

ÇELİK YAPILARDA MOMENT DAYANIMLI ÇERÇEVELER

Yavuz Selim TAMA

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı/Denizli

Geliş Tarihi : 25.09.2002

ÖZET

Bu çalışmada, çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan “Moment dayanımlı çerçeve” teşkil biçimleri özetlenmiştir. Farklı şekillerde teşkil edilen moment dayanımlı çerçeveler; düzenleniş biçimlerine, kullanılan birleşim eleman türüne, düğüm noktalarının sünekliğine, birleşim bölgesinin ve elemanların rölatif dönme rijitliklerine, birleşim bölgelerinin ve elemanların rölatif moment kapasitelerine göre gruplandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Çelik yapılar, Çelik çerçeveler, Moment dayanımlı çerçeveler

THE MOMENT RESISTING FRAMES ON STEEL STRUCTURES

ABSTRACT

In this paper, the moment resisting frames which are commonly used on the steel structures are summerized. The moment resisting steel frames which are constructed with different shapes are classified according to the configuration of moment frame, the type of connectors used, the ductility of connection, the relative rotational stiffness of the connection and members and the relative moment capacity of the connection and members

Key Words : Steel structures, Steel frames, Moment resisting frames

1. GİRİŞ

Çelik yapılarda moment dayanımlı çerçeveler yaygın olarak kullanılmaktadır. Moment dayanımlı çerçeveler, çerçeveyi oluşturan elemanlarda ve düğüm noktalarındaki eğilme etkilerinden dolayı oluşan kuvvetlere karşı dayanıma sahip yapılardır. Bu tür çerçeveler, çoğunlukla yanal destek elemanları ve perde duvar taşıyıcı elemanların neden olduğu kısıtlamalar olmaksızın kullanılabilir geniş hacimler sağlar. Ayrıca, fileksibil olmaları ve nispeten daha uzun titreşim periyotlarına sahip olmaları nedeni ile perde duvarlı ve yanal destekli sistemlerle kıyaslandığında daha düşük düzeyde sismik kuvvetlere maruz kalırlar.

Çelik moment dayanımlı çerçeveler, süneklik düzeylerine bağlı olarak, “Özel” ve “Sıradan” olmak üzere iki gruba ayrılır. Özel moment dayanımlı çerçeveler, süneklik düzeyi daha yüksek ve deprem

sırasında elastik olmayan deformasyon davranışı sergileyebilecek biçimde tasarlanırlar. Elastik olmayan sünek deformasyonlar yapının sönüm oranını artırır ve yapının rijitliğini azaltır. Bu nedenle de, özel moment dayanımlı çerçevelerin benzer fakat sıradan moment dayanımlı çerçevelere göre daha küçük sismik kuvvetler için boyutlandırılmasına müsaade edilir. Genelde, benzer uygulamalar için özel moment dayanımlı çerçevelere göre sıradan moment dayanımlı çerçeveler daha rijit ve daha güçlüdürler fakat daha az sünektirler. Özel moment dayanımlı çerçevelerde, yüksek süneklik elde edebilmek için, sistemdeki hasar biçimi, kayma, çelik malzemenin akması, kiriş birleşim bölgelerinde veya plastik mafsallar içinde geciktirilmiş ve sınırlandırılmış elastik olmayan yerel burkulmalar şeklinde oluşmalıdır. Taşıyıcı sistemi oluşturan tüm elemanların düşey yükler altında hasara uğramaları önlenmiş olmalıdır. Bu şekilde davranış sergileyen sistem “sünek bir sistem” olarak isimlendirilir.

Şayet moment dayanımlı çelik bir çerçeve, özel moment dayanımlı çerçevenin şartlarını sağlamıyorsa, o zaman böyle bir çerçevenin sünek bir davranış sergilemesi beklenmez ve bu şekildeki çerçeveler sismik tasarım şartnamelerinde “Sıradan Moment Dayanımlı” çerçeveler olarak adlandırılırlar.

2. MOMENT DAYANIMLI ÇELİK YAPI ÇERÇEVELERİN SINIFLANDIRILMASI

Moment dayanımlı çerçeveler en genel haliyle;

1. Düzenleniş biçimlerine göre,
2. Kullanılan birleşim eleman türüne göre
3. Düğüm noktalarının sünekliğine göre
4. Birleşim bölgesinin ve elemanların rölatif dönme rijitliklerine göre,
5. Birleşim bölgelerinin ve elemanların rölatif moment kapasitelerine göre sınıflandırılırlar.

2. 1. Düzenleniş Biçimlerine Göre Sınıflandırılması

Moment dayanımlı çerçeveler düzenleniş biçimlerine göre;

- a. Moment dayanımlı uzay çerçeveler,
- b. Moment dayanımlı çevre çerçeveler,
- c. Moment dayanımlı düzlem çerçeveler,
- d. Bazı akslardaki kolon ve kirişlerin rijit bağlanması şeklinde teşkil edilen moment dayanımlı çerçeveler,
- e. Dallonmuş kolonlu moment dayanımlı çerçeveler,
- f. Kafes kirişli moment dayanımlı çerçeveler,
- g. Vierendel kirişli moment dayanımlı çerçeveler,
- h. Tüp içinde tüp biçimli moment dayanımlı çerçeveler.

olarak gruplandırılır (Astaneh, 1995).

2. 1. 1. Uzay, Çevre ve Bazı Akslarda Teşkil Edilen Moment Dayanımlı Çerçeveler

Şekil 1a’da gösterilen tipik bir moment dayanımlı uzay çerçevesidir. Uzay çerçeveler, çerçeveyi teşkil eden elemanların ve birleşim bölgelerinin süneklik,

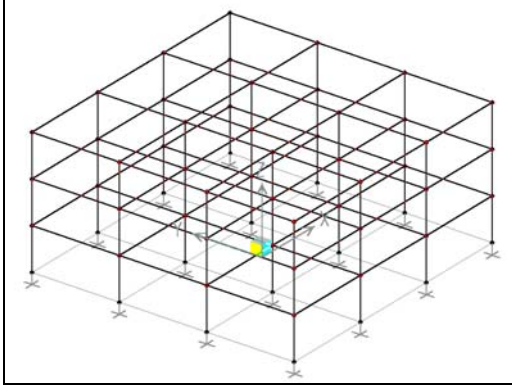
dayanım ve eğilme rijitlikleri nedeni ile, birinci derecede etki eden yüklere dayanıklı kolon ve kirişlerin birleşiminden oluşan düğüm noktaları, yardımcı yatay diyaframları ve döşeme destek sistemleri olan veya olmayan üç boyutlu yapısal

taşıyıcı sistemlerdir. Moment dayanımlı uzay çerçevelerin tüm kolon-kiriş birleşimleri rijit olarak teşkil edilir. Burada özellikle belirtmek gerekir ki, Şekil 1a’da görüldüğü gibi uzay çerçeveyi oluşturan bütün düğüm noktalarının moment dayanımlı olarak düzenlenmesi için gerekli imalat ve montaj maliyetleri, özellikle şantiyede kaynaklanmış birleşimler için, bütün düğüm noktaları mafsallı olarak düzenlenmiş olan çelik yapı çerçevelerine göre daha yüksektir. Bu nedenle daha ekonomik bir tasarım yapabilmek için son yıllarda daha az sayıda moment dayanımlı birleşimler kullanma yoluna gidilmektedir.

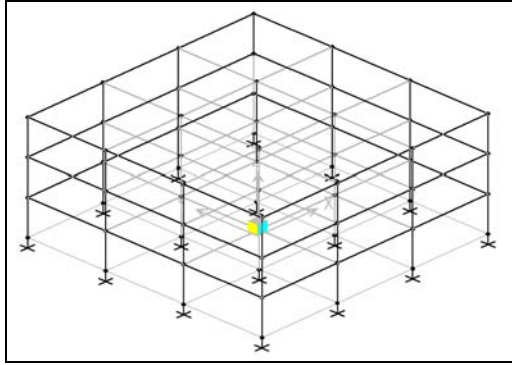
Şekil 1b’de görüldüğü gibi, moment dayanımlı çevre çerçeve teşkilinde, tüm yapının yanal yüklerine dayanan moment dayanımlı bir kutu çerçeve sağlamak için sadece yapının dış çerçeveleri moment dayanımlı olarak tasarlanır. Moment dayanımlı çevre çerçevelerin bir parçası olmayan iç kolon ve kirişlerin tamamı sadece üzerlerine gelen düşey yükleri taşıyan basit mesnetli (sadece kesme etkili) birleşimlerdir. Böyle bir çerçevenin iç kolonları genellikle “ağırlık kolonları” olarak adlandırılır. Mevcut tasarım uygulamalarında bu ağırlık kolonlarının yapıya gelen yatay yüklere karşı dayanımda katkı sağlamadıkları kabul edilir. Buna rağmen bir deprem esnasında, yatay yüklere karşı katkı sağlamadığı kabul edilen ağırlık kolonları, ara kirişler ve bunların birleşimleri, sisteme gelen deprem yüklerinin karşılanmasında etkili olurlar. Ayrıca, döşeme diyaframları ve bazı yapısal olmayan elemanlar da yatay kuvvetlere karşı rijitlik, dayanım ve sönümleyici katkı sağlarlar. Bunun nedeni, bir deprem esnasında tüm yapının etkilenmesi ve yapıyı oluşturan bütün eleman ve birleşimlerin deformasyona uğraması gerçeğidir. Şekil 1a’da gösterilen moment dayanımlı çerçevelerin kullanılması yerine, Şekil 1b’de gösterilen moment dayanımlı çevre çerçevelerin kullanılması tüm yapıda teşkil edilecek olan rijit moment taşıyıcı birleşim ve elemanlarının sayısını azaltır. Bununla birlikte, gerekli olan yatay yük dayanım sistemi de azaltılır. Moment dayanımlı çevre çerçeve teşkilinin sağladığı faydalardan birisi de, çevre çerçevelerin kiriş açıklıklarının oldukça küçük olarak yapılabilmesidir.

Son yıllarda özellikle Amerika Birleşik Devletlerinin California eyaletinde sıkça kullanılan moment dayanımlı çerçeve biçimi Şekil 1c’de gösterildiği gibi bazı akslarda teşkil edilen moment dayanımlı çerçevelerdir. Bu sistemde diğer bütün elemanlar birbirlerine mafsallı (sadece kesme etkisi aktaracak şekilde) olarak birleştirilirken sadece çerçevenin bazı akslarındaki kolon-kiriş elemanları rijit olarak birleştirilmiştir. Moment dayanımlı

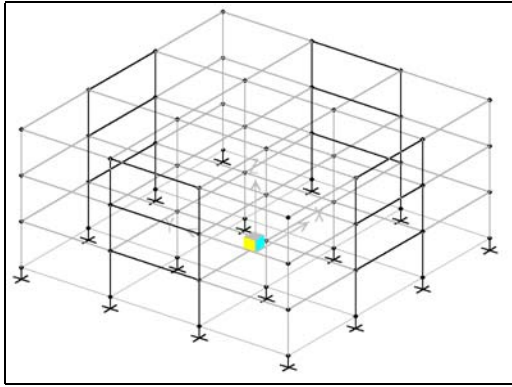
çerçeve elemanı olmayan diğer yapı kolonları ağırlık kolanları olup tasarım aşamasında yatay yüklerin taşınmasında dikkate alınmazlar.



a. Uzak moment dayanımlı çerçeve



b) Çevre moment dayanımlı çerçeve



c) Bazı akslarda moment dayanımlı çerçeve

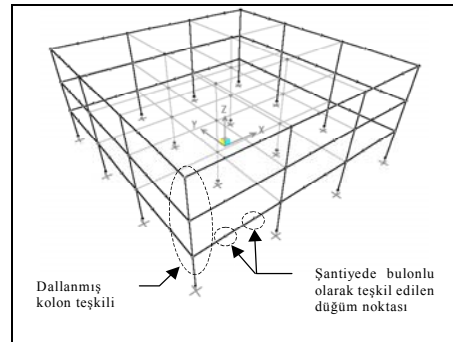
Şekil 1. Uzak, çevre ve bazı akslarda moment dayanımlı çerçeve teşkil biçimleri (SAP2000 ortamında hazırlanmıştır)

Bu tür moment dayanımlı çerçeve teşkillerinde yatay kuvvetlere karşı dayanımda, rijit çerçevenin kolon ve kiriş kesitleri ayrıca birleşim bölgesi detayları aşırı büyük çıkar. Bunun sonucu olarak da, çok büyük kaynak boyutları ile birleştirilmiş büyük kesitler deprem sırasında sünek bir davranış sergilemezler.

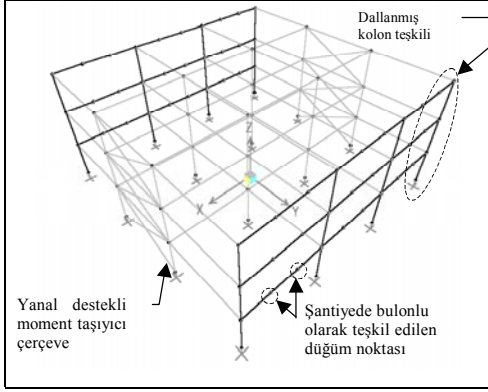
Sonuç olarak yukarıda bahsedilen üç farklı moment dayanımlı çerçeve teşkillerinin sismik performansları üzerine yapılmış somut herhangi bir araştırma olmadığı için, bahsedilen bu üç farklı sistemden herhangi birisi için, sismik performanslarının yetersiz olması nedeni ile kullanımının yasaklanması söylenemez. Burada ifade edilen taşıyıcı sistemlerden herhangi birisinin kullanım kararı tamamen tasarımcı mühendisin şahsi kanaatlerine ve tecrübesine bırakılmıştır. Hangi sistemin kullanılacağına karar verildikten sonra seçilen sistem yeterli rijitliği, dayanımı ve emniyeti sağlayacak sünekliğe sahip olacak şekilde ve ulusal yönetmelik kriterlerine uygun biçimde dizayn edilir. Bütün tasarım aşamalarında ekonomik kriterler çok önemli bir rol oynar.

2. 1. 2. Dallanmış Kolon Teşkilli Moment Dayanımlı Çerçeveler

Dallanmış kolon şeklinde teşkil edilmiş moment dayanımlı çerçeve sistemine örnek Şekil 2’de gösterilmiştir. Böyle bir sistemde kirişlerin küçük parçaları, genellikle (50-100) cm uzunluğunda, atölyede kolona kaynaklanır. Daha sonra dallandırılmış kolon elemanı şantiyede yerine monte edilir ve ara kiriş elemanları, kolonlara kaynaklanan kısa konsol kiriş elemanlarının uçlarına genellikle bulonlu olarak birleştirilir. Bu nedenle de sistem, “Atölyede kaynaklı şantiyede bulonlanmış” çelik bir yapıdır. Atölyede kolona kaynaklanan kısa kiriş elemanın uzunluğu Şekil 3’de gösterildiği gibi esas kiriş elemanın boyunun % 15’inden daha fazla olmamalıdır. Atölyede yapılan kaynaklama yüksek kaliteli ve ekonomik kaynak yapma imkanı sağlar. Şantiyede bulonlama işlemi ise, iklim şartlarından bağımsız yıl boyu montaj yapma gibi hem ekonomik ve hem de yerinde kolay montaj imkanı sağlamaktadır. Keza, şantiyede kaynak yapma ve yapılan kaynakların kontrol edilmesi oldukça maliyetli ve uygulaması da kolay değildir. Bu nedenle dallanmış kolon taşıyıcı sisteminin kullanılması, diğer sistemlerden çok daha ekonomik bir uygulama şeklidir.

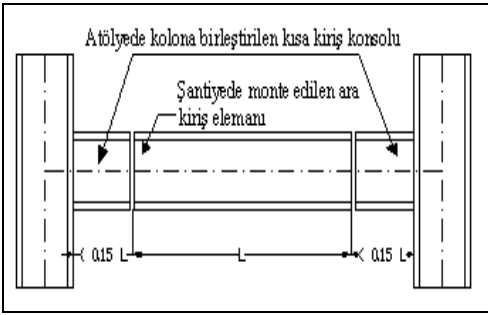


a) Çevre moment dayanımlı çerçeve



b) Düzlem moment dayanımlı çerçeve

Şekil 2. Dallanmış kolon teşkil biçimleri



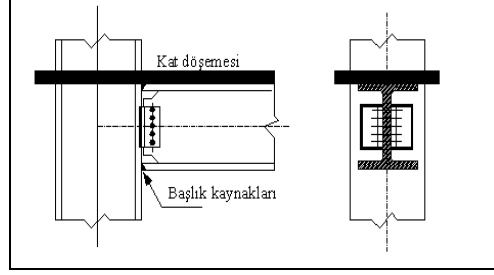
Şekil 3. Dallanmış kolon-kiriş birleşim biçimi

1995 Büyük Hanshin depreminde, deprem sonrası bölgede yapılan incelemeler sonucunda, dallanmış kolon taşıyıcı sistemli modern çelik yapıların performanslarının şantiyede kaynaklanmış moment dayanımlı çerçeveli çelik yapılardan çok daha iyi olduğu görülmüştür (Astaneh, 1995).

Standart bir dallanmış kolon sisteminde, kirişlerin bulonlu olarak teşkil edilen birleşim bölgesi atölyede birleştirilmiş olan konsol kirişlerden daha güçlü olarak tasarlanır. Sonuç olarak montaj işleminden sonra, bulonlu kısım çerçevenin sismik performansı üzerinde belirleyici bir rol oynamaz.

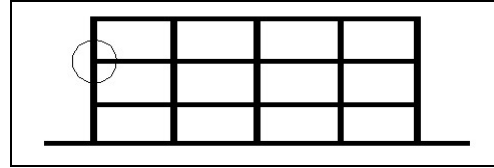
Günümüzde moment dayanımlı çelik yapı çerçevelerinde en yaygın kullanılan düğüm noktası birleşim detayı Şekil 4'de gösterilmiş olduğu gibi şantiyede kaynaklı birleşimler veya şantiyede kaynaklı-şantiyede bulonlu birleşimlerdir. Oysaki, 1992 Landers-Kaliforniya, 1994 Northridge ve 1995 Hyogoken-Nanbu (Hanshin/Awaji) depremleri sonrası modern çelik yapılar üzerinde yapılan incelemelerde, birleşim bölgeleri Şekil 4'de gösterildiği biçimde teşkil edilmiş olan çok sayıda moment dayanımlı çerçeve hasarı tespit edilmiştir. Şantiyede kaynaklı olarak teşkil edilen moment dayanımlı çelik çerçevelerde deprem sonrası oluşan hasarlarla ilgili daha detaylı bilgi elde edilebilir

(Anon., 1995a; b; Youssef et al., 1995; Bayülke, 1996).



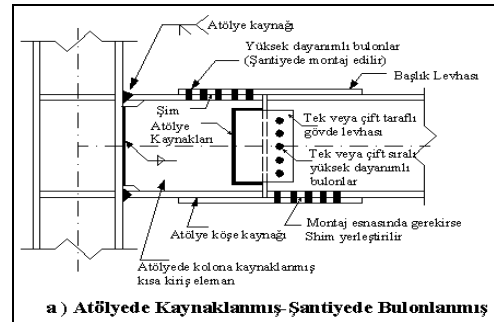
Şekil 4. Çelik yapılarda yaygın kullanılan moment aktaran birleşim detayı

Dallanmış kolon moment dayanımlı çerçeve sistemlerinde ara kiriş elemanın, kolona atölyede birleştirilmiş olan konsol kirişe (Şekil 5' de gösterilmiş olan düğüm noktası için) tamamen bulonlu, kaynaklı - bulonlu ve tamamen kaynaklı birleşim detayları için örnekler Şekil 6' da verilmiştir.

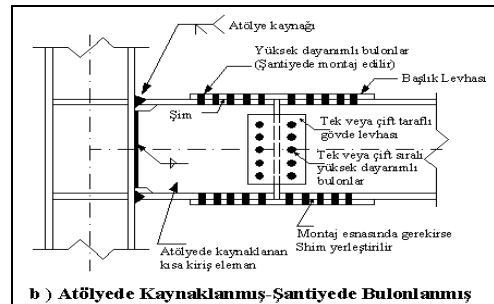


Şekil 5. Kolon-kiriş birleşim bölgesi

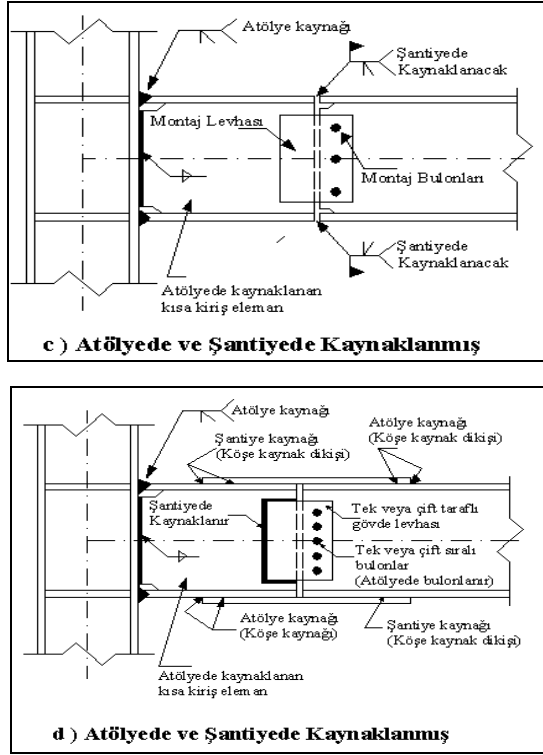
Diğer bütün çelik yapı çerçevelerinde olduğu gibi dallanmış kolon moment dayanımlı çerçevelerde sürekliliklerine göre "özel" ve "sıradan" olmak üzere iki gruba ayrılırlar.



a) Atölyede Kaynaklanmış-Şantiyede Bulonlanmış



b) Atölyede Kaynaklanmış-Şantiyede Bulonlanmış



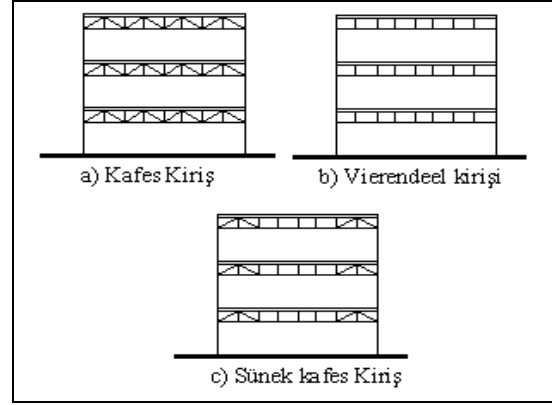
Şekil 6. Dallanmış kol-kiriş birleşim detayları (Astaneh, 1997)

Özel Dallanmış-kolon moment dayanımlı çerçevelerde, çerçeveyi teşkil eden elemanlar ve düğüm noktası birleşimleri, yapısal elemanlarda ve birleşim bölgelerinde erken gevrek yerel burkulmaların ve kırılmaların oluşumunu önleyecek biçimde dizayn edilirler. Bunun bir sonucu olarak da özel moment dayanımlı çerçeveler sünek bir davranış gösterirler. Genellikle, benzer uygulamalar için "Sıradan" moment dayanımlı çelik çerçeveler özel moment dayanımlı çerçevelere göre daha rijid ve daha güçlüdürler fakat daha az sünektirler.

2. 1. 3. Kafes Kirişli Moment Dayanımlı Çerçeveler

Kafes kirişli moment dayanımlı çerçeveler genellikle geniş başlıklı kolonlar ve kaynaklı olarak teşkil edilen kafes kirişlerden oluşur. Şekil 7a' da gösterilen teşkil biçimi kafes kirişli moment dayanımlı çerçevelerin yaygın kullanılan uygulama şeklidir. Şekil 7b'de ise yatay elemanlar olarak kullanılan Vierendeel kirişlerinden teşkil edilen moment dayanımlı çelik çerçeve şekli gösterilmiştir. Basha ve Goel (Basha and Goel, 1994) tarafından kafes kirişli moment dayanımlı çerçevelerin sünek tasarımı için özel bir teşkil biçimi önerilmiştir. Şekil 7c' de gösterilen bu teşkil biçiminde kafes kirişlerin orta bölgelerinde bulunan birkaç gözün diyagonal çubukları kaldırılır. Bu şekilde elde edilen sistem

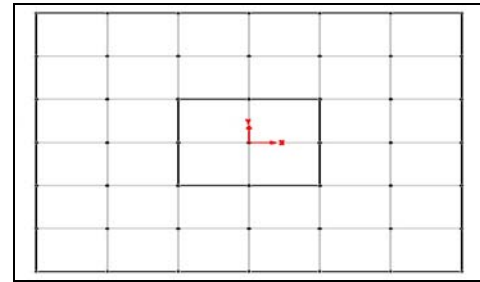
sıradan kafes kiriş ve Vierendeel kafes sistemlerinin iyi bir kombinasyonu haline gelir. Yapılan testler ve analizler, bu şekilde teşkil edilen moment dayanımlı çerçeve sisteminin deprem bölgelerinde kullanımı açısından güzel bir sismik davranış sergilediğini göstermiştir.



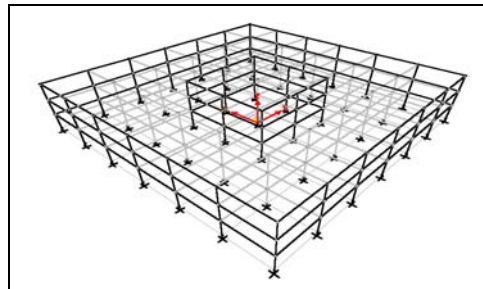
Şekil 7. Kafes kirişli moment dayanımlı çerçeveler örnekleri (Astaneh, 1995)

2. 1. 4. İç İçe Tüpler Şeklinde Teşkil Edilen Moment Dayanımlı Çerçeveler

İç içe yerleştirilmiş tüpler şeklinde teşkil edilen bu sistemde, içte tüp şeklinde çevre çerçeve moment taşıyıcı sistem ve yapının dış çevresinde de yine daha büyük bir çevre çerçeve taşıyıcı sistem vardır. SAP2000 ortamında hazırlanmış olan örnek bir taşıyıcı sistem Şekil 8'de gösterilmiştir.



a) Plan görünüşü



b) Üç boyutlu görünüş

Şekil 8. İç içe tüpler şeklinde teşkil edilen moment dayanımlı çerçeve teşkili

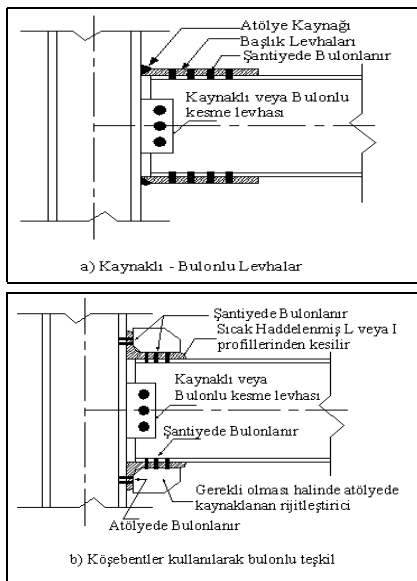
2. 2. Kullanılan Birleşim Eleman Türüne Göre

Çelik yapılarda moment aktaran çerçeve elemanları kiriş başlıklarının kolonlara birleştiriliş biçimlerine göre;

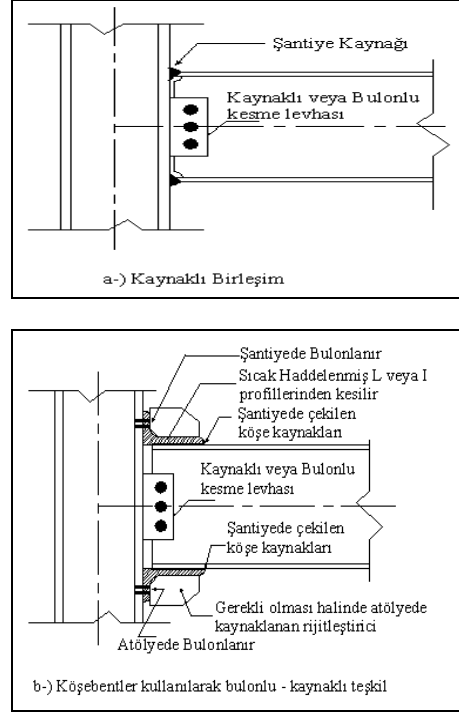
- Şantiyede kaynaklı birleşimler,
- Şantiyede bulonlu birleşimler,
- Perçinli birleşimler,

olmak üzere üç grupta toplanabilir.

Yukarıda ifade edilen kaynaklı moment dayanımlı çerçeveler, çerçeveyi oluşturan kirişlerin başlıklarının herhangi bir ek eleman kullanılmadan doğrudan kolonlara şantiyede kaynaklanması veya levhalar ve köşebentler gibi ara birleşim elemanlar kullanılarak yine şantiyede kaynaklanması ile oluşturulan taşıyıcı elemanlardır. Moment dayanımlı bulonlu çerçeveler ise; şantiye ortamında herhangi bir kaynaklama işlemi yapılmaksızın bütün kaynak işlerinin atölyede yapıldığı ve şantiyede sadece daha önceden açılmış olan deliklere bulonlar yerleştirilerek teşkil edilen taşıyıcı sistemlerdir. Kaynaklı veya bulonlu olarak teşkil edilen her iki moment taşıyıcı sistemde de kesme etkilerinin kiriş gövdelerinden kolona aktarılması kaynaklı veya bulonlu birleşimlerle yapılabilir. Şantiyede kaynaklı ve şantiyede bulonlu moment dayanımlı çerçeve birleşim detaylarına örnekler Şekil 9 ve 10'da gösterilmiştir. 1994 Northridge depreminde Şekil 10a' da gösterildiği tarzda teşkil edilen şantiye kaynaklı moment dayanımlı çerçevelerin kaynak yerlerinden gevrek bir biçimde kırılarak hasara uğradığı tespit edilmiştir (Youssef et al, 1995).



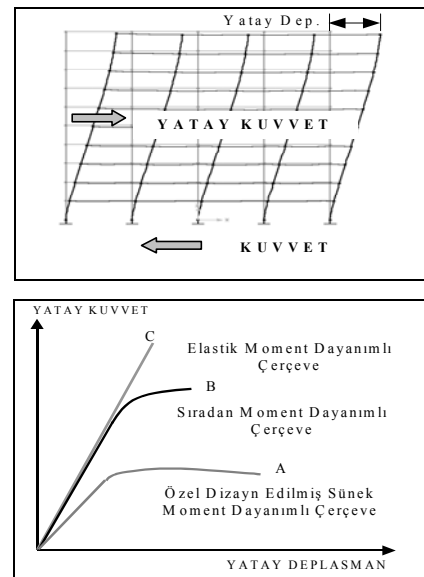
Şekil 9. Şantiyede bulonlanan moment dayanımlı çerçeve düğüm detayı, (Astaneh-Asl-1995)



Şekil 10. Şantiyede kaynaklanan moment dayanımlı çelik çerçeve düğüm detayı, (Astaneh, 1995)

2. 3. Düğüm Noktalarının Sünekliğine Göre

Moment aktaran çelik yapı çerçeveleri düğüm noktalarının sünekliklerine göre; Özel dizayn edilmiş sünek çerçeveler ve alışılmış tarzda dizayn edilmiş olağan çerçeveler olarak iki grupta incelenebilir. Şekil 11'de olağan ve özel olarak dizayn edilmiş sünek çerçevelerin "yatay yük-yatay deplasman" davranış biçimi gösterilmiştir.



Şekil 11. Özel ve alışılmış moment dayanımlı çerçevelerin davranışı (Astaneh, 1997)

Herhangi bir yapıda oluşan kalıcı hasarın miktarına bağlı olarak yapı içerisinde oluşan sismik kuvvetlerin büyüklüğünün de değişeceği bilinen bir gerçektir. Sünek olmayan bu davranış, yapının rijitliğini azaltır, sönüm oranını ve salınım periyodunu artırır. Bu değişiklikler yapıların büyük bir çoğunluğunda yapı içerisinde oluşan sismik kuvvetlerin azalmasını sağlar. Bu nedenle, mevcut tasarım şartnameleri sismik tasarım kuvvetlerini azaltmak için yapılarda bir miktar kalıcı hasarın oluşumuna müsaade eder. Örneğin 1998'de çıkartılan ve halen yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte (Anon., 1998) de temel ilke olarak "hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan elemanların hiçbir hasara uğramaması, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesini önlemek" kabul edilmiştir.

Çelik yapılarda elastikiyetsizlik, genel olarak yapısal elemanların ve birleşim elemanlarının akması, kayması, burkulması ve kırılması sonucu oluşur. Çeliğin akması en çok arzu edilen bir elastikiyetsizlik kaynağı ve enerji dağıtıcı etkindir. Bu, yaygın olarak kullanılan yapısal çeliklerin malzeme olarak çok sünek olmasındandır. Örneğin, en yaygın kullanılan St 37 (A36) çelikleri yaklaşık olarak 0.0015 çekme şekil değiştirme değerinde akmakta ve yaklaşık 0.18 şekil değiştirme değerine kadar plastik olarak deforme olabilmektedir. Bu şekil değiştirmeler St37 (A36) çeliğinin yaklaşık 120 gibi bir malzeme süneklik değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bazı durumlarda, yerel veya tümsel burkulmanın oluşumu, metalin net alanlarının kırılması veya birleşim yerlerindeki kaynakların kırılması gibi birleşim araçlarının hasar görmesi nedeni ile yapı, çeliğin bu yüksek süneklik kabiliyetinden istifade edememektedir.

Çelik yapılarda kayma elastikiyetsizlik kaynağıdır. Kayma servis yükleri altında oluşursa, yapının servis yapabilme kabiliyeti ile ilgili sorunlar oluşur ve yapısal olmayan elemanların gevrek kırılmasına neden olur. Şayet kayma, depremler sırasında kontrol altına alınmış şartlar altında oluşursa birçok durumda kayma davranışı yapının sismik performansını geliştirir. Bu gelişim üç yolla oluşabilir;

1. Kayma, sürtünme kuvvetlerinin baskın gelmesi ile oluşursa, bulonlu birleşimlerde olduğu gibi, yapının enerji dağıtma ve sönümleme kapasitesinin artırılmasında büyük katkı sağlar.
2. Kayma yapıda bir sigorta gibi davranır ve rijitliği serbest bırakır. Böylece, deprem esnasında yapının rijitliğinin değişimi ile yapının dinamik karakteri de değişir.

3. Bulonlu moment taşıyıcı birleşimlerdeki kayma nedeni ile düğüm noktasının dönme sünekliği artar. Kaynaklı birleşimlerin ise en önemli eksikliği, bulonlu birleşimlere göre çok daha düşük dönme sünekliğine sahip olmasıdır.

Makul bir emniyet sınırı ile servis yüklerini aşan yükler altında sürtünme kayması oluşursa ve sistemin kayma dayanımı sismik etki altında da muhafaza edilirse, kayma davranışı çelik yapıların dinamik tepkisinin geliştirilmesinde ve kontrol edilmesinde, yapıda oluşması muhtemel hasarın azaltılmasında çok etkili bir biçimde kullanılabilir.

Çelik yapı elemanlarının narin olmaları nedeni ile büyük sismik deformasyonlar sırasında yerel veya tam burkulma hasarı oluşabilir. Deprem sırasında yapının taşıyıcı elemanlarında meydana gelen yerel burkulmalar bir sigorta görevi görür ve bu yerel olarak burkulmuş alanlarda var olan kuvvetlerin sınırlı seviyede tutulmasını sağlar. Yerel burkulma sayesinde kuvvetlerin sınırlı seviyede tutulması ile kaynaklar gibi birleşimin diğer gevrek elemanlarının kırılması önenebilir.

Burkulma, çelik malzemenin akma davranışı göstermesine kıyasla daha az arzu edilen bir durumdur. Çünkü birleşim bölgesindeki elemanların burkulma ile hasara uğraması bir depremden sonra sistemdeki düşey yüklerin taşınmasında sistemin rijitliğini ve dayanımını çok ciddi bir biçimde azaltır. Ayrıca yerel ve global olarak burkulmuş bir elemanın görünüşü yapı içerisinde yaşayanları rahatsız eder ve çoğu durumlarda bu elemanların onarılmasına veya yıkılıp yeniden yapılmasına gerek duyulur.

Çelik yapılarda elastisite kaybına neden olan ve istenmeyen önemli diğer bir olay da birleşim bölgelerindeki kaynakların kırılmasıdır. Sismik tasarımın kapsamı içerisinde, çelik yapılar için kırılma kabul edilemez gevrek bir davranıştır. Özellikle kırılarak hasara uğramış taşıyıcı bir eleman için, elemana etki eden yükleri yeniden dağıtacak başka bir paralel yük yolu yoksa, kırılmadan dolayı yapının düşey yük taşıma kapasitesi de çok ciddi bir biçimde bozulur. Bu bozulmanın sonucunda yapıda kısmen veya tamamen stabilite bozukluğu ve yıkılma meydana gelir.

Böyle bir gevrek davranışın oluşumunu önlemek için, sünek olmayan moment dayanımlı çerçevelerin tasarımında daha büyük tasarım kuvvetlerinin kullanılması amaçlanmıştır. Bu işlem R_w şeklinde tanımlanan bir azaltma faktörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir, ($R_w=12$ –Özel olarak tasarlanmış sünek çerçeveler için, $R_w= 6$ –Olağan veya düşük süneklikli çerçeveler için).

2. 3. 1. Özel Moment Dayanımlı Çerçeveler

Özel moment dayanımlı çerçevelerin eleman ve birleşim bölgeleri, yapısal elemanların ve birleşimlerin zamanından önce burkulmasını ve kırılmasını önleyecek biçimde tasarlanır. Bunun bir sonucu olarak da bu tür çerçeveler sünek bir davranış sergiler. Özel tasarlanmış moment dayanımlı çerçeve sistemlerinde hasar oluşumu, birleşim bölgelerinin kayması, çelik malzemenin akması, kirişlerin birleşim bölgelerine yakın yerlerde yerel burkulması ve plastik mafsalların meydana gelmesi tarzında gerçekleşir. Herhangi bir elemanda meydana gelebilecek bir kırılma düşey taşıyıcı sistemin stabilitesini bozabilir.

Verilen moment dayanımlı bir çerçevenin özel tasarlanmış sünek moment dayanımlı çerçeve olarak kabul edilebilmesi için (Popov et al.,1993; Popov,2001)'e göre moment aktaran birleşimlerinin 0.015 ve 0.02 Radyan'lık bir dönme kapasitesine sahip olması gerekir. Ayrıca, sünek moment aktaran birleşim bölgesinin kümülatif elastik olmayan devirli (cyclic) dönme kapasitesinin de en az 0.15 Radyan olması gerekir.

2. 3. 2. Olağan Moment Dayanımlı Çerçeveler

Moment dayanımlı çelik bir çerçeve, özel moment dayanımlı çerçevede bulunması gereken niteliklere sahip değil ise, bu durumda çerçevenin sünek bir davranış sergilemesi beklenmez ve bu tür çelik yapı çerçeveleri olağan moment dayanımlı çerçeveler olarak isimlendirilirler. Bu çerçeveleri oluşturan birleşim bölgelerinin en az 0.02 radyanlık bir dönme sünekliliğine sahip olması gerekir. Kümülatif devirli dönme kapasitesinin de en az 0.10 radyan olması önerilmektedir.

2. 4. Moment Dayanımlı Çerçevelerin Rijitliklerine Göre Sınıflandırılması

Moment dayanımlı çelik bir çerçevenin davranışı büyük ölçüde çerçeveyi oluşturan birleşim bölgelerinin davranışına ve yine çerçeveyi oluşturan kolon ve kiriş elemanların eğilme rijitliklerine bağlıdır. Genel olarak moment aktaran çelik yapı çerçeveleri;

- Rijit moment dayanımlı çerçeveler,
- Yarı rijid moment dayanımlı çerçeveler,
- Esnek çerçeveler

olarak üç gruba ayrılır. Bu gruplandırma şekli öncelikli olarak kolon-kiriş birleşimlerinin eğilme rijitliğine ve dayanımına bağlıdır. Kirişlerin ve kiriş birleşim bölgelerinin nispi dönme rijitliğinin

tanımlanmasında kullanılan “m” rijitlik parametresi aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$m = \frac{K_{\text{Bir}}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{Kiriş}}} \quad (1)$$

K_{Bir} : Kiriş-kolon birleşiminin dönme rijitliği

$\left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{Kiriş}}$: Kiriş eğilme rijitliği

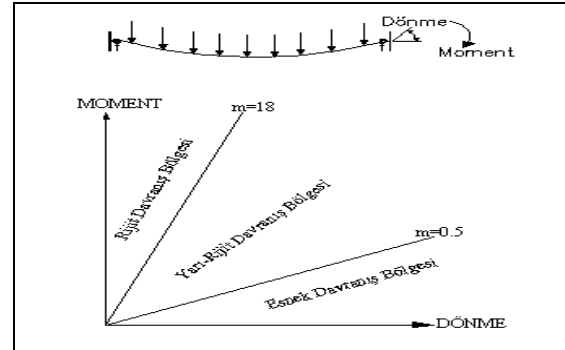
Yukarıda verilen denklem 1 kullanılarak elde edilen “m” değerine göre kiriş açıklıkları aşağıdaki şekilde sınıflandırılır, (Astaneh, 1995). Bu sınıflandırma biçimi, kirişlerin düşey yükler altında elastik tasarımı için kullanılır.

$m \geq 18 \Rightarrow$ Rijit

$0.5 \leq m < 18 \Rightarrow$ Yarı – Rijit

$m < 0.5 \Rightarrow$ Esnek

Kiriş ve kiriş birleşim bölgesinin nispi dönme rijitliği esas alınarak yukarıda tanımlanan üç bölgenin “moment-dönme” davranışı Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Elastik Kirişlerin Rijid, Yarı-Rijid ve Flexible davranış bölgeleri, (Astaneh, 1995)

Sismik tasarımda ise, kiriş açıklıklarının sınıflandırılmasında, kirişlerin ve birleşim bölgelerinin “Plastik Moment Taşıma Kapasiteleri” de dikkate alınmalıdır. Örneğin, $m > 18$ olan bir kiriş açıklığında, birleşim bölgelerinin plastik moment kapasitesi kirişin plastik moment kapasitesinden daha küçük ise, birleşim bölgesi kendi plastik moment taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra kiriş açıklığı yarı-rijid olarak davranacak ve plastik mafsallar oluşacaktır. Açıklığın davranışını rijid, yarı-rijit veya esnek olarak tanımlayabilmek için “m” rijitlik parametresine ilaveten “ α ” dayanım parametresinin de tanımlanması gerekir.

$$\alpha = \frac{(M_P)_{\text{Bir}}}{(M_P)_{\text{Kiriş}}} \quad (2)$$

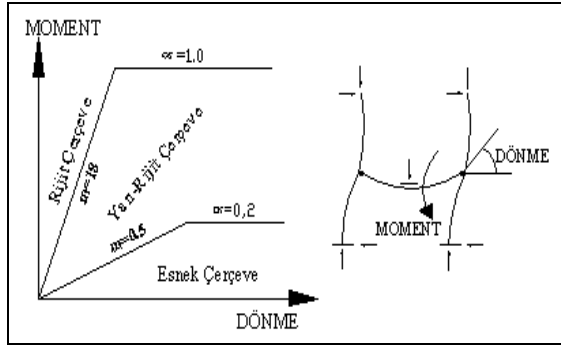
Bu ifade de, $(M_p)_{Bir}$ –birleşimin plastik moment taşıma kapasitesi, $(M_p)_{Kiriş}$ – kirişin plastik moment taşıma kapasitesidir. Buna göre, kiriş açıklıklarının rijid, yarı-rijid veya flexible olarak sınıflandırılması aşağıda verilen kriterlere göre yapılır.

$$m \geq 18 \text{ ve } \alpha \geq 1.0 \Rightarrow \text{Rijit} \quad (3.a)$$

$$\left. \begin{array}{l} m \geq 18 \text{ ve } 0.2 < \alpha < 1.0 \\ 18 \geq m > 0.5 \text{ ve } \alpha > 0.2 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Yarı-Rijit} \quad (3.b)$$

$$m \leq 0.5 \text{ ve } \alpha < 0.2 \Rightarrow \text{Esnek} \quad (3.c)$$

Rijit bir moment dayanımlı çerçeve, bütün açıklıklarında denklem 3a’ da verilen şartı sağlamalıdır. Yarı rijit moment dayanımlı bir çerçeve ise, açıklıklarının en az % 80’inde denklem 3b’de verilen şartları sağlamalıdır. Esnek moment dayanımlı bir çerçeve ise, açıklıklarının en az % 80’inde denklem 3c’ de verilen şartları sağlamalıdır. Denklem 3’ de verilen ifadeler Şekil 13’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 13. Rijid, Yarı-Rijit ve Esnek Moment Dayanımlı çerçevelerin tanımı, (Astaneh, 1995)

2. 5. Birleşen Elemanların Moment Taşıma Kapasitelerine Göre Sınıflandırılması

Moment dayanımlı bir çerçeve, çerçeveyi oluşturan ve aynı düğüm noktasında birleşen kiriş ve kolonların nispi eğilme kapasitelerine göre; “güçlü kolon – zayıf kiriş” ve “güçlü kiriş – zayıf kolon” şeklinde sınıflandırılabilir.

“Güçlü kolon – Zayıf kiriş” tarzında teşkil edilen bir çerçevede, aynı düğüm noktasında birleşen kirişlerin toplam moment kapasitesi yine aynı düğümdeki kolonların moment kapasitelerinden daha küçüktür. Bu nedenle, düşey ve yatay yüklerin kombinasyonu altında, plastik mafsalların kirişlerde oluşması beklenir. Güçlü kolon – zayıf kiriş felsefesi sismik tasarımda çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Depreme dayanıklı yapı teşkili ile ilgili mevcut şartnameler “Güçlü kolon-zayıf kiriş” kabulünü kullanmaktadır. Sismik yükler altında plastik mafsalların kirişlerde oluştuğu (Güçlü kolon-zayıf

kirişli) moment dayanımlı çerçeveler, plastik mafsalların kolonlarda oluştuğu (zayıf kolon-Güçlü kirişli) moment dayanımlı çerçevelere nazaran çok daha stabildir.

3. SONUÇLAR

1. Çelik yapılarda moment taşıyıcı çerçevelerin uzay moment dayanımlı çerçeve (Şekil 1a) olarak teşkil edilmesi ekonomik bir çözüm değildir. Çünkü, bu teşkil biçiminde yapı taşıyıcı sistemini oluşturan kolon ve kirişlerin tümü moment dayanımlı olarak dizayn edilecektir. Bu şekildeki bir teşkil, taşıyıcı elemanların kesitlerini büyütecektir. Dolayısıyla yapının ağırlığını arttıracaktır ve yapıya gelen deprem yüklerini de büyütecektir. Ayrıca, yapı içerisindeki kullanılabilir net hacim de azaltılmış olacaktır. Bahsedilen bu sorunları ortadan kaldırmak için Şekil 1.b ve c ‘ de gösterilen çevre moment dayanımlı çerçeve veya bazı akslarda teşkil edilen moment dayanımlı çerçeve teşkil biçimlerinden uygun olanının kullanılması tercih edilmelidir.
2. Moment dayanımlı çelik yapı çerçevelerinin düğüm noktalarının teşkilinde Şekil 4’de gösterilen şantiyede kaynaklı veya şantiyede kaynaklı-şantiyede bulonlu birleşim tarzından vazgeçilmelidir. Oysaki, 1992 Landers-Kaliforniya, 1994 Northridge ve 1995 Hyogoken-Nanbu(Hanshin/Awaji) depremleri sonrası modern çelik yapılar üzerinde yapılan incelemelerde, birleşim bölgeleri Şekil 4’de gösterildiği biçimde teşkil edilmiş çok sayıda moment dayanımlı çelik çerçeve hasara uğramıştır. Bunun en önemli nedeni şantiyede yapılan kaynaklama işleminin uygulamasının ve kontrolünün güç olması ve çekilen kaynakların tasarımda dikkate alınan dayanım değerlerini sağlayamamasıdır.
3. Çelik yapılarda, dallanmış kolon şeklinde teşkil edilmiş moment dayanımlı çerçeve sistemi “Atölyede kaynaklı şantiyede bulonlanmış” bir yapıdır. Bütün kaynaklama işlemlerinin atölyede yapılması, yüksek kaliteli ve ekonomik kaynak yapma imkanı sağlar. Şantiyede bulonlama işlemi ise, iklim şartlarından bağımsız yıl boyu montaj yapma gibi hem ekonomik ve hem de yerinde kolay montaj imkanı sağlamaktadır. Keza, şantiyede kaynak yapma ve yapılan kaynakların kontrol edilmesi oldukça maliyetli ve uygulaması da kolay değildir. Bu nedenle, moment dayanımlı çelik yapılarda dallanmış kolon şeklindeki taşıyıcı sistemin kullanılması, şantiyede

- kaynaklama gibi diğer sistemlerden çok daha ekonomik bir uygulama şeklidir.
4. Kayma, çelik yapılarda sismik yükler altında arzu edilen bir hasar biçimidir. Makul bir emniyet sınırı ile servis yüklerini aşan yükler altında sürtünme kayması olursa ve sistemin kayma dayanımı sismik etki altında da muhafaza edilirse, kayma davranışı çelik yapıların dinamik tepkisinin geliştirilmesinde ve kontrol edilmesinde, yapıda oluşması muhtemel hasarın azaltılmasında çok etkili bir biçimde kullanılabilir.

4. KAYNAKLAR

Anonymous, 1995a. AIJ, “*Reconnaissance Report on Damage to Steel Building Structures Observed From the Hyogoken-Nabu (Hanshin/Awaji) Earthquake*”, Report, Architectural Institute of Japan.

Anonymous, 1995b. SAC Joint Venture, “*Interim Guidelines: Evaluation, Repair, Modification and Design of Welded Steel Moment Frame Structures*”, Report FEMA 267, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

Anonim, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik.

Astaneh-Asl, A. 1995. “*Seismic Design of Bolted Steel Moment-Resisting Frames*”, Steel Tips,

Structural Steel Educational Council Technical Information and Product Service.

Astaneh-Asl, A. 1997. “*Seismic Design of Steel Column-Three Moment-Resisting Frames*”, Steel Tips, Structural Steel Educational Council Technical Information and Product Service.

Basha, H. S. and Goel, S. C. 1994. Research Report UMCEE 94-29, “*Seismic Resistant Truss Moment Frames with Ductile Vierendeel Segment*”, Dept. of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor.

Bayülke, N. 1996. “*Moment Taşıyan Çelik Kolon-Kiriş Birleşim Yerlerinin 1994 Northridge Kaliforniya Depremindeki Davranışı*”, Türkiye Mühendislik Haberleri, 382.

Popov, E. P. 2001 “*Large Seismic Steel Beam to Column Connection*”, Steel Tips, Structural Steel Educational Council Technical Information and Product Service.

Popov, E. P., Kasai, K. and Englehardt, M. 1993. “*Some Unresolved Issues in Seismic Codes*”, Proceeding, Structures Congress, ASCE. Irvine.

Youssef, N. F. G. 1995. Bonowitz, D. and Gross John L., “*A Survey of Steel Moment-Resisting Frame Buildings Affected by the 1994 Northridge Earthquake*”, Report No: NISTIR 5625 National Institute of Standards and Technology, Washington D. C.