

**ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİN DEPREM DAVRANIŞININ  
İNCELENMESİ**

**HAKKI DENİZ GÜL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mekanik Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN**

**Eskişehir**

**Eskişehir Teknik Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Aralık, 2018**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hakkı Deniz GÜL'ün “ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı tezi 27/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Mekanik Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Ünvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN	.....
Üye	: Prof. Dr. Mustafa TOMBUL	.....
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN	.....

**Prof. Dr. Ersin YÜCEL**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

## ÖZET

### ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Hakkı Deniz GÜL

Mekanik Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık 2018

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN

Çelik yapılar, tasarımcılar tarafından oldukça yaygın olarak kullanılan yapı grubunun bir üyesidirler. Çelik yapılar, yangın, rüzgar, kar ve deprem gibi doğa olaylarına karşı güvenli bir şekilde ayakta kalacak şekilde tasarlanırlar. Depremler sık tekrarlanmayan, düşük olasılıklı fakat etki bakımından çok büyük olmaları nedeniyle diğer doğa olaylarından farklılaşırlar. Bu çalışma, farklı guse tasarımlarına sahip merkezi çelik çaprazlı çelik çerçevelerin deprem davranışını incelemek için analitik olarak yürütülmüştür. Yedi adet gerçek deprem kaydı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yürütmek için seçilmiş ve zaman tanım alanında yapılacak analiz kriterlerini sağlamak için ölçeklenmiştir. Ek olarak, iki boyutlu çelik çerçevelerden oluşan bir bina güncel yönetmelik koşullarına uygun olarak tasarlanmış ve incelenmiştir. Beş farklı tek katlı & tek açıklıklı çerçeve OpenSees yazılımı kullanılarak modellenmiş, guse kalınlıklarının yapı tepkilerine olan etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışma, özellikle yüksek depremselliğe sahip bölgelerde daha verimli guse boyutlarının seçilmesi konusunda bilgi vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Merkezi Çelik Çaprazlı Çelik Çerçeveler, Deprem Tasarımı, Guse Levhaları, Zaman Tanım Alanında Analiz

## ABSTRACT

### EARTHQUAKE PERFORMANCE ASSESSMENT OF BRACED STEEL FRAMES

Hakkı Deniz GÜL

Department of Civil Engineering

Eskisehir Technical University, Graduate School of Science, December 2018

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Kıvanç TAŞKIN

Steel structures are a member of structure group that are widely used by designers. They are designed in order to safely stand in case of different environmental occurrences such as fire, wind, snow, and earthquake. Earthquakes are differ from other natural disasters since they have low probality, but their effects are more intense. In this work, analytical study is conducted to evaluate seismic behaviour of special braced frames (SBFs) that have different gusset plate connections. Seven real ground motion records are selected and scaled to meet time history analysis' criteria. In addition, two-dimensional steel frame structure are designed and checked that conforming to recent international provisions. Five different single-bay & story frames are assessed under earthquake excitations through OpenSees software to assess gusset thickness effect on structure responses under earthquake excitation. The study presents effective way of determining gusset sizes in steel structures that resides especially in active seismic areas.

**Keywords:** Special Braced Frames, Seismic Design, Gusset Plates, Time History Analysis

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı” ile tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hakkı Deniz GÜL

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

BAŞLIK SAYFASI .....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Problemin Tanımlanması.....	1
1.2. Literatür Araştırması.....	2
1.2.1. Çelik çaprazlı sistemlerin çeşitleri.....	2
1.2.2. Çelik çaprazlı sistemlerin deprem davranışları.....	8
1.3. Çalışmanın Amacı & Kapsamı .....	19
1.4. Çalışmada İzlenen Yöntem .....	25
2. DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ .....	26
3. TEK ÇERÇEVENİN TASARIMININ YAPILMASI .....	28
3.1. Taşıyıcı Elemanların Tasarımı .....	29
3.1.1. Çapraz elemanların tasarımı .....	31
3.1.2. Kolonların tasarımı.....	32
3.1.3. Kirişlerin tasarımı.....	33

3.2. Bağlantı Elemanlarının Tasarımı.....	36
4. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZLERİN YAPILMASI .....	37
4.1. Analitik Modellerin OpenSees Programında Tanımlanması .....	38
4.1.1. Malzeme modellerinin tanımlanması .....	39
5. ANALİZLERE AİT SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	39
5.1. Yapı Tepkilerinin Seçilmesi & Yorumlanması .....	40
5.2. Sonuçların Elde Edilmesi & Karşılaştırılması .....	40
6. ÇERÇEVE SİSTEM İÇİN KESİTLERİN BELİRLENMESİ .....	41
6.1. Çerçeve Sistemin Tanımlanması .....	42
6.2. Çerçeve Sistemin Yüklerinin Belirlenmesi .....	42
6.3. Çerçevenin Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre Hesabı.....	42
7. DEPREMLERİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ .....	43
7.1. Ölçeklemede Kullanılacak Dinamik Özellikler .....	44
7.2. Ölçeklemede Kullanılacak Yöntem.....	45
7.3. Ölçeklemenin Yapılması & Sonuçların Gösterilmesi .....	46
8. ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN ANALİZLERİN YAPILMASI.....	47
9. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	47
9.1. Yapı Tepkilerine Ait Limit Değerlerin Belirlenmesi .....	48
9.2. Çerçeve Sisteme Ait Sonuçların Karşılaştırılması .....	48
9.3. Tek Çerçeve ile Çerçeve Sistem Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	49
10. SONUÇLAR & SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER .....	49
KAYNAKÇA.....	50
ÖZGEÇMİŞ	

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 2.1.</b> Kayma Hızı ( $V_{s30}$ ) Kategorileri .....	7
<b>Tablo 2.2.</b> Deprem Kayıtlarının Özellikleri .....	8
<b>Tablo 5.1.</b> Yapı Tepkilerinin Tanımlanması .....	22
<b>Tablo 5.2.</b> Yapı Tepkileri İçin Limit Değerler .....	23
<b>Tablo 5.3.</b> Hasar Durumları İçin Yaklaşık Yenileme Maliyeti Oranları.....	23
<b>Tablo 6.1.</b> Modelde Kullanılan Yükler .....	30
<b>Tablo 6.2.</b> Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre Katlara Etkiyen Kuvvetler .....	31
<b>Tablo 7.1.</b> Depremlerin Ölçeklendirilmesinde Kullanılan Katsayılar .....	34



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Yaygın Olarak Kullanılan Çapraz Sistemler .....	3
Şekil 1.2. Akış Şeması.....	6
Şekil 3.1. Çerçeve Sistem İçin Seçilen Kesitler .....	9
Şekil 3.2. Sünekliğe Göre Azalan Sıralama .....	10
Şekil 3.3. Guse Elemanına Ait Analitik Model .....	14
Şekil 3.4. Guse Elemanı için Gereken Temiz Açıklık.....	15
Şekil 3.5. Guse Elemanı Üzerinde Oluşan Gerilmeler-1 .....	15
Şekil 3.6. Guse Elemanı Üzerinde Oluşan Gerilmeler-2.....	16
Şekil 4.1. Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçevenin Gerçek Durumu .....	18
Şekil 4.2. Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçevenin Analitik Modeli .....	19
Şekil 4.3. Kullanılan “Steel02” Malzemesinin Gerilme & Şekil Değişirme İlişkisi .....	20
Şekil 5.1. Guse Elemanına Ait Moment & Dönme İlişkisi .....	21
Şekil 5.2. Çapraz Elemana Ait Normal Kuvvet & Şekil Değişirme İlişkisi.....	22
Şekil 5.3. Depremlere Karşılık Yerdeğişirme Değerleri & Ortalama Değer (T20).....	23
Şekil 5.4. Depremlere Karşılık Yerdeğişirme Değerleri & Ortalama Değer (T18).....	24
Şekil 5.5. Depremlere Karşılık Yerdeğişirme Değerleri & Ortalama Değer (T16).....	24
Şekil 5.6. Depremlere Karşılık Yerdeğişirme Değerleri & Ortalama Değer (T14).....	25

<b>Şekil 5.7.</b> Depremlere Karşılık Yerdeğiştirme Değerleri & Ortalama Değer (T12).....	25
<b>Şekil 5.8.</b> Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer (T12).....	26
<b>Şekil 5.9.</b> Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer (T14).....	26
<b>Şekil 5.10.</b> Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer (T16).....	27
<b>Şekil 5.11.</b> Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer (T18).....	27
<b>Şekil 5.12.</b> Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer (T20).....	28
<b>Şekil 5.13.</b> Kat Ötelenmesi & Guse Kalınlığı İlişkisi.....	28
<b>Şekil 5.14.</b> Kat İvmesi & Guse Kalınlığı İlişkisi.....	29
<b>Şekil 6.1.</b> Çerçeve Sistem.....	30
<b>Şekil 6.2.</b> Çerçeve Sistemde Kullanılan Kesitler & Kapasiteler.....	32
<b>Şekil 7.1.</b> Ölçeklenmiş Deprem Kayıtlarına Ait İvme Spektrumları.....	34
<b>Şekil 7.2.</b> Ölçeklenmiş Deprem Kayıtlarına Ait Ortalama İvme Spektrumu & Tasarım Spektrumu.....	35
<b>Şekil 8.1.</b> Beş Katlı Çerçeve Sistem İçin Hazırlanmış Olan Analitik Model.....	36
<b>Şekil 9.1.</b> Beş Katlı Çerçeve Sisteme Ait Kat İvmeleri Değerleri (T12).....	37
<b>Şekil 9.2.</b> Beş Katlı Çerçeve Sisteme Ait Kat İvmeleri Değerleri (T20).....	37
<b>Şekil 9.3.</b> Farklı Guselere Sahip Modellerin Kat İvmeleri Kıyaslaması.....	38
<b>Şekil 9.4.</b> Beş Katlı Çerçeve Sisteme Ait Yerdeğiştirme Değerleri (T12).....	38
<b>Şekil 9.5.</b> Beş Katlı Çerçeve Sisteme Ait Yerdeğiştirme Değerleri (T20).....	38
<b>Şekil 9.6.</b> Farklı Guselere Sahip Modellerin Yerdeğiştirme Kıyaslaması.....	40

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$A_g$	: Brüt Alan
$A_{gv}$	: Brüt Alan
$A_{nt}$	: Net Alan
$E$	: Yapısal Çelik Elastisite Modülü
$F_E$	: Kaynak Metalin Karakteristik Çekme Dayanımı
$F_u$	: Kopma Gerilmesi
$F_y$	: Akma Gerilmesi
$F_{nw}$	: Kaynak Metali Karakteristik Gerilmesi
$I$	: Eylemsizlik Momenti
$K$	: Burkulma Boyu Katsayısı
$K_{rot}$	: Dönme Rijitliği
$L$	: Eleman Boyu
$L_{ave}$	: Whitmore Çizgisinin Kolon-Kiriş Birleşimine Ortalama Uzaklığı
$L_c$	: Burkulma Boyu
$L_{fg}$	: Guse Elemanı Serbest Uç Uzunluğu
$L_w$	: Kaynak Boyu
$M_y$	: Akma Momenti
$N$	: Kuvvet (Newton)
$P_{el}$	: Elastik Burkulma Yüğü
$P_n$	: Karakteristik Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı
$r$	: Eylemsizlik Yarıçapı
$R_u$	: YDKT Yük Birleşimleri Altında Hesaplanan Gerekli Dayanım
$R_y$	: Karakteristik Çekme Kuvveti Dayanımı

$T_d$  : Tasarım Çekme Kuvveti Dayanımı

$T_n$  : Karakteristik Çekme Kuvveti Dayanımı

$t_{guse}$  : Guse Kalınlığı

$t_w$  : Kaynak Kalınlığı

$U$  : Gerilme Düzensizliği Etki Katsayısı

$V_{s30}$  : Yüzeyden Otuz Metre Derinlikteki Kayma Dalgası Hızı

$W$  : Whitmore genişliği

$\phi$  : Dayanım Katsayısı



## 1. GİRİŞ

Düşük olasılıklı fakat yüksek etki derecesine sahip olan depremler, hayatımızı sosyal ve ekonomik yönden etkilemekte ve değiştirmektedir. Depremlerin yarattıkları etkileri gözlemleyebilmek ve değerlendirebilmek amacıyla, Daniel vd. (2012) tarafından yürütülen çalışma, deprem etkilerinin büyüklüğünü açıkça ortaya koymuştur. Sözkonusu çalışmada doğrudan deprem etkileri ve dolaylı deprem etkileri ayrı ayrı incelenmiş ve dolaylı deprem etkilerinin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Meydana gelen büyük depremlerden sonra bilim insanları, deprem etkilerini azaltabilmek ve oluşabilecek maddi, manevi zararları azaltmak amacıyla depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda uzmanlaşmak amacıyla çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu çalışmalar zaman içerisinde deprem sonrası güvenliği de kapsayacak şekilde evrilmiş ve ortaya performansa dayalı tasarım kavramı çıkmıştır. Performansa dayalı tasarım ilkelerinin en önemlilerinden bir tanesi süneklik kavramıdır. Üst yapı tipinden bağımsız olan süneklik özelliğinin sağlanabilmesi amacıyla yapılar çeşitli kural ve kısıtlar gözönünde bulundurularak tasarlanmalı ve detaylar süneklik kurallarına uygun olmalıdır. Tasarım kuralları ve detayların özellikleri yapı tipine göre değişmekle birlikte, bu çalışma kapsamında çelik tipi yapılar değerlendirilecektir.

### 1.1 Problemin Tanımlanması

Yapılarda taşıyıcı elemanlar yük aktarımını sağlayarak, yapının dış ve iç kuvvetlere karşı stabilitesini sağlamak görevini üstlenirler. Taşıyıcı elemanlar yapının yekpare olarak güvenliğini sağlarken, eleman bazında da stabilite ve dayanım koşullarını sağlamalıdır. Taşıyıcı sistemin görece daha narin elemanlara sahip olacak şekilde çelik malzemesi ile tasarlanması, eleman kontrollerinin daha sıkı kurallara bağlanmasına neden olmuştur. Özellikle bileşik etkiler altında bulunan elemanlarda ortaya çıkan yerel burkulma problemleri, üzerinde dikkatle durulması gereken konulardan bir tanesidir.

Yapı sistemi bir bütün olarak tasarlandığında yük aktarımı elemanlar üzerinden temele oradan da zemine aktarılmaktadır. Yük aktarımını gerçekleştiren sistemin hiperstatiklik derecesi fazla olduğundan, yapısal fazlalık adı verilen durum ortaya çıkar. Yapısal fazlalığın fiziksel anlamı, elemanlardan bazıları yük taşıyamaz duruma gelse dahi sistemin bütün olarak taşıyıcı özelliğinin bozulmamasıdır. Bu ilke baz alınarak sünek tasarım yapıldığında, depreme karşı dayanıklı bir sistem elde edilmiş olur.

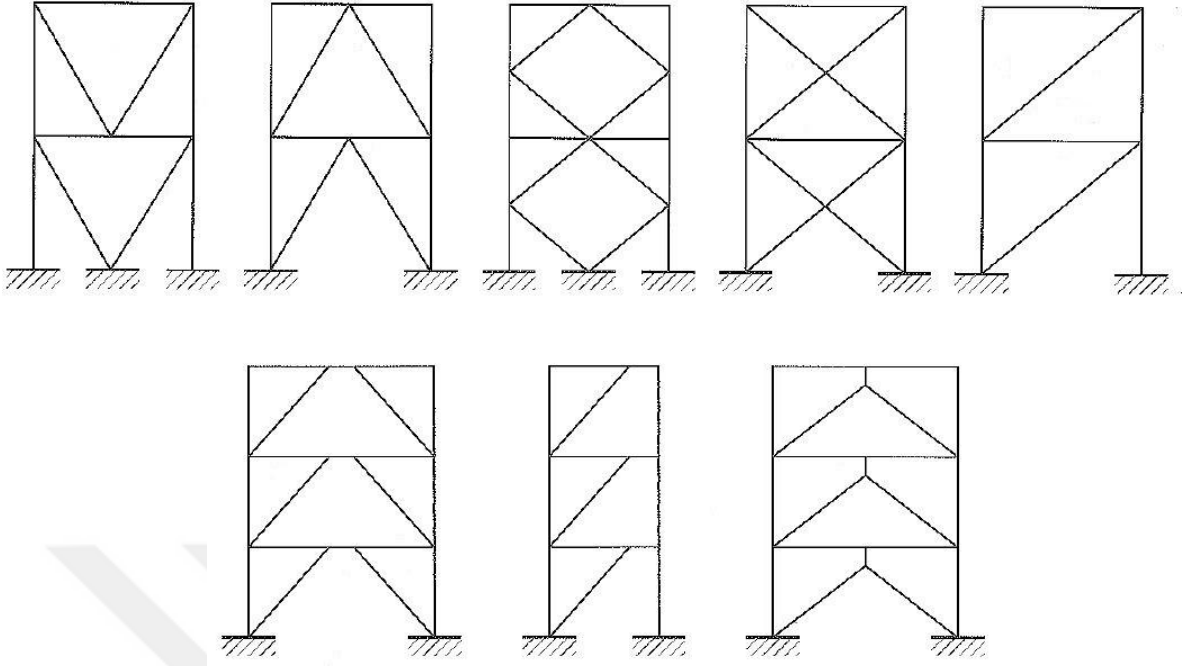
Yapı elemanlarından beklenen deprem performansına ulaşabilmek için elemanları birbirine bağlayan eklerin de süneklik koşullarını sağlaması gerekmektedir. Yapı sisteminin en zayıf kısımları olan bağlantı elemanları yapısal fazlalığa sahip olmadıklarından tasarımları ayrı ayrı yapılmalı ve her bir kopma durumuna karşı kontrol edilmelidirler. Bu çalışma kapsamında, çelik yapılarda birleşim elemanı olarak kullanılan guse (bayrak levhaları) elemanlarının, yapının deprem davranışına etkisini araştırılacaktır. 2016 yılında yayınlanan ÇYTHYEY yönetmeliğinde guse tasarımına ait detayların olmaması bu çalışmanın ele aldığı esas problemdir.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Çelik çerçevelerin yatay rijliklerini arttırıp, deprem kuvvetlerine karşı dayanımın arttırılması için çapraz (diyagonal) elemanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarımcıların tercih ettiği standart tek bir çapraz sistem olmaması, bu konudaki çeşitliliğin fazla olması ve en küçük detayların dahi yapı davranışına etkisinin büyük olması, çaprazlar ile güçlendirilmiş sistemlerin tasarımını zorlaştıran faktörlerden bazılarıdır.

### **1.2.1 Çelik çaprazlı sistemlerin çeşitleri**

Çelik Çapraz sistemlerin birçok çeşidi bulunmakta ve bu sistemler tasarımcılara geniş bir tercih havuzu sunmaktadır. Yapının bulunduğu bölgenin depremselliğine, yapıdan beklenen performansa ve yapının mimari özelliklerine uygun çapraz sistemlerin tasarlanması sırasında ortaya çıkan ve kullanımı yaygın olan belli başlı diyagonal sistemler Şekil 1’de verilmiştir.



**Şekil 1.1.** Yaygın Olarak Kullanılan Çapraz Sistemler (Geschwinder, 2008)

Bu sistemler yeni yapılarda kullanılmalarının yanında eski yapıların güçlendirilmesinde de sıklıkla tercih edilmektedir (Taşkın, 2011). Deprem etkisine karşı kullanılan çapraz sistemlerin diyagonal çapraz ve K çapraz olması durumları önerilmemektedir. Diyagonal çaprazlarda çevrimsel hareketten dolayı oluşacak olan çekme ve basınç kuvvetlerini aynı elemanın karşılaması, sünek tasarım için yeterli değildir. Bu sistemlerde, diyagonallerin düşey ekseninde simetrik olacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. K çapraz tipinin tercih edilmemesinin en önemli nedeni ise, çapraz elemanlarda oluşabilecek dengelenmemiş kuvvetin kolon ortalarına olan etkileridir. K Çapraz türü, kolonlarda hasara ve gevrek göçmeye neden olabileceğinden depreme karşı tasarımda kullanılmamalıdır (Tunçel, 2007). Çapraz sistemlerin deprem etkisi altındaki davranışı hakkında daha detaylı bilgiler bir sonraki bölümde verilmektedir.

### 1.2.2 Çelik çaprazlı sistemlerin deprem davranışları

Yapıların deprem sırasında ve sonrasında güvenli kalabilmesi için belirli koşulları sağlaması gerekir. Depreme karşı tasarımda ulaşılmak istenilen hedefler yeterli dayanım, rijitlik, yüksek süneklik düzeyi ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin yapılabilmesidir (Lehman vd, 2008). Çelik çaprazlı sistemlerin kullanılmasındaki temel beklenti yatay deprem kuvvetlerinin büyük bölümünün çaprazlar tarafından taşınmasını sağlamaktır. Yine orta ve yüksek şiddetteki depremlerde bu çelik çapraz sistemlerin

doğrusal olmayan şekil değiştirme yaparak enerji yutma kapasitesinden maksimum faydalanılması istenilmektedir. Deprem altında, sistemde meydana gelecek yerdeğişirmelerin belirli limitler içerisinde kalması, yapının düşey yükler altındaki stabilitesinin korunması amacıyla elzemdir. Aksi takdirde yatay yükler sistemde güvenli şekilde taşınırken, düşey yüklerden dolayı gevrek göçme ile karşılaşılabilir. Gevrek göçme türü ise düşük enerji yutma kapasitesinden ötürü depreme karşı tasarımda istenmemektedir ve bu göçme türünü önlemek için gerekli tasarım yapılmalıdır.

Deprem davranışının doğru tahmin edilebilmesi ve tasarımda bu davranışın dikkate alınması yapı güvenliği açısından zaruridir. Deprem davranışını tahmin edebilmek için deneysel yöntemler veya analitik modeller kullanılmaktadır. Deneysel yöntemlerin organizasyon ve maliyet açısından oldukça talepkar olmasından ötürü analitik modeller tasarımcılar tarafından tercih edilmektedir. Fakat yapıların analitik olarak modellenmesi bazı kabullerin yapılmasını mecburi kılmakta ve bu kabuller kimi zaman tahminlerin doğruluk derecesini düşürebilmektedir. Özellikle şiddetli depremlerde, yapıların elastik olmayan bölgede şekil değiştirmesi beklenir ve tersinir tekrarlı yükler altında yapı elemanlarının rijitliklerinde önemli azalmalar meydana gelir. Bu karmaşık fiziksel durumun analitik olarak basit şekilde modellenmesi, maalesef yeterli doğrulukta sonuca ulaşılmasına olanak sağlamamaktadır. Bir diğer tarafta, plastik davranışın yüksek doğrulukta sonuç verecek, gerçek durumu temsil kabiliyeti yüksek sürekli modellerin, yapıların tasarımı için uygulanması yüksek kapasiteli bilgisayarlar gerektirmekte ve oldukça uzun sürmektedir (Hsiao vd. 2012). Bu kısıtları dikkate alarak görece basit fakat lineer olmayan davranışı temsil kabiliyeti yüksek OpenSees modeli, Hsiao (2012) tarafından geliştirilmiştir ve bu çalışmada kullanılacak olan analitik modeldir.

Merkezi çelik çaprazlı perdeler yapının yatay rijitliğini arttırarak ötelenmelere karşı önemli ve güçlü bir direnç oluşturmaktadırlar. Fakat deprem etkisi altında yapıdan beklenen bir diğer özellik olan sünekliğe katkıları olumsuzdur. Bu tipte tasarlanmış çerçevelerin süneklik koşullarını iyileştirmek için kompakt (tok) kesitlerin seçilmesi ve elemanların birbirlerine bağlandığı noktalarda yer alan bağlantı elemanlarının, süneklik koşullarını göz önünde bulundurarak tasarlanması gereklidir. Süneklik koşulları gözetilerek tasarlanan bir çelik çaprazlı sistemde istenilen göçme sırası;



- Çapraz elemanın burkulması
- Guse elemanının dönmesi
- Kiriş uçlarının mafsallaşması

olarak verilebilir. Çelik çaprazın ve guse elemanın modellenmesi ile ilgili daha geniş bilgi Bölüm 3.'te verilmiştir.

### **1.3 Çalışmanın Amacı & Kapsamı**

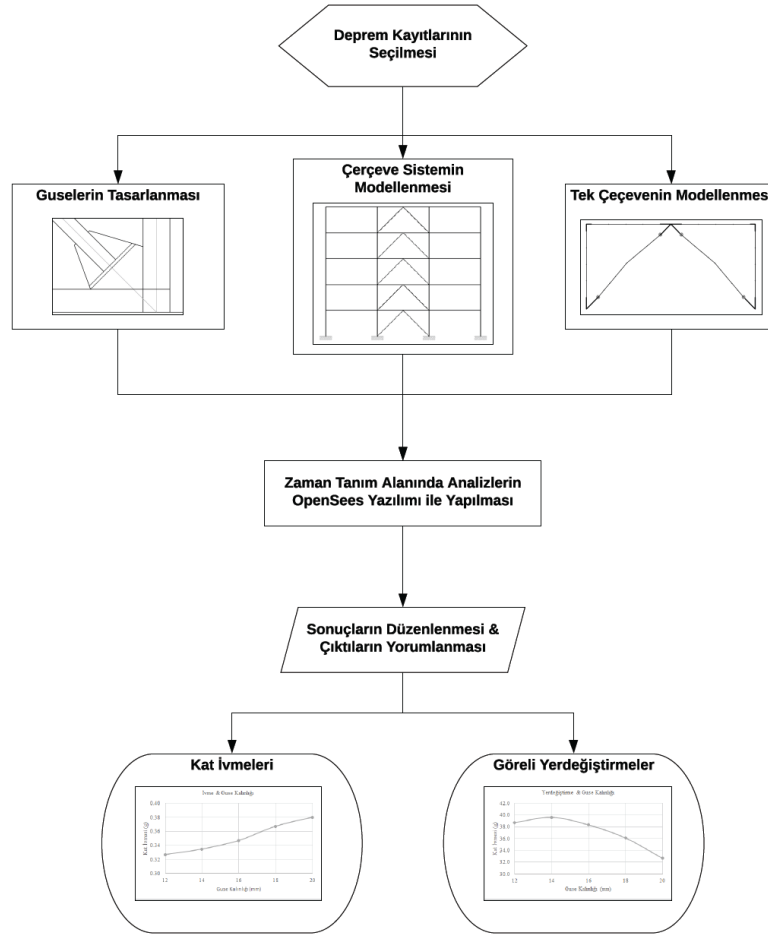
Şekil değiştirebilme kapasitesi yüksek, elastik olmayan bölgede şekil değiştirebilen yani enerji yutma kapasitesi yüksek tasarımların en ekonomik şekilde elde edilebilmesi bu çalışmanın amacıdır. Bu amaca yönelik farklı tasarımlara sahip guse bağlantılarının bulunduğu çapraz sistemler hem tek açıklıklı tek katlı çerçevede hem de iki boyutlu çerçeve sistemde analiz edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çelik çaprazlarla güçlendirilmiş çerçevelerin deprem altındaki gerçek davranışına en yakın sonuca ulaşabilmek amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmış ve analizler OpenSees yazılımı yardımı ile yapılmıştır.

Bu çalışmada, guse bağlantılarına ait tasarımların, özel diyagonallerle güçlendirilmiş merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin deprem davranışına etkisi araştırılmıştır. Her ne kadar uygulamada bu bağlantılar mafsallı veya sabit olarak tasarlansa da, bu iki durumun da gerçek davranışı tam olarak temsil edemediği yapılan çalışmada görülmüştür (Terzic, 2013). Gerçek davranışa en yakın analitik model kullanılarak, farklı kalınlıklara sahip guse elemanları ile tasarlanmış çerçeve sistemler zaman tanım alanında, gerçek deprem kayıtları kullanılarak analiz edilmiştir.

### **1.4 Çalışmada İzlenen Yöntem**

Gerçek durumu temsil edebilmesi amacıyla çelik çerçeveler yürürlükteki yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış, hesaplanan kesitlere uygun olacak şekilde boyutlandırma yapılmıştır. Çelik çerçeve sistemlerin depreme göre tasarımında ise öncelikle statik yöntemle göre ön boyutlandırma yapılmış, sonrasında ise taşıyıcı elemanların kapasite tasarımları hazırlanmıştır. Son olarak kapasite tasarım koşullarını sağlayan kesitler kullanılarak hem çerçeve sistemin hem de tek katlı, tek açıklıklı çerçevenin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Beş farklı guse elemanı kullanılarak yapılan analizler sonunda, kat ivmesi ve kat deplasmanı bakımından en iyi ve en kötü guse modelleri kullanılarak iki farklı çerçeve sistem tasarlanmıştır. Guse

tasarımının hem tek çerçevedeki hem de çerçeve sistemdeki etkisi araştırılmıştır. Zaman tanım alanında yapılan analizler kapsamında hem malzeme bakımından doğrusal olmayan analitik modellere yer verilmiş hem de şekil değiştirmelerden dolayı meydana gelen ikinci mertebe etkileri göz önüne alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Excel ve Matlab programları kullanılarak yorumlanabilir şekilde düzenlenmiş ve ilgili grafik gösterimleri hazırlanmıştır. Çalışmaya ait akış tablosu aşağıda, Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2 Akış Şeması

## 2. DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ

Zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda en önemli parametrelerden bir tanesi deprem kayıtlarının seçilmesidir. Ölçümün alındığı istasyonun zemin tipi, kaynağa olan uzaklığı, depremin etkime açısı ve şiddeti deprem seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Orijinal kayıtların sayısının az olması bazı durumlarda sentetik kayıtların oluşturulması ihtiyacı doğurabilir. Sentetik deprem kayıtlarını oluştururken SIMQKE (1976) yazılımı gibi farklı yazılımlar kullanılabilir fakat bu çalışmada orijinal

deprem kayıtları ile çalışılmıştır. Orijinal deprem kayıtları “Pacific Earthquake Engineering Research Center” veri bankasından alınmıştır. Söz konusu veri bankasında dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelmiş deprem kayıtlarının işlenmiş bilgileri bulunmakta ve kullanıcılar filtre seçeneklerini kullanarak istedikleri özelliklere sahip deprem kayıtlarını sınıflandırabilmektedirler.

Bu çalışmada, deprem kayıtlarının seçiminde dikkate alınan ilk değişken zemin tipidir. Buna göre, analizlerin yapıldığı bölgenin zemin türü, DBYBHY 2007’de Tablo 6.1’de verilmiş olan sıkı kum çakıl (B grubu) olarak varsayılmıştır. Yerel zemin sınıfı olarak yine ilgili yönetmelikte yer alan Tablo 6.2’den Z2 seçilmiştir. Seçilen zemin grubunun yaklaşık olarak NEHRP’de karşılığı, sert toprak veya yumuşak kaya olan C sınıfı olmaktadır. Bu veriler ışığında, seçilen deprem kayıtlarında 30 m derinlikteki kayma dalgası hızının ( $V_{s30}$ ) 360 m/s ile 760 m/s arasında olması kısıtı uygulanmıştır (Tablo 2.1).

**Tablo 2.1** Kayma Hızı ( $V_{s30}$ ) Kategorileri (NEHRP, 2000)

Site Class	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ or $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
E	< 600 fps ( < 180 m/s)	< 15	< 1,000 psf ( < 50 kPa)
D	600 to 1,200 fps (180 to 360 m/s)	15 to 50	1,000 to 2,000 psf (50 to 100 kPa)
C	> 1,200 to 2,500 fps (360 to 760 m/s)	> 50	> 2,000 ( > 100 kPa)

Deprem kayıtlarının seçiminde gözönüne alınan ikinci parametre ise ölçüm istasyonunun deprem kaynağına olan uzaklığıdır. Yapılan çalışmada deprem etkisinin baskın şekilde gözlemlenebilmesi için yakın kaynaklı deprem kayıtları ile çalışılmıştır. Bu aşamada uygulanan kısıt ise deprem kaynağında olan uzaklığın 5 km ile 20 km arasında olmasıdır. Alt sınırın 5 km’den büyük olarak seçilmesi, ASCE-07’nin 16.1’inci bölümünde verilmiş olan özel şart koşullarına uygunluğun sağlanması amacıyla. Üst sınır olarak seçilen 20 km ise yapılan duyarlılık analizleri sonucu seçilmiştir. Deprem kayıtlarının seçiminde kullanılan son parametre ise depremin şiddetidir. Yüksek şiddette ki depremleri temsil etmesi amacıyla 6.5 şiddetinden büyük olan depremler, zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda kullanılmak üzere seçilmiştir. DBYBHY 2007’de, zaman tanım alanındaki analizler için üç deprem seçilip maksimum değerlerle çalışılması veya yedi deprem seçip ortalama değer ile çalışılması önerilmektedir. Bu çalışmada 7 adet

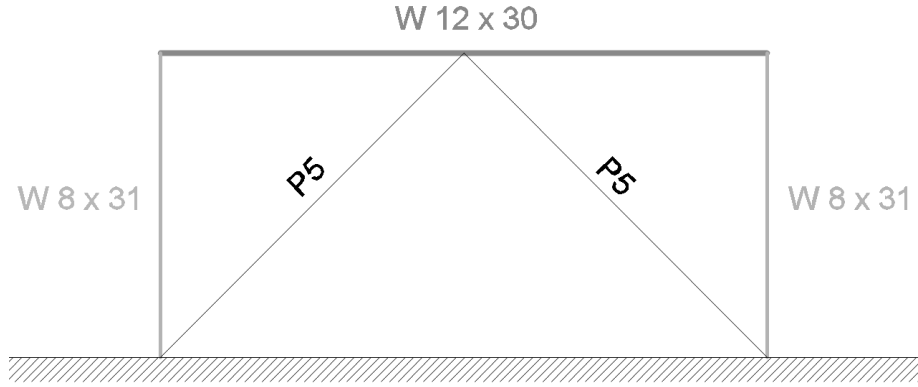
deprem kaydı seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarına ait özellikler Tablo 2.2’de verilmiştir.

**Tablo 2.2 Deprem Kayıtlarının Özellikleri**

#	İsim	İstasyon	Yıl	Bileşen	Vs 30 (m/s)	Şiddet (Mw)	Kaynağa Uzaklık (km)
1	Tabas	Dayhook	1978	L	471.53	7.35	13.94
2	Irpina	Bagnoli Irpino	1980	0	649.67	6.9	8.18
3	Loma Prieta	Anderson Dam (Downstream)	1989	250	488.77	6.93	19.9
4	Kocaeli	Arcelik	1999	0	523.00	7.51	13.49
5	Chuetsu-oki	Yoitamachi Yoita Nagaoka	2007	EW	655.45	6.8	16.1
6	Iwate	IWTH24	2008	EW	486.41	6.9	5.18
7	Hector Mine	Hector	1999	0	726.00	7.13	11.66

### 3. TEK ÇERÇEVENİN TASARIMININ YAPILMASI

Guse elemanının, yer aldığı yapı sistemindeki önemi vurgulamak ve sayısal olarak önem derecesini belirlemek amacıyla beş farklı çerçeve OpenSees programı kullanılarak modellenmiştir. Çerçevenin yüksekliği 4 m, genişliği ise 8 m olarak seçilmiştir. Guse kalınlıklarının 12, 14, 16, 18 ve 20 mm olarak kabul edildiği beş farklı model zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analiz edilmiştir. Tek katlı tek açıklıklı çerçevenin tasarımında, çapraz elemanlar, kolonlar, kiriş ve guse elemanları ayrı ayrı tasarlanmış ve tasarımda süneklik koşulları dikkate alınmıştır. Elemanlar için seçilen kesitler Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.1** Çerçeve Sistem İçin Seçilen Kesitler

### 3.1 Taşıyıcı Elemanların Tasarımı

Taşıyıcı elemanlar diyagonal, kolon ve kiriş olmak üzere üç başlıkta incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Elemanların kesit kontrolleri yönetmelik koşullarına göre gerçekleştirilmiştir. Dayanım kontrollerinden ziyade şekil değiştirme esaslı tasarım yapılmış ve duyarlılık analizleri ile optimum kesitler elde edilmiştir. Elde edilen beş farklı model, yedi adet gerçek deprem kaydı kullanılarak analiz edilmiştir.

#### 3.1.1 Çapraz elemanların tasarımı

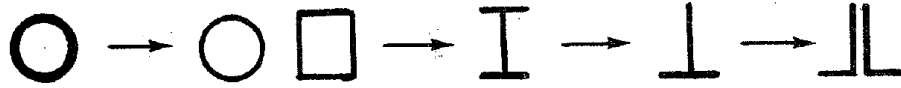
Çelik çaprazların deprem davranışını incelerken gözönüne alınan en önemli parametreler tersinir tekrarlı normal kuvvet ile çelik çaprazın burkulmasından sonraki davranışdır (Lehman vd. 2008). Bu kapsamda deprem etkisi altındaki çerçeve sistem çevrimsel yüklere maruz kalacak ve her çevrim deprem ivme kayıtlarına göre etkiyecektir. Çelik çaprazların tasarımında bu çevrimsel etkilerin dikkate alınması, yapı güvenliği açısından zaruridir. Çapraz elemanların burkulması Euler burkulma limitinin altında kalıyorsa elastik, bu limitin üzerine çıkıyorsa plastik burkulma olarak adlandırılır. Euler burkulma sınırı Denklem 3.1’de verilmiştir.

$$P_{el} = \frac{\pi^2 EI}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2} \quad (3.1)$$

Euler burkulma limitinin aşılması durumunda kesit doğrusal olmayan davranış gösterir ve Euler formülü artık geçerli değildir. Bu durum, depreme dayanıklı yapılan tasarımda ulaşılması beklenen bir seviyedir ve doğrusal olmayan hareket ile elemanın enerji yutma kapasitesinden faydalanılır. Çapraz elemanların narinlikleri ile enerji yutma

kapasiteleri arasındaki ilişkiyi incelemiş olan çalışmada, narinliğin sınır değerden küçük olması durumunda, narinlikteki ufak azalmalara karşı enerji yutma kapasitesinde büyük artışlar meydana geldiği görülmüştür (Dülger, 2010). Tüp kesitli çaprazların, alternatif kesitlere göre daha sünek davrandığı Black vd. (1980) tarafından yapılan çalışmalar sonucu görülmüş olup, bu çalışmada çelik çaprazlar için boyutlandırma dairesel tüp kesit kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.2).

Kullanılan modelde, çelik malzemesi için S275 sınıfı seçilmiştir. Seçilen malzemenin, sıcak haddelenmiş yapısal çelikler ve yapısal boru ve kutu profiller için akma dayanımı ( $F_y$ ) 275 N/mm<sup>2</sup>, kopma dayanımı ise ( $F_u$ ) 430 N/mm<sup>2</sup> olarak modele girilmiştir (ÇYTHYFY).



Şekil 3.2 Sünekliğe Göre Azalan Sıralama (Black vd., 1980)

Çapraz elemanların kesit kontrollerinde dikkat edilecek iki husus bulunmaktadır. Bu hususlardan birincisi eleman enkesitinin süneklik koşulunu sağlayıp sağlamadığının kontrolü yani kompaktlık kontrolüdür. Bu kontrol ÇYTHYFY Tablo 5.1A'da verilmiştir. Boru enkesitli eleman için verilmiş olan süneklik sınır değeri Denklem 3.2'de verilmiştir. Bu koşulu sağlayan kesitlerin kompakt (tok) oldukları ve depreme karşı tasarımda kullanılabileceği anlaşılmalıdır. Modelde kullanılan P5 kesitli çapraz elemanı için yapılan kontrol ise Denklem 3.2'te gösterilmiştir.

$$\frac{D}{t} \leq 0.11 \cdot \frac{E}{F_y} \quad (3.2a)$$

$$\frac{141.03}{6.55} = 21.5 \leq 0.11 \cdot \frac{200000}{275} = 80 \quad (3.2b)$$

Çapraz elemanlar için kontrol edilecek diğer parametre ise narinlik oranıdır. İlgili elemanın burkulma boyu kullanılarak hesaplanan narinlik oranının üst sınırı (Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu, 2017) Denklem 3.3'te verilmiştir.

$$\frac{K \cdot L}{i} \leq 200 \quad (3.3a)$$

$$\frac{1 \cdot 4556}{47.8} = \mathbf{95.3} \leq \mathbf{200} \quad (3.3b)$$

Modelde kullanılan P5 kesitli çapraz elemanın kesit kontrolleri yukarıda verilmiştir. Kontrollere göre P5 elemanı bu modelde çapraz elemanı olarak kullanılabilir.

### 3.1.2 Kolonların tasarımı

Taşıyıcı sistemde düşey ve yatay yüklerin katlar arasındaki transferini sağlayan elemanlar olan kolonlar, deprem hareketi sırasında hasar görmesi istenmeyen taşıyıcılardır. Bu bölümde, kolon kesitleri kompaktlık limitleri ile karşılaştırılacak ardından birleşik etkiler altında değerlendirilecektir. Kolon kesitlerinin kontrolleri için üç farklı durum gözönüne alınmalıdır. Eksenel basınç altında yerel burkulma kontrolü ÇYTHYEEY Tablo 5.1A'da verilmiştir (Denklem 3.4 ve 3.5). Eğilme momenti etkisinde yerel burkulma kontrolü ise ÇYTHYEEY Tablo 5.1B'de verilmiştir (Denklem 3.6 ve 3.7). Son olarak, birleşik etki olan eğilmeli burkulma kontrolü için ÇYTHYEEY Bölüm 5.4.1 ve 8.1.1'de verilen durumlar incelenecektir (Denklem 3.8 ve 3.9). Yapılan kontroller sırası ile aşağıda gösterilmiştir.

$$\frac{b}{t_f} \leq 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.4a)$$

$$\frac{203.2}{2 \cdot 11} = \mathbf{9.23} \leq 0.56 \cdot \sqrt{\frac{200000}{275}} = \mathbf{15.1} \quad (3.4b)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.5a)$$

$$\frac{203.1}{7.2} = \mathbf{28.2} \leq 1.49 \cdot \sqrt{\frac{200000}{275}} = \mathbf{40.2} \quad (3.5b)$$

$$\frac{b}{t_f} \leq 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.6a)$$

$$\frac{203.2}{2 \cdot 11} = \mathbf{9.23} \leq 0.38 \cdot \sqrt{\frac{200000}{275}} = \mathbf{10.25} \quad (3.6b)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.7a)$$

$$\frac{203.1}{7.2} = \mathbf{28.2} \leq 3.76 \cdot \sqrt{\frac{200000}{275}} = \mathbf{101.4} \quad (3.7b)$$

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r_i} \quad (3.8a)$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 4000}{88.2} \quad (3.8b)$$

$$\lambda \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.9a)$$



$$\lambda = 90.7 \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.0 \quad (3.9b)$$

### 3.1.3 Kirişlerin tasarımı

Taşıyıcı sistemde düşey yüklerin döşemelerden alınıp kolonlara aktarılmasını sağlayan elemanlar olan kirişler, deprem etkisi altında hasar oluşması beklenen elemanlardır. Kiriş uç bölgelerinde oluşacak lineer olmayan şekil değiştirmeler sayesinde sistemin enerji yutma derecesi artacaktır. Kiriş elemanlarda yapılacak kontroller, kesitin kesme etkileri ve eğilme etkileri için kompakt olup olmadığının belirlenmesidir. Kesme etkileri altında kompaktlık koşulu ÇYTHYEEY Bölüm 10.2.1 (a)'da verilmiş olup, Denklem 3.10'de gösterilmiştir. Eğilme etkileri için yapılacak kontrol ise ÇYTHYEEY Tablo 5.1 B'de verilmiş, Denklem 3.11 ve 3.12 ile gösterilmiştir.

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.10a)$$

$$\frac{313.4}{6.6} = 47.5 \leq 2.24 \cdot \sqrt{\frac{200000}{275}} = 60.4 \quad (3.10b)$$

$$\frac{b}{t_f} \leq 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.11a)$$

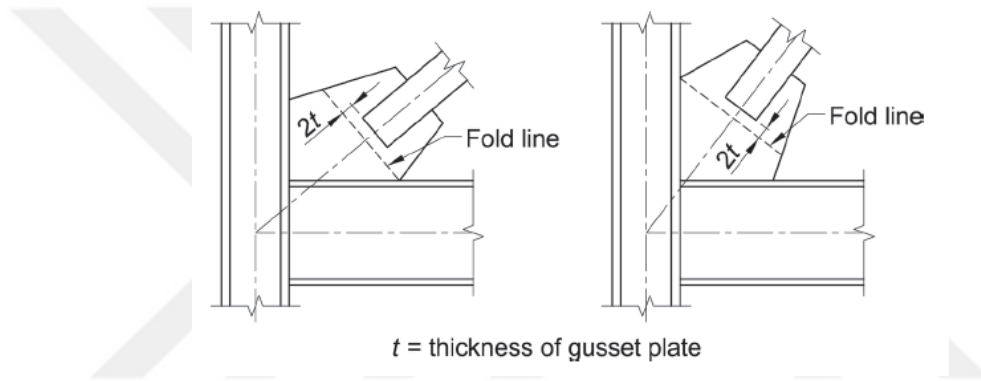
$$\frac{165.6}{11.2} = 14.8 \leq 0.38 \cdot \sqrt{\frac{200000}{275}} = 26.97 \quad (3.11b)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.12a)$$



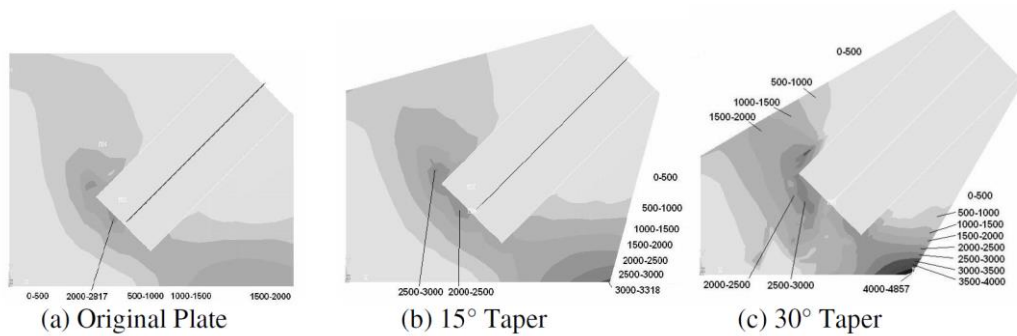
önemli ölçüde düşürebilirler. Bu nedenlerle guse tasarımında süneklik kriterlerine dikkat edilmeli ve imalat aşaması çok sıkı denetlenmelidir.

Çevrimsel yükler altında diyagonal elemanlar düzlem dışı şekil değiştirme yaptıklarında guselerin bu şekildeğıştirmeye uyum sağlaması için serbest şekilde dönebilecekleri pay (temiz açıklık) bırakılması gerekmektedir. Bırakılan bu alan, guse elemanın dönmesine imkan sağlar ve böylece guse ve diyagonal elemandan oluşan sistem sünek davranış gösterir. Astaneh-Asl (1998) ve Astaneh-Asl vd. (2006) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilen ve AISC 341-16’da önerilen guse boyutlandırmasına esas teşkil edecek merkezden uzaklık Şekil 3.4’te verilmiştir.

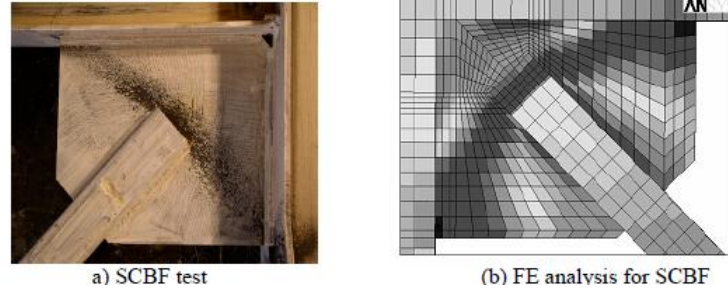


Şekil 3.4 Guse Elemanı için Gereken Temiz Açıklık (AISC 341-16)

AISC 341-16’da verilmiş olan  $2t_p$  şartı; çelik çaprazın düzlem dışı burkulması durumunda, guse levhasının serbest dönmesine müsaade etmek ve bu bölgede plastik mafsal oluşumunu sağlamak olarak ifade edilebilir. Bu alanın istenmesindeki temel neden guse elemanlarının üzerinde oluşan gerilmelerin bu bölgede yoğunlaşmasıdır. Analitik model ve deney sonuçlarından elde edilen gerilme dağılımları Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Guse Elemanı Üzerinde Oluşan Gerilmeler-1 (Lehman vd. 2004)



**Şekil 3.6** Guse Elemanı Üzerinde Oluşan Gerilmeler-2 (Roeder vd. 2011)

Deprem bölgesinde yer alan çapraz elemanlar ile güçlendirilmiş çerçeve sistemlerde, bağlantı elemanı olarak kullanılan guse elemanların süneklik koşullarını sağlaması gereklidir. Süneklik koşullarının yanında kırılma, kaynak, burkulma, blok kırılma, kalınlık ve uç burkulması kontrolleri yapılmalıdır. ÇYTHYEY-16’da guse elemanları ile ilgili bağlayıcı maddeler bulunmamaktadır. Bu nedenle kontroller uluslararası şartnameler ve uluslararası yayınlarda yer alan koşullar kullanılarak yapılmıştır (AISC 360-16 & 341-16, Astanah-esl 1998 ve Astanah-esl vd. 2006). Kırılma kontrolü guse elemanına bağlanan çapraz elemanın brüt kesiti üzerinden hesaplanır ve ilgili kontrol Denklem 3.13’te verilmiştir. Kaynak kontrolü ise çapraz elemanın guse elemanına bağlandığı kısımda yapılır ve kontrol Denklem 3.14’te verilmiştir. Bir diğer kontrol olan burkulma kontrolü ise guse elemanın kolon ve kirişe bağlandığı bölgedeki burkulmayı inceler. Burkulma kontrolünde yapılacak hesap Denklem 3.15’te gösterilmiştir. Ayrıca, blok kırılma kontrolü de çapraz elemanın çekme kapasitesi kullanılarak yapılmıştır. Blok kırılma kontrolü Denklem 3.16’da verilmiştir. Kalınlık kontrolü ise whitmore genişliği (Whitmore, 1952) kullanılarak hesaplanır ve Denklem 3.17’de verilmiştir. Son olarak uç burkulması kontrolü ise guse elemanının kolon & kiriş yanağına bağlanan kısımlar için yapılmalıdır ve bağlantı elemanı stabilitesi için elzemdir. İlgili kontrol Denklem 3.18’de verilmiştir. Kontrollerin tamamı aşağıdaki denklemlerde sıra ile verilmiştir. Çalışmanın bu kısmında beş farklı guse kalınlığı (12, 14, 16, 18 ve 20 mm) kullanılmış ve her bir durum için farklı tasarım yapılmıştır.

$$T_n = F_u \cdot A_g \quad (3.13a)$$

$$T_d = \phi \cdot T_n > R_u \quad (3.13b)$$

$$F_{nw} = \phi \cdot 0.6 \cdot F_E \quad (3.14a)$$

$$R_u = R_y \cdot F_y \cdot A_g \quad (3.14b)$$

$$L_w = \frac{R_u \cdot 0.25}{0.707 \cdot t_w \cdot F_w} \quad (3.14c)$$

$$P_n = P_{cr} \cdot A_g \quad (3.15a)$$

$$r = \frac{t_{guse}}{\sqrt{12}}, K = 1.2 \quad (3.15b)$$

$$P_{cr} = \left[ 0.658 \left( \frac{F_y}{F_{el}} \right) \right] \cdot F_y \quad (3.15c)$$

$$R_n = 0.60 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0.60 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U \cdot F_u \cdot A_{nt} \quad (3.16a)$$

$$A_e = U \cdot A_n \quad (3.16b)$$

$$U = 1 - \frac{x}{l} \quad (3.16c)$$

$$T_d = \phi \cdot T_n \quad \text{veya} \quad T_d = \phi \cdot R_n \quad (3.16d)$$

$$t_{guse} = \frac{R_d}{\phi \cdot F_y \cdot W} \quad (3.17)$$

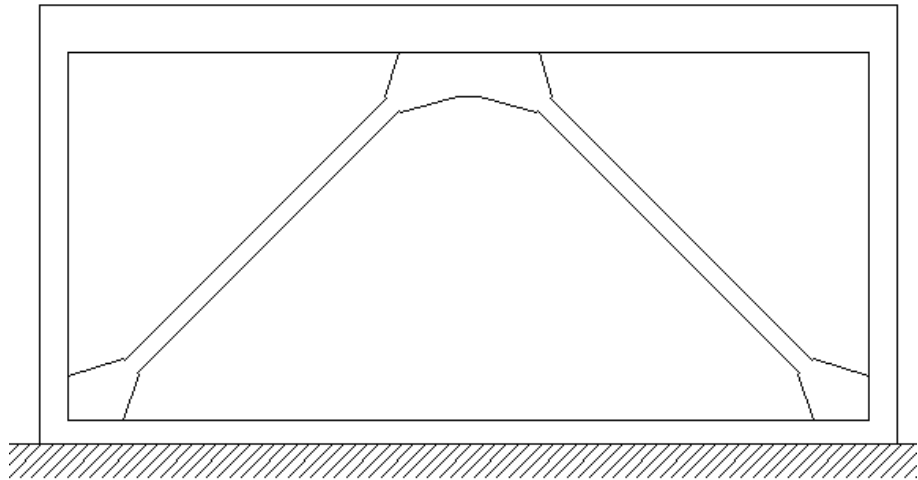
$$\frac{L_{fg}}{t_{guse}} \leq 0.75 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.18)$$

#### 4. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZLERİN YAPILMASI

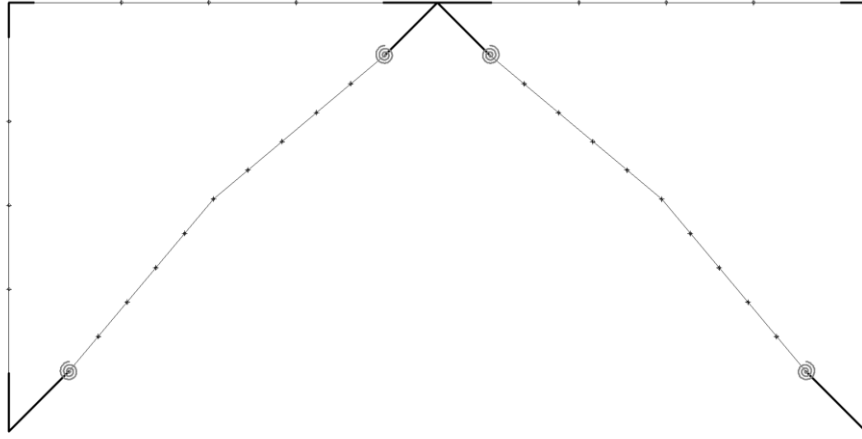
Zaman tanım alanında çözüm yöntemi, gerçek davranışa yakın sonuçların elde edilebildiği dinamik bir yöntemdir. DBYBHY-2007’de kısıtları verilen hesap yöntemlerinden bir tanesi olan bu yöntem tüm bina ve yapıların hesabında kullanılabilir. Bu çalışmada deprem hesabı yöntemi olarak seçilen zaman tanım alanında analizde, iki boyutlu analiz yapılmıştır. Ayrıca rijit diyafram kabulü yapılarak aynı yükseklik seviyesindeki noktaların eşit yerdeğiştirme yapması sağlanmıştır. Yapıya ve taşıdığı yüklere ait kütlelerin düğüm noktalarında toplandığı kabulü de bu çalışmada yapılan kabullerden bir tanesidir.

##### 4.1 Analitik Modellerin OpenSees Programında Tanımlanması

Bu bölümde tek katlı tek açıklıklı çerçevenin OpenSees yazılımında tanımlanması açıklanacaktır. Çerçeve kullanılabildiği kesitlerin doğrusal olmayan bölgeye geçebilmesi için yapılan duyarlılık analizleri sonucu kesitler belirlenmiştir. Belirlenen kesitler Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Sekiz metre genişliğinde dört metre yüksekliğinde modellenen çerçeve, farklı kalınlıklara ve tasarımlara sahip beş guse elemanı kullanılmış böylece geometri ve rijitlik bakımından beş farklı model elde edilmiştir. Örnek bir modelin gerçek durumu Şekil 4.1’de, analitik modeli ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçevenin Gerçek Durumu



**Şekil 4.2** Tek Katlı Tek Açıklıklı Çeçevenin Analitik Modeli

Şekil 4.2’de gösterilmiş olan analitik modelde yer alan parametrelerden olan kalın çizgiler guse elemanlarının kolon ve kiriş uçlarında oluşturduğu rijit bölgeleri temsil etmektedir. İnce çizgiler ise taşıyıcı elemanlara karşılık gelmektedirler. İnce çizgiler arasında bulunan noktalar ise her bir elemanın başlangıç ve bitiş noktalarını temsil etmektedir. Çapraz elemanların uçlarında bulunan gri spiral çizgiler ise guse elemanın rijitliğini modele aktaran, dönme rijitliği bulunan yaylara karşılık gelmektedir. Buradaki rijitlik değerleri Şekil 3.2’de gösterilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Yine Şekil 4.2’de dikkat çeken bir diğer durum, çapraz elemanların doğrusal olmaması ve orta noktalarından kırık olmalarıdır. Bu durum “başlangıç kusuru” olarak tanımlanmakta ve gerçek davranışı daha iyi temsil edebilmek amacıyla araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Terzic, 2013). Başlangıç kusuru, çapraz elemanın burkulmaya başlayacağı noktadır.

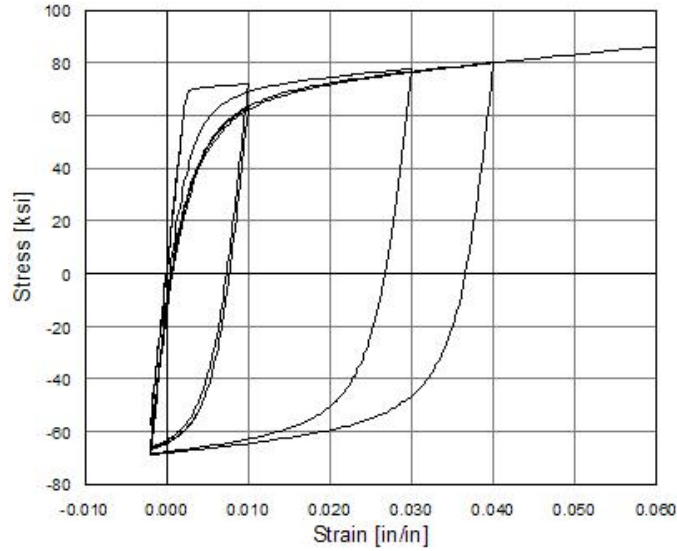
#### **4.1.1 Malzeme modellerinin tanımlanması**

Yüksek şiddetli depremlerde yapıların doğrusal olmayan bölgede şekil değiştirme beklenmektedir. Fakat bu davranışı yeter yakınsaklıkta modellemek kolay değildir. Araştırmacılar doğrusal olmayan davranışı modelleyebilmek amacıyla noktasal plastisite veya yayılı plastisite kabulü yapmaktadırlar (Terzic, 2012). Bu çalışmada lif (fiber) elemanlar kullanılarak yayılı plastisite kabulü uygulanmıştır. Çelik yapı elemanlarının kullanıldığı varsayımıyla hazırlanan modelde, doğrusal olmayan davranışı temsil edebilmek amacıyla OpenSees yazılımı kütüphanesinde bulunan malzeme modelleri kullanılmıştır. Şekil 4.3’te, gerilme şekildeğiştirme ilişkisi gösterilen “Steel02”

malzemesi, çevrimsel etkiler altında rijitlik dayanımını da hesaba katacak şekilde tüm taşıyıcı elemanlar için kullanılmıştır. Bağlantı elemanları olan guseler için kullanılacak malzeme ise yine OpenSees kütüphanesinde bulunan “ZeroLength Element” parametresi kullanılarak tanımlanmıştır. ZeroLength Element’in tanımlanması için gereken rijitlik değerini veren analitik ilişki Denklem 4.1’de, akma momenti değerini veren analitik ilişki ise Denklem 4.2’de verilmiştir. Bu denklemler Hsiao tarafından 2012 yılında yapılan çalışmadan alınmıştır. Bu çalışma kapsamında, dinamik analizin en önemli parametrelerinden bir tanesi olan süneklik değeri ise örnek çalışmalarda ki değer olan % 2 olarak kabul edilmiştir (Hsiao, 2012 & Mofid ve Khosravi, 2000).

$$K_{rot} = \frac{E}{L_{ave}} \cdot \left( \frac{W \cdot t^3}{12} \right) \quad (4.1)$$

$$M_y = F_y \cdot \left( \frac{W \cdot t^2}{6} \right) \quad (4.2)$$

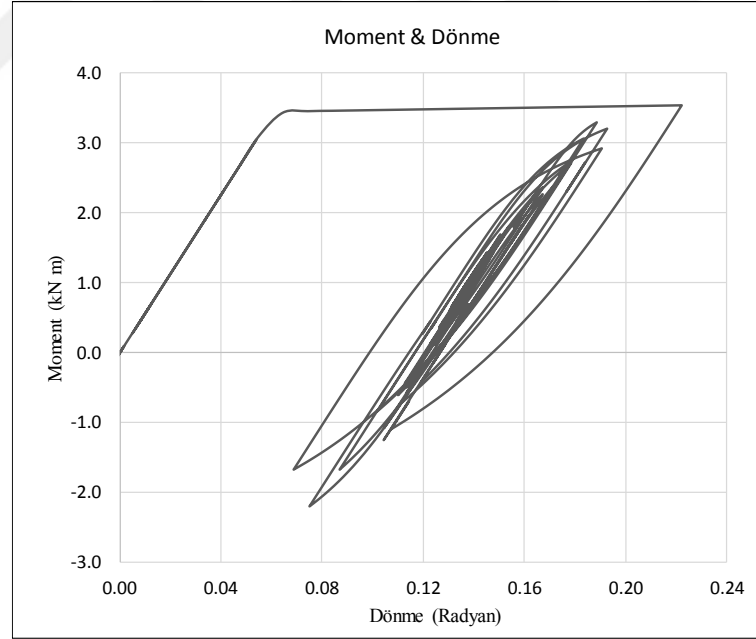


**Şekil 4.3** Kullanılan “Steel02” Malzemesinin Gerilme & Şekil Değişirme İlişkisi (OpenSees Kütüphanesinden Alınmıştır)

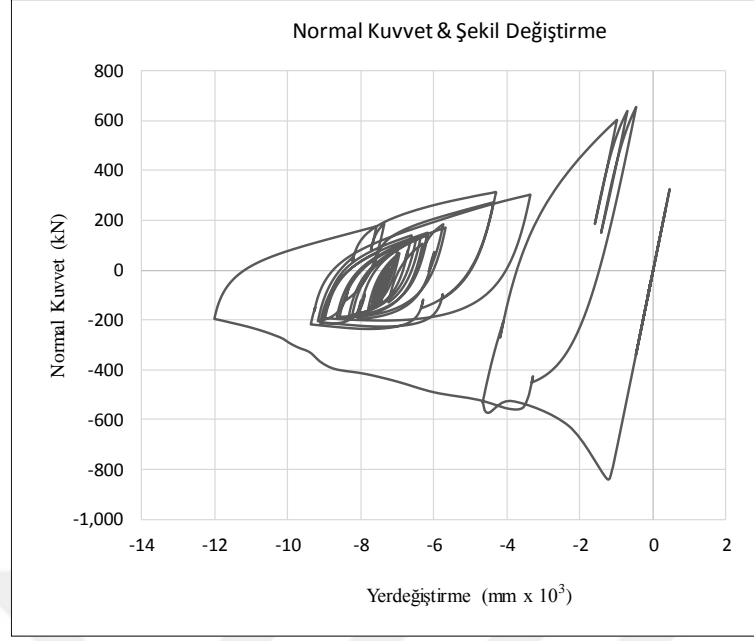


## 5. ANALİZLERE AİT SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan analizler kadar önemli olan bir başka aşama analiz sonuçlarının yorumlanmasıdır. Bu çalışmada, OpenSees programında gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar “txt” uzantılı dosyalar halinde düzenlenmiştir. Bu formatta düzenlenen dosyalardaki maksimum ve minimum değerlere ulaşabilmek için Matlab programı kullanılmıştır. Hazırlanan bilgilerin görselleştirilmesi, grafik haline getirilmesi için ise Excel programından faydalanılmıştır. İncelenecek yapı tepkileri olarak kat ötelenmeleri ve kat ivmeleri seçilmiştir. Seçilen yapı tepkileri ile ilgili daha geniş bilgi bir sonraki bölümde verilecektir. Ek olarak, analizlerde doğrusal olmayan bölgeye geçilip geçilmediğinin kontrolü amacıyla guse ve çapraz elemanların gerilme şekil değiştirme grafikleri incelenmiştir. Analizlerin bir tanesinden elde edilen, guse elemanına ait moment dönme grafiği Şekil 5.1’de, çapraz elemana ait normal kuvvet şekil değiştirme grafiği ise Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Guse Elemanına Ait Moment & Dönme İlişkisi



Şekil 5.2 Çapraz Elemana Ait Normal Kuvvet & Şekil Değişirme İlişkisi

### 5.1 Yapı Tepkilerinin Seçilmesi & Yorumlanması

Yapılan zaman tanım analizleri sonucunda, incelenecek iki farklı yapı tepkisi seçilmiştir. Toplam otuz beş adet zaman tanım alanında analiz yapılmış olup, kat ötelenmesi ve kat ivmeleri olmak üzere beş farklı model için sonuçlar elde edilmiştir. DBYBHY 2007 Bölüm 2.9’da verildiği üzere, yedi farklı deprem kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin ortalama değerleri kullanılmış ve ortalama değerler her bir modelin tepkisi olarak kaydedilmiştir. Yapı tepkilerinin tanımları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Yapı Tepkilerinin Tanımlanması

	<u>Tanımlar</u>
Kat Ötelenmesi	KÖ = <i>maks</i> (Yerdeğiştirme <sub>i</sub> )
Kat İvmesi	Kİ = <i>mutlak maks</i> (Katİvmesi <sub>i</sub> ) * <i>i</i> : kat sayısı

Yapı tepkilerinin yorumlanması için ise uluslararası şartname ve yayınlar kullanılmıştır (Earthquake Loss Estimation Methodology (*Hazus-MH 2.1*), ASCE/SEI 7-10). Bu dokümanlara göre, kat ötelenmeleri yapısal elemanlar üzerindeki hasarı temsil ederken, kat ivmeleri ise yapısal olmayan birimlerin hasar derecelerini belirlemek için

kullanılır. Hasar limitleri Tablo 5.2’de gösterilmiştir. Hasar limitlerinin fiziksel karşılıkları olan yenileme (tamirat) için gereken maliyetin, inşaa maliyetine oranları ise Tablo 5.3’te gösterilmiştir.

**Tablo 5.2** *Yapı Tepkileri İçin Limit Değerler (Hazus-MH 2.1)*

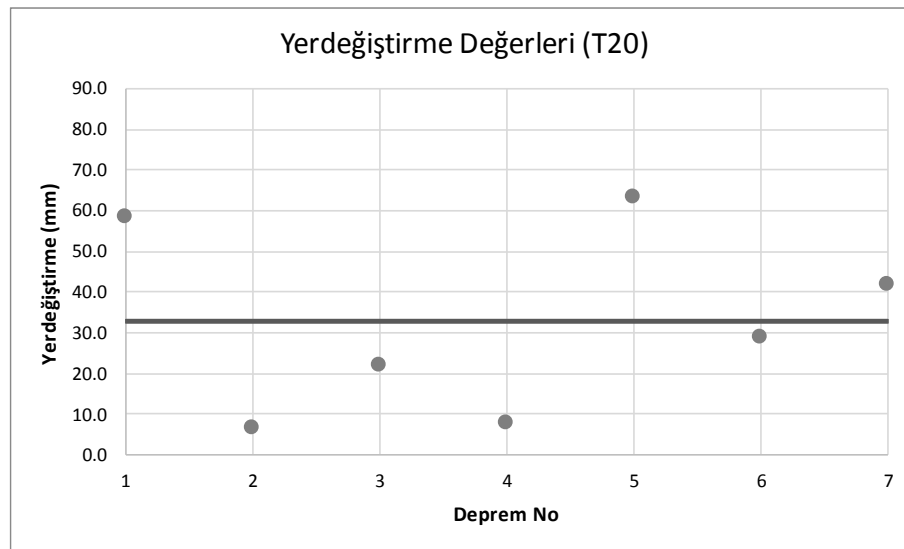
<i>Yapı Tepkileri</i>	Yapısal Olmayan Birimler Hasar Limitleri			
	<i>Hafif</i>	<i>Orta</i>	<i>Ağır</i>	<i>Göçme</i>
Görelî Kat Ötelenmesi	0.004	0.008	0.025	0.050
Maksimum Kat İvmesi (g)	0.20	0.40	0.80	1.60

**Tablo 5.3** *Hasar Durumları İçin Yaklaşık Yenileme Maliyeti Oranları (Hazus-MH 2.1)*

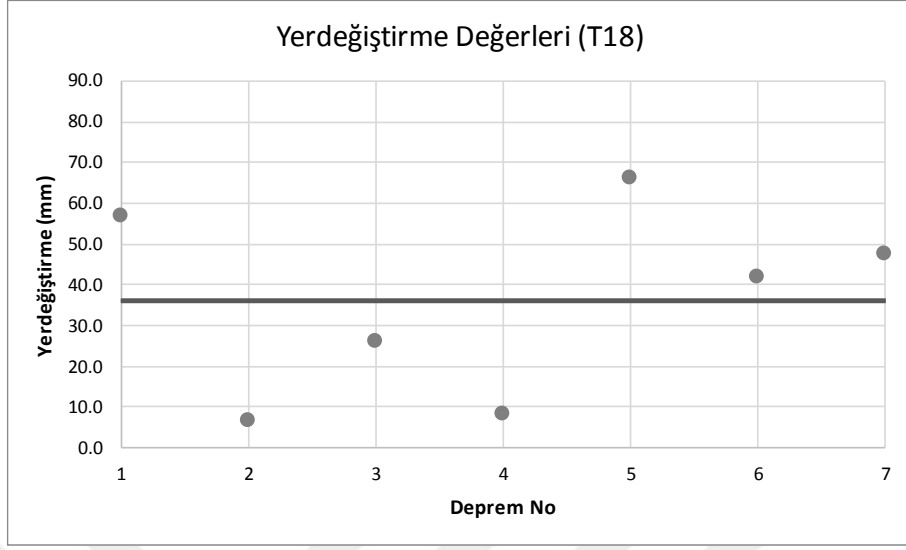
<i>Hasar Seviyeleri</i>	<i>Hafif</i>	<i>Orta</i>	<i>Ağır</i>	<i>Göçme</i>
Yenileme (Tamirat) Oranları	2 %	10 %	50 %	100 %

## 5.2 Sonuçların Elde Edilmesi & Karşılaştırılması

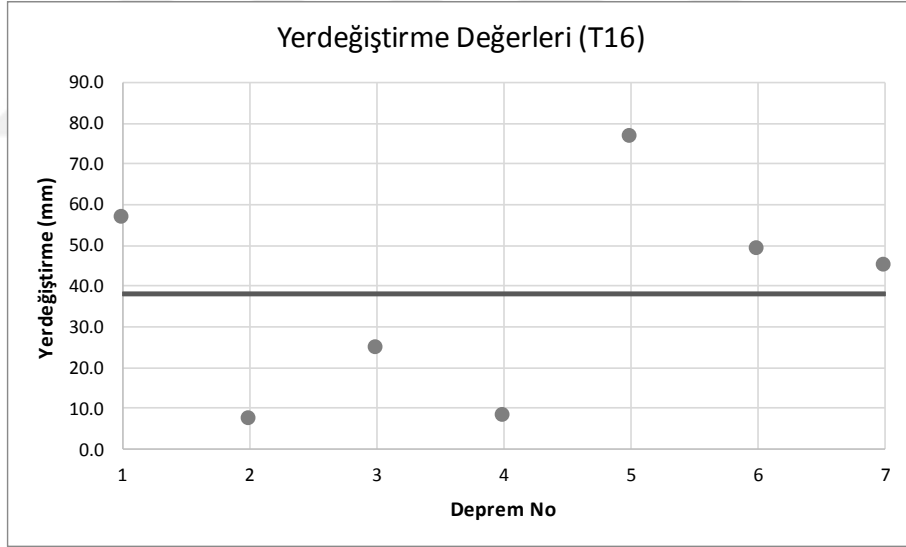
Gerçekleştirilen otuz beş analize ait sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Her bir analize ait ortalama değerler grafik üzerinde kalın çizgiler ile gösterilmiş olup yorumlar bu ortalamalar dikkate alınarak yapılmıştır. Numaralar ile gösterilen depremlere ait bilgiler Bölüm 2’de yer alan Tablo 2.2 de verilmiştir.



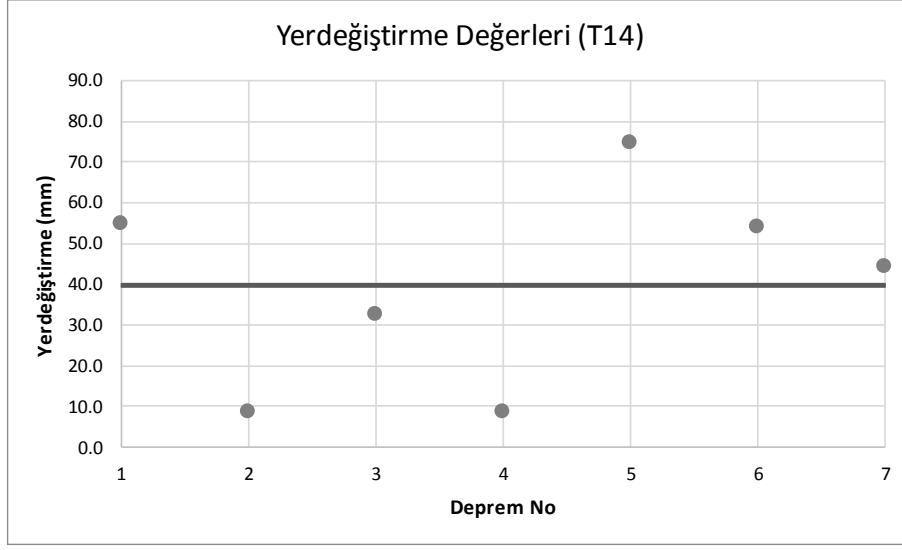
**Şekil 5.3** *Depremlere Karşılık Yerdeğiştirme Değerleri & Ortalama Değer*



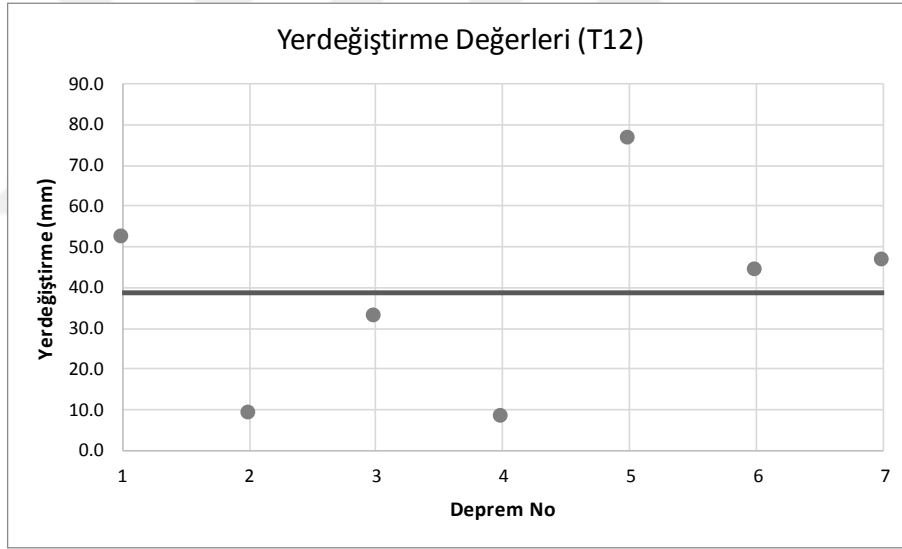
Şekil 5.4 Depremlere Karşılık Yerdeğiştirme Değerleri & Ortalama Değer



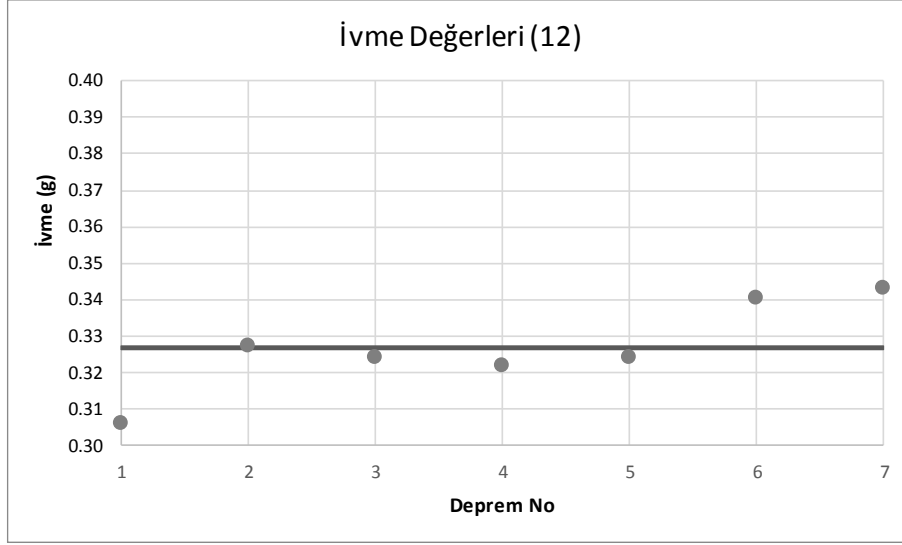
Şekil 5.5 Depremlere Karşılık Yerdeğiştirme Değerleri & Ortalama Değer



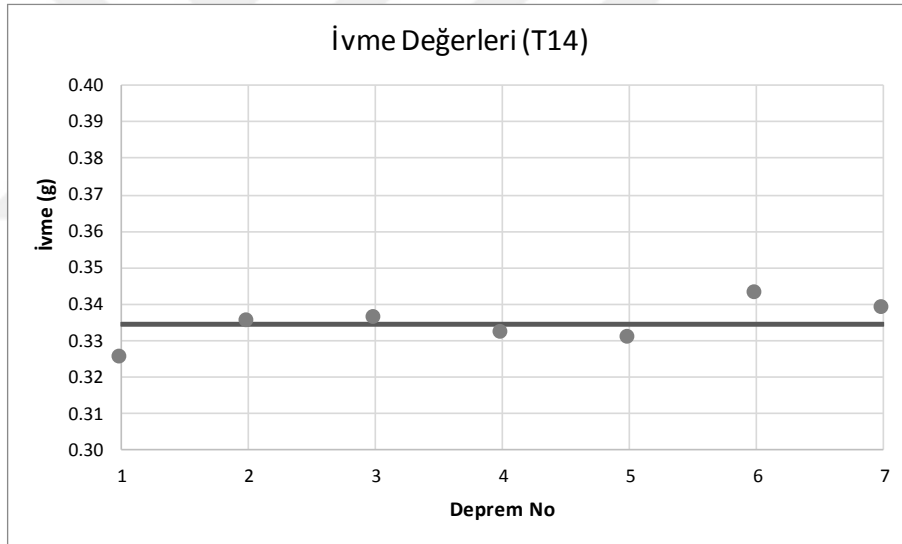
**şekil 5.6** Depremlere Karşılık Yerdeğiştirme Değerleri & Ortalama Değer



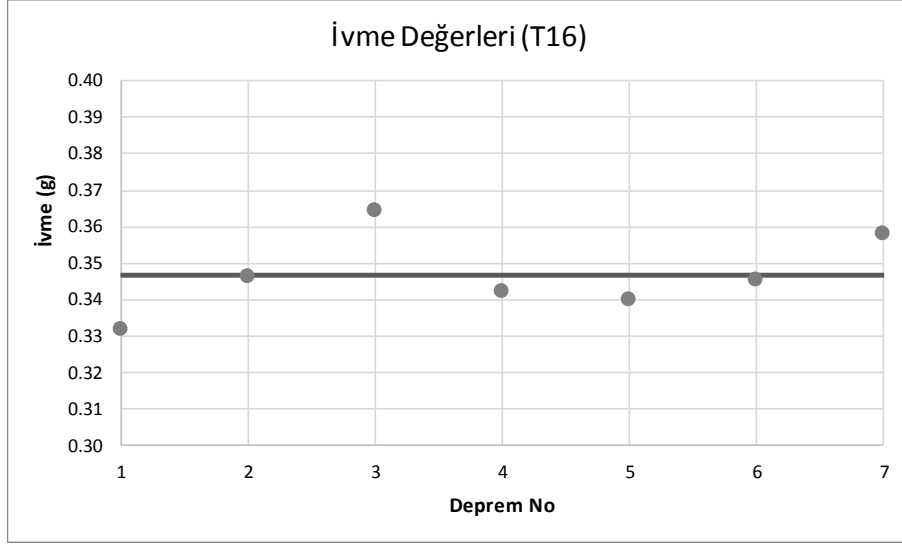
**şekil 5.7** Depremlere Karşılık Yerdeğiştirme Değerleri & Ortalama Değer



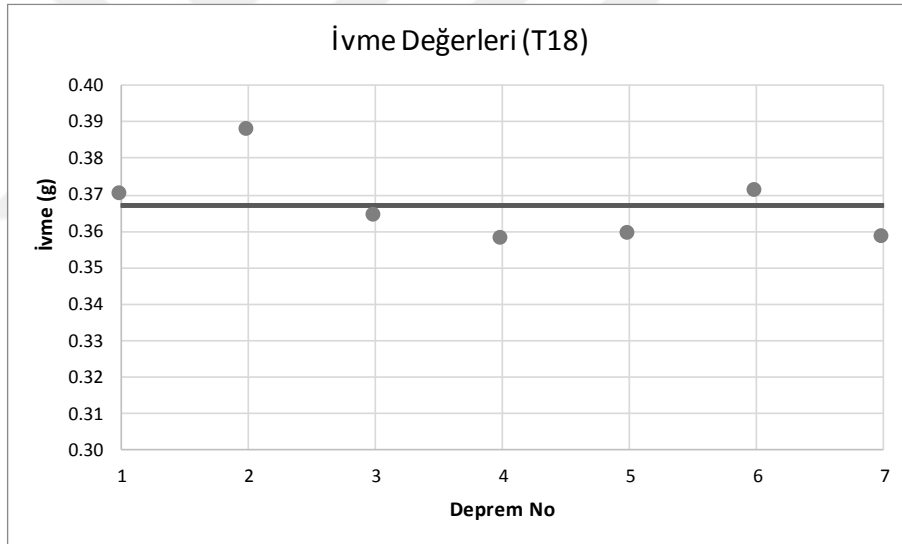
**Şekil 5.8** Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer



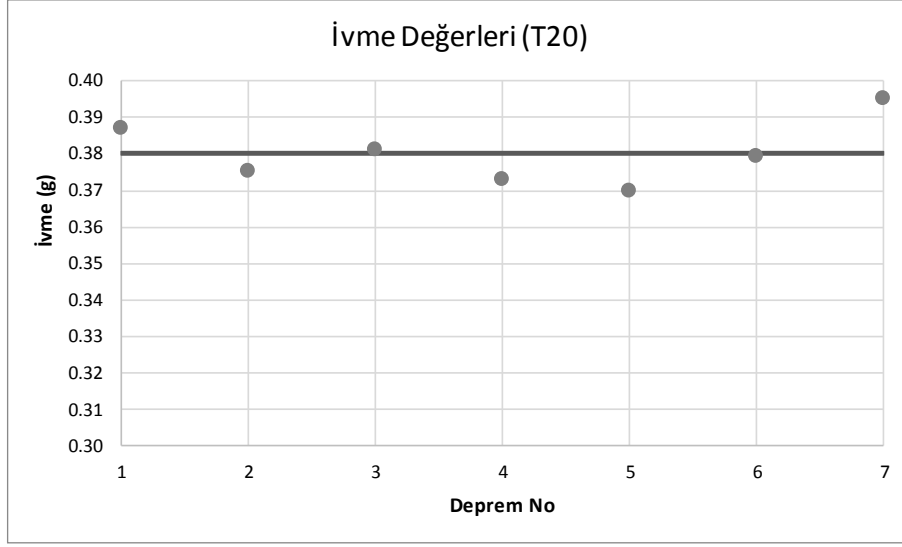
**Şekil 5.9** Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer



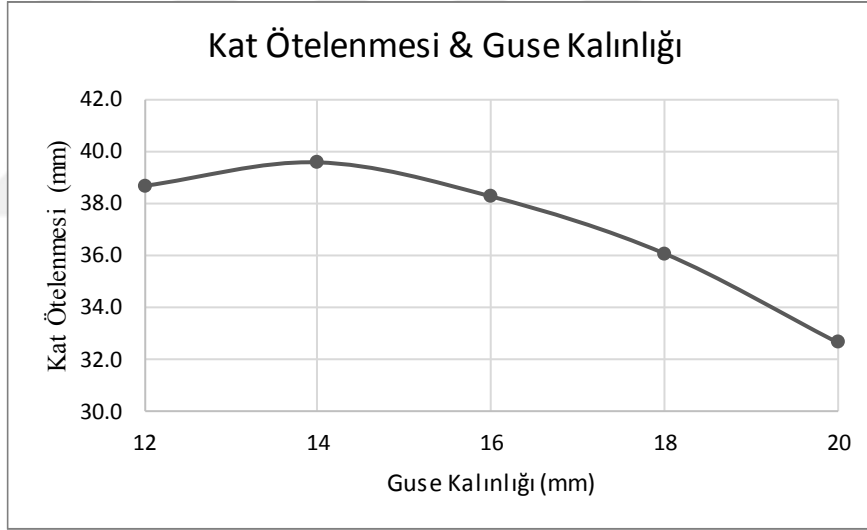
**Şekil 5.10** Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer



**Şekil 5.11** Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer

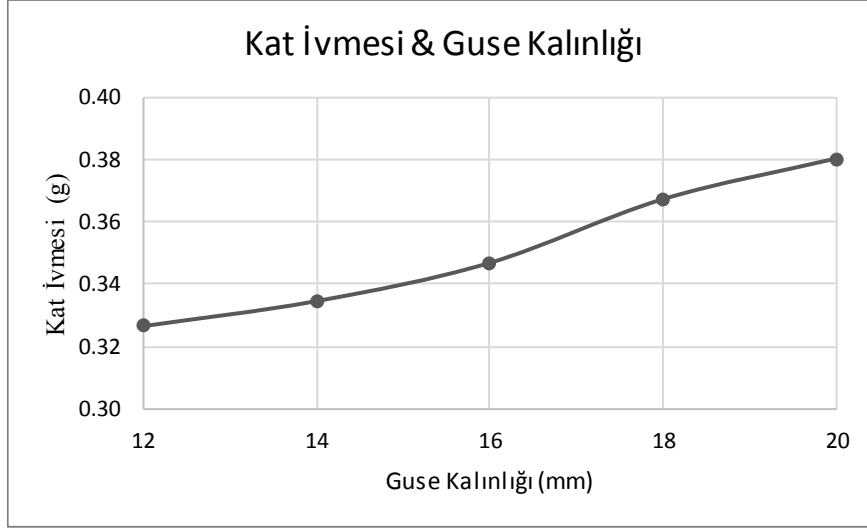


Şekil 5.12 Depremlere Karşılık İvme Değerleri & Ortalama Değer



Şekil 5.13 Kat Ötelenmesi & Guse Kalınlığı İlişkisi





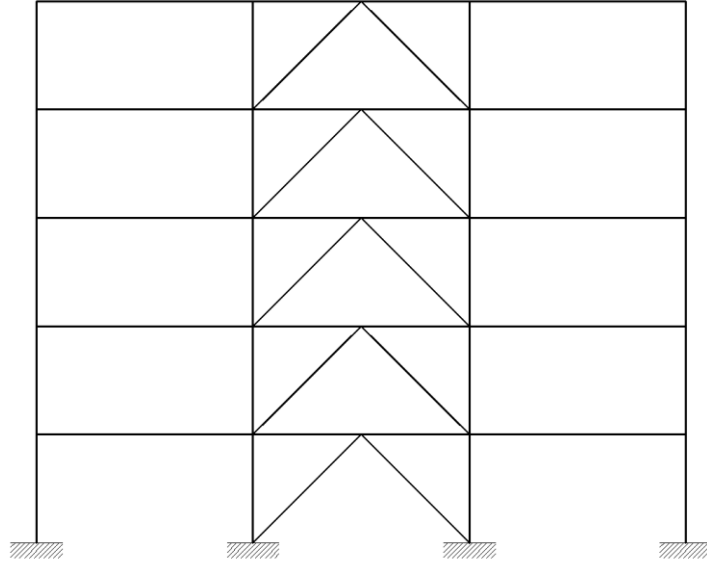
**Şekil 5.14** Kat İvmesi & Guse Kalınlığı İlişkisi

Beş farklı guse kalınlığı kullanılarak hazırlanmış olan modeller zaman tanım alanında analiz edilmiş ve yukarıda verilmiş olan grafikler elde edilmiştir. Yapı tepkilerinin guse kalınlığı ile olan ilişkisi detaylıca incelenmiş olup, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te toplu halde gösterilmiştir. Şekillerde gösterildiği üzere, artan guse kalınlığı kat ötelenmesini azaltmasına rağmen, kata etkiyen ivmede %15'e varan artışa neden olmuştur. Bu sonuca göre, tasarımcılar daha düşük kat ivmeleri elde etmek istiyorlarsa guse kalınlıklarını azaltmalıdırlar. Fakat, düşük kalınlığa sahip guse elemanlarında burkulma ve uç burkulması koşullarını dikkatle kontrol etmelidirler.

## 6. ÇERÇEVE SİSTEM İÇİN KESİTLERİN BELİRLENMESİ

### 6.1 Çerçeve Sistemin Tanımlanması

Çerçeve sistem beş katlı bir ofis binası olarak düşünülmüş ve iki boyutlu olarak incelenmiştir. Modelde akslar arası açıklık 6.5 metre, kat yüksekliği ise 3.25 metre olarak seçilmiştir. Çerçeve sisteminde kullanılacak çapraz sistem ise Ters V tipinde seçilmiş olup ilgili görsel Şekil 6.1'de verilmiştir. Bu seçimin altında; mimari serbestlik tanınması, dengelenmemiş düşey kuvvetlerin dağılımının sağlanması ve dengelenmemiş yatay kuvvetin kirişlerin üzerine etkimesi nedenleri yatmaktadır.



Şekil 6.1 Çerçeve Sistem

## 6.2 Çerçeve Sistemin Yüklerinin Belirlenmesi

Çerçeve üzerine gelecek hareketli yükler TS 498 yönetmeliğinde, büro yapı sınıfı için Çizelge 7’de verilen  $5.0 \text{ kN/m}^2$  değeri kabul edilmiştir. Aynı çizelgede çatı yükleri ise  $2.0 \text{ kN/m}^2$  değeri çatıdaki hareketli yük olarak hesaba katılmıştır. Normal kat üzerindeki ölü yük ise  $4.2 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Yine en üst kat için ölü yük ise  $3.5 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Kiriş üzerindeki duvar yükü ise normal katlar için  $0.8 \text{ kN/m}$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan yükler aşağıda, Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Modelde Kullanılan Yükler

	Ölü Yük (D) ( $\text{kN/m}^2$ )	Hareketli Yük (L) ( $\text{kN/m}^2$ )	Duvar Yükü (P) ( $\text{kN/m}$ )
Çatı Katı	3.50	2.00	-
Normal Katlar	4.20	5.00	0.80

## 6.3 Çerçevenin Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre Hesabı

Çelik çaprazların boyutlandırılması eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yapılmış daha sonra OpenSees programı kütüphanesinde yer alan Steel02 malzemesi kullanılarak çelik çapraz sistem detaylandırılmıştır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, deprem hesabını basitleştirmekte kullanılan statik bir hesap yöntemidir. Bu yöntemin

kullanılabilmesi için uygun durumlar DBYBHY 2007 Tablo 2.6’da verilmiştir. Eşdeğer deprem yükü yönteminde yapıya gelecek yatay deprem kuvveti, yapı periyodunun bir fonksiyonu olarak verilmekte ve yapı periyoduna bağlı olarak deprem kuvveti değişmektedir. Bu çalışma kapsamında, yapı üzerine gelen düşey yükler hesaplandıktan sonra, deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak yönetmelik şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yapı için seçilen karakteristik özellikler aşağıda maddeler halinde gösterilmiştir. Aşağıda verilen dinamik özellikler kullanılarak hesaplanan deprem yüklerinin değerleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

- Yapının kullanım amacı  
İşyeri, Ofis
- Bina Önem Katsayısı (I)  
1.0
- Deprem Bölgesi & Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ )  
1 & 0.40
- Zemin Sınıfı & Karakteristik periyotlar ( $T_A$  &  $T_B$ )  
Z2 & 0.15-0.40
- Süneklik Katsayısı & Deprem Yükü Azaltma Katsayısı (R)  
6
- Hareketli yük katılım katsayısı (n)  
0.30

**Tablo 6.2 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre Katlara Etkiyen Kuvvetler**

Kat	hi (m)	Hi (m)	Wi	Wi x Hi	Oran	F (kN)
5	3.25	16.25	607.2	9867.4	0.27	134.0
4	3.25	13.00	833.8	10839.3	0.29	128.5
3	3.25	9.75	833.8	8129.4	0.22	96.4
2	3.25	6.50	833.8	5419.6	0.15	64.2
1	3.25	3.25	833.8	2709.8	0.07	32.1
Toplam			3942.4	36965.5	1.0	455.3



## 7. DEPREMLERİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

### 7.1 Ölçeklemede Kullanılacak Dinamik Özellikler

Zaman tanım alanında analizlerde kullanılacak gerçek deprem kayıtlarının yönetmelikte verilmiş olan şartları sağlaması zaruridir. Bu şartların sağlanabilmesi orijinal deprem kayıtları ile mümkün olmamakta, deprem kayıtlarının ölçeklenmesi gerekmektedir. Ölçekleme yapılırken dikkate alınacak dinamik özelliklerden bir tanesi yapı sisteminin hakim periyodudur. Bu çalışmada kullanılan beş katlı çerçevenin hakim periyodu SAP2000 programı ile hesaplanmış olup, ilgili periyot değeri 0.63 saniyedir. Ölçeklemede kıstasın yapılacağı elastik ivme spektrumu, 50 yılda kaşlaşılma olasılığı %10 olan tasarım spektrumu olarak seçilmiştir.

### 7.2 Ölçeklemede Kullanılacak Yöntem

Deprem kayıtlarının ölçeklenmesinde zaman veya frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemleri seçilebilir (Fahjan, 2008). Deprem kayıtlarına ait genliklerde yapılacak değişikliklerin etkisinin, çalışma sonuçlarını domine edebilme ihtimalini ortadan kaldırmak amacıyla bu çalışmada zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde göre, depremlere ait ivme kayıtları ile %5 sönüm oranlı tek serbestlikli yapı kullanılarak eşdeğer ivme spektrumunu her bir kayıt için çizdirilir. Daha sonra, çizdirilen ivme spektrumlarının ortalamaları alınarak DBYBHY 2007 Bölüm 2.9'da verilen  $0.2T - 2T$  şartlarını sağlamak koşuluyla, tasarım spektrumu ile karşılaştırılır. En küçük kareler yöntemine göre hesaplanan farkları minimum yapacak şekilde her bir deprem için farklı ölçek katsayısı ( $\alpha$ ) hesaplanır. Ölçek katsayısının tanımı Denklem 7.1'de verilmiştir. Bu denklem Fahjan tarafından 2008 yılında yapılan çalışmadan alınmıştır.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{Mevcut}} - S_a^{\text{Hedef}})}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{Mevcut}})^2} \quad (7.1)$$

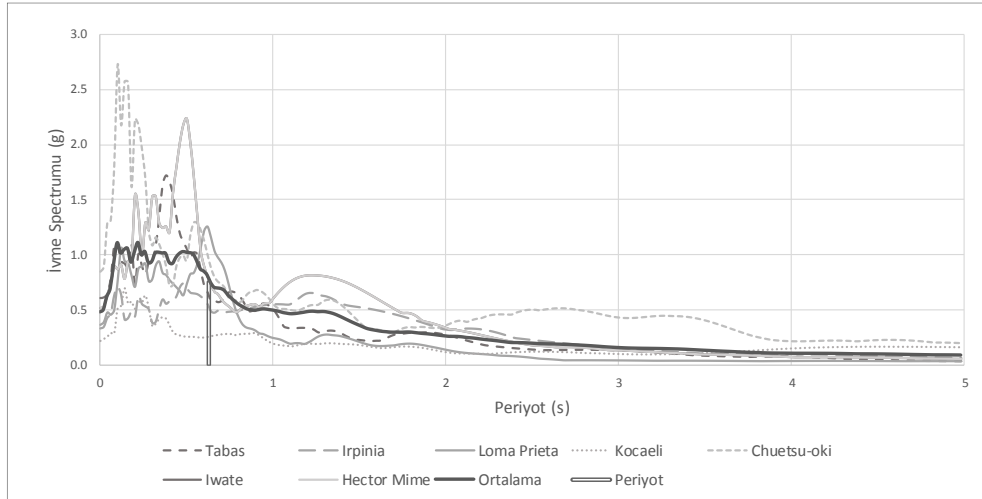
### 7.3 Ölçeklemenin Yapılması & Sonuçların Gösterilmesi

Bölüm 7.2’de tariflenen zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak Matlab programı yardımıyla Tablo 2.2’de özellikleri verilen ivme kayıtları ölçeklenmiştir. Yapılan hesaplara göre bulunan ölçek katsayıları 1.495 ile 1.741 arasında değişmekte ve Fahjan (2008) tarafından yapılan çalışmada verilen 0.5 - 2.0 sınır değerleri arasında kalmaktadır. Bu değerler Tablo 7.1’de verilmiştir.

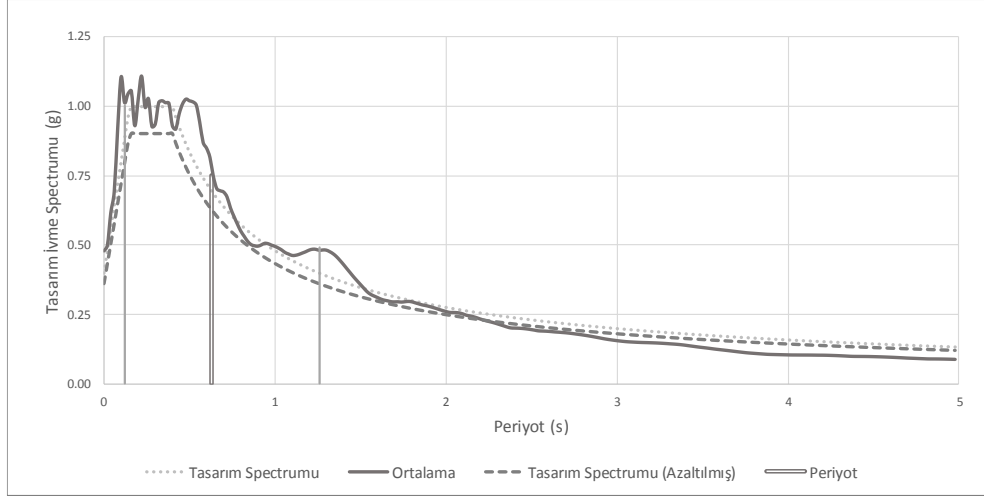
**Tablo 7.1** Depremlerin Ölçeklendirilmesinde Kullanılan Katsayılar

İsim	Tabas	Irpinia	Loma Prieta	Kocaeli	Chuetsu-oki	Iwate	Hector Mine
Ölçek Katsayısı	1.495	1.741	1.535	1.656	1.625	1.635	1.585

Yukarıda verilmiş ölçek katsayıları kullanılarak hazırlanan ivme spektrumları, Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Şekil 7.1’de ölçeklenmiş yedi deprem kaydına ait ivme spektrumlarına ait ortalama değer yapı periyodu ile birlikte gösterilirken, Şekil 7.2’de ise ortalama değer, tasarım ivme spektrumu ve azaltılmış tasarım ivme spektrumu, periyotlar (0.2T, T ve 2T) ile birlikte gösterilmiştir.



**Şekil 7.1** Ölçeklenmiş Deprem Kayıtlarına Ait İvme Spektrumları

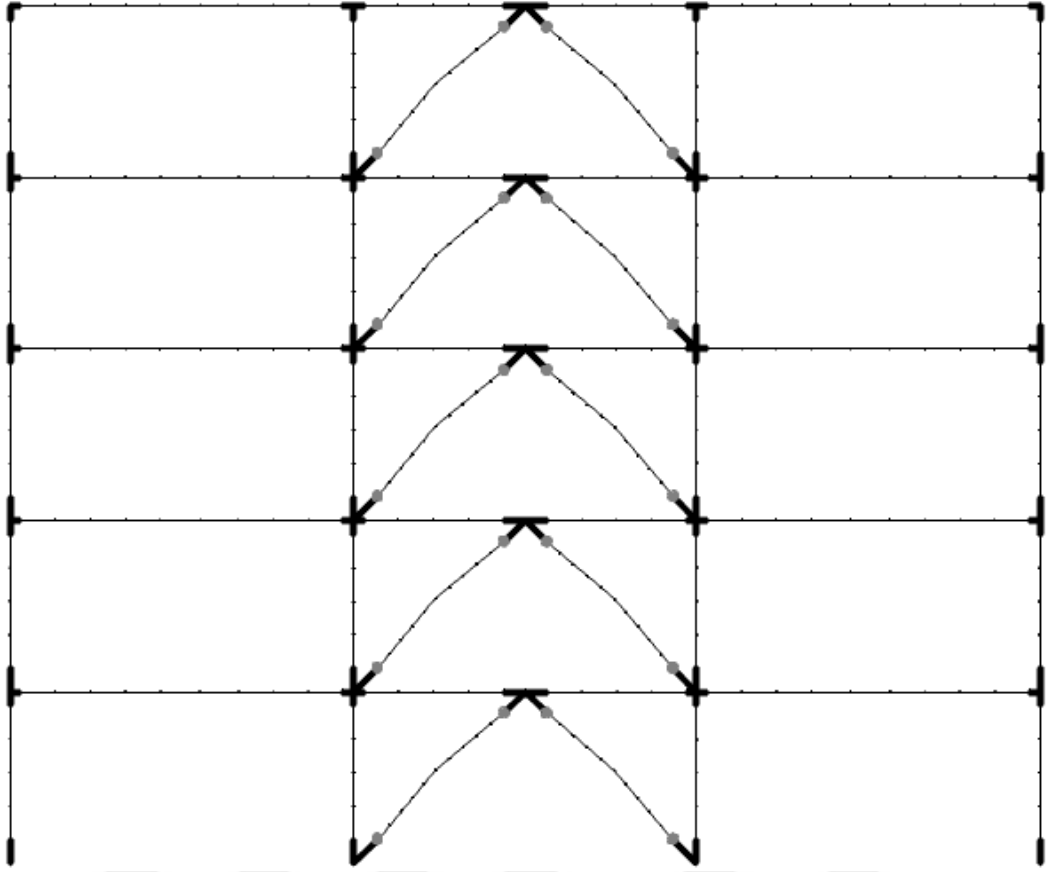


**Şekil 7.2 Ölçeklenmiş Deprem Kayıtlarına Ait Ortalama İvme Spektrumu & Tasarım Spektrumu**

## 8. ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN ANALİZLERİN YAPILMASI

Beş katlı ofis olarak tasarlanan bina modeli yedi adet ölçeklenmiş deprem ivme kaydı kullanılarak analiz edilmiştir. Guse kalınlıklarının yapı tepkilerine olan etkilerinin araştırılması amacıyla, farklı kalınlıklara sahip guseler kullanılarak iki farklı analitik model oluşturulmuştur. Analitik modele ait şematik gösterim Şekil 8.1’de verilmiştir. Seçilen guse kalınlıkları, Bölüm 4.’te tasarlanan tek katlı & tek açıklıklı çerçeve için en iyi ve en kötü yapı tepkilerini vermiş olan 12 ve 20 mm olarak belirlenmiştir. Tek katlı çerçevede 12 mm kalınlıklı guse elamanlarının kullanıldığı modelde en düşük kat ivmesi gözlemlenirken, kat ötelenmesi bakımından ise en kötü performansı gözlenmiştir. Beş katlı çerçevede de benzer durumun gözlenmesi beklenmektedir.

Bina modeli için kullanılan kesitler Bölüm 6’da verilmiştir. Bu kesitlerin OpenSees yazılımında modellenmesi için kullanılan malzeme modelleri ise Bölüm 3’te detaylı olarak anlatılmıştır. Bu bölümde ilgili kesitler kullanılarak gerçek bir bina boyutlarında hazırlanan model, ölçeklenmiş yedi deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında analiz edilmiştir. Farklı guse kalınlıklarının bulunduğu iki model için toplam 14 farklı analiz yapılmıştır. Analizlerde kullanılan analitik model ile tek katlı & tek açıklıklı çerçeve için kullanılan analitik model aynı özelliklere sahiptir.



Şekil 8.1 Beş Katlı Çerçeve Sistem İçin Hazırlanmış Olan Analitik Model

## 9. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

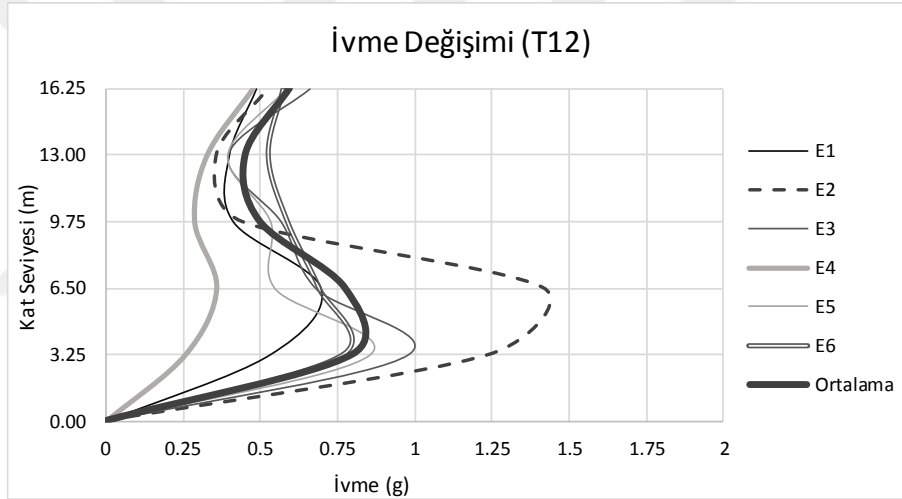
### 9.1 Yapı Tepkilerine Ait Limit Değerlerin Belirlenmesi

Düşey yüklerin güvenli bir şekilde taşınabilmesi için yapıların yatay yükler altındaki yerdeğiştirmesinin sınırlanması gerekmektedir. Aksi takdirde P-D etkileri olarak adlandırılan ikinci mertebe etkiler yapı stabilitesinin bozulmasına ve ardından gevrek göçmeye neden olabilirler. Bu etkilerin sınırlandırılması uluslararası yayın ve yönetmeliklerde belirlenmiş olan limitlerin aşılmaması ile sağlanabilir. Buna göre, hazırlanan beş katlı çerçeve model, görelî kat ötelemeleri için Tablo 5.2’de verilmiş “Ağır” hasar sınır değeri olan 0.025 ve ASCE-07 Tablo 12.12.1’de verilmiş olan 0.02 değerleri üst limit olacak şekilde kontrol edilmiştir. Yapılan analizler sonucu görülmüştür ki her iki model için de maksimum görelî kat ötelenmesi 0.013-0.014 mertebesinde hesaplanmakta ve verilen üst limitlerin altında kalmaktadır. Bu sonuçlara göre tasarlanan modelin deprem tasarımı koşullarını sağladığı söylenebilir.

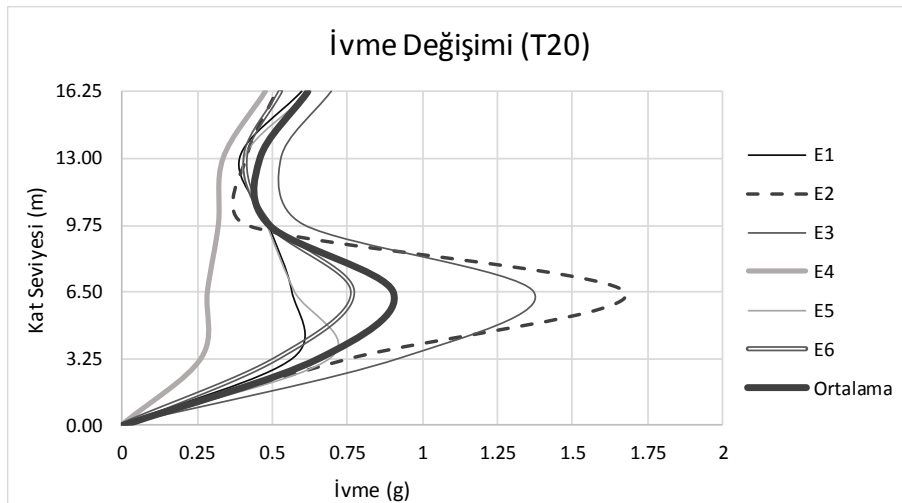


## 9.2 Çerçeve Sisteme Ait Sonuçların Karşılaştırılması

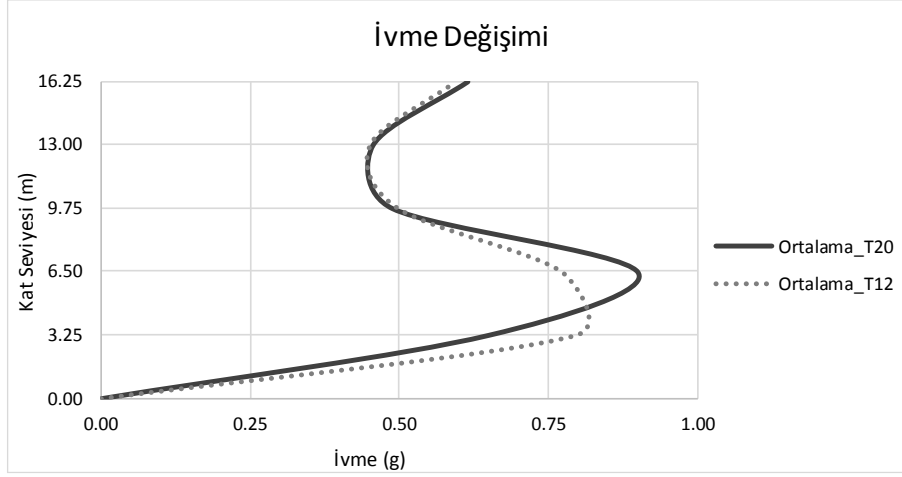
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler OpenSees yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Matlab programı ile düzenlenmiş, Excel yardımı ile de ilgili görseller hazırlanmıştır. Farklı guse kalınlıkları kullanılarak hazırlanan iki model kat ivmeleri ve kat ötelenmeleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, 12 mm kalınlıklı guse elemanlarının kullanıldığı modelde kat ivmeleri, 20 mm kalınlıklı guse elemanlarının kullanıldığı modele göre daha düşük hesaplanmıştır. Kat ivmelerine ait değerler Şekil 9.1, 9.2 ve 9.3'te verilmiştir. Kat ötelenmeleri incelendiğinde ise, kat ivmeleri ile tamamen zıt değerler elde edildiği Şekil 9.4, 9.5 ve 9.6'da görülmektedir. Guse kalınlığı 12 mm'den 20 mm'ye çıkarıldığında kat ötelenmelerinde düşüş gözlenirken, kat ivmelerinde ise artış gözlenmiştir.



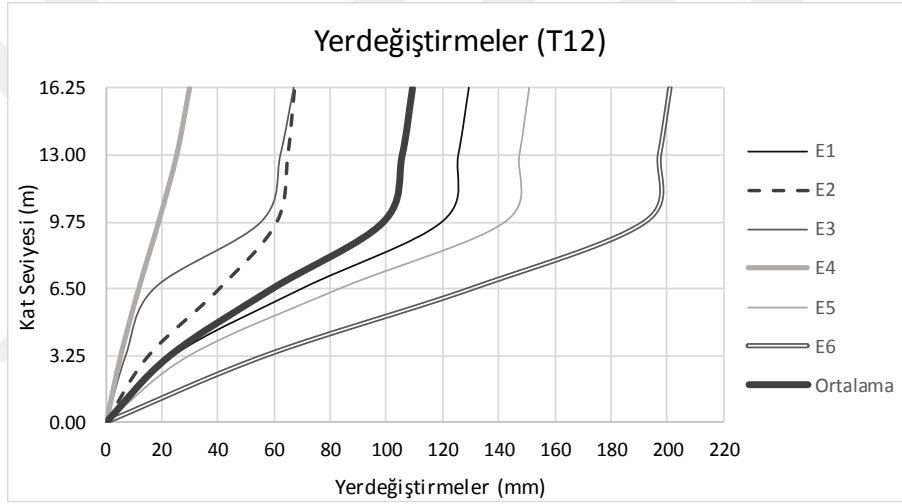
Şekil 9.1 Beş Katlı Çerçeve Sisteme Ait Kat İvmeleri Değerleri



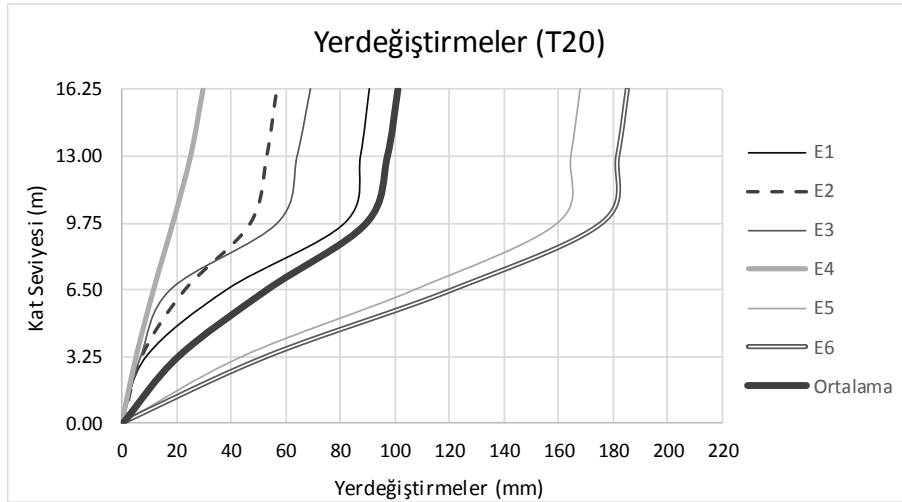
Şekil 9.2 Beş Katlı Çerçeve Sisteme Ait Kat İvmeleri Değerleri



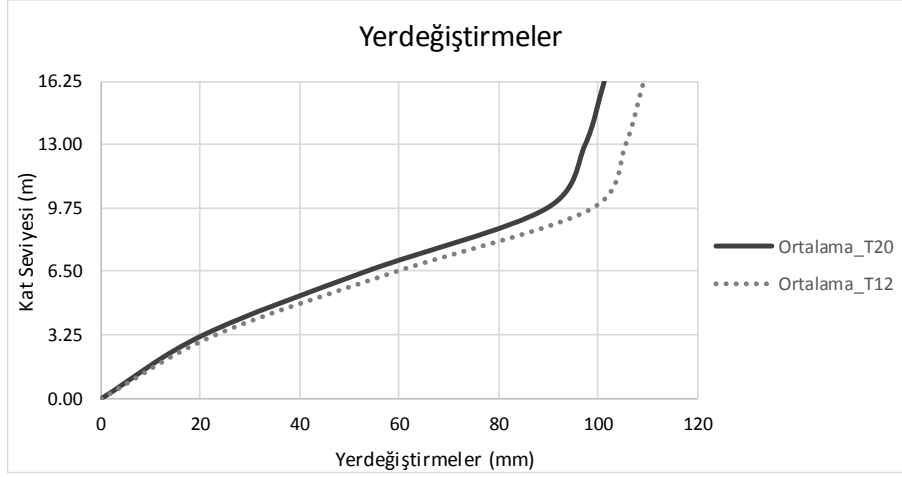
Şekil 9.3 Farklı Guselere Sahip Modellerin Kat İvmeleri Kıyaslaması



Şekil 9.4 Beş Katlı Çerçeve Sisteme Ait Yerdeğiştirme Değerleri



Şekil 9.5 Beş Katlı Çerçeve Sisteme Ait Yerdeğiştirme Değerleri



**Şekil 9.6** Farklı Guselere Sahip Modellerin Yerdeğiştirme Kıyaslaması

### 9.3 Tek Çerçeve ile Çerçeve Sistem Sonuçlarının Karşılaştırılması

Guse kalınlıklarının yapı tepkilerini etkilediği önceki bölümlerde verilen sonuçlarda açıkça görölmektedir. Fakat etkilerin tek çerçeve ve çerçeve sistem için ayrı ayrı değerlendirilmesi sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için gereklidir. Kat ivmeleri incelendiğinde, tek çerçevede guse kalınlıklarının etkisinin %15 civarında olduğu gözlenmektedir. Çerçeve sistemde ise etkilerin %16 civarında olduğu söylenebilir. Kat ötelenmeleri incelendiğinde ise guse kalınlıklarının etkisinin tek çerçevede %17 civarında, çerçeve sistemde ise %7 mertebesinde olduğu gözlenmektedir. Bu sonuçlara göre tek çerçeve sistemin, guse kalınlıklarının değişimini yeter yaklaşıklıkta temsil edebildiği söylenebilir.

## 10. SONUÇLAR & SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu çalışmada guse elemanlarının, çelik yapıların deprem davranışına olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaca ulaşabilmek için hem tek çerçeve hem de beş katlı çerçeve sistem güncel yönetmeliklere göre tasarlanmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak incelenmişlerdir. Zaman tanım alanında analizlerde kullanılmak üzere yedi adet gerçek depremlere ait ivme kayıtları, belirli parametreler gözönünde bulundurularak seçilmiştir. Seçilen ivme kayıtları yönetmelik koşulları uyarınca ölçeklenerek hazırlanan modellerin analizinde kullanılmışlardır. Tek çerçevede 35,

çerçeve sistemde 14 olmak üzere toplam 49 analiz OpenSees yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, kat ötelenmeleri ve kat ivmelerini verecek şekilde düzenlenmiş ve yorumlanabilir hale getirilmiştir. Sonuçlara göre, kalın guse elemanlarının kullanılması yapıların yatay rijitliğini arttırarak kat ötelenmelerini azaltmakta fakat artan rijitlikle birlikte kat ivmelerinde önemli artışlar meydana getirmektedir. Buna göre, kat ivmeleri öncelikli olacak şekilde yapılacak tasarımlarda kalın guse elemanlarının kullanılmaması önerilmektedir. Çalışmadan çıkan bir diğer önemli sonuç ise bina türü yapılarda kullanılacak guse elemanlarının kalınlıkları ile ilgilidir. Guse elemanlarının et kalınlıkları, bu elemanların burkulmaya karşı yeterli dayanıma sahip olabilmesi amacıyla 12 mm'den büyük olmalıdır. Aksi halde güçlendirme levhaları kullanılarak guse elemanları desteklenmelidir. Guse elemanları ile ilgili gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler, aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Üç boyutlu model üzerinden yapılacak analizlerde eksantriste etkisi de göz önünde alınabilir.
- Zaman tanım alanında analizlerde kullanılacak ivme kayıtlarına düşey birleşen de dahil edilebilir.
- Deprem etkisi altında zeminin gerçek davranışı hesaba katılarak zemin & üst yapı ilişkisi altında yapı davranışı incelenebilir.

## KAYNAKÇA

- ASCE/SEI 7-10 (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *American Society of Civil Engineers*, Virginia, USA.
- ANSI/AISC 341-16 (2016). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, Illinois, USA.
- ANSI/AISC 360-16 (2016). Specification for Structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, Illinois, USA.
- Astaneh-Asl A. (1998). Seismic Behavior and Design of Gusset Plates *Steel Tips*, Structural Steel Educational Council Technical Information & Product Service.
- Astaneh-Asl A., Cochran M. L. ve Sabelli R. (2006). Seismic Detailing of Gusset Plates for Special Concentrically Braced Frames. *Steel Tips*, Structural Steel Educational Council Technical Information & Product Service.
- Black, R. G., W. A. Wenger ve E. P. Popov, (1980). Inelastic Buckling of Steel Struts under Cyclic Load Reversal, Berkeley: *Earthquake Engineering Research Center*, University of California.
- CSI, "SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design," *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California.
- ÇYTHYEY (2016). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.
- ÇYTHYEYHUK (2017). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.
- Daniel J. E., Khazai B., Wenzel F. ve Vervaeck A. (2012). The Worldwide Economic Impact of Historic Earthquakes. *The 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal.
- DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Dülger S. E. (2010). *Çelik Çapraz Elemanlarda Narinlik Enerji Yutma İlişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- Earthquake Loss Estimation Methodology, Advanced Engineering Building Module (AEBM), *Hazus – MH 2.1. Federal Emergency Management Agency (FEMA)*, Washington, DC.
- Fahjan Y. M. (2008). Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms to Fit the Turkish Design Spectra. *Technical Journal (Digest)*, Turkish Chamber of Civil Engineers, December, 1231-1250.
- Geschwinder L.F. (2008). *Unified Design of Steel Structures*. John Wiley & Sons Inc, pp 432-434.
- Hsiao P. C. (2012). *Performance Evaluation of Concentrically Braced Frames*. Doctoral Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington.
- Hsiao P. C., Lehman D. E. ve Roeder C. W. (2012). Improved Analytical Model for Special Concentrically Braced Frames. *Journal of Constructional Steel Research*, (73), 80-94.
- Lehman D. E., Roeder C., Yoo J. H. ve Johnson S. (2004) Seismic Response of Braced Frame Connections, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1459.
- Lehman D. E, Roeder C. W., Herman D. A vd. (2008) *Improved Seismic Performance of Gusset Plate Connections*, *Journal of Structural Engineering*, 134(6): 890-901.
- Liu J. ve Astaneh-Asl A. (2004). *Moment-Rotation Parameters for Composite Shear Tab Connections*, *Journal of Structural Engineering*, ASCE 130 (9).
- Mofid M. ve Khosravi P. (2000) Non-linear Analysis of Disposable Knee Bracing *Computers and Structures*, 75, 65-72.
- National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP), Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings And Other Structures, Part 1: Provisions, FEMA 368, 2000 Edition. *Building Seismic Safety Council* , Washington, D.C.

- OpenSees, Version 2.5.0, Open System For Earthquake Engineering Simulation Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA.
- PEER Ground Motion Database, *Pacific Earthquake Research Center*, University of California, Berkeley, CA.
- Roeder, C.W., Lehman, D.E., Lumpkin, E., Hsiao, P-C, ve Palmer K. (2011) SCBF Gusset Plate Design, *T.R. Higgins Lecture, AISC North American Structural Steel Conference*, Pittsburgh, PA, May 11-14, 2011.
- SIMQKE (1976). *A Program for Artificial Motion Generation: User's Manual and Documentation*, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Taşkın K. (2011). *Betonarme Çerçevelerin Özel Köşe Çaprazları İle Güçlendirilmesi*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Terzic V. (2012). Structural Modeling with Examples, *Open System for Earthquake Engineering Simulation*, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Terzic V. (2013). Modeling SCB Frames Using Beam-column Elements, *Open System for Earthquake Engineering Simulation*, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- TS-498 (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tunçel U. (2007). *Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Sistemlerin DBYBH 2007 Yönetmeliğine Göre Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Whitmore, R.E. (1952). *Experimental Investigation of Stresses in Gusset Plates*, Bulletin No. 16, Engineering Experiment Station, University of Tennessee.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakkı Deniz GÜL

Yabancı Dil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı : Yalova - 1990

E-posta : [hdgul@eskisehir.edu.tr](mailto:hdgul@eskisehir.edu.tr)

### Eğitim ve Mesleki Geçmişi :

- 2016 - 2018 Yüksek Lisans, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekanik Anabilim Dalı.
- 2008 - 2013 Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.