

ÇEVRE ÇERÇEVE KİRİŞİ SÜREKSİZLİĞİNİN YAPI DEPREM DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ihsan Engin BAL

Università degli Studi di Pavia, European School
for Advanced Studies in Reduction of Seismic
Risk (Rose School), Pavia, Italy

Zuhal ÖZDEMİR

Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi
ve Deprem Araştırma Dairesi,
Deprem Mühendisliği Bölümü

Özet

Mimari çıkmalar Türkiye'deki binalarda en çok karşılaşılan özelliklerden biridir. Bu özellik binaların gerek kütle dağılımını etkileyerek ve gerekse bina üzerinde düzensizlik meydana getirerek binanın yük altındaki davranışını etkiler. Ancak üst katlardaki bu dışarı doğru çıkma sadece kirişlerle birlikte döşeme parçasının dışarı doğru çıkması şeklinde olduğundan ve çevre kolonları kapsama dışından, çevre kolonlar arasında kirişsiz bir döşeme parçası kalmaktadır. Bu durum kısmen veya tamamen dış cephe çerçeve veya çerçevelerinin aslında bir yönde kirişsiz döşeme olarak çalışmasına neden olmaktadır. Bu makalede, mimari çıkmalar nedeni ile oluşturulan çerçeve kirişi süreksizliği 12 örnek bina üzerinde incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu binaların 8'i 1998, kalan 4'ü ise 1975 Türk Deprem Yönetmeliği esaslarına göre tasarlanmış binalardır. Örnek bina-

lar gerek doğrusal ve gerekse doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiş, son olarak da çeşitli yönetmeliklere ait düzenlemeler ışığında çerçeve kirişi süreksizliği irdelenmiş ve tasarım mühendisleri için faydalı olabilecek sonuçlara ulaşılmıştır.

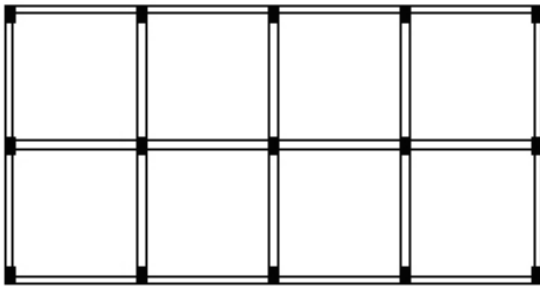
Anahtar kelimeler: çıkma, çerçeve kirişleri, çevre çerçeveler, çerçeve süreksizliği, deprem davranışı.

1. Giriş

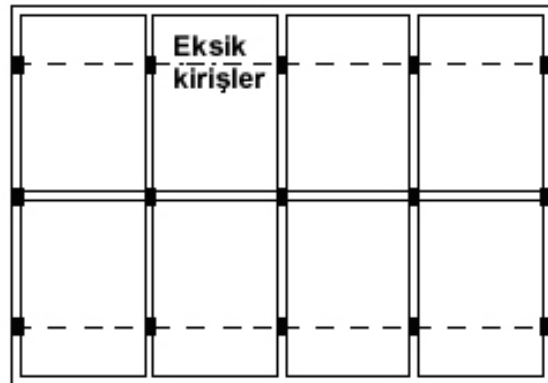
Türkiye'deki sıradan Türk tipi betonarme binalarda çıkmalar bina düzensizliklerinin en başta gelen sebeplerinden biridir. Bu çıkmalar tarihsel olarak süre gelen cumbalı ev kültürünün de bir devamı olduğundan ve İmar Kanunları tarafından da desteklendiğinden, terk edilmesi oldukça zor görünmektedir. Mimari çıkmaların yapı davranışı üzerindeki etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından derinlemesine ince-

lenmiştir. Ancak, bu mimari çıkmalardan ötürü kaynaklanan dolaylı ve fakat kimi zaman çıkmanın kendisinden daha tehlikeli bir başka fenomen, çevre çerçeve kirişi süreksizliği, henüz literatürde incelenmiş bir konu değildir. Bu makalede SAP 2000 paket programı kullanılarak çevre çerçeve kirişi eksikliğinin doğrusal hesaplamalar ışığında etkileri, modelleme teknikleri, yapı dinamik özelliklerinin değişimi, yapı sünekliğinin ve yapı toplam dayanımının değişimi 12 örnek bina üzerinde incelenmiştir.

Çevre çerçeve kirişi süreksizliği olarak adlandırılabilir fenomen kısaca yapı taşıyıcı sisteminde nispeten çok daha zayıf çerçeveler oluşturulması olarak açıklanabilir. Bu durumda esasen çerçevelerden bazıları kirişsiz döşeme çerçevesi (!) gibi çalışmakta iken geri kalanlar ise kirişli döşeme çerçevesi şeklinde çalışmaya devam etmektedir (**bkz.**



Zemin Kat Kalıp Planı



Üst Katlar Kalıp Planı

Şekil 1. Çevre çerçeve kirişi eksikliğinin bina planında yaptığı değişiklikler



Şekil 2. Gerçek binalardan zayıflatılmış çevre çerçeve örnekleri

Şekil 1 ve 2). Bazı durumlarda yapı tamamen kirişli döşemeye sahip bir yapı gibi analiz edilip inşa edilmesine rağmen, bir yönde kirişli diğer yönde ise kirişsiz döşeme davranışı bile sergileyebilir.

2. Çevre Çerçeve Kirişleri Olmayan Yapının Davranışı

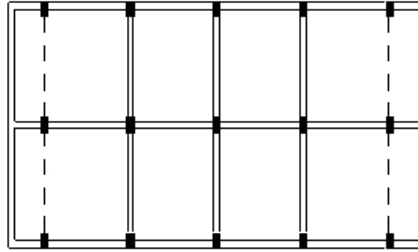
Aralarından kirişleri dışı ötelenerek döşeme parçası bırakılan kolonlar ve bu kolonların arasında kalan döşeme parçası, tahmini çok da kolay olmayan davranışlar sergilemektedirler. Yatay taşıyıcı sistemin doğası iki kolon arasındaki eksik kiriş talep etmekte olduğu, bu kirişin yerine konulan ince döşeme parçasının ise kiriş gibi davranma eğilimi gösterdiği başka çalışmalarda da zikredilmiştir (Bal ve Özdemir, 2006). Bu tip “kirişimsi” davranış, kısaca kolonlar arasındaki döşemenin kolonlara yakın bölgelerinde kayma gerilmelerinin olağanüstü artması, açıklık ortasında ise neredeyse yok olması şeklinde tarif edilebilir (bkz Şekil 3).

2.1. Matematik modelleme

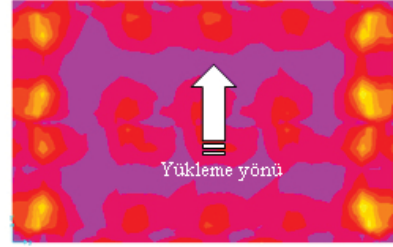
İçlerinde TS500’ün de bulunduğu çeşitli yönetmelikler tarafından kolonlar arasında kalan döşeme parçalarının yatık ve geniş eşdeğer kirişler şeklinde modellenmesine mü-

saade edilmiştir. Bu tip kirişsiz döşemeli yapıların hesabı için TS500

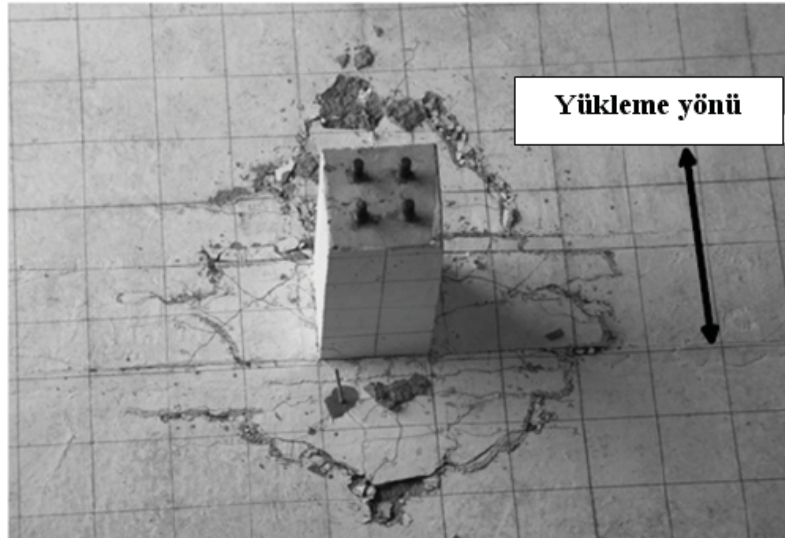
biri “çerçeve metodu” ötekisi ise “moment katsayıları metodu” isimli



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.(a). Örnek binanın 1. kat kalıp planı, (b) Örnek binanın döşeme-kolon birleşiminde depremden kaynaklanan kayma gerilmesi yığılması, (c) gerçekleştirilen bir test sonucunda dengelenmemiş momentlerden (unbalanced moments) kaynaklanan hasar (Han ve diğ., 2005)

iki metod önermektedir. Benzer şekilde ACI318 de “etkili kiriş genişliği” ve “eşdeğer çerçeve” isimli yöntemleri kullanıcılara önermektedir. Etkili kiriş genişliği metodu kolonlar arasındaki döşeme davranışını kolonlar arasına yerleştirilen eğilme elemanları ile temsil etmeyi amaçlamaktadır. Eşdeğer çerçeve yöntemi ise burulma etkisini de hesaba katabilmek için kolonlar arasında belirli oranda burulma da alan eğilme elemanlarını kullanmaktadır. Bu makalede kullanılan yöntem etkili kiriş genişliği yönteminin uyarlanmış halidir.

Döşeme bantlarının kiriş olarak modellenmesi için öncelikle bu temsili kirişlerin genişliklerinin saptanması gerekmektedir. Bu genişliğin tarif edilmesi için önerilen yöntemlerin hemen hepsi lineer kolon-döşeme birleşimi davranışı kabulüne dayanmaktadır. ACI 318’de çok daha geniş kiriş-kolon birleşimlerine izin verilmektedir ancak bu birleşimin sağlıklı olabilmesi için döşeme içerisinde oluşturulan gizli kirişin özel etriyelerle sarılması istenmektedir. Ancak bu makaleye konu olan sistemlerde kolonlar arasında kalan döşeme parçası, hiçbir özel donatısı bulunmayan sıradan döşemelerden müteşekkildir. Bu durumda döşemenin gerçekleştireceği kirişimsi davranışı modelde tarif edebilmek için gerek TS500 ve gerekse ACI 318 tarafından önerilen temsili kiriş genişliklerini kabul edip modeli buna göre kurmak yanlış olacaktır.

Düşey yükler altında döşeme bantlarının momentleri devam eden döşeme bantları tarafından karşılanır (balanced moments). Deprem gibi yatay yükler altında ise kirişlerin momentleri kolonlar tarafından karşılanır (unbalanced moments). Bu durum bilindiğinden, özellikle yatay yüklerin göz önüne alındığı durumlarda, kiriş genişliği kolon mesnet genişliği ve kiriş derinliği toplamı

ile sınırlandırılmıştır. Burada amaç kiriş donatısının kolon içinden geçmesi ve kolonla birlikte moment aktarabilen bütünlük bir sistem oluşturulmasıdır. (Paulay ve Priestley, 1992). Bu tip bir sınırlama TS 500, ABYYHY 1998 ve DBYBHY 2006’da da bulunmaktadır. Bu makalede kullanılan modellerde temsili kiriş genişliği olarak kolon mesnet boyu ve döşeme kalınlığının toplamı alınmıştır.

Çok katlı yapıların tasarımında ve modellenmesinde kullanılan en yaygın kabullerden biri de kat döşemesinin kendi düzlemi içerisinde neredeyse hiç şekil değiştirme yapmadığı, yani rijit diyafram olarak çalıştığıdır. Bu kabul analizleri oldukça kolaylaştırır çünkü tüm katın yatay yük altındaki davranışı tek bir “birincil” düğüm noktası ile tarif edilebilir, diğer noktalar ise “ikincil” düğüm noktası olarak atanır. Bu da çözümdeki denklem sayısını ve çözüm matrisinin büyüklüğünü azaltır. Bu kabul, döşemenin sağlıklı kiriş ve çerçeve sistemine sahip olduğu ve döşeme ile düşey taşıyıcılar arasındaki entegrasyonun tam olduğu durumlarda oldukça doğru sonuçlar vermektedir. Ancak, düşey taşıyıcı sistem ile çıplak kirişsiz döşeme parçasının arasındaki entegrasyon çok az bir yatay yüklemeye altında dahi kaybolmakta ve döşeme, yük aktarımındaki etkinliğini kısmen kaybetmektedir.

3. Örnek Binalar ve Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu makalede, gerek çevre çerçeve kirişi eksikliğinin yapı davranışına etkisini göstermek ve gerekse yapılan diyafram kabulleri ve düşey taşıyıcı sistem-döşeme entegrasyonu kabullerini irdelemek amacı ile 12 adet örnek bina üzerinde analizler yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Binaların 4’ü 1975 Yönetmeliği’ne göre tasarlanmış gerçek binalardır. *Eski-1* ve *Eski-2* kodlu bi-

nalar, 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi’nde orta hasar almış, *Eski-3* kodlu bina ise adı geçen depremde tamamen yıkılmıştır. *Eski-4* kodlu bina esasen çerçeve kirişi eksikliğinin yumuşak kat olması ve olmaması durumlarındaki farkını göstermek amacı ile *Eski-3* kodlu binanın sonradan yumuşak katı normal kata çevrilmiş halidir. (**bkz. Şekil 4**).

Örnek binalar 5 farklı durum için analiz edilmişlerdir. Bu analiz tipleri A’dan E’ye kadar alfabetik olarak isimlendirilmişlerdir.

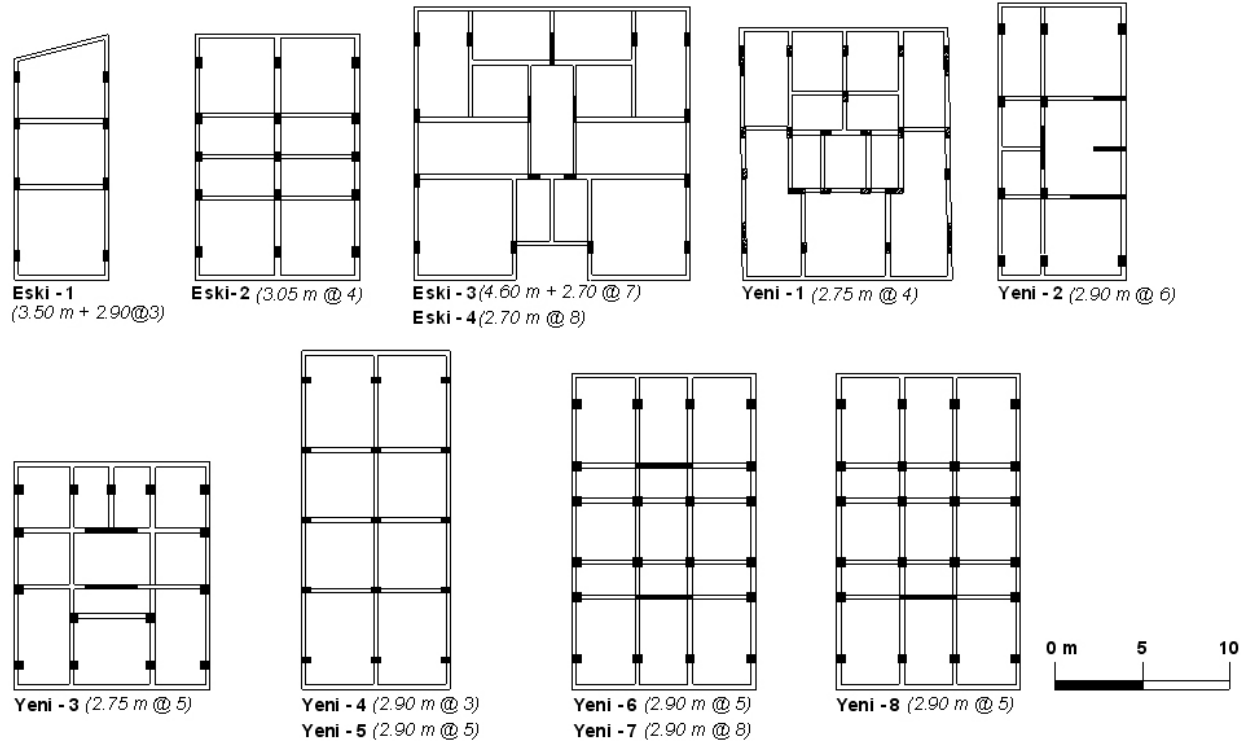
Tip A analizde döşeme modele dahil edilmemiş, kat seviyesindeki bütün noktalar seçilerek rijit diyafram kabulüne göre birbirine bağlanmıştır.

Tip B analizde ise döşeme esnek diyafram kabulüne göre yüklenmiştir. Bu analiz tipinde döşeme parçaları eşdeğer kirişler şeklinde modele dahil edilmiş, kiriş genişliği olarak da, yukarıda da irdelendiği gibi, kolon mesnet yüz genişliği ile döşeme kalınlığının toplamı kabul edilmiştir.

Tip C analizlerde eksik kirişler yerine binanın diğer kirişleri ile aynı boyutlarda kirişler yerleştirilmiştir.

Tip D analizlerinde ise yine kesik kirişler tamamlanmış, ancak bu sefer dik yerine yatık kiriş kesitleri kullanılmıştır ki bugün pratikte bir çok mühendis tarafından da uygulanan bir çözümdür. Bu yatık kirişlerin derinliği en az döşeme kalınlığının üç katı olmak zorundadır.

Son olarak, *Tip E* analizde döşeme kabuk elemanlarla modele dahil edilmiş ve yatay yüklemeler de yine kolon başlarına yapılarak, çevre çerçeve kirişinin eksikliğinde kolon başları ile döşeme birleşim noktalarında ne tip gerilme yığılmaları oluştuğu kontrol edilmiştir. Bilindiği gibi 1 boyutlu çubuk elemanlar ile 2



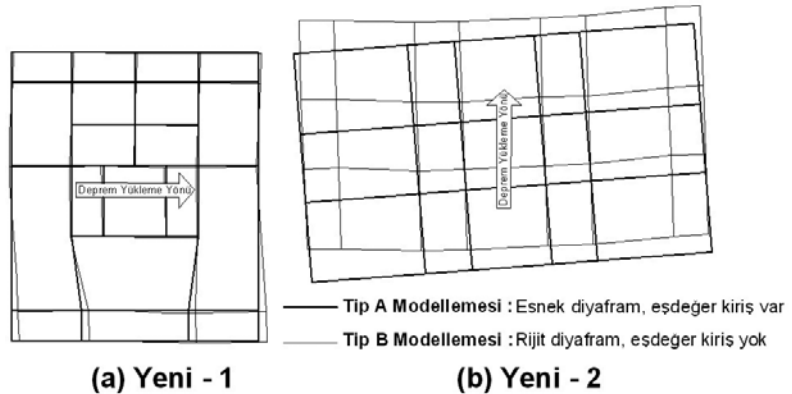
Şekil 4. Zemin Kat Kalıp Planları ve Kat Yüksekliği Bilgileri

boyutlu kabuk elemanların birlikte modellenmesi esnasında, çubuk elemanın uç kısmı tek bir düğüm noktası ile kabuk elemanlara bağlandığından, olduğundan daha fazla bir gerilme yığılması ile karşılaşmak mümkündür. Örneğin, 40x40 cm boyutlarındaki bir kolondan döşemeye aktarılan yükler veya döşemeden bu kolona geçen yükler, modelde tek bir düğüm noktasından döşemeye geçiyormuş gibi (veya tersi) çözülecektir. Bu tip bir nümerik problemin bu makaledeki binalar ve yüklemeler için ne ölçüde yanlışlığa sebebiyet vereceğinin anlaşılması adına, binalardan biri (Yeni-2 kodlu bina) tamamen 3 boyutlu, 8 düğüm noktalı, her bir düğüm noktasında 6 serbestliği bulunan elemanlarla modellenmiş ve bu kontrol modelinden elde edilen gerilmeler ile aynı yapının *Tip E* analizlerinden elde edilen gerilme değerleri karşılaştırılarak *Tip E* analizlerinin kalibrasyonu yapılmıştır.

3.1. Elastik Şekil Değiştirmeler

Modelleme tarzına bağlı olarak, A ve B tipi model sonuçlarında, aynı yüklemeler altında gayet farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. (Şekil 5). Yatay deprem yüklemeleri Türk Deprem Yönetmeliği-1998'e göre yapılmıştır. Bu yüklemeler altında, yapının çevre çerçeve kılışları eksik olan kısımlarının diğer kısımlarına nazaran daha fazla yatay yerdeğiştirme yapma eğiliminde oldukları görülmüştür.

Elbette kat diyaframının gerçek davranışı 4 düğüm noktalı kabuk elemanlar modellenerek de elde edilebilir. Bu durumda kat şekil değiştirmelerini rijit diyafram kabulü varken ve yokken bulunan şekil değiştirmeler bazında karşılaştırmak yerine, direk olarak analiz sonuçlarının gerçeği yansıttığı varsayımıyla analizlere devam edilebilir. Ancak, belirlenen davranış katsayısı ile azaltılmış yatay yükler ve düşey yükler altında (tasarım yükleri) döşemenin elastik



Şekil 5. Döşeme seviyesinde binanın farklı modellemeler için farklı hareketi

sınırlar içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir. Bu makalede bahsi geçen tasarım yükleri altında döşemenin durumunu kontrol edebilmek için 4 farklı yol izlenmiştir. Detayları aşağıda açıklanan bu kontroller ve elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır. Bu kontrollerin sonuçları, çevre çerçeve kirişlerinin eksikliği durumunda döşemenin tasarım yükleri altında her zaman istenilen entegrasyon koşullarını sağlayamadığını ispatlamaktadır. Bu durumda, çatlamamış 4 düğüm noktalı kabuk elemanlar ile yapılacak ve tasarım yükleri ile yüklenecek modeller dahi gerçeği yansıtmayacaktır, çünkü yapının yerel olarak belli kısımları, istenilen elastik sınırlar içerisinde kalamayacak, Türk Deprem Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde de sıkça vurgu yapılan

“yatay yüklerin döşemeden düşey taşıyıcı sisteme güvenle aktarıldığı” varsayımı doğruluğunu zaman zaman kaybedebilecektir.

3.2. İzin Verilen Döşeme Davranışı

3.2.1. ACI 352 Yaklaşımı

Türkiye'deki bina stoğunda sıklıkla gözlenen çevre çerçeve kirişi eksikliği düzensizliğine literatürdeki en yakın kaynak, ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Odası (ASCE) tarafından ortaklaşa olarak ilk defa 1989 yılında yayınlanan ve en son olarak 2004 yılında yeniden gözden geçirilen “ACI 352: Yerinde Dökme Betonarme Binalarda Döşeme-Kolon Birleşimlerinin Tasarımına İlişkin Tavsiyeler” isimli komite raporudur (ACI 352, 2004). Bu komite raporuna göre, yatay kiriş bulunduran dö-

şeme-kolon birleşimlerinde birleşimin kesme dayanımı aşağıdaki **4.3.1.(a)** ve **4.3.1.(b)**'de verilen dayanım değerlerinden en küçüğü olarak alınır:

Madde 4.3.1.(a) ‘d’ efektif döşeme kalınlığı olmak üzere, tüm döşeme genişliği boyunca uzanan ve kolon-döşeme birleşiminden ‘d’ kadar uzaklıktaki, kirişe paralel kritik kesitin bir kiriş kesiti gibi alınması ile hesaplanan kesme dayanımı.

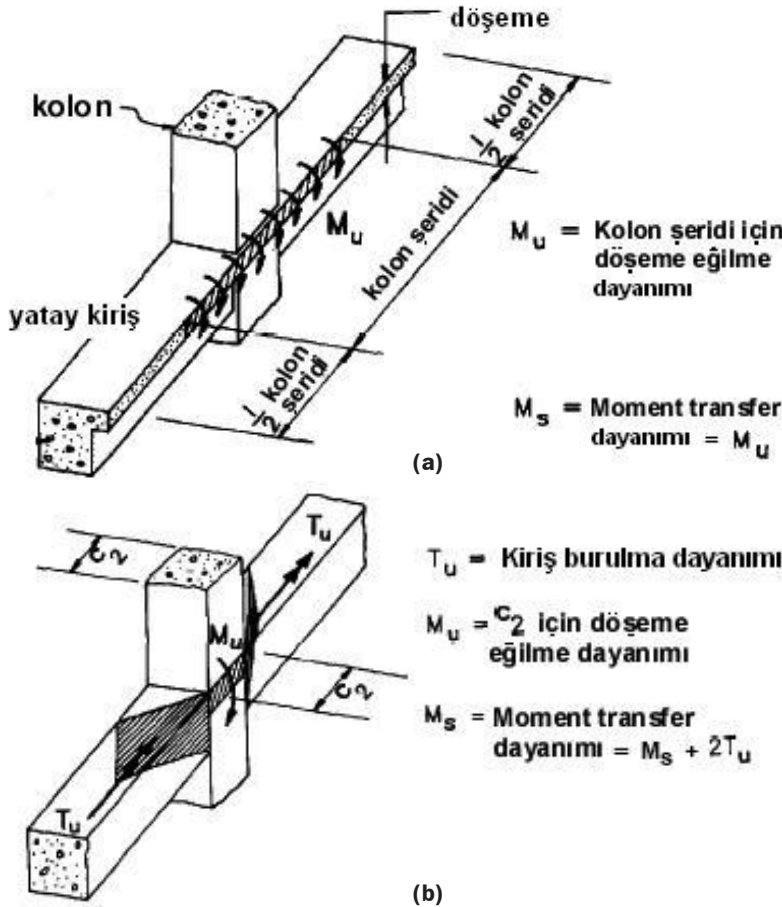
Madde 4.3.1.(b) Yatay kirişlerin kesme dayanımlarının toplamından elde edilen kesme dayanımı⁽¹⁾. “ d_{kir} ” etkili kiriş derinliği olmak üzere, yatay kirişlerin kayma dayanımları, mesnetten d_{kir} kadar uzaklıkta, kayma ve burulmanın birbirleri ile etkileşimleri göz önüne alınarak hesaplanacaktır.

Benzer şekilde, eğilme dayanımı da aşağıda açıklanan dayanım değerlerinden en küçüğünü almaktadır:

Madde 4.3.2.(a) Döşemenin kolon yüzünde etkili bant genişliği⁽²⁾ boyunca sahip olduğu tasarım eğilme dayanımı. (**Şekil 6a**).

Madde 4.3.2.(b) Kolon yüzünde kolon genişliği boyundaki döşeme parçası ile yatay kirişlerin burulma dayanımlarının toplamı. (**Şekil 6b**).

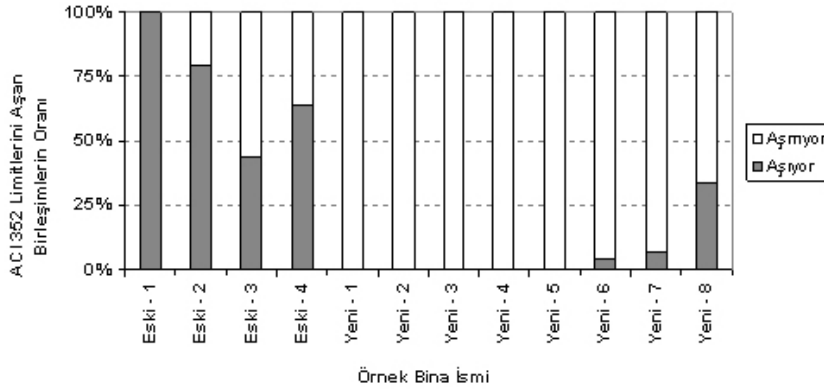
Çevre çerçeve kirişinin eksikliğinden kaynaklanan çerçeve düzensizliğinin bulunduğu tüm örnek binalarda ACI 352 kontrolleri yapılarak sonuçlar



Şekil 6.(a). Kolon şeridi kapasitesiyle sınırlandırılmış dayanım ve **(b) Bileşik eğilme/burulma kapasiteleri ile sınırlandırılmış dayanım**

(1) Döşeme bandı ile yatay kirişlerin kesme dayanımlarının birbirleri ile eşzamanlı olarak değerlendirilemeyeceği varsayımı ile Komite tarafından burada döşeme kesme dayanımının kiriş kesme dayanımlarına eklenmesine gerek olmadığı kanaatine varılmıştır.

(2) Burada bahsi geçen bant genişliği, TS500'de kirişsiz döşemelerin hesabı için önerilen yöntemlerde döşeme şeritlerinin modellenmesi için verilen bant genişliği ile aynı değildir.



Şekil 7. Döşeme-kolon birleşimlerinin ACI 352 eğilme sınırlarına göre kontrolü

Şekil 7’de özetlenmiştir. Özellikle üçlü perde duvarlarının bulunduğu ve 1998 Türk Deprem Yönetmeliği’ne göre tasarlanmış son üç örnek bina hariç, yine aynı Yönetmeliğe göre tasarlanan tüm yeni binalarda ACI 352 şartları sağlanmıştır. Ancak 1998’den daha eski yönetmeliklere göre tasarlanan binalarda bu durumdan bahsetmek imkansızdır. Bu arada özellikle belirtmek gerekir ki, ACI 352’nin kesme güvenliği kontrolleri örnek binalar tarafından kolaylıkla sağlanmıştır.

3.2.2. FEMA 356 Yaklaşımı

FEMA 356’da döşemelerin can güvenliği performans seviyesinde göstermeleri gereken performans, döşeme elemanlarında oluşacak çatlakların yaklaşık 6 mm’yi geçmemesi şeklinde tarif edilmiştir. Bu çatlak genişliği FEMA dökümanında açık ve net bir şekilde ifade edilmesine rağmen, analitik olarak bu tip bir çatlak genişliği ile hareket etmek ve bu çatlak genişliğini de hesaplamak oldukça zor ve karmaşıktır. Bu makale kapsamında, kolonlar arasında kabul edilen döşeme bantlarında 6 mm veya daha az çatlak oluşturması beklenen moment değerleri bulunmuş ve bu değerler analiz sonuçları ile karşılaştırılarak can güvenliği performans seviyesi için tüm örnek binalardaki bütün döşeme-kolon birleşimleri kontrol edilmiş, sonuçlar Şekil 8’de özetlenmiştir.

Kontrol edilen kesitler çift donatılı giriş esasına göre hesaplanan, 10-13 cm derinliğinde döşeme bantlarıdır. Bu tip sığ kesitlerde doğal olarak basınç bölgesi de sınırlı olmaktadır. Yüksek kalite çelikler düşünüldüğünde (özellikle yeni tip binalarda kullanılan S420 kalitesindeki çelikler gibi), sığ bir kesitte basınç bölgesi kimi zaman yüksek çekme çeliği kuvvetlerini dengeleyemekte ve çatlakların da 6 mm veya üstüne çıkması oldukça kolaylaşmaktadır. Bu yüzden de FEMA 356 kriterinin özellikle yeni binalarda sıklıkla aşılması dikkat çekmektedir.

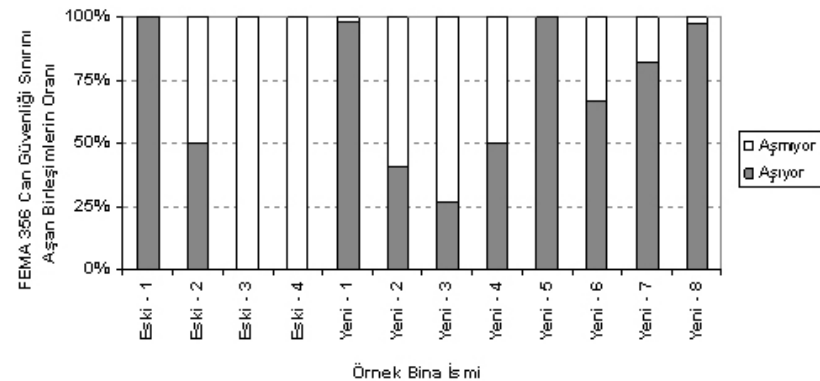
3.2.3. Limit Durum Yaklaşımı

Servis Limit Durumu düşünüldüğünde döşemelerden oluşan diyaframın temel olarak hiç hasar almadan depremi atlattığı beklenmektedir. Genel olarak döşemelerden oluşturulan diyaframların Sınır Limit

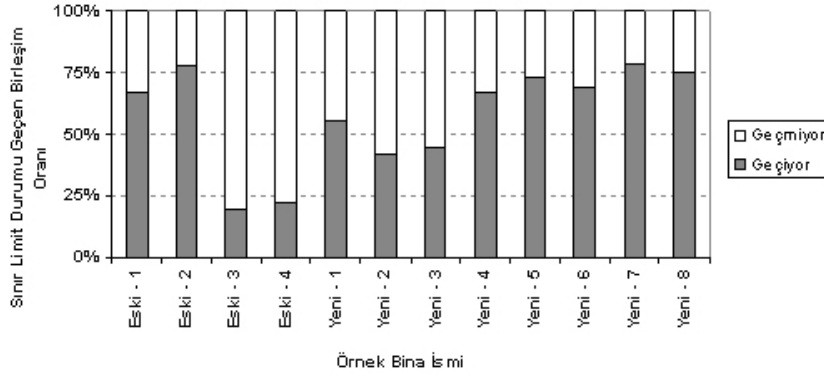
Durumda ise elastik bölgede kalmaları tavsiye edilir. Sınır Limit Durum aşıldığında elemanların dayanımları aşılır ve bazı kalıcı şekil değişimleri oluşur (Bull, 2003). Bu makale kapsamında, özellikle döşeme-kolon birleşimleri etrafındaki döşemelerin durumlarını daha iyi anlayabilmek adına Tip E analizler incelenmiş, döşeme elemanlarının elastik limitleri aşıp aşmadığı Türk yönetmeliklerine göre kontrol edilmiştir. Hesaplarda malzeme karakteristik dayanımları kullanılmış ve TS500 yük kombinasyonları uygulanmıştır. Döşeme elemanlarının sınır limit durumları ile analiz sonuçları karşılaştırılmış, sınır durumu aşarak kalıcı deformasyon seviyesine ulaşan ve ulaşmayan döşeme-kolon birleşimleri Şekil 9’da özetlenmiştir.

3.2.4. Eurocode 8 Yaklaşımı

Eurocode 8 (EC8, 2004), aynen Türk Deprem Yönetmeliği’nde olduğu gibi, kat bazında döşemeler tarafından sergilenmesi beklenen diyaframatik davranışın yapının toptan deprem davranışı adına oldukça önemli olduğuna vurgu yapmakta, döşemeleri, yatay yükleri toplayıp düşey taşıyıcılara aktaran elemanlar olarak algılamaktadır. Bir döşeme sisteminin Eurocode 8 sınırları içerisinde rijit diyafram olarak kabul edilebilmesi için bina bir kere de döşemenin kendi rijitliği alınarak modellenmeli (genellikle döşemeyi



Şekil 8. Can Güvenliği performans seviyesine göre döşeme-kolon birleşimlerinde performans değerlendirmesi (FEMA 356)

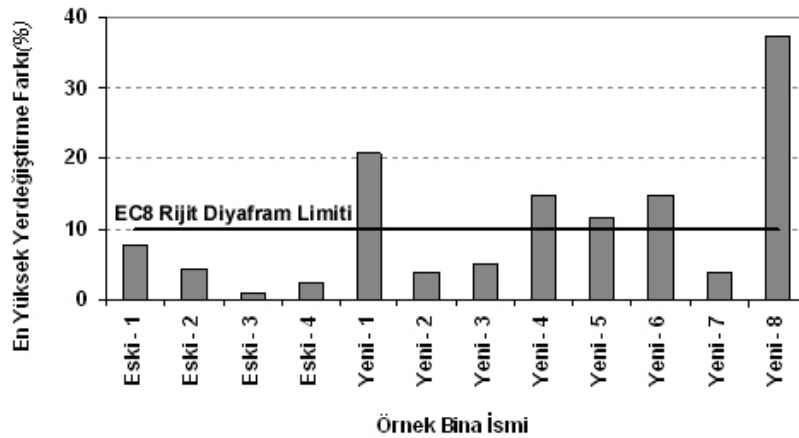


Şekil 9. Sınır limit durumu esasına göre döşeme-kolon birleşimlerinde performans değerlendirilmesi

4 düğüm noktalı dörtgen elemanlarla modelleyerek ve esnek diyafram çözümü yapılmalıdır. Bu şekilde yapılacak esnek diyafram çözümünden elde edilecek yer değiştirme değerleri, binanın hiçbir noktasında, rijit diyafram kabulü ile yapılan çözümden elde edilen yer değiştirmelerden % 10'dan daha farklı olmayacaktır. Bu makalede araştırılan konu tam olarak rijit diyafram problemi olmasa da, döşeme-kolon birleşim bölgelerinin güvenliğinin sağlanması amacıyla binanın toptan tepkisinin değerlendirilmesi yolu ile de varılması bir açıdan mümkün olabilir. Bu yüzden de bu makale kapsamında kullanılan 12 örnek binanın tamamı Eurocode 8 kriterlerine göre değerlendirilmiş ve sonuçlar **Şekil 10**'da özetlenmiştir.

Kat içerisindeki yer değiştirmeler,

rijit diyafram tarafından sisteme etkilenen bağımlılıklar (*birincil ve ikincil düğüm noktaları*) sebebi ile homojenleştirilmektedir. Ancak, diğerlerine nazan çok daha zayıf olan bir çerçevenin, yine diğerlerine nazaran daha fazla olması beklenen yer değiştirmesi, bu kabulü kimi zaman kullanılamaz kılmaktadır. **Şekil 5(a)**'da görülen Yeni-1 etiketli binanın döşeme hareketinde, binanın ortasında bulunan perde duvarları, dış çeperlerde zaten zayıflatılmış bulunan çerçevelerin farklı hareketine sebebiyet vermektedir. Yine **Şekil 5(b)**'de verilen farklı döşeme davranışında da yazarlar tarafından binanın bir tarafında kasıtlı olarak perde duvar vasıtası ile rijitlik yığılması olması sağlanmış, böylece binada burulmaya sebebiyet verilecek zayıf çerçevenin güçlüye oranla



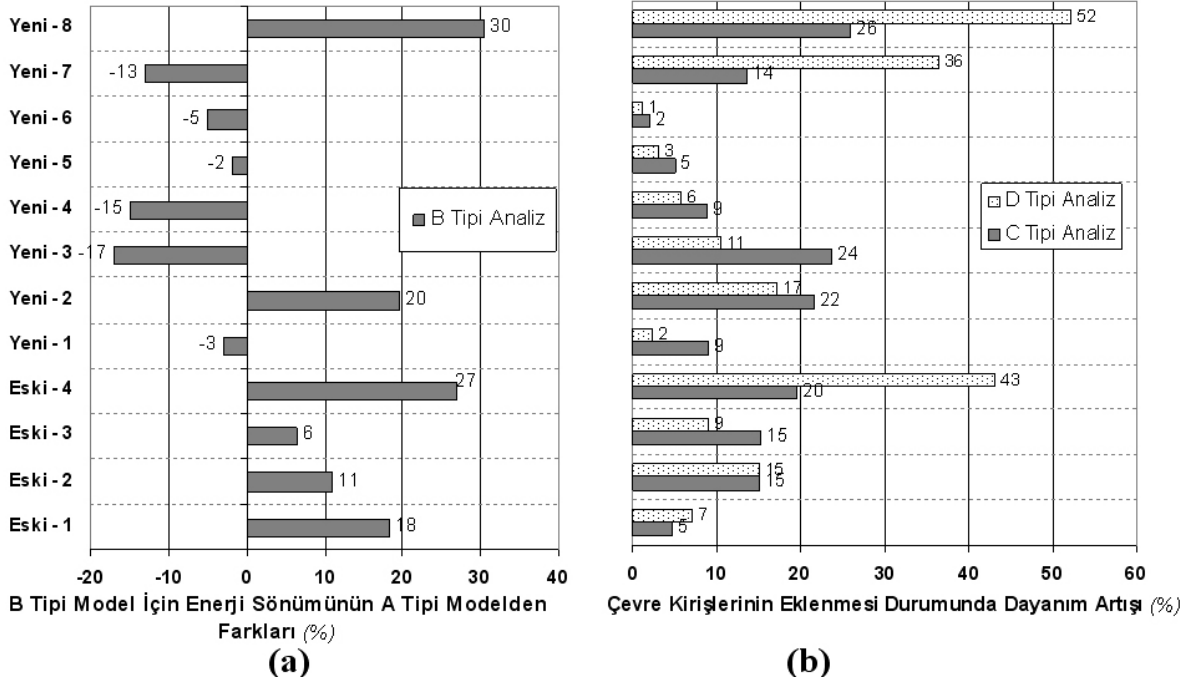
Şekil 10. A ve B tipi modellerde kirişsiz çevre çerçevelerin birbirlerinden farklı hareketlerinin EuroCode-8 ile karşılaştırılması

daha da fazla yer değiştirme yapması istenmiştir. **Şekil 10**'da da görüldüğü üzere, Yeni-1 ve Yeni-8 etiketli bu iki bina, Eurocode 8 tarafından verilen rijit diyafram kabulü şartını sağlamamaktadır. Aynı oranlarda olmasa bile, yine 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanan Yeni-4, Yeni-5 ve Yeni-6 numaralı binaların da belirtilen Eurocode 8 sınırını bir miktar aştıkları gözlemlenmektedir.

3.3. Linear Olmayan Davranış

A, B, C ve D tipi modellemeler için ayrıca 48 adet itme (push-over) analizi de gerçekleştirilmiş, dayanım, süneklik ve enerji sönüm kapasitesi parametreleri her bir modelleme için **Şekil 11**'de özetlenmiştir.

2 ve 8 numaralı binalar hariç, 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmış tüm yeni binalarda yük - tepe yer değiştirmesi grafikleri A (alışlagelmiş rijit diyafram kabulü ile yapılan analiz, çevre çerçeve döşeme bantları modellenmeden) ve B (esnek diyafram kabulü, çevre çerçeve döşeme bantları modellenerek) tipi modellerde bir noktaya kadar aynı ilerlemektedir. Belirli bir noktadan sonra ise B tipi analiz daha az bir süneklik gösterecek şekilde göçmeye ulaşmaktadır. Yani bir başka deyişle, alışlagelmiş analiz örnek yapıların süneklik değerlerini olduğundan daha fazla göstermektedir. Örnek yapıların enerji sönüm kapasiteleri ise itme analizlerinden elde edilen taban kesme kuvveti - tepe yer değiştirmesi grafiklerinin altında kalan alandan hesaplanmıştır. Eğrilerde boşaltma eğimi, yükleme eğimi ile aynı kabul edilmiştir. Sonuçlar **Şekil 11(a)**'da görülebilir. Eski binalarda kuvvetli kolon - zayıf kiriş şeklinde bir kapasite tasarımına uyulmadığından binanın mevcut güçlü kirişlerini taklit ederek modellemelerde zayıf çerçevelere eklenen kirişler eski örnek binalarda önemli süneklik düşüşleri-



Şekil 11. Enerji Sönümlenmesi ve Dayanım değerlerinin B, C ve D tipi modellemelerde A tipi modellemeden farkı

ne neden olmuştur. Yeni binalarda ise binanın mevcut kirişleri zaten kolonlardan daha zayıf olmak zorunda olduğundan, bu zayıf kirişlerden birkaç adet daha çevre çerçevelere eklemek, yapı sünekliğini çok fazla değiştirmemektedir.

Ayrıca, **Şekil 11(b)**'de de özetlendiği üzere, örnek binalarda dayanım artışları da irdelenmiştir. Yumuşak katı olmayan binalarda yüksek dayanım artışı gözlemlenmiştir. Bu durum, yapının tüm katlarının orantılı olarak yer değiştirmesi, yani yer değiştirmelerin yumuşak bir katta toplanmaması durumunda, özellikle üst katlardaki çerçevelerin rijitliğine ve dolayısıyla bu çerçevelerdeki kirişlere daha çok ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Eski-3 ve Eski-4 isimli örnek binalar, ilkinde bulunmaması dışında tamamen aynı binalardır. Yumuşak kat olmaması durumunda Eski-4 isimli örnek binada ortaya çıkan dayanım artışı oranı, yumuşak katı olan Eski-3 isimli binada ortaya çıkan dayanım artışı oranından 5 kat daha fazladır.

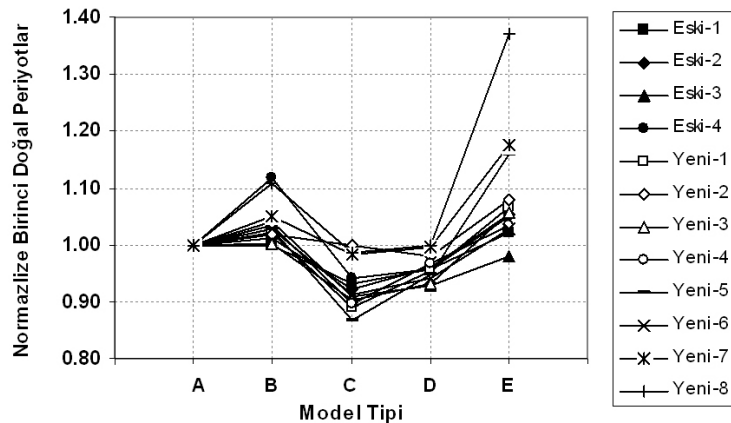
Bir diğer ilginç gözlem de, 4 kat ve üzeri, perde duvar bulunduran ve özellikle burulma düzensizliğine sahip binalarda dayanım artışının oldukça yüksek olmasıdır.

3.4. Dinamik Davranış

Beş farklı modellemedeki rijitlik değişimini görebilmek amacı ile örnek yapılarda özdeğer analizleri gerçekleştirilmiş ve yapılara ait birinci mod salınım periyotları karşılaştırılmıştır. Tip B analizleri (*esnek diyafram ve döşeme şeritleri*) ve Tip E analizleri (*döşemelerin kabuk ele-*

manlar olarak tarif edilmesi durumu) yapıların birinci doğal titreşim periyotlarında artışa neden olmuştur. Bir başka deyişle, alışlagelmış A tipi modellemeye nazaran bu iki modelleme tipinde yapı daha esnek (veya yumuşak) bir hal almaktadır. (**bkz. Şekil 12**).

Buradan elde edilecek bir başka yorum da, diğer araştırmacılarla da uyumlu şekilde (Tena-Colunga ve Abrams, 1996), rijit diyafram kabulünün modellemede daha rijit bir davranışa sebebiyet verdiğidir.



Şekil 12. Birinci doğal titreşim periyodunun değişimi

4. Sonuç ve Öneriler

Lizin verilen döşeme davranışı dikkate alındığında, mevcut literatürde bulunan birbirinden tamamen farklı 4 yönleme göre yapılan kontrollerde, gerek mevcut ve gerekse yeni tasarlanan binaların kısmen veya tamamen güvenlik kriterlerini sağlamadıkları saptanmıştır. Özellikle perde duvarları bulunan, burulma düzensizliğine sahip 4'den daha çok katlı ve yumuşak katı bulunmayan binalarda mevcut kriterlerle uyumsuzluk en yüksek seviyeye çıkmaktadır. Bu durumdan hareketle yazarlar tasarım mühendislerine, kolon-döşeme birleşimlerinin güvenliğini tahkik etmeyi tavsiye etmektedir. Örnek yapıların dinamik özellikleri göz önüne alındığında, alışılmadık rijit diyafram kabulü yapılan ve çevre kolonları arasında kalan döşeme parçalarının hiçbir şekilde modele dahil edilmediği hesaplamalarda bulunan periyot değerleri, gerçeği daha çok yansıttığı varsayılan B ve E tipi analizlerde bulunan periyot değerlerine nazaran genellikle daha düşük çıkmıştır. B ve E tipi analizlerde daha fazla yatay eleman bulunması nedeni ile bir yatay rijitlik artışı beklenirken, döşemeyi rijit olarak kabul etmenin daha fazla bir rijitlik artışına sebebiyet verdiği sonucuna varılmıştır ki bu sonuç diğer başka araştırmacılar tarafından da daha önce doğrulanmıştır.

Yapılan lineer olmayan analiz so-

nuçlarına göre, 1998 yılından önceki Yönetmeliklere göre tasarlanan mevcut binalarda çevre çerçeve kirişi eksikliğinin bina dayanımını % 4 ile % 43 arasında azalttığı görülmüştür. 1998 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanan binalarda ise çevre çerçeve kirişlerinin eksikliğinden kaynaklanan dayanım artışı %1 ile % 52 arasında değişmekte, daha düzensiz binalarda daha yüksek bir dayanım azalması gözlemlenmektedir. Ancak yapı sünekliği dikkate alındığında eski ve yeni tip binalar arasındaki farklar belirginleşmektedir. Eski binalarda kuvvetli kolon-zayıf giriş şeklinde bir kapasite tasarımına uyulmadığından binanın mevcut güçlü girişlerini taklit ederek modellemelerde zayıf çerçevelere eklenen girişler eski örnek binalarda önemli süneklik düşüşlerine neden olmuştur. Yeni binalarda ise binanın mevcut girişleri zaten kolonlardan daha zayıf olmak zorunda olduğundan, bu zayıf girişlerden birkaç adet daha çevre çerçevelere eklemek, yapı sünekliğini çok fazla değiştirmemektedir. Dolayısı ile yeni tasarlanacak binalarda çevre çerçevelerdeki girişleri yerlerinden ötelemekten ait oldukları yerde, yani çevre kolonları arasında bırakmanın, sünekliği düşürmeden dayanımı artırma gibi oldukça avantajlı bir yönü vardır.

1998 ve 2006 tarihli yeni nesil Türk Deprem Yönetmelikleri döşe-

me ve düşey taşıyıcı sistem arasındaki entegrasyonun sağlanmasının gerekliliği konusunda oldukça açık hükümler içermesine rağmen, yukarıda tarif edilen fenomene değinilmemiştir. Yönetmelik yazma tekniği göz önüne alındığında, yönetmeliklerin her bir konuya has detay açıklamalar vermesi ve her olası durumu kapsamaması beklenemez. Yine yönetmelikler, sadece güvenli tasarımın gerçekleştirilmesini sağlamakla yükümlüdür ve tasarıma direk müdahale etmeleri de doğru değildir. Bu iki dayanak noktasından hareketle yazarlar, Türk Deprem Yönetmeliği'nde bu tip bir düzensizliğin, tasarım mühendislerine kolon-döşeme birleşimlerini kontrol etmeyi zorunlu kılan bir yöntemin önerilmesi ile düzeletilebileceği kanaatinde oldukları. Bu yöntem için ACI 352 yaklaşımı, ancak farklı bir "etkili giriş genişliği" kabulü ile kullanılabilir. Yazarların, Türkiye'deki bu tarz kolon-döşeme birleşimleri için bir etikili giriş genişliği önermek adına yaptıkları çalışmalar halen devam etmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, böylesi bir çalışmanın fikir altyapısını sağlayan İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Teknik Komisyon üyelerine, ayrıca pratik mühendislik ve teknik destek konusundaki yardımlarından ötürü **İnş. Müh. Nusret SUNA** ve **İnş. Müh. Ebru SIR**'a teşekkürlerini sunar.

Referanslar

- ACI 318-05 (2005) Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, USA.
- ACI 352.1R-89 (1989) Recommendations for Design of slab-Column Connections in Monolithic RC Structures. ACI Structural Journal, Committee Report, pp. 675-696.
- Bal, İ.E. ve Özdemir, Z. (2006), The Adverse Effects of Perimeter Frame Discontinuity on Earthquake Response of RC Buildings, Seventh International Congress on Advances in Civil Engineering, October 11-13, 2006, Yıldız Technical University, Istanbul,

- Turkey, paper no: 0682.
- Bull, D. K. (2004) Understanding the Complexities of Designing Diaphragms in Buildings for Earthquakes. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 37, No. 2, pp. 70-88.
- EC 8 (2004) European Standard, Design of Structures for earthquake Resistance. prEN 1998 - 1, Brussels, Belgium.
- Hwang, S. J. ve J. P. Moehle (2000) Models for Laterally Loaded Slab-Column Frames. ACI Structural Journal, Vol.97, No. 2, 345-352.

- Paulay, T, and M. J. N. Priestley (1992) Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- TDY 98 (1998) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Tena-Colunga, A. ve D. P. Abrams (1996) Seismic Behavior of Structures with Flexible Diaphragms. Journal of Structural Engineering, Vol.122 No. 4, pp. 439-445.
- TS 500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.