*İMO Teknik Dergi, 2009 4609-4633, Yazı 304*

# 2007 Deprem Yönetmeliğinde Yer Alan "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi" Yöntemlerinin Artıları ve Eksileri

**Ali ŞENGÖZ***
**Haluk SUCUOĞLU****

## ÖZ

2007 Deprem Yönetmeliği mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi konusunda yeni bir bölüm içermektedir. Yönetmelikte yer alan değerlendirme yöntemleri doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler olarak ikiye ayrılmıştır. Bu çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliği'nde yer alan değerlendirme yöntemlerinin aralarındaki farklılıkları irdelemeyi amaçlayan bir araştırma gerçekleştirilmiştir. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde verilen yöntemler kullanılarak iki farklı konut binasının mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının karşılıklı değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme sonuçları ayrıca binalardan birisinin maruz kaldığı 1999 Düzce depreminde gözlenen performansı ışığında irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında 2007 Deprem Yönetmeliği'nin güçlü ve zayıf yanları belirlenmeye çalışılmıştır.
**Anahtar Kelimeler:** Deprem Yönetmeliği, değerlendirme yöntemleri, mevcut binalar

## ABSTRACT

**Pros Amd Cons of Assessment Methods in the 2007 Turkish Earthquake Code**

A new chapter has been added to the 2007 Turkish Earthquake Code for the assessment and retrofit of existing buildings. The assessment procedures proposed in the Code are classified as linear elastic and nonlinear procedures. A research has been conducted in this study in order to evaluate the differences between the two types of seismic assessment procedures in the 2007 Turkish Earthquake Code. For this purpose, two residential buildings in their existing and retrofitted states were comparatively assessed by employing both procedures, according to the principles proposed in the 2007 Turkish Earthquake Code. The assessment results were also evaluated in view of the actual performance observations from one of the investigated building which suffered damage during the 1999 Düzce earthquake. The results of this research study have been employed for determining the strengths and weaknesses of the 2007 Turkish Earthquake Code.
**Keywords:** Earthquake code, existing buildings, assessment procedures

---

Not: Bu yazı
- Yayın Kurulu'na 21.01.2008 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2009 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - sengoz@gmail.com
** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - sucuoglu@ce.metu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Türkiye sismik açıdan oldukça aktif bir bölgededir ve ülkenin büyük bir bölümü depremlerde kuvvetli yer sarsıntılarına maruz kalmaktadır. Yakın tarihlerde meydana gelen depremler Türkiyedeki bina stokunun deprem etkileri altında yapısal açıdan ne kadar yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Ülkemizdeki bina stoku genel olarak 3 ila 6 katlı, tasarım ve yapım kalitesi açısından oldukça yetersiz betonarme çerçeve sistemlerinden oluşur. Binaların büyük çoğunluğu yatay yük dayanımı sağlayan sürekli bir yapısal çerçeve sistemine sahip değildir [1]. Buna ek olarak özellikle beton dayanımlarının düşüklüğü ve donatı detaylarının yetersizliği depremlerde ortaya çıkan ağır hasarların ve can kayıplarının başlıca nedenleridir. Deprem risklerini azaltmak amacıyla mevcut binaların deprem güvenliği bakımından değerlendirilmesi ve güçlendirmesi için Deprem Yönetmeliğinde gerekli düzenlemelerin yapılması 1999 depremlerinden sonra Türkiye için bir gereklilik haline gelmiştir. Benzer düzenlemeler başka ülkelerin yönetmeliklerinde de yer almıştır. Eurocode 8 [2], ATC-40 [3] ve FEMA-356 [4] değerlendirme standartlarından bazılarıdır.

2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği [5], mevcut ve güçlendirilmiş binaların değerlendirmesi için iki farklı yöntem önermektedir. Bunlar doğrusal elastik hesap yöntemi ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemidir. Yönetmelik bir ayrım ve kısıtlama yapmadan bu iki yöntemden herhangi birisinin kullanılmasına izin vermektedir. Her iki yöntemin de kendine özgü belirli avantaj ve dezavantajları vardır. İncelemeye konu olan bina hakkındaki bilgi düzeyi, proje süresi ve incelemede hedeflenen hassasiyet göz önünde bulundurularak bu yöntemlerden birisi seçilebilir.

Uygulamada verilmesi gereken ilk karar, doğrusal elastik yöntem veya doğrusal elastik olmayan yöntemden birisinin seçilmesidir. Genellikle doğrusal elastik yöntemler yapının incelenen deprem etkisi altındaki iç kuvvet dağılımının doğrusal elastik hesapla uyumlu olduğu durumlarda kullanılır. Ancak incelenen binanın performans hedefinin daha fazla plastik deformasyon istemleri öngörmesi durumunda doğrusal elastik yöntemin dayanım ve kabul ölçütlerindeki tutuculuk artmaktadır. Doğrusal olmayan davranışın ileri derecede gerçekleşmesi durumunda ise doğrusal elastik olmayan yöntemin performans hesabında daha gerçekçi sonuç vermesi beklenir. Diğer taraftan 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal elastik yöntem kapasite analizi ile güçlendirilmiştir. Bu şekilde doğrusal elastik yöntem kapasite prensipleri ile birleştirilerek deprem etkilerinin daha gerçekçi biçimde hesaplanması sağlanmıştır.

Yönetmeliğin her iki yöntemin de kullanılmasına hiç bir sınırlama getirmeden izin vermesi nedeniyle yöntemler arasındaki farklar iyi irdelenmeli ve anlaşılmalıdır.

## 2. DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde yer verilen mevcut bina değerlendirme ve güçlendirme yöntemleri burada kısaca açıklanmıştır. Her iki yöntem için de öncelikle kullanılacak ivme spektrumu incelenen binanın hedeflenen performans düzeyine bağlı olarak Tablo 1'e göre belirlenecektir. Bu çalışmada yer alan örneklerin konut binası olması nedeniyle binalar mevcut ve güçlendirilmiş durumlarında "Can Güvenliği" performans düzeyine göre değerlendirilmiş, iç kuvvet ve deformasyon (şekildeğiştirme) istemleri 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem tasarım spektrumu kullanılarak hesaplanmıştır.

*Tablo 1. Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri*

| Binanın Kullanım Amacı ve Türü | Deprem Aşılma Olasılığı | | |
|---|---|---|---|
| | 50 yılda %50 | 50 yılda %10 | 50 yılda %2 |
| Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar | - | HK | CG |
| İnsanların Uzun Süreli Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar | - | HK | CG |
| İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar | HK | CG | - |
| Tehlikeli Madde İçeren Binalar | - | HK | GÖ |
| Diğer Binalar (Konutlar) | - | CG | - |

HK: Hemen Kullanım CG: Can Güvenliği GÖ: Göçmenin Önlenmesi

### 2.1. Doğrusal Elastik Yöntem

Doğrusal elastik hesap yöntemi temel olarak üç adımdan oluşmaktadır: Doğrusal elastik analiz, kapasite hesabı ve performans değerlendirmesi. Yöntemin uygulaması, incelenen binanın modellenmesi ile başlar. 2007 Deprem Yönetmeliği mevcut binaların değerlendirmesinde yeni binaların tasarımından farklı olarak çatlamış kesit hesabı öngörmektedir. Bu nedenle kolon ve perdeler için eksenel kuvvet ve kesit özelliklerine bağlı olarak bir katsayı belirlenir ve modelleme yapılırken her düşey eleman için bu katsayı ile azaltılmış rijitlik değerleri kullanılır. Kirişler için ise, eksenel kuvvet taşımadıklarından sabit bir rijitlik azaltma katsayısı uygulanır. Mevcut bina değerlendirmesinde ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmaz, fakat rijit uç bölgelerin tanımlanması gereklidir.

Doğrusal elastik analiz sonuçlarının elde edilmesinin ardından, kolonlar için "Kapasite Kontrol Yöntemi" [6] kullanılarak kolonların deprem altında alabilecekleri maksimum eksenel kuvvet ve buna bağlı olarak moment kapasitesi belirlenir. Kapasite kontrol yöntemi, kirişlerin kolonlara moment kapasiteleri oranında yük aktarılabileceği esasına dayanır ve kiriş kapasitelerinde kolon-kiriş kapasite oranı ile düzeltme yaparak kolon eksenel kuvvetininin hesabını öngörür. Bu yöntem ile hesaplanan eksenel kuvvet kapasitesi, Yönetmelik ekindeki grafiksel yöntem ile hesaplanacak eksenel kuvvetler için sınır değerleri verir. Grafiksel yöntem, kolon etkileşim diyagramında, düşey yüklemeler altındaki değerler ile düşey ve deprem yüklemesinin ortak etkisi altındaki değerler arasındaki doğrunun etkileşim diyagramı ile kesiştiği noktaya ait moment değerini kolon moment kapasitesi olarak kabul eder. Her iki yöntemden hesaplanan eksenel kuvvet değerinden küçük olanı kolonun moment kapasitesini belirler.

Kolon ve kiriş eğilme kapasitelerinin hesaplanmasının ardından eleman kırılma davranışları belirlenir. Bunun için önce tüm elemanlarda kapasite analizinden elde edilen kesme kuvveti değerleri (kapasite kesmesi) TS-500 [7]'den hesaplanan kesme kuvveti kapasiteleriyle karşılaştırılır. Kolonlarda kapasite kesmesi, kolon alt ve üst uçlarındaki moment kapasitelerinin, kolonlara saplanan kiriş kapasitelerinin veya hesaptan elde edilen kesit momentlerinin (daha az olanı) kolon net uzunluğuna bölünmesi ile elde edilir. Kirişlerin kapasite kesmesinin hesabında da yaklaşım aynıdır, ancak açıklık boyunca etki eden düşey yüklerin kesme kuvvetine katkısı da dikkate alınır. Perdelerde durum daha farklıdır, zira perdelerin üst uçlarında plastik mafsallaşma olması beklenmez. Hem bodur perde ($H/L_w$)

kontrolü yapılır, hem de Bölüm 3.6.7 ye göre hesaplanan kesme kuvveti, kesme kapasitesi ile karşılaştırılır. Sonuç olarak bir elemanın herhangi bir ucunda TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesi kapasite kesmesinden daha az ise o eleman "gevrek" olarak belirlenir, değilse eleman "sünek" tir.

Eleman kırılma davranışının belirlenmesinin ardından, sünek elemanlarda azaltılmamış (R=1) deprem yüklemesi altında hesaplanan moment istemlerinin ilgili kesitlerin artık moment kapasitelerine bölünmesi ile Etki-Kapasite Oranı istemleri (**r**) hesaplanır. Gevrek elemanlarda **r** değeri, doğrusal elastik hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan kesme kuvveti kapasitesine oranıdır.

Hesaplanan **r** istemleri eleman tipine göre yönetmelik Tablo 7.2, 7.3 ve 7.4'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılır. Eğer bir elemanın her hangi bir ucunda sınır değer aşılıyor ise, bu eleman göz önünde bulundurulan performans seviyesi için yeterli kabul edilmez.

Eleman performanslarının belirlenmesinin ardından bina performans hesabı gerçekleştirilir.

### 2.2. Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem

Doğrusal elastik olmayan yöntem, doğrusal elastik yöntemde belirtildiği şekilde hazırlanan yapı modelinin 1G+nQ yüklemesi altında analizi ile başlar. Buradan elde edilen eksenel kuvvet istemleri ve eksenel yük-moment etkileşim diyagramları kullanılarak kolon ve perdeler için doğrusal olmayan moment-eğrilik bağıntıları hesaplanır. Kirişler için ise moment-eğrilik bağıntıları doğrudan hesaplanır. Her kesitin moment-eğrilik ilişkisi, plastik mafsal boyu varsayımı kullanılarak moment-plastik dönme ilişkisine dönüştürülür ve modele iki doğrulu olarak tanımlanır.

İtme analizi ile kapasite eğrisinin hesaplanması için, göz önüne alınan deprem yönündeki hakim mod özellikleri kullanılarak eşdeğer deprem yük dağılımı hesaplanır ve yükler kat kütle merkezlerinden artımsal olarak etki ettirilir. Sistem düşey yükler ve adım adım arttırılan yatay yükler altında yatay yük kapasitesine ulaştıktan sonra, tahmin edilen tepe deplasmanına ulaşıncaya kadar yer değiştirme adımlarına karşılık gelen yatay kuvvetler ile itilir. Buradan elde edilen tepe deplasmanı - taban kesmesi kuvveti eğrisi (kapasite eğrisi), spektral ivme - spektral yerdeğiştirme eğrisine dönüştürülür ve bu eğri kullanılarak hedef deplasman belirlenir.

İtme analizinin tamamlanmasının ardından hedef tepe yerdeğiştirmesi değerinde oluşan eleman iç kuvvet ve plastik dönme istemleri hesaplanır. Doğrusal elastik yöntemde olduğu gibi önce eleman kırılma davranışı kesme kontrolü ile belirlenir. Doğrusal elastik yöntemden farklı olarak kapasite kesmeleri yerine doğrudan itme analizinden elde edilen kesme kuvvetleri kesme kuvveti istemi olarak alınır ve kesme kapasiteleri ile karşılaştırılır.

Sünek elemanların performans kontrolünde plastik dönme istemleri sırasıyla plastik eğrilik ve toplam eğriliğe çevrilerek, kesit için toplam eğriliğe karşı gelen beton ve çelik birim şekildeğiştirmeleri hesaplanır. Hesaplanan birim şekildeğiştirme istemleri Yönetmelikte göz önünde bulundurulan performans seviyesi için belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların performans düzeyi belirlenir. Gevrek elemanlarda bu kontrol kesme etkisinin kesme kapasitesi ile karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilir.

Eleman performanslarının yeterli olup olmadığı belirlendikten sonra bina performans hesabı yapılır.

## 3. ÖRNEKLER

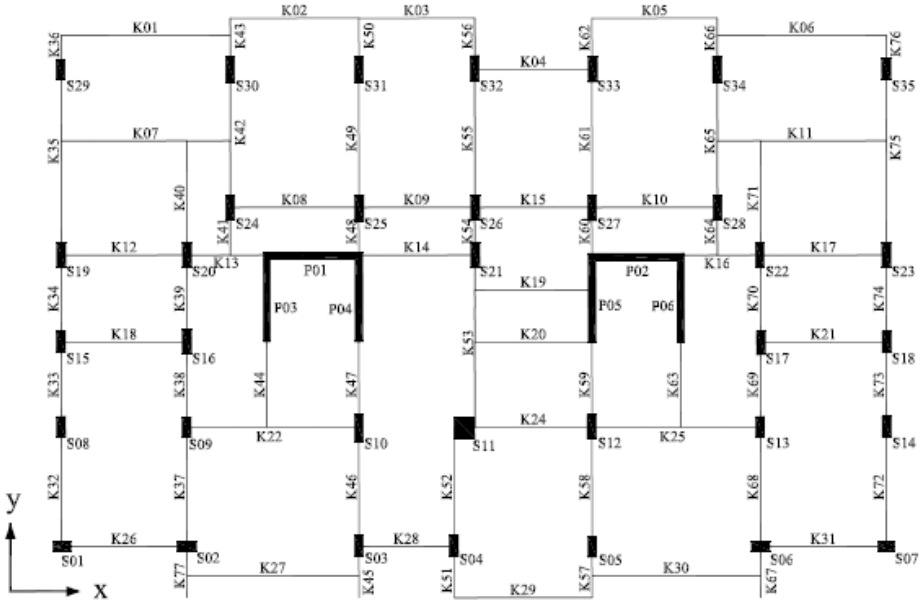
Bu çalışmada iki örnek bina mevcut ve güçlendirilmiş durumlarında 2007 Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler kullanılarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

### 3.1. Örnek 1 : Düzce Konut Binası - Mevcut Durum

Düzce'de bulunan bina 5 katlı betonarme perde-çerçeve sisteminden oluşmaktadır. Tüm katlar 2.8 m yüksekliğindedir ve kat alanları 433 $m^2$ dir. Bina fotografı Şekil 2'de ve 3. kat planı Şekil 1'de verilmiştir. Uzun yönde dış akslarda yer alan bazı kirişler üst katlarda konsol uçlarına kaydırılmıştır, bu nedenle tam çerçeve oluşumu bulunmamaktadır. Ayrıca K123 kirişi birinci kat dışında yer almamaktadır. Kısa yönde ise her aksta sürekli çerçeve vardır ve simetri olduğu gözlenebilmektedir. Kolon kesit boyutları bina yüksekliğince azalmaktadır.

Örnek bina 12 Kasım 1999 Düzce Depreminden etkilenmiş, resmi kayıtlara göre orta derece hasar gördüğü tespit edilmiştir. Ayrıca binanın zemin katında depremden sonra ODTÜ ekipleri tarafından kapsamlı hasar incelemesi yapılmıştır. Bina Düzce depremi yer hareketinin kaydedildiği Düzce Meteoroloji İstasyonu'nun oldukça yakınında yer almaktadır.

Binanın projesi mevcuttur ve bilgi düzeyi "Kapsamlı" dır. Binada yapılan incelemelerde mevcut beton dayanımı 12 MPa, mevcut donatı çeliği dayanımı ise 220 MPa olarak belirlenmiştir. Bina performans değerlendirmesi "Can Güvenliği" performans seviyesine göre yapılacaktır.



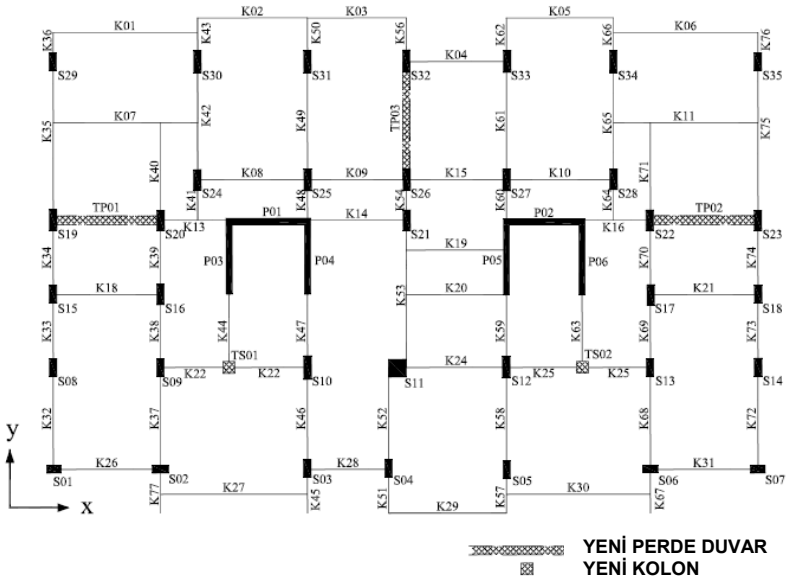

*Şekil 1. Mevcut binanın 3. kat planı*



*Şekil 2. Bina fotoğrafı*

### 3.2. Örnek 2 : Düzce Konut Binası - Güçlendirilmiş Durum

Örnek 1'de incelenen bina içten yeni betonarme perdeler ve kolonlar ile güçlendirilmiş, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Güçlendirme amacıyla uzun doğrultuda iki, kısa doğrultuda bir olmak üzere her iki doğrultuda toplam üç adet perde eklenmiş, ayrıca iki adet yeni kolon bina yüksekliği boyunca sisteme eklenmiştir. Yeni elemanların yerleşimi Şekil 3'te verilmiştir. X-yönlü perdeler 370x30 cm, Y-yönlü perdeler ise 350x25 cm boyutlarındadır. Yeni eklenen kolonların boyutu 40x40 cm'dir. Yeni elemanların inşaatında kullanılan beton ve çelik sınıfı sırasıyla C25 ve S420 dir.

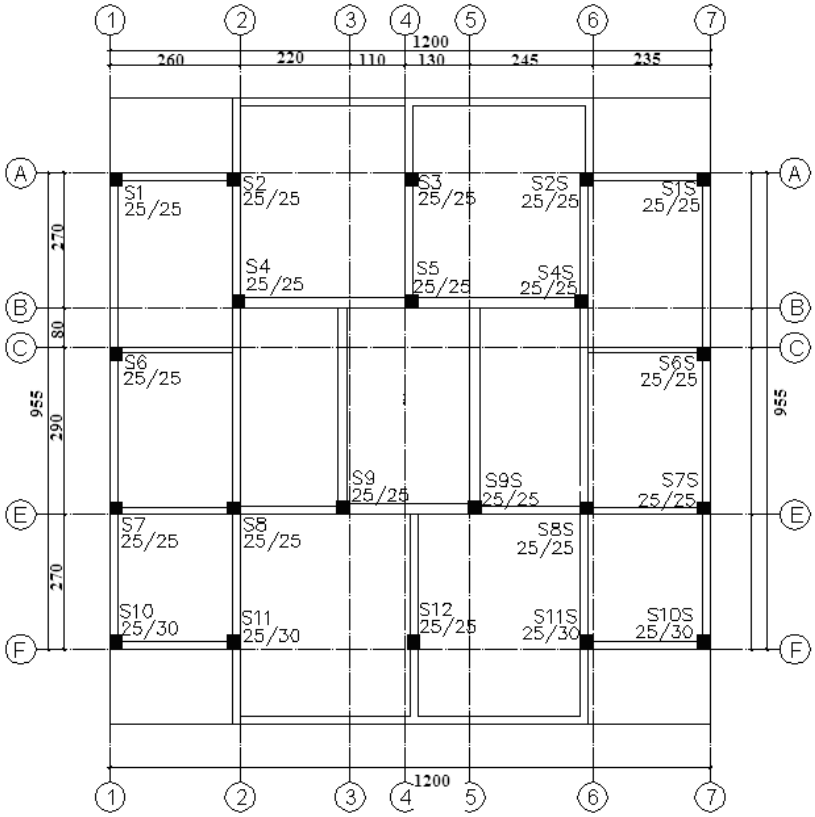



*Şekil 3. Güçlendirilmiş yapının tip kat pıanı*

### 3.3. Örnek 3 : Bakırköy Konut Binası - Mevcut Durum

Altı katlı örnek binanın yapısal özellikleri katlar arasında farklılık göstermektedir. İlk kat 2.7 m, diğer katlar ise 2.8 m yüksekliğindedir. Kat alanları 133 $m^2$ ile 151 $m^2$ arasında değişmektedir. Yapısal plan perdesiz betonarme çerçeve sisteminden oluşmaktadır. Binanın tipik kat planı ve cephe görünüşü Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Alt katlardan üst katlara çıkıldıkça eleman boyutları ve kiriş sayısı azalmaktadır.

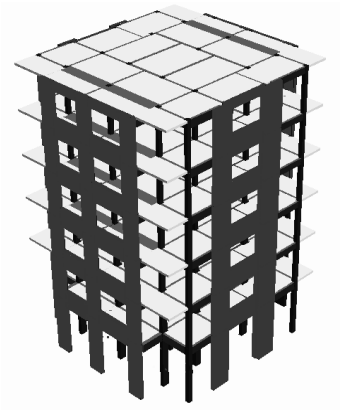
Bina projesi mevcuttur ve bilgi seviyesi "Kapsamlı"dır. Binadan alınan malzeme örneklerinin test edilmesi sonucunda mevcut beton dayanımı 14 MPa, mevcut donatı çeliği dayanımı ise 300 MPa olarak belirlenmiştir. Bina performans değerlendirmesi "Can Güvenliği" performans düzeyine göre yapılacaktır.




*Şekil 4. Bina tipik kat planı*



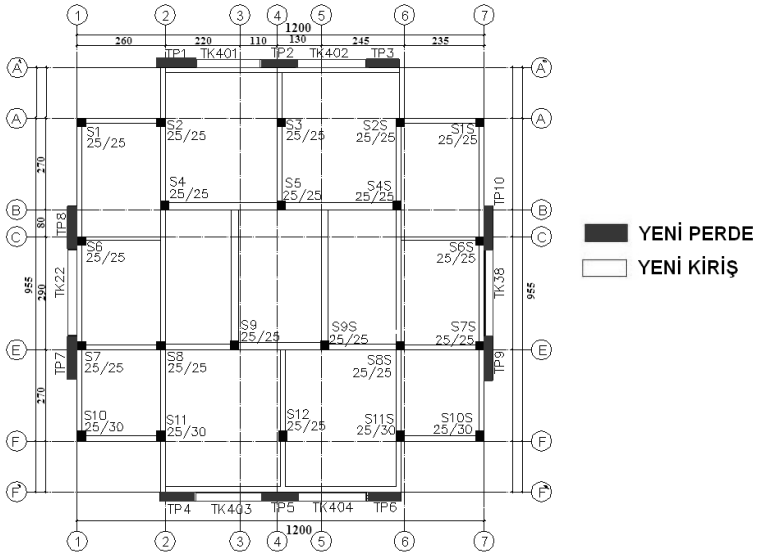
*Şekil 5. Bina fotoğrafı*



*Şekil 6. Güçlendirilmiş bina 3-boyutlu modeli*

### 3.4. Örnek 4 : Bakırköy Konut Binası- Güçlendirilmiş Durum

Bakırköy konut binası dıştan bağlanan bağ kirişli betonarme perde grupları ile her iki yönde güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş bina doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Güçlendirilmiş bina modelinin 3-boyutlu görünümü Şekil 6'da, güçlendirme elemanlarının konumu ise Şekil 7'de verilmiştir. Yeni eklenen perdeler X yönünde 100x25 cm, Y yönünde ise 130x25 cm boyutlarındadır.




*Şekil 7. Güçlendirme planı*

## 4. DEĞERLENDİRME SONUÇLARI

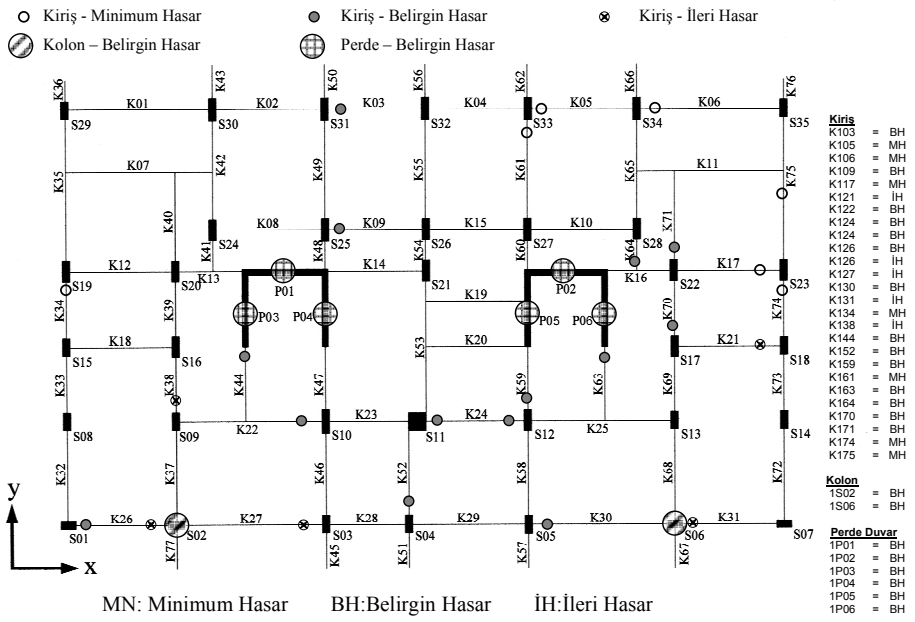
Bu bölümde 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan mevcut bina değerlendirme yöntemlerinin her ikisi de kullanılarak örnek binaların mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının performansları belirlenmiştir. Ayrıca Düzce konut binasının zemin katına ait deprem sonrası hasar bilgileri referans olarak kullanılarak değerlendirme yöntemlerinin gerçek hasarı kestirme düzeyleri irdelenmiştir. Sonuçlar aşağıda her örnek durum için sırayla sunulmaktadır.

### 4.1 Düzce Konut Binasında Deprem Sonrası Gözlenen Hasarlar

Düzcede bulunan konut binası 1991 yılında inşa edilmiş ve 1999 yılında önce 7.4 büyüklüğündeki 17 Ağustos Marmara Depremine ve ardından 7.1 büyüklüğündeki 12 Kasım Düzce depremine maruz kalmıştır. Her iki depreme ait yer ivmesi kayıtları binanın 250 m kuzeyinde yer alan kuvvetli yer hareketi istasyonundan elde edilmiştir.

Bina Marmara depreminde hafif, Düzce depreminde ise orta derecede hasar görmüş, ancak Marmara depreminin ardından boşaltılmıştır. Üst kat maliklerine ulaşılamadığı için sadece zemin katın hasar tespiti yapılabilmiştir. Aynı sebepten dolayı eleman hasar bilgileri sadece ilk kata aittir.

Sıva dökülmeleri ve dolgu duvarlardaki çatlaklar nedeniyle ilk bakışta binanın ileri derecede hasarlı olduğu düşünülse de, yapısal sistem üzerinde yapılan ayrıntılı incelemeler sonucunda kolonların hemen hemen hiç hasar görmediği, kirişlerde çoğunlukla kılcal çatlakların bulunduğu ve perdelerde geniş olmayan yatay ve eğik çatlaklar bulunduğu tespit edilmiştir. İlk kata ait hasar gösterimi Şekil 8'de verilmiştir.




*Şekil 8. Zemin katta gözlenen deprem hasarlarının planı*

### 4.2. Düzce Konut Binasının Deprem Sonrası Durumunun Performans Değerlendirme Yöntemleri ile Kestirilmesi

Düzce konut binasının performans değerlendirmesi Düzce Meteoroloji İstasyonu'nda 12 Kasım depreminde kaydedilen kuvvetli yer hareketinin yatay bileşenlerinin ortalaması altında yapılmıştır. Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler ile hesap yapılmıştır. Tablo 2'de her katta ve incelenen doğrultuda Can Güvenliği performans sınırlarını sağlamayan kirişlerin sayısının tüm kiriş sayısına oranı, ve performans sınırlarını sağlamayan kolon ve perdelerin aldığı kesme kuvvetinin toplam kat kesme kuvvetine oranı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablodaki DE ve DEO kısaltmaları sırasıyla Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan yöntemleri ifade etmektedir.

*Tablo 2. Düzce konut binasının mevcut durumunda doğrusal elastik (DE) ve doğrusal elastik olmayan (DEO) yöntemlere göre Can Güvenliği performans sınırlarını sağlamayan elemanların oranları (%)*

| Kat | +X Doğrultusu | | | | +Y Doğrultusu | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kolonlar ve Perdeler | | Kirişler | | Kolonlar ve Perdeler | | Kirişler | |
| | DE | DEO | DE | DEO | DE | DEO | DE | DEO |
| 1 | **82.4** | **23.3** | 10.3 | 6.9 | **32.7** | **30.0** | 29.4 | 11.8 |
| 2 | **41.0** | **67.9** | 25.0 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | **41.2** | 11.8 |
| 3 | 1.5 | 0.0 | 25.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | **47.1** | 11.8 |
| 4 | 1.7 | 0.0 | 20.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 8.8 | 11.8 |
| 5 | 8.3 | 0.0 | 10.0 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 5.9 | 5.9 |

X doğrultusunda Can Güvenliği performans düzeyini sağlamayan kolon-perde kesme oranlarının 1. ve 2. katlarda her iki hesap yöntemine göre de yüksek çıkmasının nedeni, o katlarda P1 ve P2 perdelerinin can güveliği performans sınırlarını sağlamamalarıdır. Y doğrultusunda benzer şekilde 1P4 ve 1P5 perdelerinin Can Güvenliği sınırlarını sağlamaması nedeniyle ilk katta Can Güvenliği performans düzeyini sağlamayan kolon-perde kesme oranı yüksek görünmektedir. Üst katlara çıkıldıkça kolon boyutlarının küçülmesi ve buna ek olarak eksenel kuvvetlerin azalması sebebiyle moment kapasiteleri azalan 5S10 ve 5S12 kolonları 5. katta performans sınırlarını sağlamayan elemanlardır.

Performansı yeterli olmayan kirişlerin büyük çoğunluğu perdelere saplanan kirişlerdir. Bu kirişlerin perdeye saplanan uçlarında yüksek moment istemlerine karşı koyacak yeterli dayanımları bulunmamaktadır.

Bina performans seviyesinin belirlenmesinde bir diğer önemli ölçü göreli kat ötelenmeleri sınırıdır. Her iki yöntem ile hesaplanan göreli kat ötelenmeleri, sınır değer olan 0.03'ün oldukça altındadır. Buna karşın özellikle alt katlarda Can Güvenliği performansını sağlamayan çok sayıda sünek eleman olması dikkat çekicidir. Deprem Yönetmeliği'nde verilen göreli kat ötelenmesi sınırlarının performans üzerinde belirleyici olmadığı açıktır.

Düzce konut binasının deprem sonrası mevcut durumunun değerlendirmesi sonucunda, 2007 Deprem Yönetmeliği'ndeki her iki yönteme göre de alt katlarda yatay yük taşıyıcı

sistemin ana elemanları olan perdelerin Can Güvenliği sınırını aşıp ileri hasar bölgesine geçtiği hesaplanmıştır. Halbuki deprem sonrasındaki hasar gözlemlerinde bu perdelerde ileri düzeyde sayılabilecek bir hasara rastlanmamıştır.

### 4.3. Düzce Konut Binasının Güçlendirilmiş Durumunun Değerlendirmesi

Bölüm 3.2'de belirtildiği şekilde güçlendirilen Düzce konut binasının performansı, Yönetmelik'te verilen her iki hesap yöntemi ile de değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda doğrusal elastik yönteme göre güçlendirmeden önce binada mevcut olan perdelerin X ve Y doğrultusundaki taban kesme kuvvetlerinin sırasıyla %79 ve %69'unu aldıkları, güçlendirme sonrasında bu oranların %29 ve %49'a düştükleri tespit edilmiştir.

Tablo 3'te verilen doğrusal elastik yöntem ile değerlendirme sonuçlarına göre Y doğrultusunda 2'nci ve 3'üncü katlarda performansı yetersiz bulunan kirişlerin oranının %30'u aşması nedeniyle bina Can Güvenliği performans düzeyini sağlamamaktadır. Ancak eğer $\mathbf{r/r_{sınır}}$ oranı 1.2'den küçük olan kirişlerin performansı kabul edilebilir olarak değerlendirilirse, ilgili oranlar %27.3 ve %27.3 olarak değişecektir. Bu durumda binanın Can Güvenliği performans düzeyini sağladığı kabul edilebilir.

Binanın doğrusal elastik olmayan yöntem ile değerlendirilmesinde "Can Güvenliği" performans seviyesinin sağlandığı gözlenmektedir.

*Tablo 3. Düzce konut binasının güçlendirilmiş durumunda doğrusal elastik (DE) ve doğrusal elastik olmayan (DEO) yöntemlere göre Can Güvenliği performans sınırlarını sağlamayan elemanların oranları (%)*

| Kat | +X Doğrultusu | | | | +Y Doğrultusu | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kolonlar ve Perdeler | | Kirişler | | Kolonlar ve Perdeler | | Kirişler | |
| | DE | DEO | DE | DEO | DE | DEO | DE | DEO |
| 1 | 0.5 | 0.0 | 7.4 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 24.2 | 6.1 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 11.1 | 11.1 | 0.0 | 0.0 | **42.4** | 12.1 |
| 3 | 0.0 | 0.0 | 11.1 | 11.1 | 0.0 | 0.0 | **39.4** | 9.1 |
| 4 | 0.0 | 0.0 | 11.1 | 11.1 | 0.0 | 0.0 | 21.2 | 6.1 |
| 5 | 1.7 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 14.7 | 0.0 | 15.2 | 6.1 |

### 4.4. Bakırköy Konut Binasının Mevcut Durumunun Değerlendirmesi

Mevcut binanın yapısal sistemindeki zayıflıklar Yönetmelikte verilen değerlendirme yöntemlerinin her ikisinin sonuçlarına da açık biçimde yansımıştır. Her iki yöntem de binanın Can Güvenliği performans seviyesini sağlamaktan uzakta olduğunu ortaya koymuştur. Değerlendirme sonuçları doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için Tablo 4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Binanın her iki yöntem ile de yetersiz bulunmasına karşın, doğrusal elastik olmayan yöntemin doğrusal elastik yönteme göre binayı daha toleranslı değerlendirdiği görülmektedir.

*Tablo 4. Bakırköy konut binasının mevcut durumunda doğrusal elastik (DE) ve doğrusal elastik olmayan (DEO) yöntemlere göre Can Güvenliği performans sınırlarını sağlamayan elemanların oranları (%)*

| Kat | +X Doğrultusu | | | | +Y Doğrultusu | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kolonlar | | Kirişler | | Kolonlar | | Kirişler | |
| | DE | DEO | DE | DEO | DE | DEO | DE | DEO |
| 1 | **94.7** | **37.9** | **94.1** | 17.6 | **79.6** | **29.0** | **87.5** | 6.3 |
| 2 | **88.7** | 14.9 | **100.0** | **53.3** | **85.6** | 0.0 | **87.5** | **50.0** |
| 3 | **97.7** | 0.0 | **100.0** | **61.5** | **85.6** | 0.0 | **100.0** | **75.0** |
| 4 | **96.6** | **33.5** | **100.0** | **61.5** | **93.0** | 0.0 | **100.0** | **43.8** |
| 5 | **90.4** | **41.1** | **84.6** | 23.1 | **92.4** | **43.8** | **87.5** | 6.3 |
| 6 | **49.2** | 0.0 | 15.4 | 0.0 | **57.0** | 0.0 | **31.3** | 0.0 |

### 4.5. Bakırköy Konut Binasının Güçlendirilmiş Durumunun Değerlendirmesi

Bölüm 3.4'te sunulduğu biçimde güçlendirilen binanın doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler ile değerlendirme sonuçları Tablo 5'te karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir. Doğrusal elastik yöntem sonuçlarına göre bina birinci katta X doğrultusundaki yetersiz kiriş oranı nedeniyle Can Güvenliği performans düzeyini sağlamamaktadır. Ancak eğer $\mathbf{r/r}_{sınır}$ oranı 1.2'nin altında olan (6 adet) kirişlerin performansları kabul edilebilir olarak değerlendirilirse, birinci katta yetersiz kirişlerin oranı yüzde 28.6'ya inmektedir. Bu durumda binanın hedef performans düzeyini sağladığı kabul edilebilir. Diğer yandan doğrusal elastik olmayan yöntem ile yapılan değerlendirmenin sonuçlarına göre bina Can Güvenliği performans düzeyini sağlamaktadır.

*Tablo 5. Bakırköy konut binasının güçlendirilmiş durumunda doğrusal elastik (DE) ve doğrusal elastik olmayan (DEO) yöntemlere göre Can Güvenliği performans sınırlarını sağlamayan elemanların oranları (%)*

| Kat | +X Doğrultusu | | | | +Y Doğrultusu | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kolonlar ve Perdeler | | Kirişler | | Kolonlar ve Perdeler | | Kirişler | |
| | DE | DEO | DE | DEO | DE | DEO | DE | DEO |
| 1 | 12.1 | 10.5 | **57.1** | 9.5 | 0.0 | 2.4 | 22.7 | 13.6 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 10.5 | 2.0 | 0.0 | 22.7 | 18.2 |
| 3 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 11.8 | 2.4 | 0.0 | 27.3 | 9.1 |
| 4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 29.4 | 2.9 | 0.0 | 22.7 | 9.1 |
| 5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 29.4 | 2.2 | 0.0 | 22.7 | 9.1 |
| 6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 23.5 | 4.7 | 0.0 | 18.2 | 0.0 |

## 5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

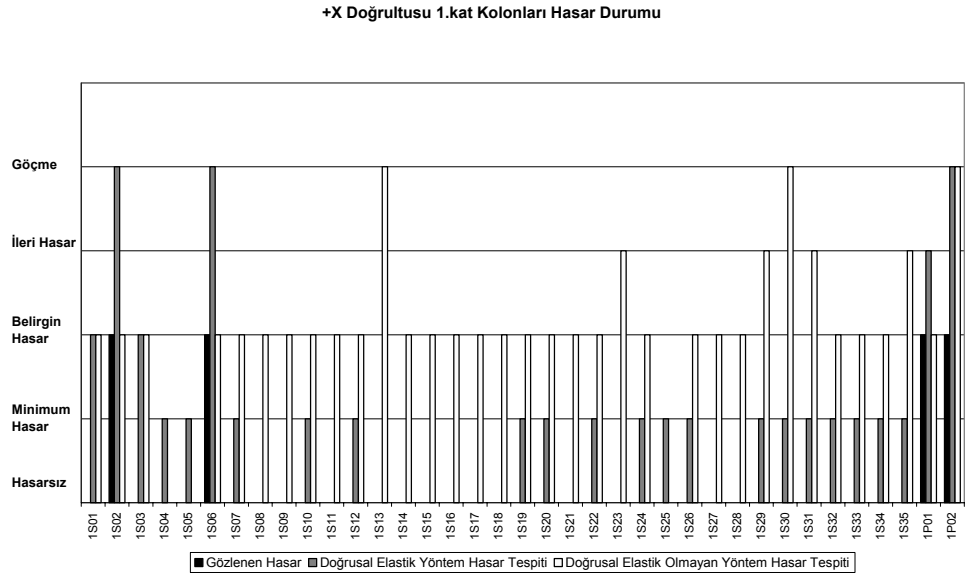
### 5.1. Düzce Binasıda Gözlenen Hasarın Değerlendirme Yöntemleriyle Karşılaştırılması

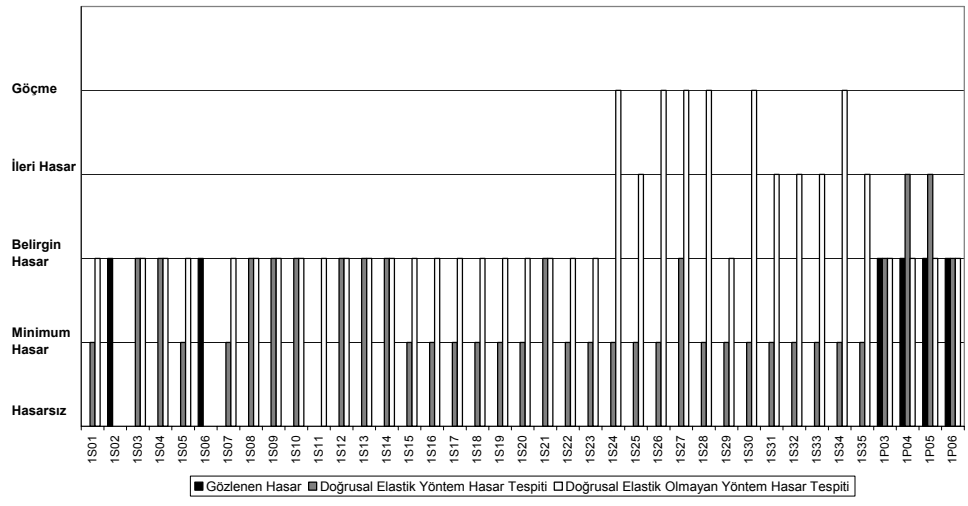
2007 Deprem Yönetmeliği'nde yer alan mevcut binaları değerlendirme yöntemlerinin gerçek hasarı ne kadar yakın tahmin edebildikleri, Düzce konut binasında gözlenen gerçek deprem hasarı ile hesap sonuçlarının karşılaştırması sonucunda belirlenmiştir. Bölüm 4.2'de verilen genel karşılaştırmaya ek olarak burada her eleman için hesap yöntemleri sonuçları ve deprem sonrası saha gözlemleri ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Şekil 9 da sunulan çubuk diyagram karşılaştırmaları kullanılmıştır. Her eleman için verilen üç çubuk, gözlenen hasar ile doğrusal elastik yöntem ve doğrusal elastik olmayan yöntemin değerlendirme sonuçlarına göre tespit edilen hasar bölgelerini temsil etmektedir.

Sonuçların karşılaştırmalı incelemesi, her iki yöntemin de kolonlarda gözlenen hasarı yakalayamadığını ortaya koymuştur. Doğrusal elastik olmayan yöntemin 1S02 ve 1S06 kolonları için değerlendirmesi "belirgin hasar" iken doğrusal elastik yöntem bu kolonların "göçme bölgesinde" olduğunu öngörmektedir. Bu iki kolonun gerçekte gözlenen hasarı "belirgin hasar"dır. Diğer tüm kolonlarda deprem sonrasında hiçbir hasar gözlenmemesine karşın her iki yöntem minimum hasardan göçmeye kadar çeşitli hasar tahminlerinde bulunmuştur. Diğer yandan perdeler için iki yöntemin belirlediği hasar dereceleri gözlenen hasarlar ile daha tutarlıdır.

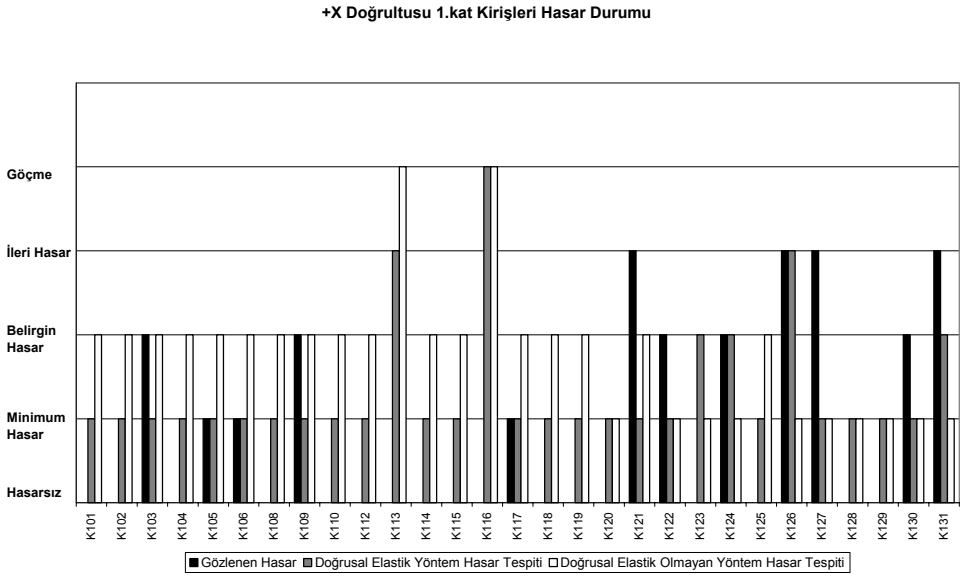
Benzer durum kirişler için de geçerlidir. Gerçekte deprem sonrası sadece birkaç kirişte hasar tespit edilmesine karşın, her iki yöntem de kirişlerin tamamında çeşitli derecelerde hasar tahmin etmiştir.

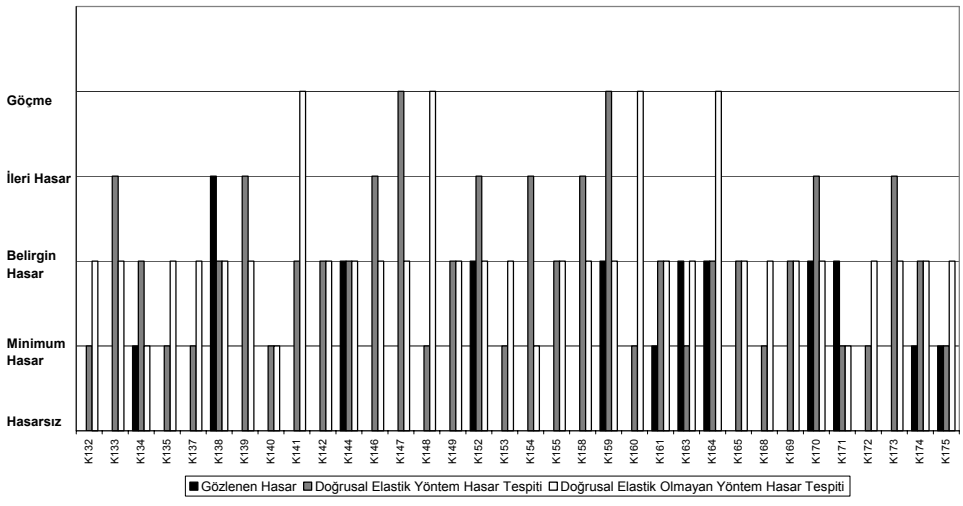
Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerin her ikisi de Düzce yer hareketi altında bina performans düzeyini "Göçme" olarak belirlemiştir. Oysa bina iki şiddetli depreme maruz kalmasına rağmen oldukça sınırlı düzeyde hasar görmüş, hiçbir şekilde göçme olarak tanımlanabilecek tehlikeli bir görünüm arzetmemiştir. Bu sonuç, 2007 DepremYönetmeliği'nde verilen mevcut binaları değerlendirme yöntemlerinin oldukça tutucu olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer yandan ise, elde edilen sonuçlar Yönetmelik Madde 7.1.5'de ifade edilen "binada hasara neden olan bir deprem sonrasında hasarlı binanın deprem performansı 7. Bölümde verilen yöntemlerle belirlenemez" hükmünü doğrulamaktadır.




*Şekil 9. Düzce konut binası deprem sonrası durumu için hasar karşılaştırması*




*Şekil 9. Düzce konut binası deprem sonrası durumu için hasar karşılaştırması (devam)*

### 5.2. Mevcut Bina Değerlendirmelerinin Karşılaştırılması

Değerlendirilen her iki mevcut bina esasen düşük standartlarda binalardır ve öngörülen performans seviyeleri de düşük düzeydedir. Ancak doğrusal elastik yöntemin belirlediği performans düzeyleri, doğrusal elastik olmayan yönteme kıyasla daha da düşüktür. Diğer taraftan Bakırköy binasının yapısal zayıflığına rağmen doğrusal elastik olmayan yöntemin beklentilerin daha üstünde bir performans öngördüğü not edilmelidir.

### 5.3. Güçlendirilmiş Bina Değerlendirmelerinin Karşılaştırılması

Aynı karşılaştırma güçlendirme yöntemleri için de gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalar Tablo 3 ve Tablo 5'te verilmiştir. Eklenen perdelerin mevcut elemanlar üzerindeki etkileri azaltıp yeterli performans artışını sağladığı gözlenmektedir.

Mevcut kirişler kesit ve malzeme özellikleri açısından deprem yüklerini taşımak için yeterli kapasiteye sahip değildirler. Güçlendirme projelerinde kirişlere herhangi bir müdahele yapılmamışsa da, üzerlerindeki deprem yükü azalmıştır. Ancak buna rağmen bazı kirişler yeterli performansı hala sağlamamaktadır. Bu durum özellikle doğrusal elastik yöntem ile yapılan değerlendirmelerde çok belirgindir.

Düşük kiriş kapasiteleri nedeniyle doğrusal elastik yöntem ile Can Güvenliği performans düzeyi hala sağlananamaktadır. Doğrusal elastik yöntem bina performanslarını Göçmenin Önlenmesi olarak hesaplarken, doğrusal elastik olmayan yöntem Can Güvenliği olarak hesaplamaktadır. Doğrusal elastik yöntem için Yönetmelikte verilen kiriş sınır değerlerinin arttırılması bu farkı azaltabilir.

## 6. BİNALARIN MEVCUT VE GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUMDAKİ DAVRANIŞLARININ KARŞILIKLI DEĞERLENDİRMESİ

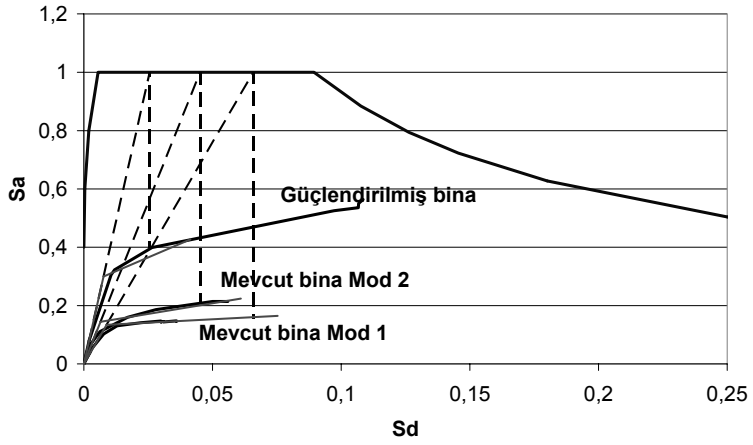
Mevcut ve güçlendirilmiş binaların dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerindeki değişim yapı bütününde kapasite eğrilerinin karşılaştırması ile gözlenebilir. Şekil 10 - Şekil 13'de güçlendirme sonucunda örnek binalarda elde edilen kapasite değişimleri görülmektedir. Her iki binada ve her iki yönde yatay yük dayanım kapasiteleri önemli ölçüde artmış, ancak yatay şekildeğiştirme kapasitelerinde bazı durumlarda artış, bazı durumlarda ise azalma olmuştur.

Güçlendirme ile elde edilen yatay dayanım artışı doğrusal elastik hesapta binaların yatay yük azaltma katsayısı (**R**) istemlerinde, doğrusal elastik olmayan hesapta ise süneklik katsayısı (**μ**) veya şekildeğiştirme istemlerinde önemli azalmalar sağlamaktadır. Şekil 10 - Şekil 13'den elde edilen **R** ve **μ** istemleri Tablo 6'da verilmektedir. Tabloda sunulan değerler uygulanan perde ile güçlendirme sonucunda **R** istemlerinin mevcut durumdaki 5-14 düzeyindeki değerlerden 3 civarında kararlı bir değere indiğini göstermektedir. Benzer şekilde süneklik istemleri de azalmıştır, ancak süneklik istemindeki azalma **R** katsayısındaki azalma kadar belirgin değildir. Bunun nedeni izleyen paragrafta irdelenecektir.

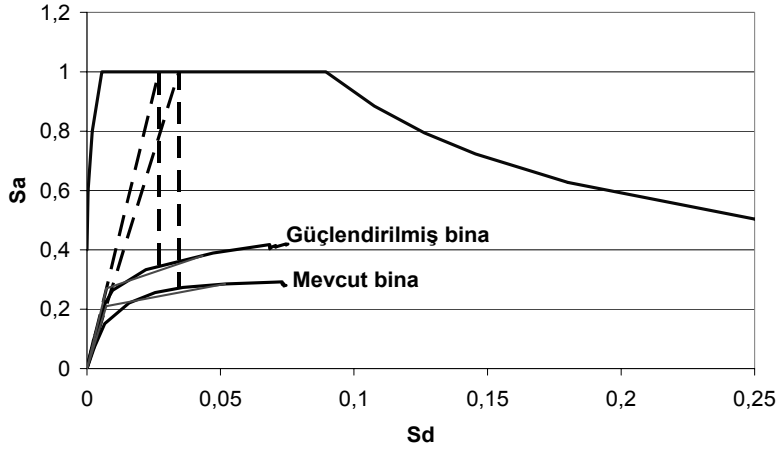
Perde ile yapılan güçlendirmelerde **R** talebinin 3 civarında kararlı bir değere inmesi, bu tür güçlendirmelerde basit hesap yöntemlerinin uygulanabilir olabileceğini göstermektedir. Örneğin, **R**=3 alınarak azaltılmış deprem kuvvetleri ile yapılacak bir doğrusal elastik hesap performans değerlendirmesi için yeterli olabilecektir.

*Tablo 6. Örnek binalarda elde edilen R ve μ istemleri*

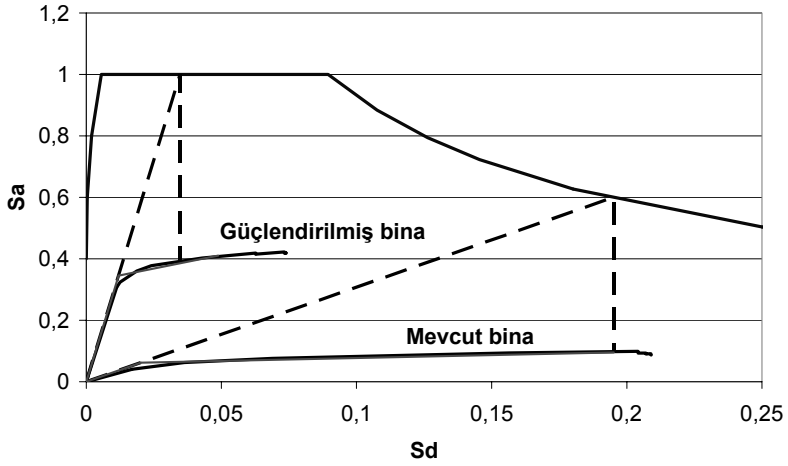
| **Bina ve Durum** | **R** | | **μ** | |
|---|---|---|---|---|
| | **+X** | **+Y** | **+X** | **+Y** |
| **Düzce mevcut** | 7.5 (mod 1) | 4.8 | 8.5 (mode 1) | 7.1 |
| | 6.9 (mod 2) | | 9.3 (mode 2) | |
| **Düzce güçlendirilmiş** | 3.3 | 3.7 | 5.4 | 6.0 |
| **Bakırköy mevcut** | 9.7 | 13.8 | 9.7 | 13.8 |
| **Bakırköy güçlendirilmiş** | 2.9 | 3.7 | 4.1 | 4.7 |



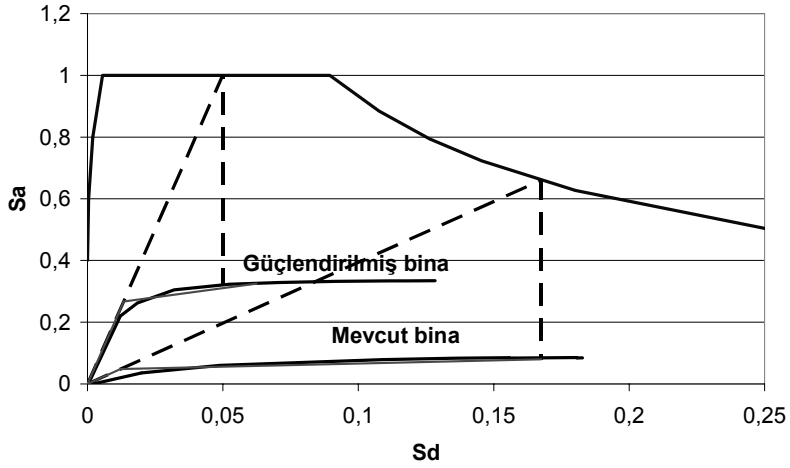

*Şekil 10. Düzce konut binası mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının +X doğrultusu için spektral ivme-spektral deplasman düzleminde kapasite eğrileri*




*Şekil 11. Düzce konut binası mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının. +Y doğrultusu için spektral ivme-spektral deplasman düzleminde kapasite eğrileri*



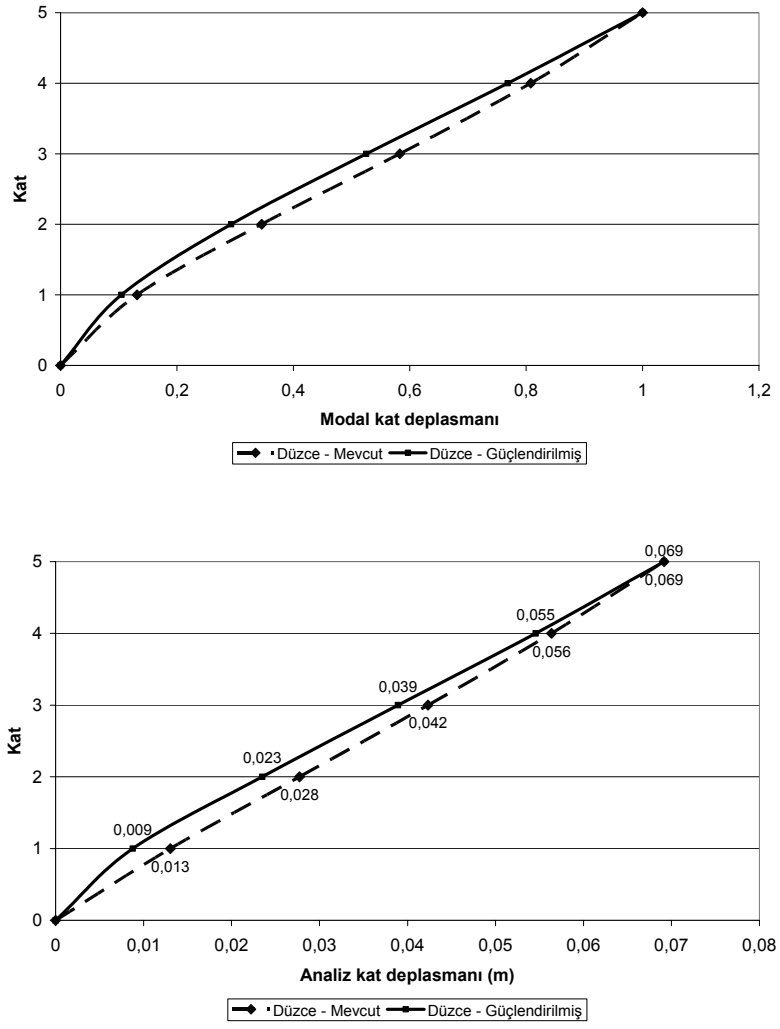

*Şekil 12. Bakırköy konut binası mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının +X doğrultusu için spektral ivme-spektral deplasman düzleminde kapasite eğrileri*



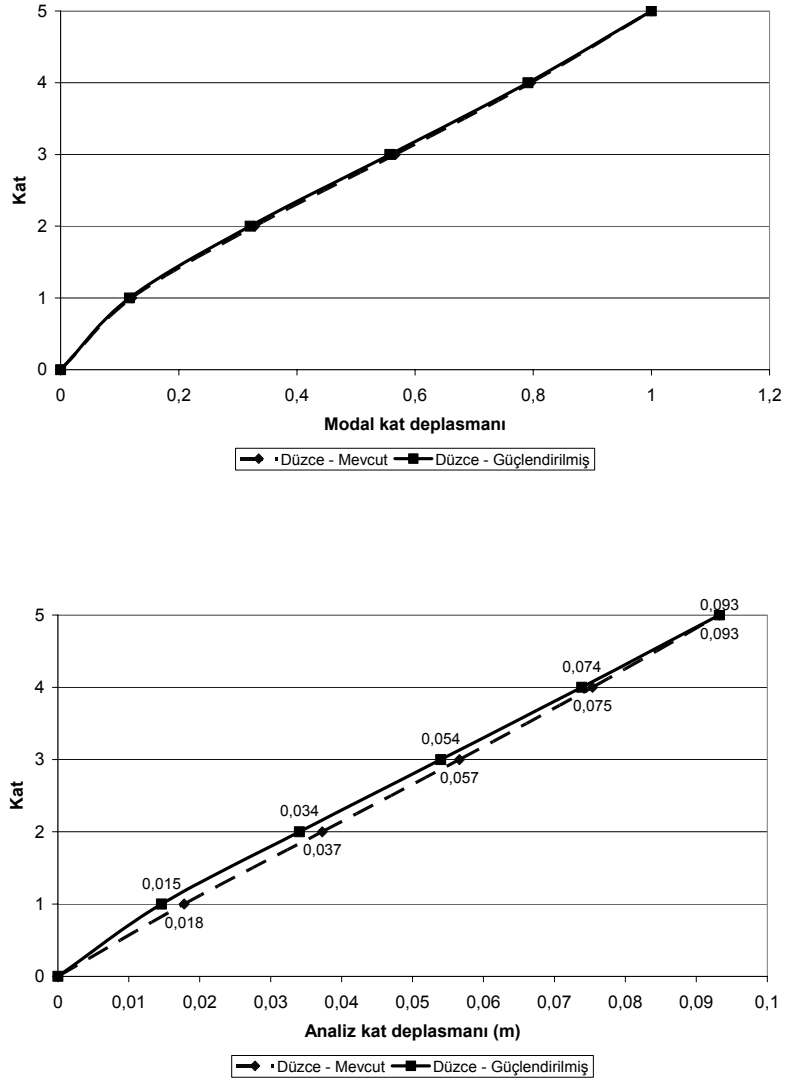

*Şekil 13. Bakırköy konut binası mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının +Y doğrultusu için spektral ivme-spektral deplasman düzleminde kapasite eğrileri*

Mevcut ve güçlendirilmiş binaların birinci mod şekilleri ve artımsal itme analizi sonucunda elde edilen kat ötelenmeleri Şekil 14 - 17'de verilmiştir. Mod şekilleri tepe değerleri ile normalize edilmiştir. Ötelenme şekilleri ise aynı tepe ötelenmesi için çizilmiştir. Şekillerin incelenmesi sonucunda yeni elemanların eklenmesinin kat deplasmanlarında önemli değişikliklere yol açtığı gözlenmiştir. Düzce binasının +X doğrultusunda mevcut binanın ilk kat yerdeğiştirme kapasitesi güçlendirilmiş binaya oranla daha düşüktür ve sonuç olarak mevcut bina güçlendirilmiş binadan daha düşük bir tepe deplasmanında göçme sınırına ulaşmıştır. Ancak mevcut binada göçmeye neden olan ilk kat kolonları güçlendirilmiş binada daha düşük ötelenme istemlerine maruzdur (Şekil 14). Bu nedenle güçlendirilmiş bina aynı kolon ile daha büyük ötelenme değerlerine gidebilmektedir (Şekil 10). Diğer yandan, aynı binanın +Y doğrultusunda mod şekilleri ve kat ötelenme istemlerinin yaklaşık olarak aynı olması sebebi ile göçme ötelenmeleri de yakındır (Şekil 15).

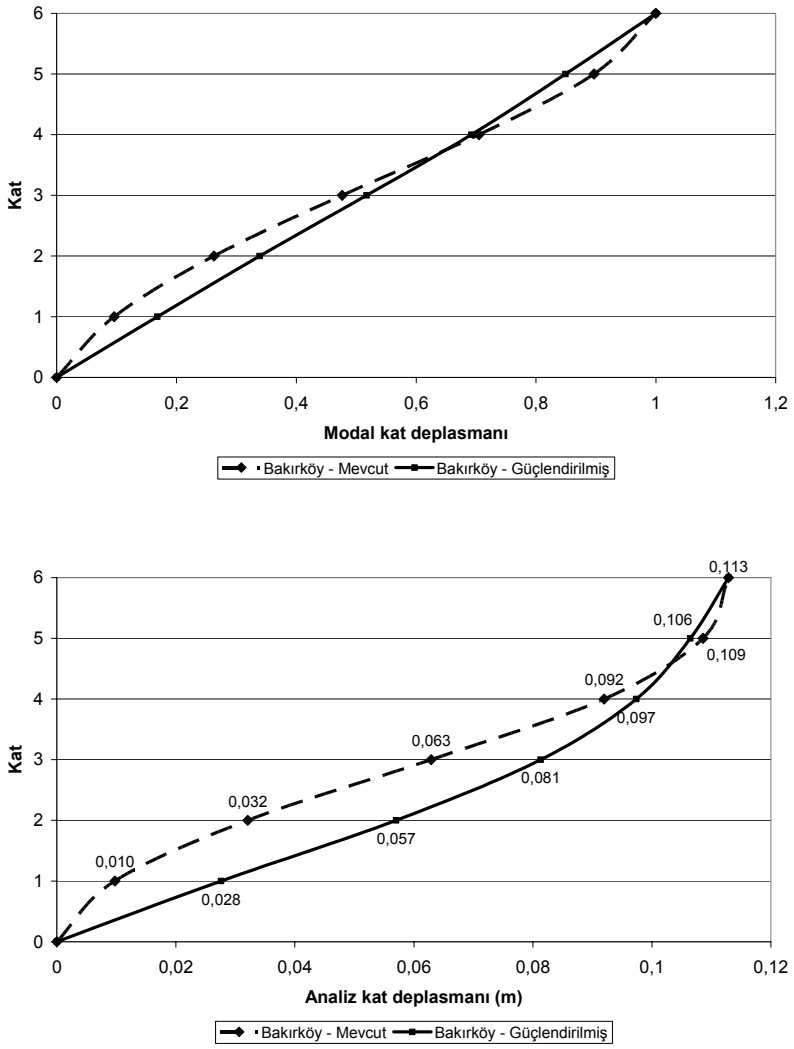
Bakırköy binasının güçlendirilmiş durumunda X doğrultusunda 1S03 kolonunun alt ucunun göçmesi sonucunda analiz 0.113m tepe ötelenmesinde durmuştur (Şekil 12). Mevcut durumda aynı kolon aynı tepe ötelenmesinde akma durumuna bile ulaşmamıştır. Bunun nedeni, aynı tepe ötelenmesinde mevcut durumda ilk katın ötelenmesi 0,010 m iken güçlendirilmiş durumda 0.028m olmasıdır (Şekil 16). Bu değişimin başlıca nedeni, perdelerin eklenmesi ile sistemin çerçeve davranışından perde davranışına geçmesidir.



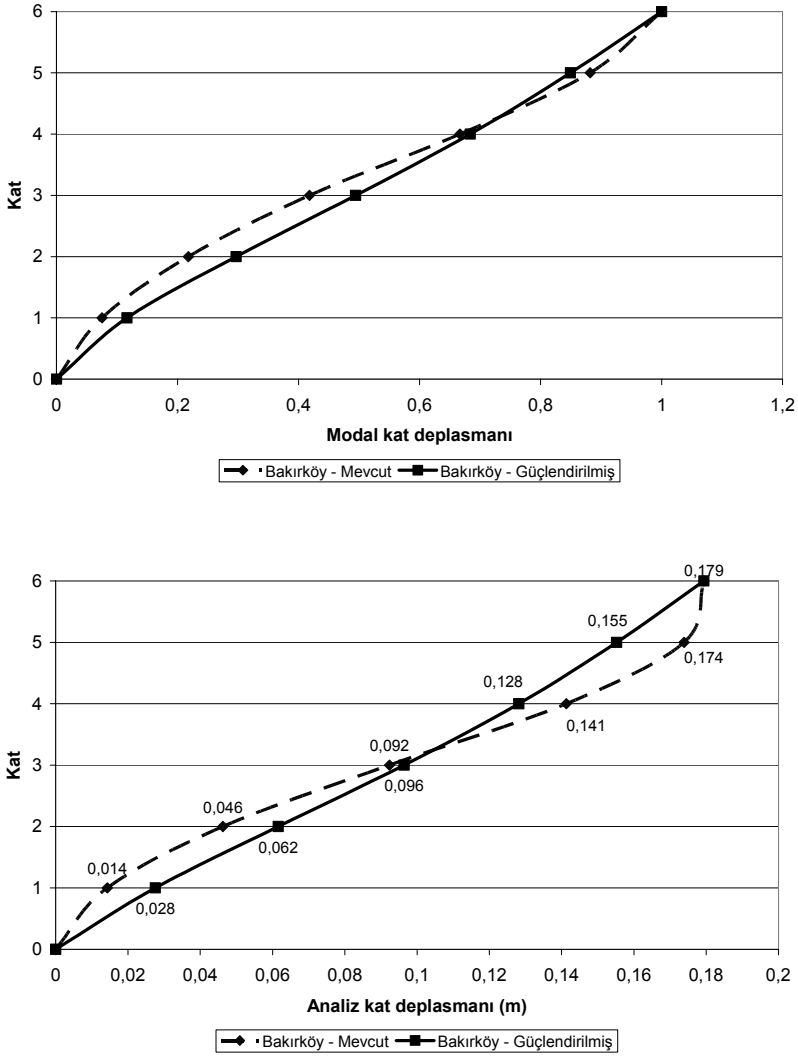

*Şekil 14. Düzce konut binası mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının +X doğrultusu için kat ötelenmeleri*




*Şekil 15. Düzce konut binası mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının +Y doğrultusu için kat ötelenmeleri*




*Şekil 16. Bakırköy konut binası mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının +X doğrultusu için kat ötelenmeleri*




*Şekil 17. Bakırköy konut binası mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının +Y doğrultusu için kat ötelenmeleri*

## 6. YORUM

2007 Deprem Yönetmeliği'nin "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" bölümünde yer alan iki farklı hesap yönteminin karşılaştırması sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Her iki yöntemin de artıları ve eksileri vardır. 2007 Deprem Yönetmeliği iki yöntemden birinin seçilmesi konusunda herhangi bir sınırlama getirmemektedir. Ancak doğru ve güvenilir sonuç elde edilmesi amacıyla bu yöntemlerin teorik altyapısının iyi anlaşılması gereklidir. Aksi taktirde, iki farklı mühendis aynı yöntemi kullansalar bile farklı sonuçlar elde edebilirler.
- Bina performans tahmininde doğrusal elastik yöntem doğrusal elastik olmayan yönteme kıyasla özellikle kirişlerde çok daha tutucudur.
- Sonuçların karşılaştırmalı incelemesi, her iki yöntemin de özellikle kolonlarda gözlenen gerçek hasarı yakalayamadığını, gözlenenden daha yüksek hasar belirlediğini ortaya koymuştur.
- Deprem Yönetmeliğinde yer alan göreli kat ötelenmeleri sınırları gerçekçi değildir. Hiçbir durumda belirleyici olmamaktadır.
- Sünek perdelerle güçlendirilen bir binada yeni eklenen perdelerin davranışı ve dayanımı belirlemesi durumunda **R**-katsayısı esaslı basit bir doğrusal elastik hesap yöntemi uygulanabilir. İncelenen mevcut ve güçlendirilmiş binalar benzer durumlar için **R** katsayısının **3** civarında alınabileceğini göstermiştir.
- Yetersiz bir binada perde ekleme yöntemiyle yapılan güçlendirme her durumda önemli bir dayanım artışı sağlamakta, ancak çoğu durumda binanın ötelenme kapasitesini arttırmamaktadır. Bunun nedeni mevcut elemanların ötelenme kapasitelerinin sınırlı olması ve bazı durumlarda bu elemanların güçlendirilmiş binada daha yüksek ötelenme istemlerine maruz kalmalarıdır. Güçlendirmenin süneklik kapasitesini arttırmaması, basit ve az katlı ($\leq$6 kat) binalarda sınırlı ölçüde azaltılmış deprem kuvvetleri ile yapılacak basit doğrusal elastik hesabı haklı çıkarmaktadır.
- Yapılan karşılaştırmalı çalışma, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde verilen mevcut binaları değerlendirme yöntemlerinin oldukça tutucu olduğunu ortaya koymaktadır.

### Kaynaklar

[1] Japan International Cooperation Agency and Istanbul Metropolitan Municipality (JICA). "A disaster prevention/mitigation basic plan in Istanbul including seismic microzonation", Istanbul, 2002

[2] European Committee for Standardization (CEN) "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 3: Strengthening and repair of buildings – Final" Eurocode 8, Brussels, 2005

[3] Applied Technology Council, ATC-40, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", Volume 1-2, Redwood City, California, 1996

[4] Federal Emergency Management Agency (FEMA), "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA-356., 2000

[5] DBYBHY-2007 "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007

[6] Günay S, 'Simplified Procedures for Seismic Assessment of Medium Rise Reinforced Concrete Building Structures', Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2003

[7] TS-500 "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları" Türk Standartları Enstitüsü, 2000

[8] Federal Emergency Management Agency (FEMA), "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", FEMA-440, 2005