

## AZ KATLI, DÜZENLİ VE YERİNDE DÖKÜLMÜŞ BETONARME BİNALAR İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ DEPREM TASARIMI KURALLARI

A. İlki<sup>1</sup>, K. Orakçal<sup>2</sup>, M. Cömert<sup>3</sup> ve P. Gülkan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Prof. Dr., İnşaat Fakültesi, İTÜ, Ayazağa, İstanbul

<sup>2</sup>Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul

<sup>3</sup>Araş. Gör., İnşaat Fakültesi, İTÜ, Ayazağa, İstanbul

<sup>4</sup>Prof. Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çankaya Üniversitesi, Ankara

Email: polatgukan@cankaya.edu.tr

### ÖZET:

Deprem mühendisliği alanındaki gelişmelerin tabii bir sonucu olarak araştırma-geliştirme faaliyetinden öğrenilenler hızla pratiğe aktarılmaktadır. Depreme dayanıklı bina tasarımı ile şartname veya yönetmelik hükümleri bundan bir nesil önce en fazla 100-150 sayfalık metinlere sığmaktayken, artık bu hacmin 4-5 misline varan dokümanlar neredeyse rutin hale gelmiştir. Hızlı ilerlemenin ve değişimin doğurduğu sonuçlardan birisi de sıradan binaların dahi görünürde karmaşık hükümlere uyma zorluğunun ortaya çıkmasıdır. Halbuki inşaat mühendisliği pratiğinin pek önemli bir kısmı gündelik uygulamalarda depreme karşı dayanımın temel gereklerini sağladığı takdirde yeterli performansı göstermesi garantili olacak binalardır. Temel gereklerin başında binanın herhangi bir yatay kesitindeki taşıyıcı sistem elemanlarının yeterli kesme dayanımına sahip olması, katlar arası yerdeğistirmelerin hasarı aşırıya kaçırılmayacak sınırlar içinde kaldığının kontrol edilmesi ve göçme mekanizmasının hiçbir aşamasında stabiliteyi tehlikeye sokmayacak şekilde boyutlandırma ve detaylandırmanın gerçekleştirilmesidir. Temel prensiplerin, özellikle düzenli taşıyıcı sisteme sahip olan binalarda hayata geçirilmesi çetrefilli hesapları gerektiren hususlar değildir. Kontrol ve denetim eksikliğinden dolayı proje hatalarının ve imalat kusurlarının sık ortaya çıkabildiği ülkemizde proje mühendislerine alternatif bir yolun gösterilmesi önem kazanmaktadır. Bu kurallar paketinin ekonomik olma özelliği bulunmasa dahi uzun vadede sağlayabileceği can ve mal güvenliği onu üzerinde durmaya değer hale getirmektedir. Bu bildiride, yukarıda belirtilen amaca yönelik olarak, az katlı ve düzenli betonarme binalar için projelendirme ve uygulama sırasında yapılabilecek hataları, ve meydana çıkabilecek hataların olumsuz sonuçlarını en aza indirmek üzere yazarlar tarafından daha önce geliştirilmiş olan yöntem, üzerinde küçük iyileştirmeler yapıldıktan sonra, farklı özelliklere sahip binalar için kullanılmış, bu yaklaşımın uygulanması halinde istenilen performansın sağlandığı ve güvenliğin istenilen düzeyin üzerinde olacağı tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Depreme dayanıklı tasarım, betonarme binalar, basit tasarım kuralları, denetim ve kontrol kusurları

### 1. GİRİŞ

Gün geçtikçe gelişen ve hızla değişime uğrayan depreme dayanıklı yapısal tasarım yöntemleri, uygulamada çalışan pek çok mühendisin bu hızlı gelişim ve değişime ayak uyduramaması sonucu, hatalı yapısal tasarım uygulamalarına neden olabilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD), mevcut yönetmelik kurallarının karmaşıklığının, özellikle basit ve küçük binalar için, depreme dayanıklı yapı tasarımının etkinliğini ve güvenilirliğini azalttığı yönündeki kaygılara cevap vermek üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır (National Institute of Building Sciences for Development of Simplified Seismic Design Procedures (NIBSDSSDP) 2010, İlki vd. 2015).

NIBSDSSDP (2010) dokümanında depreme dayanıklı basitleştirilmiş tasarım kurallarının geliştirilmesine yönelik şu önerilerde bulunulmuştur: i) ASCE/SEI 7-10 (2010) alternatif basitleştirilmiş sismik tasarım kurallarının geliştirilmesi ve daha da basitleştirilmesi, ii) Deprem tasarım kategorisi B olan binalar için diğer tüm yönetmeliklerden bağımsız olarak kullanılacak depreme dayanıklı tasarım kurallarının geliştirilmesi,

iii) Rijit perde duvarlı esnek diyaframlı binaların depreme dayanıklı yapı tasarımı için diğer tüm yönetmeliklerden bağımsız olarak kullanılabilir depreme dayanıklı tasarım kurallarının geliştirilmesi.

ABD’de süregelen ve NIBSDSSDP (2010) dokümanında özetlenen depreme dayanıklı yapı tasarımının basitleştirilmesine yönelik yapılan çok sayıda girişimde amaçlanmış olduğu gibi, bu çalışmada da inşaat maliyetinde kayda değer bir artış oluşturmadan, binalarda daha yüksek deprem güvenliği sağlayacak basitleştirilmiş bir depreme dayanıklı tasarım yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Sunulan basitleştirilmiş alternatif tasarım yöntemi ile yapılacak tasarım sonucunda elde edilecek deprem performansının detaylı tasarım yönetmelikleri düzeyinde bir deprem performansına eşdeğer olması hedeflenmektedir. Bu amaçla basitleştirilmiş bir tasarım yöntemi İlki vd. (2015) tarafından daha önce sunulmuş olup, söz konusu yöntem bu çalışmada mühendislik camiasından gelen öneriler doğrultusunda geliştirilmiştir. Bu çalışmada, basitleştirilmiş tasarım yönteminin geliştirilmiş versiyonu özetlenmiş, geliştirilmiş basitleştirilmiş yöntem ile tasarlanmış iki farklı binadan birinin (Bina 2) deprem performansı doğrusal olmayan şekilde değiştirme tabanlı deprem performansı değerlendirme yöntemi ile incelenerek, basitleştirilmiş tasarım yöntemi kullanılarak tasarımı yapılmış binanın deprem performansının yeterli olduğu gösterilmiştir. Diğer binanın (Bina 1) taşıyıcı elemanlarının donatıları DBYBHY (2007) kuralları uyarınca gerçekleştirilen yapısal çözümleme ve tasarım ile belirlenmiş, ve basitleştirilmiş tasarım ile yapılmış olan donatılandırmanın yeterli olduğu gösterilmiştir. Bu binalardan birinin (Bina 1) daha önce İlki vd. (2015) tarafından önerilmiş olan basitleştirilmiş tasarım yönteminin doğrulanmasında kullanılmış olduğunu belirtmelidir.

Geliştirilmiş olan basitleştirilmiş yöntemin sunulması ve bu yöntem ile tasarlanmış iki farklı binanın performanslarının doğrusal olmayan şekilde değiştirme esaslı değerlendirme yöntemi ve kuvvet esaslı doğrusal tasarım yöntemi ile yeterli olduğunun gösterilmesi dışında, ABD’de son yıllarda basitleştirilmiş tasarıma yönelik olarak hazırlanmış olan dokümanlara ait genel bilgi verilmiştir.

## **2. BASİTLEŞTİRİLMİŞ TASARIM YÖNTEMLERİNE ÖRNEKLER**

### **2.1. ASCE 7-10 (2010) ve FEMA 450-2003 (2003)**

ASCE 7-10 “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” dokümanı 12.14 paragrafını, FEMA 450-2003 “NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures” dokümanı, Alternatif Basitleştirilmiş 4. Bölümünü, basit perde duvarlı ya da çerçeve sistemlerin basitleştirilmiş alternatif yapısal tasarım kriterlerine ayırmıştır. Bu dokümanlarda, deprem taban kesme kuvvetinin basitleştirilmiş hesabı verilmiş olup, taban kesme kuvveti katlara dağıtıldıktan sonra bu kesme kuvvetlerinin taşıyıcı elemanlara dağılımı elemanların görelî yatay rijitlikleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu paragrafta yapıda diyaframların rijit veya esnek olma durumları için farklı hesap detayları verilmiştir.

### **2.2. ISO/TC 71/SC5-2010 (2010)**

ISO/TC 71/SC5-2010 “Guidelines for Simplified Seismic Assessment and Rehabilitation of Concrete Buildings” dokümanı taşıyıcı eleman kapasitelerinin bulunması için alternatif basit yaklaşımlar vermiş, binaların yatay öteleme oranlarının basit şekilde hesaplanması için öneri getirmiştir. Dokümanda, ayrıca farklı taşıyıcı sistem türleri için yatay öteleme oranları için sınırlar tanımlanmıştır.

### **2.3. ACI 314-2012 (2012)**

ACI 314-2012 “Guide to Simplified Design for Reinforced Concrete Buildings” düşey yüklere karşı tasarımı da içeren oldukça kapsamlı bir dokümandır. Dokümanda taban kesme kuvvetinin, kat kesme kuvvetlerinin ve eleman iç kuvvetlerinin hesaplanması için basit yaklaşımlar tanımlanmıştır. Benzer şekilde taşıyıcı elemanların kapasitelerinin belirlenmesi için de alternatif basit yaklaşımlar verilmiştir. Ayrıca, dokümanda döşeme ve temel tasarımları için de basit kurallar yer almaktadır.

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. Yapılan Temel Kabuller ve Yöntemin Sınırları

Yöntem temel olarak mevcut binaların deprem performansını hızlı şekilde belirlemek için hazırlanmış PERA metodu (İlki vd. 2014) ile az ve orta yükseklikteki betonarme binaların ön tasarımı için önerilmiş olan metoda (Akalp vd. 2015) dayanmaktadır. Bu yöntem ile bina önem katsayısı 1.0 olan yapılar tasarlanabilmekte ve tasarlanan yapıların 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem karşısında can güvenliği performans düzeyini sağlaması hedeflemektedir. Tüm taşıyıcı elemanlar DBYBHY (2007) tarafından tanımlandığı şekli ile yüksek süneklik düzeyine sahip olacak şekilde detaylandırılmaktadır. Ayrıca tüm birleşimlerde güçlü kolon-zayıf kiriş şartı sağlanmakta ve kapasite tasarımı ilkesinin tüm gereklilikleri yerine getirilmektedir. Yöntemde, kat kesme kuvvetlerinin katlara dağılmasında birinci mod şeklinin etkin olduğu, döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı, kolon aksel yüklerinin kolon etki alanlarıyla orantılı olarak, kolon kesme kuvvetlerinin ise kolonların yatay öteleme rijitlikleriyle orantılı olarak dağıldığı kabul edilmektedir.

Yöntem, çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binalar için kullanılacaktır. Tasarlanacak binanın kat sayısı en fazla 4 olmalıdır. Bina planda dikdörtgen bir alana sahip olmalı ve herhangi bir boyutu en fazla 30 m, en büyük açıklık 6 m, en küçük açıklık 3 m olmalıdır. Her iki doğrultuda asgari 3 açıklık bulunmalıdır. Binada DBYBHY’de (2007) tanımlanmış olan A2 Döşeme Süreksizliği, A3 Planda Çıktılar Bulunması, B1 Zayıf Kat ve B3 Düşey Eleman Süreksizliği düzensizlikleri bulunmamalıdır. Ayrıca, katlar arası yükseklik değişimi %15’den az olmalı, her iki asal doğrultuda yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafe yapının ilgili doğrultudaki boyutunun %15’inden fazla olmamalıdır. Komşu açıklıklar birbirlerinden çok farklı olmamalıdır (aynı doğrultudaki açıklıklar arasındaki maksimum fark, uzun açıklığın %20’sinden az olmalıdır). Varsa, konsol kiriş uzunlukları 1.5 m’den ve konsol kirişin devamında bulunan kirişin açıklığının 1/3’ünden fazla olmamalıdır. Kullanılacak beton kalitesi en düşük C25 olmalı, boyuna ve enine donatılar S420a sınıfı olmalıdır. Döşemeler tüm katlarda 150 mm kirişli plak olarak, kirişler 300 x 500 mmxmm olarak düzenlenmelidir. Minimum kolon boyutu 300 x 300 mmxmm’dir.

#### 3.2. Hesap Esasları

Yönteme göre kolon boyutları düşey yükler (G+Q yüklemesi) altındaki yaklaşık aksel gerilmelerine göre belirlenmektedir. Denk. (1) ve (2) kolon düşey aksel gerilmelerini birinci ve ikinci deprem bölgelerinde  $0.15-0.20 f_{ck}$  (4-5 MPa), üçüncü ve dördüncü deprem bölgelerinde  $0.28-0.32 f_{ck}$  (7-8 MPa) ile sınırlamaktadır. Metod kapsamındaki binalar az katlı olduğu, her doğrultuda en az üç açıklık bulunduğu ve kolon kesitleri güvenli tarafta kalacak şekilde seçildiği için deprem yüklemesinden kaynaklanan kolon aksel kuvvetleri ihmal edilmiştir. Denk. (1) ve (2)’de  $A_{ci}$  her bir kolonun enkesit alanını, g ve q birim alana gelen ortalama sabit ve hareketli yükleri,  $\Sigma A_{oi}$  tek bir kolon için tüm katlar boyunca kolon alan paylarının toplamını göstermektedir.

$$A_{ci} \geq 0.0005 (g + q) \sum A_{oi} \quad (\text{Deprem bölgesi 1 ve 2}) \quad (1)$$

$$A_{ci} \geq 0.0003 (g + q) \sum A_{oi} \quad (\text{Deprem bölgesi 3 ve 4}) \quad (2)$$

Taban kesme kuvveti hesaplanırken, Deprem Yönetmeliği’nde (2007) tanımlanmış olan yöntem kullanılmıştır, Denk. (3). Burada spektral ivme katsayısı  $A(T_1)$ , birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü deprem bölgeleri için sırası ile 1.0, 0.75, 0.5 ve 0.25 olarak dikkate alınacaktır. Deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a$ , 4 olarak dikkate alınacaktır. W deprem sırasında gözönüne alınması gereken yapı ağırlığıdır, Denk. (4). Bu bağıntıda G sabit, Q hareketli yükleri, n hareketli yük katılım katsayısını göstermektedir. Önerilen yöntemde, her durumda güvenli tarafta kalmak üzere, Denk. (3)’te bina periyodundan ve zemin karakteristik periyotlarından bağımsız olarak, spektrum katsayısı 2.5 olarak dikkate alınmaktadır.

$$V_t = \frac{A(T_1)}{R_a} W \quad (3)$$

$$W = \sum G + nQ \quad (4)$$

Yöntem sadece kare enkesitli kolonlar için gerçekleştirildiği için b ve h birbirine eşittir. Denk. (5)'de  $V_{dci}$  taban kesme kuvvetinin yatay öteleme rijitlikleri oranlarında kolonlara dağıtılması ile belirlenmiş olan kolon kesme kuvvetleridir. Tüm kolonlar kare enkesitli olduğu, tüm kolonların yükseklikleri ve malzeme özellikleri aynı olduğu için  $V_{dci}$  Denk. (5) ile belirlenebilir.

$$V_{dci} = \frac{b_i^4}{\sum b_i^4} V_t \quad (5)$$

Kolon alt ve üst uç momentlerinin belirlenmesi için Denk. (6-8) ve Tablo 1'de verilen  $y_o$  değerlerinden yararlanılmıştır. Tablo 1'de verilen  $y_o$  değerleri kolonlar üzerinde momentin sıfır olduğu noktanın yüksekliğinin belirlenmesi için kullanılmaktadır, Denk. (7). Bu değerler yöntem kapsamındaki bina kat sayıları, kiriş ve kolon boyutları ile kolon yükseklikleri ve kiriş açıklıkları dikkate alınarak kolon alt uç momentini her durumda maksimum yapacak şekilde seçilmiştir. Kolonların eğilme etkilerine karşı donatılandırılmasında bu moment değerleri kullanılacaktır.

$$M_{ci,alt} = V_{dci}(y_o h) \quad (6)$$

$$M = 0 \quad @ y_o h \quad (7)$$

$$M_{ci,üst} = V_{dci}(1 - y_o h) \quad (8)$$

Tablo 1. Moment sıfır noktası oranları

	Moment sıfır noktası oranı ( $y_o$ )
Köşe Kolon	0.6
Kenar Kolon	0.7
İç Kolon	0.8

Kiriş tasarım momentlerinin belirlenmesinde düşey yükler etkisi ile oluşan eğilme momentleri ( $M_d$ ) ile deprem etkisinden oluşan eğilme momentlerinin ( $M_e$ ) birleşimi dikkate alınmaktadır, Denk. (9-10). Düşey yük momentinin hesabında kullanılacak  $p_d$  kiriş hesap yayılı yükü G+Q etkileri altında hesaplanmalıdır. Bu yöntem ile yapının G+Q+E yük kombinasyonu altında güvenliği ele alınmıştır. Yapının 1.4G+1.6Q yük kombinasyonu altındaki güvenliği tasarım sırasında ayrıca kontrol edilmelidir.

$$M_{bi,i} = M_{di,i} \pm M_{ei,i} \quad (9)$$

$$M_{bi,j} = M_{di,j} \pm M_{ei,j} \quad (10)$$

Düşey yüklerden oluşan kiriş momentleri belirlenirken ACI 314'te (2012) kirişler için, TS 500'de (2000) ise döşemeler için verilmiş yaklaşık moment katsayılarından yararlanılmaktadır. Bu katsayıların yeterli yaklaşıklıkla sonuç vermesi için hareketli yükler, sabit yüklerin iki katından az olmalı ve komşu açıklıkların uzunlukları arasındaki fark, en fazla uzun açıklığın %20'si kadar olmalıdır. Bu yaklaşık yöntemle göre; kenar ve iç açıklıklarda düşey yüklerden kaynaklanan i ucundaki kiriş eğilme momentleri Denk. (11) ve (12) ile, kenar ve iç mesnet momentleri ise Denk. (13) ve (14) ile belirlenecektir. Kirişin j ucunda da düşey yük kaynaklı moment değerleri aynı bağıntılar yardımı ile belirlenecektir.

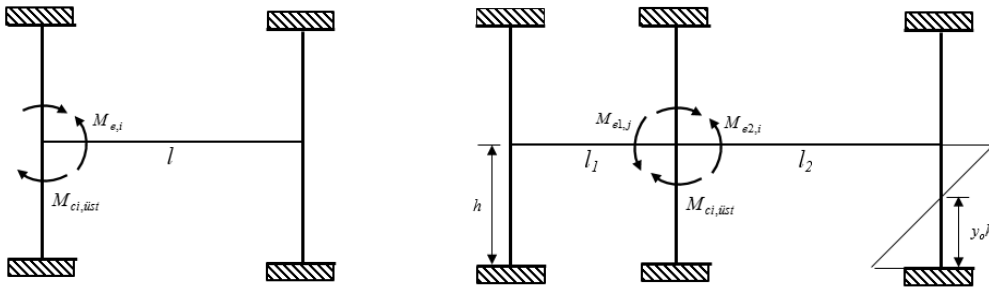
$$M_{di} = \frac{p_{di} l_i^2}{11} \quad (11)$$

$$M_{di} = \frac{p_{di} l_i^2}{15} \quad (12)$$

$$M_{di} = -\frac{p_{di} l_i^2}{24} \quad (13)$$

$$M_{di} = -\frac{p_{di} l_i^2}{8} \quad (14)$$

Kiriş mesnet kesitlerinde deprem momentlerinin bulunmasında, güvenli tarafta kalacak şekilde Denk. (8) ile hesaplanan alt kat kolonu üst uç momentleri dikkate alınmış, üst kat kolonu alt uç momentleri de bu momente eşit kabul edilmiştir. Bu kabul kenar ve iç kolon-kiriş birleşimleri için Şekil 1’de gösterilmiştir. Kirişlerin deprem etkileri altındaki yüksek süneklikleri ve kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu dikkate alınarak, deprem yükü azaltma katsayısını kirişler için 8 olarak dikkate almak üzere ( $R_{a,kiriş}=8$ ),  $R_a=4$  kabulüne dayalı olarak hesaplanmış olan kolon uç momentlerinden yararlanarak belirlenmiş olan kiriş mesnet momentleri 4/8 oranında azaltılmıştır. Bu hesaplar yapılırken alt kat kolon üst uç momentleri ile üst kat kolon alt ucu momentlerinin eşit olduğu kabul edilmiş, daha sonra alt kat kolon üst uç momentleri ve üst kat kolon alt uç momentleri toplamında oluşabilecek hataları gidermek ve güvenli tarafta kalmak amacıyla bulunan kiriş momentleri %30 oranında arttırılmıştır. Bu kabuller neticesinde, kenar ve iç birleşimlerde deprem kaynaklı kiriş mesnet momentleri için Denk. (15-17) elde edilmektedir. Örneğin, kenar mesnet için alt kat kolon üst ucu momentleri ve üst kat kolon alt ucu momentleri toplamı  $2M_{ci,üst}$  olarak alınırsa (bu momentler kolonlar için uygulanan  $R_a=4$  kabulü ile bulunmuştur), kirişler için  $R_{a,kiriş}=8$  kabulü uygulanır ve hataların giderilmesi için kiriş momentleri %30 oranında arttırılırsa Denk. (15) elde edilecektir.



Şekil 1. Kenar ve iç kolon-kiriş birleşimi

$$M_{e,i} = 1.30M_{ci,üst} \quad (\text{kenar mesnet}) \quad (15)$$

$$M_{e1,j} = 1.30M_{ci,üst} \left( \frac{l_2}{l_1 + l_2} \right) \quad (\text{iç mesnet}) \quad (16)$$

$$M_{e2,i} = 1.30M_{ci,üst} \left( \frac{l_1}{l_1 + l_2} \right) \quad (\text{iç mesnet}) \quad (17)$$

Kolon enine donatı hesabı için tasarım kesme kuvveti Denk. (18-19)’dan küçük olan olarak dikkate alınacaktır. Kiriş enine donatı hesabı için tasarım kesme kuvveti Denk. (20) ile hesaplanacaktır.

$$V_e = 2V_{dci} \quad (18)$$

$$V_e = \frac{2M_p}{h} \quad (19)$$

$$V_e = \frac{p_{di} l_i}{2} \pm \frac{(M_{pi} + M_{pj})}{l_{ni}} \quad (20)$$

Betonarme kiriş ve kolonların tasarımı, belirlenmiş olan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri dikkate alınarak TS-500 ve DBYBHY (2007) tarafından verilmiş olan tasarım kuralları dikkate alınarak gerçekleştirilecektir. Kolon betonarme tasarımında (1.4G+1.6Q) yük birleşimi için eksenel kuvvetler kolon etki alanlarından yararlanarak belirlenecek, (G+Q+E) yük birleşimi için eksenel kuvvetler sıfır kabul edilecektir. Döşeme betonarme tasarımı (1.4G+1.6Q) yük birleşimi için ayrıca yapılacaktır. Bu yöntem kapsamına giren binaların temelleri 600 mm kalınlıklı radye plağı olarak düzenlenecek, her iki doğrultuda, altta ve üstte 0.0025 oranında donatı kullanılacaktır. Ayrıca, bu yöntem ile tasarlanan yapıların yerdeğiştirme tahkikleri için (Denk. 21-23) kullanılacaktır. Hesaplanan maksimum görelî kat ötelemesi ( $\Delta$ ) %1.5 değerinin altında olmalıdır. Bu şart sağlanmıyorsa kolon enkesitlerinin bu şart sağlanıncaya kadar büyütülmesi gerekmektedir.

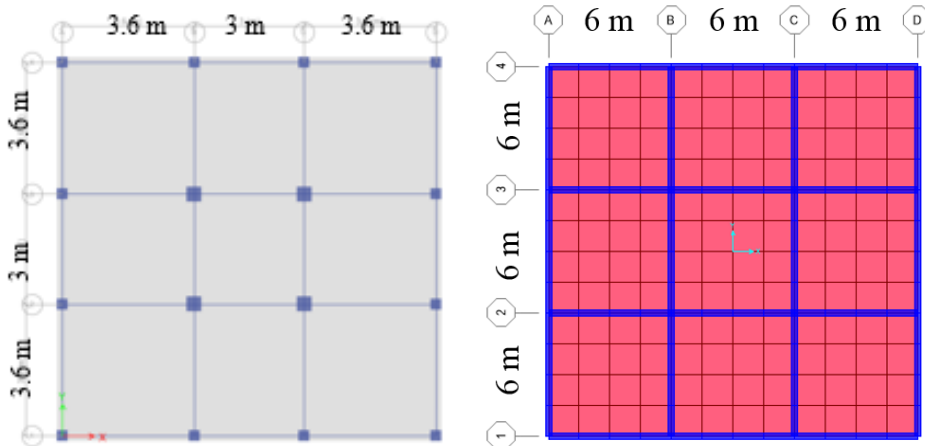
$$k_s = \frac{12E_c \sum \alpha I_{ci}}{h^3} \quad (21)$$

$$\Delta = \frac{V_t}{k_s h} \quad (22)$$

$$\alpha = 1.25 - 1.44b \quad (b\text{'nin birimi metredir}) \quad (23)$$

#### 4. ÖRNEKLER

Bu kısımda yukarıda detayları verilen yöntem ile iki farklı bina tasarlanmış, bunlardan biri (Bina 1) hem alternatif yönteme, hem de DBYBHY'in (2007) 2. ve 3. bölümleri esaslarına uygun şekilde analiz edilmiş ve detaylandırılmıştır. Binalardan ikincisi ise (Bina 2) önce alternatif yönteme göre analiz edilip detaylandırılmış, sonra DBYBHY (2007) tarafından verilmiş olan doğrusal olmayan şekildeğiştirme tabanlı değerlendirme esaslarına uygun biçimde performans değerlendirmesi yapılmıştır. Her iki bina 4 katlı ve kat yükseklikleri 3.5 m'dir. Her iki binanın, her iki doğrultusunda üç açıklığı bulunmakta olup her iki binada döşeme kalınlığı 15 cm'dir. Bina 1 alternatif yöntem ile tasarlanabilecek komşu açıklık oranı en yüksek olan binalara bir örnek teşkil etmektedir. Bina 2 de alternatif yöntem ile tasarlanabilecek en büyük açıklıklara sahip binalara örnek teşkil etmektedir. Bu iki örnek binanın alternatif tasarım ile elde edilen eleman boyutları Tablo 2'te verilmiştir.



Şekil 2. Bina 1 ve Bina 2 planları

Tablo 2. Örnek binaların taşıyıcı eleman boyutları

	Bina 1	Bina 2
Köşe Kolonlar	30 x 30 cmxcm	37.5 x 37.5 cmxcm
Kenar Kolonlar	30 x 30 cmxcm	52.5 x 52.5 cmxcm
İç Kolonlar	40 x 40 cmxcm	72.5 x 72.5 cmxcm
Kirişler	30 x 50 cmxcm	30 x 50 cmxcm

Bina 1 eleman boyutları alternatif yöntemle göre belirlenmiş daha sonra hem alternatif yöntem ile, hem de eleman boyutları değiştirilmeden ETABS 2015 programı kullanılarak analizleri ve DBYBHY (2007) tarafından verilen kurallara göre donatılandırılmaları yapılmıştır. Taşıyıcı elemanlar yüksek süneklik şartlarını yerine getirecek şekilde detaylandırıldığı için DBYBHY (2007) çözümlerinde taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 8 olarak alınmıştır. Elverişsiz tarafta kalmak üzere, binaların Z4 zeminde inşa edileceği kabul edilmiştir. Sıva ve kaplama yükleri  $1.5 \text{ kN/m}^2$  olarak kabul edilmiştir. Hareketli yükler  $2 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı 0.3 olarak alınmıştır. Tablo 3'te Bina 1 kolonları için iç kuvvetlerin ve donatı oranlarının karşılaştırmaları sunulmuştur. Tablo 4'te ise kiriş iç kuvvetleri ve donatı oranları açısından karşılaştırmalar sunulmuştur. Analiz sonuçlarında maksimum görece kat öteleme oranı Bina 1 için %1.36 olarak elde edilmiştir. Bu oran alternatif yöntemle göre %1.2 olarak bulunmuştur. Bu karşılaştırmalar, inceleme konusu bina için alternatif yöntemle yapılan tasarımın güvenli olduğunu göstermektedir.

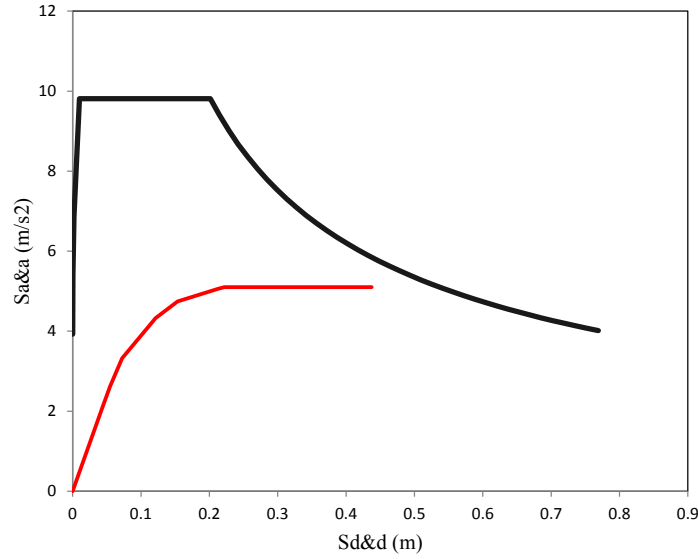
Tablo 3. Bina 1 kolonlarına ait karşılaştırma

	Tasarım Momenti (kNm)		Tasarım Kesme Kuvveti (kN)		Boyuna Donatı Oranı		Enine Donatı Oranı	
	Deprem Yönetmeliği	Alternatif Tasarım	Deprem Yönetmeliği	Alternatif Tasarım	Deprem Yönetmeliği	Alternatif Tasarım	Deprem Yönetmeliği	Alternatif Tasarım
Köşe Kolonlar	52	91	35	81	% 1.35	% 1.40	Minimum	Minimum
Kenar Kolonlar	55	106	40	87	% 1.20	% 1.60	Minimum	Minimum
İç Kolonlar	155	384	75	273	% 1.60	% 2.50	Minimum	Minimum

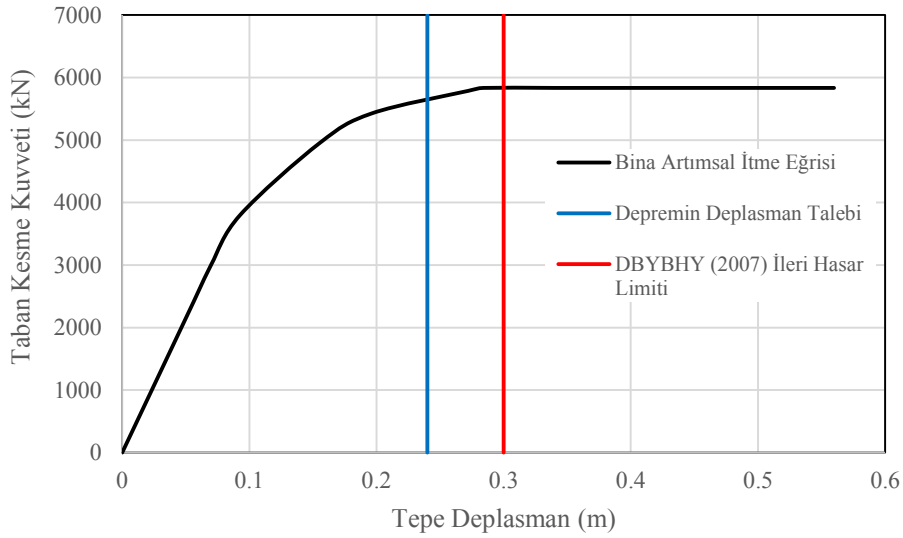
Tablo 4. Bina 1 kirişlerine ait karşılaştırma

	Tasarım Momenti (kNm)		Tasarım Kesme Kuvveti (kN)		Boyuna Donatı Oranı (Üst)		Enine Donatı	
	Deprem Yönetmeliği	Alternatif Tasarım	Deprem Yönetmeliği	Alternatif Tasarım	Deprem Yönetmeliği	Alternatif Tasarım	Deprem Yönetmeliği	Alternatif Tasarım
Köşe Kolona Bağlı Kirişler	71	88	58	60	% 0.31	% 0.44	Φ8/200	Φ8/200
Kenar Kolona Bağlı Kirişler	52	68	55	52	% 0.26	% 0.35	Φ8/200	Φ8/200
İç Kolona Bağlı Kirişler	114	115	80	95	% 0.52	% 0.58	Φ8/200	Φ8/200

Alternatif yöntemle göre tasarlanmış olan Bina 2 daha sonra DBYBHY (2007) Bölüm 7'de verilen doğrusal olmayan şekil değiştirme tabanlı değerlendirme esasları kullanılarak incelenmiştir. Yapıdan talep edilen yer değiştirme bulunurken elverişsiz tarafta kalmak üzere, binanın Z4 zeminde inşa edileceği kabul edilmiştir. Şekil 3'te tasarım depremi için elde edilen spektral ivme-spektral yer değiştirme ilişkisi ile Bina 2'nin modal kapasite eğrisi üst üste çizilmiştir. Tasarım depreminin yapıdan talep ettiği tepe yer değiştirmesi  $0.23 \text{ m}$ 'dir. Şekil 4'de ise binanın artımsal itme eğrisi, depremin talep ettiği tepe yer değiştirmesi ve ilk elemanı DBYBHY (2007) tarafından tanımlanan ileri hasar bölgesine ulaştıran tepe yer değiştirmesi tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafikten de açıkça anlaşılacağı üzere, Bina 2, DBYBHY (2007) tarafından tanımlanan "Can Güvenliği" deprem performansını sağlamaktadır.



Şekil 3. Tasarım depremi spektral ivme-yerdeğiştirme ilişkisi ile yapının modal kapasite eğrisi



Şekil 4. Bina 2'nin artımsal itme eğrisi, tasarım depremi yerdeğiştirme talebi ve DBYBHY (2007) tarafından tanımlanmış olan göçme limiti

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında yapısal çözümler ve tasarım aşamaları ile uygulama sırasında yapılabilecek hataları en aza indireyerek az katlı ve düzenli betonarme binaların depreme dayanıklı tasarımı için geliştirilmiş alternatif yöntem sunulmuş ve yeni örnekler ile hem tasarım hem de artımsal itme analizi kullanılarak yapılan performans değerlendirme yöntemleri ile doğrulanmıştır. Bu yöntem ile tasarlanan her iki örnek binanın da DBYBHY (2007) tarafından beklenen tasarım ve deprem performansı şartları ile tasarlanan binaların sağlaması gereken tüm koşulları (eleman kapasiteleri, sünek davranış için uygulanması gerekli detaylar, kapasite tasarımı ile ilgili koşullar, sehim ve yerdeğiştirme şartları) sağladığı görülmüştür. Bu durumda, daha farklı bina mimari konfigürasyonları için de benzer tahkiklerin yapılması sonrasında, yöntemin güvenli şekilde az katlı ve taşıyıcı sistemi düzenli binaların tasarımında kullanılabileceği düşünülmektedir. Yaklaşımın uygulanma alanı kısıtlı olsa da, Deprem Yönetmeliğinin sonraki sürümünde alternatif basitleştirilmiş yöntem şeklinde yer alması ile, ülkemizdeki yapıların can ve mal güvenliğini sağlamada önemli bir adım oluşturacağı belirtilebilir.



### Teşekkür

Yöntemin geliştirilmesi sırasında görüş ve önerilerinden yararlanan Prof.Dr. Uğur Ersoy, Y.Doç.Dr. Ufuk Yazgan, Y.Doç.Dr. Oğuz Güneş, Prof.Dr. Güney Özcebe, Prof.Dr. Kadir Güler ve Yük.Müh. İlknur Dalyan'a teşekkürlerimizi sunarız.

### KAYNAKLAR

ACI (2012). Guide to Simplified Design for Reinforced Concrete Buildings, *ACI 314R-11*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

ASCE/SEI (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *ASCE/SEI 7-10*, American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

Bayındırlık Bakanlığı (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.

FEMA (2003). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, *FEMA 450*, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

NIBSDSSDP (2010). Development of Simplified Seismic Design Procedures: Framework Report, *National Institute of Building Sciences for Development of Simplified Design Procedures*.

İlki, A., Cömert, M., Orakçal, K. ve Gülkan, P. (2015). Az katlı düzenli betonarme binalar için alternatif basitleştirilmiş deprem tasarımı. *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı*, İstanbul.

ISO/TC 71/SC 5 (2010). Guidelines for Simplified Seismic Assessment and Rehabilitation of Concrete Buildings, Draft International Standard, ISO/DIS 28841.

TS500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.