



Çaprazlı çelik çerçevelerin sismik performansı üzerine bazı değerlendirmeler

Zeki AY*, İlyas Devran ÇELİK*, Nurettin Alpay KIMILLI*

*Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Çelik yapılar
Çaprazlı çelik çerçeveler
Deneysel çalışmalar
Deprem spektrumu
Lineer olmayan statik itme analizi

ÖZET

1994 Northridge ve 1995 Kobe depremleri gösterdi ki, orta ve büyük ölçekte yer hareketine maruz kalan çelik yapılarda, uygun çerçeve geometrisi ve yeterli birleşim detayları ortaya konmadığı zaman; sünek ve yüksek dayanım kapasitesine sahip olduğu bilinen çelik yapıların, sanıldığı gibi deprem karşısında yüksek performans seviyesi sergileyemediği görülmüştür. Depreme dayanıklı çelik yapı tasarımında bu depremler, bir dönüm noktası olmakla birlikte, yapısal çelik sektöründe yeni arayışları ve yeni tasarım kriterlerinin belirlenmesine sebep olmuştur. Yeni tasarım kriterlerinin belirlenmesine duyulan bu ihtiyaçlar neticesinde son yıllarda, çelik yapıların sismik performansı üzerine pek çok çalışma yapıldı. Bu çalışmaların çoğu sayısal çalışmalardır. Sayısal çalışmalar deneysel çalışmalarla desteklenmiş ve ileri mühendislik programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar ise sayısal çalışmalara göre daha az sayıda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, temel farklılıklar ya sayısal ve deneysel modelleme ya da kullanılan programlar ve deney düzenekleridir. Bu makale, çelik yapıların sismik performansı üzerine yapılan çalışmalarda karşılaşılan sorunları irdelemekte ve tartışmaktadır.

Some assessments on seismic performance of braced steel frames

Keywords

Steel structures
Braced steel structures
Experimental study
Earthquake response
Pushover analysis

ABSTRACT

The 1994 Northridge and 1995 Kobe earthquakes showed that new technologies and structural configurations are needed to limit damage to steel structures subjected to moderate and large ground motions. In order to evaluate the behavior and seismic capacity of structures under earthquake effect traditionally, seismic design methods are insufficient. In recent years, many studies about seismic performance of steel frames have been carried out in the world. Most of these studies are numerical studies. Numerical studies carried out by making use of advanced computer programs and to be supported with experimental studies. Experimental studies, though few in number, are carried out as well. In these studies, main differences are both on the bases of numerical and experimental modeling or computer programs and experiment sets. This paper is investigate and discuss some problems which are made about studies of seismic performance of steel structures in last decade.

* Sorumlu yazar (Corresponding author) e-posta: idcelik@mmf.sdu.edu.tr

1-GİRİŞ

Çelik yapı sistemlerinin sismik bir etki altındaki davranışı, malzeme özellikleri, kesit geometrileri ek ve birleşim yer ve şekillerine bağlıdır. Bu bağlamda, kiriş kolon bağlantılarının biçimsel özellikleri, elemanın malzeme özellikleri ve eleman kesit özellikleri, bağlantının dönme kapasitesinde önemli bir etken durumundadır. Bağlantı noktalarında gevrek kırılmaların olmaması, bunun yerine, bu bağlantıların sistemin sünekliğine uygun bir davranış sergilemesi istenir. Bağlantıdaki bu sünek davranış, elemanın bağlantı noktasındaki dönme kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Özellikle, yakın zamanlarda meydana gelen depremler sonrasında, hasar gören çelik yapılar üzerinde gerçekleştirilen araştırmalarda, en önemli hasar nedenleri arasında kolon kiriş bağlantı noktalarında ortaya çıkan gevrek kırılmaların olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen bu gevrek kırılmaların ise çelik yapı sistemlerinin göçmelerinde önemli bir sebep olduğu gözlemlenmiştir. Gevrek kırılma beraberinde bir dizi yapısal bozukluğa neden olduğu için, bunun engellenmesi sadece can güvenliği açısından değil, aynı zamanda yapısal fonksiyonun devamı açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, depremden sonra özellikle birleşimlerin, yapıların sismik performansına etkilerinin araştırıldığı çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır. Çelik malzemenin deprem etkileri altında göstermiş olduğu yüksek performansın çelik yapı sistemlerinde de elde edilmesi için birleşim noktalarının yapının genel sismik performansını bozmayacak şekilde tasarımının yapılması gerekmektedir. Bu amaçla özellikle Amerika ve gelişmiş ülkelerde standart ve yönetmeliklerde önemli değişiklikler yapılmıştır. Ülkemizde ise 2007 yılında yürürlüğe giren son deprem yönetmeliğine önemli ilaveler yapılmıştır. Diğer taraftan TS648, TS498 gibi yönetmeliklerimiz, halen dünyada meydana gelen bu gelişmeler karşısında uyumsuz ve yetersiz durumdadır.

Çelik yapılar, malzeme yönünden yüksek düktilite özelliğine sahip olmasına rağmen, sistem düktilitesi bakımından aynı yüksek özelliğe sahip olmayabilmektedir. Çünkü sistem düktilitesinde malzeme özellikleri yanı sıra sistem geometrisi de önemli bir ölçüt olmaktadır. Diğer taraftan, uygulamada yapıların çoğu değişik nedenlerden dolayı burulma düzensizliğine sahip yapılar olarak tasarlandığı için, çok düzenli ve hiçbir yapısal düzensizliğe sahip olmadan tasarlanan yapılar bile çeşitli uygulama hatalarından dolayı (özellikle çelik yapılar da sıkça karşılaşılar) deprem anında burulmalı davranış sergileyebilmektedir. Diğer taraftan, taşıyıcı sistem elemanlarında burkulma veya ikinci mertbe

etkiler sonucu stabilite kaybı her zaman dikkat edilmesi gereken bir konu olmuştur. Depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistem tasarımında, yeterli yatay rijitliğin ve yüksek süneklik düzeyinin sağlanabilmesi önemlidir. Bir taşıyıcı sistemin çevrimsel etki altında enerji tüketen bölgeleri ne kadar fazla ise deprem etkisi altında sünekliği de o kadar fazladır. Taşıyıcı sistem kapasite kavramına göre boyutlandırılırken, enerji tüketimi düşük yani sünek olmayan kısımlar, enerji tüketimi yüksek yani sünek olan bölgelerin kapasiteleri esas alınarak boyutlandırılır.

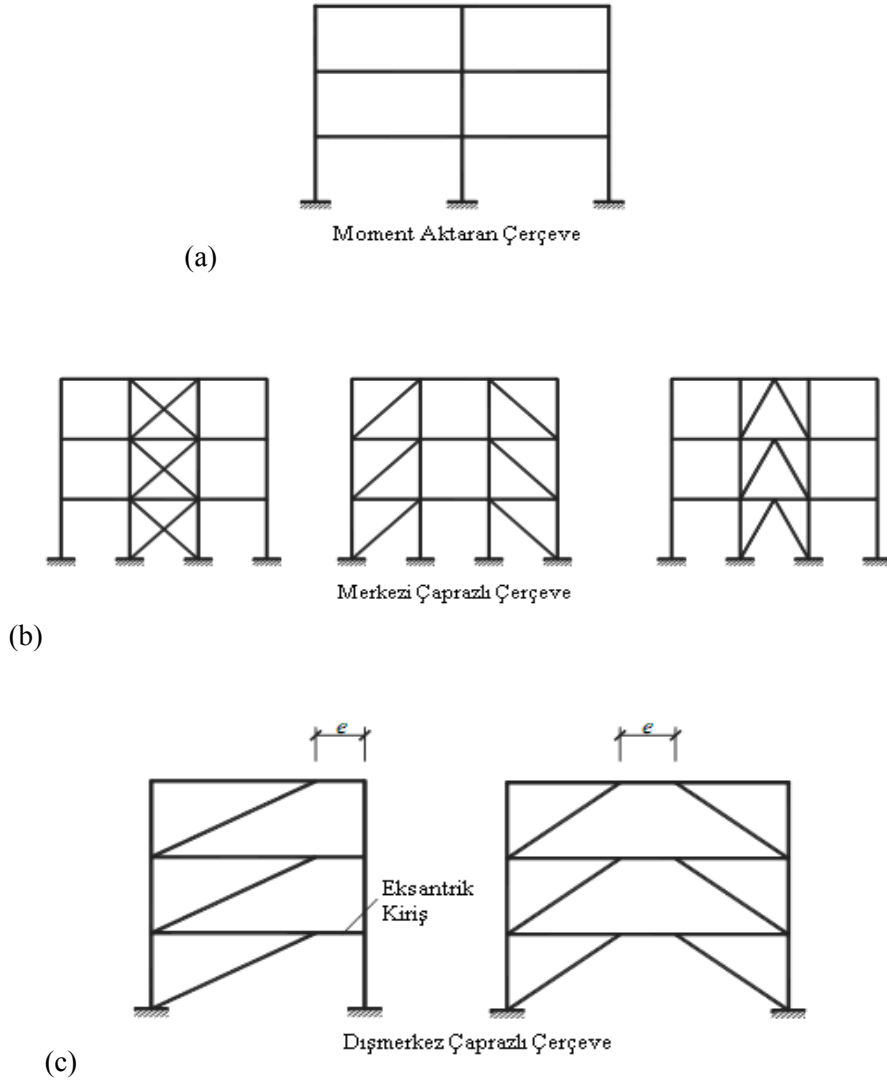
2. ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER

Uygulamada, çelik yapılar çok değişik stabilite bağlantı elemanları ve şekilleri ile kararlı hale getirilerek güçlendirilmektedir. Yapı geometrisi, gelen etkiler v.b. diğer yapı özelliklerine bağlı olarak çok farklı stabilite bağlantıları kullanılmaktadır. Kullanılan bu stabilite bağlantılarının şekli, kesiti, birleşim yeri v.b. özellikleri, yapının sismik performansını doğrudan etkilemektedir. Çünkü bu stabilite bağlantıları, yapıda oluşacak plastik mafsallarının yerini ve özelliklerini, dolayısıyla oluşacak plastik deformasyonları etkilemektedir. Bu durum doğal olarak yapı düktilitesini, sistemin doğal periyodunu, sonuçta da yapısal davranış katsayısını etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda, kullanılan her bir stabilite elemanının yapının sismik performansını arttırmadığı, hatta başlangıçta bu stabilite elemanlarının dikkate alındığı boyutlandırmanın, yapının sismik performansını olumsuz etkilediği ifade edilmektedir. Özellikle, kuvvetli yer hareketine maruz yapıların doğrusal olmayan davranışlarında, kullanılan kararlılık elemanlarının burkulması ile birlikte yapının performansının ani bir şekilde düştüğü görülmektedir. Bu durumda yapı düktilitesi önemli ölçüde azalmakta ve bunun sonucunda da yapının enerji yutma kapasitesi de oldukça düşük olmaktadır.

Çelik çaprazlı çerçeve sistemler merkezi ve dışmerkez çaprazlı çerçeveler olarak iki gruba ayrılmaktadır. **Merkezi çaprazlı çerçeveler**, yatay yüklere karşı moment aktaran çerçevelerden daha büyük rijitlik ve dayanım sağlamaları sebebiyle son yıllarda kullanımları oldukça artmıştır. Merkezi çaprazlı çerçeveler, kolon, kiriş ve çapraz elemanların eksantriksite oluşturmayacak şekilde merkezi olarak birleştirilmesi ile oluşturulurlar. Bu tip bir sitemde, çapraz elemanlar ve bu elemanların birleşimleri sistemin en önemli özellikleridir. Bu tür çerçevelerin davranışına, genellikle çapraz elemanların basınç burkulmaları hakimdir. Çapraz elemanların burkulması sistemi tamamen göçme

durumuna getirebilir. Bu yüzden merkezi çaprazlı çerçeveler, moment aktaran çerçevelerden daha düşük süneklikli olarak dikkate alınır ve daha büyük sismik kuvvetlere göre dizayn edilirler. Bununla birlikte, iyi tasarlanmış bir merkezi çaprazlı çerçevede, güzel bir inelastik davranış elde edilebilir. Bu çerçeveler, yön değiştiren büyük yatay yükler etkisinde, enerji tüketimi değişik çapraz elemanların basınç altında burkularak akmaya erişmesiyle ve çekme altında akmasıyla enerjinin tüketimi sağlarlar. Sismik tasarımda, kolon, kiriş ve birleşim bölgelerinde hasar oluşması istenmezken, düşey yük taşıma kapasitesi korunarak çapraz elemanlarda, plastik şekil değiştirmelerin meydana gelmesi istenir. Ancak geçmişteki bir takım deneyimler, çaprazlı çerçevenin ve birleşim bölgelerinin özenle düzenlenmemesi durumunda böyle bir davranışın sağlanamadığını göstermiştir. Şekil 1-b'de merkezi

çaprazlı çerçevelerden örnekler verilmiştir. Bazı durumlarda, bu tür çerçevelerde toptan göçmeye kadar varan hasarlar görülmüştür. **Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler** ise, diğerlerine göre daha yeni yeni gelişmekte olan çaprazlı çerçeve türüdür ve davranışları henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Bu çerçevelerin özelliği, moment aktaran çelik çerçevelerin yüksek duktilitesi ile merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin dayanım ve rijitliğini birleştirebilmesidir. Kolon ve çapraz eleman akslarının kesişimi veya çapraz elemanların kesişimleri arasında belirli bir eksantirisite verilerek oluşturulur. Eksantirisite, kolondan ziyade kiriş üzerindedir. Bu çerçevelerde, bağlantı elemanı adı verilen kısım sistemde, enerjinin kararlı bir şekilde tüketilmesini sağlar. Şekil 1-c' de dışmerkez olarak güçlendirilmiş çerçeveler gösterilmiştir.



Şekil 1; Çelik çerçeve tipleri

İyi tasarlanmış çelik çerçeve yapıda bile, çeşitli sismik yükler altında meydana gelen inelastik deformasyonları kolon kiriş birleşim noktasında meydana gelen kiriş plastik mafsalları sınırlandırmaktadır. Kiriş uç noktasındaki bu plastik mafsalları dönme kapasitesi ve çelik yapılarda plastik deformasyonların dağılımı yapının enerji sönümleme özelliğini arttırmaktadır. Özellikle kolon kiriş birleşim noktalarında gerilme dağılımlarının ve dönme kapasitesinin belirlenmesine yönelik sayısal çalışmalarda sistem elemanları, çerçeve yaklaşımı ile modellenerek incelemeler yapılmaktadır. Böylelikle birleşim araçlarındaki gerilme dağılımları ve beklenen plastik mafsalları oluşum bölgelerindeki gerilme dağılımları görülebilmekte, plastik mafsalları boyunun ve plastikleşme biçimi ortaya konulabilmektedir. Kiriş kolon birleşiminin dönme kapasitesi, birleşimdeki bir çatlamanın başlangıcı ya da dayanım azalması ile açıklanmaktadır.

3. DEPREME DAYANIKLI TAPI TASARIMINDA DÜKTİLİTENİN ÖNEMİ

Bir yapı, deprem etkisine maruz kaldığı zaman, depremin yapıya uygulamış olduğu enerji ve yapının bu enerjiye karşı tepkisi, yapının deprem etkisi altında davranışını belirler. Diğer bir ifadeyle, depremin binaya uyguladığı enerji ile yapının kinetik enerjisi, geri dönen elastik şekil değiştirme enerjisi, viskoz sönüm enerjisi ve geri dönmeyen (tüketilen) histerik enerji arasındaki denge, yapının deprem etkisi altında davranışını belirler. Eğer, yapının sönüm enerjisi, depremin yapıdan talep ettiği enerjiden büyükse, bu enerji sönümle dengelenir. Sönüm enerjisinin, depremin uygulamış olduğu enerjiden küçük olması halinde ise, sönüm enerjisi ile depremin uygulamış olduğu enerji arasındaki fark, histerik enerji ile dengelenir. Bu fark yapının düktilitesini tanımlar. Bu nedenle düktilite, plastik deformasyonlar sayesinde tüketilen enerjiyi ifade eder ve yapının deprem etkisine karşı koyabilme kabiliyetinin belirlenmesinde, yani, performansının değerlendirilmesinde rijitlik ve dayanım ile birlikte kullanılan üç temel kavramdan biridir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının plastik deformasyonlarla harcanan histerik enerji kabiliyetinin yüksek olması, yani, yapının düktilitesinin yüksek olması beklenirken, bu arada dayanım ve rijitliğin azalması istenmez. Fakat yapının plastik davranışı, oluşan plastik deformasyondan sonra yeniden dağıtılan kesit tesirlerine bağlı olduğu için tahmin edilen göçme yüküne erişmek plastikleşen kesitlerdeki plastik mafsalların konumu ile alakalı olmaktadır. Bu nedenle, plastik mafsalları davranışı ve konumu düktilite miktarını ve dayanımı etkilemektedir. Halbuki plastik analizde istenen, dayanımda azalma

olmaksızın büyük dönmelerin olabilmesidir. Fakat elemanlarda gevrek kırılma, lokal burkulma ve eğilmeli-burulmalı instabilite gibi nedenlerle büyük plastik dönmelere ulaşılamaz. Bu nedenle yapı tasarımında, kesitler, plastik dönme kabiliyetine göre sınıflandırılmaktadır. Diğer taraftan, elemanlarda kesit tesiri-şekil değiştirme ilişkilerinin eleman kesit ve malzeme özelliklerine göre değişmesi ise, sonuçta, yapının enerji düktilitesini etkilemektedir. Çünkü, enerji düktilitesi, yapı düktilitesi yani deplasman düktilitesi (P-d) ile eleman düktilitesi, yani dönme düktilitesinin (M-θ) toplamı olarak ifade edilmektedir. Eleman düktilitesi ise kesit düktilitesi yani eğrilik düktilitesi (M-θ) ile malzeme düktilitesi yani deformasyon düktilitesi (σ-ε) toplamı olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle, yapı elemanlarının malzeme ve kesit özellikleri ile yapı geometrisi ve ağırlık yükleri deprem etkisinde yapı davranışını etkileyen faktörlerdir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında iki düktilite limit tipi tanımlanmaktadır. Bunlar, yapının hali hazırdaki mevcut düktilitesi ile yapıya gelen deprem etkisinin öngördüğü gerekli düktilitedir. Mevcut düktilite, yapı davranışı ve yapı elemanlarında oluşan plastikleşmelerden dolayı dayanım ve dijitaliteki düşüş, ağırlık yükleri, kesit tipi, malzeme özellikleri ile uyum göz önüne alınarak çıkarılır. Gerekli düktilite ise, deprem etkisi ve bunu etkileyen yer hareketi tipi, genliği, zemin etkisi, yer hareketi periyodu ile yapı doğal periyodu değişimi ve deprem tekrar sayısı göz önüne alınarak çıkarılır. Mevcut düktilite ile gerekli düktilitenin karşılaştırılması, yapının performansının değerlendirilmesinde büyük önem taşır. Çünkü, düktilite kavramı, konvansiyonel yükler altında dizayn edilen bir yapının sınır kapasitesini tahmin etmemizi ve böylece şiddetli depremlerde yapıda bazı kontrollü hasarların üretilmesine izin vererek tasarımcıya, sismik dizayn kuvvetlerini azaltma imkanını sağlar.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, sismik etkinin yapıya yüklemiş olduğu enerjinin plastik davranışla tüketilen kısmının tanımlanması, bu dönme kapasitesi ile yapılmaktadır. Malzeme özellikleri, eleman boyutları, moment durumları, burkulma tipi (düzlemde veya düzlem dışında), şekil değiştirme oranının etkisiyle tekrarlı yükleme sayısı etkisi gibi dönme kapasitesine etkileyen ana faktörlerdir. Bu nedenle, dönme kapasitesi, bina tipi yapıların plastik ve sismik tasarımında çok önemli rol oynar. Uygulamada çelik elemanların mükemmel bir dönme kapasitesine sahip olduğu düşünülür. Fakat beklenen bu mükemmel davranış çoğu zaman basınç etkisindeki kesit bölgelerinde bölgesel plastik burkulmaların oluşmasıyla ortadan kalkar. Dolayısıyla, gerekli tasarım tedbirleri alınmadığında, kesit tam plastikleşmeye ulaşamayacak ve bu yüzden

kesitin plastik dönme kabiliyeti buna bağlı olarak da enerji sönmleme kabiliyeti azalacaktır. Bunu önlemek için Avrupa Deprem Yönetmeliği (Eurocode) ve Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY2007) gibi gelişmiş şartnamelerde gerekli kriterler konulmaya çalışılmıştır. Fakat bunların yeterli olduğunu söylemekte mümkün değildir.

4. SAYISAL ÇALIŞMALAR ÜZERİNE DEĞERLENDİRMELER

Çelik yapıların sismik performansının incelenmesine yönelik yapılan çalışmalarda başlangıçta iki temel soruyu sormak gerekir. Bu sorulardan birincisi, kurulan modelin genel olarak çelik yapıları hangi ölçüde temsil ettiği diğer soru, modele uygulanan kuvvetin deprem kuvvetini hangi ölçüde temsil ettiğidir. Özellikle çelik yapılarda, birleşim detayları, elaman kesiti gibi sistem davranışını önemli ölçüde etkileyen faktörlerin, analiz prosedürlerine ne kadar yansıtıldığı ayrı bir tartışma konusudur. Birleşim detayları ve elaman kesit özellikleri, sistemde oluşacağı beklenen plastik mafsalların konumunu ve oluşum sırasını doğrudan etkilediği için yapının performansı önemli ölçüde etkilenmektedir. Çelik yapılarda sıkça karşılaşılan lokal burkulma problemi hiçbir analiz programına tam manasıyla yansıtılmamaktadır. Halbuki yapının gerçek davranışı incelendiğinde, lokal burkulma problemi çok büyük önem kazanmaktadır. Diğer taraf da artımsal statik bir yük uygulayarak ve belirlenen bir hedef deplasmana kadar yapının iteratif artımsal bir yaklaşımda doğrusal olmayan statik analizinin yapılması deprem anında gelen dinamik deprem yükünü ve buna göre yapının vermiş olduğu cevap davranışı da nasıl ve ne ölçüde temsil ettiği de ayrı bir tartışma konusudur. Fakat düzenli yapı sistemlerinde deplasmana dayalı sismik tasarım yaklaşımlarının oldukça iyi sonuçlar verdiği de pek çok bilim adamı tarafından kabul edilmektedir. Diğer taraftan, performansa dayalı sismik tasarım yaklaşımında kullanılan doğrusal olmayan statik prosedürler ile ilgili çok sayıda sayısal ve deneysel çalışma yapılmasına rağmen tartışmalar halen devam etmektedir. Taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı arasındaki ilişkiyi ifade eden kapasite etkisi ve yapıya gelen deprem etkisini temsil eden spektrum eğrisinin uygun formatla (ADRS formatında) kesişmesiyle elde edilen performans yaklaşımı (değişik performans seviyelerine göre) pek çok araştırmacıyı tatmin etmemektedir. Bunun başlıca nedeni hem spektrum eğrisinin deprem etkisinin ne düzeyde temsil ettiğini hem kapasite eğrisinin yapının kapasitesini ne düzeyde temsil ettiğinin çok da inandırıcı bulunmamasıdır. Bu nedenle, burada önce, modelleme ile ilgili daha sonra da uygulanan kuvvetle ilgili tartışma yapılacaktır

4.1. Modelleme

Yapılan çalışmalarda, modelleme açısından üzerinde en fazla tartışılan konular ve konularla ilgili yapılan değerlendirmeler aşağıda açıklanmıştır.

1. Uygulamada, özellikle çelik yapılarla, çok sayıda değişik yapı sistemleri ile karşılaşmaktadır. İnceleme modelinin tüm yapı sistemlerinin temsil etmesi söz konusu olamaz. Bu nedenle, herhangi bir model üzerinde yapılan bir çalışma ile ilgili yapılacak değerlendirmede, modelin hangi tip yapı sistemlerini temsil edebileceği önemle vurgulanmalıdır.

2. Tek katlı çelik bir endüstri yapısı ile çok katlı bir endüstri yapısı arasında önemli deprem davranışları söz konusu iken, bazı araştırmalarda genel bir isim altında endüstri yapılarının sismik performansının tek katlı bir yapı örneğinden hareketle genellenerek değerlendirmeler yapıldığı görülmektedir. Diğer taraftan, kolon, kiriş, kesit tipleri, mesnet şekilleri, eleman birleşim şekilleri, kullanılan çatı örtüsü, yapıya sürekli ve zaman zaman gelen düşey ve yatay yük değerleri ve etkileme biçimleri, kullanılan malzeme özellikleri rüzgâr ve diğer kararlılık elemanları, zemin özellikleri, bölgenin deprem özelliği vb. birçok faktör yapının deprem davranışını etkileyecektir. Bu nedenle yapılan bir çalışmada tüm bu özelliklerin kurulan sayısal modele ne düzeyde yansıtıldığı, elde edilen sonuçların doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Yukarıda sayılan ve modellemede ihmal edilen bir ayrıntı elde edilen sonuçları doğrudan etkileyeceği için yapılacak sismik performans değerlendirmesi de doğru olmayacaktır.

3. Son yıllarda, bilgisayar teknolojisindeki ve yapı analizi ile ilgili programlardaki gelişmeler sonucunda ileri mühendislik problemleri çok daha kolay incelenebilmektedir. Bu çalışmada, değişik düzensizliklere sahip çerçeve sistemlerde elemanlar “çerçeve eleman” olarak değil sürekli ortam elemanı (kabuk) olarak ve birleşimleri de orijinal yapım şekilleri ile kabuk elemanlar kullanılarak modellenecektir. Böylece modelleme tekniğinin ve birleşimlerdeki güçlendiricilerin yapının sismik performansı üzerine etkisi nümerik olarak incelenecektir. Çelik yapı imalatında birleşimlerde güçlendiriciler yaygın olarak kullanılır. Güçlendiriciler ise birleşimlerde, plastik mafsalların oluşum şekil ve yerlerini doğrudan etkiler. Plastik mafsalların oluşum şekil ve yerleri ise yapının düktilitesi için büyük önem taşır. Yapısal düktilite de sismik etki altında bir yapının enerji yutma kabiliyetini ortaya koyar. Bu bağlamda çalışma, düzensiz çelik çerçeve yapıların doğrusal olmayan sismik davranışlarının daha gerçekçi bir şekilde

ortaya konulması sağlayarak, depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı için önemli katkılar sağlayacaktır.

Sayısal çalışmaların temel aracı gelişmiş bilgisayar programlarıdır. Burada iki temel sorun karşımıza çıkmaktadır. Birincisi programın gerçekten kullanıcının modellemedeki taleplerini karşılayıp karşılamadığı, ikincisi, kullanıcının programın ne yapıp ne yapamadığını bilip bilmediğidir. Dünyada yapıların sismik performansını incelemeye literatürden anlaşılan SAP2000, Etabs, Perform3D, Drainx, Ansys vb. programlar kullanılmaktadır. Kullanıcıların hemen hemen hepsi bu programların kullanıcının talep ettiği modelleme işlemindeki çözüm algoritmalarını bilmemektedir. Örneğin bir giriş kolon birleşiminde kullanılacak bir levhanın sistemin rijitlik matrisine ne şekilde yansıtıldığı bilinmemektedir. Bu bağlamda kullanılacak levhanın gerçekten sistem performansı üzerine etkisi gerçek yapı davranışı açısından yapacağı katkı ifadesi ortada kalmaktadır. Birleşim araçları ve onların yerleşim şekilleri çelik bir yapının sismik performansını etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Özellikle birleşim araçları ve onların yerleşim şekilleri neredeyse hiçbir programda modellemede kullanılmamaktadır. Dolayısıyla deneysel bir çalışma ve gerçek bir yapı davranışı ile sayısal model davranışı arasında önemli tutarsızlıkları ortaya çıkmaktadır.

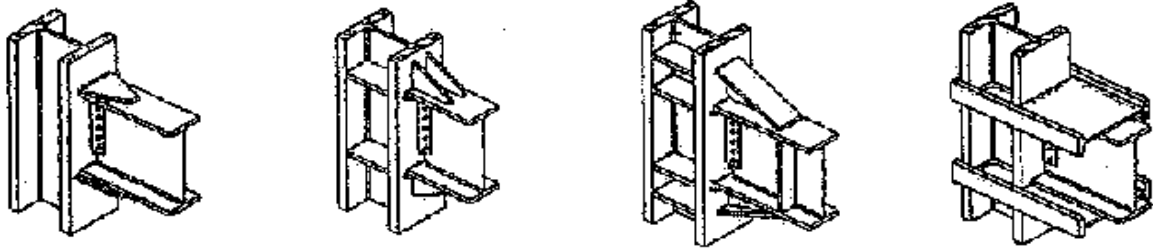
Kullanıcı açısından değerlendirildiğinde ise durum daha da vahim görünmektedir. Yeterli teorik alt yapıya sahip olmayan veya programa yeteri kadar hâkim olmayan araştırmacıların ellerindeki bu gelişmiş programlar bilim ve uygulama adına birer tehlikeli araç durumundadır. Yapılan birçok çalışmada kullanılan herhangi bir programdan elde ettiği grafiklere göre yapılan yapıların değerlendirmeler hem açıklanmayan modelleme kriterleri hem de program kabulleri gibi nedenlerle ne derece güvenli olduğu tartışılmaya devam edecektir.

4. Deprem etkisi altında bir yapının zemin koşullarından etkilenmemesi mümkün değildir.

Sadece deprem bölge kat sayısı, zemin sınıfı, hatta deprem kaynağı uzaklığı gibi parametrelerin göz önüne alınmasıyla yapının göz önüne alınan bölgedeki deprem davranışının değerlendirilmesi doğru bir yaklaşım olamaz. Özellikle de çelik yapılarda uygulamada karşılaşılan çok çeşitli mesnetlenme biçimleri sebebiyle sayısal model ile gerçek yapı mesnet koşulları büyük farklılıklar göstermektedir.

5. Modellemede, kesit tesirleri deformasyon($M-\theta$ moment dönme gibi) veya kesit tesirleri şekil değiştirme (moment eğrilik $M-\Phi$, aksel kuvvet aksel şekil değiştirme $N-\epsilon$ gibi), gibi ilişkilerin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra yapılan bu tanımlamaların program tarafından nasıl algılandığının da bilinmesi gerekir. Performans kriterleri modellemede yine önemli bir tartışma konusudur. Bu kriterler değişik yönetmelik ve şartnamelere göre farklılıklar gösterdiğinden özellikle çelik yapılarda önemli bir tartışma konusu olmaya devam etmektedir.

6. Modellemede tüm gelişmiş programlar plastik mafsalların yeri ve kapasitelerinin önceden verildiği şekilde olmasını öngörmektedir. Gerçekte ise, plastik mafsalların programda öngörülen yer ve sırası, birleşim elemanlarının şekli (bulon ise sayısı ve yerleşim şekli), birleşim bölgelerindeki rijitlik elemanlarının (Levha ile rijitleştirilmiş, Profil parçası ile rijitleştirilmiş birleşim (Şekil 2) şekli konumu, varsa elemanlarda zayıflatılmış kesitler, ekler, birleşim elemanlarının dayanımı (özellikle kaynak) vb. çok sayıda farklı faktöre bağlıdır. Bu nedenle, her zaman, gerçek yapı özelliklerinin programlara anlatılması tam olarak mümkün değildir. Dolayısıyla sayısal bir çalışma sonuçlarına bakarak, sistemin mekanizma durumları, kapasite eğrileri, performans noktaları üzerine kesin sonuçlanmış gibi yorum yapmak doğru bir yaklaşım değildir. Moment eğrilik karakteristiklerine göre giriş-kolon birleşim şekillerine göre rijit, mafsallı ve yarı-rijit birleşimler olarak tanımlanmaktadır.



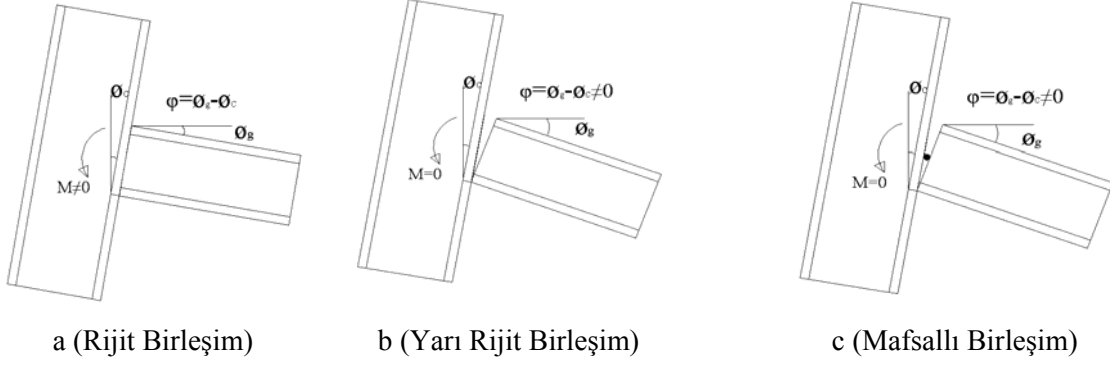
Şekil 2 Rijitleştirilmiş birleşim tipleri

Şekil 3'de görüldüğü gibi kiriş ve kolon elemanların birleşim bölgesi düğüm panellidir. Kiriş ve kolon uçlarında düğüm paneline gelen reaksiyon kuvvetlerine maruz kaldığı zaman düğüm panelinde 3 farklı deformasyon oluşur. 1) Eksenel gerilme 2) Eğilme ve 3) kayma deformasyonları.

7. Bir yapının sismik etki altında, yapıya gelen yüklerin sistem üzerinde dağılım ve yüklerin etkime biçimleri ile ilgili yapılan kabuller diğer bir tartışma konusudur. Özellikle eşdeğer yatay deprem yükü

yaklaşımıyla yapıya gelecek yatay yüklerin dağılımı ve şiddetlerinin belirlenmesi ile hala üzerinde tartışılan konulardan birisidir.

Düzenli yapılarda, halen yürürlükte olan gelişmiş deprem şartnamelerinde verilen eşdeğer deprem yükleri hesap formülleriyle yük hesaplanması bir noktaya kadar kabul edilebilir.



Şekil 3 Kolon-Kiriş birleşim şekilleri

Özellikle düzensiz (kütle-rijitlik vb.) yapılarda, karma taşıyıcı sistemli yapılarda vb. farklı düzensizliklere sahip olan yapılarda az katlı dahi olsa bu yolla yatay deprem yükü hesaplayarak ve hesaplanan bu deprem yüklerinin bilgisayar modellerine uygulayarak yapının deprem davranışını yorumlamak çok da gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır.

8. Hemen hemen hiçbir programda ne sistemde lokal stabilite bozuklukları ne de eleman bazında lokal davranış bozuklukları programlara tanıtılamamaktadır. Kullanılan hiçbir program lokal burkulma durumlarını göz önüne almamaktadır. Özellikle çelik yapılarda, I kesitlerde başlık burkulmaları kutu kesitlerde gövde levhasının buruşması vb. farklı lokal stabilite problemleri ile karşılaşmaktadır. Bu olumsuzlukları dikkate almayan programlar kullanılarak yapılan performans analizlerine dayanarak yapıların değerlendirmeleri gerçeklerden çok uzaktır.

4.2. Hesap Yöntemleri

Yapıların sismik performans analizinde kullanılan hesap yöntemleri, analiz ve dizayn yöntemleri olarak iki başlık altında tanımlanabilir. Analiz yöntemleri, herhangi bir deprem yükü kabulüne göre hesaplanmış

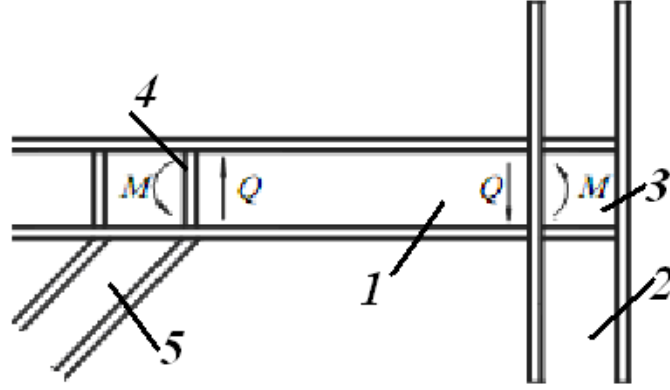
deprem yükü altında (statik veya dinamik) yapı elemanlarında meydana gelen kesit tesirlerini yer değiştirmelerin hesabını içerir. Malzeme, geometri veya hem malzeme hem de geometri yönünden doğrusal olmayan durumlarına göre çok farklı analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden her birinin bir diğerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Yakınsama kriterleri önemli farklılıklar gösterir. Bu nedenle, bir yöntemle elde edilen sonuçlar diğer yöntemde bire bir örtüşmez. Yani yapılan bir çözüm ancak, başlangıçta yaptığımız bazı kabuller ve kriterler çerçevesinde yapılan bir çözümdür. Bu nedenle bir çözümden diğer çözüme bazen önemli farklılıklar söz konusudur. Dizayn yöntemleri olarak konu incelendiğinde öncelikle dizaynda kabul edilen kriterler bir yönetmelikten diğerine farklılıklar göstermektedir. Bir yönetmeliğe göre yeterli bulunan bir eleman diğer yönetmeliğe göre yetersiz çıkabilmektedir. Hatta bazı yönetmelikler öyle hükümler içermektedir ya uygulamada karşılaşılan durumları ifade etmemekte ya da dizayn yapanları yanlış noktalara götürmektedir.

Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (Federal Emergency Management Agency, Fema 356), binaların sismik analizi için dört temel prosedür tanımlamaktadır. Bunların ikisi lineer prosedür, diğer

ikisi ise Doğrusal olmayan prosedürdür. Lineer prosedürler, lineer statik ve lineer dinamik prosedürlerdir. Doğrusal olmayan prosedürler ise doğrusal olmayan statik ve doğrusal olmayan dinamik prosedürlerdir. Doğrusal olmayan statik prosedürler sismik yer hareketine maruz yapıların davranışını tahmin etmek için kullanılan inelastik analizin bir tipidir. Değişik yaklaşımlar arasındaki farklar sismik yer hareketinin özellikleri ve yapı modelinin detaylarından kaynaklanmaktadır. Doğrusal olmayan statik prosedürlerde detaylı yapı modelleri genellikle eş değer çok serbestlik dereceli modeller olarak veya bazı durumlarda tek serbestlik dereceli sistem olarak da basitleştirilebilmektedir. Uygulamada, güncel prosedürlerde, maksimum deplasmanların tahmini bir prosedürden diğerine önemli farklılıklar göstermektedir.

Uygulamada mühendisler tarafından en popüler olan doğrusal olmayan statik prosedürler Uygulamalı Teknoloji Konseyi (Applied Tecnology Council,

ATC40) da verilen kapasite spektrumu yöntemi, bir diğeri ise FEMA356 da verilen temelde deplasman düzeltme prosedürü olarak bilinen deplasman katsayı yöntemi dir. Bu iki prosedürün versiyonları ve diğeryaryasyonları ya eşdeğer lineerleştirme ya da deplasman düzeltme yaklaşımına dayalı ve bu iki temel yöntemle alakalı olarak geliştirilen yöntemlerdir. Her iki yaklaşım, yapının yanal kuvvet deformasyon karakteristiklerini tahmin etmek için doğrusal olmayan statik analizi (statik itme analiz) kullanır. Her iki prosedürde yapıdaki global deformasyon talebi (elastik ve inelastik) statik itme analizden belirlenmiş yük deformasyon özelliklerine sahip eş değer tek serbestlik dereceli sistemin davranışından hesaplanır. Fakat maksimum deformasyon talebinin tahmininde farklılıklar vardır. Bu Yöntemler, FEMA 356'da verilen Deplasman katsayı yöntemi, ATC40'da verilen Kapasite spektrum yöntemi, FEMA 440'da verilen Deplasman Modifikasyon Yöntemi ve Eşdeğer Doğrusallaştırma Yöntemleridir.



Şekil 4 Çerçeve elemanları (Çelik çerçeve elemanları; 1.Kiriş eleman, 2. Kolon eleman, 3. Düğüm panel elemanı, 4. Kayma elemanı, ve 5. Çapraz eleman)

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ÜZERİNE DEĞERLENDİRMELER

Deneysel çalışmalarda başlangıçta en önemli soru hazırlanan deney modellerin araştırma yapılacak konuyu temsil edebilme özelliğidir. Yani, yapılacak incelemeyi hazırlanan deney numuneleri ile hangi ölçüde gerçekleştirilebileceği konusu öncelikli olarak sorgulanmalıdır. Daha sonra modelin veya modellerin geometri, kesit, birleşim ve yükleme şekilleri açısından düşünülen deneysel modele temsil özellikleri irdelenmelidir. Deneysel çalışmalarda, halen iki temel sorun tartışma konusudur. Bunlardan model ölçeklendirme geometri yük ve yükleme şekli açısından büyük önem taşımaktadır. Şekil 4'de deneysel çalışmalardan bazı örnekler verilmiştir.

birincisi deneysel modelin ölçeği diğeri ise yükleme ölçeğidir. Deneysel çalışmalarda genellikle 1/3 ölçekli modeller kullanılmasına karşılık 1/10'dan 1/1'e kadar ölçeklerin kullanıldığı da görülmektedir. Özellikle yakın zamanda 1/1 ölçekli çalışmalara daha sık rastlanmaktadır. Yükleme ölçeğinde düşey yükler ile yatay yüklerin ölçeklendirme yaklaşımlarında (özellikle çelik yapılarda) farklılıklar olabilmektedir. Her deneysel çalışmanın sayısal bir çalışma ile karşılaştırılması yapılan çalışmanın tutarlılığını kanıtlamak için bir zorunluluk olarak ortaya konulmaktadır. Bu nedenle deneysel çalışmada



(a)



(b)



(c)



(d)



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5 S.D.Ü' de yapılan deneysel çalışmalardan örnekler

Yapılan deneysel çalışma sonuçlarını değerlendirmede önemli kesitler ya da sapmalar söz

konusu olabilmektedir. Birleşim, ek, mesnet, yük değeri, yükleme vb. değişik yük ve geometri özelliklerinden biri veya bir kaç arasında uyumsuzluk bulunan deneysel ve sayısal modellerin birlikte değerlendirilmesi doğru olmayacaktır. Bu durumda her modeli kendi koşulları içinde yorumlamak daha doğru olacaktır. Bunun yerine, deneysel modeli hazırlandıktan sonra yük-geometri vb. özellikleri birebir sayısal model kurmalı ve buna göre hem deneysel hem sayısal model sonuçlarını birlikte değerlendirmelidir. Ancak hem sayısal hem de deneysel modeller ayrı ölçek, yük ve yükleme şekillerinde olursa modelin baz aldığı yapıların davranışı üzerine değerlendirme yapmalıdır. Buradan hareketle şunu söylenebilir; her deneysel veya her sayısal model kendi koşulları içerisinde davranışlar sergileyecektir. Bu nedenle, modellere benzeyen tüm yapılar için genel ve kesin hükümler verecek değerlendirme yaklaşımı sergilemek doğru değildir.

6. SONUÇLAR

Yapıda deprem anında oluşacak plastik deformasyonların yeri, şekli ve oluşum sırasını düzenleyecek geometrik tasarım ilkeleri doğru bir şekilde ortaya konmadıkça, yapılacak olan güçlendirme yöntemleri yapıya fayda yerine zarar getirmektedir. Bu durum, pek çok kişi tarafından göz ardı edilmekteydi. Çelik yapılar, malzeme yönünden yüksek duktilite özelliğine sahip olmasına rağmen, sistem duktilitesi bakımından aynı özelliğe sahip olmayabilmektedir. Çünkü sistem duktilitesinde, malzeme özellikleri yanı sıra, sistem geometrisi de önemli bir etken olmaktadır. Diğer taraftan, taşıyıcı sistem elemanlarında burkulma veya ikinci mertebe etkiler sonucu stabilite kaybı her zaman dikkat edilmesi gereken bir konu olmuştur. Depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistem tasarımında, yeterli yatay rijitliğin ve yüksek süneklik düzeyinin sağlanabilmesi önemlidir. Bir taşıyıcı sistemin deprem etkisi altında sünekliği ne kadar yüksek ise, çevrimsel etki altında enerji tüketme kabiliyeti de o derecede yüksektir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı ile ilgili yönetmeliklerde, deprem yükleri yapının dinamik özellikleri, bulunduğu bölgenin zemin koşulları ve depremselliği, binanın kullanım amacı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve geometrisi gibi özellikleri göz önünde tutularak hesaplanır. Yani, yapı davranış katsayısı ve buna bağlı deprem yükü azaltma katsayısı deprem yükü hesabındaki temel büyüklüklerden biridir. Ülkemizde de bu yıl yürürlüğe girmiş olan yeni TDY 2007 de deprem yükü hesabında yapı davranış katsayısı ve buna bağlı deprem yükü azaltma katsayısı kullanılmaktadır. Yönetmelikte, çelik yapılarda kullanılan çapraz elemanların düzenleme şekli göz önüne alınmaksızın sadece tek bir yapı davranış katsayısı verilmektedir. Bu durum çelik yapıların performans dayalı deprem hesabında gerçekçi bir değerlendirme yapmayı

ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle, yönetmelikte verilmiş olan tasarım koşulları dikkate alınarak inşaa edilen merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik yapıların performanslarının değerlendirilmesi yönetmeliğin irdelenmesi ve eksikliklerin giderilmesi bakımından önemlidir. Ayrıca, çaprazlı çelik yapı sistemleri yaygın olarak kullanılmasına rağmen, kütle ve rijitlik eksantirisiteleri, simetrik olamayan akma durumları gibi çeşitli sebeplerle deprem kuvvetleri altında burulmaya maruz bu tür çelik yapıların deprem etkisi altındaki davranışları hakkında, literatürde yeterince bilgi bulunmamaktadır.

Diğer taraftan, genellikle mimari ihtiyaçlardan dolayı yapılar, değişik düzensizliklere sahip şekilde tasarlanmaktadır. Bu düzensizlikler, deprem etkisi altında yapıların burulmalı davranış sergileyerek daha küçük deprem kuvvetlerinde hasar görmesine sebep olmaktadır. Hatta başlangıçta düzenli olarak tasarlanan yapılarda bile, deprem süresince oluşacak kalıcı deformasyonların oluşum şekilleri ve sırası, yapıyı burulmalı davranışa götürebilmektedir. Bu yüzden yapının inelastik burulmalı davranışı deprem mühendisliğinde çok önemlidir. Yapılarda, kütle ve rijitlik dışmerkezlilikleri gibi çeşitli sebeplerden dolayı burulma meydana gelebilir. Gerek değişik düzensizlikler, gerekse deprem süresince yapısal davranış biçimlerinin yapıyı burulmaya maruz bırakması aynı zamanda yapının enerji yutma kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Mart 2007'de yürürlüğe giren, TDY 2007 "çelik yapı tasarımı ile ilgili yeni hükümler içermektedir. Ancak depreme dayanıklı yapı tasarımı yönetmeliklerinin pek çoğunda olduğu gibi, ülkemizde yeni yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinde de özellikle çaprazlı çelik yapılarla ilgili irdelenmesi gereken hükümler içermektedir. Çaprazlı çelik yapılar günümüzde farklı amaçla sıklıkla uygulanmaktadır. Pek çok farklı düzenlemelerle kullanılabilen çapraz elemanlar, deprem yükleri etkisi altında, çelik çerçevenin davranışını farklı şekillerde etkilemektedir. Çelik yapı çerçevelerinde deprem yüklerini taşımak amacıyla çapraz elemanların kullanılması yapının rijitliğini, kesit tesirlerinin büyüklüğünü ve elemanlar üzerinde dağılımını etkilemektedir. Bu da yapının periyodunu, sünekliğini ve performansını etkilemektedir. Ayrıca yapılarda, kütle ve rijitlik eksantirisiteleri, simetrik olamayan akma durumları gibi çeşitli sebeplerle deprem kuvvetleri altında burulma etkileri meydana gelmektedir. Bu etkiler de yapının performansının belirlenmesinde oldukça önem kazanmaktadır. Ancak özellikle çaprazlı çelik yapıların burulma etkisi altındaki deprem performansları ile ilgili çalışmalar oldukça yetersizdir.

Özellikle çelik yapılarda, birleşim detayları, elaman kesiti gibi sistem davranışını önemli ölçüde etkileyen faktörlerin, analiz prosedürlerine ne kadar yansıtıldığı ayrı bir tartışma konusudur. Birleşim detayları ve elaman kesit özellikleri, sistemde oluşacağı beklenen

plastik mafsalların konumunu ve oluşum sırasını doğrudan etkilediği için yapının performansı önemli ölçüde etkilenmektedir. Çelik yapılarda sıkça karşılaşılan lokal burkulma problemi hiçbir analiz programına tam manasıyla yansıtılmamaktadır. Halbuki yapının gerçek davranışı incelendiğinde, lokal burkulma problemi çok büyük önem kazanmaktadır. Diğer tarafta artımsal statik bir yük uygulayarak belirlenen bir hedef deplasmana kadar yapının iteratif artımsal bir yaklaşımda doğrusal

olmayan statik analizinin yapılması deprem anında gelen dinamik deprem yükünü ve buna göre yapının vermiş olduğu cevabı nasıl ve ne ölçüde temsil ettiği belirsizliğini korumaktadır. Fakat düzenli yapı sistemlerinde deplasmana dayalı sismik tasarım yaklaşımlarının oldukça iyi sonuçlar verdiği pek çok bilim adamı tarafından kabul edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. V.Gioncu, F.M. Mazzolani, Ductility of Seismic Resistant Steel Structures, 2002 Canada/USA
2. A.S. Elnashi, A.Y. Alghazouli, F.A. Denesh-Ashtiani,. Response of Semirigid Steel Frames to Cyclic and Earthquake Loads, Journal of Structural Engineering, p. 857–867, Volume 124, (1998)
3. ATC 40,. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council. (1996)
4. Bozorgina, Y., Bertero, V.V., Earthquake Engineering From Engineering Seismology to Performance- Based Engineering, Crc Press. (2004)
5. Chopra, A. K., Goel, R. K., 1999. Capacity-Demand-Diagram Methods For Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: SDF Systems, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Report No. PEER-1999/02.
6. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, (2007) Ankara
7. Fajfar, P., EERI, M.,. A Doğrusal olmayan Analysis Method for Performance Based Design., Earthquake Spectra, vol.16, no.3, p. 573-592. (2000)
8. Fajfar, P., Kilar, V.,. Simple Push-over Analysis of Asymmetric Buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamic, 26, p. 233–249. (1997)
9. Fajfar, P., Marusic, D.,. On the Inelastic Seismic Response of Asymmetric Buildings Under Bi-axial Excitation. Earthquake Engineering and Structural Dynamic, 34, p. 943–963. (2005)
10. Fajfar, P., Marusic, D., Perus, I., , Torsional Effects in The Statik itme - Based Seismic Analysis of Buildings, Journal of Earthquake Engineering, Vol.9, No. 6, p. 831-854, (2005)
11. Fajfar, P., Perus, I.,. On the torsional response of single-storey structures under bi-axial excitatin. Earthquake Engineering and Structural Dynamic, 34, p. 931–941. (2005)
12. FEMA 356, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency.
13. FEMA 440,. Improvement of Doğrusal olmayan Static Seismic Analysis Procedures. Federal Emergency Management Agency. (2005)
14. UBC, Structural Engineering Design Provisions. Uniform Building Code. vol. (1997)
15. Çelik, D., “Merkezi ve Dışmerkezi Güçlendirilmiş Çelik Uzay Çerçevelerin Sismik Performansı.” SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Yüksek Lisans Tezi, 73s, 2008.
16. Korkmaz A., Ay Z., Çelik D., “Merkezi Çaprazlı Çelik Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi”, Sigma Cilt 26, Sayı 1, Syf. 58–68, İstanbul, 2008
17. Korkmaz A., Ay Z., Çelik D., “Merkezi ve Dışmerkezi Çaprazlarla Güçlendirilen Çelik Binaların Doğrusal Olmayan Davranış”, Teknoloji, Cilt 11(2), Syf.105-120, Zonguldak, 2008
18. Korkmaz A., Ay Z., Çelik D., “Investigation of Inelastic Behaviour Concentric and Eccentric Braced Steel Building Type Structures”, Eurosteel, September 2008, Graz, Austria