

YUMUŞAK KAT DAVRANIŞININ DUVAR ETKİSİ DİKKATE ALINARAK İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF SOFT STORY BEHAVIOUR CONSIDERING INFILL EFFECT

Hayri Baytan ÖZMEN¹, Mehmet İNEL² ve Hüseyin BİLGİN³

ÖZET

Yumuşak kat düzensizliği, yaşanan depremlerde bina hasarlarının en büyük nedenleri arasındadır. Bu düzensizlik hemen her deprem sonrası inceleme raporlarında yer almakta, üst katlarında camları dahi kırılmamış binaların bazı katlarının tamamen göçtüğü görülmektedir. Yumuşak kat, yapı taşıyıcı sistemlerinin katlar arasında farklı özelliklere sahip olmasından dolayı (kat yüksekliğinin fazla olması gibi) oluşabileceği gibi taşıyıcı sisteme ait olarak düşünülmeyen bölme duvarların miktarının değişmesi nedeniyle de gündeme gelebilmektedir. Bu çalışmada mevcut yapı stoğu içinde depreme karşı en zayıf durumda bulunduğu düşünülen orta katlı binalarda yumuşak kat davranışı ve dolgu duvarların bu davranış üzerine etkileri doğrusal ötesi statik analiz kullanılarak incelenmiştir. Orta katlı mevcut konut yapılarını temsil etmesi için 4 ve 7 katlı, düzensizliği bulunmayan iki adet betonarme bina 1975 Afet Yönetmeliği'ne göre tasarlanmıştır. Daha sonra bu binaların ilk kat yüksekliğinin arttırılması (2.8 m yerine 4 m), ilk katta duvarların üst katlara göre çok az olması ve bu ikisinin birlikte olması durumları dikkate alınarak yumuşak katlı modelleri elde edilmiştir. Düzenli ve yumuşak kat düzensizliğine sahip yapıların 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Önlenmesi seviyelerinde deplasman kapasiteleri belirlenmiştir. Bu kapasite değerleri ve yapıların davranışı dikkate alınarak kat yüksekliğinin arttırılması ve/veya dolgu duvar miktarının ani değişimi nedeniyle oluşan yumuşak kat davranışı incelenmiştir. Tüm binalar 10 ve 20 cm olmak üzere iki farklı etriye aralığı dikkate alınarak modellenmiş böylelikle yanıl donatı miktarının davranışa etkisi de değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Betonarme binalar, Deplasman kapasitesi, Doğrusal olmayan davranış, Dolgu duvar, Yumuşak kat.

ABSTRACT

Soft story irregularity is one of the main reasons of the building damage during earthquakes. This irregularity is mentioned in almost all reconnaissance reports, and buildings having total collapse at some stories, even without unbroken windows at others may be seen after earthquakes. Soft story may arise not only because of sudden changes in structural system properties (like height of the stories) but also due to abrupt changes in amount of infill walls between stories which are usually not considered as a part of load bearing system. In this study, soft story and effect of infills on this behavior are investigated using nonlinear static analysis for mid-rise reinforced concrete buildings which are thought to be the most vulnerable against earthquakes among existing building stock. Four and seven storey buildings are designed per 1975 Turkish Earthquake Code to reflect existing building stock. Soft story models of the reference buildings are obtained considering increased floor story height (4m instead of 2.8), less amount of infill at floor story and both cases. Displacement capacities of the reference and soft story models are determined at Immediate Occupancy, Life Safety and Collapse Prevention performance levels according to 2007 Turkish Earthquake Code. Soft story behavior due to change in story height and/or infill amount is evaluated in view of these displacement capacities and structural behavior of models. All of the buildings are modeled

¹ Yüksek Mühendis, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, hozmen@pau.edu.tr

² Yard. Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, minel@pau.edu.tr

³ Yüksek Mühendis, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü, Denizli, huseyinbilgin@gmail.com

with two different transverse steel spacing as 10 and 20 cm to investigate the effect of transverse steel amount on the behavior.

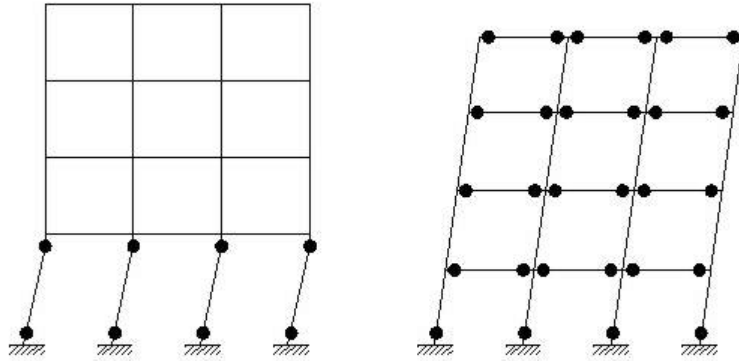
Keywords: Displacement capacity, Infill walls, Nonlinear behavior, Reinforced concrete buildings, Soft Story.

GİRİŞ

Yapıda ani rijitlik değişimi sebebiyle deprem enerjisinin tek bir katta yoğunlaşması sebebiyle oluşan yumuşak kat düzensizliği ülkemizde yaşanan depremlerde betonarme binaların yıkılma nedenlerinin başında gelmektedir. (Adalier ve Aydingun, 2001; Doğangün, 2004; Sezen ve diğ. 2003). Bu düzensizlik dünyada da önde gelen hasar nedenleri arasındadır. Bu nedenle birçok sismik değerlendirme raporunda yer almaktadır (A summary report of the January 17 1995 Kobe Earthquake, 1995; Goel, 2003; Yoshimura ve Kuroki, 2003)

Yumuşak kat ülkemizde oldukça yaygın sayılabilecek bir durumdur. Bunun başlıca nedeni birçok binanın zemin katının otopark veya dükkân olarak ticari amaçlar için kullanılmasıdır. Zemin katlarda vitrin olarak kullanmak amacıyla dış duvarlar yerine cam kullanılmakta, iç duvarlar ise geniş alanlara ihtiyaç duyulması nedeniyle üst katlara oranla çok az yapılmaktadır. Bir üstte konut amaçlı kullanılan katta ise hemen iç ve dış duvarların inşa edilmiş olması düşeyde bir rijitlik düzensizliğine yol açmaktadır.

Oluşan bu rijitlik düzensizliği özellikle perdesiz yapılarda deprem güvenliği açısından oldukça ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Deprem yüklemesi altında bu düzensizlik nedeniyle zemin katta oldukça büyük deformasyon talepleri oluşmakta ve deprem enerjisi tek bir katta yoğunlaşmaktadır. Şekil 1’de sağda görülen çerçevede deprem enerjisi katlara düzgün olarak dağılmış plastik mafsallar yoluyla tüketilmektedir. Bu sayede yapı, stabilitesi bozulmadan elde edilebilecek en yüksek sayıda plastik mafsal kullanılarak büyük miktarda enerji sönmülebilmektedir. Fakat Şekil 1’de solda görülen çerçevede oluşan yumuşak kat mekanizması nedeniyle oldukça az sayıda plastik mafsal dahi yapı stabilitesinin kaybına sebep olmaktadır. Oluşan az sayıda plastik mafsal nedeniyle enerji sönmü de zorlaşmaktadır.



Şekil 1. Yumuşak kat ve ideal göçme mekanizması

Şekil 2’de görülen bina yumuşak kat sonucu deprem enerjisinin tek bir noktada yoğunlaşmasına iyi bir örnek teşkil etmektedir. Yapının zemin katı deprem sonucu çökmüş durumda olmasına rağmen üst katların camları dahi kırılmamıştır.



Şekil 2. İlk katı yumuşak kat nedeniyle göçmüş bir bina (Goel, 2003)

ÇALIŞMANIN AMACI

Yumuşak katın zemin kat yüksekliğinin diğer katlardan fazla olması sonucu oluşabileceği inşaat mühendisleri arasında oldukça yaygın bir görüştür. Fakat literatürde katlar arasında taşıyıcı sistem değişikliği (Watanabe, 1997) veya katlar arası farklı döşeme sistemi kullanılması (kirişli ve asmolen döşeme; Doğançün, 2004) gibi birçok farklı nedenle yumuşak kat oluşumuna rastlanmıştır. Ancak betonarme yapılarda yumuşak kat oluşumunun en yaygın nedenlerinden biri katalar arasında dolgu duvar miktarında ani değişiklik yapılmasıdır. Dolgu duvarlar inşaat mühendislerince taşıyıcı sistemin bir parçası olarak görülmediğinden bina davranışını etkileyecekleri çoğunlukla göz önüne alınmaz. Bu sebeple dolgu duvarlar sebebiyle yumuşak kat oluşabileceği inşaat mühendisleri arasında yeterince yaygın bir bilgi değildir ve bu konuda gereken dikkat gösterilmemektedir. Bu çalışmada dolgu duvarların özellikle yumuşak kat davranışı üzerine etkileri incelenerek konu üzerindeki bilgi düzeyinin artırılmasına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

KAPSAM

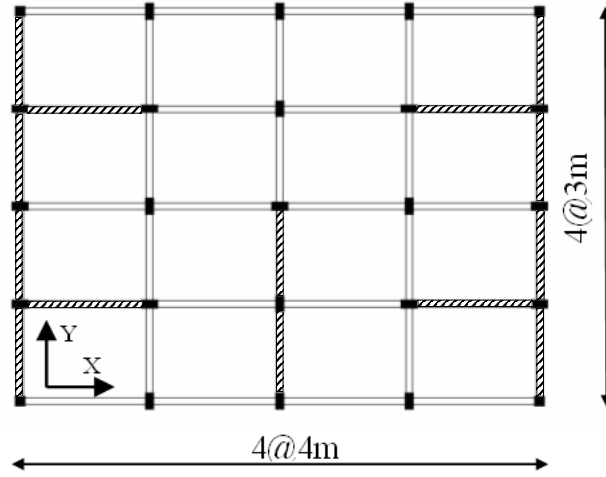
Çalışmada mevcut yapı stoğu içinde depreme karşı en zayıf durumda bulunduğu düşünülen orta katlı binalarda yumuşak kat davranışı ve duvar yerleşiminin bu davranış üzerine etkileri doğrusal ötesi statik analiz kullanılarak incelenmiştir. Mevcut orta katlı konut yapılarını temsil etmesi için 4 ve 7 katlı iki adet, düzensizliği bulunmayan betonarme binanın 1975 Afet Yönetmeliği ve yazarlar tarafından incelenen mevcut yapılarda rastlanılan şartlar dikkate alınarak doğrusal ötesi modelleri hazırlanmıştır. Doğrusal ötesi davranış eleman uçlarında tanımlanan plastik mafsallar yoluyla modellenmiştir. Mafsalların tanımlanması için her elemanın kritik kesitlerinin moment eğrilik ilişkileri Geliştirilmiş Kent ve Park sargılı beton modeli ile hesaplanmıştır. Bu moment-eğrilik ilişkileri, nihai deformasyon kriterleri ve plastik mafsal boyu kullanılarak her bir elemanın plastik dönme kapasitesi ve mafsal özellikleri belirlenmiştir. Her bir model 10 ve 20 cm olmak üzere iki farklı etriye aralığı dikkate alınarak hesaplanmış böylelikle yanal donatı miktarının davranışa etkisi de incelenmiştir. Analizlerde SAP2000 programı kullanılmıştır.

Duvarların etkisi eşdeğer çapraz basınç çubukları kullanılarak yansıtılmıştır. Basınç çubuklarının özellikleri FEMA-356 ve 2007 Deprem Yönetmeliği (DY-2007) dikkate alınarak belirlenmiştir. Modellenen 4 ve 7 katlı yapılarda ilk kat yüksekliğinin artırılması (2.8 m yerine 4 m), ilk katta duvarların üst katlara göre çok az olması ve bu ikisinin birlikte olması durumları dikkate alınarak yumuşak katlı bina modelleri elde edilmiştir. Ayrıca incelen yapılarda, duvarların hiç dikkate alınmadığı modeller de hazırlanarak sadece duvarların yapılara etkisi incelenmiştir.

Böylelikle 5 adet 4 katlı ve 5 adet 7 katlı, 3-boyutlu yapının doğrusal ötesi statik analiz yoluyla kapasite eğrileri elde edilmiştir (farklı yanal donatı miktarı ile toplam 20 yapı, 40 kapasite eğrisi). Her iki asal yönde kapasite eğrileri elde edilen bu yapıların DY-2007'ye göre Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Önlenmesi şartları dikkate alınarak 3 farklı performans seviyesi için deplasman kapasiteleri elde edilmiştir. Bu kapasite değerleri ve yapıların davranışı dikkate alınarak yumuşak kat düzensizliği; duvar etkisi ve yanal donatı miktarının bu düzensizlik üzerine etkileri irdelenmiştir.

BİNA MODELLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Dört ve yedi katlı iki adet konut binası orta katlı betonarme yapıları temsil etmek üzere seçilmiştir. Her iki yapıda Şekil 3'te görülen kalıp planına sahiptir. Seçilen yapılar Türkiye'de risk grubu içinde bulunan yapıların halen önemli bir bölümünün 1975 Afet Yönetmeliği'ne göre inşa edilmiş olması nedeniyle bu yönetmeliğe göre, betonarme çerçeve olarak tasarlanmıştır. Tasarımda 1. derece deprem bölgesi, Z3 zemin grubu dikkate alınmıştır.



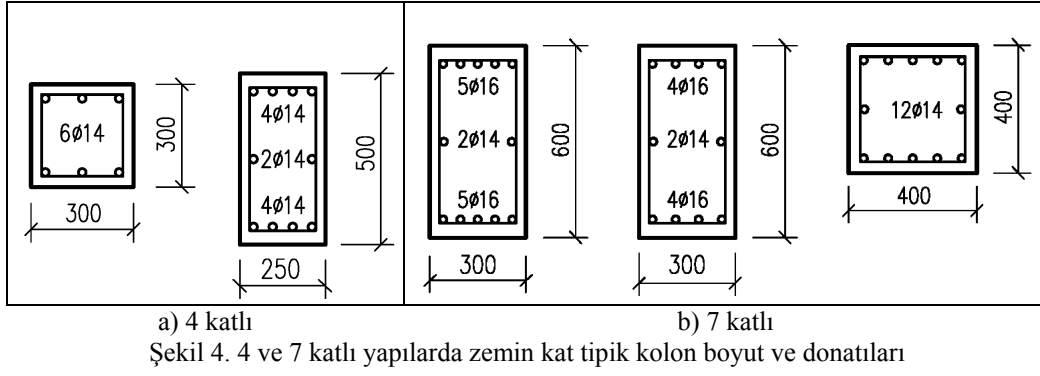
Şekil 3. Modellenen binalara ait kat kalıp planları (dolgu duvarlar taralı olarak gösterilmiştir)

Binaların tasarım ve detaylandırmasında mevcut yapı stoğu özelliklerinin yansıtılmasına özen gösterilmiştir. Yazarlar akademik çalışmalarının yanı sıra birçok mevcut kamu ve konut yapılarının sismik inceleme ve güçlendirme çalışmalarında da yer almaktadır. Yapı modellerinin oluşturulmasında bu çalışmalar sırasında yapılan gözlemler de dikkate alınmıştır.

4 ve 7 katlı referans binalar x yönünde 4 adet 4 metrelik, y yönünde ise 4 adet 3 metrelik açıklığa sahiptir. Kat yüksekliği 2.8 m'dir. Binalarda çapraz basınç çubuğu oluşturabilecek özellikteki duvarlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Bunun dışında yapıda yer alan duvarların taşıyıcı özelliğe sahip bulunmadığı varsayılmış, bu duvarların yalnız yük etkileri dikkate alınmıştır. 1975 Afet yönetmeliği'nde yer almadığından yapı tasarımında güçlü kolon-zayıf kiriş davranışının elde edilmesi için çaba harcanmamıştır. Yapı kolon boyutları birçok eski yapıda olduğu gibi üst katlara doğru azaltılmıştır.

Referans binalarda herhangi bir düzensizlik etkisi oluşmaması için kat planları x ve y yönünde simetriklerdir. Yapı kolonların uzun yönlerinin binanın her iki doğrultusunda birbirine yakın sayıda olmasına dikkat edilmiştir. Yapı kolon ve kirişlerinin boyutları mevcut yapı stoğunda rastlanan tipik boyutlardır. 4 katlı yapının zemin kat kolonları 250x500 mm ve 300x300 mm (köşe kolonlar) boyutlarındadır. Yapı kolonlarında boyuna donatı oranı %1 ila %1.5 arasında değişmektedir. Zemin kata ait tipik kolon boyut ve donatıları Şekil 4'te verilmiştir. 4 katlı tüm yapılarda 250x500 mm boyutunda kirişler kullanılmıştır.

7 katlı referans yapıda zemin kat kolonları 300x600 mm ve 400x400 mm boyutlarındadır. Bu kolonlarda boyuna donatı oranı %1.1 ve %1.3 arasında değişmektedir. Tipik kolon boyut ve donatıları Şekil 4'te verilmiştir. 7 katlı yapılarda 250x600 mm boyutunda kirişler kullanılmıştır.



1975 Afet Yönetmeliği'ne göre Şekil 4'te bulunan 300x300 mm boyutunda olan hariç tüm kolonlarda orta donatıların birbirine kanca ile bağlanması gereklidir (AY-75, 1975). Fakat yazarlar mevcut yapılarda yaptığı gözlemler sonucunda yatay donatının çoğunlukla yönetmeliğe uygun olarak imal edilmediği sonucuna varmışlardır. Mevcut yapı stoğunun yansıtılması amacıyla söz edilen kancalar modellemede göz önüne alınmamıştır. Bu sebeple 100 veya 200 mm etriye aralığına sahip olarak modellenen yapıların hiçbiri tam olarak 1975 Afet Yönetmeliği şartlarını sağlamamaktadır.

Referans binaların tasarımında beton basınç dayanımı 16 MPa, donatı akma dayanımı 220 MPa alınmıştır. Doğrusal olmayan modellerde çeliğin pekleşmesi dikkate alınmış, çelik nihai dayanımı 330 MPa olarak öngörülmüştür (TS 500, 2000). Çelik dayanım-deformasyon ilişkisi 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre belirlenmiştir (DBYYHY, 2007).

Yumuşak kat çoğunlukla zemin kat yüksekliğinin diğer katlardan fazla olması, zemin katta duvar miktarının çok az olması veya bu ikisinin birlikte bulunması sonucu oluşabilmektedir. Tablo 1'de çalışma kapsamında hazırlanan modellerin düzensizlik durumu ile ilgili açıklamalar, model adı, çatlamış kesit rijitliği dikkate alınarak birinci mod periyodu (T), akma dayanımın yapı ağırlığına oranı (C_v) değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan bina modellerinin özellikleri

| Açıklama | Model Adı | 4 Katlı | | 7 Katlı | |
|--|-----------|---------|-------|---------|-------|
| | | T (s) | C_v | T (s) | C_v |
| Referans düzenli bina | Ref-X | 0.57 | 0.17 | 0.89 | 0.15 |
| | Ref-Y | 0.47 | 0.25 | 0.75 | 0.18 |
| Referans düzenli bina hiçbir katta duvar yok | RefND-X | 0.84 | 0.14 | 1.12 | 0.12 |
| | RefND-Y | 0.81 | 0.15 | 1.10 | 0.13 |
| Zemin kat Yüksek | YKZY-X | 0.67 | 0.16 | 0.97 | 0.13 |
| | YKZY-Y | 0.54 | 0.21 | 0.83 | 0.16 |
| Zemin katta Duvar yok | YKZD-X | 0.63 | 0.17 | 0.91 | 0.14 |
| | YKZD-Y | 0.55 | 0.20 | 0.79 | 0.17 |
| Zemin kat Yüksek ve Zemin katta Duvar yok | YKZYD-X | 0.84 | 0.13 | 1.05 | 0.12 |
| | YKZYD-Y | 0.77 | 0.14 | 0.94 | 0.13 |

Model adlarının sonundaki “-X ve” “-Y” ibareleri dikkate alınan yönü göstermektedir. Açıklama kısmında binada varsa yumuşak kat oluşumuna neden olan durum yer almaktadır. Tabloda öncelikle hiçbir düzensizliği bulunmayan referans yapılara yer verilmiştir. Daha sonra referans binanın, duvarların taşıyıcı özelliklerinin dikkate alınmadığı duruma ait modeli görülmektedir. Tabloda yer alan “duvar yok” ifadesi sadece taşıyıcı eleman olarak varsayılmadığını belirtmektedir. Duvar yükleri her durumda hesaba katılmıştır. Zemin katın yüksek olarak belirtildiği durumda zemin kat yüksekliği 2.8 m yerine 4 metredir. Zemin katta duvar yok olarak belirtilen modellerde, yapının zemin katında diyagonal çapraz oluşturabilecek özellikte hiçbir duvarın bulunmadığı varsayılmıştır. Diğer katların duvar yerleşimi Şekil 1'de verildiği gibidir.

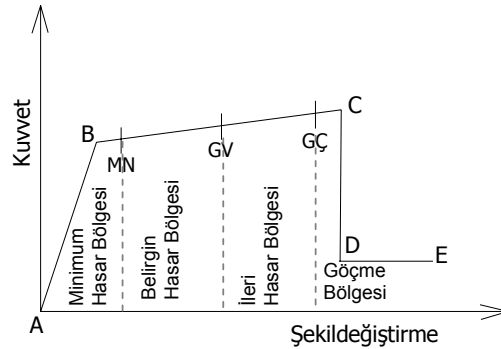
DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEME VE ANALİZ

Düzensizliğe sahip olmayan 4 ve 7 katlı referans binalar 1975 Afet Yönetmeliği'ne göre tasarlanmıştır. Elde edilen eleman boyut ve donatıları kullanılarak bu yapıların doğrusal olmayan modelleri hazırlanmıştır. Daha sonra tekrar tasarım yapılmadan referans yapılar kullanılarak düzensizliğe sahip modeller elde edilmiştir. Eleman donatı miktarlarında yuvarlama veya yakın özellikteki elemanların gruplanarak aynı mafsal ve eleman özelliklerinin atanması gibi herhangi bir basitleştirmeye gidilmemiştir, her bir eleman tasarımdan elde edilen şekliyle modellenmiştir.

Doğrusal ötesi statik analiz SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir yapının 3 boyutlu modeli SAP200 programında hazırlanmıştır. Kolon ve giriş elemanlar, uçlarında doğrusal ötesi davranışı yansıtmak üzere plastik mafsallar tanımlanan, çerçeve elemanlar olarak modellenmiştir.

Plastik Mafsallarının Tanımlanması

Bir plastik mafsalin tanımlanabilmesi için Şekil 5'te verilen B, C, D, E noktalarının koordinatları belirlenmelidir. Eğilme mafsallarında bu noktaların tanımlanabilmesi için moment-eğrilik ilişkisinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla her bir elemanın kritik kesitlerinde yanal donatı miktarı dikkate alınarak öncelikle sargılı beton birim deformasyon-dayanım ilişkisi belirlenmiştir. Çekirdek ve kabuk betonu için sargılı ve sargısız beton modeli olarak Geliştirilmiş Kent & Park modeli kullanılmıştır (Scott vd., 1982). Çelik birim deformasyon-dayanım ilişkisi DBYBHY-2007'de önerilen şekilde dikkate alınmıştır. Malzeme deformasyon-dayanım ilişkileri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik ilişkisi ve belirlenen süneklik kriterleri kullanılarak eğilme mafsallarının deformasyon kapasiteleri belirlenmiştir.



Şekil 5. Tipik dayanım deformasyon ilişkisi

“B” noktası, kesitin akma konumuna ulaştığı nokta olup, bu noktadan sonra doğrusal ötesi davranış hakim olmaya başlamaktadır. “B”-“C” noktaları arasında kesit kapasitesini korur veya pekleşirken, “C” noktasında göçme konumuna ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra kapasitede belli bir oranda düşme meydana gelir ve “D” noktasına ulaşılır. “C”-“D” arasındaki kapasite kaybı için çeşitli kaynaklarda belirli oranlar verilmektedir. Bu çalışmada “D” noktasındaki dayanım değeri FEMA-356 ve ATC-40 dokümanlarında öngörüldüğü gibi akma dayanımının % 20'si olarak belirlenmiştir (FEMA-356, 2000; ATC-40, 1996). “D”-“E” arasında düşen kapasitenin bir müddet daha korunduğu ve “E” noktasında kapasitenin tamamen kaybedilerek sıfır olduğu varsayılmaktadır.

B noktası Denklem 1'de tanımlandığı gibi kesitte bulunan çekme donatısının ilk aktığı andaki eğrilik değerinin, en dış beton lifinde basınç deformasyonunun 0.003 olduğu andaki moment dayanımı olan nominal moment dayanımının, çekme donatısının aktığı noktadaki moment dayanımına oranı ile çarpılmasıyla bulunur (Denklem 1). B noktasının dönme değerinin kullanılan yazılım yönüyle herhangi bir önemi yoktur çünkü yazılım kesitin akıp akmama durumunu moment dayanımına göre belirlemektedir.

$$\phi_y = \frac{M_n}{M_s} \phi_s \quad (1)$$

ϕ_y = Akma eğriliği, M_n = Nominal moment kapasitesi, M_s = Çekme donatısının aktığı noktadaki moment dayanımı, ϕ_s = Kesitte bulunan çekme donatısının ilk aktığı andaki eğrilik değeridir.

Diğer noktalar için kesitin zorlanmasına bağlı olarak çeşitli kriterler kullanılabilir. Bu çalışmada aşağıda verilen kriterler ışığında C ve E noktaları tanımlanmıştır. D noktası eğrilik değeri C noktası ile aynı öngörüldüğünden ayrıca bir kriter belirlenmemiştir. Göz önüne alınan ilk kriter beton basınç deformasyonu (ϵ_{cc}) ile ilgili olup, bu kriter gereğince E noktasında en üst çekirdek beton basınç deformasyon değeri ϵ_{cu} değerini aşamaz. Burada ϵ_{cu} ifadesi Priestley ve diğ. tarafından en üst çekirdek beton lifi şekil değiştirme değerinin hesaplanması için önerilen, Denklem 2’de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Priestly vd., 1996).

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yh} \epsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2)$$

ϵ_{cu} = En üst çekirdek beton lifi için izin verilen maksimum şekil değiştirme değeri, ρ_s = Hacimsel yanal donatı oranı, f_{yh} = Donatı akma dayanımı, ϵ_{su} = Donatı kopma uzaması ve f_{cc} = Sargılı beton basınç dayanımıdır.

Diğer basınç deformasyonu (ϵ_{cc}) kriterine göre “C” noktasında, en üst çekirdek beton lifi 0.02’den büyük olamaz. “E” noktasında da, 0.03 değerini aşamaz. “C” noktasında kesit, taşıyabileceği maksimum moment kapasitesinin %30’undan fazlasını kaybetmiş olmamalıdır. Bu değer “E” noktasında %40’dan fazla olmamalıdır. Kolon ve kiriş elemanlarda “C” noktasında en alt çekme donatısında maksimum şekil değiştirme kapasitesinin %50’sine ($0.5 \cdot \epsilon_{su}$) kadar deformasyon yapmasına izin verilmiştir (Priestley, 2000). Herhangi bir donatının kopması ($\epsilon_s = \epsilon_{su}$) “E” noktası olarak kabul edilmiştir.

Elde edilen bu eğrilik değerleri “yığılı plastik bölge” hipotezi gereği plastik mafsal boyu ile çarpılarak moment-eğrilik ilişkisinden moment-dönme ilişkisine geçilmiştir. Çalışmada Priestley vd. tarafından önerilen ve Denklem 3’te verilen bağıntı kullanılmıştır (Priestley vd., 1996).

$$L_p = 0.08 L_0 + 0.022 f_{sy} d_{bl} \geq 0.044 f_{sy} d_{bl} \quad (\text{MPa, mm}) \quad (3)$$

Burada; L_p : Plastik mafsal boyu, L_0 : Plastik mafsal ile moment sıfır noktası arası mesafe, f_{sy} : Boyuna donatı akma dayanımı, d_{bl} : Boyuna donatı çapıdır.

Moment mafsallarına ek olarak, kolon ve kirişlerde kesme mafsalları da tanımlanmıştır. Moment mafsallarından farklı olarak, kesme mafsallarında herhangi bir süneklik hesaplanmamış, elemanların kesme kapasitelerine ulaşır ulaşmaz göçme konumuna ulaştığı varsayılmıştır. Kesme kapasiteleri TS500’e (2000) göre hesaplanmıştır.

Binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi için gerekli olan yapı elemanlarının hasar sınırları Vision 2000 (1995) esas alınarak plastik deformasyon kapasitesinin yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Plastik deformasyonun %10’u Minimum Hasar Sınırı (MN), %60’ı Güvenlik Sınırı (GV) ve %90’ı da Göçme Sınırı (GÇ) olarak ifade edilmiştir (Şekil 5).

Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için, DBYBHY-2007’de (2007) verilen *çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri* kullanılmıştır; kirişlerde $0.40 EI_0$, kolonlarda $N / (A_c f_{ck}) \leq 0.10$ olması durumunda $0.40 EI_g$ ve $N / (A_c f_{ck}) \geq 0.40$ olması durumunda $0.80 EI_g$ ’dir. Kolonlar için ara eksenel yük değerlerinde interpolasyon yapılmıştır.

Dolgu Duvarların Modellenmesi

Dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal basınç çubukları kullanılarak modellenmiştir. Basınç çubuklarının özellikleri FEMA-356 (2000) ve DBYBHY-2007 dokümanlarından faydalanılarak belirlenmiştir. Bir duvarın basınç çubuğu olarak modellemede dikkate alınabilmesi için köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30’dan küçük olmalı, içerdiği boşluk oranı duvar alanının %10’unu

geçmemeli ve boşluğun konumu diyagonal basınç çubuğu oluşumunu engellemelidir (DBYBHY-2007). Modellerde bu özelliklere sahip olduğu varsayılan duvarlar Şekil 1’de gösterilmiştir. Duvar dayanımı FEMA-356’da belirtildiği ve DBYBHY-2007’de donatısız duvarlar için Denklem 7F.4’ün uygulanması ile elde edileceği gibi duvar yatay kesit alanının, duvar kesme dayanımı ile çarpılması sonucu elde edilmiştir. Duvarları temsil eden eşdeğer basınç çubuklarının rijitlikleri FEMA-356 ve DBYBHY-2007’de verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Duvar malzemesi boşluklu harman tuğlası olarak öngörülmüştür. Duvar elastisite modülü 1000 MPa, basınç dayanımı 1.0 MPa, kesme dayanımı 0.15 MPa olarak dikkate alınmıştır

Duvarların doğrusal ötesi davranışları FEMA-356 Bölüm 7 kullanılarak modellenmiştir. Buna göre dolgu duvarların deformasyon kapasitesi duvarın yükseklik/genişlik oranına (narinlik) ve dolgu ile çevresindeki çerçeve elemanların dayanımlarının oranına bağlıdır. Dolgu elemanın narinlik oranı arttığı ve çevresindeki elemanların dayanımının duvar dayanımından yüksek olduğu oranda dolgu deformasyon kapasitesi artmakta; aksi durumda azalmaktadır (FEMA-356, 2000).

Doğrusal Ötesi Statik Analiz

İtme analizinde “modal yük deseni” kullanılmıştır. Taban kesmesi, toplanmış kat kütleleri ve modal analizden elde edilen kat deplasmanların çarpımıyla bulunan değer oranında katlara dağıtılmıştır (x - ve y - yönlerinde). Yükler kat hizalarında ağırlık merkezlerinden uygulanmıştır. Analizlerde P-Delta etkileri dikkate alınmıştır.

ANALİZ SONUÇLARI

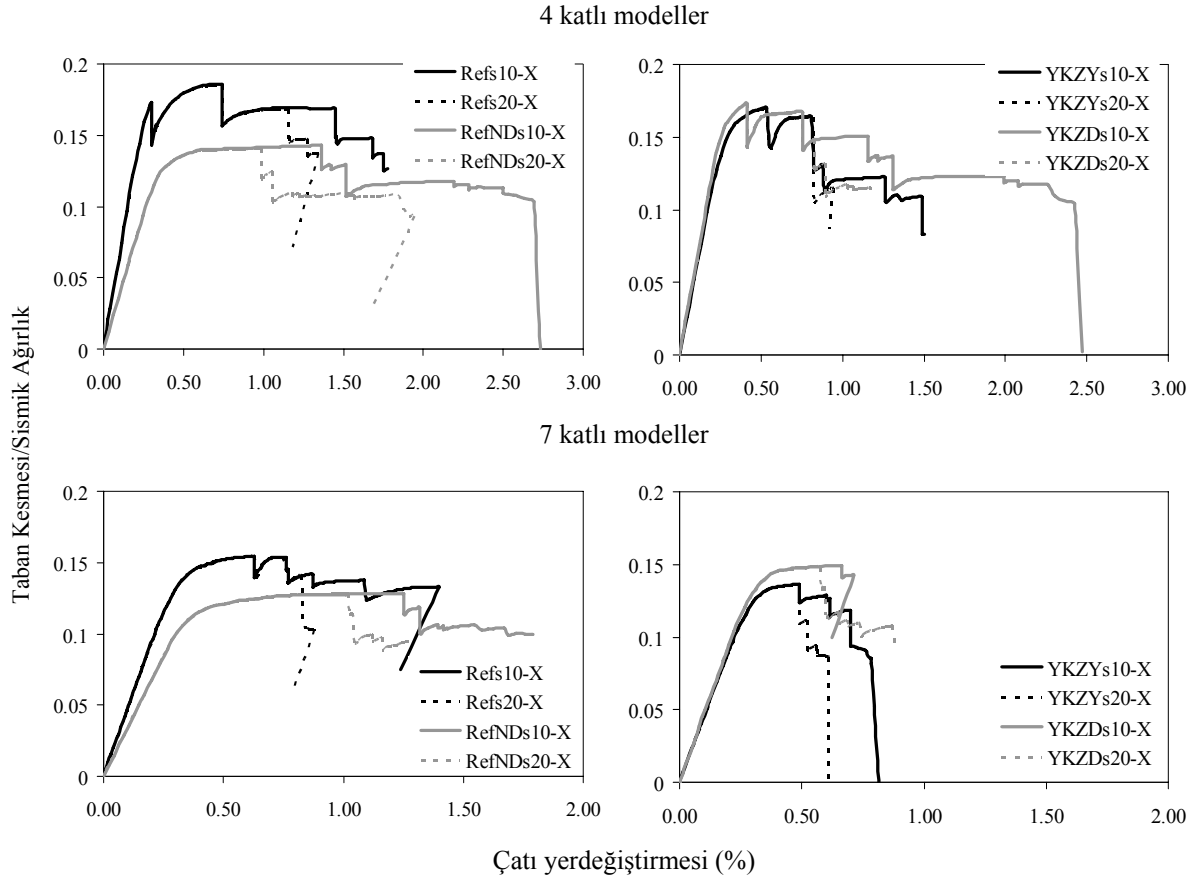
Çalışmada ele alınan her bir binanın 10 ve 20 cm etriye aralığı dikkate alınarak doğrusal olmayan modelleri hazırlanmıştır. Bu modeller doğrusal ötesi statik analize tâbi tutularak kapasite eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerden bazıları Şekil 6’da gösterilmiştir. Elde edilen kapasite eğrileri ve elemanların her bir deplasman adımında bulunduğu hasar durumları dikkate alınarak DBYBHY-2007 kriterleri dikkate alınarak Hemen Kullanım(HK), Can Güvenliği (CG) ve Göçme Önlenmesi (GÇ) performans seviyeleri için deplasman kapasitelerinin bina yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen “Görelî Ötelenme” (GÖ) oranı belirlenerek Tablo 2 ve 3’te verilmiştir. Model adında “s” harfinden sonra gelen rakam santimetre olarak modellemede esas alınan etriye aralığını ifade etmektedir. Adlandırmadaki son harf ise analiz yönünü belirtmektedir. Tablolarda “/Ref” ile gösterilen sütunda her bir modele ait değer düzenli yapıya ait aynı değere oranı verilmiştir. Tablolarda “C” ile gösterilen sütunda modelin o deplasman değerinde sahip olduğu “yatay dayanım katsayısı” (yatay dayanım/yapı ağırlığı) verilmektedir.

Tablo 2. 4 katlı Modellere ait performans değerlendirmesi sonuçları

| Model | HK | | | | CG | | | | GÇ | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | GÖ | /Ref | C | /Ref | GÖ | /Ref | C | /Ref | GÖ | /Ref | C | /Ref |
| Refs10-X | 0.53 | 1.00 | 0.18 | 1.00 | 1.08 | 1.00 | 0.17 | 1.00 | 1.45 | 1.00 | 0.17 | 1.00 |
| Refs10-Y | 0.23 | 1.00 | 0.20 | 1.00 | 0.59 | 1.00 | 0.22 | 1.00 | 0.84 | 1.00 | 0.17 | 1.00 |
| Refs20-X | 0.50 | 1.00 | 0.18 | 1.00 | 0.68 | 1.00 | 0.18 | 1.00 | 1.15 | 1.00 | 0.17 | 1.00 |
| Refs20-Y | 0.20 | 1.00 | 0.18 | 1.00 | 0.40 | 1.00 | 0.25 | 1.00 | 0.63 | 1.00 | 0.22 | 1.00 |
| RefNDs10-X | 0.51 | 0.96 | 0.14 | 0.76 | 0.90 | 0.83 | 0.14 | 0.84 | 1.36 | 0.94 | 0.14 | 0.85 |
| RefNDs10-Y | 0.30 | 1.32 | 0.12 | 0.58 | 0.78 | 1.33 | 0.15 | 0.70 | 1.21 | 1.44 | 0.15 | 0.89 |
| RefNDs20-X | 0.44 | 0.89 | 0.13 | 0.74 | 0.68 | 1.00 | 0.14 | 0.75 | 0.99 | 0.86 | 0.14 | 0.83 |
| RefNDs20-Y | 0.25 | 1.28 | 0.10 | 0.56 | 0.57 | 1.42 | 0.15 | 0.59 | 0.86 | 1.36 | 0.15 | 0.69 |
| YKZYs10-X | 0.33 | 0.62 | 0.16 | 0.87 | 0.81 | 0.74 | 0.16 | 0.97 | 1.22 | 0.84 | 0.12 | 0.73 |
| YKZYs10-Y | 0.22 | 0.96 | 0.17 | 0.85 | 0.49 | 0.84 | 0.16 | 0.73 | 0.69 | 0.82 | 0.15 | 0.85 |
| YKZYs20-X | 0.30 | 0.61 | 0.15 | 0.85 | 0.46 | 0.68 | 0.17 | 0.91 | 0.82 | 0.72 | 0.16 | 0.97 |
| YKZYs20-Y | 0.19 | 0.98 | 0.16 | 0.86 | 0.37 | 0.94 | 0.22 | 0.86 | 0.47 | 0.74 | 0.22 | 1.00 |
| YKZDs10-X | 0.28 | 0.52 | 0.16 | 0.87 | 0.68 | 0.63 | 0.17 | 0.99 | 1.15 | 0.79 | 0.15 | 0.90 |
| YKZDs10-Y | 0.16 | 0.71 | 0.13 | 0.66 | 0.38 | 0.64 | 0.20 | 0.94 | 0.69 | 0.82 | 0.20 | 1.17 |
| YKZDs20-X | 0.24 | 0.48 | 0.15 | 0.81 | 0.37 | 0.54 | 0.17 | 0.92 | 0.83 | 0.72 | 0.15 | 0.88 |
| YKZDs20-Y | 0.13 | 0.67 | 0.11 | 0.61 | 0.24 | 0.61 | 0.18 | 0.72 | 0.44 | 0.69 | 0.21 | 0.93 |
| YKZYDs10-X | 0.26 | 0.48 | 0.12 | 0.64 | 0.55 | 0.50 | 0.14 | 0.82 | 0.88 | 0.60 | 0.14 | 0.86 |
| YKZYDs10-Y | 0.17 | 0.74 | 0.10 | 0.47 | 0.42 | 0.72 | 0.15 | 0.69 | 0.65 | 0.78 | 0.15 | 0.84 |
| YKZYDs20-X | 0.23 | 0.46 | 0.11 | 0.61 | 0.37 | 0.54 | 0.13 | 0.71 | 0.61 | 0.53 | 0.14 | 0.84 |
| YKZYDs20-Y | 0.15 | 0.73 | 0.08 | 0.46 | 0.28 | 0.70 | 0.14 | 0.54 | 0.45 | 0.71 | 0.15 | 0.68 |

Tablo 3. 7 katlı Modellere ait performans değerlendirmesi sonuçları

| Model | HK | | | | CG | | | | GÇ | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | GÖ | /Ref | C | /Ref | GÖ | /Ref | C | /Ref | GÖ | /Ref | C | /Ref |
| Refs10-X | 0.43 | 1.00 | 0.15 | 1.00 | 0.65 | 1.00 | 0.15 | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 0.13 | 1.00 |
| Refs10-Y | 0.36 | 1.00 | 0.18 | 1.00 | 0.48 | 1.00 | 0.19 | 1.00 | 0.68 | 1.00 | 0.19 | 1.00 |
| Refs20-X | 0.38 | 1.00 | 0.15 | 1.00 | 0.59 | 1.00 | 0.15 | 1.00 | 0.83 | 1.00 | 0.14 | 1.00 |
| Refs20-Y | 0.31 | 1.00 | 0.17 | 1.00 | 0.46 | 1.00 | 0.18 | 1.00 | 0.58 | 1.00 | 0.19 | 1.00 |
| RefNDs10-X | 0.52 | 1.19 | 0.12 | 0.82 | 0.95 | 1.45 | 0.13 | 0.87 | 1.25 | 0.89 | 0.13 | 0.97 |
| RefNDs10-Y | 0.51 | 1.40 | 0.13 | 0.73 | 0.89 | 1.86 | 0.14 | 0.74 | 1.28 | 1.87 | 0.14 | 0.73 |
| RefNDs20-X | 0.48 | 1.25 | 0.12 | 0.83 | 0.81 | 1.36 | 0.13 | 0.83 | 1.02 | 1.24 | 0.13 | 0.91 |
| RefNDs20-Y | 0.43 | 1.40 | 0.13 | 0.75 | 0.62 | 1.35 | 0.13 | 0.72 | 0.74 | 1.26 | 0.13 | 0.71 |
| YKZYs10-X | 0.30 | 0.69 | 0.12 | 0.83 | 0.48 | 0.73 | 0.14 | 0.93 | 0.61 | 0.44 | 0.13 | 0.95 |
| YKZYs10-Y | 0.27 | 0.74 | 0.15 | 0.83 | 0.41 | 0.87 | 0.17 | 0.88 | 0.60 | 0.88 | 0.17 | 0.88 |
| YKZYs20-X | 0.27 | 0.70 | 0.11 | 0.79 | 0.37 | 0.63 | 0.13 | 0.87 | 0.49 | 0.59 | 0.14 | 0.97 |
| YKZYs20-Y | 0.24 | 0.79 | 0.14 | 0.81 | 0.36 | 0.78 | 0.16 | 0.85 | 0.46 | 0.79 | 0.15 | 0.82 |
| YKZDs10-X | 0.33 | 0.77 | 0.14 | 0.92 | 0.54 | 0.83 | 0.15 | 1.01 | 0.66 | 0.47 | 0.15 | 1.12 |
| YKZDs10-Y | 0.25 | 0.68 | 0.14 | 0.81 | 0.38 | 0.80 | 0.17 | 0.91 | 0.54 | 0.80 | 0.18 | 0.92 |
| YKZDs20-X | 0.30 | 0.78 | 0.13 | 0.89 | 0.43 | 0.72 | 0.15 | 0.95 | 0.57 | 0.69 | 0.15 | 1.05 |
| YKZDs20-Y | 0.22 | 0.71 | 0.13 | 0.77 | 0.31 | 0.69 | 0.16 | 0.85 | 0.39 | 0.66 | 0.16 | 0.87 |
| YKZYDs10-X | 0.25 | 0.58 | 0.11 | 0.71 | 0.40 | 0.61 | 0.12 | 0.85 | 0.60 | 0.43 | 0.13 | 0.96 |
| YKZYDs10-Y | 0.19 | 0.52 | 0.10 | 0.57 | 0.32 | 0.67 | 0.14 | 0.72 | 0.47 | 0.69 | 0.14 | 0.76 |
| YKZYDs20-X | 0.23 | 0.60 | 0.10 | 0.69 | 0.32 | 0.54 | 0.12 | 0.78 | 0.44 | 0.54 | 0.12 | 0.87 |
| YKZYDs20-Y | 0.18 | 0.58 | 0.10 | 0.57 | 0.25 | 0.54 | 0.12 | 0.66 | 0.36 | 0.62 | 0.12 | 0.66 |



Şekil 6. 4- ve 7- katlı bazı modellerin 10 ve 20 cm etriye aralıkları için kapasite eğrileri

ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışmada mevcut yapı stoğu içinde depreme karşı en zayıf durumda bulunduğu düşünülen orta katlı binalarda yumuşak kat davranışı ve dolgu duvarların bu davranış üzerine etkileri doğrusal ötesi statik analiz kullanılarak incelenmiştir. Mevcut orta katlı konut yapılarını temsil etmesi için 4 ve 7 katlı iki adet, düzensizliği bulunmayan betonarme binanın 1975 Afet Yönetmeliği ve yazarlar tarafından incelenen mevcut yapılarda rastlanılan şartlar dikkate alınarak doğrusal ötesi modelleri hazırlanmıştır. Doğrusal ötesi davranış eleman uçlarında tanımlanan plastik mafsallar yoluyla modellenmiştir. Modellenen 4 ve 7 katlı yapılarda ilk kat yüksekliğinin artırılması (2.8 m yerine 4 m), ilk katta duvarların üst katlara göre çok az olması ve bu ikisinin birlikte olması durumları dikkate alınarak yumuşak katlı bina modelleri elde edilmiştir. Ayrıca incelen yapılarda, duvarların hiç dikkate alınmadığı modeller de hazırlanarak sadece duvarların yapılara etkisi incelenmiştir. Her bir model 10 ve 20 cm olmak üzere iki farklı etriye aralığı dikkate alınarak hesaplanmış böylelikle yanal donatı miktarının davranışa etkisi de incelenmiştir.

Çalışma sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

1. Yanal donatı miktarının azalması dayanım üzerinde sınırlı etkiye sahipken, deplasman kapasitesini önemli ölçüde azaltmaktadır. 10 ve 20 cm etriye aralığına sahip modeller aynı akma dayanımına sahiptirler fakat 20 cm etriye aralığına sahip modellerin deplasman kapasiteleri diğerlerine oranla oldukça düşüktür (Tablo 1-3).
2. Tablo 2 ve 3 incelendiğinde 7 katlı modellerin deplasman kapasitelerini 4 katlılara kıyasla daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bu sonuç ülkemiz yapılarında kat yüksekliğinin artmasıyla deformasyon kapasitesinin azaldığını belirten önceki çalışma (Akar vd., 2005) ve yaşanan depremler sonrası yapılan gözlemler (Özcebe, 2004) ile uyumludur.

3. Duvarların modellemeye dâhil edilmesiyle 4 katlı referans modelin akma dayanımında %45, 7 katlı modelin dayanımında %32 artış meydana gelmiştir (Tablo 1). Az katlı binalarda duvarların modellenmesinin davranış üzerinde daha etkili olacağı söylenebilir. Daha yüksek katlı binalarda betonarme elemanlar daha büyük boyutlara sahiptir. Fakat dolgu duvarlar kat sayısından bağımsız özelliklerde imal edilmektedir. Bu sebeple daha büyük boyutlardaki betonarme elemanların yanına ilave edilen aynı özellikteki dolgu duvarlar bina dayanımı üzerinde daha düşük etkiye sahip olmaktadır.

4. Dolgu duvarların modellemeye katılmasıyla genel olarak yapı dayanım değeri artmakta, deplasman kapasitesi azalmaktadır (Tablo 1-3). Fakat Tablo 2 ve 3 incelendiğinde Ref modellerinin bazı deplasman kapasitesi değerlerinin aynı modelin duvarların dikkate alınmadığı hali olan RefND modellerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Performans seviyelerinin belirlenmesi için DBYBHY-2007 kriterleri esas alınmıştır. Buna göre deplasman kapasitesi belirleme şartlarından biri belirli hasar seviyesindeki elemanların bina dayanımının belirli oranından fazlasını (%20) taşınamamasıdır. Dolgu duvarlar dikkate alındığında bina dayanımı arttığından aynı performans seviyesi için oransal olarak aynı olsa bile mutlak olarak daha fazla hasar oluşumuna (dayanım kaybı) izin verilebilmektedir. Bu sebeple bazı durumlarda dolgu duvarların deplasman kapasitesini arttırması ele alınan deplasman kapasitesi kriterleri içinde mümkün olmaktadır.

5. Tablo 2 incelendiğinde bazı durumlarda yalnız zemin kat duvarlarının azlığı nedeniyle oluşan düzensizlik durumu modellerinin (YKZD) hem zemin kat yüksekliği hem de duvar azlığı nedeniyle oluşan (YKZYD) düzensizlik modellerinde daha fazla deplasman kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum YKZYD modelinde zemin kat yüksekliğinin artması nedeniyle kolon serbest boyunun artışından kaynaklanmaktadır. Kolon serbest boyunun artışıyla plastik mafsallık boyu artmakta böylece eleman deformasyon kapasitesinde artış meydana gelmektedir (Denklemler 3). Çalışmada ele alınan değerler çerçevesinde zemin kat yüksekliğinin 1.2 metre artmasıyla bu kat kolonlarının dönme kapasitesi ortalama %35 artmaktadır. 7 katlı binada dönme kapasitesindeki bu artışa rağmen her durumda YKZYD modelleri en düşük deplasman kapasitesi değerlerine sahiptir (Tablo 3).

6. Hangi düzensizlik durumunun yapı deplasman kapasitesi üzerinde en olumsuz etkiye sahip olduğunun belirlenmesi için düzensizliklere sahip modellerin göreceli ötelenme kapasitelerinin referans modellere oranları dikkate alınmıştır (/Ref sütunu). **Can Güvenliği** performans seviyesi açısından 4 katlı binada YKZY modellerinin ortalaması 0.80, YKZD için 0.60 ve YKZYD için 0.62 değerleri elde edilmiştir. Bu durumda 4 katlı yapıda en zararlı düzensizlik az farkla da olsa zemin katta duvarların çok az olması (YKZD) durumu olarak görünmektedir. 7 katlı yapı için ise bu değerler YKZY: 0.75, YKZD: 0.76, YKZYD: 0.59 olarak belirlenmiştir. Bu durumda 7 katlı yapıda en zararlı düzensizlik zemin kat yüksekliğinin fazla olması ve bu katta duvarların çok az olması (YKZYD) durumudur.

7. Aynı yol izlenerek **Göçmenin Önlenmesi** durumu için değerlendirme yapılmıştır. Bu durumda 4 katlı binada YKZY modellerinin ortalaması 0.78, YKZD için 0.76 ve YKZYD için 0.66 olarak bulunmuştur. Aynı değerler 7 katlı bina için incelendiğinde YKZY: 0.67, YKZD: 0.66, YKZYD: 0.57 olarak bulunmuştur. Bu veriler göz önüne alındığında Göçme Önlenmesi seviyesi için 4 ve 7 katlı binada en olumsuz düzensizliğin zemin kat yüksekliğinin fazla olması ve bu katta duvarların çok az olması (YKZYD) olduğu belirlenmiştir.

8. Elde edilen olumsuzluk katsayıları incelendiğinde zemin kat yüksekliği ve zemin katta duvar miktarının azlığı nedeniyle oluşan yumuşak kat durumları için değerlerin birbirlerine yakın olduğu söylenebilir. Bu sebeple yumuşak kat düzensizliğinin bir katın yüksekliğinin fazla olması kadar, duvar alanındaki büyük değişimlerinde yol açabileceği unutulmamalıdır. Hatta bazı durumlarda çalışma kapsamında ele alınan değerler çerçevesinde ani duvar alanı değişiminin kat yüksekliğinin arttırılmasından daha tehlikeli sonuçlara yol açabileceği gözlenmiştir (Tablo 2, 3).

Teşekkür

Bu çalışma kısmi olarak TÜBİTAK Proje No: 105M024 kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Adalier K, Aydingun O (2001) "Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) earthquake", *Engineering Structures*, Vol 23:343-55, 2001.
- Akkar S, Sucuoglu H, Yakut A (2005) Displacement based fragility functions for low- and mid-rise ordinary concrete buildings, *Earthquake Spectra*, 21(4):901-927.
- AY-75 (1975), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- A summary report of the January 17 1995 Kobe Earthquake (1995) <http://www.eqe.com/publications/kobe/kobe.html>, 1995.
- ATC-40 (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- DBYYHY-2007 (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Doğangün A, (2004) Performance of Reinforced Concrete Buildings During The May 1 2003 Bingöl Earthquake In Turkey, *Engineering Structures*, Vol 26:841-56.
- FEMA-356 (2000) Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Goel RK (2003) Performance Of Buildings During The January 26, 2001 Bhuj Earthquake, http://ceenve.ceng.calpoly.edu/goel/indian_eqk/index.html.
- Mander JB (1984) Seismic Design of Bridge Piers, PhD Thesis, University of Canterbury, New Zealand.
- Özcebe G. (2004) *Deprem Güvenliğinin Sağlanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi*, Tübitak Rapor No: ICTAG YMAU I574: Ankara.
- Priestley, MJN (2000) "Performance Based Seismic Design", *Proceedings, 12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand, Paper No: 2831.
- Priestley MJN, Seible F, Calvi GMS (1996) Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- SAP2000, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA
- Scott BD, Park R, Priestley MJN (1982) "Stres-Strain Behavior of Concrete Confinement by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates," *ACI Structural Journal*, Vol. 76, No. 1, pp.13-27.
- Sezen H, Whittaker A, Elwood KJ, Mosalam KM (2003) "Performance of Reinforced Concrete Building During the August 17 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and construction Practise in Turkey", *Engineering Structures*, Vol. 25, pp:103-114.
- TS500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Turk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Vision 2000 (1995) Soulages, J., ed. Performance Based Seismic Engineering of Buildings. Sacramento, CA, 2 vols, April 3.
- Yoshimura K, Kuroki M (2003) Damage to Building Structures Caused by the 1999 Chi-chi Earthquake in Taiwan, <http://www.arch.oita-u.ac.jp/a-kou/taiwan1.pdf>.