



YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİ OLAN BETONARME YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kasım Armağan KORKMAZ^{1*}, Taner UÇAR² ve Mustafa DÜZGÜN³

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., Çünür, Isparta

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Böl., Kaynaklar, İzmir

³Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., Kaynaklar, İzmir

Alındığı Tarih: 10 Ekim 2008

Kabul Tarihi: 29 Kasım 2010

Özet: Çalışma kapsamında yapısal düzensizlikleri olan betonarme yapıların deprem davranışlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 10 katlı betonarme çerçeve bir yapı ele alınmış ve bu 10 katlı yapının 16 farklı tipi için analizler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde yumuşak kat düzensizliği ve ilk ve ikinci kat yüksekliği farklılıklarının yapısal davranışa etkileri incelenmiştir. 10 katlı yapı öncelikle düzenli, daha sonra çeşitli düzensizlikleri olacak şekilde sırasıyla ele alınmıştır. Bu 16 tip yapının deprem davranışındaki değişiklikler incelenerek yapısal düzensizliklerin yapısal davranışa etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Analizler kapsamında doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiş, yapıların kapasite eğrileri, yatay kat yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, katlardaki maksimum plastik dönmeler belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yapıların deprem davranışlarındaki değişiklikler yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal düzensizlikler, dolgu duvarlı yapılar, doğrusal olmayan statik itme analizi.

* *armagan @mmf.sdu.edu.tr*

EVALUATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF R/C STRUCTURES WITH STRUCTURAL IRREGULARITIES

Abstract: In this study, R/C frame structures with structural irregularity are considered to investigate earthquake behavior of framed type structures. For analytical investigations, 10-story R/C frame structure was modeled and used. The 10-story R/C frame structure was analyzed according to 16 different types with various irregularities. The differences in earthquake behavior of the modeled 16 structures were investigated to determine the effects of structural irregularities. Nonlinear analyses were carried out to sketch pushover curves. From the pushover curves, story displacements, relative story displacements, maximum plastic rotations were determined. According to the analyses results, the effects of irregularities were compared with various graphs.

Key words: Structural irregularities in RC structures, structures with infill walls, nonlinear pushover analysis, pushover curves

GİRİŞ

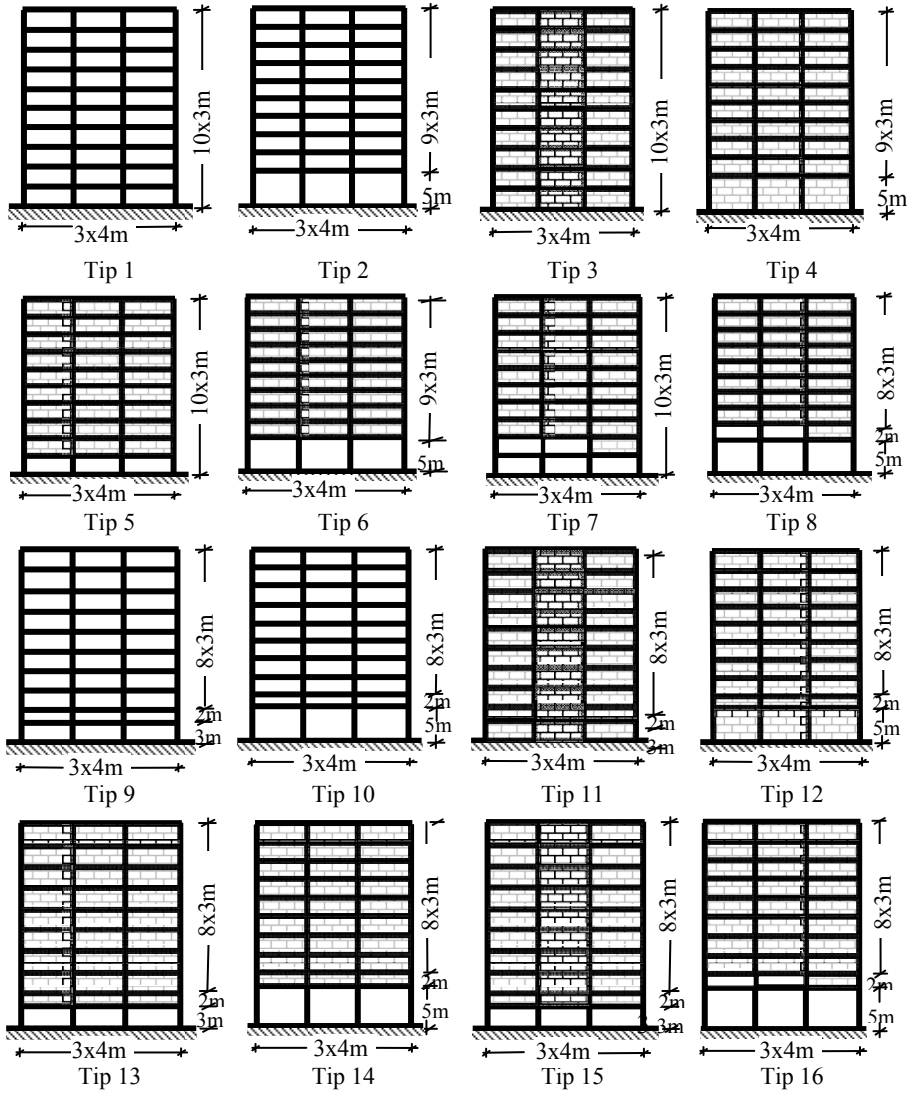
Yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi, deprem mühendisliği alanında günümüzde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde doğrusal olmayan analizlerin kullanılması her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Günümüzde doğrusal olmayan analiz kapsamında birçok yöntem geliştirilmiştir ve halen bu alandaki çalışmalar sürdürülmektedir [1,2]. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin genel amacı belirli bir deprem yükü seviyesi için yapıdan istenen deprem davranışının gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin kontrolüdür. Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeniyle, tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken yapılar düzensiz yapılar olarak tanımlanmaktadır. DBYBHY (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) 2007’de düzensizlikler “Planda Düzensizlik Durumları” ve “Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları” olmak üzere iki ana başlık halinde toplanmaktadır. Düşey doğrultuda

düzensizlik durumları DBYBHY 2007’de, yumuşak kat, zayıf kat, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği şeklinde tanımlanmıştır [3]. Bu çalışmada, mevcut yapı tiplerinde ülkemizde de sıkça karşılaşılan düşey doğrultudaki düzensizlik durumlarından “Komşu Katlar Arasında Rijitlik Düzensizliği” ve kat yüksekliği farklılığının etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Ülkemizde yapıların giriş kat kolon boylarının sonraki kat kolon boylarına göre daha fazla olması durumu karşımıza sıklıkla çıkmaktadır. Ayrıca ikinci kat kolon yükseklikleri de daha kısa olabilmektedir. Birçok yapıda bu durumlar yumuşak kat etkisiyle birlikte görülebilmektedir.

SEÇİLEN BETONARME YAPI TİPLERİ

Yapısal düzensizliklerden yumuşak kat düzensizliği bu çalışmada irdeleme konusu olmuştur. Bu sebeple yumuşak kat ile ilgili çalışmaları gerçekleştirmek için üç açıklıklı, 10 katlı betonarme bir çerçeve yapı ele alınmış ve ele alınan bu 10 katlı betonarme çerçeve yapı TS500 ve yönetmelik şartlarına göre boyutlandırılmıştır [3, 4]. Çalışmada esas alınan beton sınıfı C20, çelik sınıfı ise S420’dir. Yapı birinci derece deprem bölgesinde (etkin yer ivmesi katsayısı $A_0 = 0.40$) olup, yapı önem katsayısı $I = 1.0$ olarak alınmıştır. Süneklik düzeyi yüksek (taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 8$) olarak tasarlanmıştır. Zemin sınıfı olarak Z3 zemin sınıfı alınmıştır. Ayrıca boyutlandırmada, tüm kirişler üzerinde $g = 7.83 \text{ kN/m}$ ölü yük ve $q = 2.67 \text{ kN/m}$ hareketli yük dikkate alınmıştır. Modal analiz sonucu 10 katlı çerçevenin elastik birinci doğal titreşim periyodu $T_1 = 0.70 \text{ sn}$ olarak hesaplanmıştır. Kolonlar kare kesitli olarak boyutlandırılmış olup, ilk yedi kata ait kolon en kesit boyutları $60 \times 60 \text{ cm}$, son üç kata ait kolon en kesit boyutları ise $50 \times 50 \text{ cm}$ olarak alınmıştır. Kiriş en kesit boyutları $30 \times 60 \text{ cm}$ olarak belirlenmiştir. Boyutlandırma yapılırken dolgu duvarlarının kat kütlelerine etkisi dikkate alınmamıştır.

- Tip 5: Yumuşak kat etkisi bulunmaktadır.
- Tip 6: Yumuşak kat etkisi mevcut ve ilk kat kolon yükseklikleri daha fazladır.
- Tip 7: Yumuşak kat etkisi, 1. ve 2. katta bulunmaktadır.
- Tip 8: Yumuşak kat etkisi 1. ve 2. katta mevcut ve ilk kat kolon yükseklikleri daha fazladır.
- Tip 9: Dolgu duvarı etkisi dikkate alınmamış, ikinci kat kolon yükseklikleri daha düşüktür.
- Tip 10: Dolgu duvar mevcut değil, ilk kat kolon yükseklikleri fazla, ikinci kat kolon yükseklikleri düşüktür.
- Tip 11: Dolgu duvar etkisi mevcut, ikinci kat kolon yükseklikleri daha düşüktür.
- Tip 12: Dolgu duvar etkisi mevcut, ilk kat kolon yükseklikleri fazla, ikinci kat kolon yükseklikleri düşüktür.
- Tip 13: Yumuşak kat etkisi mevcut, ikinci kat kolon yükseklikleri daha düşüktür.
- Tip 14: Yumuşak kat etkisi mevcut, ilk kat kolon yükseklikleri fazla, ikinci kat kolon yükseklikleri daha düşüktür.
- Tip 15: 1. ve 2. katta yumuşak kat etkisi mevcuttur, ikinci kat kolon yükseklikleri daha düşüktür.
- Tip 16: 1. ve 2. katta yumuşak kat etkisi mevcut, ilk kat kolon yükseklikleri fazla, ikinci kat kolon yükseklikleri daha düşüktür.

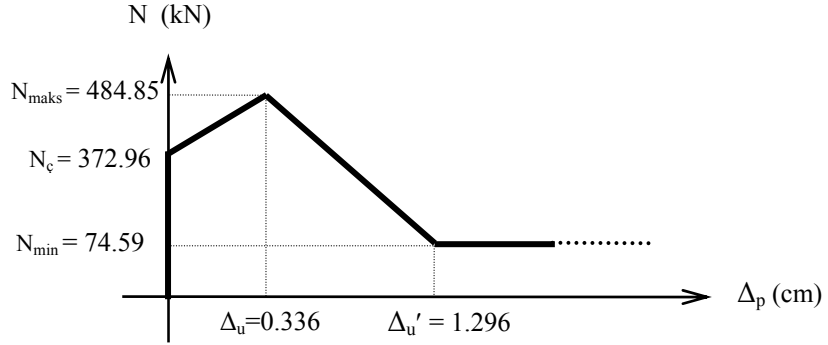


Şekil 2. Düzensizlik Durumları İçin Analizlerde Kullanılan Örnek Çerçeve Tipleri.

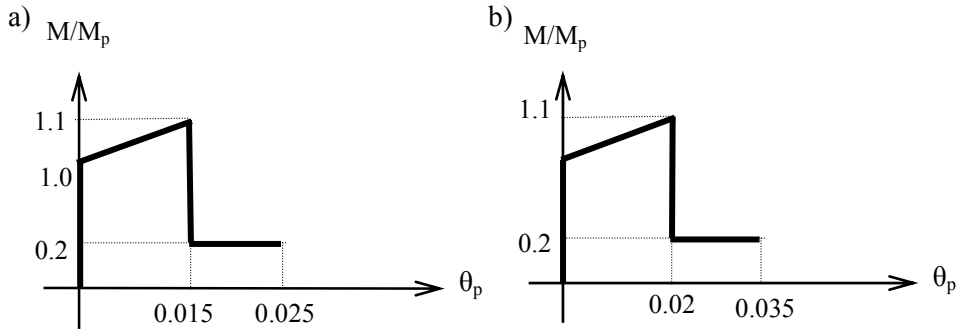
DOĞRUSAL OLMAYAN YAPISAL ANALİZ

Doğrusal olmayan yapısal analiz yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılan analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemi günümüzde karşımıza en çok iki şekilde çıkmaktadır. Bunlar doğrusal olmayan statik analiz ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analizdir. Bu analizlerden doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analizler en çok güvenilen analizlerdir [5]. Ancak bu analizlerin karmaşıklığı ve zaman alıcılığı, doğrusal olmayan statik itme analizlerinin kullanılmasına sebep olmaktadır. FEMA ve ATC’de doğrusal olmayan statik itme analizlerinin kullanılması desteklenmektedir [5, 6]. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde doğrusal olmayan statik itme analizleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan analizlerde SAP 2000 analiz programı kullanılmıştır [7]. Doğrusal olmayan statik itme analizi, yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını ifade eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine dayanmaktadır [8].

Doğrusal olmayan statik itme analizlerinde yapıların yatay yük taşıma kapasitelerinin göstergesi olan kapasite eğrilerini elde edebilmek amacıyla, sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılan deprem yükleri altında analizleri yapılmış ve her bir çerçeve tipine ait kapasite eğrileri elde edilmiştir [9-11]. Malzemenin doğrusal olmayan davranışını için plastik mafsalsal hipotezi kullanılmıştır. Buna göre, plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabulü yapılmıştır [12-14]. Ayrıca ikinci mertebe elasto-plastik teoriye göre hesap yapıldığı için geometri değişiminin denge denklemlerine etkisi de göz önüne alınmıştır. Dolgu duvarlar, modellemede fiktif çubuklarla temsil edilmiş ve çekme dayanımları ihmal edilmiştir. Dolgu duvarlarının kapasitelerine basınç kırılmasıyla ulaşacağı kabulü yapılmıştır. Dolgu duvarlarını temsil eden iki ucu mafsalsal fiktif çubukların aksenal kuvvet-plastik kısalma bağıntısı Şekil 3’deki gibidir [10].



Şekil 3. Dolgu Duvarı Temsil Eden İki Ucu Mafsallı Çubuğun N-Δ_p Bağıntısı [10]



Şekil 4. Kolon ve Kirişlerin Moment-Plastik Dönme $M/M_p - \theta_p$ Bağıntıları. a) Kolonların Moment-Plastik Dönme Bağıntısı, b) Kirişlerin Moment-Plastik Dönme Bağıntısı

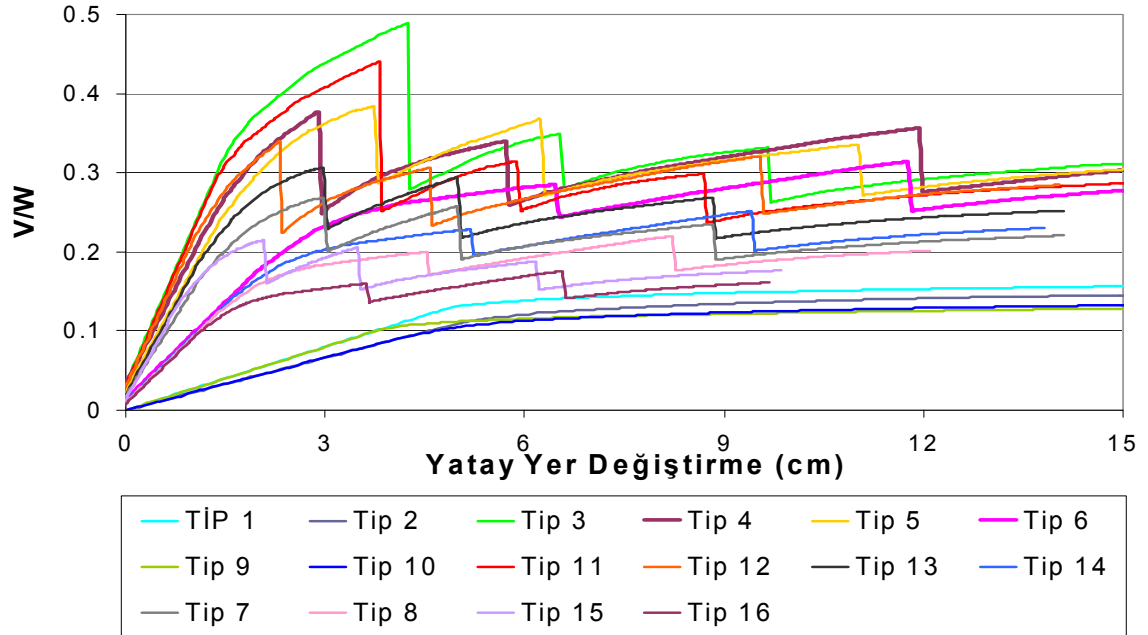
Plastikleşmenin kirişlerde tek eksenli eğilme momenti etkisiyle, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşiminden meydana geldiği kabul edilmiştir. Elemanlara ait moment-plastik dönme bağıntısı pekleşen-rijit-plastik olarak kabul edilmiştir. Plastik moment (M_p) ve maksimum plastik dönme (θ_p) değerleri için ATC 40'da verilen bağıntılardan

yararlanılmıştır [6]. Şekil 4’de moment-plastik dönme bağıntıları gösterilmiştir [10]. Kolon ve kiriş elemanlara ait çatlamış kesit rijitlikleri için FEMA 356’da önerilen değerler kullanılmış, kolon ve kirişler için çatlamış kesit rijitlikleri $0.7 EI_g$ alınmıştır [5].

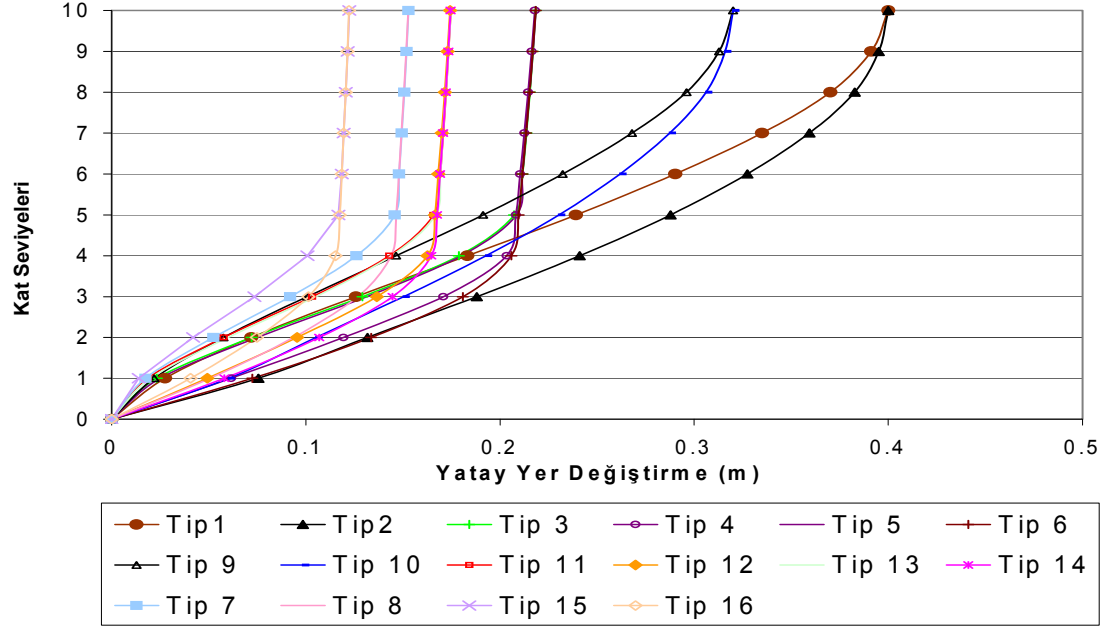
Şekil 5’de statik itme analizi sonuçları V/W-yatay yer değiştirme olarak verilmiştir. Eğrilerin eğimlerdeki ilk değişimler, yapısal sistemdeki akma noktalarını göstermektedir. Analizlerde kiriş ve kolonların kesme dayanımları kontrol edilmiş ve kesme dayanımlarının sağlandığı belirlenmiştir. Şekil 6’da örnek çerçeve yapıların yatay yer değiştirme değerleri, Şekil 7’de görel kat ötelemeleri gösterilmiştir. Şekil 8’de de plastik mafsal dönmeleri verilmiştir.

SONUÇLAR

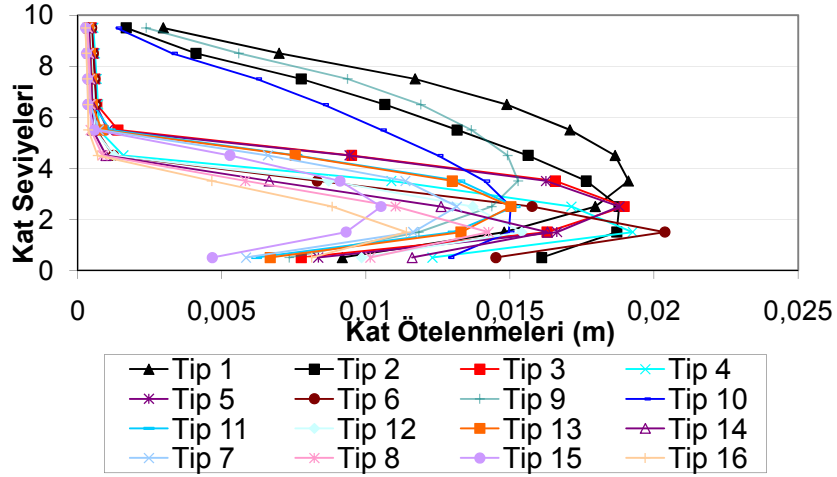
Ülkemizde oldukça sık karşılaşılan yapısal düzensizliklerin, yapıların deprem davranışlarında oldukça önemli olduğu, makale kapsamında yapılan analiz sonuçlarından görülmektedir. Düzensizliklerin, yapının deprem etkisi altındaki kapasitesi, kat yatay yer değiştirmeleri, görel kat ötelemesi değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Özellikle dolgu duvar etkisinin yapının davranışında büyük etkilerinin olduğu, doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçlarının çok fazla değişiklik göstermesinden anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, oldukça sık karşılaşılan düzensiz yapı tipleri ve bu yapıların doğrusal olmayan deprem davranışları üzerinde durulmuştur. Yapı sistemlerinin performansının belirlenmesinde, gerçekçi ancak karmaşık olan doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin yerine uygulamada yaygın olarak kullanılan, doğrusal olmayan statik itme analizleri kullanılmıştır. Analizlerde örnek olarak 10 katlı betonarme çerçeve yapı tipi ele alınmış, önce TS 500 ve DBYBHY 2007’ye göre boyutlandırılmış ve daha sonra bu yapının 16 farklı tipi için doğrusal olmayan statik itme analizi yapılarak elde edilen sonuçlar irdelenmiştir [3,4].



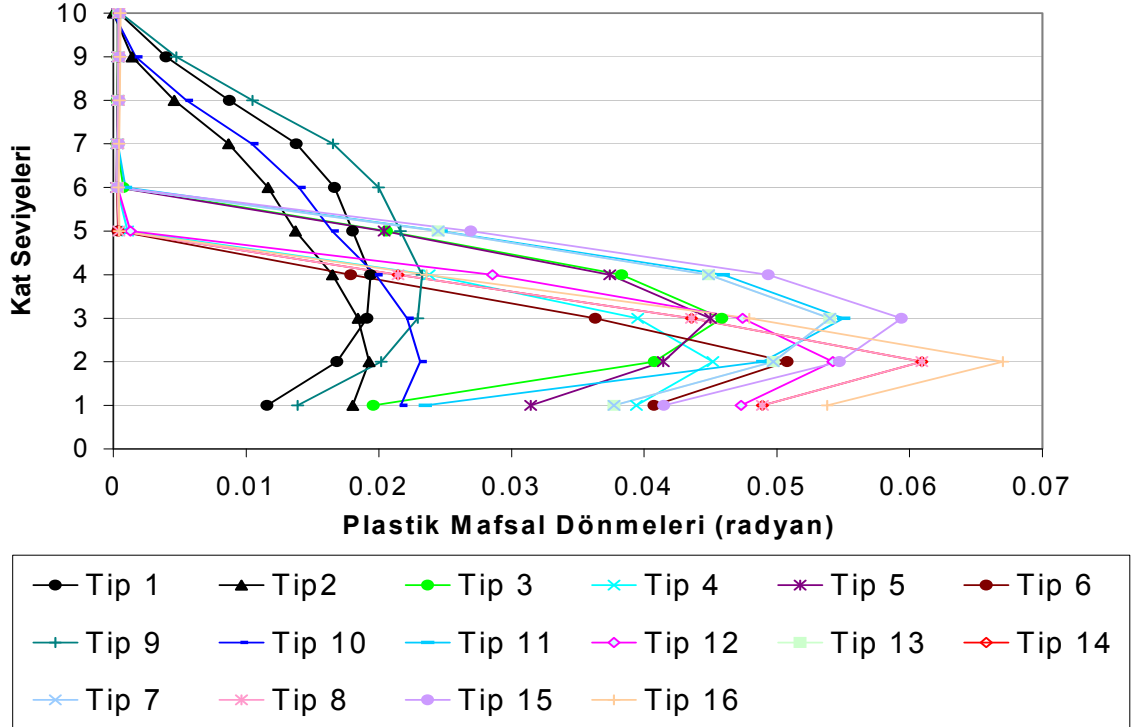
Şekil 5. Örnek Çerçeve Yapıların Düzensizlik Durumları İçin Statik İtme Eğrileri.



Şekil 6. Örnek Çerçeve Yapıların Yatay Yer Değişirmeleri



Şekil 7. Örnek Çerçeve Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri.



Şekil 8. Örnek Çerçeve Yapıların Maksimum Plastik Mafsal Dönmeleri.

Bu çalışmada incelenen 16 farklı çerçeve tipi için yapılan doğrusal olmayan statik itme analizleri sonuçlarından elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5’de, her yapı için ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 6’da kat yatay yer değiştirme değerleri, Şekil 7’de ise görelî kat ötelemeleri verilmiştir. Şekil 8’de plastik mafsâl dönmeleri verilmiştir. Dolgu duvarlı çerçevelerde beklenildiği gibi ilk plastik kesitler dolgu duvarlar üzerinde meydana gelmiştir. Dolgu duvarlarının olmadığı çerçevelerde (Tip 1-2-9-10) kapasite eğrisinin üst limiti taban kesme kuvvetinin daha düşük değerlerinde yani deprem yükünün daha az değerinde olmaktadır. Dolgu duvarlı çerçevelerde ise taban kesme kuvveti artmaktadır. Plastik mafsallardaki dönme değerleri açısından da bir karşılaştırma yapılacak olursa, dolgu duvarların taşıma kapasitesinin analizlerde göz önüne alındığı çerçevelerde (Tip 3-4-5-6-7-8-11-12-13-14-15-16) meydana gelen ilk plastik kesitlere ait plastik dönme değerleri, dolgu duvarların taşıma kapasitesinin ihmal edildiği çerçevelerde (Tip 1-2-9-10) meydana gelen ilk plastik kesitlere ait plastik dönme değerlerine göre daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Bununla birlikte de dolgu duvarlı çerçevelerde beklenildiği gibi yatay tepe yer değiştirmeleri daha büyük değerlerde limite ulaşmaktadır. Tip 9-10 için elde edilen kapasite eğrileri Tip 1-2’ e göre daha düşük kapasite değeri vermektedir. İkinci kat kolonlarının diğer kat kolonlarına göre daha kısa olması Tip 11-12’nin, Tip 1-2’ e göre daha düşük kapasite limit değerinde kalmasına sebep olmuştur. Tip 11-12 kapasite eğrisi, Tip 3-4’ e göre daha düşük değerler vermektedir ancak Tip 9-10’a göre daha yüksek dayanım kapasitesi göstermektedir. Tip 13-14, Tip 5-6’a göre daha düşük değerlerde limite ulaşmakta ancak Tip 9-10’a göre daha yüksek dayanım kapasitesi göstermektedir. Tip 15-16, Tip 7-8’ e göre daha düşük değerlerde limite ulaşmakta hatta dolgu duvarlı diğer tiplere göre en düşük kapasite değerlerinde seyretmektedir.

Bu sonuçlara göre dolgu duvarların analiz sonuçlarını önemli oranda değiştirdiği görülmektedir. En alt kattaki dolgu duvarların olmadığı veya değişik nedenlerle yapının kullanımı sırasında kaldırıldığı durumda (Tip 5-6-13-14) ise, analiz sonuçlarının beklenildiği gibi olumsuz yönde değiştiği

görülmektedir. Hatta ikinci katlarında da dolgu duvar bulunmayan çerçevelerde (Tip 7-8-15-16) kapasite daha da düşmektedir. Dolgu duvarların çeşitli nedenlerle olmadığı veya kaldırıldığı durumda limit taban kesme kuvveti (deprem yükü) değeri, dolgu duvarların tüm katlarda olduğu duruma göre azalmaktadır. Bu sonuç, sistemin rijitlik kaybettiğini göstermektedir. Plastik dönme değerleri de Tip 3-4' e göre Tip 5-6'da artmaktadır. Tip 15-16'da en büyük değerlerini almaktadır.

Tüm yapıda kat yüksekliklerinin eşit olduğu durum ile en alt kat yüksekliğinin üst katlara göre fazla olduğu duruma ait analiz sonuçları incelenecek olursa, Tip 2'nin Tip 1'e, Tip 4'ün Tip 3'e, Tip 6'nın Tip 5'e ve Tip 8'in Tip 7'e, Tip 10'un Tip 9'a, Tip 12'nin Tip 11'e, Tip 14'ün Tip 13'e, Tip 16'nın Tip 15'e göre deprem davranışının daha olumsuz tarafta olduğu görülmektedir. Buna göre, en alt kat yüksekliğinin fazla olduğu durumda taban kesme kuvveti önemli oranda azalmakta, yani daha küçük deprem yüklerinde sistemde plastik kesitler oluşmakta ve binanın karşılayabildiği deprem yükü değeri (sismik kapasitesi) azalmaktadır. İkinci kat kolon boylarının kısaldığı durumlarda taban kesme kuvveti daha da azalmaktadır. Dolgu duvarının en alt katlarda olmaması veya değişik nedenlerle kaldırılması durumunda rijitliği azalan sistemin deprem davranışı da beklendiği gibi olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu nedenle dolgu duvarların en alt katta olmadığı durumda sistemin davranışı incelenmelidir ve eğer bu durum zorunlu veya gerekli ise gerekli analizler yapılarak önlemlerin alınması önerilmektedir.

En alt kat yüksekliği diğer katlara göre fazla olan sistemlerin sismik kapasiteleri diğer tiplere göre azalmaktadır. Bu nedenle en alt kat yükseklikleri diğer katlara göre daha yüksek olan binaların tasarımında özen gösterilmesi çalışma sonuçları kapsamında önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Atımtay, E.: “Çerçevesel ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı”, Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri, (2000) Ankara.
- [2] Atımtay, E.: “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar İçin Yönetmelik Esasları”, (2001) Ankara.
- [3] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri, (2007) Ankara.
- [4] TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E. , (2000) Ankara.
- [5] FEMA, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency (2000).
- [6] ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings ATC 40, Vol. 1, Applied Technology Council, Washington, DC. (1996) ABD.
- [7] Wilson, E. and Habibullah, A.: “Sap 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual”, Computers and Structures, Berkeley (1998).
- [8] İrtem, E. and Turker, K.: “Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması”, (2002) Balıkesir.
- [9] Korkmaz K.A., Uçar T., İrtem E.: “Yumuşak Kat Düzensizliğinin Ve Dolgu Duvarların Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkileri”, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi (2005).
- [10] İrtem, E.; Turker, K. and Hasgöl, U.: “Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi”, İTÜ Mühendislik Dergisi/d, Cilt 4, Sayı 4, (2005).
- [11] Korkmaz K.A., Uçar M.: “Betonarme Binaların Deprem Davranışında Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi”, Dokuz Eylül Üniversitesi MMF Dergisi, Cilt: 8 Sayı: 1, 101-108, (2006).
- [12] Korkmaz K.A., Uçar T.: “Yumuşak Kat Düzensizliğinin Betonarme Binaların Deprem Davranışında Etkisi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 11, Sayı 2, 65-76, (2006).
- [13] Li, Y. R.: “Non-Linear Time History And Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation” Doktora Tezi, University of Texas, Austin, Teksas, (1996) ABD.
- [14] Korkmaz K.A., Demir F., Sivri M.Ş. “Earthquake Assessment of R/C Structures With Masonry Infill Walls”, International Journal of Science and Technology, Fırat Üniversitesi, Cilt 2, Sayı 2, 155-164 (2007).