BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd. 641315

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

Araştırma Makalesi - Research Article

Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmiş Çelik Yapılarda Guse Tasarımının Deprem Performansına Etkisinin İncelenmesi

Hakkı Deniz GÜL[1*], Kıvanç TAŞKIN[2]

Geliş / Received: 01/10/2019 ***Revize / Revised: 30/12/2019*** ***Kabul / Accepted: 12/01/2020***

ÖZ

Depremlerin yıkıcı etkilerinden korunabilmek amacıyla yapıların depreme dayanıklı tasarımı için geliştirilmiş olan kurallar günümüzde performansa dayalı tasarım koşullarına dönüşmekle birlikte performansa dayalı tasarım her yapı tipi için özel koşullar gerektirmektedir. Çelik yapıların deprem etkisinden dolayı maruz kalacakları yatay kuvvetleri güvenli bir şekilde taşıyabilmeleri için çapraz elemanlar ile güçlendirilmeleri ve birleşim detaylarının uygun süneklik koşullarını sağlaması beklenmektedir. Çapraz elemanlar ile desteklenen yapılarda, çapraz elemanların taşıyıcı elemanlara bağlantısını sağlayan guse elemanlarının yapının deprem davranışını etkilemesi beklenmektedir. 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 analiz kriterlerini sağlamak için ölçeklenmiştir. Ek olarak, çaprazlarla güçlendirilmiş çelik çerçevelerden oluşan beş katlı yapı güncel yönetmelik koşullarına uygun olarak tasarlanmış ve incelenmiştir. Farklı kalınlıklarda guse elemanları tasarlanarak oluşturulan beş katlı çerçeve yapı sistemleri OpenSees yazılımı kullanılarak modellenmiş, guse kalınlıklarının yapı tepkilerine olan etkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler **- Guse Levhaları, Çelik Çerçeveler, Deprem Performansı, Doğrusal Olmayan Analiz.**

[1]*Sorumlu yazar iletişim: hdgul@eskisehir.edu.tr (https://orcid.org/ 0000-0002-9532-3587)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, ESKİŞEHİR
[2]İletişim: kivanct@eskisehir.edu.tr (https://orcid.org/ 0000-0001-8024-4600)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, ESKİŞEHİR

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

Investigation of The Effect of Gusset Plate Design On The Earthquake Performance of Braced Steel Frames

ABSTRACT

In order to protected against destructive effects of earthquakes, the rules that have developed for earthquake resistant design of buildings have been transformed into performance-based design conditions that demands special requirements for different type of structures. Steel structures should be reinforced with brace members and joint details should provide suitable ductility conditions in order to safely carry the horizontal forces that occurs due to earthquake effect. The gusset plates that provide the connection of brace members to structural elements are expected to affect the earthquake behavior of braced steel structures. This study conducted analytically to investigate the earthquake behavior of braced steel frames with different gusset plate designs. Seven real earthquake records were selected and scaled for the purpose of satisfying analysis criterions to perform nonlinear time history analyzes. In addition, the five storey braced steel frames that designed in accordance with the current codes and standarts were examined. The structures that designed with the gusset plates, which have different thicknesses, were modeled via OpenSees software and the effect of gusset plate thickness on the structural responses was evaluated.

Keywords **- Gusset Plates, Steel Frames, Earthquake Performance, Nonlinear Analysis.**

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

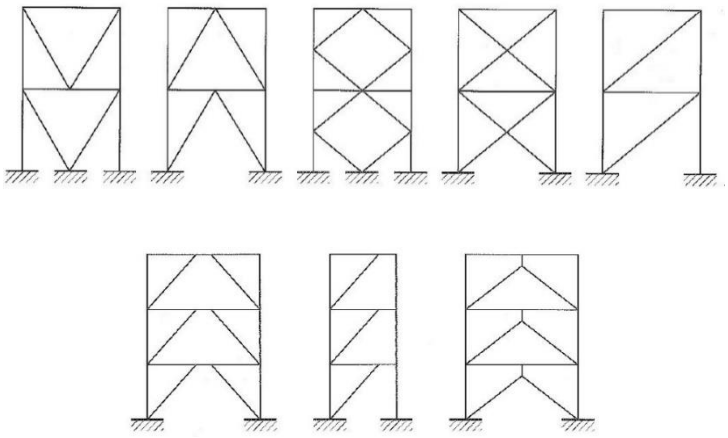
e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

I. GİRİŞ

Düşük olasılıklı fakat yüksek etki derecesine sahip olan depremler, hayatımızı sosyal ve ekonomik yönden etkilemekte ve değiştirmektedir. Meydana gelen büyük depremlerden sonra bilim insanları, deprem sırasında ve sonrasında oluşabilecek maddi ve manevi zararları azaltmak amacıyla depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda uzmanlaşmak amacıyla çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu çalışmalar zaman içerisinde deprem sonrası güvenliği de kapsayacak şekilde genişletilmiş ve ortaya performansa dayalı tasarım kavramı çıkmıştır.

Yapıların deprem sırasında ve sonrasında hedeflenen güvenlik seviyesini sağlayabilmesi için belirli koşulları sağlaması gerekir. Depreme karşı tasarımda ulaşılmak istenilen hedefler yeterli dayanım, rijitlik ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin yapılabilmesidir [1]. Çelik çerçevelerin rijitliklerini arttırarak, deprem kuvvetlerine karşı dirençliliğin yükseltilmesi amacıyla çapraz (diyagonal) elemanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. 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 sırasında sistemde meydana gelecek yerdeğiştirmelerin ise 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.

Çapraz elemanlar ile desteklenmiş çelik çerçevelerin birçok çeşidi bulunmakta ve bu yapı sistemleri tasarımcılara geniş bir tercih havuzu sunmaktadır. Tasarımcıların tercih ettiği standart bir çapraz tipi olmaması, çapraz yapı sistemlerinin çeşitliliğin fazla olması ve en küçük detayların dahi yapı davranışına etkisinin önemli olması, çaprazlar ile güçlendirilmiş yapı sistemlerinin tasarımını zorlaştıran faktörlerden bazılarıdır. Yapının bulunduğu bölgenin depremselliğine ve yapıdan beklenen performansa uygun çapraz sistemlerin tasarlanması sırasında ortaya çıkan ve kullanımı yaygın olan belli başlı çapraz sistemler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yaygın Olarak Kullanılan Çapraz Sistemler [2]

Deprem etkisine karşı kullanılan çapraz sistemlerin tek çapraz ve k-çapraz olması durumları önerilmemektedir. Tek çapraz elemanın kullanıldığı yapı sistemlerinde çevrimsel hareketten dolayı oluşacak olan çekme ve basınç kuvvetlerini aynı elemanın karşılaması sünek tasarım için uygun değildir. Bu tür sistemlerde, diyagonallerin düşey eksende 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 [3].

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

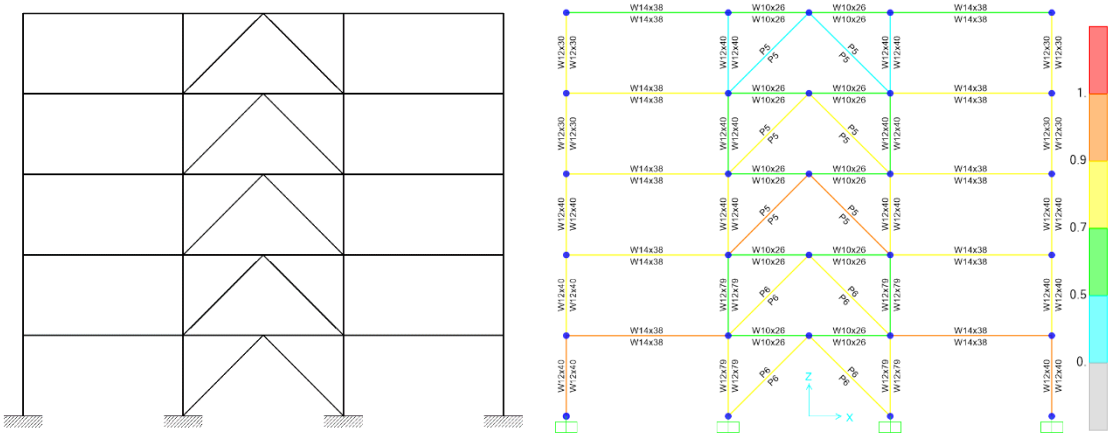
Bu çalışmada, guse levhalarına ait tasarımlardaki farklılıkların, merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin deprem davranışına etkisi araştırılmıştır. Her ne kadar uygulamada bu bağlantılar mafsallı veya sabit olarak tasarlansada bu iki durumunda gerçek davranışı tam olarak temsil edemediği yapılan çalışmada görülmüştür [4]. Hedeflenen performansa ulaşabilmenin ilk koşulu yapıları en gerçekçi şekilde modelleyip analiz edebilmekten geçer. Bu nedenle, çelik çaprazlı çerçeveler sonlu elemanlar yöntemi esas alınarak modellenmiş ve zaman tanım alanı yöntemiyle gerçek deprem kayıtları kullanılarak analiz edilmiştir.

Gerçek durumu temsil edebilmesi amacıyla çelik çerçeveler yürürlükteki yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış, hesaplanan kuvvetlere uygun olacak şekilde boyutlandırma yapılmıştır. Çelik çerçeve sistemlerin depreme göre tasarımında ise öncelikle statik yönteme göre ön boyutlandırma yapılmış, sonrasında ise taşıyıcı elemanların kapasite tasarımları hazırlanmıştır. Son olarak kapasite tasarım koşullarını sağlayan kesitler kullanılarak, 12 mm ve 20 mm olmak üzere iki farklı guse kalınlığına sahip beş katlı iki çerçeve sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri OpenSees [5] yazılımı kullanılarak yapılmıştır. 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.

II. STATİK YÖNTEM İLE KESİTLERİN BELİRLENMESİ

A. Çerçeve Sistemin Tanımlanması

Çerçeve sistem beş katlı bir ofis binası olarak düşünülmüş ve düzlem olarak incelenmiştir. Modelde akslar arası açıklık 6.50 metre, kat yüksekliği ise 3.25 metre olarak seçilmiştir. Çerçeve sistemde kullanılacak çapraz sistem ise ters-v tipinde seçilmiş olup ilgili görsel Şekil 2.a'da verilmiştir. Çapraz sistemin, ters-v şeklinde seçilmesinde, bu tür sistemlerin mimari serbestlik tanıması, dengelenmemiş düşey kuvvetlerin dağılımının sağlanması ve dengelenmemiş yatay kuvvetin kirişler üzerine etkimesi nedenleri dikkate alınmıştır.



(a) Çerçeve Sistem Gösterimi

(b) Çerçeve Sistemde Kullanılan Kesitler & Kapasiteler

Şekil 2. Düzlem Çerçeve Sistem

B. Çerçeve Sistemin Statik Yönteme Göre Ön Boyutlandırması

Çelik çaprazların ön boyutlandırılması eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yapılmış daha sonra ASCE/SEI 7-10 [6] ve ANSI/AISC 360-16 [7] yönetmeliklerinde çelik çaprazlı sistemler için verilen koşullar dikkate alınarak optimum kesitler SAP2000 programı yardımıyla seçilmiştir.

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

Tablo 1. Ön Boyutlandırma İçin Kullanılan Kombinasyonlar

Tanımlar / Kombinasyonlar	I	II	III	IV
D: Ölü Yük *L : Hareketli Yük* *E Deprem Yükü*	0.9 D + E	1.2 D + 1.6 L +0.5 E	1.2 D + 1.6 L	1.4 D

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, deprem hesabını basitleştirmekte kullanılan statik bir hesap yöntemidir. Bu yöntemde yapıya gelecek yatay deprem kuvveti, yapının ve zeminin dinamik özelliklerine bağlı olmakla birlikte, yapı türüne göre değişen parametreler kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak elde edilen yatay yükler ile birlikte düşey yükler, ASCE/SEI 7-10'da verilen kombinasyonlar kullanılarak çerçeve sisteme etkittirilmiştir. Yapılan çalışmada deprem davranışı incelendiğinden kar ve rüzgâr yüklerini içeren kombinasyonlar kesit kapasiteleri belirlenirken dikkate alınmamıştır. Kombinasyonlar Tablo 1.'de gösterilmiştir. İlgili kombinasyonlar altında sistemde oluşan yüklere karşı dayanımı sağlayacak kesitler, duyarlılık analizleri sonucu SAP2000 [8] programında belirlenmiştir. Duyarlılık analizleri deneme yanılma yöntemine dayanan, kesit değişimlerinin sonuçlara etkisinin giderek azaldığı kesit ölçülerini bulabilmek amacıyla kullanılmış analiz yöntemidir. Kesitler ve bu kesitlere ait kapasiteler Şekil 2.b'de gösterilmiştir. Kesitlere ait geometrik özellikler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Kesitlerin Geometrik Özellikleri

I Kesitler	Yükseklik (mm)	Genişlik (mm)	Başlık Kalınlığı (mm)	Gövde Kalınlığı (mm)	Boru Kesitler	Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)
W10x26	*262.40*	*146.60*	*11.20*	*6.60*	**P5**	*141.30*	*6.55*
W12x30	*313.40*	*165.60*	*11.20*	*6.60*	**P6**	*168.28*	*7.11*
W12x40	*303.30*	*203.30*	*13.10*	*7.50*			
W12x79	*314.50*	*306.80*	*18.70*	*11.90*			
W14x28	*358.10*	*172.00*	*13.10*	*7.50*			

III. DEPREM KAYITLARININ SEÇİMİ VE KAYITLARIN ÖLÇEKLENMESİ

Zaman tanım alanında (Time history) analiz yöntemi oldukça küçük zaman adımları ile yapının davranışını modellemek için kullanılan, gerçek durumu temsil kabiliyeti yüksek bir yöntemdir. Zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda kullanılacak en önemli parametrelerden bir tanesi deprem kayıtlarıdır. Yürütülen çalışmada kayıtların alındığı istasyonun zemin tipi, kaynağa olan uzaklığı ve deprem şiddeti, ivme kayıtlarının seçiminde göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada yapılan analizler gerçek ivme kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deprem kayıtları "*Pacific Earthquake Engineering Research Center [9]*" veri bankasından alınmıştır. Deprem kayıtlarının seçiminde dikkate alınan ilk değişken zemin tipidir ve analizlerin yapıldığı bölgenin zemini sıkı kum-çakıl olarak varsayılmıştır. Buna göre, seçilen deprem kayıtlarında otuz metre derinlikteki kayma dalgası hızının (V_{s30}) 360 m/s ile 760 m/s arasında olması kısıtı uygulanmıştır (Tablo 3).

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

Tablo 3. Kayma Hızı (V_{s30}) Kategorileri [10]

Zemin Tipi (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 göz önüne alınan ikinci parametre ise ölçüm istasyonunun deprem kaynağına olan uzaklığıdır. Yapılarda deprem etkisi altında lineer olmayan davranışın gözlenebilmesi 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/SEI 7-10'da verilmiş olan, deprem kayıtlarının döndürülmesi ile ilgili koşullara uygunluğun sağlanması amacıyladır. Üst sınır olarak seçilen 20 km ise yapılan duyarlılık analizleri sonucu belirlenmiştir. Duyarlılık analizleri deprem kaynağına olan uzaklıkların, analiz sonuçlarını önemli ölçüde değiştirdiği mesafeyi bulabilmek amacıyla yürütülmüştür. Deprem kayıtlarının seçiminde kullanılan son parametre ise depremin şiddetidir. Yüksek şiddetteki depremleri temsil edebilmesi amacıyla 6.5 şiddetinden büyük olan depremlere ait yatay ivme kayıtları, zaman tanım alanında yapılacak analizlerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen ivme kayıtlarının ait olduğu depremlerin özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Deprem Kayıtlarının Özellikleri

#	**İsim**	**İstasyon**	**Yıl**	**Bileşen**	**V_{s30} (m/s)**	**Şiddet (M_w)**	**Kaynağa Uzaklık (km)**
1	Tabas	Dayhook	1978	L	471.5	7.4	13.94
2	Irpinia	Bagnoli Irpinio	1980	0	649.7	6.9	8.18
3	Loma Prieta	Anderson Dam (Downstream)	1989	250	488.8	6.9	19.90
4	Kocaeli	Arcelik	1999	0	523.0	7.5	13.49
5	Chuetsu-oki	Yoitamachi Yoita Nagaoka	2007	EW	655.5	6.8	16.10
6	Iwate	IWTH24	2008	EW	486.4	6.9	5.18
7	Hector Mine	Hector	1999	0	726.0	7.1	11.66

Zaman tanım alanında analizlerde kullanılacak gerçek ivme kayıtları, yönetmeliklerde verilmiş olan şartları sağlamalıdır. Bu şartların sağlanabilmesi orijinal deprem kayıtları ile mümkün olmamakta ve deprem kayıtlarının belirli bir hedef doğrultusunda ölçeklenmesi gerekmektedir. Ölçeklemede kıstasın yapıldığı elastik ivme spektrumu, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [11] (DBYBHY 2007)" de 50 yılda karşılaşılma olasılığı %10 olan deprem için verilmiş olan elastik ivme spektrumudur. Deprem kayıtlarının ölçeklenmesinde zaman veya frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemleri seçilebilir. Deprem kayıtlarına ait genliklerde yapılacak değişikliklerin etkisinin, çalışma sonuçlarını domine etme ihtimalini ortadan kaldırabilmek amacıyla bu çalışmada zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi tercih edilmiştir. Bu yönteme göre, %5 sönüm oranlı tek serbestlikli sistem kullanılarak eşdeğer ivme spektrumu her bir ivme kaydı için ayrı ayrı çizdirilir. Daha sonra, çizdirilen ivme spektrumlarının ortalamaları alınarak ASCE/SEI 7-10'da verilen 0.2T – 1.5T şartını

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

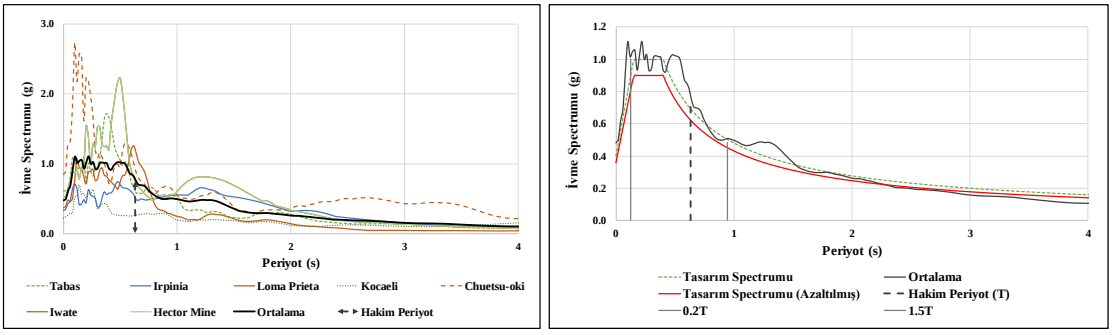
sağlamak koşuluyla, tasarım spektrumu ile karşılaştırılır. Her bir deprem kaydı için çizdirilen elastik ivme spektrumlarının ortalama değerinin, hâkim yapı periyodunun 0.2 ve 1.5 katları arasında, azaltılmış hedef spektrum eğrisinin altına düşmemesi depremlerin ölçeklenmesinde ulaşılması istenen hedef olarak belirlenmiştir. En küçük kareler yöntemine göre hesaplanan farkları minimum yapacak şekilde her bir deprem için farklı ölçek katsayısı (α) hesaplanır. Ölçek katsayısı Denklem 1'de verilmiştir. Bu denklem Fahjan tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır [12]. Yapılan hesaplara göre bulunan ölçek katsayıları 1.495 ile 1.741 arasında değişmekte ve ilgili çalışmada [12] verilen 0.5-2.0 sınır değerleri arasında kalmaktadır (Tablo 5).

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B}\left(S_a^{Mevcut} - S_a^{Hedef}\right)}{\sum_{T=T_A}^{T_B}\left(S_a^{Mevcut}\right)^2} \quad (1)$$

Tablo 5. Depremlerin Ölçeklendirilmesinde Kullanılan Ölçek Katsayıları

Deprem Adı	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 ölçeklenmiş ivme spektrumları, Şekil 3.a ve 3.b'de gösterilmiştir. Şekil 3.a'da ölçeklenmiş yedi deprem kaydına ait ivme spektrumlarının ortalama değeri, yapı periyodu ile birlikte gösterilirken, Şekil 3.b'de ise ortalama değer, tasarım ivme spektrumu, azaltılmış tasarım ivme spektrumu ve periyotlar (0.2T, T ve 1.5T) ile birlikte gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3. Ölçeklenmiş Deprem Kayıtlarına Ait İvme Spektrumları

IV. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN DEPREM HESABININ YAPILMASI

Deprem davranışının doğru tahmin edilmesi ve tasarımda bu davranışın dikkate alınması yapı güvenliğinin sağlanabilmesi için gereklidir. 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 kılmaktadır. Yapılan kabuller kimi zaman tahminlerin doğruluk derecesini düşürebilir. 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 bir şekilde modellenmesi, maalesef yeterli doğrulukta sonuca ulaşılmasına olanak sağlamamaktadır. Bir diğer tarafta, gerçek durumu temsil kabiliyeti yüksek gelişmiş

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

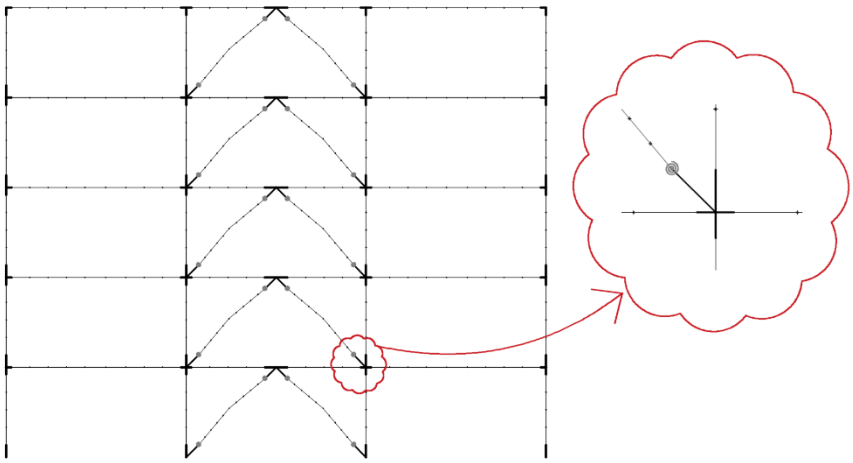
BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

modellerin, yapıların tasarımı için kullanılması yüksek kapasiteli bilgisayarlar gerektirmekte ve analizler oldukça uzun sürmektedir [13]. Bu kısıtları dikkate alarak görece basit fakat guse levhalarında ve yapı elemanlarında meydana gelebilecek lineer olmayan davranışı temsil kabiliyeti yüksek analitik model, Hsiao [14] tarafından geliştirilmiştir ve bu çalışmada kullanılacak olan modeldir. Bu çalışmada yapı analiz yöntemi olarak seçilen zaman tanım alanında analizler çerçeve sistemler için uygulanmıştır. Ayrıca rijit diyafram kabulü yapılarak aynı yükseklik seviyesindeki noktaların eşit yerdeğiştirme yapması sağlanmıştır. Yapıya ve taşıdığı yüklere ait kütlelerin düğüm noktalarında toplandığı kabulü de çalışmada yapılan kabullerden bir diğerdir.

A. Doğrusal Olmayan Analitik Modellerin OpenSees Programında Tanımlanması

Çelik çaprazlarla güçlendirilmiş çerçeve olarak düşünülen yapının modellemesinde, lif (fiber) elemanlar kullanılarak doğrusal olmayan davranış yayılı plastisite kabulü ile temsil edilmiştir. Doğrusal olmayan analizler OpenSees programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup analitik modelin şematik gösterimi Şekil 4'te verilmiştir. Görseli verilmiş olan analitik modelde yer alan parametrelerden olan kalın çizgiler guse elemanlarının, kolon ve kiriş uçlarının 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 yaylara karşılık gelmektedir. Buradaki rijitlik değerleri Denklem 2-3'te gösterilen ilişki kullanılarak hesaplanmıştır. Yine Şekil 4'te 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 kullanılmaktadır [4]. Başlangıç kusuru, çapraz elemanın burkulmaya başlayacağı nokta olarak düşünülebilir ve çalışma kapsamında düzlem dışında verilmiş olan kusur boyu burkulan çapraz eleman boyunun binde biri olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4. Çeçeve Sistemin Analitik Modeli

B. Modelde Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

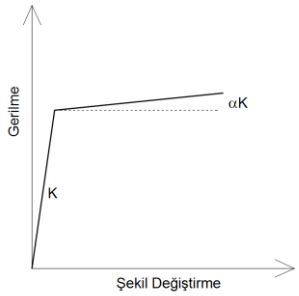
Yüksek şiddetteki depremlerde yapıların doğrusal olmayan bölgede şekil değiştirmesi beklenmektedir. Fakat bu davranışı yeter yakınsaklıkta modellemek kolay değildir. Araştırmacılar doğrusal olmayan davranışı modelleyebilmek amacıyla noktasal plastisite veya yayılı plastisite kabulü yapmaktadırlar [15]. 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. Kesit kapasiteleri Şekil 2.b'de verilmiş düzlem çelik çerçevede yer alan kolon, kiriş ve çapraz elemanlar OpenSees programı kütüphanesinde yer alan *Steel02* malzemesi kullanılarak tanımlanmıştır. Kullanılan *Steel02* malzemesinde Giuffre-Menegotto-Pinto modeli esas alınmıştır [16]. Şekil 5'te gösterilmiş olan gerilme şekil değiştirme ilişkisini temsil etmek için kullanılan *Steel02*

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

malzemesinde akma sonrası rijitlik, pekleşme etkisini de dikkate alarak elastik rijitliğin 0.01'i olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5. Steel02 Malzemesine Ait Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi

Bağlantı elemanları olan guseler için kullanılacak malzemenin gerilme şekil değiştirme ilişkisi ise yine OpenSees kütüphanesinde bulunan *ZeroLength Element* parametresi kullanılarak tanımlanmıştır. *ZeroLength Element*'in tanımlanması için gereken rijitlik değerini (K_{rot}) veren analitik ilişki Denklem 2'de, akma momenti (M_y) değerini veren analitik ilişki ise Denklem 3'te verilmiştir (*W: Whitmore genişliği, t: Guse levha kalınlığı, L_{ave}: Whitmore çizgisine olan ortalama uzaklık*). Bu denklemler Hsiao tarafından 2012 yılında yapılan çalışmadan alınmıştır. Bu çalışma kapsamında, dinamik analizin en önemli parametrelerinden bir tanesi olan yapının süneklik değeri ise örnek çalışmalardaki değer olan yüzde iki olarak kabul edilmiştir [14],[17].

$$K_{rot} = \frac{E}{L_{ave}} \cdot \left(\frac{W \cdot t^3}{12} \right) \tag{2}$$

$$M_y = F_y \cdot \left(\frac{W \cdot t^2}{6} \right) \tag{3}$$

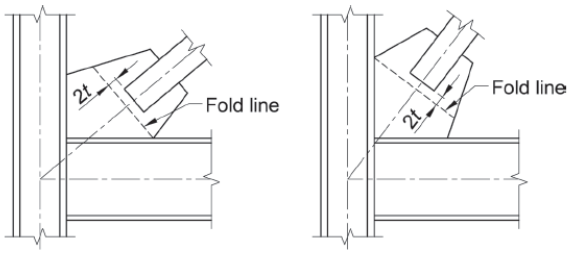
C. Guse Levhalarının Tasarımı

Çelik çerçevelerin diyagonal elemanlarla desteklendiği sistemler, deprem kuvvetlerinden dolayı oluşabilecek zorlanma durumlarına karşı oldukça etkilidirler. Ancak diyagonal elemanların kolon kiriş birleşimlerine bağlantısını sağlayan guse levhaları bu yapı sisteminin en zayıf noktasıdır. Kolon ve kirişler gibi yapısal fazlalığa (structural redundancy) sahip olmayan guse levhaları, zorlanma esnasında gevrek kırılma ile tüm yapı sisteminin performansını önemli ölçüde düşürebilir. Yanık vd. [18] tarafından yürütülen çalışmada uygun tasarlanmayan guse levhalarının yapının taşıyıcı özelliğine etkisi, çöken bir köprü üzerinden incelenmiştir. Çevrimsel yükler altında diyagonal elemanlar düzlem dışı şekil değiştirme yaptıklarında guselerin bu şekil değiştirmeye uyum sağlaması için serbest şekilde dönebilecekleri pay (temiz açıklık) bırakılması gerekmektedir. Şekil 6'da verilmiş olan temiz açıklık şartı, çelik çaprazın düzlem dışı burkulması durumunda guse levhasının dönmesine müsaade etmek ve bu bölgede plastik mafsal oluşumunu sağlamak olarak ifade edilebilir. Bu alanın bırakılmasında temel neden guse elemanlarının üzerinde oluşan gerilmelerin bu bölgede yoğunlaşmasını sağlamaktır. Bırakılan bu alanda plastik mafsal oluşarak, guse levhasının düzlem dışında dönmesine imkân sağlar böylece guse ve diyagonal elemandan oluşan sistem sünek davranış gösterir. Astaneh-Asl [19] ve Astaneh-Asl vd. [20] tarafından yapılan çalışmalarda açıklanan ve AISC 341-16'da [21] önerilen guse boyutlandırmasına esas teşkil edecek temiz açıklık uzaklığı Şekil 6'da gösterilmiştir.

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

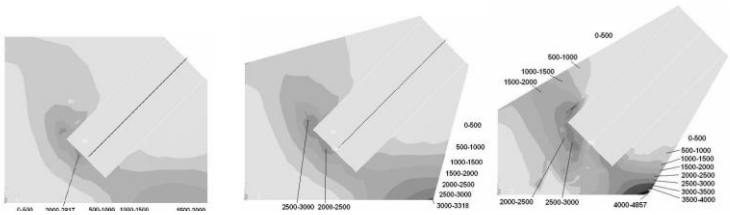
BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

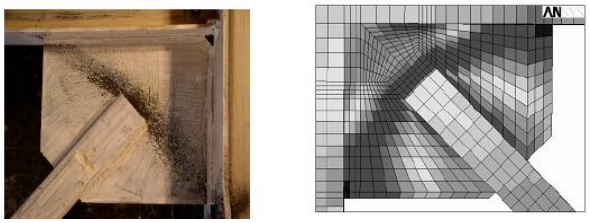


Şekil 6. Guse Elemanı için Gereken Temiz Açıklık [21]

Kuvvetler altında guse levhaları üzerinde meydana gelen gerilme dağılımları, analitik model ve deney sonuçlarından elde edilenler olmak üzere Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. İlgili resimlerde görülebileceği üzere uygun şekilde tasarlanmış guse levhalarında, kuvvet altında meydana gelen gerilmelerin belirli alanlarda yoğunlaşması sağlanabilmiştir.



Şekil 7. *Guse Levhası Üzerinde Oluşan Gerilmeler-1 [22]*



Şekil 8. *Guse Levhası Üzerinde Oluşan Gerilmeler-2 [23]*

Deprem bölgelerinde yer alan çapraz elemanlar ile güçlendirilmiş çerçeve sistemlerde, bağlantı elemanı olarak kullanılan guse elemanlarının süneklik koşullarını sağlaması gereklidir. Süneklik koşullarının yanında kırılma, kaynak boyu, burkulma, blok kırılma, ezilme ve uç burkulması kontrolleri de yapılmalıdır. "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği" [24] (ÇYTHYE-16) guse elemanları ile ilgili bağlayıcı madde içermemektedir. Bu nedenle kontroller uluslararası şartnameler ve uluslararası yayınlarda verilmiş koşullar kullanılarak yapılmıştır [7], [19], [20], [21].

Yapıda bulunan kolon, kiriş, çapraz ve guse elemanları OpenSees yazılımı ile sonlu elemanlar modellemesi kullanılarak oluşturulmuştur. Guselerin tanımlanmasında kullanılacak olan analitik model Hsiao vd. [13] tarafından hazırlanmış olan çalışmadan alınmıştır. Analitik modelde kullanılan eğilme momenti ve dönme kapasiteleri, Hsiao [14] tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. Çalışma kapsamında, guse tasarımının yapının deprem davranışına olan etkisini araştırmak amacıyla 12 mm ve 20 mm et kalınlıklarına sahip farklı guse levhaları her katta farklı boyutlarda olmak üzere tasarlanmıştır. Guse kalınlıklarının 12 ve 20 mm olarak seçilmesi yapılan

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

duyarlılık analizleri sonucu belirlenmiştir [25]. İki farklı çapraz eleman olarak seçilen P5 ve P6 boru kesitleri için, iki farklı guse tasarımı yapılmıştır. Ayrıca diyagonallerin her iki ucunu (alt ve üst) kolon-kiriş birleşimlerine bağlamak amacıyla alt ve üst taraf olmak üzere iki farklı tasarıma ihtiyaç duyulmuştur. İki farklı diyagonale, alt ve üst kısımlarda bağlantıyı sağlayacak toplam dört farklı guse levhası her bir model için ayrı ayrı tasarlanmış olup guselere ait yapısal değerler Tablo 6'da verilmiştir. Guse elemanlarının geometrisi iki model arasındaki tek fark olmakla birlikte, kullanılan guse levhaları her iki model için de konik tipte (tapered) seçilmiştir. Farklı tasarımlara sahip guse levhalarının, yapının deprem davranışına olan etkisini araştırabilmek için kolon, kiriş ve çapraz elemanların kesitleri her iki modelde de sabit tutulmuştur.

Enerji yutma kapasitesinden faydalanabilmek için çapraz elemanlar ve guse elemanları üzerinde meydana gelebilecek şekil değiştirmelerin stabilite koşullarına uygun olarak belirli limitler içerisinde kalması gerekmektedir. Tasarlanacak guse elemanlarının bağlantısını sağladığı çapraz elemanlar ile uyumlu şekil değiştirmesi beklenmektedir. Tasarlanan guse levhaları, çapraz elemanların burkulmadan sonra da şekil değiştirmeye devam etmesine olanak sağlamalıdır. Uygun ve doğru tasarım ile çapraz elemanın ve guse elemanının şekil değiştirme kapasitesi arttırılır böylece tüm yapı sisteminin sünek davranması sağlanır. Guse levhaları ve çapraz elemanlar için kesitlerde meydana gelen gerilme şekil değiştirme davranışını veren ilişkiler Şekil 9-14 gösterilmiştir. Yapı sisteminin dördüncü ve beşinci katında yer alan guse levhaları ve çapraz elemanlara ait şekil değiştirmeler doğrusal bölgede kaldıklarından, sadece doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin meydana geldiği ilk üç kattaki gerilme şekil değiştirme ilişkileri verilmiştir.

Tablo 6. Guse Levhalarının Tasarım Değerleri

Bulunan Kat	Bulunan Konum	Levha Kalınlığı (mm)	Whitmore Çizgisine Olan Ortalama Uzaklık (mm)	Whitmore Genişliği (mm)	Akma Momenti (N mm)	Dönme Rijitliği (N mm)
1 ve 2	Alt Uç	12	266	523	3451800	56625564
1 ve 2	Üst Uç	12	478	570	3762000	34343096
3, 4 ve 5	Alt Uç	12	297	436	2877600	42278788
3, 4 ve 5	Üst Uç	12	407	442	2917200	31276658
1 ve 2	Alt Uç	20	221	436	7993333	263046757
1 ve 2	Üst Uç	20	261	456	8360000	232950192
3, 4 ve 5	Alt Uç	20	230	436	7993333	252753623
3, 4 ve 5	Üst Uç	20	261	456	8360000	232950192

V. ANALİZ SONUÇLARININ YORUMLANMASI

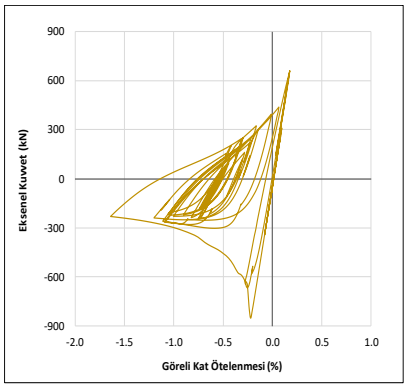
Yürütülen çalışmada toplam 14 adet zaman tanım alanında analiz yapılmış olup, iki farklı model için sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan zaman tanım analizleri sonucunda, yapı tepkileri olarak kat ötelenmeleri ve kat ivmeleri incelenmiştir. Kat ötelenmelerinin yapısal elemanlar üzerindeki hasarı temsil ettiği, kat ivmelerinin ise yapısal olmayan birimlerin hasar derecelerini belirlediği varsayılmıştır. ASCE/SEI 7-10'da verildiği üzere, yedi farklı deprem kullanılarak gerçekleştirilen analizlere ait sonuçların ortalama değerleri kullanılmış ve ortalama değerler her bir modelin tepkisi olarak kaydedilmiştir. Her iki guse kalınlığı için hesaplanan ortalama kat ivmelerinin ve kat ötelenmelerinin katlara göre değişimleri Şekil 15-18'de gösterilmiştir. Buna göre, en yüksek ortalama kat ivmesi 0.90 g ile 20 mm kalınlığında guse elemanının kullanıldığı durumda ikinci katta gözlenmiştir. En büyük ortalama kat ötelenmesi ise 39.65 mm olmak üzere, 12 mm kalınlığında guse elemanının kullanıldığı durumda ikinci ve üçüncü katlar arasında gözlenmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü katlarda bulunan diyagonal ve guseler doğrusal olmayan bölgede plastik şekil değiştirme yapmıştır. Plastik davranışa örnek teşkil etmesi amacıyla, birinci, ikinci ve üçüncü katlarda yer alan diyagonal elemanlar için yedi numaralı deprem etkisi altında

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

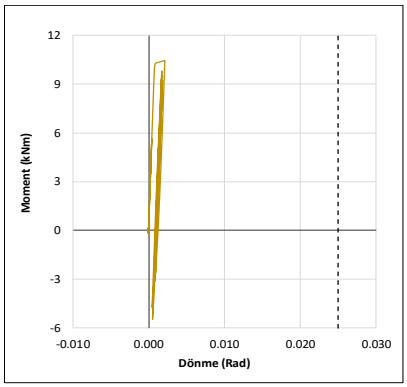
BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

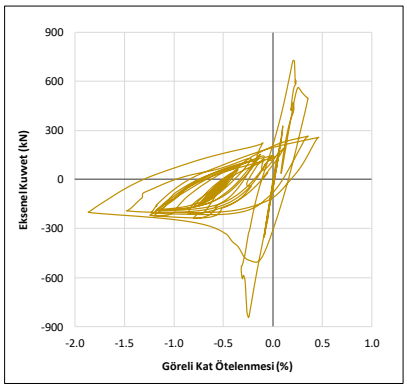
gerilme şekil değiştirme ilişkisi Şekil 9-10-11'de, guse elemanlarında meydana gelen plastik şekil değiştirme ise Şekil 12-13-14'te gösterilmiştir. Guse elemanlarına ait şekil değiştirme grafiklerinde kesikli çizgi ile gösterilen 0.025 radyan değeri, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" [26] (TBDY) dokuzuncu bölümde mafsallı birleşimlerden beklenen minimum dönme değeridir. Çalışma kapsamında birleşim bölgelerinde mafsal yerine rijit yaylar ile tanımlanan guse elemanları kullanıldığından, bu değer maksimum dönme limiti olarak kabul edilmiştir. Yapılan analizler sonucu görülen en büyük göreli kat ötelenmesi %2.01 ile yedi numaralı depremde okunmuştur. En yüksek kat ivmesi değeri ise 1.37 g ile üç numaralı deprem altında ikinci katta gözlenmiştir. Tüm depremlerden elde edilen sonuçlar ile hesaplanan ortalama kat ötelenmesi değerleri ise Şekil 19-20'de verilmiştir. Analizlerin tamamında yapısal sistem taşıyıcı özelliğini korumuş olup hiçbir durumda göçme gözlenmemiştir.



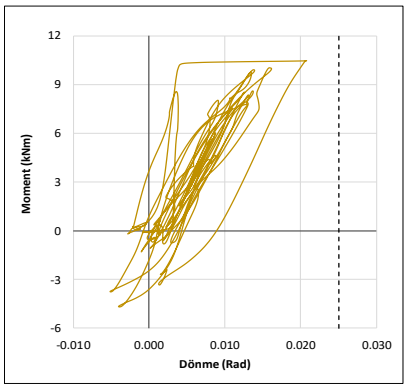
Şekil 9. *Çapraz Elemanın Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi (7 No'lu deprem altında 1. katta yer alan diyagonal elemana aittir)*



Şekil 12. *Guse Elemanının Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi (7 No'lu deprem altında 1. katta yer alan guse elemanına aittir)*



Şekil 10. *Çapraz Elemanın Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi (7 No'lu deprem altında 2. katta yer alan diyagonal elemana aittir)*

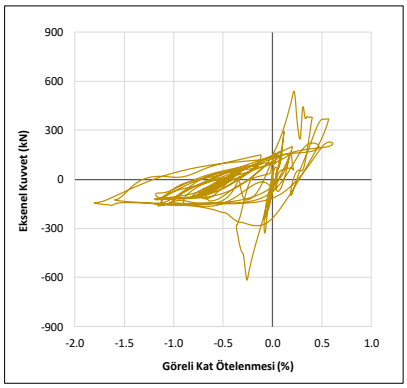


Şekil 13. *Guse Elemanının Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi (7 No'lu deprem altında 2. katta yer alan guse elemanına aittir)*

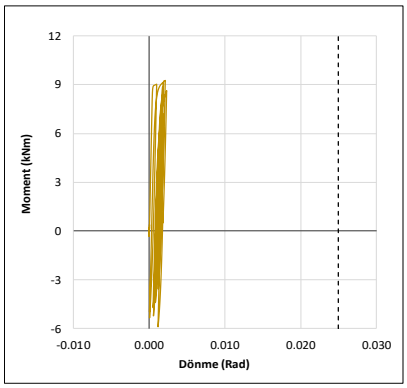
BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

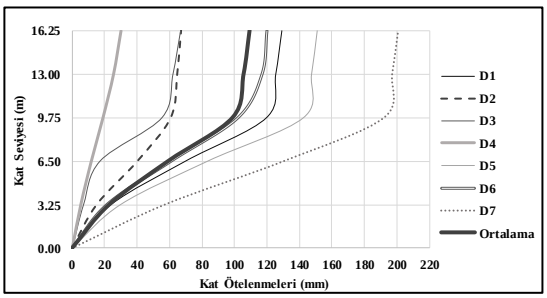


Şekil 11. *Çapraz Elemanın Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi (7 No'lu deprem altında 3. katta yer alan diyagonal elemana aittir)*

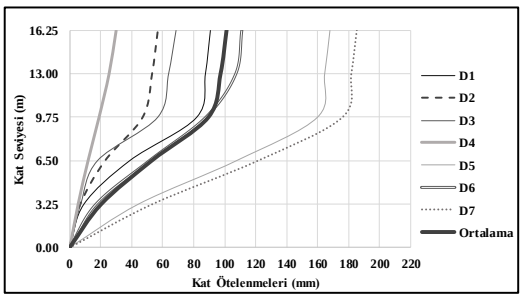


Şekil 14. *Guse Elemanının Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi (7 No'lu deprem altında 3. katta yer alan guse elemanına aittir)*

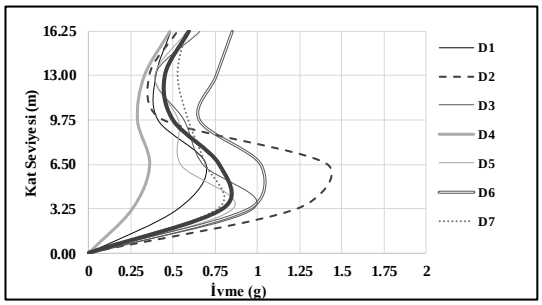
Guse levhalarının tasarımında yapılacak değişikliklerin yapı sisteminin davranışına olan etkisini görebilmek amacıyla, farklı kalınlıklarda guse levhalarının kullanıldığı beş katlı çelik çerçevelerin doğal periyotları hesaplanmıştır. 20 mm kalınlığa sahip guse levhalarının bulunduğu yapının birinci doğal periyodu 0.5721 saniye olarak bulunmuştur. 12 mm levha kalınlığına sahip guse levhalarının tercih edilmesi durumunda ise doğal periyodun 0.5677'ye düştüğü gözlenmiştir. Sadece guse levha kalınlıkları değiştirildiğinde, yapı periyotları arasında % 0.8'e yakın bir fark oluşmuştur. Elbette ki farklı tasarıma sahip yapılarda değişim oranı farklılıklar gösterebilir fakat yapılan çalışma göstermiştir ki guse kalınlıklarının değiştirilmesi yapı rijitliğini etkilemektedir.



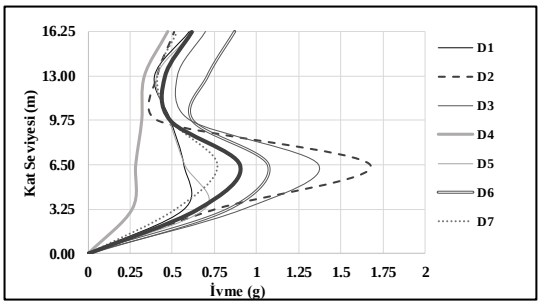
Şekil 15. *12 mm Kalınlığındaki Guselere Sahip Modelin Depremler Altındaki Kat Ötelenmeleri*



Şekil 16. *20 mm Kalınlığındaki Guselere Sahip Modelin Depremler Altındaki Kat Ötelenmeleri*



Şekil 17. *12 mm Kalınlığındaki Guselere Sahip Modelin Depremler Altındaki Maksimum Kat İvmeleri*

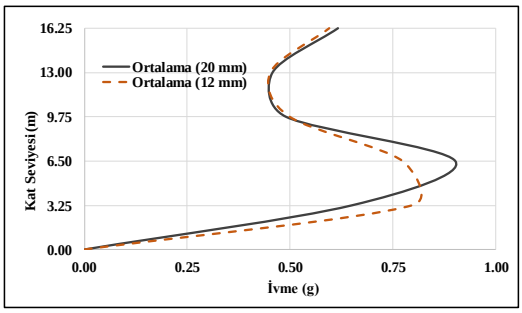


Şekil 18. *20 mm Kalınlığındaki Guselere Sahip Modelin Depremler Altındaki Maksimum Kat İvmeleri*

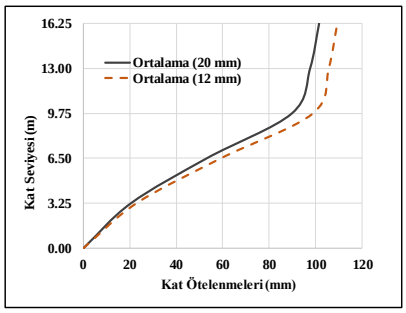
BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı
62-77, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.

e-ISSN: 2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)



Şekil 19. *20 ve 12 mm Kalınlığındaki Guselere Sahip Modellerin Kat İvmeleri Kıyaslaması*



Şekil 20. *20 ve 12 mm Kalınlığındaki Guselere Sahip Modellerin Kat Ötelenmeleri Kıyaslaması*

VI. SONUÇLAR VE SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu çalışmada guse elemanlarının, çelik yapıların deprem davranışına olan etkileri araştırılmıştır. 2016 yılında yayımlanmış olan "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği"nde [24] guse levhaları ilgili herhangi bir koşul veya kısıt verilmediğinden bu çalışma ile bir farkındalık yaratmak amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşabilmek için beş katlı iki farklı çelik çerçeve sistem uluslararası yönetmeliklere göre tasarlanmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Zaman tanım alanında analizlerde kullanılmak üzere gerçek depremlere ait ivme kayıtları, kaynağa uzaklık, deprem şiddeti ve zemin tipi gözönünde bulundurularak seçilmiştir. Seçilen ivme kayıtları yönetmelik koşulları uyarınca ölçeklenerek, hazırlanan modellere yatay olarak etkittirilmiştir. Çerçeve sistem ile toplam 14 analiz OpenSees yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları kat ötelenmeleri ve kat ivmelerini verecek şekilde düzenlenmiş ve yorumlanabilir hale getirilmiştir. Sonuçlara göre, guse elemanlarının et kalınlığı arttığında yapıların rijitliği de artarak kat ötelenmelerini azalmakta fakat artan rijitlikle birlikte kat ivmelerinde önemli artışlar meydana gelmektedir. Guse kalınlığı 12 mm'den 20 mm'ye çıktığında kat ötelenmelerinde ortalama %8,9 kadar azalma olmasına karşın, kat ivmelerinde ise ortalama %5,5 artış gözlenmiştir. Yapılan analizler sonucu görülen en büyük göreli kat ötelenmesi %2.01 ile yedi numaralı depremde ikinci ve üçüncü katlar arasında okunmuştur. Analiz sonuçlarında görülen en büyük kat ivmesi ise 1.37 g ile üç numaralı deprem etkisinde ikinci katta görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda önerilmektedir ki ivme hassasiyetine sahip, yapısal olmayan elemanların öncelikli olduğu tasarımlarda daha ince kalınlığa sahip guse levhaları tercih edilmelidir. Guse elemanları ile ilgili gelecekte yapılacak çalışmalar için; üç boyutlu model üzerinden yapılacak analizlerde eksantriste etkisi de göz önünde alınabilir. Ayrıca zaman tanım alanında analizlerde kullanılacak ivme kayıtlarına düşey birleşen dahil edilebilir. Son olarak, deprem etkisi altında zeminin dinamik özellikleri ile üst yapı ilişkisi göz önüne alınarak yapı davranışı incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Lehman D. E, Roeder C. W, Herman D. A ve diğ. (2008). Improved Seismic Performance of Gusset Plate Connections, Journal of Structural Engineering, 134(6): 890-901.

[2] Geschwinder L.F. (2008). Unified Design of Steel Structures. John Wiley & Sons Inc, pp 432-434.

[3] Tunçel U. (2007). Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Sistemlerin DBYBHY 2007 Yönetmeliğine Göre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[4] Terzic V. (2013). Modeling SCB Frames Using Beam-column Elements. Open System For Earthquake Engineering Simulation, Pacific Earthquake Engineering Research Center.

[5] OpenSees, Version 2.5.0, Open System For Earthquake Engineering Simulation. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA.

[6] ASCE/SEI 7-10 (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA.

[7] ANSI/AISC 360-16 (2016). Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.

[8] CSI, SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[9] PEER Ground Motion Database, Pacific Earthquake Research Center, University of California, Berkeley, CA.

[10] 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.

[11] DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

[12] Fahjan Y. M. (2008). Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms to Fit the Turkish Design Spectra. Digest, December, 1231-1250.

[13] 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.

[14] Hsiao P. C. (2012). Performance Evaluation of Concentrically Braced Frames. Doctoral Disseratation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington.

[15] Terzic V. (2012). Structural Modeling with Examples, Open System for Earthquake Engineering Simulation, Pacific Earthquake Engineering Research Center.

[16] Mazzoni S., McKenna, F., Scott M. H. ve diğ. (2006) OpenSees Command Language Manual.

[17] Mofid M. ve Khosravi P. (2000) Non-linear Analysis of Disposable Knee Bracing. Computers and Structures, 75, 65-72.

[18] Yanık A., Higgins C., and Scott M. H. (2019) An analytical Study On Steel Gusset Plates. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 7(2), 330-336.

[19] Astaneh-Asl A. (1998). Seismic Behavior and Design of Gusset Plates Steel Tips, Structural Steel Educational Council Technical Information & Product Service.

[20] 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.

[21] ANSI/AISC 341-16 (2016). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.

[22] 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.

[23] Roeder, C.W., Lehman, D.E., Lumpkin, E., Hsiao, P. C. ve Palmer K. (2011) SCBF Gusset Plate Connection Design, T.R. Higgins Lecture, AISC North American Structural Steel Conference, Pittsburgh, PA, May 11-14, 2011.

[24] ÇYTHYE (2016). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

[25] Gül H. D. (2019). Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistemlerin Deprem Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir.

[26] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.