

Enstitüsü	: Lisansüstü Eğitim
Anabilim Dalı	: İnşaat Mühendisliği
Programı	: Yapı
Tez Danışmanı	: Dr. Öğr. Üyesi Erdal Coşkun
Tez Türü ve Tarihi	: Doktora – Temmuz 2021

ÖZET

ZAYIFLATILMIŞ KİRİŞ VE GÖVDE ENKESİTLİ ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLARININ DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİ

Bülent Koparan

Yapılarda deprem gibi tekrarlı yükler altında sünek davranışın sağlanabilmesi için yapıda oluşacak plastik deformasyonların öncelikle sünek davranan elemanlarda oluşması yani eleman sünekliliği istenir. Eğilme etkisindeki elemanların davranışı, sadece eksenel kuvvet veya eksenel kuvvet ile eğilme etkisindeki elemanların davranışına göre daha sünektir. Büyük depremlerde kolonda ve birleşim bölgesinde oluşabilecek ve kolon mekanizmasına yol açabilecek mafsallaşmaların kirişlerde oluşmasını sağlayan bir düzeneğin oluşturulması sistem sünekliliği açısından istenen davranış modelidir. Çeşitli ülke yönetmeliklerinde bu mekanizmayı sağlayan birleşim düzenlemeleri önerilmektedir. Yönetmeliklerde yer almayan birleşim tipleri için ise, süneklilik düzeylerine bağlı olarak sağlaması gereken koşullar verilmiştir.

Tez çalışmasında zayıflatılmış kiriş ve gövde enkesitli çelik çerçeve sistemlerin davranışı incelenmiş ve öneriler sunulmuştur. Zayıflatılmış gövde enkesitli birleşimler yönetmeliklerde henüz yer almamaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı tarafından bu konu üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde zayıflatılmış enkesitli ve zayıflatılmış gövde enkesitli elemanlar tanımlanmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde özellikle Northridge ve Kobe depremleri sonrası araştırmacıların zayıflatılmış kiriş enkesitli birleşimler için geliştirdikleri modellere değinilmiştir. Deprem sonrası araştırmacıların çelik yapılar üzerinde yapmış olduğu incelemeler gelecekte çelik yapıların tasarımına ışık tutmaktadır.

İkinci bölüm çeliğin yapılarda kullanılmaya başlanması ve çelik yapıların gelişim sürecine ayrılmıştır. 1779 yılında İngiltere’de Severn Nehri üzerine 30,63 metre açıklığında, kemer tarzındaki dökme demirden yapılan Coalbrookdale köprüsüyle çeliğin yapılarda kullanılması başlamıştır. Çeliğin çok katlı binada kullanılması yine İngiltere’de olmuştur. Daha sonra özellikle çok katlı binalarda Amerika’da çelik kullanımı artmaya devam etmiştir. Çeliğin kullanımıyla birlikte çeliğin üretim teknolojisi de gelişmiş, mekanik ve fiziksel olarak daha dayanıklı, daha sünek çelik üretimi başlamıştır. Yine malzemenin davranışı bu bölümde

anlatılmıştır. Çevrimsel yükler altında çelik malzemesinin elastik ve plastik özellikleri bu bölümde yer almaktadır.

Moment aktaran çerçeve sistemlerin davranışı üçüncü bölümde yer almaktadır. Bu bölümde bir Amerikan ulusal standardı olan ANSI/AISC 341-16, Çelik Taşıyıcı Sistemli Binalar için Sismik Kurallar (*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*) yönetmeliğine göre çelik çerçevelerin sınıflandırılması özetlenmiştir. Burada çerçeve türlerinin moment aktaran birleşimleri için sahip olması gereken özelliklerin açıklanması çalışmanın amacı açısından gereklidir. Birleşimin sahip olması gereken en önemli özelliklerinden biri Şekil 3.2 diyagramıyla süneklik düzeyi yüksek moment çerçevelerinde yüksek dönme kapasitesine sahip olması gerektiği gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 3.3’de yapıda depremde istenmeyen ve olması gereken kat mekanizmaları yer almaktadır. Deprem sonrası çelik yapıların birleşiminde görülen hasarların neler olduğu yeni yapılacak çelik yapılarda oluşabilecek depremlerin sonrasında benzer hasarların oluşmasını önlemek için önemlidir. Şekil 3.6 moment aktaran çerçevelerin birleşim bölgesinde oluşan hasarları göstermektedir.

Çalışmaya daha önce deneyleri yapılmış benzer bir araştırmanın analizleri yapılarak başlanmıştır. Konuyla ilgili birçok araştırmacının analitik çözümlerini doğrulamakta kullandığı çalışma kullanılmıştır. Doğrulamakta kullanılan çalışmanın tercih edilmesindeki nedenlerin ilki bu çalışmaya yakın olması, ikincisi ise bu çalışmanın çok sayıda doğrulama için kullanılmış olmasıdır. Dördüncü bölümde doğrulama için yapılmış çalışmanın özellikleri ve sonuçlarının yapılan çalışmanın sonuçlarının karşılaştırılması ve çeşitli öneriler yer almaktadır.

Çalışmanın beşinci bölümünde çerçevelere yer verilmiştir. 4, 8 ve 12 katlı zayıflatılmış kiriş ve gövde enkesitli birleşim modelleriyle solid enkesitli birleşim modellerinin yatay yükler altında analizleri yapılmıştır. Zayıflatılmış gövde enkesitlerde farklı zayıflatma çapı ve kolon yüzü uzaklıkları için birleşim bölgesinde gerilmenin değişimi araştırılmıştır. Sonuçlar ayrıca *Cornerstone* etkileşim yazılımıyla derlenerek gerilme değişimini veren denklemler elde edilmiştir. Elde edilen denklemler yalnızca analizi yapılan çerçevelere ait yükleme durumu malzeme ve kesit özellikleri için bulunmuş değerlerdir. Çerçeve çözümleri ile zayıflatılmış kesitlerin yatay yük taşıma kapasitelerini ve birleşim bölgesinde gerilme dağılımını etkilediği görülmüştür. Kiriş kesitinde zayıflama etkisiyle gerilmelerin delik bölgesinde yoğunlaşarak, kaynak bölgesindeki gerilmeyi azalttığı Şekil 5.8, Şekil 5.12, Şekil 5.17’ den görülmektedir.

Altıncı bölümde 67 farklı çelik birleşimin SAC yükleme protokolüne göre tersinir deplasman yüklemeleri altında hesapları yapılmıştır. Bu analizlerden her birleşimin moment eğrilik diyagramları ile kolon kiriş birleşim bölgesi kiriş üst başlığında ve kiriş üst başlık eksen boyunca gerilme değişimleri çıkarılmıştır. Yine analiz sonuçları *Cornerstone* yazılımından derlenerek parametrik olarak plastik şekil değiştirmeyi veren denklem elde edilmiştir. Burada elde edilen plastik şekil değiştirmeyi veren denklemler genel olmayıp elde edildiği malzemenin ve kesitlerin özelliklerine ait değerlerdir.

Tüm bu çalışmaların sonuçlarında zayıflatılmış kiriş gövde enkesitli birleşimlerin tasarımının düzenlenmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Süneklik, sonlu elemanlar, zayıflatılmış kesit, eşdeğer gerilme, plastik deformasyon

Bilim dalı sayısal kodu:

Institute : Graduate Education Institute
Department : Civil Engineering
Programme : Construction
Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Erdal Coşkun
Degree Awarded And Date : PhD – July 2021

ABSTRACT

THE EFFECT OF NONLINEAR BEHAVIOUR OF REDUCED BEAM AND REDUCED WEB SECTIONS FRAME SYSTEMS ON EARTHQUAKE PERFORMANCE

Bülent Koparan

In order to provide ductile behavior under repeated loads such as earthquake loads, plastic deformations that will occur in the structure are required to occur primarily in ductile elements. The behavior of the members under the influence of bending is more ductile than the behavior of the members under the influence of axial force or axial force. Increasing axial force in structural elements causes ductility loss. Establishing a mechanism that removes excessive deformations in the column and junction area in severe earthquakes and ensures that these deformations occur in beams under the effect of bending is the desired behavior model in terms of building safety. There are combination types that provide this mechanism in the regulations. For the joint types not included in the regulation, the conditions that must be met depending on the ductility levels are given.

In this thesis, the behavior of weakened beam and body cross-section steel frame systems has been investigated. Weakened body cross-section connections have not yet been included in the regulations. Therefore, many researchers are still working on this subject. The thesis aim is to contribute to the behavior of weakened beam-body cross-section connections.

In the first stage of the study, the behavior of steel structures was emphasized. Post-earthquake researchers' investigations on steel structures shed light on the design of steel structures in the future. In the first part of the study, especially after the Northridge and Kobe earthquakes, the models developed by the researchers for weakened beam cross-section connections are mentioned.

The second chapter is devoted to the use of steel in structures and the development process of steel structures. In 1779, the use of steel in structures began with the Coalbrookdale Bridge, which was made of arch-style cast iron over the Severn River with a span of 30.63 meters. The use of steel in multi-storey buildings was also in England. Later, the use of steel continued to increase in the United States, especially in multi-storey buildings. With the use of steel, the production technology of steel has also improved, and the production of mechanically and physically more

durable, more ductile steel has begun. Again, the behavior of the material is explained in this section. Elastic and plastic properties of steel material under cyclic loads are included in this section.

The behavior of moment-transmitting frame systems is given in the third chapter. In this section, the classification of steel frames according to ANSI/AISC 341-16, an American national standard, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings regulation is explained. Here, the properties that frame types must have for moment-transmitting combinations are important for the purpose of the study. One of the most important properties that the joint should have is shown in Figure 3.2 that it should have high rotational capacity in moment frames with high ductility level. In addition, in Figure 3.3, there are undesirable and necessary floor mechanisms in the building in an earthquake. What are the damages seen in the combination of the steel structures after the earthquake is important in order to prevent the occurrence of similar damages after the earthquakes that may occur in the new steel structures. Figure 3.6 shows the damages in the junction area of the moment transmitting frames.

The study was started by analyzing similar research that had been tested before. The study used by many researchers on the subject to validate their analytical analysis was used. The reasons for choosing the study used for validation were first because it was close to this study and secondly because this study was used for multiple validations. In the fourth chapter, the characteristics of the study conducted for validation and the comparison of the results of the study and various suggestions are included.

Frames are included in the fifth part of the study. Analysis of 4, 8, and 12-storey weakened beam and body cross-section connection models and solid cross-section connection models under lateral loads were performed. The variation of stress at the junction was investigated for different weakening diameters and column face distances in attenuated body cross-sections. The results were also compiled with the *Cornerstone* interaction program and the equations giving the stress variation were obtained. The equations obtained here are only the values obtained for the loading state material and section properties of the frames analyzed here. Frame analyzes have shown that weakened sections affect the lateral load carrying capacity and stress distribution in the joint area. It can be seen from Figure 5.8, Figure 5.12, Figure 5.17 that the stresses in the beam section are concentrated in the hole region due to the weakening effect and reduce the stress in the weld region.

In the sixth section, 67 different combinations were analyzed under reversible displacement loading according to the SAC loading protocol. From these analyses, moment curvature diagrams of each joint and stress changes in the column-beam junction area at the beam cap and along the beam cap axis were deduced. Again, the results of the analysis were compiled in the *Cornerstone* program and the equation giving the plastic deformation parametrically was obtained. The equations giving the plastic deformation obtained here are not general, but are the values belonging to the properties of the material and sections from which it is obtained.

At the end of all these studies, suggestions were made on how to design weakened beam-body cross-section connections.

Keywords: Ductility, finite element, equivalent stress, reduced section, plastic deformation

Science numeric code: