği üzerinde incelendiği bir çalışmada, histeretik davranışta pinching4 modelinden yararlanılmıştır. Tipik civatalı ve civatasız bağlantılar arasında bir karşılaştırma da sağlanmıştır. İki civatalı bağlantının enerji dağıtma kapasitesinin, tek civatalı bağlantılara kıyasla önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir [Dai et al., 2018].

Diğer bir önemli bağlantı elemanı ise taban plakalarıdır. Bu bağlantılar kolon elemanın üzerinde oluşan yükü zemine aktarması için tasarlanan bağlantılardır. Mesnet tiplerinin basit ve ankastre olması durumu konusu üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Ankastre mesnet olması durumunda sistemin periyodu azalmıştır [Filiatrault et al., 2006]. Çapraz doğrultudaki yüklemelerde ankrajların performansını incelendiği çalışmada farklı tipteki ankrajları sonlu elemanlar programı vasıtasıyla çözümlenmiştir [Petroni et al., 2016].



Şekil 2.6: Taban bağlantısı.

2.2.Çelik Depo Raf Sistemlerinin Tasarımı

Çelik depo raf sistemlerinde kullanılan düşey elemanların enkesit özelliklerinin kompleks formda olması yapısal davranışlarının teorik olarak tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle mevcut tasarım standartları, sistemi oluşturan elemanların ve bağlantılarının deneysel test sonuçlarına bağlı olarak oluşturulmuştur. Çalışmada öncelikle depo raf sistemleri özelinde kullanılmakta olan mevcut yönetmelikler incelenmiştir. Son yıllarda yapılan güncel çalışmalarda yapısal tasarım aşamasında ‘BS EN 15512:2009, Steel Static Storage Systems — Adjustable Pallet Racking Systems — Principles for Structural Design., British Standarts Institution.’ yönetmeliğinin kullanıldığı görülmüştür. Deprem yükleri etkisinde yapısal analiz içinse ‘BS EN 16681:2016, BSI Standards Publication Steel Static Storage Systems — Adjustable Pallet Racking Systems — Principles for Seismic Design., British Standarts Institution.’ normu kullanılmaktadır.

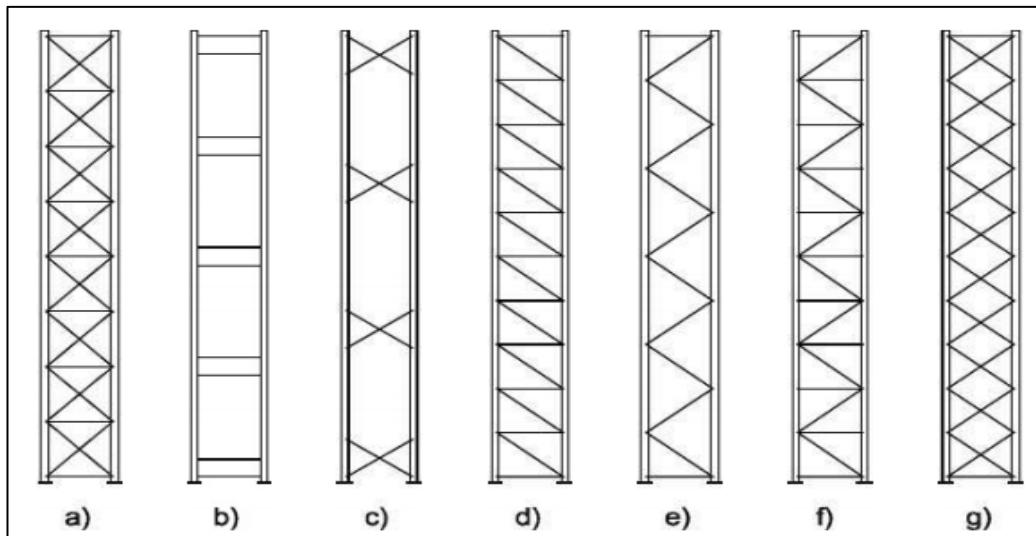
EN 15512 normu birim yüklerin depolanması için amaçlanan ve ağırlıklı olarak statik yüklere tabi olan çelik üyelerden imal edilen her türlü ayarlanabilir kirişli palet raf sistemlerine uygulanabilir düşey yük etkisi altında yapısal tasarım gerekliliklerini belirtmektedir. EN 16681 normu ise çelik elemanlardan imal edilmiş birim yüklerin depolanması için amaçlanan ve sismik etkilere maruz kalan her türlü ayarlanabilir palet raf sistemlerine uygulanabilir yapısal tasarım gerekliliklerini içermektedir. Sismik tehlikenin söz konusu olduğu durumda EN 16681 ve EN 1998-1 normlarına göre tasarım yapılmalıdır. Tasarımın statik yüklere göre yapılması durumunda yapısal sistem 10 yıllık olarak planlanmalıdır. Aksi durumda ise en az 30 yıllık zaman dilimi göz önüne alınmalıdır. Tablo 2.3’de raf önem sınıfı I = 30-50 yılda aşılma olasılığı

%20 olan deprem durumu, raf önem sınıfı II= 30-50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem durumu, raf önem sınıfı III = 50 yılda aşılma olasılığı %5,8 olan deprem durumu, raf önem sınıfı IV = 50 yılda aşılma olasılığı %3,65 olan deprem durumları için yapı önem katsayıları mevcuttur.

EN 16681 yönetmeliğinde de belirtildiği üzere raf yapısı, tasarım sismik etkisine dayanacak şekilde tasarlanmalı ve inşa edilmelidir. Depo raf sistemleri deprem etkisi altında tasarlanırken; kısmi veya tümünden göçme meydana gelmeden yapısal bütünlüğünü korumalı ve olası can kayıplarının önüne geçilmelidir. Bu doğrultuda yapısal sistemin gerekli dayanım ve süneklige sahip olduğu doğrulanmalıdır. İlgili normda kısmi veya tümünden göçme için performans gerekliliği ifade edilmiş olsa da olası hasar durumlarına ait herhangi bir sınır değeri tanımlanması yapılmamıştır.

Tablo 2.3: Yapı önem katsayısı.

<i>Depo Önem Katsayısı</i>			
<i>Yapı Önem Sınıfı</i>	<i>Tanım</i>	<i>Yapı Önem Katsayısı</i>	
		<i>30 Yıllık</i>	<i>50 Yıllık</i>
I	Tam otomatik depolama operasyonlarına sahip depolar	0,67	0,8
II	Toplama alanları dahil standart depo koşulları	0,84	1
III	Özel müşteri için rastgele genel erişime sahip her türlü raf	N/A	1,2
IV	Tehlikeli ürün depolama stratejik tesisler	N/A	1,4



Şekil 2.7: Profil dizilim tipleri.

EN 16681'e göre süneklik katsayıları Şekil 2.7'de verildiği üzere koridora dik doğrultuda teşkil edilen çapraz yerleşimlerine göre belirlenebilmektedir. Bu farklı tasarımlara sahip sistemlerin göz önüne alınan süneklik katsayıları Tablo 2.4'de verilmiştir. Çekmeye çalışan çapraz elemanlarla oluşturulmuş yapı sistemleri için sünek tasarım konsepti göz önüne alındığında referans davranış faktörü için EN 1998-1'de yer alan Tablo 2.5'den yararlanılmaktadır.

Tablo 2.4: Süneklik katsayısı.

Dikey Elemanlar için Sismik Tasarım Prosedürü				
Profil Tipi	Yapı Tipi	Tasarım Konsepti	Referans, davranış faktörü	Çapraz elemanlarında ve bağlantılarında sismik hareket için artış faktörü
a	a1. Çekmeye çalışan çapraz elemanlar	Sünek	EN 1998-1	EN 1998-1
	a2. Çekmeye çalışan çapraz elemanlar	Düşük süneklik	2,0	1,0
	a3.Çekmeye ve basınca çalışan çapraz elemanlar	Düşük süneklik	1,5	1,0 veya 1,5 ^α
b	EN 1998-1'in moment dirençli çerçevelerinin gereksinimlerinin karşılanması şartıyla, enerji tüketen çerçeve kullanılabilir; aksi halde q = 1,5,dikey bağlantıda sismik hareket 1,5 için artış faktörü ile kullanılabilir			
c			1,0	1,0
d-e-f-g	Düşük süneklik		1,5	1,5 ^b

Tablo 2.5: Süneklik katsayısı.

Yapı Tipi	Sünelik Sınıfı	
	Düşük Süneklik Sınıfı	Yüksek Süneklik Sınıfı
a) Moment Çerçeve Sistem	4	$5\alpha_u / \alpha_1$
b)Çaprazlı Çerçeve Sistem		
Merkezi Çaprazlı	4	4
V-Çaprazlı	2	2,5

EN 15512'ye göre genel tasarım artırılmış yükler altındaki limit durumlara ve servis yükleri altındaki durumlara göre yapılmaktadır. Arttırılmış yükler altındaki nihai sınır durum, maksimum yük taşıma kapasitesine karşılık gelmekte ve genellikle

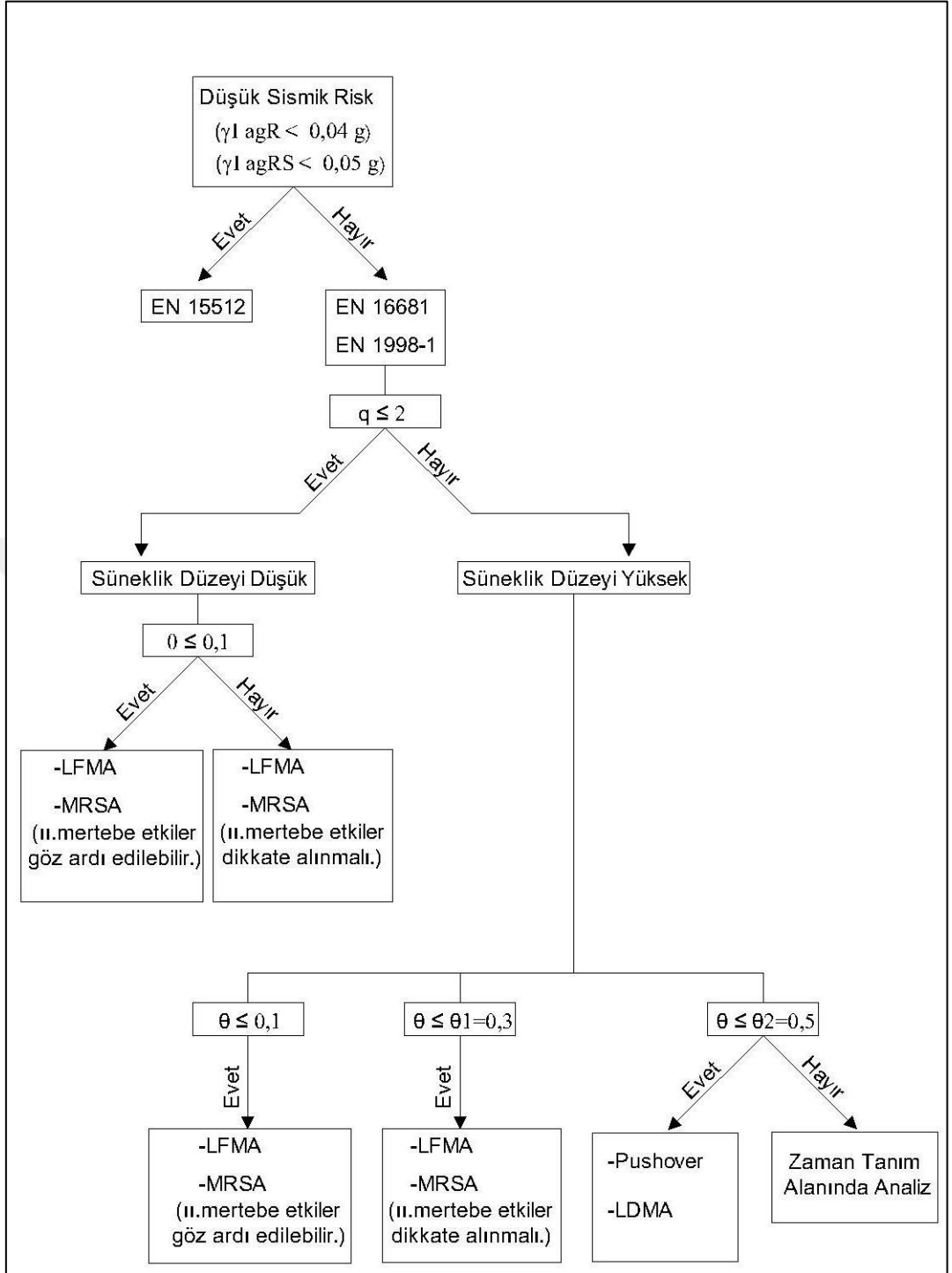
dayanım kaybı; devrilme ve ötelenmeye karşı stabilite kaybı; aşırı deformasyon ve yorulmaya bağlı kopma gibi durumlar ile karakterize edilmektedir.

Servis yükleri altındaki değerlendirmeler kapsamında kullanılabilirlik sınır durumunun doğrulanması ile servis yükleri altında elemanların düzgün çalışmasının sağlanması hedeflenmektedir. Yapının görünümünü veya etkin kullanımını etkileyen yerdeğiştirmeleri veya diğer deformasyonları dikkate almak yeterli olacaktır.

EN 16681 normuna göre deprem etkisi altında yapılacak olan yapısal analizlerde kullanılacak olan hesap yöntemleri belirlenmiş olan bazı yapısal parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup, Yanal Kuvvet Analiz Yöntemi (*Lateral Force Method of Analysis (LFMA)*), Modal Tepki Spektrumu Analizi (*Modal Response Spectrum Analysis (MRSA)*) ve Büyük Yerdeğiştirme Analiz Yöntemi (*Large Displacement Method of Analysis (LDMA)*) olarak ifade edilmektedir.

EN 16681 normunda depo raf sistemlerinin tasarımında yapılacak olan kabuller ve yapısal analizlerde kullanılacak olan hesap yönteminin seçimi ile ilgili belli kısıtlamalar ve yönlendirmeler mevcuttur. Yapısal analizlerde kullanılacak yöntemin seçiminde izlenecek olan aşamalar Şekil 2.8'de özetlenmiştir. Tasarım yöntemini belirlemede kullanılan temel parametreler süneklik düzeyi (q) ve katlar arası ötelenme oranı (θ) dır. Yüksek sismik risk olması durumunda EN 16681 normu çerçevesinde öncelikle sistemin süneklik düzeyine karar verilir ve sonrasında ötelenme oranları belirlenerek hesap yöntemi seçilmektedir. Tez kapsamında oluşturulan yapısal modeller için Şekil 2.8'deki yönerge takip edilerek elde edilen görelî kat ötelenmesi oranlarına bağlı olarak yapısal analiz yöntemine karar verilmiştir.

İlgili normda endüstriyel depo raf sistemlerinin yapısal performans seviyelerine ait herhangi bir tanımlama yer almamaktadır. İfade edilen sadece göz önüne alınması gereken performans gereksinimini sağlayacak şekilde bir tasarım yapılmasıdır. Raf yapısı, depremden sonra yapısal bütünlüğünü ve yük taşıma kapasitesini koruyarak, yerel veya tümünden göçme olmaksızın tasarım kuvvetlerine dayanacak şekilde tasarlanması önerilmektedir. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında ilgili sistemlerin performans seviyelerini belirlemek üzere bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. Oluşturulan yapısal modeller göz önüne alınarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz sonuçları belirlenen mühendislik şiddet parametrelerine bağlı olarak irdelenmiş ve yapısal hasarın limit durumlarını tahmin etmek üzere değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 2.8: Tasarım yöntemi belirleme adımlarına ait akış şeması.

EN 16681 normu çerçevesinde analiz yöntemi seçiminde bahsi geçen parametreler belirlenerek yapısal analiz yöntemine karar verme aşamasında gerçekleştirilecek olan hesaplamalar aşağıda özetlenmiştir.

- i) Yapının bulunduğu zemin sınıfının belirlenmesi.
- ii) Zemine ait yer ivmesi değerinin (a_g) belirlenmesi

iii) Sismik yapı ağırlığının aşağıdaki bağıntıya göre belirlenmesi,

$$W_i = G_i + \psi_E \psi_M Q_i \quad (2.1)$$

- G_i : İçeriği sabitlemek için eklenenler dâhil, i. seviyedeki rafın ölü ağırlığı
- ψ_E : İndirgeme faktörü
:1.0 Çapraz doğrultusu
:0.8 Koridor doğrultusu
- ψ_M : Rijit kütle faktörü, deprem sarsıntısı altında stokun raftan ayrılması durumu dikkate alınarak
: 0,67
- Q_i : i. seviyede raftaki maksimum tasarım stoku yükü
- W_i : i. seviyede raftaki maksimum tasarım düşey yük

iv) Sistemin hâkim periyodunun (T_1) minimum $\{T_1 \leq 4 \times T_c; T_1 \leq 2s\}$ 'e göre belirlenmesi.

v) Elastik yatay ivme spektrumu $S_e(T)$ 'nin belirlenmesi

$$0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g \times S \times \left[1 + \frac{T}{T_B} \times (n \times 2,5 - 1)\right] \quad (2.2)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g \times S \times (n \times 2,5) \quad (2.3)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = a_g \times S \times \left(n \times 2,5 \times \frac{T_C}{T}\right) \quad (2.4)$$

$$T_D \leq T \leq 4s: S_e(T) = a_g \times S \times \left(n \times 2,5 \times \frac{T_C \times T_D}{T^2}\right) \quad (2.5)$$

- T : Sistemin doğal periyodu
- T_B ve T_C : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
- T_D : Spektrum sabit yerdeğiştirme aralığının başlangıcını tanımlayan periyod değeri
- S : Zemin parametresi
- n : Sönüm düzeltme faktörü
- q : Davranış katsayısı
- β : Tasarım spektrumu için alt sınır faktörü

Tablo 2.6: Zemin tipine göre S değeri.

<i>Zemin tipi</i>	<i>S</i>	<i>T_B (s)</i>	<i>T_C (s)</i>	<i>T_D (s)</i>
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,2	0,6	2,0
D	1,35	0,2	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

vi) *Tasarım spektrumu S_d(T) 'nin belirlenmesi.*

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \times S \times \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \times \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (2.6)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \times S \times \left[\left(\frac{2,5}{q} \right) \right] \quad (2.7)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \begin{cases} = a_g \times S \times \left[\left(\frac{2,5}{q} \right) \right] \\ \geq x a_g \end{cases} \quad (2.8)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \times S \times \left[\left(\frac{2,5}{q} \right) \times \frac{T_C \times T_D}{T^2} \right] \\ \geq x a_g \end{cases} \quad (2.9)$$

vii) *Tasarım spektrumu düzeltme katsayısının E_{D1} belirlenmesi.*

$$E_{D1} = [0,4; \eta_s / s_e (T_1) + 0.2] \leq 1,0 \quad (2.10)$$

Tablo 2.7: Palet kirişi sürtünme katsayısının referans değeri (η_s).

<i>Temas halindeki malzemeler</i>	<i>Ortam</i>	<i>Palet kirişi sürtünme katsayısının referans değeri (η_s)</i>
Çelik kiriş-ahşap palet	Depo normal koşulları	0,37
Çelik kiriş-plastik ve çelik palet	Depo normal koşulları	0,15

viii) *Etkin spektrum düzeltme katsayısının K_D belirlenmesi.*

$$K_D = 1 - P_{E, \text{prod}} / P_E \times (1 - E_{D1} \times E_{D3}) \quad (2.11)$$

- $P_{E, \text{prod}}$: Depo raf sistemindeki toplam stok ağırlığı
- P_E : Deprem tasarım durumunda toplam düşey ağırlık
- E_{D1} ve E_{D3} : Tasarım spektrumu düzeltme katsayısı

ix) *Tasarım spektrumunun ordinatının $S_{d, \text{mod}}$ modifiye edilmesi.*

$$S_{d, \text{mod}} = K_D \times S_d(T) \quad (2.12)$$

x) *V_E kesme kuvvetinin belirlenmesi.*

$$V_E = S_{d, \text{mod}}(T1) \times W_{E, \text{tot}} \times \lambda \quad (2.13)$$

- $W_{E, \text{tot}}$: Deprem durumunda ki toplam ağırlık
- λ : LFMA deprem kesme kuvveti hesaplama katsayısı

xi) *Kesme kuvvetinin katlara dağıtılması.*

$$F_i = F_b \times \frac{Z_i \times m_i}{\sum Z_j \times m_j} \quad (2.14)$$

- F_i = i. Kata etkiyen yatay kuvvet
- F_b = Taban kesme kuvveti
- Z_i, Z_j = m_i ve m_j kütlelerinin zeminde olan yükseklikleri
- m_i, m_j = Kütle

xii) *Doğrusal statik analiz sonucuna göre maks θ değerlerinin belirlenmesi.*

$$\theta_i = (P_{E,i} d_{r,i}) / (V_{E,i} h_i) \quad (2.15)$$

$$\theta = \max [\theta_i] \quad (2.16)$$

- θ_i : i. kat θ değeri
- $P_{E,i}$: Sismik tasarım durumunda dikkate alınan i. kat ve üzerindeki toplam ağırlık
- $d_{r,i}$: i. kat göreli kat ötelenmesi
- $V_{E,i}$: i. kat deprem kesme kuvveti
- h_i : i. kat yüksekliği



3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME KAPSAMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme

Şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeye dayalı performans kriterlerini esas alan yapısal tasarım ve değerlendirme kavramı, yüksek sismik risk etkisi altındaki bölgelerde yer alan mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi ve yeterli güvenlikle teşkil edilmemiş olan yapıların güçlendirme çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir. Özellikle Amerika Birleşik Devletlerinin eyaletlerinde meydana gelen yıkıcı depremlerin neden olduğu can ve mal kayıplarıyla neticelenen büyük yapısal hasarlar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme esaslı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Ortaya çıkan bu gereksinim neticesinde Applied Technology Council (ATC) tarafından *Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings* - ATC 40 ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* - FEMA 273, 356 raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 taslak raporu hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan, Avrupa Birliği standartları arasında bulunan Eurocode 8.3 standardında da, mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesine yönelik araştırmaların sonuçlarını içeren yaklaşımlar yer almaktadır.

Ülkemizde de son 30 yılda yaşanan yıkıcı düzeydeki depremlerin ardından, - özellikle 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri- mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesini ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesini hedefleyen uygulamaların kullanımına hız verilmiştir. Kullanılan

malzeme çeşitliliği ile yapı modellerinin artması ve gelişen bilgi ve teknolojilere paralel olarak artan ihtiyaçlar doğrultusunda mevcut deprem yönetmeliğimizin güncellenmesi bir gereksinim olarak karşımıza çıkmış ve 2018 yılında yürürlüğe giren ‘*Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*’ ile son halini almıştır.

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin yapısal tasarım ve analiz metodu olarak kabul edilmesinin başlıca sebebi yapı güvenlik derecesinin gerçekçeğe daha yakın olarak belirlenmesi talebidir. Deprem etkilerinin kuvvete dayalı tasarım ilkeleri ile tahmin edilebildiği tasarım yöntemlerinin ötesinde performansa dayalı tasarım yöntemleri ile şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme etkilerinin gözlemlenebildiği yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntem ile taşıyıcı sistem hasar durumunu tespit ederek sistemin şekil ve yerdeğiştirme talepleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle yapısal taşıyıcı sistemlerin hasar durumları yapının depreme karşı performansının belirlenmesinde önemli bir unsurdur.

Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği (PDDM) kavramı, belirli performans hedeflerine dayalı olarak yapıların sismik riskini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Performans hedefi, bir yapının belirli bir tehlike seviyesine maruz kaldığında elastik sınır durumu ile kısmi/toptan göçme arasında bir yerde bulunan tanımlanmış bir hasar durumunu aşma olasılığını gösterir. Son yıllarda sıklıkla kullanılan bu değerlendirme yöntemi bir yapının dinamik tepkisini etkileyen sismik tehlike özelliklerini taşıyan bir yer hareketi şiddet parametresinin belirlenmesiyle başlar. Yapının doğrusal olmayan modeli bir grup yer hareketi etkisi altında çözümlenerek, görelî kat ötelenmeleri, kesme kuvvetleri, devrilme momentleri ve doğrusal olmayan deformasyon talepleri gibi Mühendislik Talep Parametreleri (MTP) elde edilir. Elde edilen bu yapısal karşılıklar daha sonra yapının veya bir kısmının hasar tahminlerini gerçekleştirmek adına yönetmeliklerce belirtilen ilgili hasar limit durumları ile karşılaştırılır. Bunlara ilave olarak hasar önlemleri üzerindeki etkilerin değerlendirmesini sağlayarak insan hayatı ve maddî kayıplara karar verme sürecini desteklemektedir.

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme uygulamasında karşılaşılan olası zorluklar iki temel unsur altında toplanabilir. Birincisi, gelişen bilgi ve teknolojiye paralel olarak sürekli olarak güncelleştirilen modern analitik araçların yetkin kullanımı ve gerçeğe uygun yapısal modellerin oluşturulmasıdır. İkinci unsur ise yapısal bileşenlerin tanımlanmasındaki belirsizliklerin ve bunların global davranışa etkilerinin uygun bir şekilde ele alınabilmesidir [Lignos et al., 2013].

3.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Özel durumların dışında yapı sistemleri işletme yükleri etkisinde doğrusal davranış göstermektedirler. Bunların dışındaki sistemler arasından elastik zemine oturan sistemler, narin yapılar ile stabilite yetersizlikleri ve yerel zayıflıklar barındıran yapılar sayılabilir. Buna karşılık, dış etkilerin işletme yükleri sınır durumunu aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştığı durumda doğrusal-elastik sınır aşılmakta ve yerdeğiştirmeler göz ardı edilemeyecek değerler almaktadır.

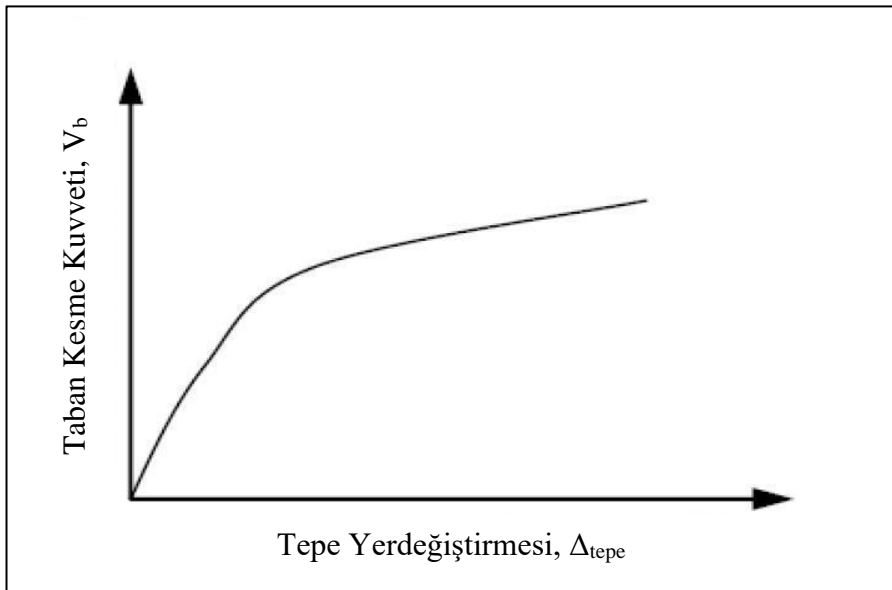
Günümüzde yapı mühendisliğinde uygulanan doğrusal teoriye göre sistem analizini baz alan tasarım yaklaşımlarında, yapı sistemlerinin lineer olmayan davranışı göz önüne alınarak çalışılmaktadır. Hesaplarda ikinci mertebe etkilerini göz önüne almak, burkulma durumunda güvenlik amacıyla moment büyütme yönteminde ve burkulma katsayılarından yararlanmak, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımlarının değişmesi ile yeniden dağılım ilkesinin göz önüne alınması örnek olarak ifade edilebilmektedir. Ayrıca, deprem etkilerine göre malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını ve sünekliğini hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya göre bir deprem azaltma katsayısına bölünerek küçültülmektedir.

Yapı malzemelerinin lineer-elastik ötesindeki taşıma kapasitesinin göz önüne alınmasıyla çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olması durumunda geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha iyi gözlemlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde edilebilir. Doğrusal olmayan sistem davranışının baz alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında yaygın olarak iki durum görülmektedir. Bunlardan birincisi, yapı modelinin lineer olmamasına neden olan sebeplerin belirlenerek sistem davranışını gerçeğe yakın bir şekilde hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu sayısal modelin analizi sonucunda bulunan doğrusal olmayan denklem sisteminin çözülmesidir. Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının lineer olmaması genel olarak iki sebepten kaynaklanmaktadır. 1- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması. 2- Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmamasıdır [Özer, 2007].

3.2.1. Doğrusal Olmayan Statik İtme Yöntemleri

Deprem etkisi altında yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri doğrusal olmayan statik itme analizidir. Bu yöntemde yapının taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisini vermekte olan kapasite eğrisi elde edilmekte ve ilgili eğri artan taban kesme kuvveti talebi altında yapısal davranış biçimi hakkında bilgi vermektedir (Şekil 3.1). Analiz sonucunda elde edilen yapısal kapasiteler yapı için öngörülen performans seviyeleri ile karşılaştırılarak ilgili kapasitenin talebi karşılayıp karşılamadığına göre değerlendirme yapılmaktadır.

Doğrusal olmayan statik itme yöntemleri tek ve çok modlu itme yöntemleri olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Uygulamada sıklıkla kullanılmakta olan sabit tek modlu itme yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar. Değişken tek modlu itme yönteminde ise gözönüne alınan deprem doğrultusunda katlara etkiyen deprem yükü artımları ile bunlarla uyumlu kat yerdeğiştirme artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki her bir itme adımında, daha önce oluşan plastik mafsallar gözönüne alınarak yenilenen serbest titreşim hesabından elde edilen değişken mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar.



Şekil 3.1: Şematik itme eğrisi.

3.2.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap

Zaman tanım alanında analiz, uygulamada kullanılmakta olan mevcut doğrusal olmayan hesap yöntemleri arasında yapının davranışını gerçeğe en yakın olarak temsil edilmesine imkân sağlayan bir hesap metodudur. Bu hesap yöntemi taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışının gerçeğe en uygun şekilde temsil edilmesiyle sistemin hareket denkleminin adım adım integrasyonu esasına dayanmaktadır. Bundan dolayı sistemin rijitlik matrisi zamanla değişmektedir. Analizin her bir adımında oluşan plastik şekildeğiştirmeler, yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetler ile bu oluşan büyüklüklerin maksimum deprem talepleri hesaplanır. Depremin tersinir etkisi göz önüne alınmaktadır.

Çok serbestlik dereceli bir sistemin doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi için sistemin hareket denklemi;

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + \{f_s(u, \dot{u})\} = \{p(t)\} \quad (3.1)$$

Bu denklem sırasıyla $[m]$, $[c]$ $\{f_s(u, \dot{u})\}$ ve kütle matrisini, sönüm matrisini ve katlarda oluşan doğrusal olmayan kesme kuvvetleri vektörünü göstermektedir. $\{p(t)\}$ ise, katlara etkiyen zamana bağlı dış kuvvetin t anındaki değeridir. Sistemin yalnız deprem hareketi etkisinde olduğu durumda yük vektörü, $-[m]\{I\}\{\ddot{u}_g\}$ ye eşit olup, $\{I\}$ birim vektörü, yer ivmesini ifade etmektedir.

Doğrusal olmayan davranışta elemanda çatlama öncesi, çatlama sonrası, akma sonrası ve taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra rijitlik ve şekildeğiştirmeler zamana bağlı olarak değişir, bundan dolayı rijitlik matrisi ve sönüm matrisi zamana bağlı olarak belirtilmelidir. Hareket denkleminin sayısal olarak çözümünde yaklaşık sayısal yöntemler mevcuttur ve bu bahsi geçen yöntemler genel olarak bir önceki adımda elde edilen yapısal sistem davranışı kullanılarak bir sonraki adımdaki davranışın elde edilmesi temeline dayanır.

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az on bir takım deprem yer hareketi kullanılması gerekmektedir. Her bir deprem yer hareketi bir ivme kaydının iki yatay bileşeninden oluşmaktadır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları yapısal sisteme birbirine dik asal eksenleri doğrultusunda aynı anda etkitilecektir. Daha sonra ivme kayıtlarına ait eksenler 90 derece döndürülerek hesap tekrarlanmaktadır. Bu yöntemde de öncelikle statik düşey yüklerin taşıyıcı sisteme

artımsal olarak uygulandığı doğrusal olmayan statik hesap yapılmaktadır. Bu analiz sonucunda bulunan iç kuvvetler ve şekildeğişiklikler, yatay deprem hesabının başlangıç değerleri olarak göz önüne alınmaktadır. Sünek davranış gösteren elemanlarda değerlendirmeye esas şekil değiştirme istemleri ile sünek davranış göstermeyen elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri, yapılan analizlerin (en az $2 \times 11 = 22$ analiz) her birinden elde edilen maksimum yapısal tepkilerin ortalaması olarak hesaplanır.

3.3. Artımsal Dinamik Analiz (Incremental Dynamic Analysis-IDA)

Günümüz dünyasında bilgisayarların işlem kapasitelerinin artması daha kompleks hesap yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Dinamik yüklemeler altında yapıların doğrusal olmayan davranışlarının gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilmesine olanak sağlayan bu yöntem ilk olarak 1977'de ortaya çıkmıştır. Elastik tasarım spektrumuna uygun olarak seçilen kuvvetli yer hareketi kayıtlarının belirlenen adımlarla ölçeklendirilerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerin yapılması ve yapısal sistemde meydana gelecek olan hasar seviyelerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır [Vamvatsikos and Cornell, 2002]. Elde edilen eğriler seçilen bir yapısal karşılık parametresinin (örneğin katlar arası ötelenme oranı) belirlenen bir deprem yer hareketi şiddet parametresine (örneğin maksimum yer ivmesi-PGA) göre değişimini göstermektedir.

3.4. Kırılgenlik Analizi

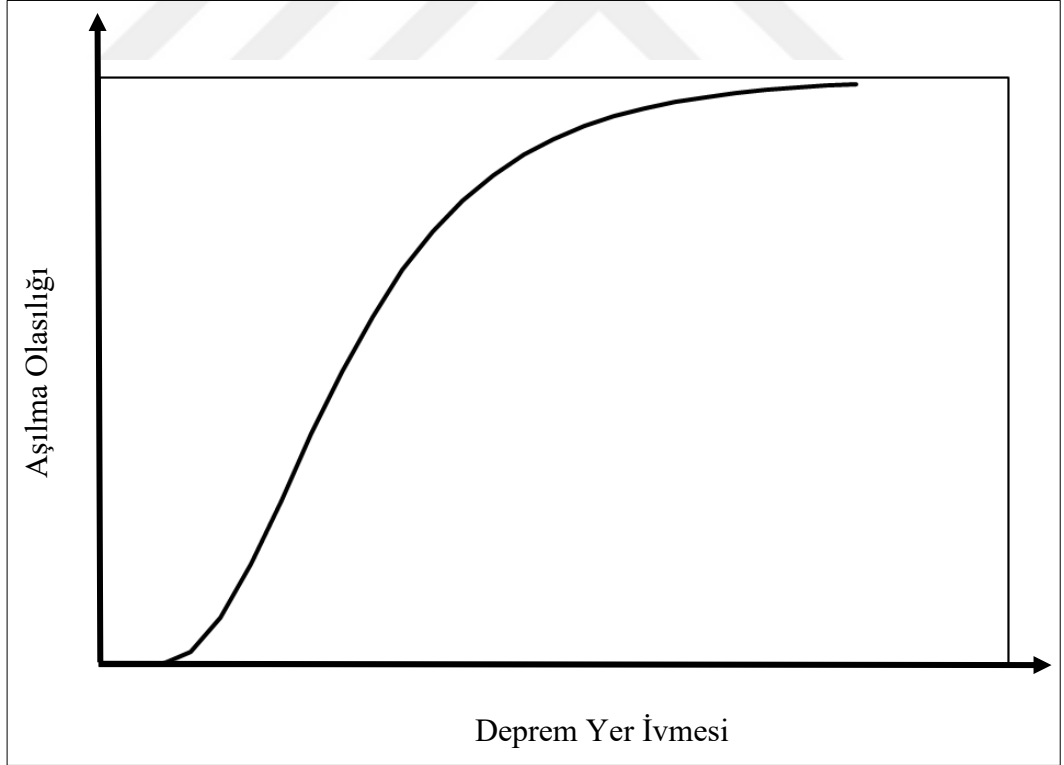
Kırılgenlik analizi, belirli bir coğrafi konumdaki sismik talep etkisi altında, özelde bir yapı genelde ise bir yapı stoku için belirli seviyelerdeki hasarın aşılması olasılığını değerlendirmek üzere yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [Tugsal, 2016]. İstatistiksel analiz sonucunda elde edilen bu eğriler bir olasılık fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Kırılgenlik eğrileri, belirlenen hasar limit durumlarının aşılması olasılığını bir yer hareketi şiddet parametresi ile ilişkilendirmektedir (Şekil 3.2).

Kırılgnlık eğrilerinin fonksiyonu matematiksel olarak aşğıdaki gibi tanımlanmaktadır [Singhal and Kiremidjian, 1996]. Bu denklemde C kapasite, D talep ve S_a yer hareketi şiddet parametresini ifade etmektedir.

$$P(\text{Kırılgnlık}) = P[LS \mid S_a = x] \quad P(LS) = P(C < D) \quad (3.2)$$

Kırılgnlık eğrilerinin literatürde genellikle uygulandığı üzere lognormal dağılım fonksiyonu kullanımıyla ifade edildiğı bağıntı ise denklem 3.3'te verilmektedir. Bu denklemde P, hasar parametresi D'nin, yer hareketi parametresi Y için i hasar düzeyine ilişkin d_i değerine ulaşma veya aşılma olasılığını göstermektedir. Y_{mi} dağılımın medyan değerini, Φ standart normal birikimli dağılım fonksiyonunu, β_i ise aynı dağılımın lognormal standart sapma değerini göstermektedir.

$$P(D \geq d_i \mid Y) = \Phi \left[\frac{1}{\beta_i} \ln \left(\frac{Y}{Y_{mi}} \right) \right] \quad (3.3)$$



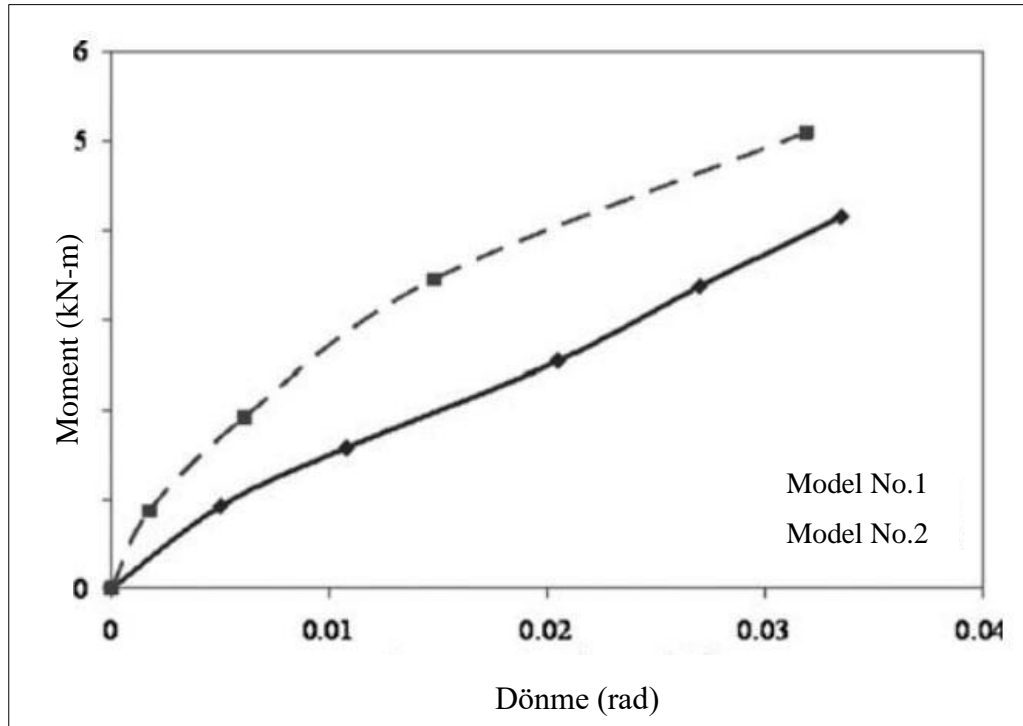
Şekil 3.2: Şematik kırılgnlık eğrisi.

3.5. Depo Raf Sistemleri Özelinde Gerçekleştirilen Yapısal Performans Değerlendirme Çalışmaları

Literatürde çelik depo raf sistemlerinin deprem etkisi altındaki davranışlarının değerlendirilmesi hususunda çok fazla sayıda çalışma bulunmamaktadır. Çelik depo raf sistemleri özelindeki uluslararası normlarda bu sistemlerin yapısal kapasitelerine ait hasar sınır durumlarının belirli olmaması nedeniyle, literatürde konuyla ilgili incelenen çalışmalarda görüldüğü üzere araştırmacılar tarafından farklı yaklaşımlarda bulunduğu değerlendirilmiştir. Depo raf sisteminin bulunduğu yere göre elde edilen maksimum yer hareketi ivmesine göre koridor doğrultusundaki yerdeğiştirme talebini ve kapasitesini değerlendirmek için yerdeğiştirmeye dayalı bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bina yönetmeliklerinde yer alan performans hedefleriyle uyumlu olduğu belirtilmiştir ve uygunluğunu göstermek amacıyla analitik çözümler gerçekleştirilmiştir. Çalışma özelindeki analitik yöntemle incelenen yapısal model Şekil 3.3'de görüldüğü üzere gerçek boyutları ile test merkezinde simüle edilmiş ve böylelikle oluşturulan yapısal model ve deney sonuçları doğrulanmıştır. Önerilen yerdeğiştirmeye dayalı yöntemin uygulanabilirliği, kiriş-kolon bağlantılarının moment-dönme eğrilerinin (Şekil 3.4) mevcudiyetine bağlı olmakla beraber yapısal performans düzeyi geçmenin önlenmesi olarak hedeflenmiştir [Filiatrault et al., 2006].

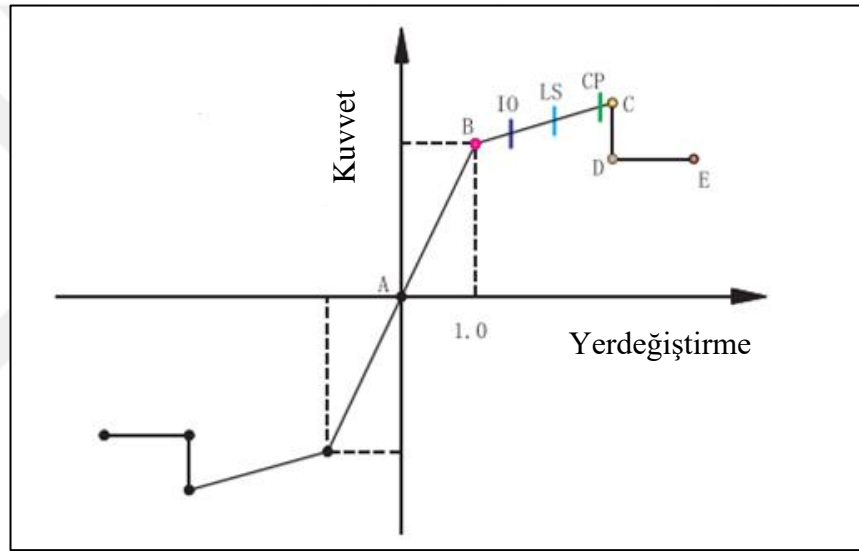


Şekil 3.3: Depo raf sistemi.

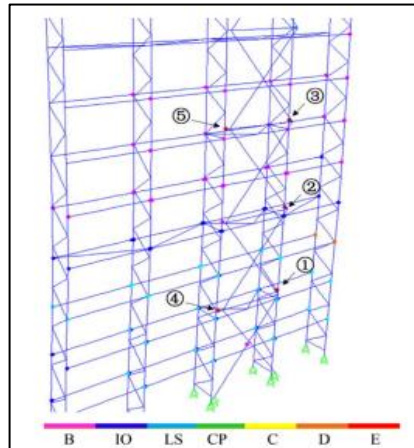


Şekil 3.4: Kiriş-Kolon moment dönme grafiği

Literatürde yer alan çalışmada oluşturulan yapısal modellerde gerçekleştirdikleri doğrusal olmayan çözümlerinde yapısal elemanlar için plastik mafsalları tanımlamalarını ve hasar limit durumlarını FEMA-356'ya göre değerlendirmiştir (Şekil 3.5). Farklı kiriş-kolon bağlantı tiplerinin göz önüne alınarak yapısal modellerin oluşturulduğu çalışmada sonlu elemanlar programı olan Sap 2000 vasıtasıyla doğrusal olmayan statik itme analiz yöntemi çerçevesinde yapısal modellere ait taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme grafikleri elde edilip, az-hasar, orta-hasar ve ağır-hasar olmak üzere 3 farklı performans düzeyi noktası belirlenmiştir [Yin et al., 2018]. Bu hedef yerdeğiştirmelere göre yapısal modellerin performans değerlendirmeleri yapılarak göçme mekanizması incelenmiştir (Şekil 3.6).

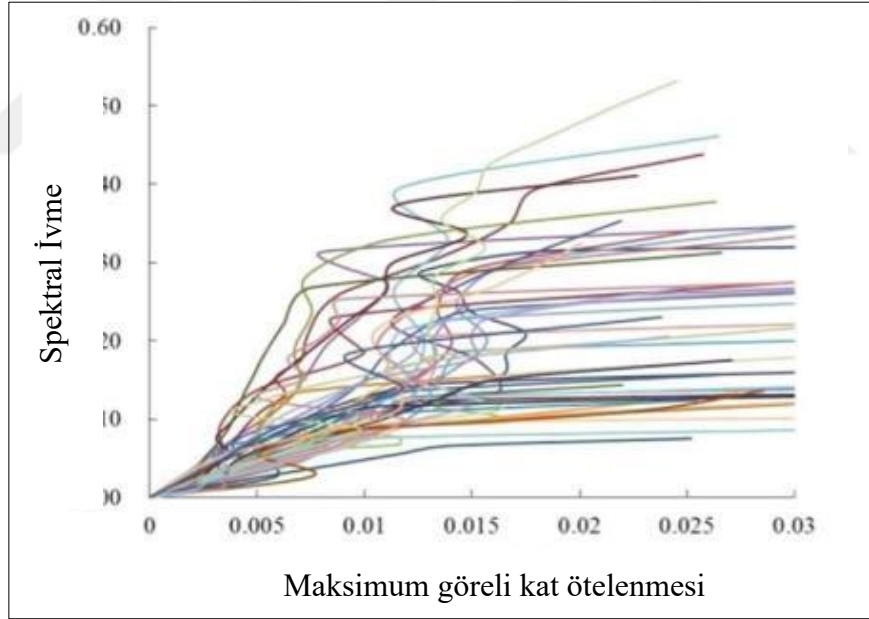


Şekil 3.5: Çelik elemanlar için geliştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.

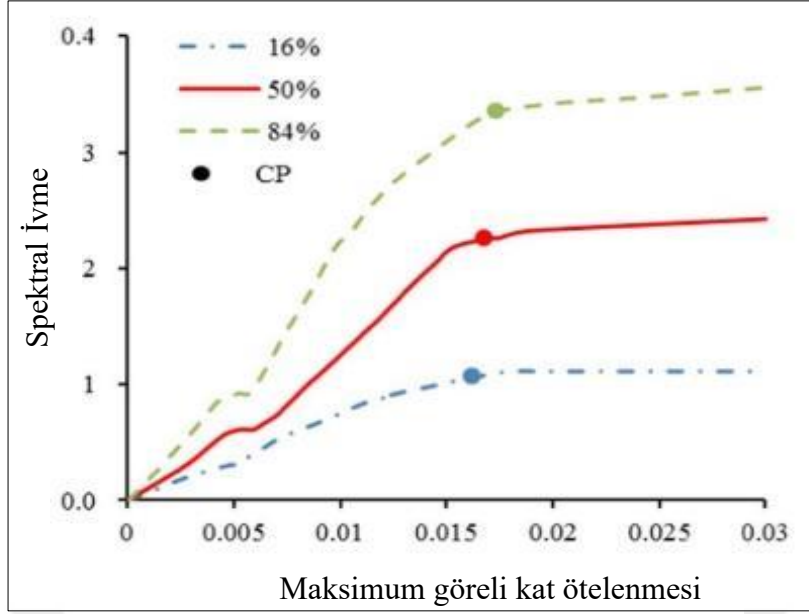


Şekil 3.6: Plastik deformasyon dağılımları.

Önceki çalışmanın devamı niteliğinde gerçekleştirdikleri bir diğer çalışmada oluşturdukları bu yapısal modellerin deprem etkisi altındaki davranışlarını Artımsal Dinamik Analiz (IDA) yöntemi ile değerlendirmiştir. Hesaplamalar iki tip kiriş-kolon bağlantı detayı göz önüne alınarak yapılmış olup, yapısal modellemeler aynı kalmak koşuluyla birleşimlerin histeretik davranışı deneysel testlerden edilen veriler ile multi-linear link eleman olarak tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerde 22 takım kuvvetli yer hareketi kaydı kullanılarak, toplamda 44 deprem yer hareketi etkisi altında dinamik analizleri gerçekleştirilerek IDA eğrileri (spektral ivme-maksimum görelî kat ötelenmeleri) elde edilmiştir. Sistemin göçme noktasını tahmin etmek için birleşik bir IM (deprem düzeyi) / DM (hasar düzeyi) tabanlı kural kullanılmış olup, IM için S_a , DM için ise maksimum görelî kat ötelenmesi oranı dikkate alınmıştır. $DM \geq 0.02$ olduğunda rafın göçmüş olduğu ve bu noktadaki teğet eğimin elastik eğimin %20'sinden düşük olduğu kabul edilerek bu doğrultuda kırılma eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8), [Yin et al., 2018].

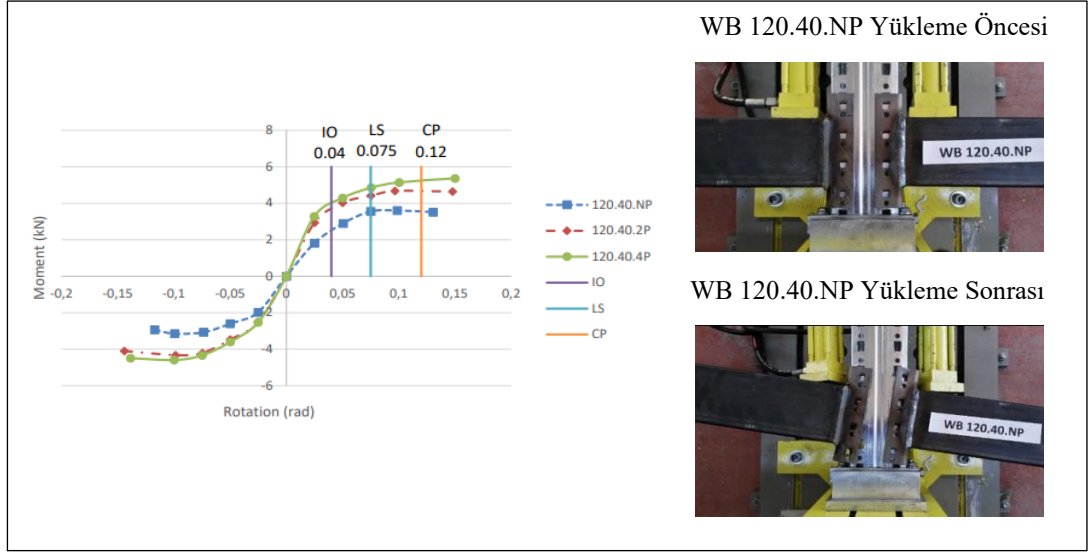


Şekil 3.7: IDA Eğrileri.



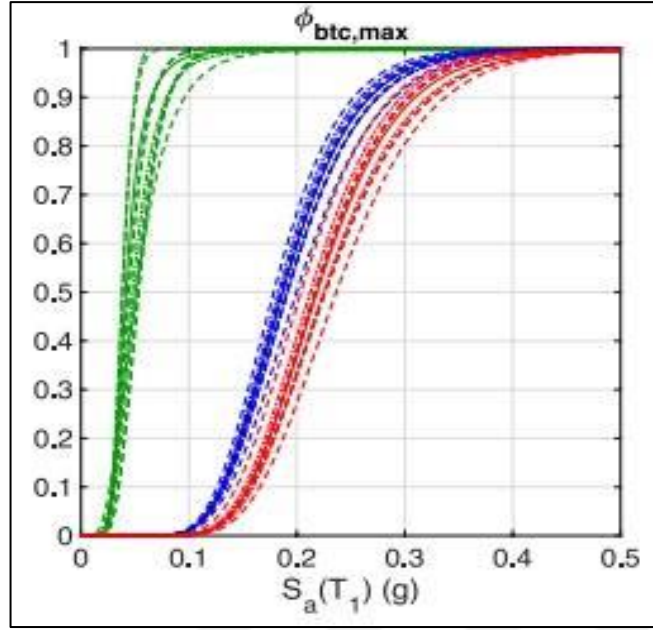
Şekil 3.8: Kırılma eğrileri.

Son yıllarda yapılan bir çalışmada oluşturmuş olduğu yapısal modellerde 3 farklı kiriş eleman enkesiti göz önüne almıştır (WB.100.40, WB.120.40, WB.140.40). Kiriş-kolon bağlantı tipleri için 3 farklı birleşim detayının irdelendiği bu çalışmada bağlantıların kancalı, 2 civatalı ve 4 civatalı olması durumuna göre toplamda 9 farklı tipe göre ‘*Specification for the Design, Testing and Utilization of Industrial Steel Storage Racks (RMI 2012)*’ normu çerçevesinde deneysel testler gerçekleştirmiş olup, bağlantı tiplerinin moment-dönme ilişkileri elde edilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre göz önüne alınan her bir farklı bağlantı tipi için hemen kullanım (IO), can güvenliği (LS) ve göçme öncesi (CP) performans seviyeleri belirlenmiştir (Şekil 3.9). Deneysel testlerden edilen verilere göre kiriş-kolon bağlantıları multi-linear link eleman olarak tanımlanmış olup ilgili modellerin bazılarında deneylerde oluşan plastik deformasyon durumlarına göre plastik mafsalları tanımlanmıştır [Elkadi, 2019].



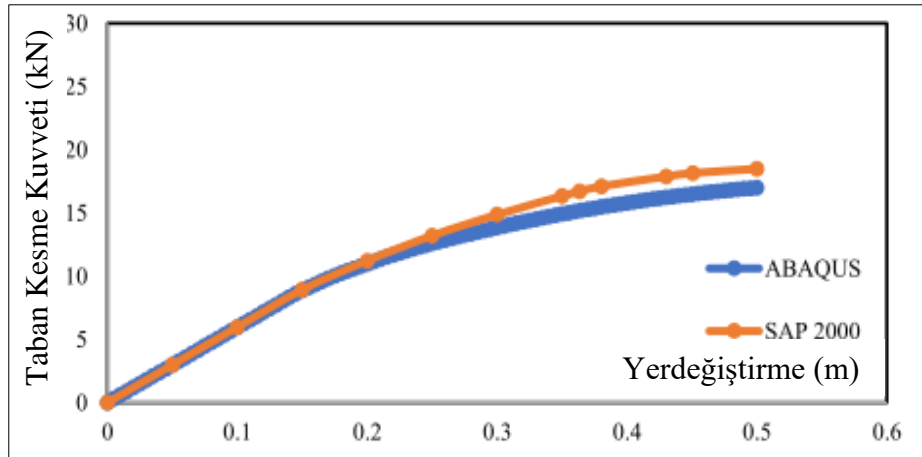
Şekil 3.9: Kiriş-Kolon moment dönme grafiği ve test düzeneği.

Depo raf sistemlerinin yapısal performansları malzeme özellikleri, kiriş-kolon bağlantı detayı, palet yüklerinin düzeni, malzeme imalat hataları gibi unsurlardan etkilendiği için bu sistemlerdeki belirsizlikler dinamik davranışlarını da önemli ölçüde değiştirmektedir. Malzeme özelliklerinin ve bağlantı detaylarının mühendislik talep parametreleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada yapısal sistemlerde meydana gelen hasarı tahmin etmek için üç farklı parametre seçilmiştir: i) maksimum kat ötelenmesi, ii) kiriş-kolon bağlantılarındaki maksimum dönme ve iii) taban plakasındaki maksimum dönme. Performans seviyeleri için üç sınır durum dikkate alınmıştır: Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Öncesi. Uluslararası standartlarda depo raf sistemlerine ait herhangi bir performans seviyesi belirtilmediği gerekçesiyle göz önüne alınan her bir sınır durum için mühendislik parametrelerinin kapasite değerleri, doğrusal olmayan statik itme analizleri, değişen akma momenti kapasiteleri, kiriş-kolon ve taban-plaka bağlantı kapasiteleri değerlendirilerek elde edilmiştir. Belirlenen üç hasar limit durumuna göre oluşturulan kırılma eğrileri Şekil 3.10' da verilmiştir [Gabbianelli et al., 2019].

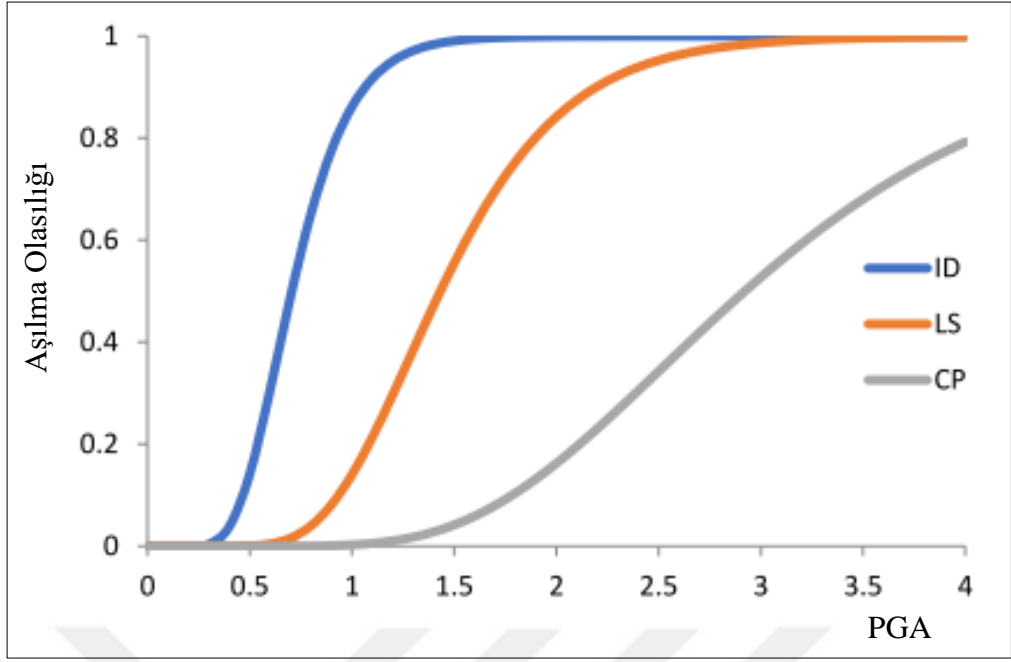


Şekil 3.10: 3 Farklı hasar limit durumuna ait kırılganlık eğrileri.

Depo raf sistemlerinin deprem davranışlarını 3 farklı limit hasar seviyesine göre değerlendirildiği çalışmada, bu hasar seviyelerini maksimum katlar arası ötelenme ve maksimum kolon-kiriş bağlantı dönmelerine göre belirlemiştir. Raf sistemlerine ait limit sınır değerleri olmamasından dolayı her bir limit değeri doğrusal olmayan statik itme analizi ile elde etmiştir. Hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi hasar sınırlarını sırasıyla %1, %2 ve %4 görece kat ötelenmesi oranı olarak belirlemiş olup artımsal dinamik analizi ile elde ettiği IDA grafikleri doğrultusunda 3 farklı hasar seviyesine göre kırılganlık eğrilerini oluşturmuştur (Şekil 3.11 ve 3.12), [Jaradat, 2020].



Şekil 3.11: Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafiği.



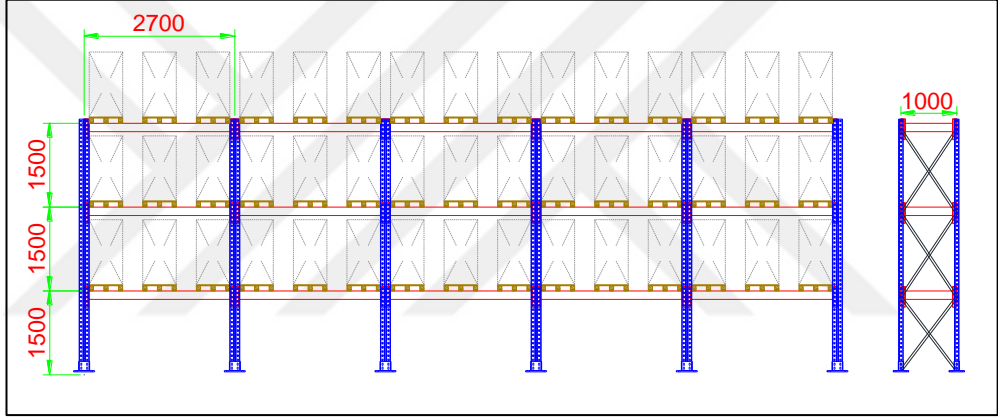
Şekil 3.12: Kırılma eğrisi.

3.6. Tezin Katkısı

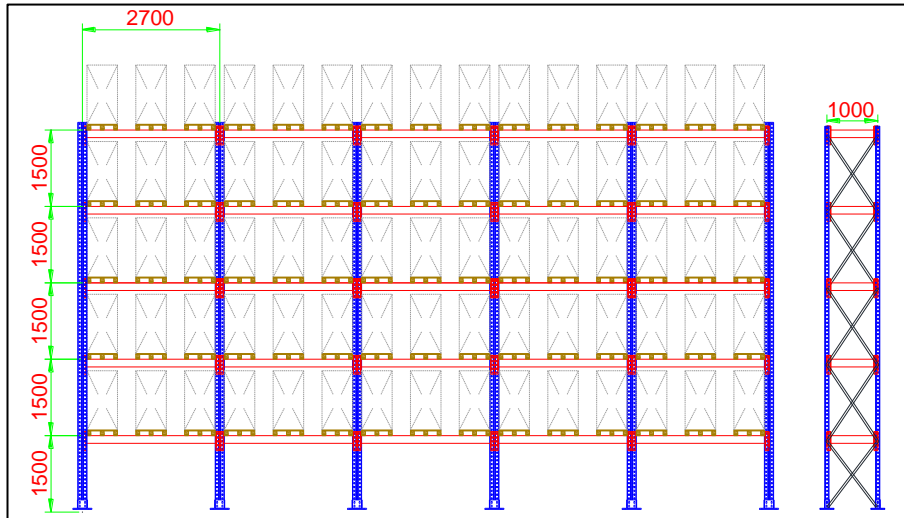
Çelik depo raf sistemleri ile ilgili olarak son yıllarda yapılan araştırmalar, bu sistemlerinin tasarımıyla ve performanslarının değerlendirilmesiyle ilgili birçok farklı bulguyu ortaya çıkarmıştır. Ancak, her bir hasar sınır durumu için mühendislik talep parametrelerinin kapasite değerleri hala çok net olarak belirlenememiştir. Bu araştırmada yapısal hasarın limit durumları yapısal kapasite eğrileri, moment-dönme ilişkileri ve göreceli ötelenme analiz bulguları değerlendirilerek belirlenmiştir. Bu bağlamda, doğrusal olmayan statik analiz sonuçlarına bağlı olarak elde edilen yapısal kapasiteler doğrusal olmayan artımsal dinamik analizi sonuçları ile birlikte değerlendirilerek bu sınırlar belirlenmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen artımsal dinamik analiz sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi doğrultusunda 2 farklı yüksekliğe ve farklı bağlantı detaylarına sahip olarak yapısal modelleri oluşturulan çelik depo raf sistemleri için kırılma eğrileri elde edilmiştir.

4.SAYISAL MODELLEME

Gebze Organize Sanayi bölgesinde konumlandığı düşünölen 3- ve 5-katlı endüstriyel depo raf sistemlerinin yapısal modelleri sonlu elemanlar programı aracılığıyla modellenmiştir. Yapısal modellerde kat yüksekliği 1500 mm aks açıklıkları ise 2700 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Yanal stabilitenin sağlanması amacıyla EN 15512 ve EN 16681 normları çerçevesinde yapısal modeller orta aksta düşey ve yatay doğrultuda tek çerçevede çapraz elemanlar kullanılarak tasarlanmıştır. Palet üzerindeki yükler literatürde yapılmış benzer çalışmalara dayanarak belirlenmiştir.



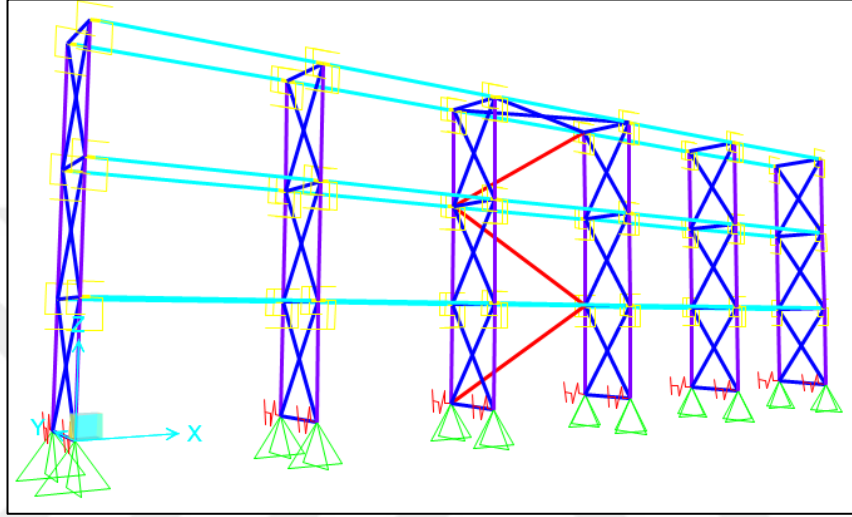
Şekil 4.1: 3 Katlı model.



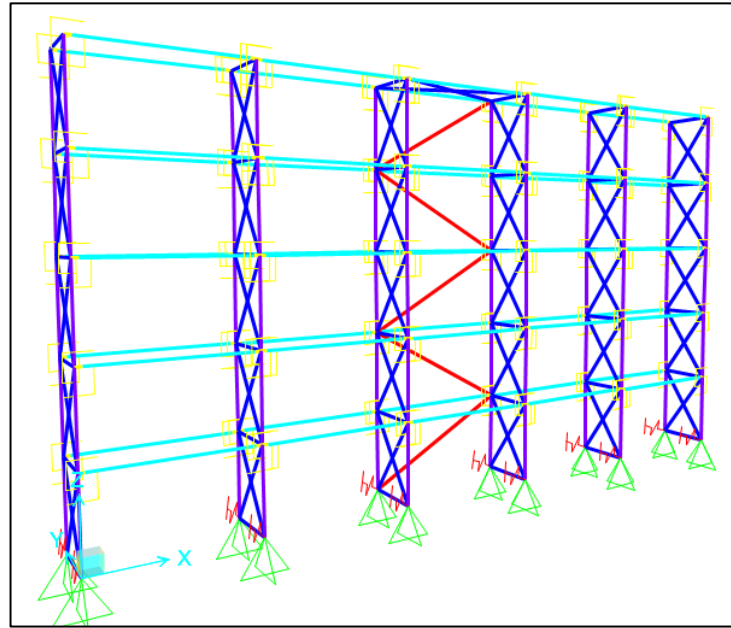
Şekil 4.2: 5 Katlı model.

4.1. Model Tanımlamaları

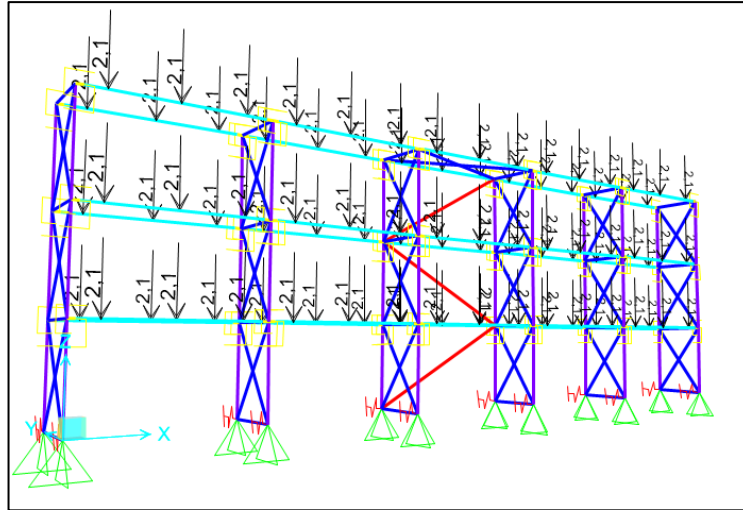
Yapısal modeller sonlu elemanlar programı olan Sap 2000 V21'de oluşturulmuştur (Şekil 4.3 ve 4.4). Raflar üzerindeki palet ağırlıkları Avrupa standartlarında belirtildiği üzere hesaplanmış ve kirişlerin üzerine noktasal olarak eklenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.3: 3-katlı yapısal model.



Şekil 4.4: 5-katlı yapısal model.



Şekil 4.5: Palet ağırlığı (kN).

4.1.1. Malzeme Mekanik Özellikleri

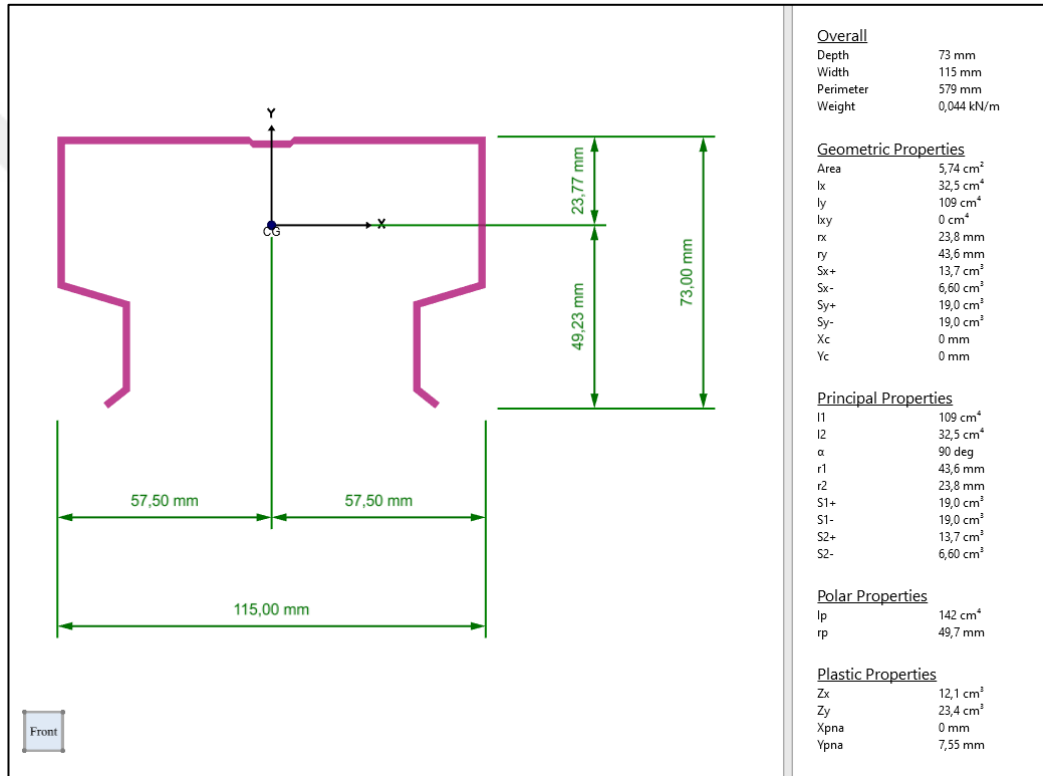
Yapısal modellemede kullanılan profillerin malzemesi S235 çelik olarak belirlenmiştir. Yapısal analiz için kullanılan SAP 2000 programında malzemeye ait tanımlama aşağıda belirtilmiştir.

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	S235
Material Type	Steel
Material Grade	S235
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7,697E-05
Mass per Unit Volume	7,849E-09
Units	
N, mm, C	
Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	210000,
Poisson, U	0,3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,170E-05
Shear Modulus, G	80769,23
Other Properties For Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	235,
Minimum Tensile Stress, Fu	360,
Expected Yield Stress, Fye	258,5
Expected Tensile Stress, Fue	396,

Şekil 4.6: S235 çelik mekanik özellikleri.

4.1.2. Yapısal Modellerde Kullanılan Profil Özellikleri

Depo raf sistemlerinin tasarımında soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin kullanımını büyük avantaj oluşturmaktadır. Tez kapsamında kullanılan profillerin mekanik özellikleri Şekil 4.7- 4.10'da gösterilmiştir. Kolon etkin kesit alanı $5,74 \text{ cm}^2$ X yönündeki atalet momenti $32,5 \text{ cm}^4$, Y yönündeki atalet momenti ise 109 cm^4 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.9) . Y yönündeki dayanımı X yönüne göre daha güçlü olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7: Kolon elemanının mekanik özellikleri (S235 çelik).

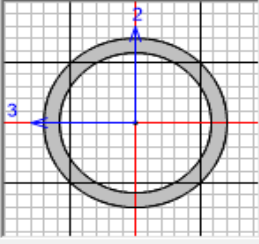
Kiriş elemanı için genişliği 40 mm, derinliği 120 mm, et kalınlığı 2 mm olan bir dikdörtgen kesit kullanılmıştır (Şekil 4.8). Yapısal modellemelerde kullanılan çapraz elemanlardan biri 40 mm genişliği, 40 mm derinliği, 1,5 mm et kalınlığı olan U büküm profil (Şekil 4.9) diğeri ise 30 mm çapında 2,5 mm et kalınlığında olan dairesel elemandır (Şekil 4.10).

Dimensions		Section	
Outside depth (t3)	120,		
Outside width (t2)	40,		
Flange thickness (tf)	2,		
Web thickness (tw)	2,		
Cross-section (axial) area	624,	Section modulus about 3 axis	17955,2
Moment of Inertia about 3 axis	1077312,	Section modulus about 2 axis	9449,6
Moment of Inertia about 2 axis	188992,	Plastic modulus about 3 axis	22896,
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	10416,
Shear area in 2 direction	480,	Radius of Gyration about 3 axis	41,5507
Shear area in 3 direction	160,	Radius of Gyration about 2 axis	17,4032
Torsional constant	515545,	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Şekil 4.8: Kiriş elemanın özellikleri, mm (S235 çelik).

Dimensions		Section	
Outside Height (A)	40,		
Outside Width (B)	40,		
Thickness (t)	1,5		
Radius (R)	1,5		
Lip Depth (C)	6,		
Cross-section (axial) area	183,2058	Section modulus about 3 axis	2604,9438
Moment of Inertia about 3 axis	52098,88	Section modulus about 2 axis	1462,6327
Moment of Inertia about 2 axis	35707,36	Plastic modulus about 3 axis	2604,9438
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	1462,6327
Shear area in 2 direction	51,	Radius of Gyration about 3 axis	16,8634
Shear area in 3 direction	102,	Radius of Gyration about 2 axis	13,9608
Torsional constant	137,4043	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

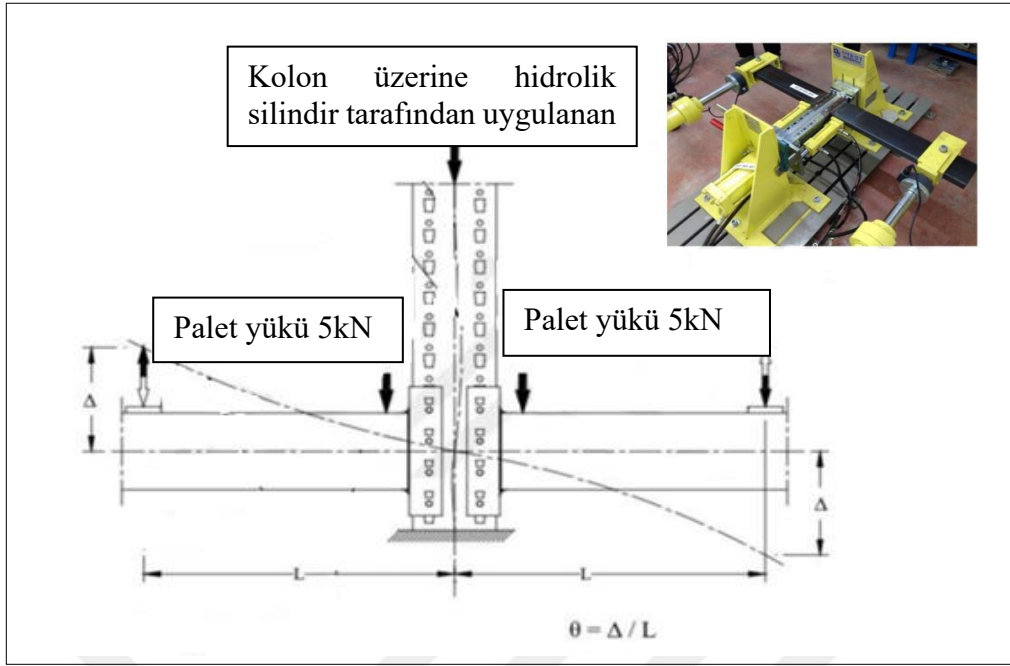
Şekil 4.9: Çapraz elemanın özellikleri, mm (S235 çelik).

Dimensions		Section	
Outside diameter (t3)	30,		
Wall thickness (tw)	2,5		
Cross-section (axial) area	215,9845	Section modulus about 3 axis	1372,4015
Moment of Inertia about 3 axis	20586,022	Section modulus about 2 axis	1372,4015
Moment of Inertia about 2 axis	20586,022	Plastic modulus about 3 axis	1895,8333
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	1895,8333
Shear area in 2 direction	108,5856	Radius of Gyration about 3 axis	9,7628
Shear area in 3 direction	108,5856	Radius of Gyration about 2 axis	9,7628
Torsional constant	41172,04	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Şekil 4.10: Dairesel çapraz elemanın özellikleri, mm (S235 çelik).

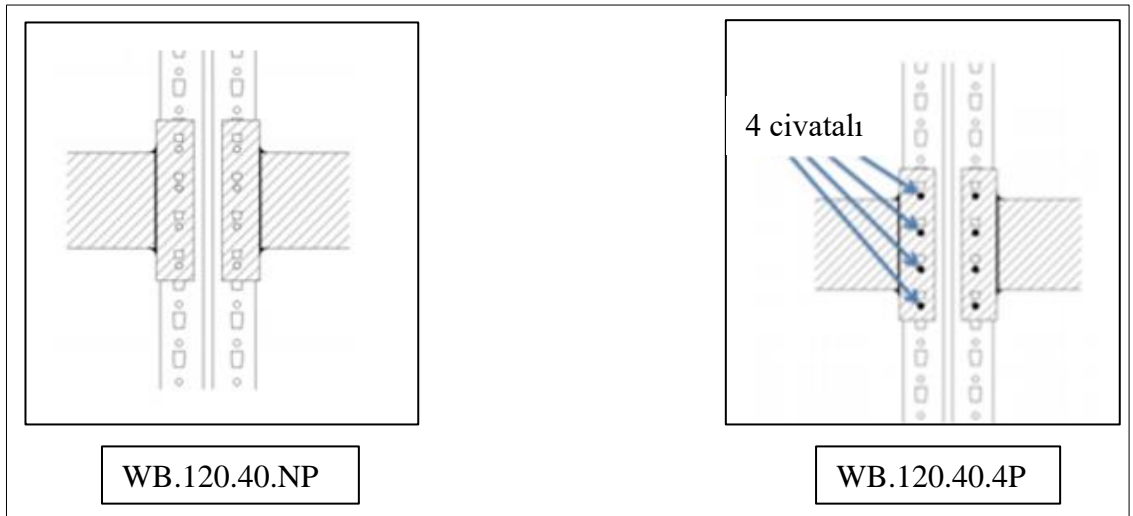
4.1.3. Kolon-Kiriş Bağlantı Elemanlarının Moment-Dönme İlişkileri

Oluşturulan yapısal modellerde kolon-kiriş bağlantı noktalarının moment-eğrilik ilişkileri literatürde yer alan detaylı deneysel çalışmanın bulgularından alınmıştır [Elkadi, 2019]. Bu bahsi geçen kapsamlı çalışmada yürütülen testlerin kurulumu Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Testlerde üç farklı kiriş derinliği (100 mm, 120 mm ve 140 mm kutu kesitler) incelenmiştir. Tüm testlerde aynı kolon kesiti kullanılmıştır. Ayrıca kolon uzunluğu 500 mm ve kiriş uzunluğu 750 mm olarak sabit kabul edilmiştir. Test sırasında bir hidrolik silindir tarafından raf kolonuna sabit 50 kN aksel sıkıştırma yükü uygulanırken, palet yüklerini simüle etmek için kirişin her iki yanına 5 kN'luk kuvvet etkilmiştir.



Şekil 4.11: Test düzeneğinin şematik gösterimi.

Bağlantı tipleri için deneysel testlerde üç farklı bağlantı detayı benimsenmiştir (kancalı, her iki tarafa 2 pin ve her iki tarafa 4 pin eklenmiştir). Bu çalışma kapsamında yapısal modeller oluşturulurken, kolon-kiriş bağlantı detayının yapısal davranışa etkisinin incelenmesi amacıyla 2 tip bağlantı detayı göz önüne alınmış ve ilgili bağlantılar 4 civatalı (WB. 120.40.4P) ve kancalı (WB.120.40.NP) bağlantılar olarak belirlenmiştir. Şekil 4.12’de göz önüne alınan bağlantı tipleri şematik olarak görülebilmektedir. Bu bağlantı tiplerine ait deneysel olarak elde edilmiş olan moment-dönme ilişkileri Tablo 4.1’de verilmektedir.



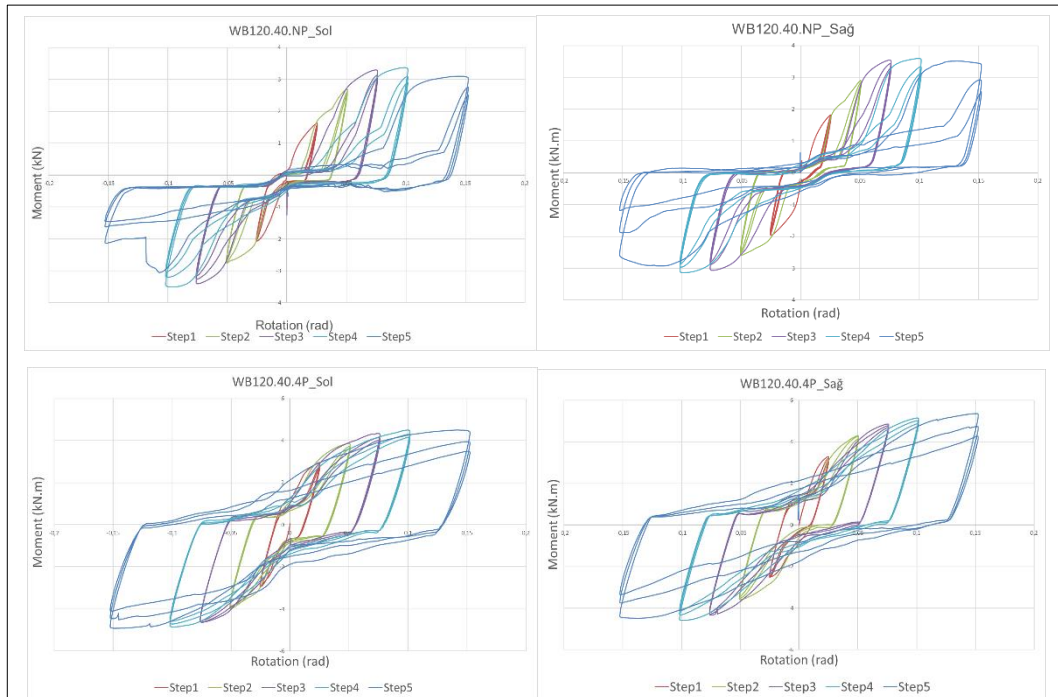
Şekil 4.12: Bağlantı tipleri.

Tablo 4.1: Kiriş-kolon moment dönme ilişkileri, kN.m- rad.

Adım	WB.120.40.NP							
	SOL				SAĞ			
	Rot	Mom	Rot	Mom	Rot	Mom	Rot	Mom
1	0,03	1,63	-0,03	-2,06	0,03	1,82	-0,03	-1,97
2	0,05	2,70	-0,05	-2,76	0,05	2,90	-0,05	-2,60
3	0,07	3,30	-0,07	-3,40	0,08	3,55	-0,07	-3,07
4	0,10	3,36	-0,10	-3,51	0,10	3,60	-0,10	-3,15
5	0,15	3,10	-0,11	-3,05	0,13	3,52	-0,12	-2,94

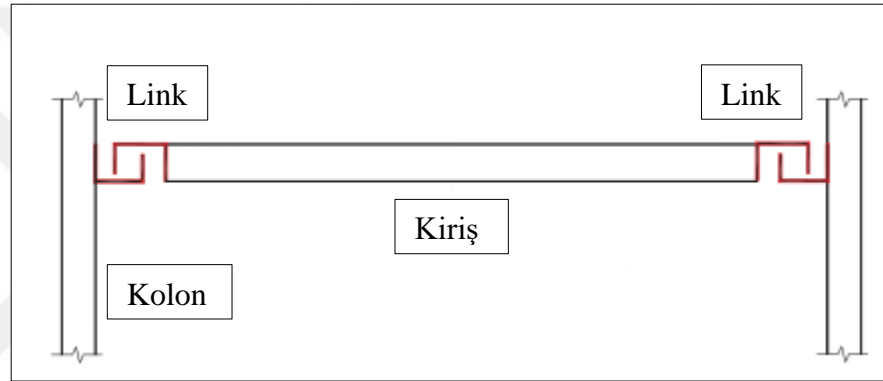
Adım	WB.120.40.4P							
	SOL				SAĞ			
	Rot	Mom	Rot	Mom	Rot	Mom	Rot	Mom
1	0,02	2,96	-0,03	-2,96	0,03	3,28	-0,03	-2,53
2	0,05	3,86	-0,05	-3,97	0,05	4,29	-0,05	-3,60
3	0,08	4,35	-0,07	-4,62	0,08	4,85	-0,07	-4,34
4	0,10	4,50	-0,10	-4,85	0,10	5,14	-0,10	-4,59
5	0,14	4,51	-0,15	-4,92	0,15	5,37	-0,14	-4,49

Kancalı ve 4 civatalı birleşimlere ait histeretik davranışları gösteren eğriler Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Kirişlerin sol ve sağ ucu için ayrı ayrı ifade edilmiştir [Elkadi, 2019].



Şekil 4.13: WB120.40.NP ve WB.120.40.4P moment eğrilik ilişkileri.

Oluşturulan yapısal modeller için koridor doğrultusundaki davranış göz önüne alınmıştır. Depo raf sistemlerinin kiriş-kolon bağlantı rijitlikleri deprem performansını belirlemektedir. Literatürde yer alan çalışmada koridor doğrultusunda depo raf sistemlerinin göçme durumunu incelemektedir [Filiatrault et al., 2006]. Yapısal modelde doğrusal olmayan davranışın kiriş-kolon birleşim bölgelerinde oluştuğunu kabul etmekte ve bu kabule göre kiriş ve kolon elemanlarının davranışları elastik sınırlar içerisinde kalmaktadır. Kolon-kiriş birleşimleri SAP2000 programında multilinear plastik link eleman olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.14). Sayısal modelleme aracı olarak kullanılan SAP 2000 programındaki tanımlamalar ise Şekil 4.15’de gösterilmiştir [Yin et al., 2018].



Şekil 4.14: Link eleman.

Link/Support Property Data

Link/Support Type: MultiLinear Plastic
Property Name: sol kiriş ucu
Property Notes:
P-Delta Parameters:
 Shear Couple
 Equal End Moments
 Advanced

Total Mass and Weight
Mass: 0,
Weight: 0,
Rotational Inertia 1: 0,
Rotational Inertia 2: 0,
Rotational Inertia 3: 0,

Factors For Line, Area and Solid Springs
Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1,
Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1,

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	Nonlinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input checked="" type="checkbox"/> R1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input checked="" type="checkbox"/> R2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input checked="" type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Stiffness Options
Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear
Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)
Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1,

Link/Support Directional Properties

Edit

Identification
Property Name: sol kiriş ucu
Direction: R3
Type: MultiLinear Plastic
NonLinear: Yes

Hysteresis Type And Parameters
Hysteresis Type: Kinematic
No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Properties Used For Linear Analysis Cases
Effective Stiffness: 0,
Effective Damping: 0,

Multi-Linear Force-Deformation Definition

	Rotation	Moment
1	-0,11	-3,05
2	-0,1	-3,51
3	-0,07	-3,4
4	-0,05	-2,76

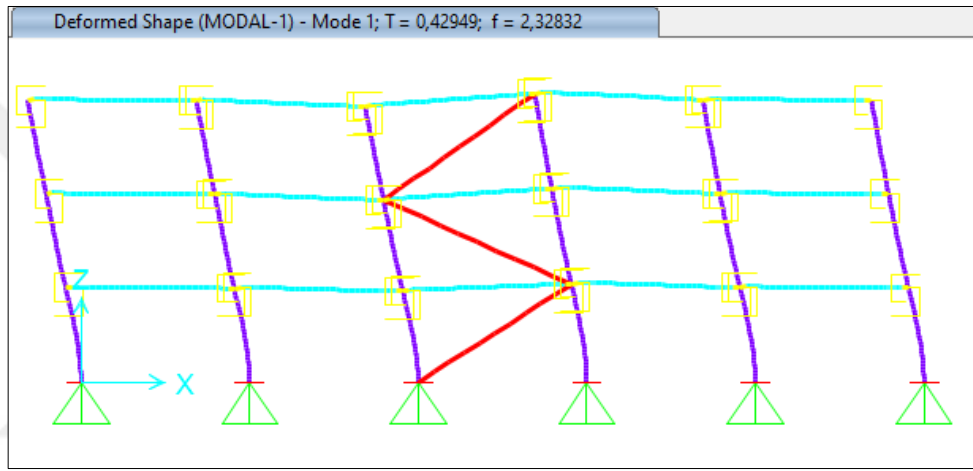
Hysteresis Definition Sketch
Kinematic Hysteresis Model
Action
Deformation

OK Cancel

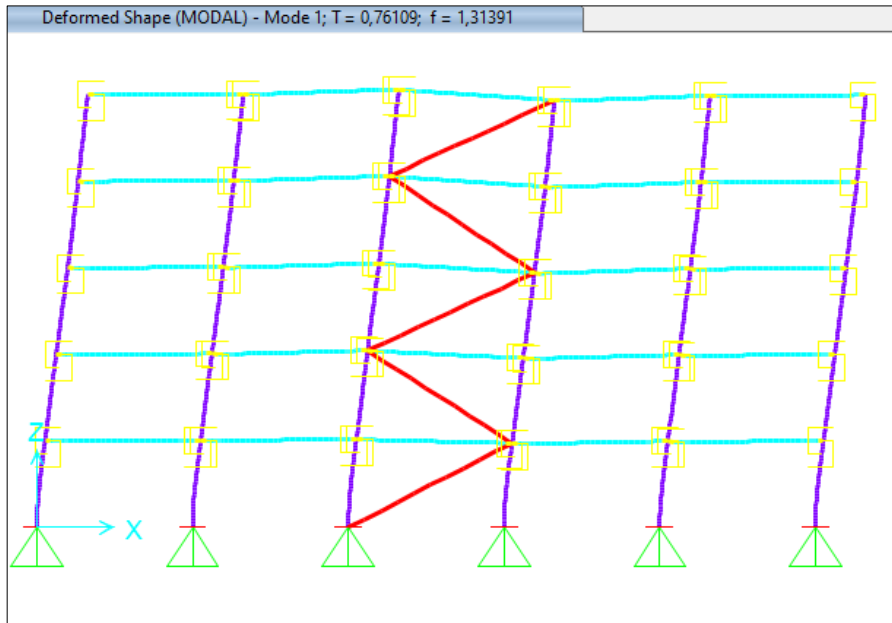
Şekil 4.15: WB 120.40.NP Kiriş-sol ucu moment-dönme ilişkisi tanımlaması.

5. DEPREM ETKİSİ ALTINDA ELDE EDİLEN BULGULAR

Yapısal modellerin oluşturulmasının ardından ilk etapta gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarına göre 3-ve 5- katlı modellerinin hakim titreşim periyotları belirlenmiştir. 3 katlı yapısal model için %76 kütle katılım oranına sahip hakim titreşim periyodu 0.43 s, 5- katlı yapısal model için %71 kütle katılım oranına sahip hakim titreşim periyodu 0.76 s olarak elde edilmiştir. Her iki yapısal modele ait 1. mod şekilleri sırasıyla Şekil 5.1 ve 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.1: 3- katlı modele ait 1.mod şekli.



Şekil 5.2: 5- katlı modele ait 1.mod şekli.

Daha önceki bölümlerde ifade edildiği üzere EN 16681 normunda depo raf sistemlerinin yapısal analizlerinde kullanılacak olan hesap yönteminin seçimi ile ilgili belli kısıtlamalar ve yönlendirmeler mevcuttur. Yapısal modelleri oluşturulan sistemler ilk olarak EN 16681 normuna göre bu bağlamda değerlendirilmiştir. Bölüm 2.2’de detayları verildiği üzere katlar arası ötelenme oranı (θ_i) değerine göre hesap yöntemi belirlenmektedir. Bu amaçla ilk olarak Gebze Organize Sanayi bölgesinde ZC yerel zemin sınıfında konumlandığı kabul edilen depo raf sistemleri için TBDY-2018 çerçevesinde kullanılmakta olan deprem tehlikesi haritası esas alınarak DD-2 deprem seviyesine göre olası deprem yer hareketi parametreleri Şekil 5.3’de verildiği üzere belirlenmiştir.

Rapor Başlığı:	DD-2	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı: %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	40.84497°	
Boylam	29.421111°	
Çıktılar		
<hr/>		
$S_S = 1.179$	$S_1 = 0.325$	$PGA = 0.483$
		$PGV = 31.324$
S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]		
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]		
PGA : En büyük yer ivmesi [g]		
PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]		

Şekil 5.3: DD-2 deprem yer hareketi düzeyi ve ZC yerel zemin sınıfına göre deprem yer hareketi parametreleri.

İlgili deprem tehlikesine ait yer hareketi parametreleri kullanılarak taban kesme kuvvetleri EN 1998-1 normunda LFMA yöntemine göre elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemini baz alan Sap 2000 programı ile hazırlanmış olan 3- ve 5-katlı modeller belirlenen deprem yükleri etkisinde çözülerek her bir katın yerdeğiştirmesi elde edilmiştir. Yapısal sistemlere ait katlar arası ötelenme oranı (θ_i) değerleri belirlenmiş ve Tablo 5.1’de sunulmuştur. İlgili değerler EN 16681’de verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak analiz yöntemi doğrusal olmayan hesap yöntemleri olarak belirlenmiştir.

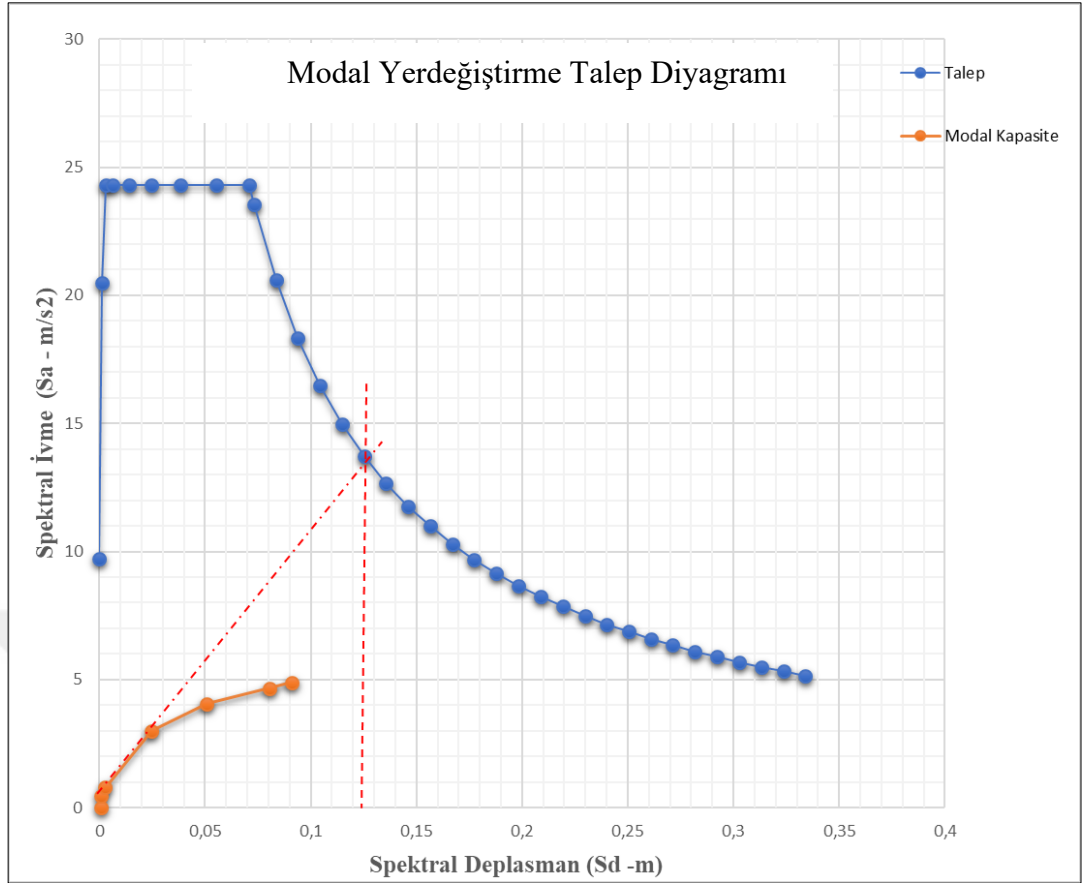
Tablo 5.1: θ_i (katlar arası ötelenme oranı) değerleri.

3 KATLI MODEL					
Kat	$V_{e,i}(kN)$	$P_{e,i}(kN)$	$h_i(m)$	$d_{ri}(m)$	θ_i
3	12,5	65,25	1,5	0,0115	0,04
2	8,3	65,25	1,5	0,0185	0,10
1	4,2	65,25	1,5	0,032	0,33
				Maks θ_i	0,33
5 KATLI MODEL					
Kat	$V_{e,i}$	$P_{e,i}$	h_i	d_{ri}	θ_i
5	13,3	65,25	1,5	0,005	0,02
4	10,7	65,25	1,5	0,0165	0,07
3	8,0	65,25	1,5	0,027	0,15
2	5,3	65,25	1,5	0,02	0,16
1	2,7	65,25	1,5	0,0235	0,38
				Maks θ_i	0,38

5.1. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Türkiye Deprem Tehlike Haritası göz önüne alınarak Gebze Organize Sanayi Bölgesinde yer aldığı düşünülen yapısal sistemlerin doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar programı olan SAP2000 ile kurulan yapısal modellerin hâkim doğal titreşim mod şekli genliği ile orantılı yatay yük dağılımları belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi ilişkisi olarak itme eğrileri elde edilmiş ve daha sonra bu eğrilerin koordinatları dönüştürülmesiyle modal tek serbestlik dereceli sisteme ait modal ivme – modal yer değiştirme ilişkisi olarak modal kapasite diyagramları elde edilmiştir. Şekil 5.4'deki örnek hesapta görüldüğü gibi modal talep ve kapasite eğrisinin çakıştırılması ile talep yer değiştirmeler belirlenmiştir. Talep yer değiştirmeler Tablo 5.2'de özetlenmiştir.

Talep yer değiştirmeleri göz önüne alınarak doğrusal olmayan statik itme analizleri yenilenmiş ve göz önüne alınan her bir yapısal model için koridor yönündeki itme eğrisi elde edilmiş ve karşılaştırılmalı kapasite diyagramları Şekil 5.6'da sunulmuştur.



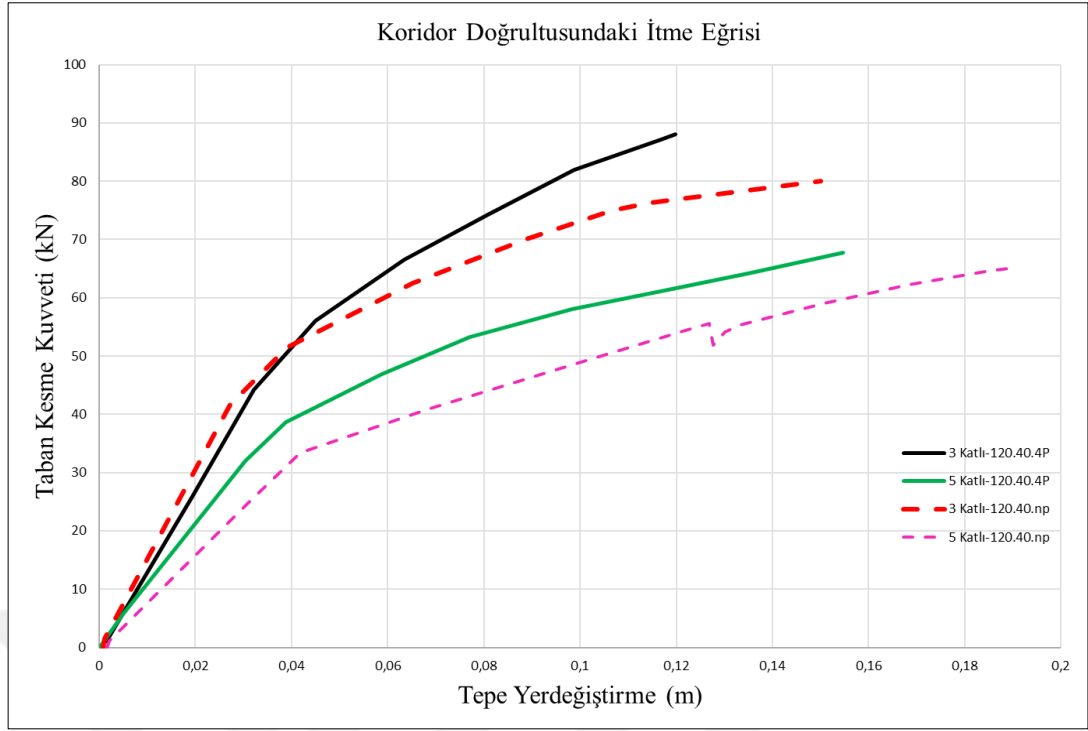
Şekil 5.4: WB 120.40.4p- 3 Katlı modal yerdeğiştirme talep diyagramı.

Parametreler		Sonuç (m)	
Γ_1	35,55	$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)}$	
Φ	0,033		
ΣM	20	d1(p)	0,125
M%	76,000%	uxN1(p)	0,147
Meff	15,2		

Şekil 5.5: WB 120.40.4p- 3 Katlı talep deplasman.

Tablo 5.2: Talep deplasman değerleri.

Model	Γ_1	Φ	ΣM (kN-s2/m)	M%	Meff	d1(p)[m]	uxN1(p)[m]
WB 120.40.NP-3Katlı	35,55	0,0330	20	76	15	0,132	0,154
WB 120.40.4P-3Katlı	35,55	0,0330	20	76	15	0,125	0,146
WB 120.40.NP-5Katlı	43,97	0,0267	33	71	24	0,2	0,235
WB 120.40.4P-5Katlı	43,97	0,0267	33	71	24	0,19	0,223



Şekil 5.6: Koridor doğrultusundaki itme eğrisi.

3 ve 5 katlı WB.120.40.4P yapı modelleri 3 ve 5 katlı WB.120.40.NP yapı modellerine göre daha çok taban kesme kuvveti taşımakla beraber daha az tepe yerdeğiştirmesi yapmıştır. 5 Katlı modellerde taban kesme kuvveti kapasitesi 3 katlı modellere göre daha düşük çıkmakta ama tepe yerdeğiştirmeleri artmaktadır.

Raf sistemleri standartları tarafından yapısal kapasitelere ait hasar sınır durumları belirli olmaması nedeniyle, literatürde konuyla ilgili incelenen diğer çalışmalarda olduğu üzere, her bir sınır durumu için doğrusal olmayan statik itme ve artımsal dinamik analiz sonuçları birlikte değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar bir sonraki bölümde detaylıca açıklanmıştır.

5.2. Doğrusal Olmayan Artımsal Dinamik Analiz

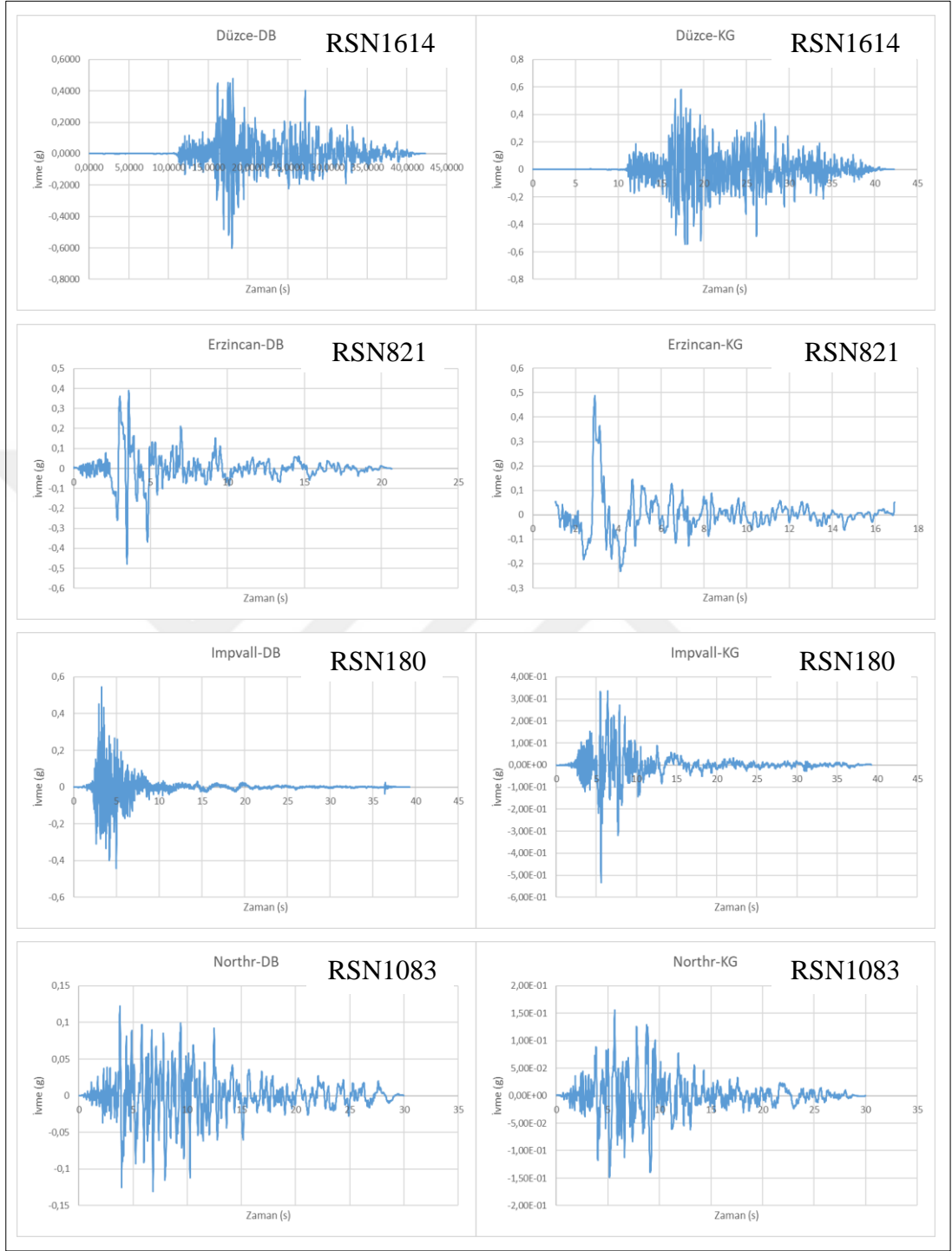
2 farklı yüksekliğe sahip yapısal modellerin analitik yöntemler kullanılarak kırılma eğrilerini elde etmek üzere artımsal dinamik analiz yöntemi uygulanmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinde kullanılmak üzere kuvvetli yer hareketi kayıtları PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) <https://ngawest2.berkeley.edu> internet sitesinden alınmış olup 11 deprem kaydı takımı

seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarına ait özellikler Tablo 5.3’de ve ivme zaman serileri Şekil 5.7 ile 5.9 arasında sunulmaktadır. Seçilen kuvvetli yer hareketleri maksimum yer ivmesi (Peak Ground Acceleration -PGA) değerleri 0.1 g’den 2.0 g’ye kadar 0.1 g artımlar ile ölçeklendirilmiş ve böylelikle çalışma kapsamında göz önüne alınan her bir yapısal model 440 adet ölçeklendirilmiş deprem kaydı etkisinde analiz edilmiştir.

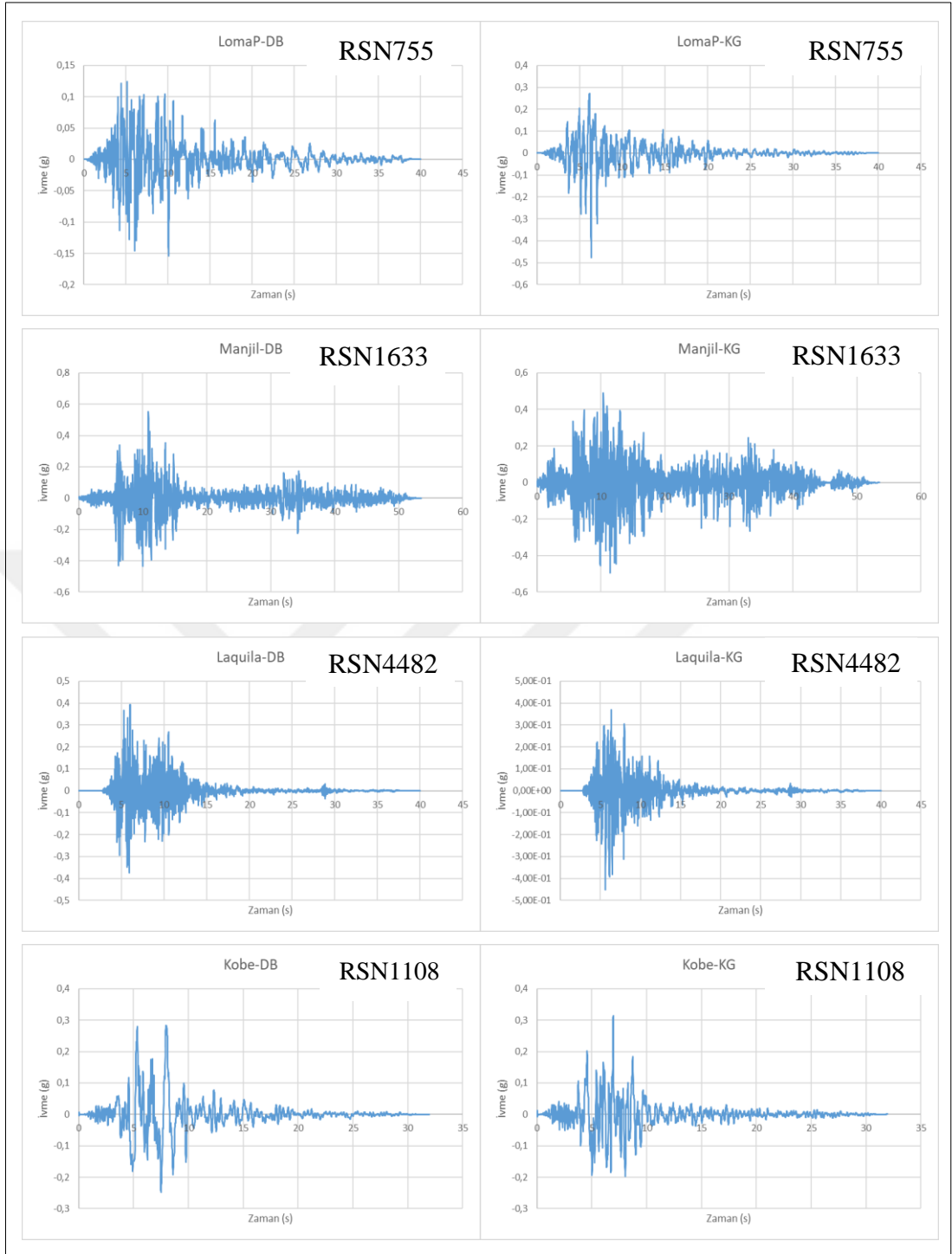
Tablo 5.3: Kuvvetli yer hareketi kayıtları.

<i>Kayıt No</i>	<i>Yatay Deprem Kaydı</i>	<i>PGA (g)</i>	<i>Vmax / Amax (sec)</i>
1	RSN1614_Düzce-DB	0,527	0,235
2	RSN1614_Düzce-KG	0,584	0,115
3	RSN821_Erzincan-DB	0,479	0,135
4	RSN821_Erzincan-KG	0,489	0,161
5	RSN180_Impvall-DB	0,546	0,054
6	RSN180_Impvall-KG	0,534	0,099
7	RSN1083_Northr-DB	0,131	0,103
8	RSN1083_Northr-KG	0,156	0,105
9	RSN755_LomaP-DB	0,154	0,094
10	RSN755_LomaP-KG	0,477	0,089
11	RSN1633_Manjil_Abbar-DB	0,552	0,072
12	RSN1633_Manjil_Abbar-KG	0,491	0,099
13	RSN4482_L_aquila-DB	0,392	0,079
14	RSN4482_L_aquila-KG	0,451	0,055
15	RSN1108_Kobe-DB	0,283	0,202
16	RSN1108_Kobe-KG	0,313	0,112
17	RSN3475_ChiChi-DB	0,448	0,070
18	RSN3475_ChiChi-KG	0,522	0,065
19	RSN265_Vict-DB	0,618	0,054
20	RSN265_Vict-KG	0,511	0,033
21	RSN4352_UbMarche-DB	0,485	0,068
22	RSN4352_UbMarche-KG	0,366	0,075

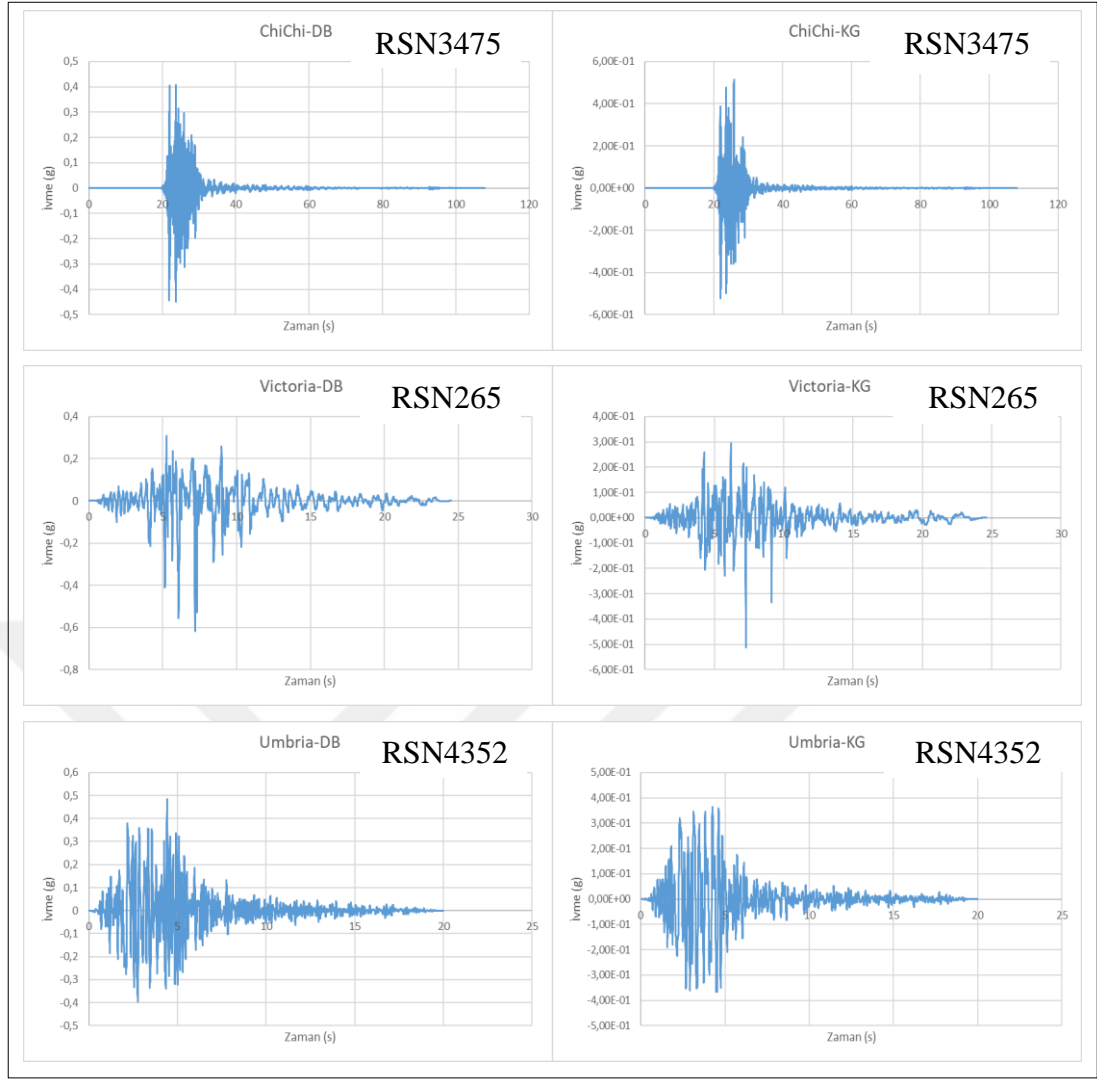
Çalışmada 4 farklı model için toplamda 1760 adet doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Her bir kuvvetli yer hareketine ait taban kesme kuvvetleri ve yer değiştirmeler elde edilmiştir.



Şekil 5.7: Kuvvetli yer hareketlerine ait ivme zaman serileri.



Şekil 5.8: Kuvvetli yer hareketlerine ait ivme zaman serileri.

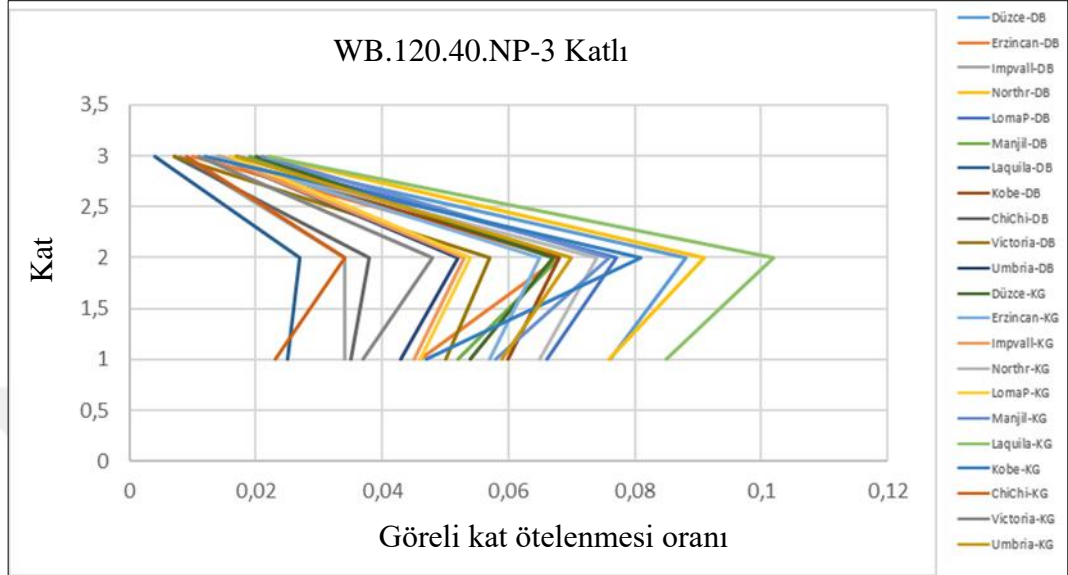


Şekil 5.9: Kuvvetli yer hareketlerine ait ivme zaman serileri.

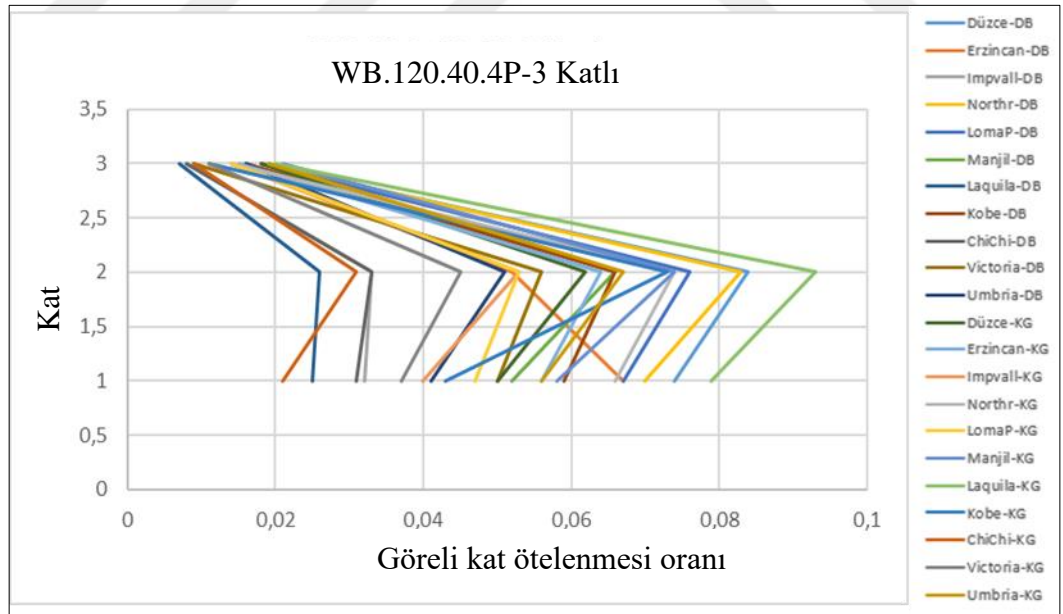
5.2.1. IDA Görelî Kat Ötelenmesi Sonuçları

Bu bölümde deprem kayıtları etkisi altında gerçekleştirilen IDA analizi doğrultusunda elde edilen görelî kat ötelenmesi sonuçları yer almaktadır. Seçilen depremlerin maksimum ivme değerleri birbirine yakın olsada Tablo 5.2 'de gösterildiği üzere kayıtların frekans içeriğini tanımlayan bir parametre olan V_{max} / A_{max} oranı açısından değerlendirdiğimde farklılıklar göstermektedir. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarının frekans içeriklerindeki bu farklılık Şekil 5.8 ile Şekil 5.11 arasında verilmiş olan görelî kat ötelenmeleri dağılımlarında kendini göstermektedir. İlgili şekillerde görüldüğü üzere modellerde en fazla görelî kat ötelenmesi oranı ikinci katta gözlemlenmiştir. 3 katlı yapısal modellerde kancalı (WB.120.40.NP) ve 4 civatalı (WB.120.40.4P) bağlantıların grafiklerine bakıldığında kancalı birleşimlere sahip

modelin görelî kat ötelenmesi oranı 4 civatalı modele göre daha fazladır. Buradan da anlaşıldığı üzere bağlantıların moment taşıma kapasiteleri arttıkça yapısal modellerin yer değiştirmeleri azalmaktadır.

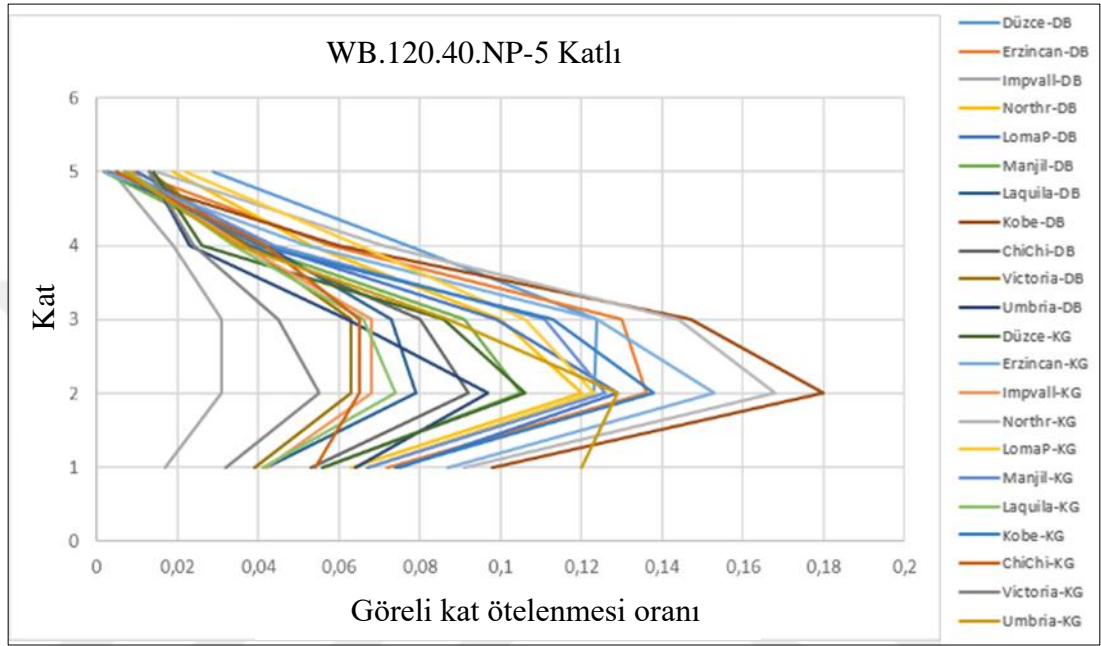


Şekil 5.10: 3 Katlı model görelî kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.NP).

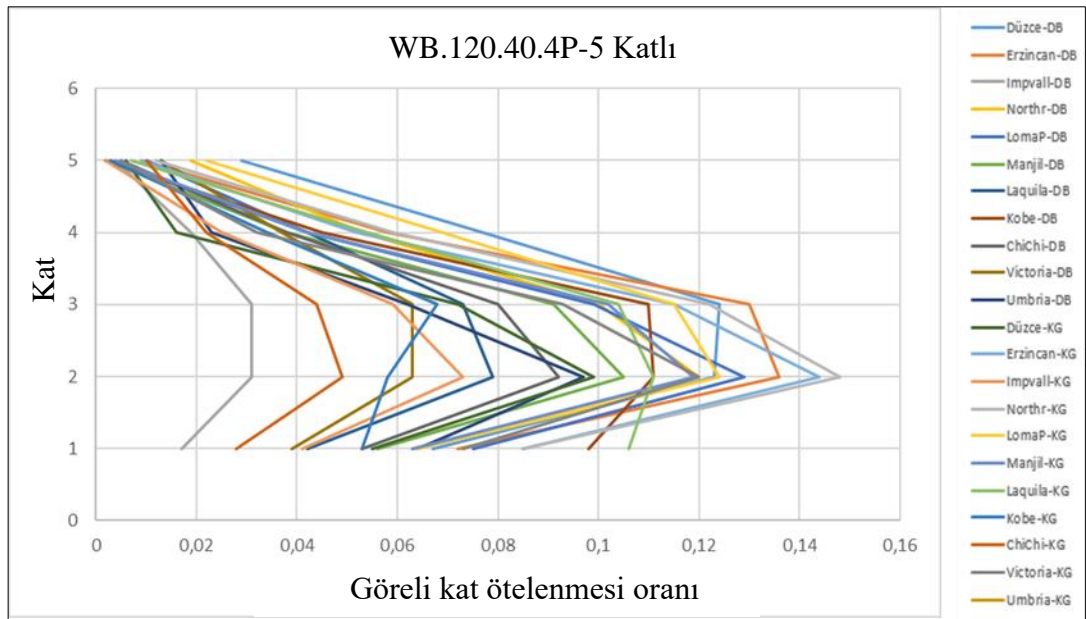


Şekil 5.11: 3 Katlı model görelî kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.4P).

5 katlı yapısal modellerde de kancalı (WB.120.40.NP) ve 4 civatalı (WB.120.40.4P) bağlantıların grafiklerine bakıldığında kancalı birleşimlere sahip modelin görelî kat ötelenmesi oranı 4 civatalı modele göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak kat sayısı arttıkça katlara ait görelî kat ötelenmesi oranında artış gözükmektedir.

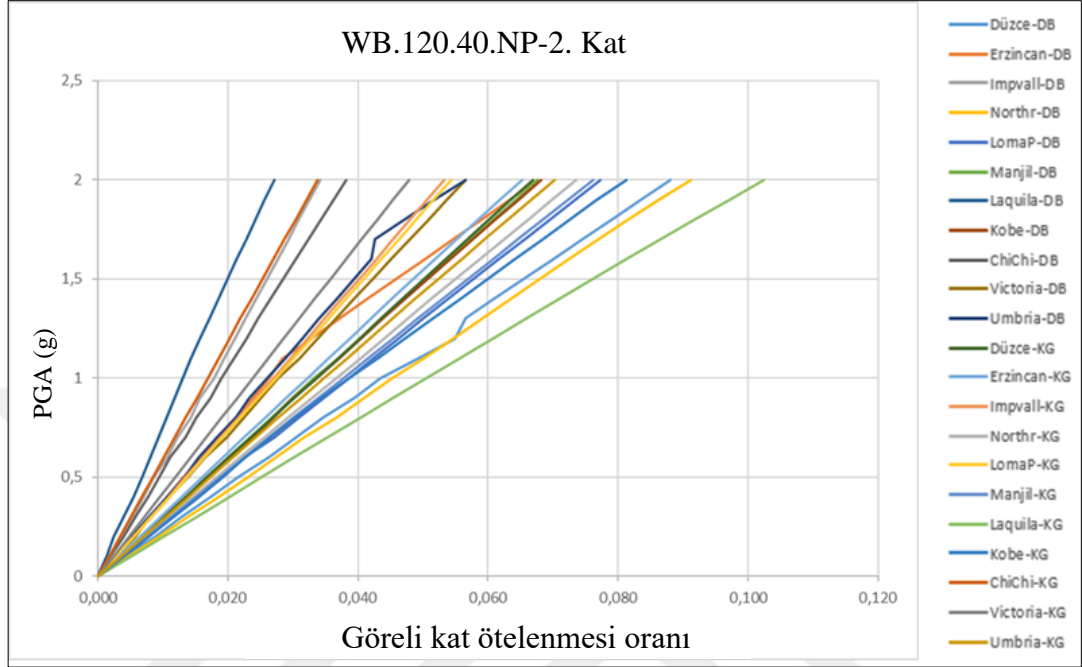


Şekil 5.12: 5 Katlı model görelî kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.NP).

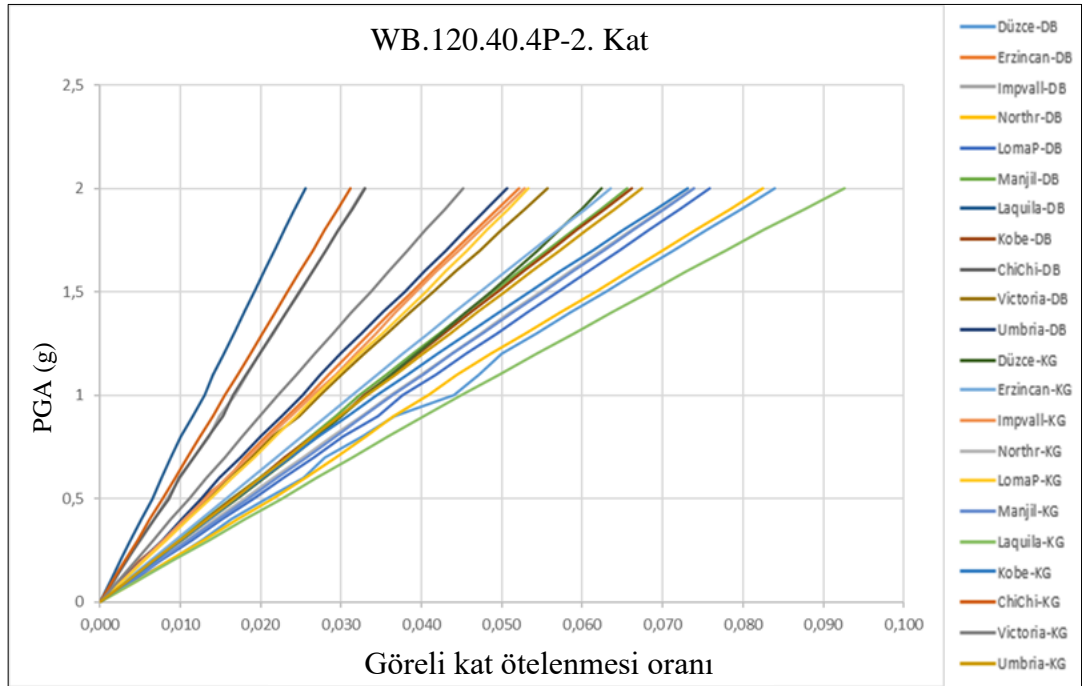


Şekil 5.13: 5 Katlı model görelî kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.4P).

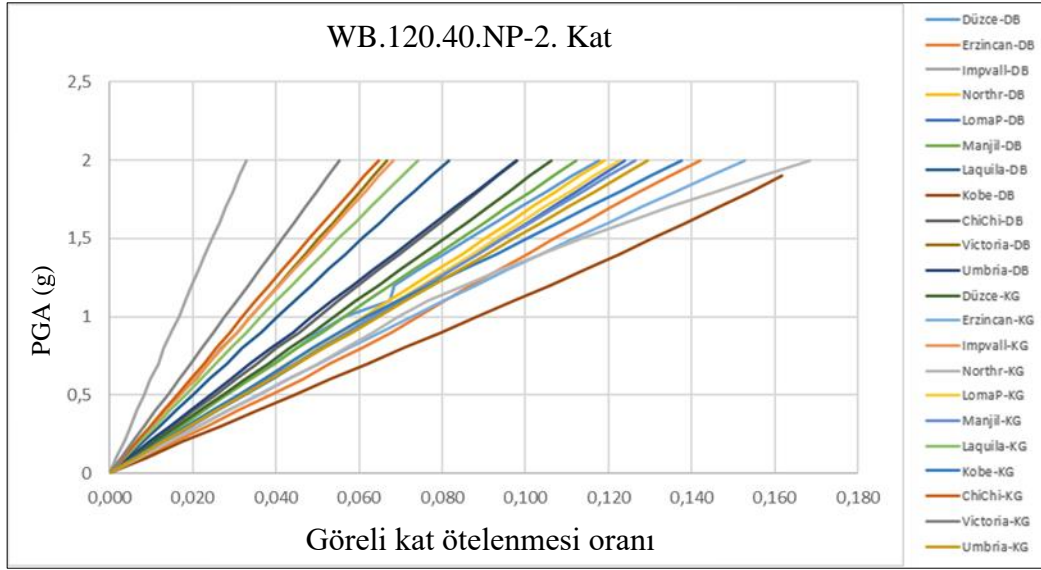
Çalışma kapsamında göz önüne alınan yapısal modeller için elde edilen IDA eğrileri en fazla kat ötelenme oranının meydana geldiği 2.kat için Şekil 5.12 ile 5.15 arasında verilmiştir. Diğer tüm katlara ait IDA analizi sonuçları Ek A'da sunulmuştur.



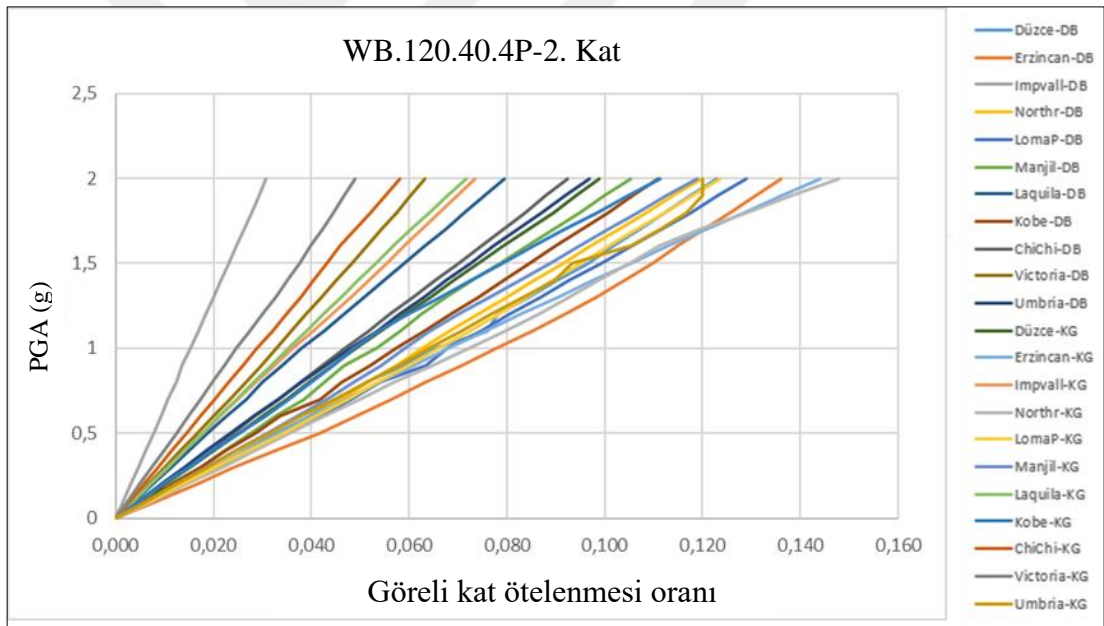
Şekil 5.14: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 2. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



Şekil 5.15: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 2. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



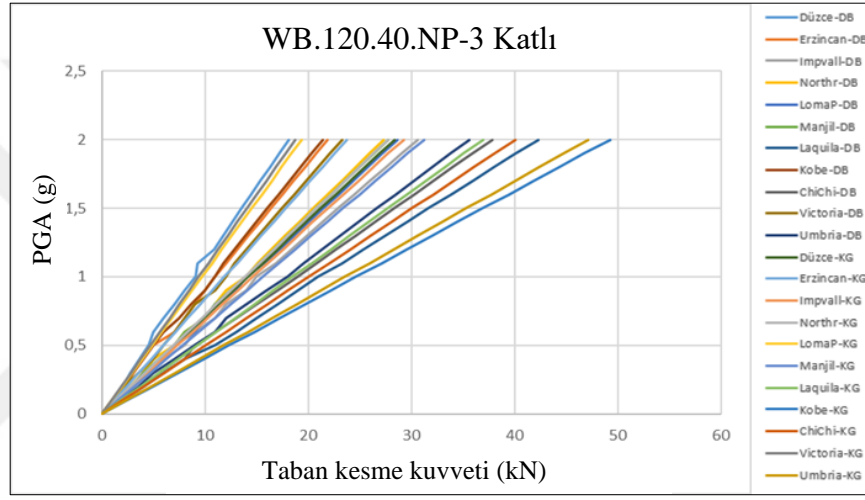
Şekil 5.16: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 2. kat görelü kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP)



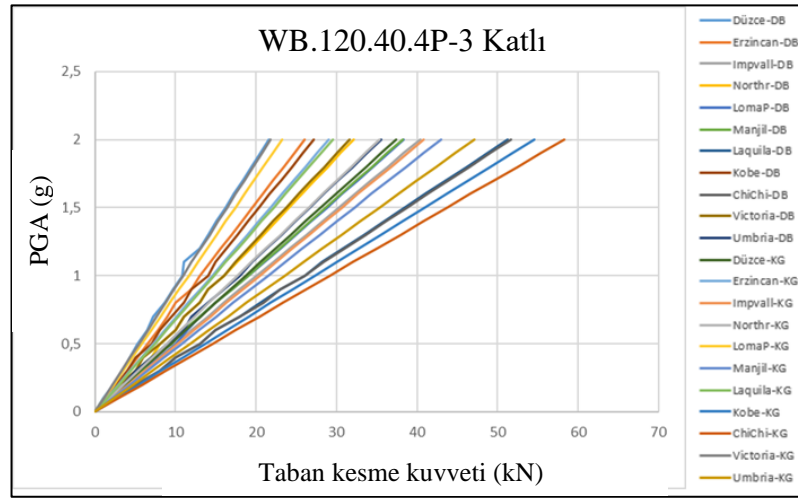
Şekil 5.17: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 2. kat görelü kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P)

5.2.2. IDA Taban Kesme Kuvvetleri Sonuçları

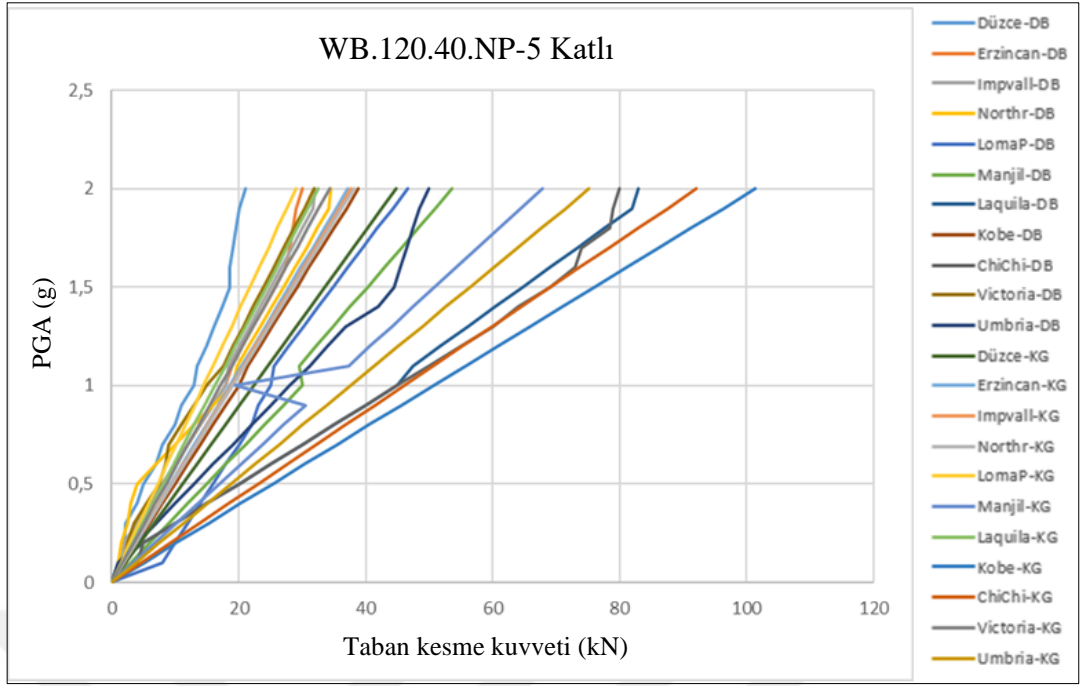
Bu bölümde deprem kayıtlarına göre elde edilen taban kesme sonuçları yer almaktadır. 3 ve 5 katlı yapısal modellerde kancalı (WB.120.40.NP) ve 4 civatalı (WB.120.40.4P) bağlantıların grafiklerine bakıldığında kancalı birleşimlere sahip modellerin taban kesme kuvvetleri 4 civatalı modellerde daha azdır. Buna ek olarak kat sayısı artıkça taban kesme kuvvetinde artış gözükmemektedir. Çalışma kapsamında göz önüne alınan yapısal modeller için elde edilen IDA taban kesme kuvveti eğrileri Şekil 5.16 ile 5.19 arasında verilmiştir.



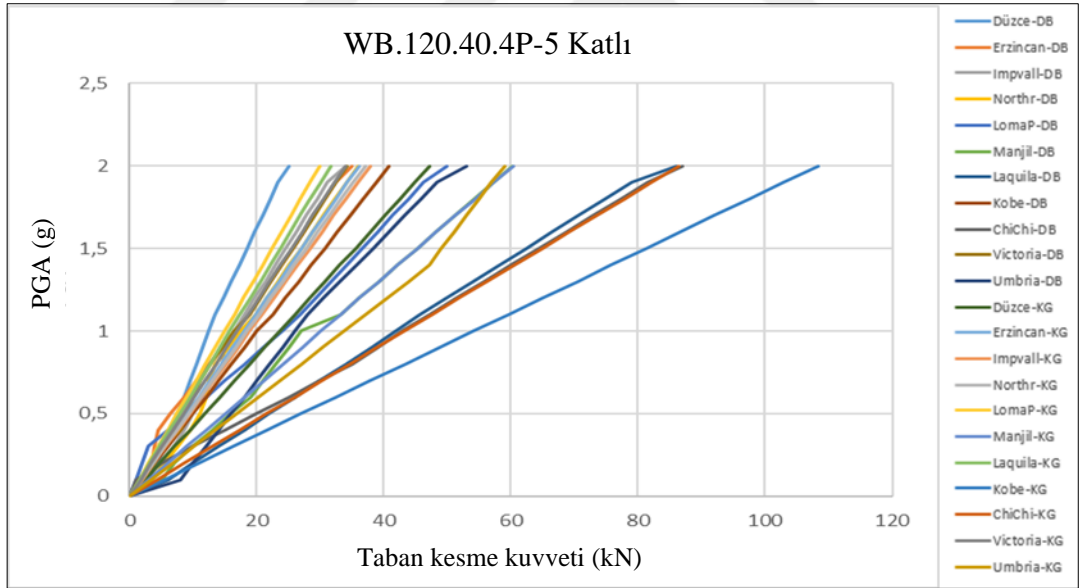
Şekil 5.18: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



Şekil 5.19: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



Şekil 5.20: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



Şekil 5.21: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.4P)

5.3. Kırılgnlık Analiz Sonuçları

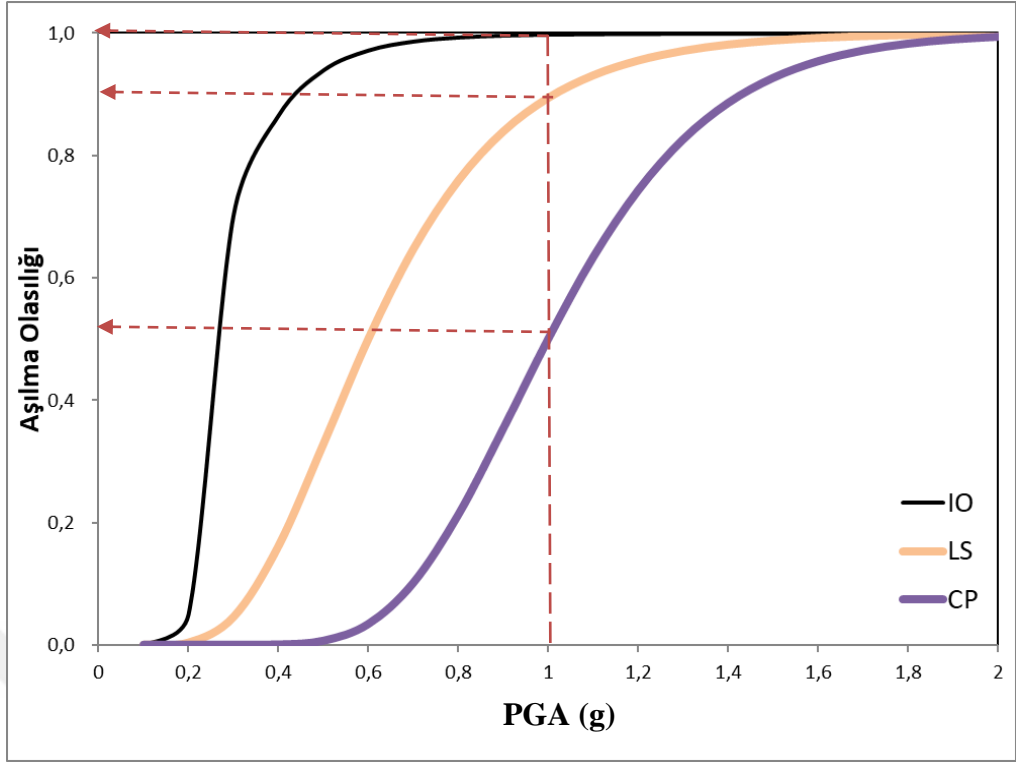
Kırılgnlık analizi deprem etkisi altındaki yapısal performansı değerlendirmeyi amaçlamakta ve özellikle son yıllarda binaların risk analizlerinin belirlenmesi amacıyla çok sayıda araştırmacının ilgi alanına girmiş bulunmaktadı. Kırılgnlık eğrilerinin yapısal performans değerlendirmesinde kullanımıyla hasar analizlerinin yapılması çok daha güvenilir olmaktadır. Özelde bir yapı genelde ise bir yapı stoku göz önüne alınarak kırılgnlık eğrilerinin geliştirilmesi için temel olarak yapısal kapasite limitlerine (hasar sınır durumlarına) ve yer hareketi şiddet parametresinin ls olan talep modellerine ihtiyaç vardır.

Kırılgnlık, belirli bir sismik risk altında tanımlanan deprem etkisinde, belirli bir mühendislik talep parametresinin sınır durumunun aşılmasının koşullu olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Genellikle analitik yöntemler kullanılarak elde edilen bu eğriler tanımlanan bir hasar limit durumunun aşılma olasılığını bir yer hareketi şiddet parametresi ile ilişkilendirmektedir.

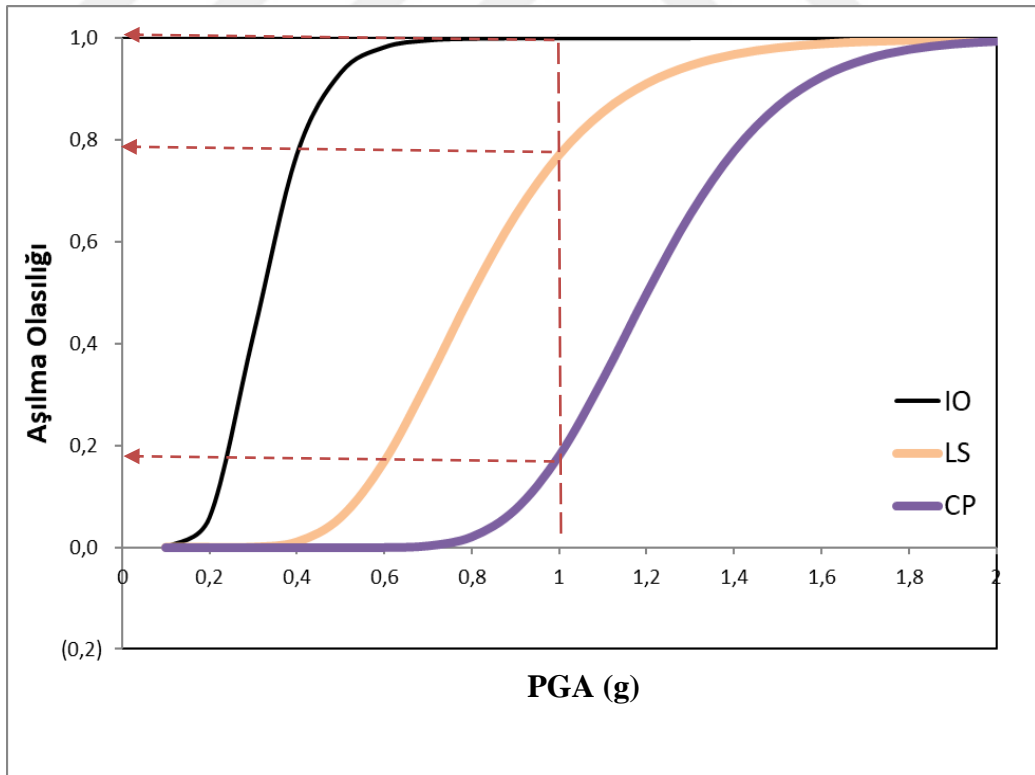
Kırılgnlık analizinde en temel unsur yapısal kapasite limitlerine ait hasar sınır durumlarının tanımlanmış olmasıdır. Tez alışması kapsamında yapılan araştırmalarda, depo raf sistemlerine ait tanımlı yapısal hasar sınırlarının olmamasından dolayı, çalışma kapsamında doğrusal olmayan statik analiz yöntemi uygulanarak elde edilen yapısal kapasite eğrileri doğrusal olmayan artımsal dinamik analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. Kesme kuvvet kapasiteleri, ötelenme oranları ve moment-dönme ilişkileri gözönüne alınarak yapılan değerlendirmeler neticesinde hasar sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 3 sınır durum göz önüne alınmıştır: hemen kullanım (IO), can güvenliği (LS) ve göçme ncesi (CP). Bu hasar durumları için belirlenen sınırlar sırasıyla %0.6, %1,6 ve %3,0' dr. Hemen kullanım performans seviyesini işaret etmekte olan limit durum için 3- ve 5-katlı yapısal modellerde ortalama olarak kuvvet kapasitesinin sırasıyla %50, %52 mertebelerine ulaştığı değerlendirilmiştir. Can güvenliği sınır durumu olarak kabul edilen noktada ise kuvvet kapasitesinde sırasıyla %80, %84 mertebelerinde ulaşılmaktadır. Literatürde elik depo raf sistemlerinin deprem davranışlarını belirlemek amacıyla FEMA 356'da moment aktaran elik çerçeveler için görelilik kat ötelenmesi göz önüne alınarak belirtilmiş olan hasar limit değerlerini kullanmıştır [Asawasongkram et al., 2014]. Bu sınır değerler hemen kullanım (IO) için %0,7, can

güvenliği (LS) için %2,5 ve göçme öncesi (CP) için %5,0 'dir. Merkezi çaprazlı sistemler için bu sınır değerler sırasıyla %0,5, %1,5 ve %2,0' dir. Buradan da görüldüğü üzere tez çalışması kapsamında belirlenmiş olan sınır değerler moment aktaran ve merkezi çaprazlı sistemler için tanımlanmış olan hasar limit durumlarının arasında kalmaktadır. Göz önüne alınan yapısal modeller incelendiğinde elde edilen bu bulgunun uygun olduğu değerlendirilmiştir.

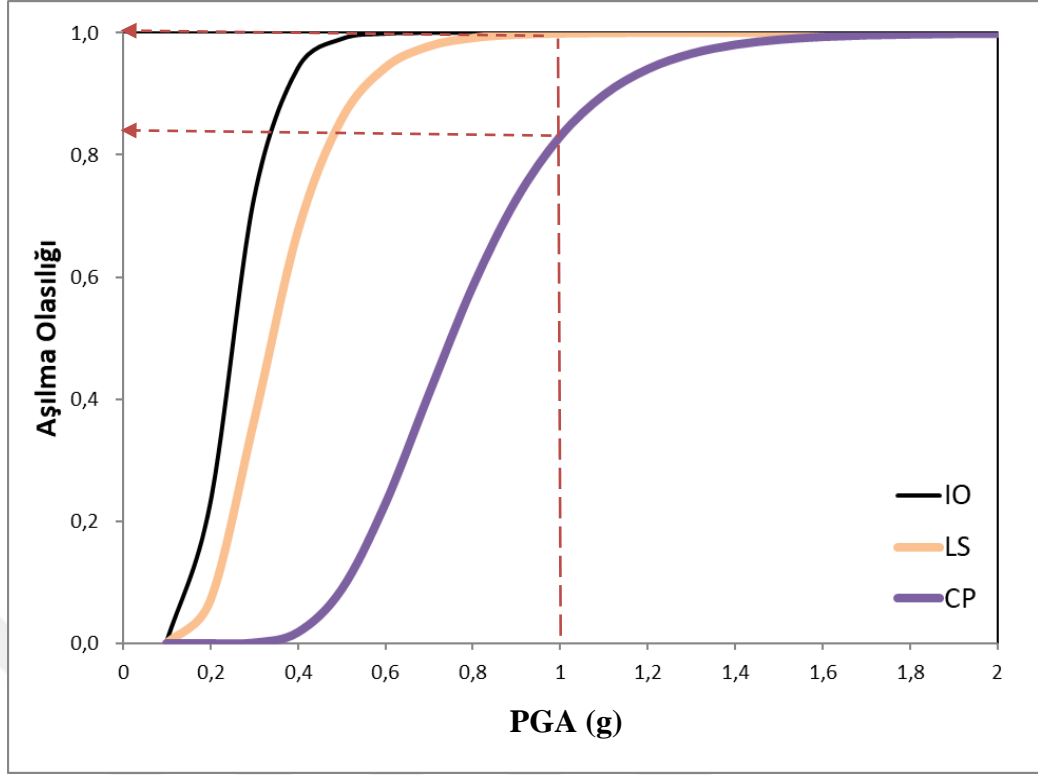
Çalışmanın son aşamasında belirlenen hasar limit durumları göz önüne alınarak kırılma analizleri gerçekleştirilmiş ve bu amaçla olasılıksal yaklaşım kullanılmıştır [Baker, 2015]. Şekil 5.20 ile 5.23 arasında görüldüğü gibi kırılma eğrileri elde edilmiştir. 3- katlı kancalı bağlantılı (WB.120.40.NP) modeller için maksimum yer ivmesinin 1.0 g olması durumunda, hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi hasar limit durumlarının aşılması olasılıkları sırasıyla %100, %89 ve %50 olduğu görülmektedir. 3- katlı kancalı bağlantılı (WB.120.40.4P) modeller için maksimum yer ivmesinin 1.0 g olması durumunda, hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi hasar limit durumlarının aşılması olasılıkları sırasıyla %100, %77 ve %18 olduğu görülmektedir. 5- katlı kancalı bağlantılı (WB.120.40.NP) modeller için maksimum yer ivmesinin 1.0 g olması durumunda, hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi hasar limit durumlarının aşılması olasılıkları sırasıyla %100, %100 ve %83 olduğu görülmektedir. 5- katlı kancalı bağlantılı (WB.120.40.4P) modeller için maksimum yer ivmesinin 1.0 g olması durumunda, hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi hasar limit durumlarının aşılması olasılıkları sırasıyla %100, %100 ve %74 olduğu görülmektedir. Kırılma eğrileri sonuçları değerlendirildiğinde yapı modelleri teşkil edilirken kancalı bağlantılar yerine 4 civatalı bağlantı kullanılmasının farklı yüksekliğe sahip modellerin yapısal hasar potansiyelini azalttığı bulgusu elde edilmiştir. Kat yüksekliği arttıkça göz önüne alınan her bir sınır durum için hasar görme olasılığının da arttığı kırılma analizi sonuçlarından görülmektedir.



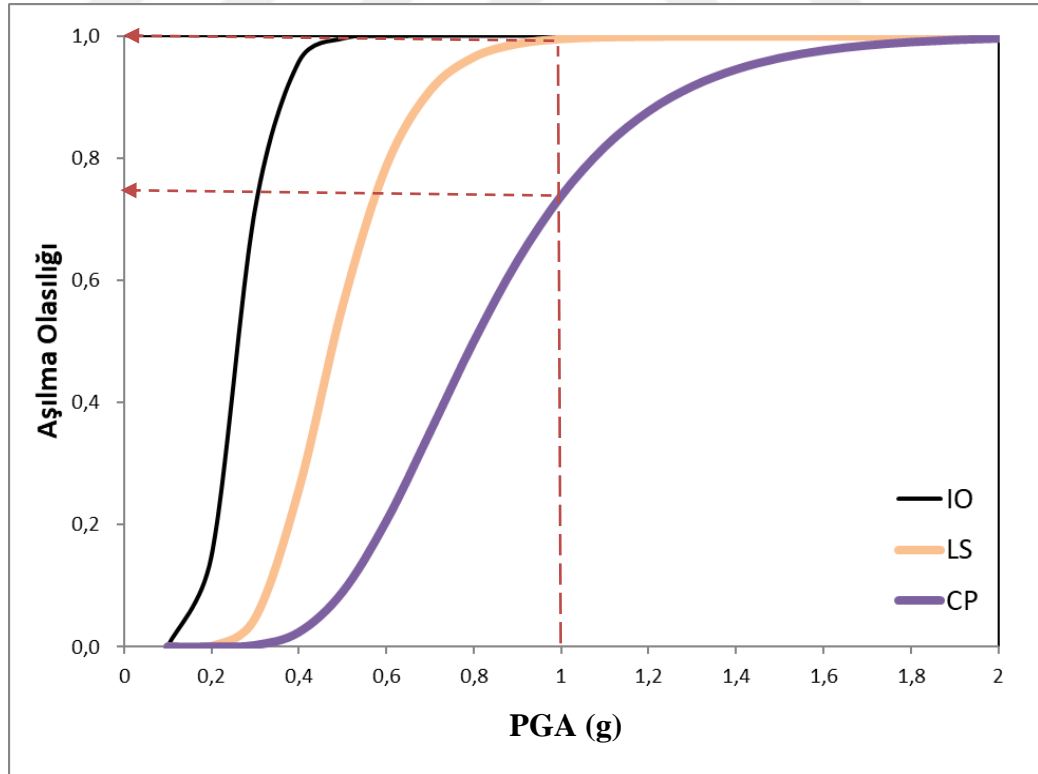
Şekil 5.20: 3 Katlı model kırılmalık analiz sonuçları (WB.120.40.NP).



Şekil 5.21: 3 Katlı model kırılmalık analiz sonuçları (WB.120.40.4P).



Şekil 5.22: 5 Katlı model kırılmalık analiz sonuçları (WB.120.40.NP).



Şekil 5.23: 5 Katlı model kırılmalık analiz sonuçları (WB.120.40.4P).

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Depo raf sistemleri lojistik tedarik zincirinin en önemli unsurlarındandır. Kiriş-kolon bağlantı tipleri ve yapı yüksekliği, sismik yükleme altında sistemin genel performansında önemli bir rol oynamaktadır. Bu tez kapsamında 3- ve 5-katlı yapısal modellerde kolon-kiriş bağlantı detayının yapısal davranışa etkisinin incelenmesi amacıyla 2 tip bağlantı detayı göz önüne alınmış ve ilgili bağlantılar 4 civatalı (WB.120.40.4P) ve kancalı (WB.120.40.NP) bağlantılar olarak belirlenmiştir. Sonlu elemanlar programı olan SAP2000 ile sayısal modeller kurulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmede doğrusal olmayan statik itme analizi ve doğrusal olmayan dinamik itme analizi yöntemleri kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemine göre elde edilen sonuçlar;

- 3-katlı yapısal modellerin taban kesme kuvveti taşıma kapasiteleri 5-katlı modellere göre daha fazla, 3-katlı modellerin tepe deplasman talep değerleri 5-katlı modellere göre daha az olduğu görülmektedir. Buradan elde edilen sonuçlara göre 3-katlı modellerin 5-katlı modellere göre daha rijit bir yapısal taşıyıcı sisteme sahip oldukları söylenebilir.
- Kancalı (WB.120.40.NP) bağlantıya sahip yapısal modellerin taban kesme kuvveti değerleri 4 civatalı (WB.120.40.4P) bağlantıya sahip yapısal modellere göre daha düşük olup, tepe yerdeğiştirmeleri daha fazladır. 4 civatalı bağlantıya sahip yapısal modellerin daha rijit davranış sergilediği söylenilebilmektedir.

Doğrusal olmayan artımsal dinamik itme analizi yöntemine göre elde edilen sonuçlar;

- 5-katlı modellerin görelî kat ötelenmesi oranları 3-katlı yapısal modellerin görelî kat ötelenmesinden fazla olup, kancalı (WB.120.40.NP) bağlantıya sahip yapısal modellerin de 4 civatalı (WB.120.40.4P) bağlantıya sahip modellerden daha fazla görelî kat ötelenmesi oranına sahip olduğu görülmektedir.

Kırılgnalık eğrileri kat bazında değerlendirildiğinde 5-katlı yapısal modellerin belirtilen kapasite sınır durumlarını aşma olasılığı 3-katlı yapısal modellerden daha

yüksektir. Birleşim tipine göre ise kancalı bağlantıya sahip yapıların belirtilen kapasite sınır durumlarını aşma olasılıkları 4 civatalı bağlantıya sahip modellerden daha fazladır. Genel bir değerlendirme yapıldığında görüldüğü üzere yükseklik arttıkça ve birleşim dönme kapasitesi düştükçe yapının dayanımı azalmaktadır.



KAYNAKLAR

Asawasongkram N., Chomchuen P., Premthamkorn P., (2014), “Seismic Performance Evaluation of Steel Storage Racks Using Experimental Results of Beam-to-Column Connection”, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul.

ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1 by applied technology council, California Seismic Safety Commission.

Baker J.W., (2015), “Efficient Analytical Fragility Function Fitting Using Dynamic Structural Analysis”, *Earthquake Spectra* 31(1):579–99.

Baldassino N., Bernuzzi C., (2000), “Analysis and behaviour of steel storage pallet racks ” *Thin-Walled Structures*, 37(4), 277-304.

Bernuzzi C., Simoncelli M., (2016), “An Advanced Design Procedure for the Safe Use of Steel Storage Pallet Racks in Seismic Zones”, *Thin-Walled Structures* 109:73–87.

BS EN 16681:2016, BSI Standards Publication Steel Static Storage Systems — Adjustable Pallet Racking Systems — Principles for Seismic Design., British Standards Institution.

BS EN 15512:2009, Steel Static Storage Systems — Adjustable Pallet Racking Systems — Principles for Structural Design., British Standards Institution.

Dai L., Zhao X., Rasmussen K.J.R., (2018), “Cyclic Performance of Steel Storage Rack Beam-to-Upright Bolted Connections”, *Journal of Constructional Steel Research* 148:28–48.

Elkadi B, (2019), “Behavior of Cold Formed, Thin-Walled, Rack Type Frames and Their Use in Building Structures” , PhD, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.

Eurocode 3. Design of Structures for Earthquake Resistance, EN 1998-1, Part 1, General rules, seismic actions and rules for buildings .

Fajfar P., Krawinkler H., (2004), Performance-Based Seismic Design Concepts and Implementation, Proceedings of the International Workshop, Slovenia.

FEMA-273, (1997), NHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency.

FEMA-356, (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency.

FEMA-440, (2005), Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency.

Filiatrault A., Robert E.B., Mahoney, M.G., (2006), “Performance-Based Seismic Design of Pallet-Type Steel Storage Racks”, *Earthquake Spectra* 22(1).

Gabbianelli G., Cavalieri F., Nascimbene R., (2019), “Seismic Fragility Curves of Steel Storage Pallet Racks”, SPONSE – 4th International Workshop on the Seismic Performance of Non-Structural Elements 363–77.

- Jaradat M, (2020), "Investigation of Industrial Storage Rack Systems Under Earthquake Loads", Msc, Gebze Technical University.
- Lignos D.G., Krawinkler H., (2013), "Development and Utilization of Structural Component Databases for Performance-Based Earthquake Engineering", Journal of Structural Engineering.
- Mert Tuğsal Ü, (2016), "Türkiye'deki Mevcut Betonarme Binaların Depremlerde Hasargörelibilirliğinin İstatiksel Kestirimi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ozer E., (2007), Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Petrone F., Higgins P.S., Bissonnette N.P., Kanvinde A.M., (2016), "The Cross-Aisle Seismic Performance of Storage Rack Base Connections", Journal of Constructional Steel Research 122:520–31.
- Quadir S.J., Nguyen V.B., Hajirasouliha I., Cartwright B., English M.A., (2020), "Optimal Design of Cold Roll Formed Steel Channel Sections under Bending Considering Both Geometry and Cold Work Effects", Thin-Walled Structures.
- RMI, (2012), Specification for the Design, Testing and Utilization of Industrial Steel Storage Racks, Rack Manufacturers Institute.
- Singhal A., Kiremidjian A., (1996), "A Method for probabilistic evaluation of seismic structural damage", Journal of Structural Engineering, ASCE, 122 (12), December 1996.
- TBDY, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Türk Standartları Enstitüsü.
- Vamvatsikos D., Cornell C. A., (2002), "Incremental Dynamic Analysis", Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
- Yin L., Tang G., Li Z., Zhang M., Feng B., (2018), "Responses of Cold-Formed Steel Storage Racks with Spine Bracings Using Speed-Lock Connections with Bolts I: Static Elastic-Plastic Pushover Analysis", Thin-Walled Structures 125(January):51–62.
- Yin L., Tang G., Li Z., Zhang M., (2018), "Responses of Cold-Formed Steel Storage Racks with Spine Bracings Using Speed-Lock Connections with Bolts II: Nonlinear Dynamic Response History Analysis", Thin-Walled Structures 125(January):89–99.
- Yu W.W., (1991), Cold-Formed Steel Structures-Basic, New York
- Zhao X., Wang T., Chen Y., Sivakumaran, K., (2014), "Flexural behavior of steel storage rack beam-to-upright connections. Journal of Constructional Steel Research", 99, 161-175.

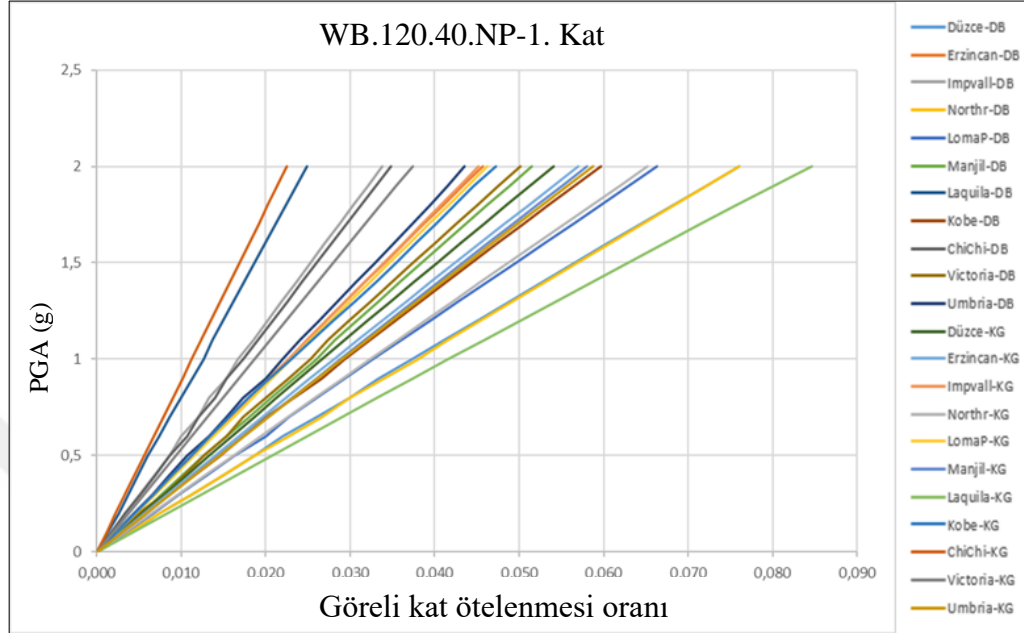
ÖZGEÇMİŞ

Alper DENİZ 2013 yılında başladığı Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında başarıyla tamamladı. 2018 yılında Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) Deprem ve Yapı Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılından itibaren özel bir firmada inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.

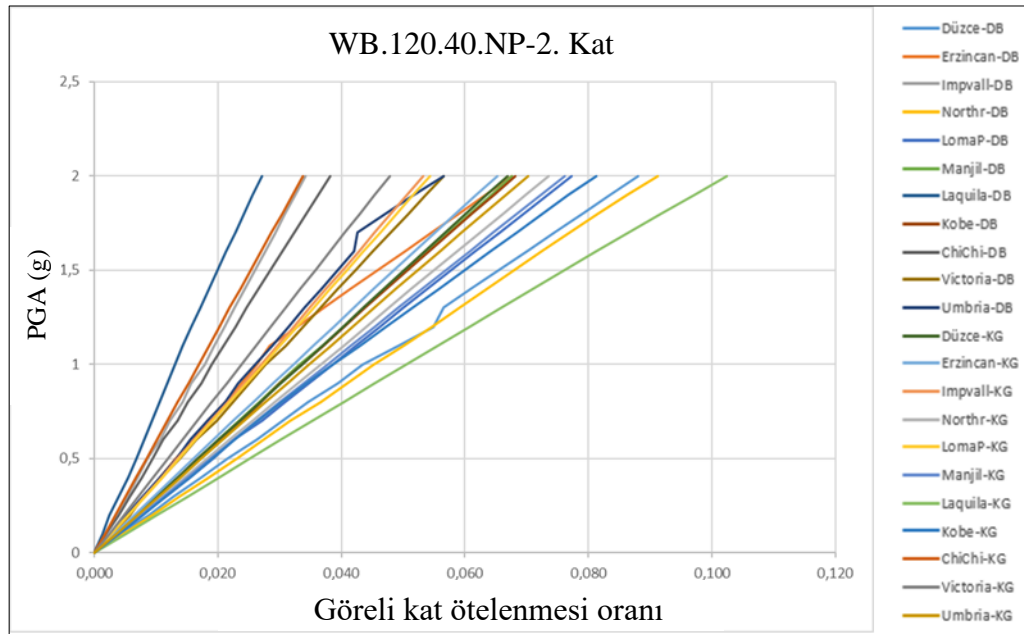


EKLER

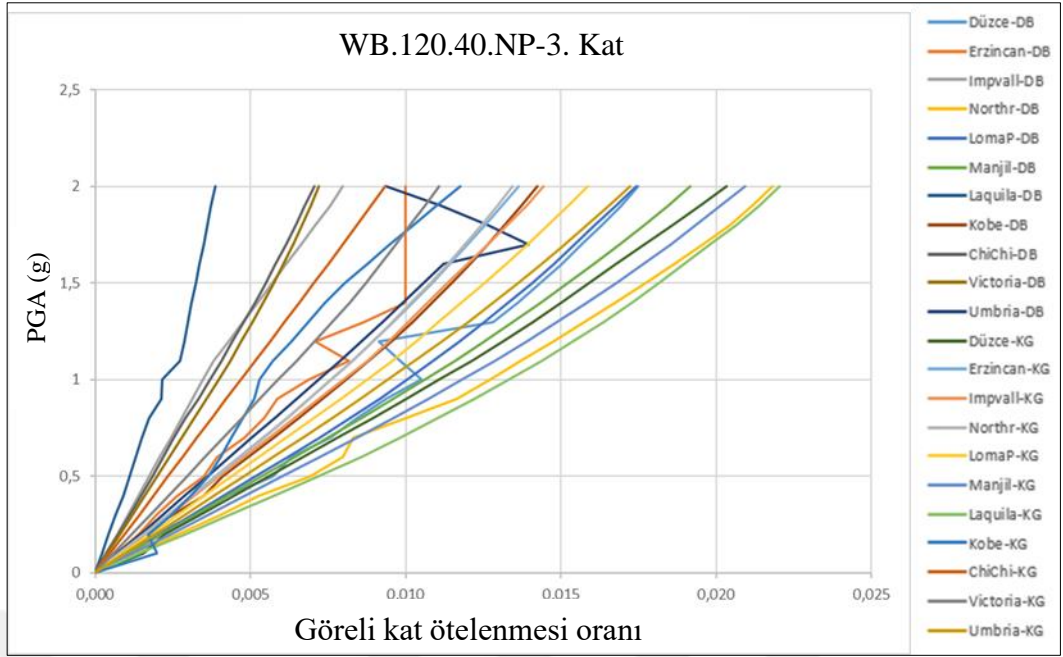
Ek A: IDA Eğrileri



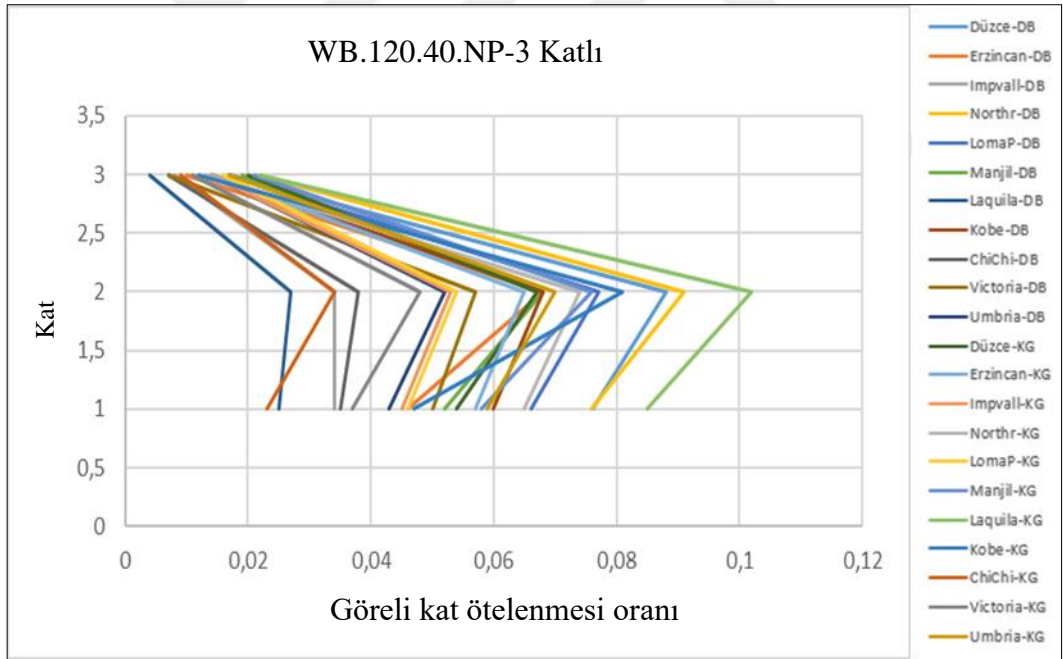
Şekil A1.1: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 1. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



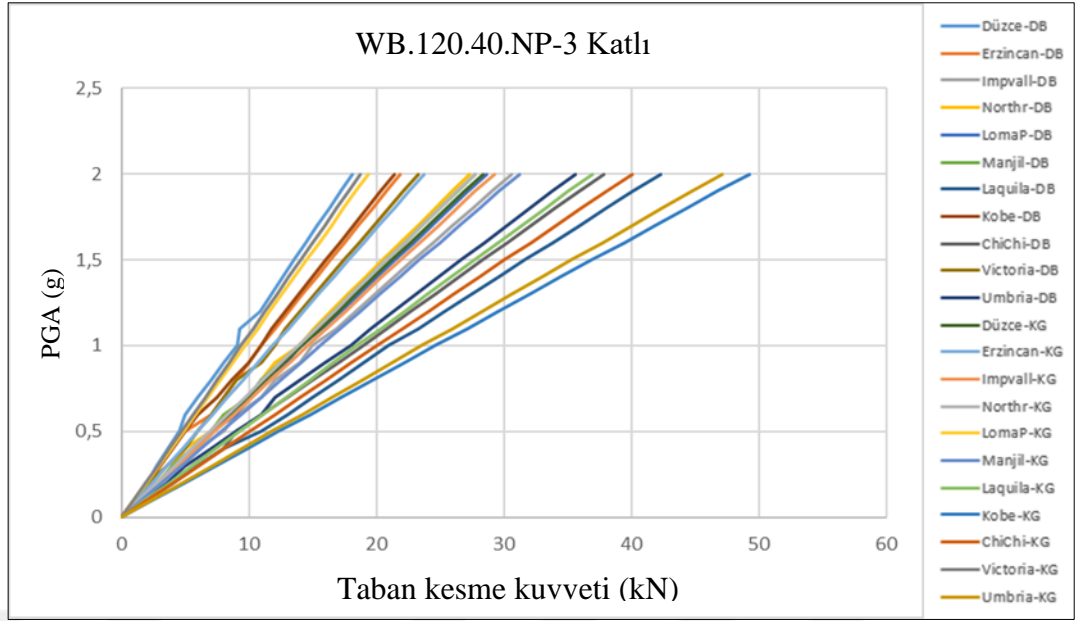
Şekil A1.2: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 2. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



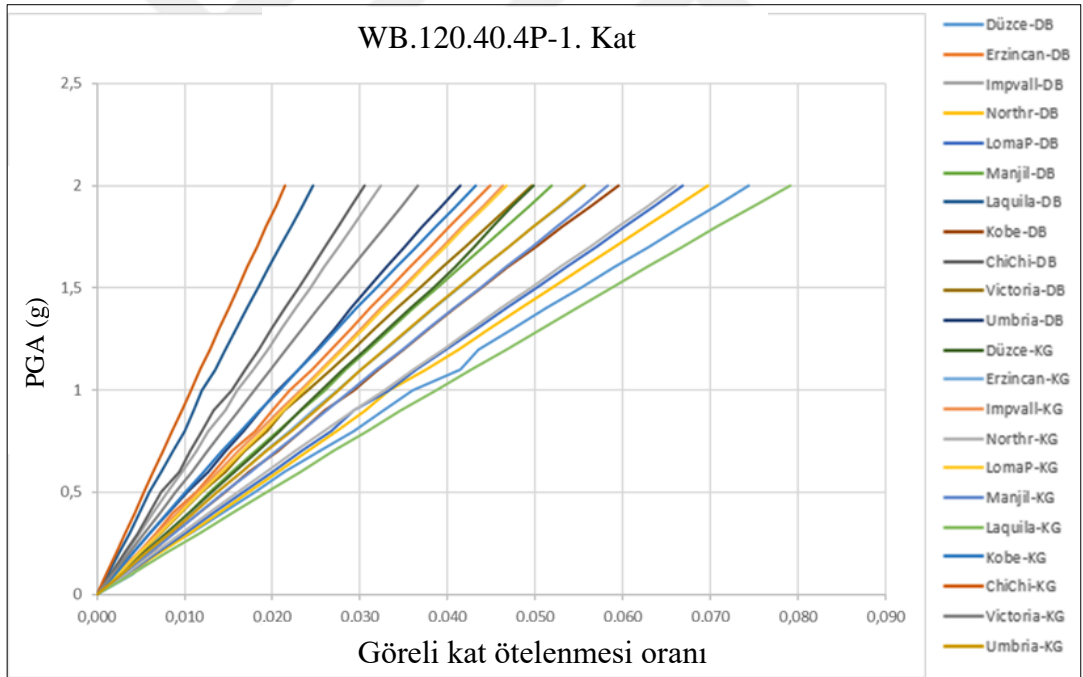
Şekil A1.3: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 3. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



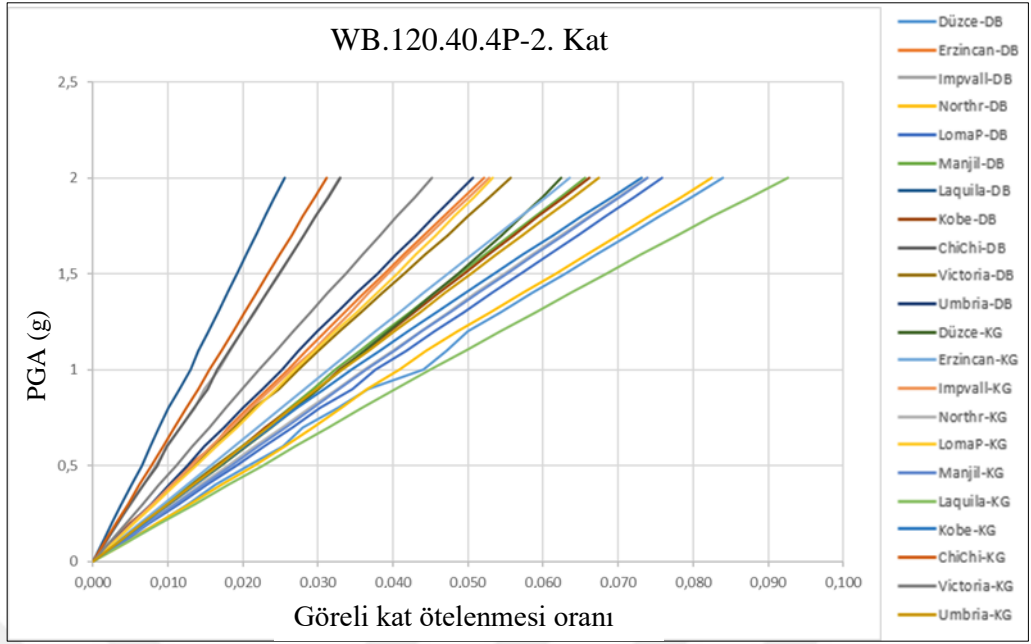
Şekil A1.4: 3 Katlı model görelî kat ötelenmesi oranı değışimi (WB.120.40.NP).



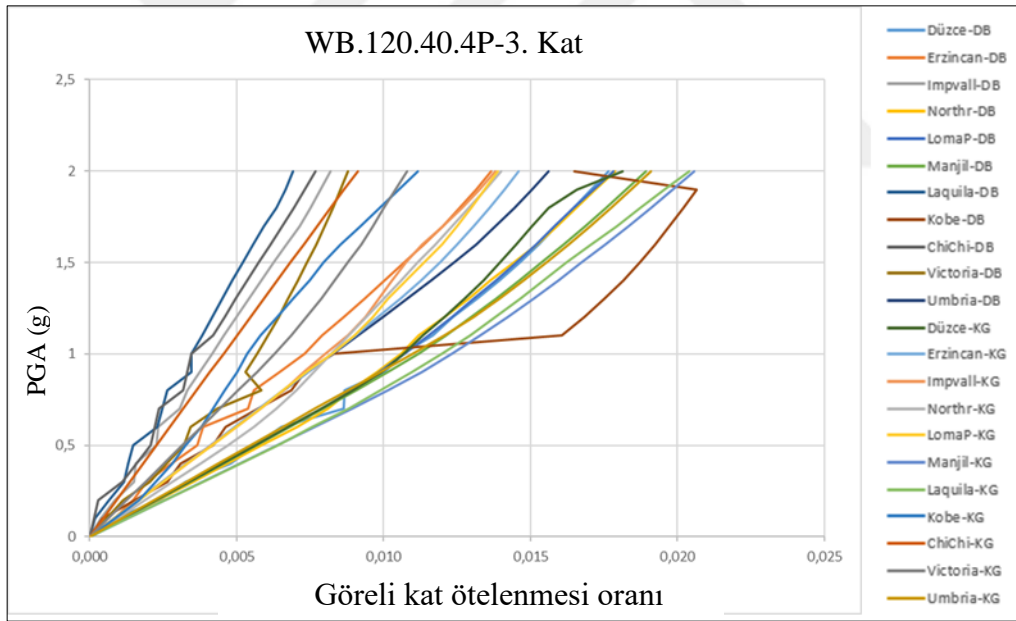
Şekil A1.5: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



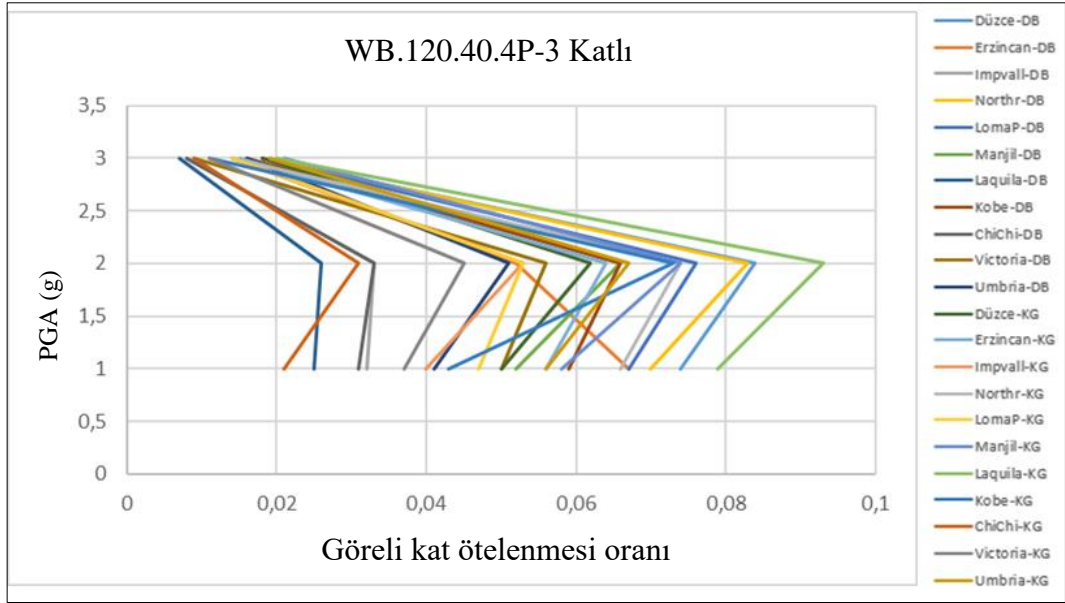
Şekil A1.6: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 1. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



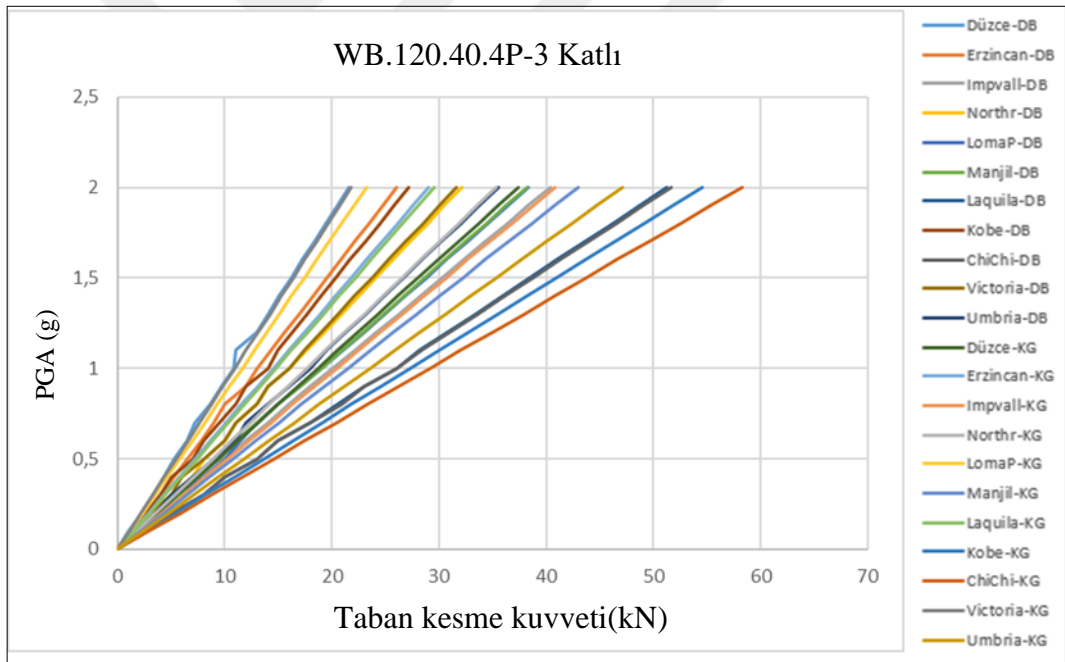
Şekil A1.7: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 2. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



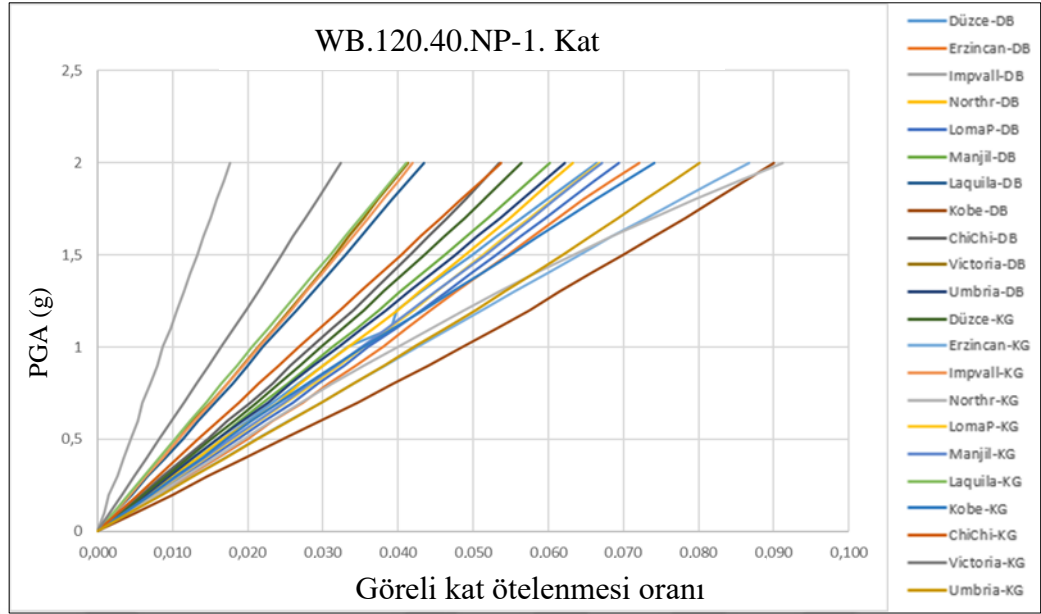
Şekil A1.8: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait 3. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



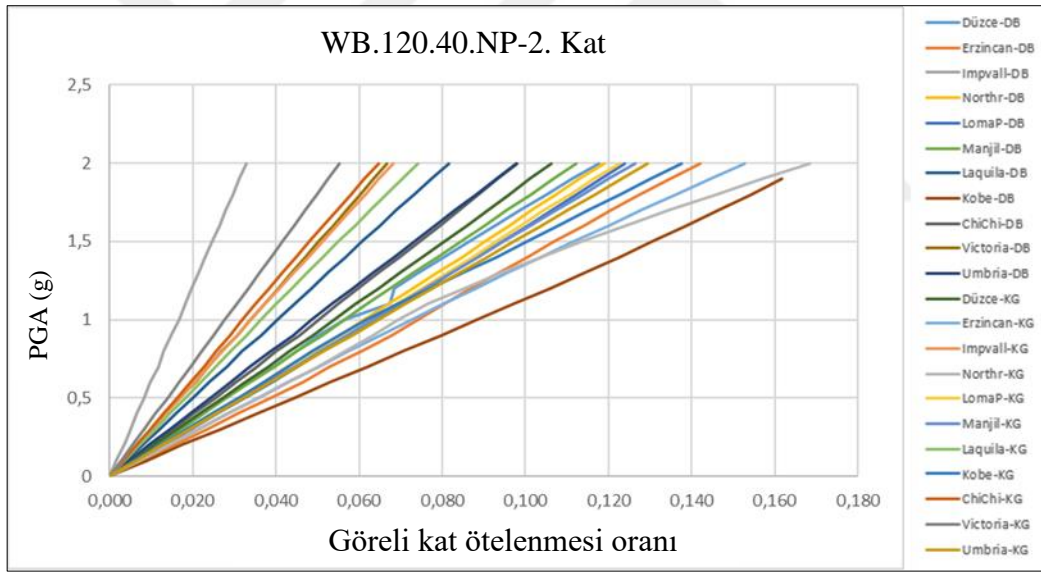
Şekil A1.9: 3 Katlı model görelî kat ötelenmesi oranı değişimi (WB.120.40.4P).



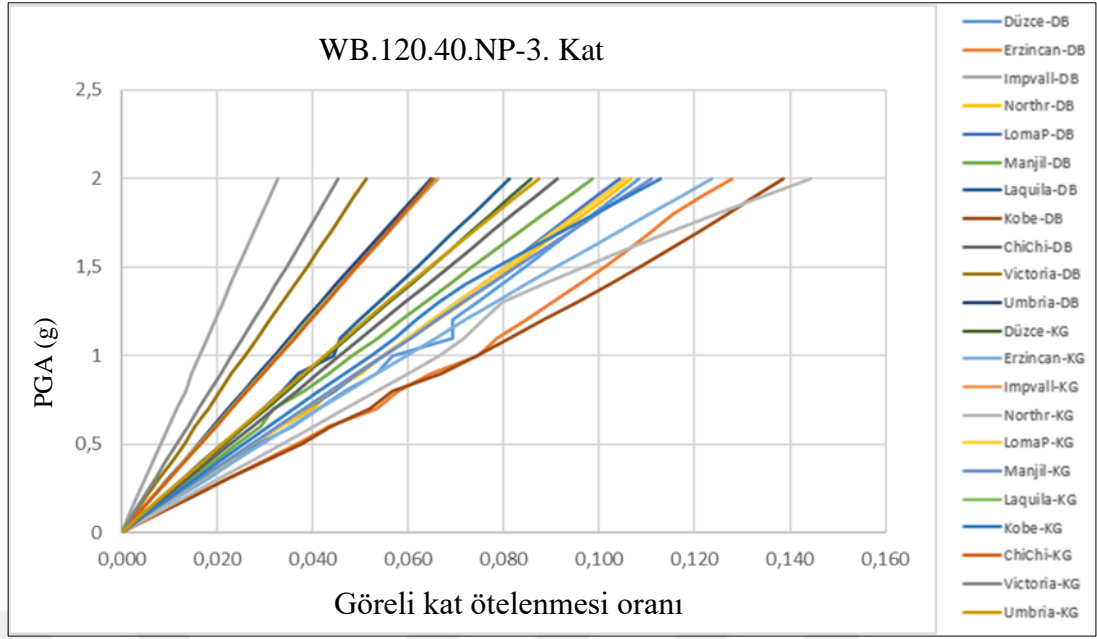
Şekil A1.10: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 3 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



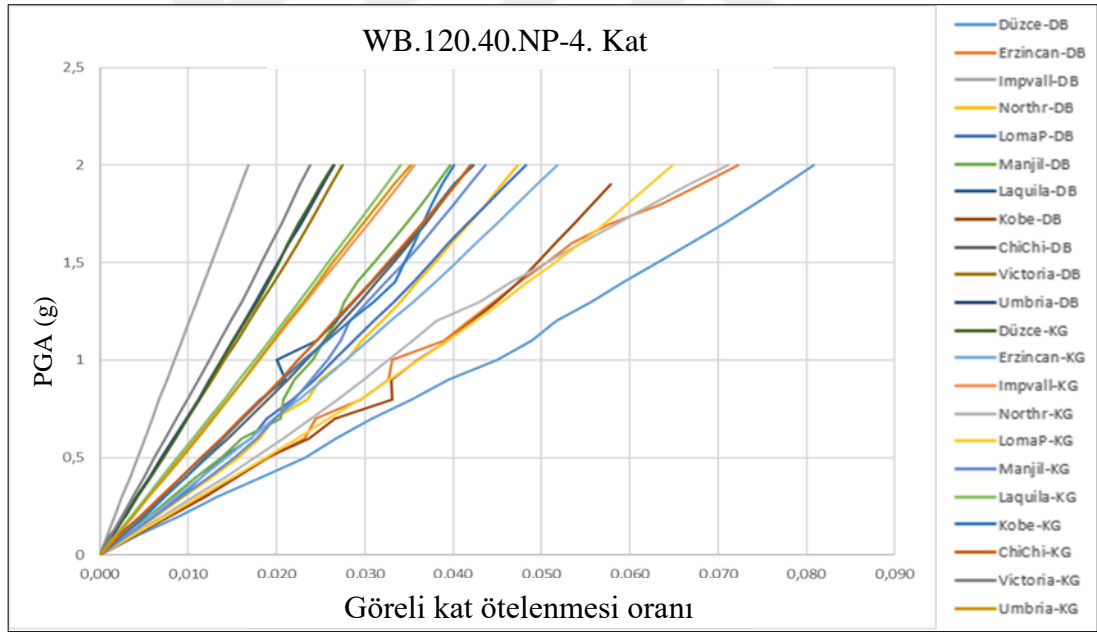
Şekil A1.11: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 1. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



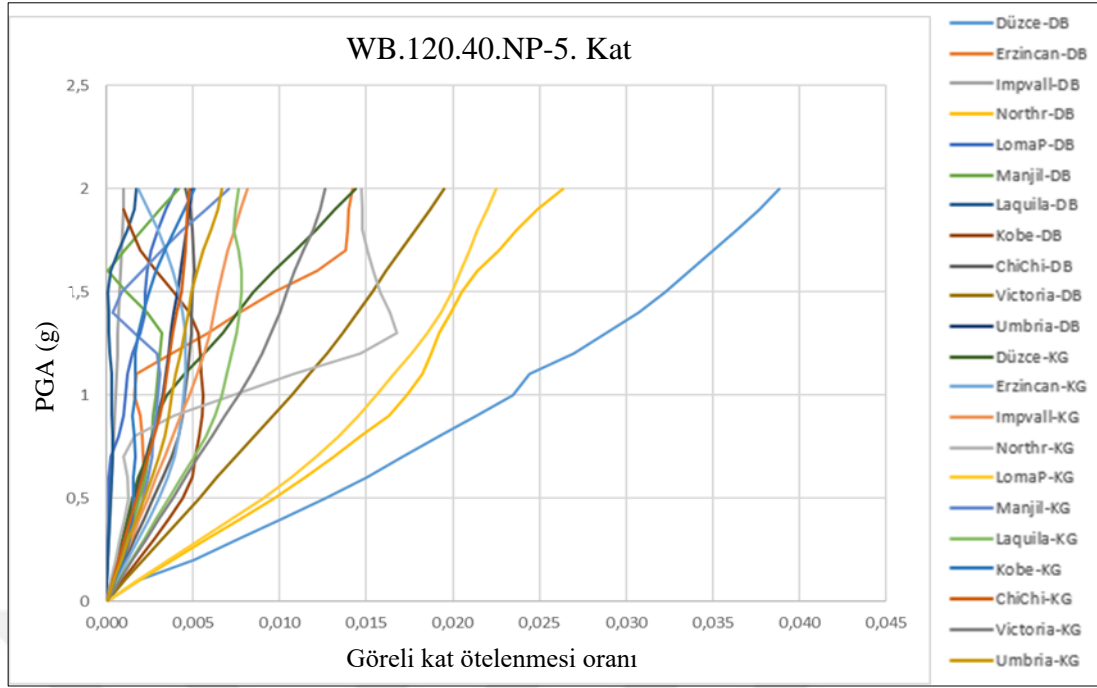
Şekil A1.12: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 2. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



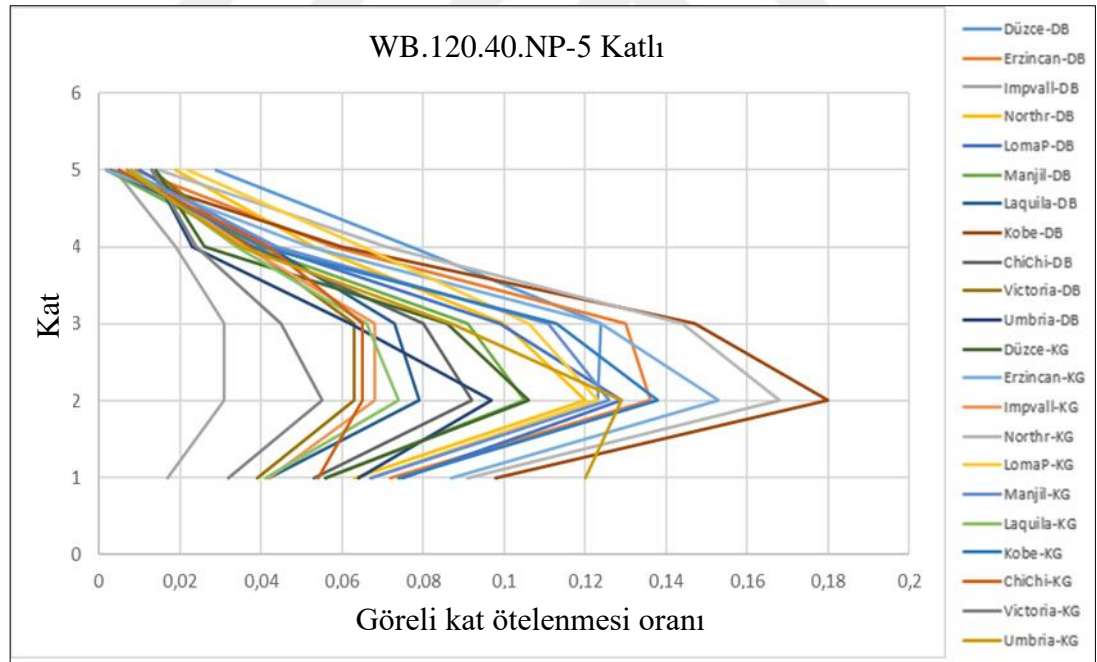
Şekil A1.13: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 3. kat görelü kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



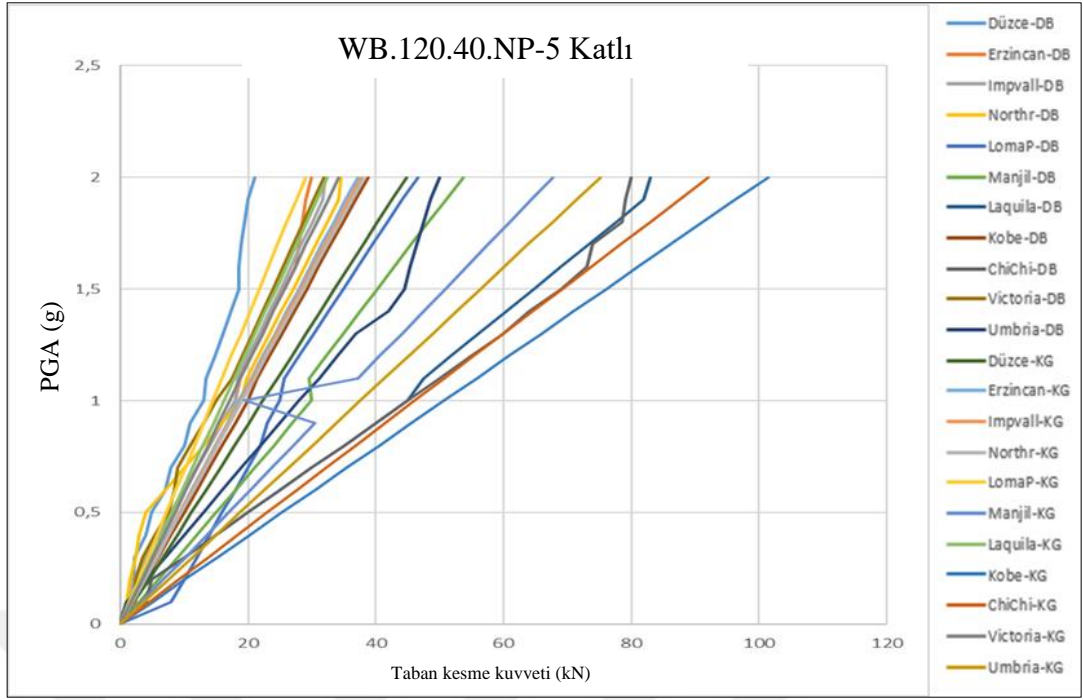
Şekil A1.14: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 4. kat görelü kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



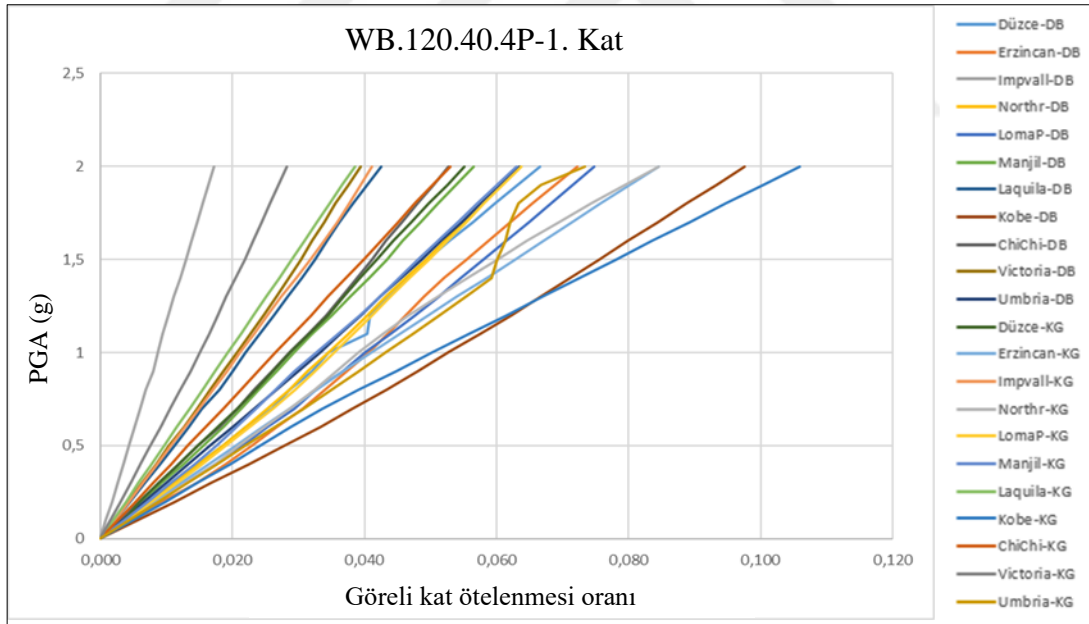
Şekil A1.15: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 5. kat görelî kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



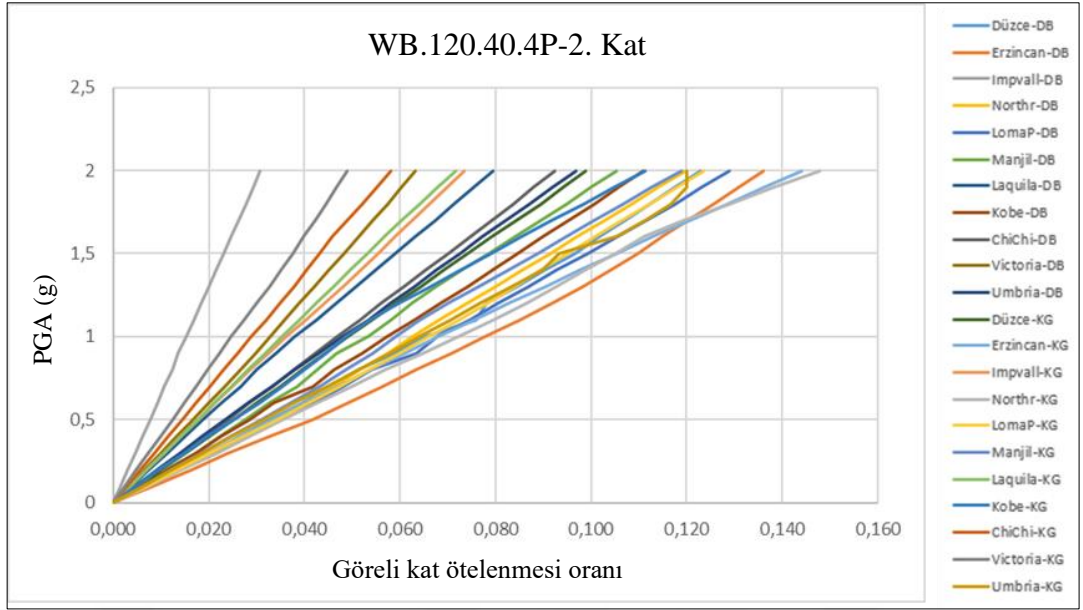
Şekil A1.16: 5 Katlı model görelî kat ötelenmesi oranı değışimi (WB.120.40.NP).



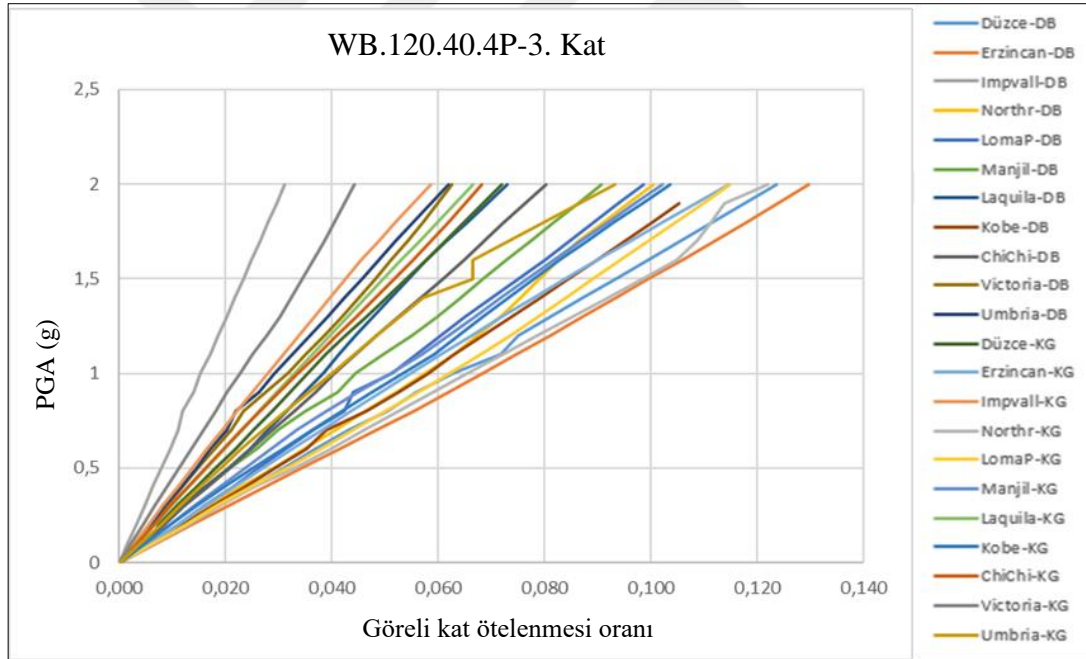
Şekil A1.17: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.NP).



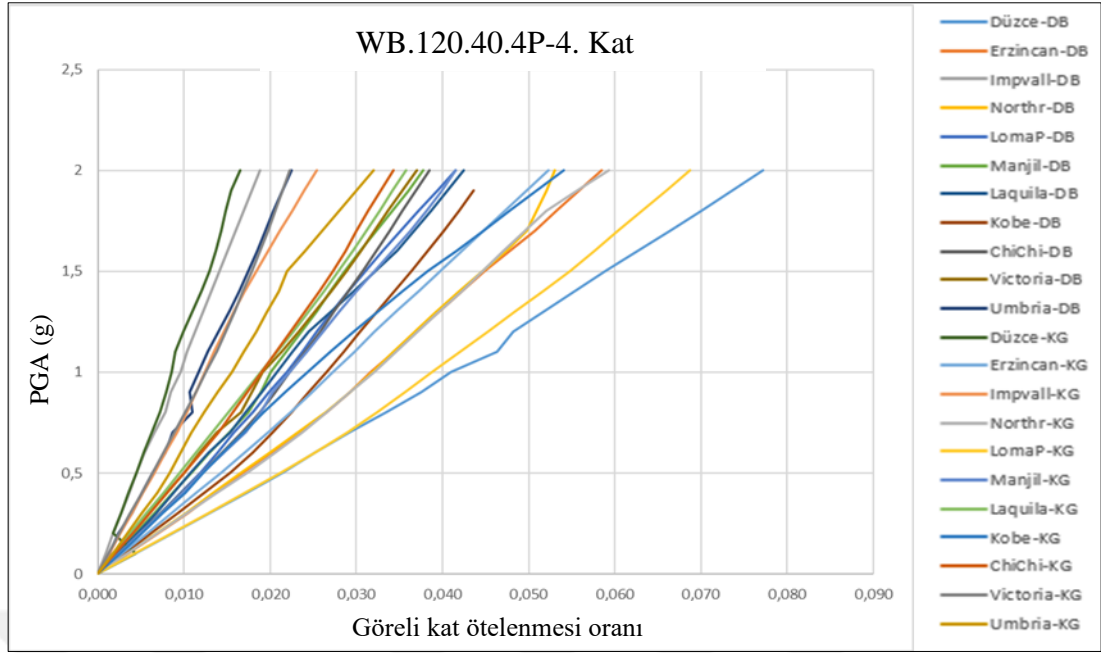
Şekil A1.18: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 1. kat görel kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



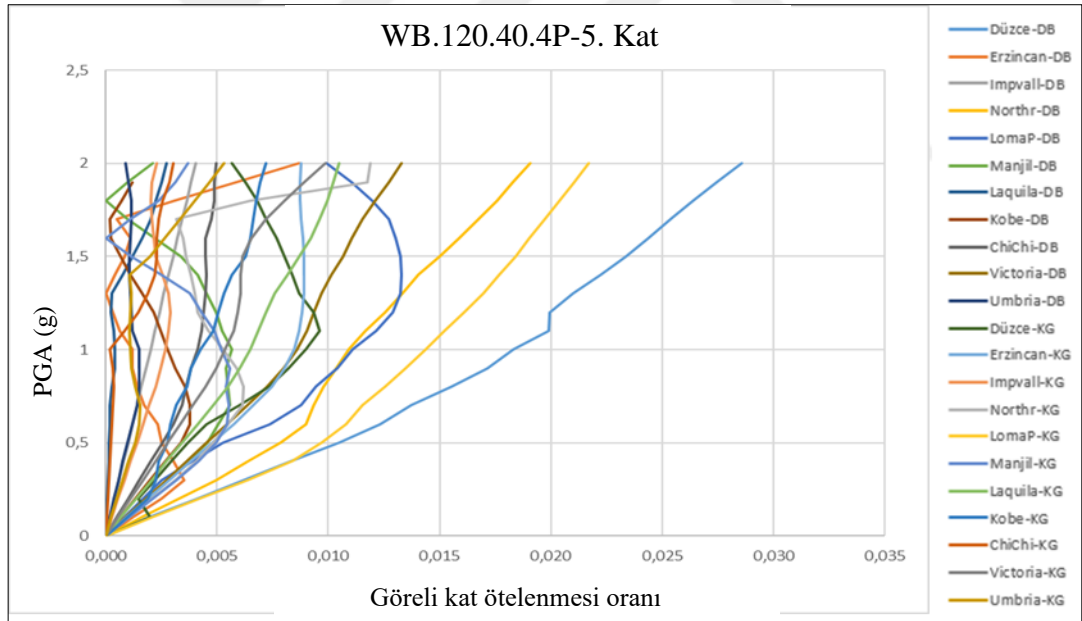
Şekil A1.19: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 2. kat görelü kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



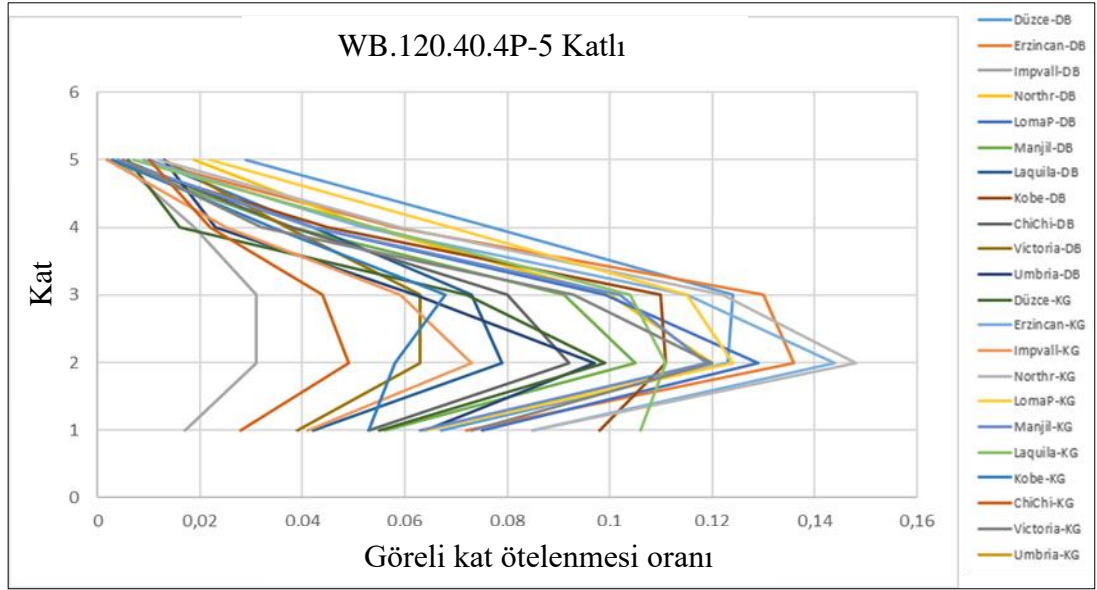
Şekil A1.20: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 3. kat görelü kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



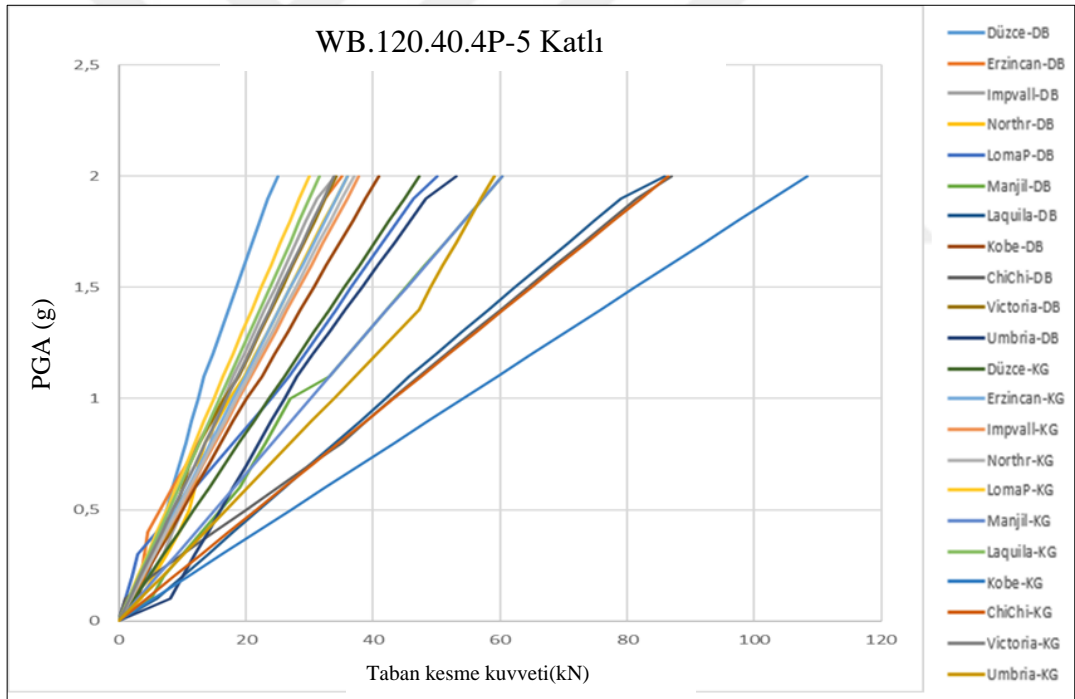
Şekil A1.21: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 4. kat görel kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



Şekil A1.22: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait 5. kat görel kat ötelenmesi IDA eğrileri (WB.120.40.4P).



Şekil A1.23: 5 Katlı model görelî kat ötelenmesi oranı değışimi (WB.120.40.4P).



Şekil A1.24: Seçilen 22 deprem kaydı etkisinde 5 katlı modele ait taban kesme kuvveti IDA eğrileri (WB.120.40.4P).