ÇOK KATLI YAPILARDA YATAY SÜREKSİZLİKLER

Prof. Dr. Günay ÖZMEN
İTÜ İnşaat Fakültesi

1. GİRİŞ

Çok katlı yapılarla ilgili çağdaş deprem yönetmeliklerinin çoğunda yapısal düzensizliklerin göz önüne alınması öngörülmektedir, **[1].** Mart 2007'de yürürlüğe giren yeni "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik"te (DBYBHY) de yapısal düzensizlikler iki bölümde ele alınmıştır, **[2].** Bunlar

A. Planda düzensizlik durumları,
B. Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

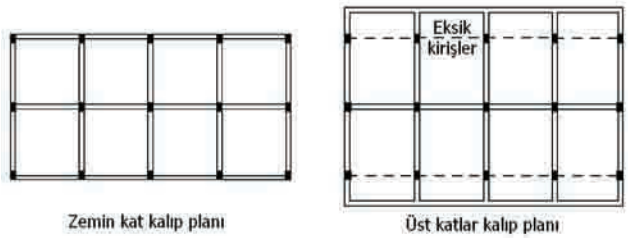
olarak sınıflandırılmaktadır.

Her ne kadar düşey doğrultudaki düzensizlikler arasında düşey taşıyıcı elemanların "süreksizliği" göz önüne alınmışsa da yatay elemanların süreksizlikleri konusunda belirgin bir yönetmelik hükmü yoktur. Bu durum uygulamada bazı belirsizliklere ve kararsızlıklara yol açmakta, çoğu kez yanlış ve tehlikeli yapı sistemi seçimlerine yol açmaktadır.

Bu çalışmada yatay doğrultudaki eleman süreksizlikleri ele alınacak, irdelenecek ve bazı öneriler geliştirilmesine çalışılacaktır.

2. YATAY SÜREKSİZLİKLER

Mimari çıkmalar Türkiye'deki binalarda ençok karşılaşılan özelliklerden biridir. Binaların çoğunda zemin kat tavanları düzenli bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Ancak üst katlarda, cumbalı ev kültürünün bir devamı olarak, çıkmalar düzenlenmektedir. Bu katlarda mimari nedenlerle bazı kirişler kaldırılabilmektedir, **Şekil 1.**



Şekil 1: Eksik kirişli yapı sistemi

Deprem sonrası gözlemler, belirli akslarında kiriş eksikliği bulunan yapıların ağır hasarlı durumda olabildiklerini, hatta pek çoğunun göçtüğünü göstermiştir. Kuşkusuz, deprem sırasında göçen binaların durumları pek çok etmene bağlı olup sadece kiriş eksikliğine bağlanacak bir husus değildir. Ancak kiriş süreksizliği konusunun da irdelenmesinin ve bir yönetmelik hükmüne bağlanmasının gerekli olduğu açıktır.

Uygulamada bu konudaki belirsizliği gidermek amacı ile, Kadıköy Belediye Başkanlığı, İmar İşleri Müdürlüğü 28.5.2003 tarihinde İmar İskan Bakanlığından görüş bildirilmesini istemiştir. Bu konudaki bakanlık görüşü ve nasıl uygulama yapılacağı 22.7.2003 tarihinde İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi'ne bidirilmiş bulunmaktadır, **Şekil 2.**

Yazıda görüldüğü gibi, o tarihte geçerli olan "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" (ABYYHY), Madde 6.2.1.1'de belirtilen hüküm çerçevesinde çerçevelerin her iki yönde sürekliliklerinin devam etmesinin gerekli olduğu belirtilmektedir, **[3].** Bu yazıya dayanılarak, o tarihten sonra bazı belediyeler ile İnşaat Mühendisleri Odası şubelerindeki onay ve vize uygulamalarında, yapılardaki kolon ve perdelerin her iki yönde kirişlerle bağlanmaları gerekliliği öngörülmüş ve projelerin buna uygun olarak düzenlenmeleri istenmiştir. Mart 2007'de yürürlüğe girmiş olan yeni DBYBHY Madde 2.2.1.1'de de aynı hüküm yer aldığından, onay ve vize uygulamaları aynı biçimde sürdürülmektedir.

Yönetmeliklerde yer alan söz konusu maddenin nasıl (ve hangi doğrultuda) yorumlanacağı tartışma konusu olup aşağıda **Bölüm 3**'te ayrıca irdelenecektir. Öte yandan, yatay süreksizliklerin yapı davranışına olumsuz etkileri açıktır. Bu konuda kesin bir yargıya varmadan önce, ilgili araştırmaların incelenmesi ve irdelenmesi gerekmektedir.

3. YATAY SÜREKSİZLİK ARAŞTIRMALARI

Eksik kirişli mimari çıkmalar genellikle yurdumuza özgü bir uygulama olduğu için, bu konuda yurt dışında yapılmış araştırma çalışmalarına rastlama olanağı

T.C.
İSTANBUL İLİ
KADIKÖY İLÇESİ
KADIKÖY BELEDİYE BAŞKANLIĞI

Müdürlük: İMAR İŞLERİ MD.
Servis: İMAR STATİK ŞEF. 22/07/2003
Sayı: 116
Konu: 03/333728

T. M. M. O. B.
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ
HARBİYE / İST

Binalarda taşıyıcı sistem düzenlenirken kolon ve perdelerin her iki doğrultuda bağlanmasının gerektiği, ancak bu konu ile ilgili herhangi bir statik-betonarme yönetmelik hükmünün bulunmadığı 28.5.2003 tarih ve S-322863 sayılı yazımızla detaylı Bakanlık görüşü istenmiştir.

İlgi yazıda Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğin 6.2.1.1 maddesinde yer alan "Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterli rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmalıdır" hükmü çerçevesinde ele alınmalıdır. Bu nedenle **çerçevelerin her iki yönde sürekliliğinin devam etmesinin gerektiği** belirtilmiştir.

Belediyemizce de 21.7.2003 tarihinden itibaren bu uygulamaya başlanılmıştır.

Bilgi edinilmesini ve gereğini arz ederim.

Sadık S. KAYHAN
İMAR İŞLERİ MÜDÜRÜ

Şekil 2: Kadıköy Belediyesi İmar İşleri Müdürlüğü yazısı

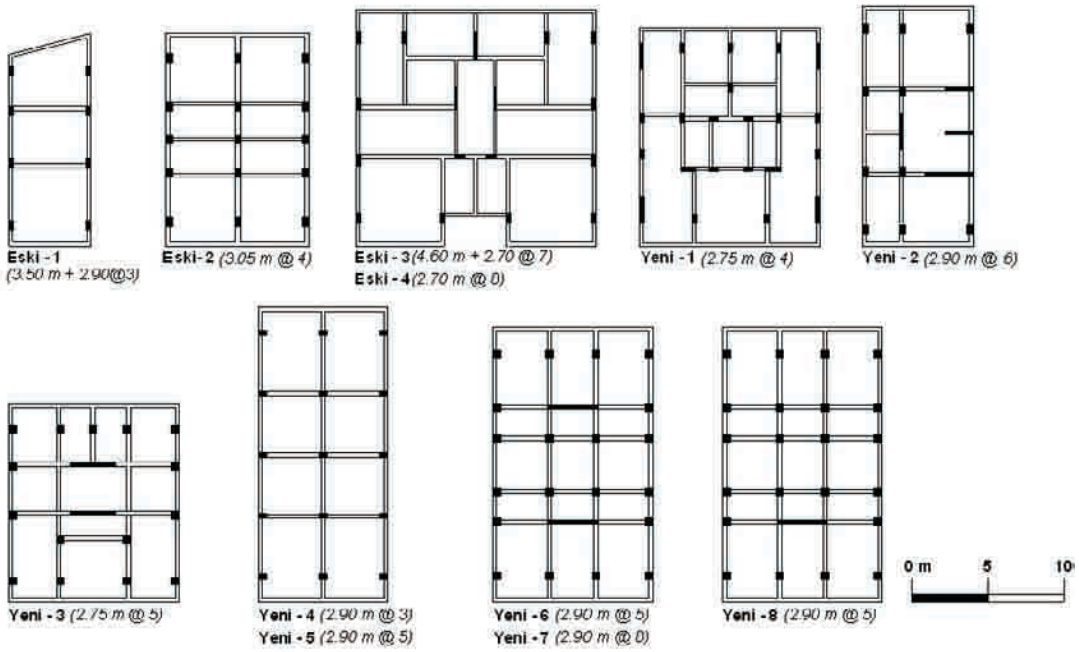
bulunmamaktadır. Yurdumuzda yapılan araştırma çalışmaları da kısıtlı sayıdadır. Aşağıda kiriş süreksizliği konusunda yapılmış olan iki özgün çalışmanın anahatları ve sonuçları özetlenecek, yeni bir öneri geliştirilecek ve bunun tipik bazı örneklere uygulanması açıklanacaktır.

3.1 Bal - Özdemir Çalışması

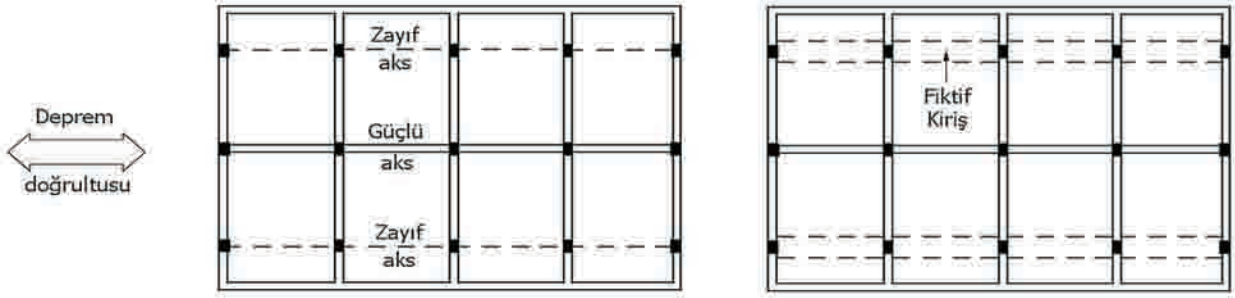
Kiriş süreksizliği üzerinde yapılmış olan en kapsamlı araştırma niteliğindeki bu çalışmada seçilen tipik örnekler üzerinde uygulanan bir "Sayısal Deney" yöntemi ve sonuçları yansıtılmaktadır, **[4].** Bunun için şematik kalıp planları **Şekil 3**'te gösterilen ve 17 Ağustos 1999 Gölcük depremi sonrasında incelenmiş olan 12 adet örnek bina seçilmiştir.
Şekilde gösterilen kalıp planları binaların zemin katlarının üzerindeki düzeylere ait olup tümü kiriş süreksizlikleri içermektedir. Binalardan "Eski" ve "Yeni" olarak nitelendirilmiş olanlar, sırası ile, 1975 ve 1997 tarihli deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmıştır. Kalıp planlarının altındaki

$(h_z + h_ü @ N)$

ifadeleri ile kat yükseklikleri ile kat sayıları gösterilmiş bulunmaktadır. Burada h_z, $h_ü$ ve N, sırası ile, zemin kat yüksekliği, üst kat yükseklikleri ve kat sayısı değerlerini göstermektedir. Seçilen örnek binalar 5 farklı durumda modellenmiş ve deprem analizleri yapılmıştır. Bu modellerin bir bölümünde, uygulamada sıkça yapıldığı gibi, eksik kirişlerin yerine döşeme kalınlığında genişçe fiktif kirişler kullanılmıştır, **Şekil 4.**



Şekil 3: Örnek binaların şematik kalıp planları



Şekil 4: Zayıf akslarda fiktif kiriş kullanımı

Daha sonra eksik kirişlerin bulundukları bölgelerdeki döşeme davranışı 3 farklı yönetmeliğe göre kontrol edilmiştir. Bunlar ACI 352, FEMA 356 ve Eurocode 8 yönetmelikleridir. Performans değerlendirmeleri **Tablo 1**'de özetlenmiştir.

Tabloda ilgili yönetmelikteki koşulları sağlayanlar + işareti ile, sağlamayanlar ise – işareti ile gösterilmiş bulunmaktadır. Görüldüğü gibi, 12 adet örnekten 5 tanesi ACI 352'deki, 2 tanesi de FEMA 356'daki koşulları sağlamaktadır. Örneklerden hiçbiri Eurocode 8 koşullarını sağlamamaktadır.

Çalışmada sonuç olarak

• Kiriş süreksizliği konusunun DBYBHY'te yer almamış olmasının önemli bir eksiklik olduğu,

Tablo 1: Seçilen örneklerin performans değerlendirmeleri

Örnek	ACI 352	FEMA 356	Eurocode 8
Eski-1	–	–	–
Eski-2	–	–	–
Eski-3	–	+	–
Eski-4	–	+	–
Yeni-1	+	–	–
Yeni-2	+	–	–
Yeni-3	+	–	–
Yeni-4	+	–	–
Yeni-5	+	–	–
Yeni-6	–	–	–
Yeni-7	–	–	–
Yeni-8	–	–	–

• Yönetmelikte kolon-döşeme birleşimlerini kontrol etmeyi zorunlu kılan bir yöntem önerilmesinin gerekli olduğu,
• Böyle bir yöntem için ACI 352'deki "fiktif kiriş" varsayımının uygun olabileceği,
• Fiktif kiriş etkili genişliğini saptama konusundaki araştırmaların sürdürüldüğü

beliritilmektedir.

3.2. M. Erkan Çalışması

12 Kasım 1999 Düzce depreminden sonra, Düzce Belediyesi o yörede çalışmalar yapan M. Erkan'dan bölgedeki yapılar üzerinde depremin etkileri ile ilgili bir araştırma yapmasını istemiştir. M. Erkan tarafından incelenen 1~8 katlı 58 adet yapı ile ilgili kapsamlı bir rapor 2003 yılında tamamlanmıştır, **[8].** Bu çalışmada istatistiksel yöntemler kullanılarak

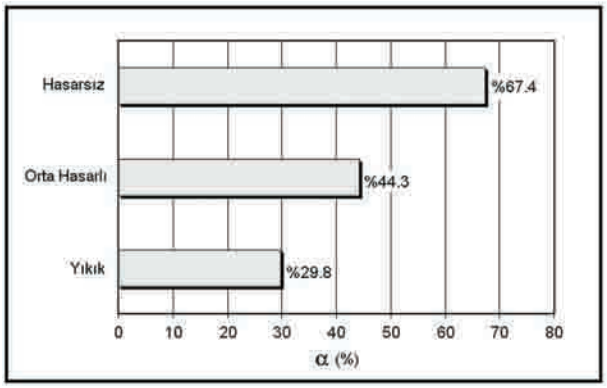
• Zemin özellikleri,
• Hasar durumları,
• Zemin-yapı etkileşimi,
• Tasarım parametreleri

incelenmiş ve ayrıntılı analiz sonuçları sunulmuş bulunmaktadır. Çalışmanın "Hasar durumları" bölümünde, incelenen yapılar kiriş süreksizlikleri bakımından sınıflandırılmış ve bir α süreksizlik katsayısı tanımlanmıştır. Buna göre

$$\alpha = \frac{\text{Kirişlerle bağlanan çerçeve sayısı}}{\text{Toplam çerçeve sayısı}} \qquad \textbf{(1)}$$

olarak hesaplanmaktadır. İncelenen yapıların ortalama α değerlerine karşı gelen hasar durumları **Şekil 5**'teki grafikte görülmektedir.

Görüldüğü gibi, $\alpha < 0.70$ koşulunu sağlayan tüm yapılar hasarsız durumdadır.



***Şekil 5:** Ortalama α değerlerine karşı gelen hasar durumları*

3.3 Yatay Süreksizlik için bir Ölçüt Önerisi

Şekil 3'te gösterilen örnek yapı kalıp planlarında kiriş süreksizliklerinin genellikle tek yönde oldukları görülmektedir. Bu nedenle (1) oranının x ve y doğrultuları için ayrı ayrı hesaplanmasının daha gerçekçi olacağı düşünülebilir. Kiriş süreksizliklerinin güvenli oranda olup olmadıklarının saptanması için

$$\alpha_{x(y)} = \frac{\text{Kirişlerle bağlanan kolon sayısı}}{\text{Toplam kolon sayısı}} \geq 0.70 \qquad \textbf{(2)}$$

ölçütü önerilmektedir. Kirişlerle bağlanan kolon sayısının hesaplanmasında konsollar ile diğer ucu kirişe oturan kirişler göz önüne alınmayacaktır. Her iki doğrultuda (2) ölçütünün sağlanması için gerekli yapısal önlemlerin alınması zorunlu olmalıdır. Aşağıda önce Bal-Özdemir örnek yapıları bu ölçüte göre değerlendirilecek, daha sonra seçilen tipik yapılar üzerinde uygulama yapılacaktır.

3.4 Bal - Özdemir Örneklerinin Değerlendirilmesi

Bal-Özdemir örnekleri için (2) formülüne göre hesaplanan α_x ve α_y değerleri **Tablo 2** üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 2: Bal-Özdemir örnekleri içi α değerleri

Örnek	α_x	α_y
Eski-1	0.50	1.00
Eski-2	0.60	1.00
Eski-3	0.59	0.71
Eski-4	0.59	0.71
Yeni-1	0.42	0.70
Yeni-2	0.40	1.00
Yeni-3	0.36	0.71
Yeni-4	0.60	1.00
Yeni-5	0.60	1.00
Yeni-6	0.62	1.00
Yeni-7	0.62	1.00
Yeni-8	0.65	1.00

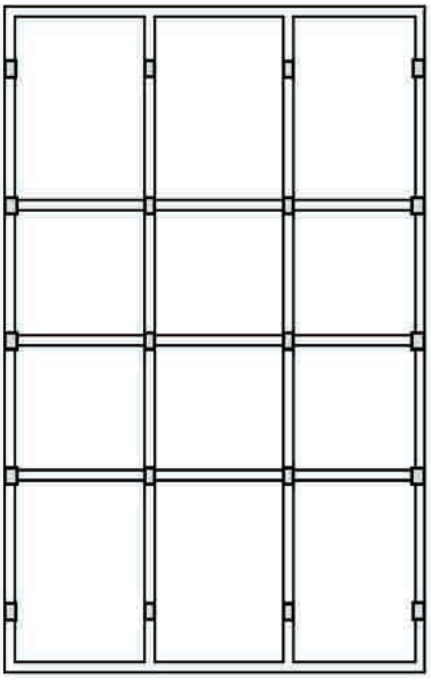
Örneklerin tümünün y doğrultusunda ölçütü sağladığı fakat x doğrultusunda sağlamadığı görülmektedir. Bal-Özdemir çalışmasında da tüm örneklerin göz önüne alınan üç yönetmelikten en az ikisine göre güvensiz oldukları belirtilmiş bulunmaktadır. Bu bakımdan önerilen ölçütün kiriş süreksizliğini saptama açısından yararlı olduğu söylenebilir.

4. TİPİK YAPILAR

Bu bölümde seçilen 3 adet Tipik Yapı sıra ile ele alınarak kiriş süreksizlikleri irdelenecektir.

4.1 Yapı Tip 1

Seçilen ilk tipik yapıya ait şematik kalıp planı **Şekil 6**'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Yapı Tip 1 şematik kalıp planı

Bu yapı için α katsayıları

$$\alpha_x = \frac{12}{20} = 0.60 < 0.70, \qquad \alpha_y = \frac{20}{20} = 1.00 > 0.70$$

olarak hesaplanmakta ve x doğrultusunda ölçütün sağlanmadığı görülmektedir. Böyle bir yapıda herhangi bir yapısal önlem almak olanağı da yoktur. Deprem bölgelerinde bu tür yapıların inşa edilmesine izin verilmemelidir.

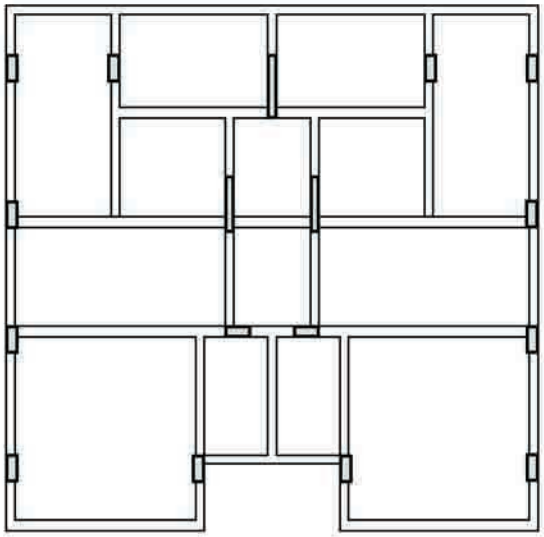
4.2 Yapı Tip 2

Bu yapıya ait şematik kalıp planı **Şekil 7**'de gösterilmiştir.

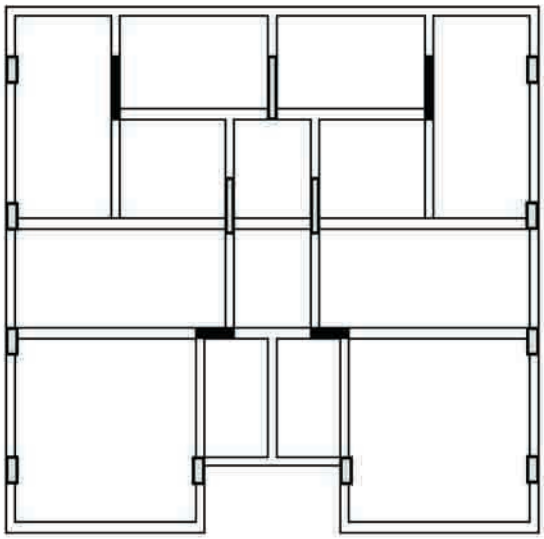
Bu yapı için α katsayıları

$$\alpha_x = \frac{10}{17} = 0.59 < 0.70, \qquad \alpha_y = \frac{12}{17} = 0{,}71 > 0.70$$

olarak hesaplanmakta ve bu yapıda da x doğrultusunda ölçütün sağlanmadığı görülmektedir. Ancak bu yapıda küçük bazı değişikliklerle ölçütü sağlama olasılığı vardır. Yapının düzeltilmiş kalıp planı **Şekil 8**'de gösterilmiştir.



Şekil 7: Yapı Tip 2 şematik kalıp planı



Şekil 8: Düzeltilmiş kalıp planı

Boyutları düzeltilen kolonlar şekilde koyu olarak gösterilmiştir. Yapının bu yeni durumunda α katsayıları

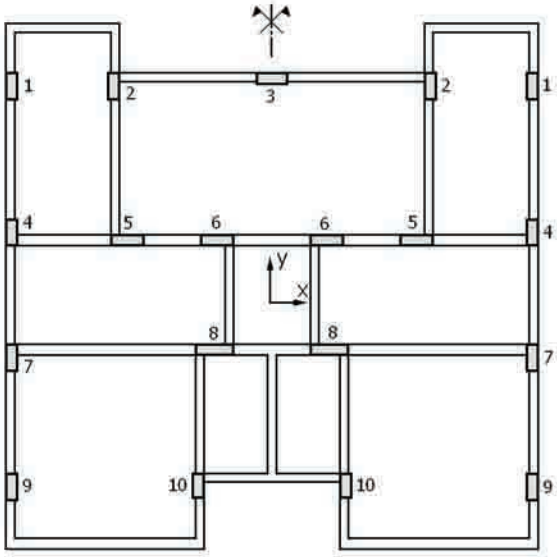
$$\alpha_x = \frac{13}{17} = 0.76 > 0.70, \qquad \alpha_y = \frac{14}{17} = 0{,}82 > 0.70$$

olarak hesaplanmakta ve her iki doğrultuda ölçütün sağlandığı görülmektedir. Uygulamada pek çok yapının taşıyıcı sistemi buna benzer basit önlemlerle düzeltilebilmektedir.

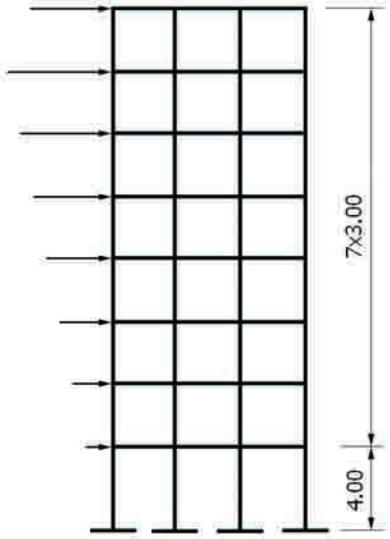
4.3 Yapı Tip 3

Bilindiği gibi, çok katlı yapıların deprem hesaplarında yatay yükler kat kolonları (ve perdeleri) arasında paylaşılmaktadır. Bu paylaşımda her kolon rijitliği

oranında kesme kuvveti alır. Kolon rijitliklerinin geniş ölçüde kolon boyutlarına (özellikle deprem doğrultusundaki boyuta) bağlı olduğu kuşkusuzdur. Ancak kolon rijitliğini etkileyen bir başka önemli faktör kolon uçlarındaki kirişlerin varlığı ve boyutlarıdır. Başka bir deyişle, kiriş süreksizliğinden kaynaklanan "Bağlantısız" kolonların rijitlikleri önemli oranda düşer ve deprem yüklemesinden aldıkları kesme kuvvetleri çok azalır. Önemli olan bu tür kolonların almadıkları kesme kuvvetlerini taşıyacak yeterli sayıda başka kolonların mevcut olmasıdır. Bu da yukarıda tanımlanan α ölçütlerinin sağlanmasına bağlıdır. Bu husus sayısal olarak Yapı Tip 3'ün deprem hesabında gösterilecektir. 8 katlı olan bu yapıya ait şematik kalıp planı ile şematik kesit, sırası ile, **Şekil 9** ve **10**'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Yapı Tip 3 şematik kalıp planı



Şekil 10: Yapı Tip 3 şematik kesiti

Y eksenine göre simetrik olan yapıya ait tipik kolon numaraları **Şekil 9** üzerinde gösterilmiş bulunmaktadır. Yapının kiriş kesitleri 25x50 cm^2 olarak alınmıştır. Kolon kesitlerinin ayrıntıları ilgili araştırma raporunda verilmiştir, **[9].** Yapının modellenmesi sırasında, bağlantısız kolonların 100 cm genişlikteki döşeme şeritleri (fiktif kirişler) ile diğer kolonlara bağlandıkları varsayılmıştır. Deprem hesabında kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir:

Çatı katı ağırlığı $W_ç$ = 1300 kN
Normal kat ağırlıkları W_n = 2000 kN
Etkin yer ivmesi katsayısı A_0 = 0.30 (2. derece deprem bölgesi)
Karakteristik zemin periyodu T_B = 0.40 (Z2 türü yerel zemin sınıfı)
Bina önem katsayısı I = 1 (Konut)
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R = 8 (Süneklik düzeyi yüksek).

Bu parametrelere göre yapılan deprem hesabı sonunda tipik kolonlar için elde edilen taban kesme kuvvetleri **Tablo 3**'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Kolon taban kesme kuvvetleri (kN)

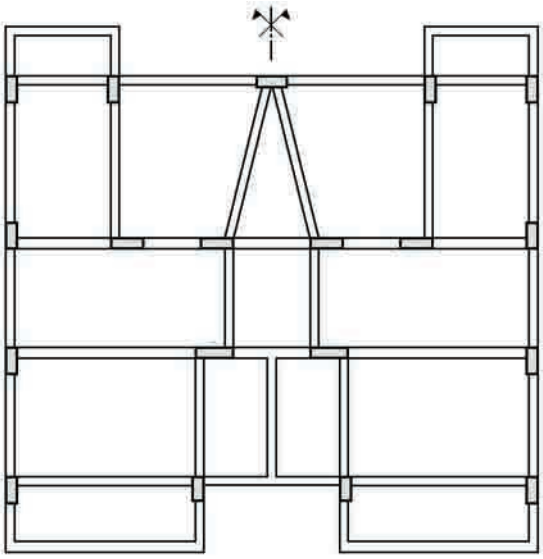
Kolon No.	x yönünde	y yönünde
1	6 *	14
2	15	107
3	46	5 *
4	14	70
5	135	16
6	141	15
7	14	70
8	129	23
9	7 *	41
10	18	106

Tablonun incelenmesinden, deprem yönüne paralel yöndeki boyutları nisbeten büyük olan bağlantılı kolonların (x yönünde 5, 6 ve 8 No.lu, y yönünde 2, 4, 7 ve 10 No.lu kolonlar) diğerlerine oranla çok daha fazla kesme kuvveti aldıkları, buna karşılık tabloda * ile işaretlenmiş olan bağlantısız kolonlardaki kesme kuvvetlerinin çok küçük mertebelerde oldukları görünmektedir. Bu kolonların yapının davranışında önemli bir etkilerinin olmadığı ve yeterli deprem güvenliğinin bulunduğu sonucuna varılabilir. Bu yapı için α katsayılarının

$$\alpha_x = \frac{15}{19} = 0.79 > 0.70, \qquad \alpha_y = \frac{18}{19} = 0{,}95 > 0.70$$

olduğu görülmektedir. Bu örnek için önerilen ölçüt ifadesinin güvenilir bir sonuç verdiği söylenebilir. Ancak belirtmek gerekir ki, ölçüt ifadesi daha çok sayıda örnek üzerinde test edilmeli ve özellikle Bal-Özdemir çalışmasında belirtildiği gibi, etkili fiktif kiriş genişlikleri ile döşeme-kolon birleşimlerinin kontrolu için ayrıntılı araştırmalar yapılmalıdır.

Öte yandan, yukarıda belirtildiği gibi, bazı belediyeler ile İMO şubelerindeki onay ve vize uygulamalarında bu yapı için uygulanması istenen kalıp planı **Şekil 11**'de gösterilmiştir.



Şekil 11: Vize ve onay işlemlerinde uygulanması istenen kalıp planı

Bu düzenlemenin mimari bakımdan sakıncaları bir yana, ortogonal yapının bir bölümünü non-ortogonal duruma dönüştürdüğü görülmektedir. Oysa yukarıda açıklandığı gibi, deprem güvenliği açısından sakıncalı olmayan böyle bir yapıda bu tür uygulamaların faydadan çok zarar getireceği açıktır. Bu tür onay ve vize taleplerinin sona erdirilmesi için deprem yönetmeliğinde gerekli maddeler bulunması uygun olacaktır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yatay doğrultudaki eleman (kiriş) süreksizlikleri ele alınıp irdelenmiş ve bazı öneriler geliştirilmesine çalışılmıştır. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Kiriş süreksizliği konusundaki kısıtlı sayıdaki çalışmalar gözden geçirilmiş ve özetlenmiştir.
2. Kiriş süreksizliği miktarının sınırlandırılması için bir ölçüt önerilmiştir.
3. Seçilen örnekler üzerinde önerilen ölçütün irdelemesi yapılmıştır.
4. Bazı belediyeler ile İMO şubelerindeki onay ve vize uygulamalarının pratikte geçerli olmadığı ve kiriş süreksizliği konusunda deprem yönetmeliğine madde(ler) eklenmesi gerektiği gösterilmiştir.
5. Bu konuda daha geniş kapsamlı araştırmalar yapılmasının gerektiği vurgulanmıştır.

6. KAYNAKLAR

[1] Earthquake Resistant Regulations - A World List, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, 1996.

[2] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.

[3] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Ağustos 1997.

[4] Bal, İ.E., ve Özdemir, Z., Çevre Çerçeve Kirişi Süreksizliğinin Yapı Deprem Davranışı Üzerindeki Etkileri, İMO İstanbul Bülten, Sayı: 87, 2006.

[5] ACI 352.1R-89, Recommendations for Design of slab-Column Connections in Monolithic RC Structures. ACI Structural Journal, Committee Report, pp. 675-696, 1989.

[6] FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, P.O. Box 10055, Hyattsville, U.S.A., 2000

[7] EC 8, European Standard, Design of Structures for Earthquake Resistance. prEN 1998 - 1, Brussels, Belgium, 2004.

[8] Erkan, M., Mücavir Alan Sınırları İçerisinde Zemin Özelliklerinin 12 Kasım Düzce Depremi Hasar Dağılımına ve Yapılaşma Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi, Düzce Belediyesi, 2003.

[9] Özmen, G., Çok Katlı Yapılarda Yatay ve Düşey Süreksizlikler, www.yapistatigi.itu.edu.tr/raporlar/raporlar.html, 2011.