



BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINDA DOLGU DUVAR ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(EFFECT OF INFILL WALLS IN EARTHQUAKE BEHAVIOR OF R/C STRUCTURES)

Armağan KORKMAZ*, Taner UÇAR*

ÖZET/ABSTRACT

Çalışmada betonarme yapıların deprem davranışlarında dolgu duvar etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında çerçeve ve dolgu duvarların mevcut olduğu betonarme yapıların deprem davranışındaki değişiklikler araştırılmıştır. Bu amaçla, sadece çerçeve sistemin olduğu ve dolgu duvarların yapının tüm katlarında bulunduğu düzenli yapıların analizleri yapılarak, deprem davranışına etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Elastik ötesi statik itme analizi yapılarak yapıların kapasite eğrileri, kat yatay yer değiştirmeleri, göreceli kat ötelemeleri, katlardaki maksimum plastik dönmeler ve plastikleşen kesitlerin sistemdeki dağılımları belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre yapıların deprem davranışlarındaki değişiklikler yorumlanmıştır.

In this study, the effects of infill walls in structural behavior of R/C buildings under earthquake are considered. In this aspect, R/C frame structures with infill walls are analyzed. Nonlinear analyses are performed to obtain pushover curves. From the pushover curves, story displacements, relative story displacements, maximum plastic rotations, plastic hinge distributions within the structures are determined. By examining the analysis results, the comments on the changes in earthquake behavior of the structures due to the effects of infill walls are made.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Dolgu duvarlı yapılar, Elastik ötesi statik itme analizi, Dolgu duvarın yapısal özelliklere etkisi.
Structures with infill walls, Nonlinear pushover analysis, Effects of infill walls to structural behavior.

1. GİRİŞ

Yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi deprem mühendisliği alanında günümüzde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Üzerinde durulması oldukça önemli olan, yapıların elastik ötesi statik ve dinamik analiz için bir çok yöntem geliştirilmiş ve bu alandaki çalışmalar ülkemizde de hızla sürdürülmektedir (Atımtay, 2000a; Atımtay, 2000b). Elastik ötesi analiz yöntemlerinin genel amacı belirli bir deprem yükü seviyesi için yapıdan istenen deprem davranışının gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin kontrolüdür. Bu çalışmada, ülkemizdeki mevcut yapı tiplerinde de sıkça karşılaşılan dolgu duvar etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Yapıdaki yatay yük dağılımının dengelenmesi esnasında, taşıyıcı sistem ile birlikte çalışan dolgu duvarlarının yapısal analizde dikkate alınmaması deprem sırasında dolgu duvarlı yapıların beklenenden farklı şekilde davranmasına sebep olabilecektir. Hesaplarda taşıyıcı olarak kabul edilmeyen ve yapı sistemi üzerinde ağırlık olarak dikkate alınan dolgu duvarlarının, taşıyıcılıkları belirsiz ve tartışmaya açık bir konudur.

2. ANALİZLER İÇİN SEÇİLEN BETONARME YAPI TİPLERİ

Analizlerde, dolgu duvarlı ve çerçeve tipi yapı sistemlerini karakterize etmek amacıyla 10 katlı örnek betonarme çerçeve bir yapı ele alınmıştır. Örnek olarak ele alınan bu 10 katlı betonarme çerçeve yapı TS500 ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik esas alınarak boyutlandırılmıştır (Afet İşleri GM, 1998; TS 500, 2000). 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. 10 katlı çerçeve süneklik düzeyi yüksek (taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$) olarak tasarlanmıştır. Zemin sınıfı olarak Z3 zemin sınıfı alınmıştır. Ayrıca boyutlandırmada, tüm kirişler üzerinde $g=7.83$ kN/m ölü yük, $q=2.67$ kN/m hareketli yük dikkate alınmıştır. Kat ağırlıkları $w_i=300$ kN (yapının toplam ağırlığı $W_i=3000$ kN) dikkate alınmış ve modal analiz sonucu 10 katlı çerçevenin elastik birinci doğal titreşim periyodu $T_1=0.70$ sn olarak hesaplanmıştır. İlk yedi kata ait kolon en kesit boyutları 60x60 cm, son üç kata ait kolon en kesit boyutları ise 50x50 cm, kiriş en kesit boyutları 30x60 cm olarak alınmıştır. Çalışmada ele alınan yapıya ait özellikler ise şu şekildedir:

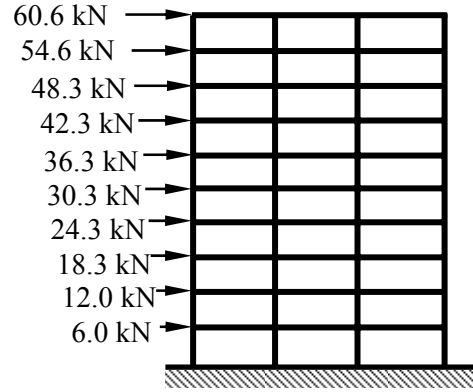
1. Tip 1 olarak adlandırılan 10 katlı çerçevede, yapısal düzensizlik bulunmamaktadır. Sistem çerçeve sitem olarak ele alınmıştır. Dolgu duvar etkisi yoktur.
2. Tip 2 olarak adlandırılan 10 katlı çerçevede, yapısal düzensizlik bulunmamaktadır. Sistemde dolgu duvarı etkisi dikkate alınmıştır.

Şekil 1'de, seçilen örnek çerçeve binanın şematik gösterimi verilmiştir. Buna göre yukarıda açıklanan çerçeve tiplerine ait şematik gösterimleri Şekil 2'de gösterilmektedir.

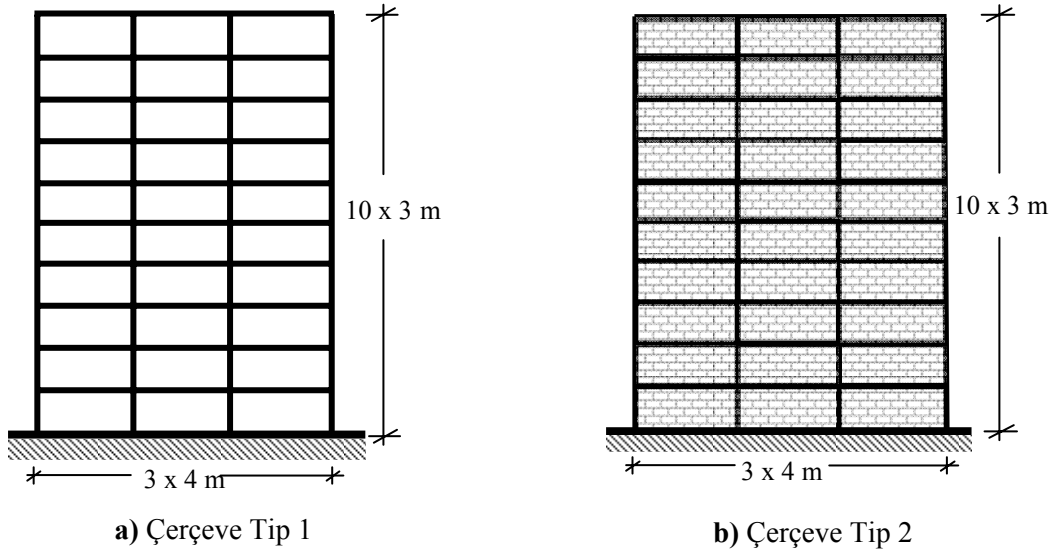
3. ELASTİK ÖTESİ STATİK İTME ANALİZİ

Yapıların doğrusal hesap yöntemleri ile yapılan analizlerinde birinci mertebe doğrusal elastik teori geçerlidir. Yapı malzemesinin doğrusal elastik davrandığı ve yer değiştirmelerin küçük olduğu kabulleri geçerli olmaktadır. Doğrusal analiz yöntemleri ile yapılan hesaplar sonucu, göçmeye karşı sabit bir güvenlik sağlanamazken, elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesinden de faydalanılamaz. Doğrusal analiz yöntemleri, yapı sistemlerinin elastik kapasiteleri ve ilk akma bölgesi hakkında iyi sonuçlar vermekle birlikte, yapının göçme mekanizmasının doğrusal analiz yöntemleri ile belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Elastik ötesi statik itme analizi temel olarak, yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını ifade eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal

olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır. Yapıda düşey yükler bulunurken, deprem yüklerini temsil eden yatay yükler de aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmaktadır (İrtem, 2002).



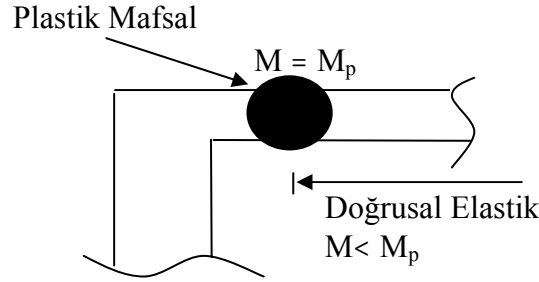
Şekil 1. Seçilen örnek çerçeve binanın şematik gösterimi ve eşdeğer deprem yükleri



Şekil 2. Analizde kullanılan örnek çerçeve tipleri

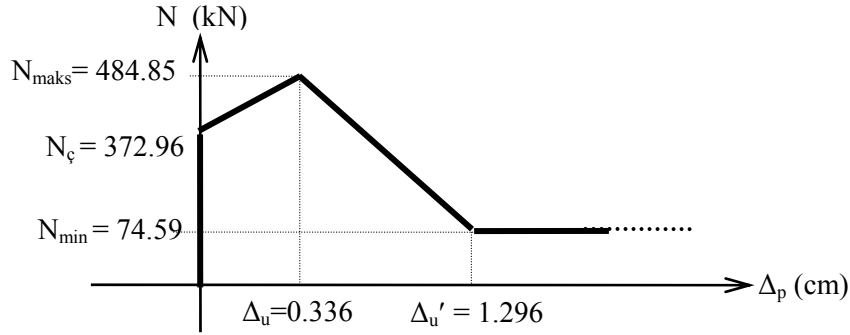
Yapıların yatay yük taşıma kapasitelerinin göstergesi olan kapasite eğrilerini elde edebilmek amacıyla, çalışmada ele alınan çerçeveler sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılan deprem yükleri altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye (ikinci mertebe elasto-plastik teori) göre analizleri yapılmış ve her bir çerçeve tipine ait kapasite eğrileri elde edilmiştir. Elastik ötesi statik itme analizleri Şekil 2’de görülen betonarme çerçeve binalar üzerinde yapılmıştır. Bu binaların modelleri oluşturularak Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ve TS 500’e göre boyutlandırılmıştır (Afet İşleri GM, 1998; TS 500, 2000).

Malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere plastik mafsallık hipotezi kullanılmıştır. Buna göre, plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabulü yapılmıştır. Tek eksenli eğilme etkisindeki elemanlarda (kirişlerde) bu kabul şematik olarak Şekil 3’de gösterilmiştir. Ayrıca ikinci mertebe elasto-plastik teoriye göre hesap yapıldığı için geometri değişiminin denge denklemlerine etkisi de göz önüne alınmıştır.

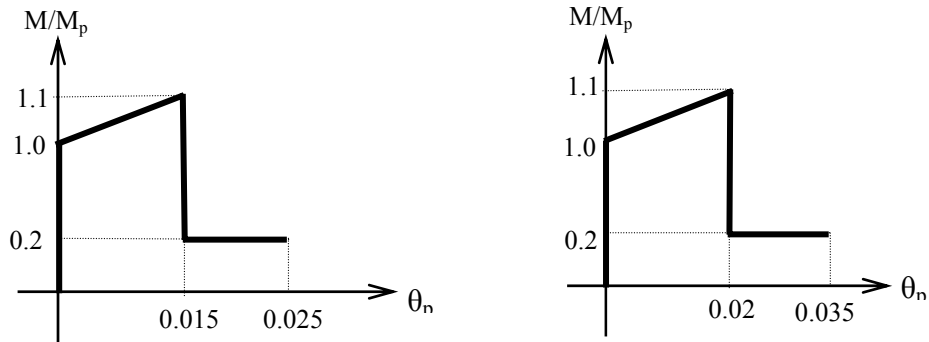


Şekil 3. Birleşim noktasında kiriş elemanda oluşan plastik mafsalsın şematik gösterimi

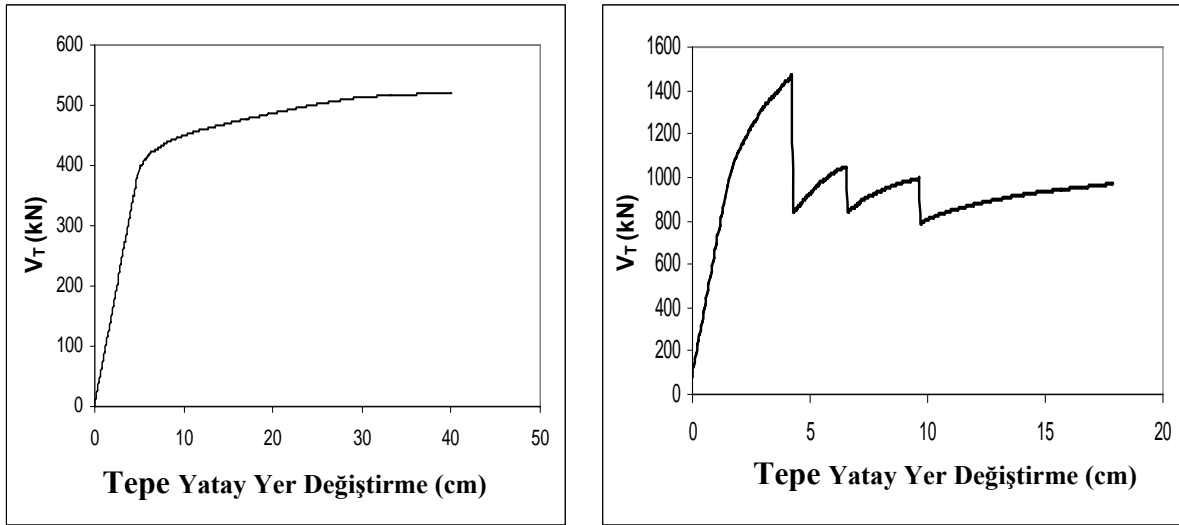
Dolgu duvarları modellemede iki ucu mafsallı fiktif çubuklarla temsil edilmiş ve bu çubukların çekme dayanımları ihmal edilmiştir. Dolgu duvarlarının kapasitelerine basınç kırılmasıyla ulaşacağı kabulü yapılmıştır. Buna göre dolgu duvarlarını temsil eden iki ucu mafsallı fiktif çubukların aksel kuvvet- plastik kısalma bağıntısı ($N-\Delta_p$) Şekil 4'deki gibidir. Şekil 4'deki değerler, yapılmış olan maksimum (N_{maks}) çatlama (N_c) ve minimum (N_{min}) aksel kuvvet değerleri deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir (İrtem, 2005).

Şekil 4. Dolgu duvarı temsil eden iki ucu mafsallı çubuğun $N-\Delta_p$ bağıntısı

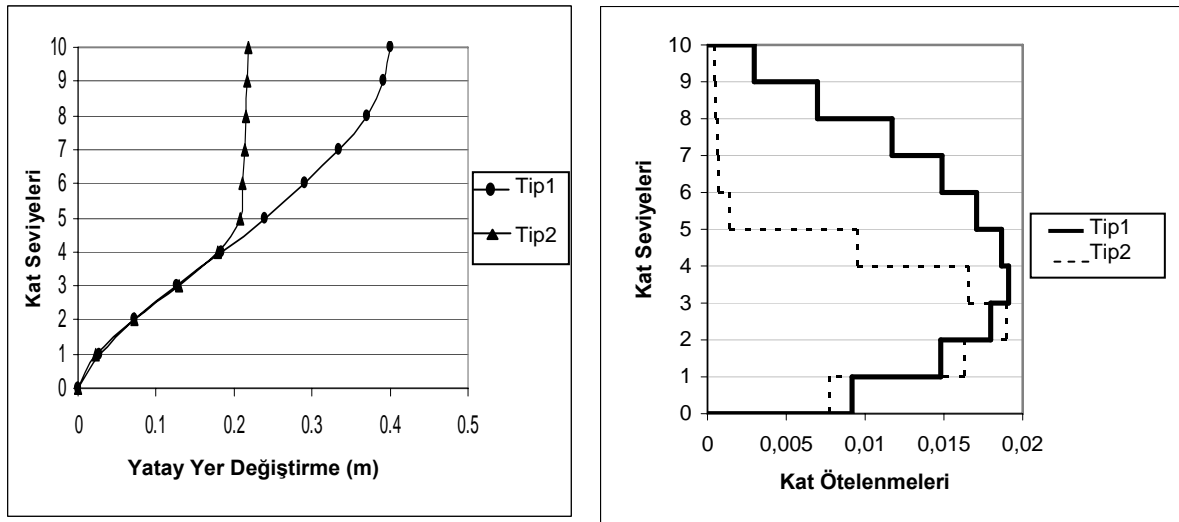
Plastikleşmenin kirişlerde tek eksenli eğilme momenti etkisiyle, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşiminden meydana geldiği kabul edilmiştir. Elemanlara ait moment-plastik dönme bağıntısı pekleşen-rijit-plastik olarak kabul edilmiştir. Bu bağıntıya ait plastik moment (M_p) ve maksimum plastik dönme (θ_p) değerleri için ATC 40'daki verilerden yararlanılmıştır (ATC, 1996). Aşağıda kiriş ve kolon elemanlara ait moment-plastik dönme bağıntıları gösterilmiştir (Şekil 5) (Li, 1996). Kolon ve kiriş elemanlara ait çatlamış kesit rijitlikleri için FEMA 356'da önerilen değerler kullanılmış buna göre kolon ve kirişler için çatlamış kesit rijitlikleri olarak $0.5 EI_g$ alınmıştır (FEMA, 2000).

Şekil 5. Kolon ve kirişlerin moment-plastik dönme $M/M_p - \theta_p$ bağıntıları

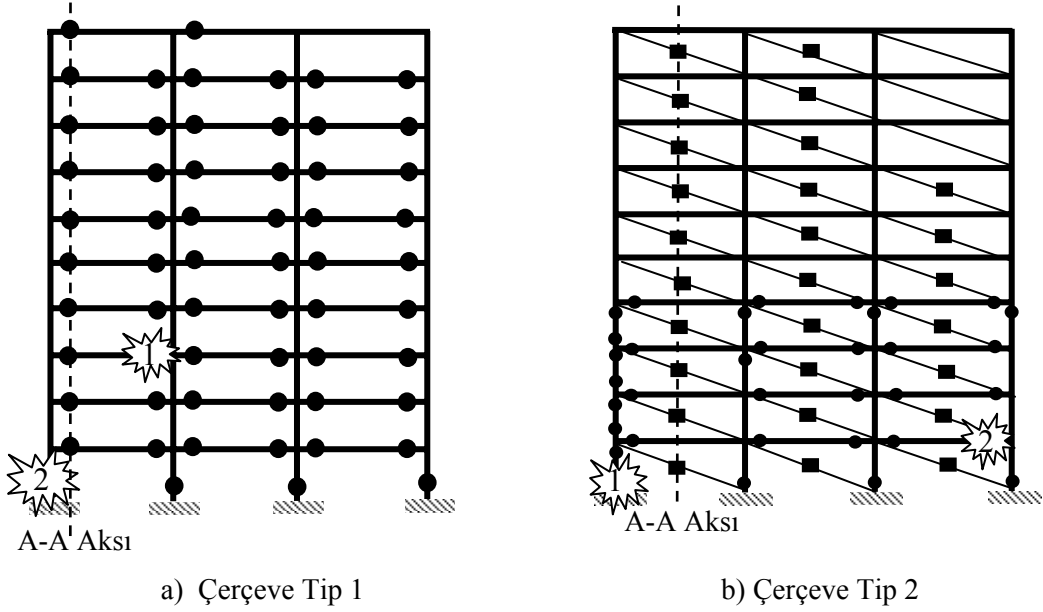
Deprem yüklerini temsil etmek üzere, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e göre hesaplanan eşdeğer deprem yükleri kullanılmıştır (Afet İşleri GM, 1998). Ele alınan çerçevelere ait kapasite eğrilerinin elde edilmesinde SAP2000 Yapı Analiz Programı kullanılmıştır (Wilson, 1998). Şekil 6'da statik itme analizi sonuçları grafikler halinde verilmiştir. Eğrilerin eğimindeki ilk değişimler, yapısal sistemdeki akma noktalarını göstermektedir. Analizlerde kiriş ve kolonların kesme dayanımları kontrol edilmiş ve kesme dayanımlarının sağlandığı belirlenmiştir. Şekil 7'de örnek çerçeve yapıların yatay yer değiştirme ve göreceli kat ötelemeleri, Şekil 8'de de analizler sonucunda örnek çerçeve yapılarda plastik kesitlerin oluştuğu yerler gösterilmiştir. Şekil 9'da plastik mafsalları dönmeleri verilmiştir.



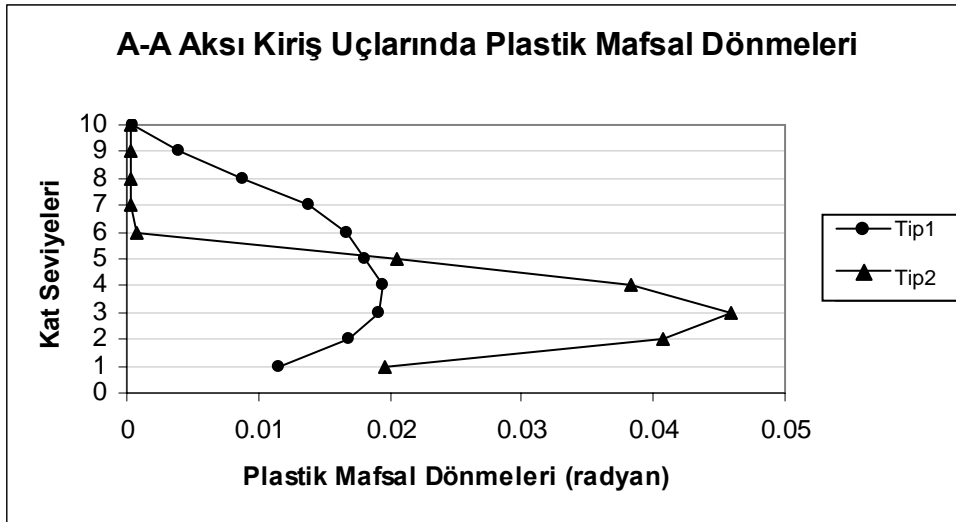
Şekil 6. Örnek çerçeve yapıların statik itme analiz sonuçları



Şekil 7. Örnek çerçeve yapıların yatay yer değiştirme ve göreceli kat ötelemeleri



Şekil 8. Örnek çerçeve yapılarında meydana gelen plastik kesitler



Şekil 9. Örnek Çerçeve Yapıların Maksimum Plastik Mafsal Dönmeleri

Çizelge 1. İncelenen çerçevelerde meydana gelen V_T , δ_{maks} , θ_p ve $\theta_{p,max}$ değerleri

Çerçeve Tip	İlk Plastik Kesit Yeri	İlk Plastik Kesit Oluştugu Andaki			Sistemin Kapasitesine Ulaştığı Andaki		
		Taban Kesme Kuvveti V_T (kN)	Tepe Yer Değiştirmesi δ_{maks} (m)	Plastik Dönme Değeri θ_p (rad)	Taban Kesme Kuvveti V_T (kN)	Tepe Yer Değiştirmesi δ_{maks} (m)	Plastik Dönme Değeri $\theta_{p,max}$ (rad)
1	Kiriş	370.54	0.0464	0.00037	509.2860	0.3854	0.0019287
2	Kolon	1122.136	0.0391	0.000058	841.1353	0.1976	0.000252

4. SONUÇLAR

Çalışma sonucunda ülkemizde de oldukça sık karşılaşılan dolgu duvarlı yapıların deprem etkisindeki gerçek davranışlarında oldukça önemli olduğu belirlenmiştir. Buna göre, yapının deprem etkisi altındaki kapasitesi, kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemesi değerleri, sistemde oluşan plastik kesitlerin dağılımları (yerleri) ve her plastik kesitin oluştuğu yük değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Bu etkinin ihmal edilmesi analizleri gerçek dışı bırakmakta ve yapısal analizin gerçek dışı sonuçlar elde edilmesine sebep olmaktadır.

Dolgu duvar etkisinin yapının davranışında büyük etkilerinin olduğu elastik ötesi statik itme analizi sonuçlarının oldukça fazla değişiklik göstermesinden anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları ve dolgu duvarlarının yapısal davranışa etkileri üzerinde durulmuştur. Yapı sistemlerinin performansının belirlenmesinde kullanılan, gerçekçi ancak karmaşık olan doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin yerine uygulamada sıkça kullanılan, elastik ötesi statik itme analizleri kullanılmıştır. Örnek olarak üç açıklıklı 10 katlı betonarme çerçeve yapı sistemi ele alınmış, önce TSE 500 ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e göre boyutlandırılmış ve daha sonra elastik ötesi statik itme analizi yapılarak elde edilen sonuçlar detaylı olarak irdelenmiştir.

Bu çalışmada incelenen örnek betonarme binanın iki farklı çerçeve tipi (dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız) için yapılan elastik ötesi statik itme analizleri sonuçlarından elde edilen kapasite eğrileri Şekil 6'da, kat yatay yer değiştirmeleri ile görelî kat ötelemeleri Şekil 7'de, sistemlerde plastik kesitlerin oluştuğu yerler ile katlardaki maksimum plastik dönme değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Şeki 8'deki her çerçeve tipi için, sistem üzerinde kiriş ve kolonlarda ilk meydana gelen plastik kesit yerleri ve plastikleşme sıraları gösterilmiştir. Dolgu duvarlı çerçevede beklenildiği gibi ilk plastik kesit dolgu duvar üzerinde meydana gelmiştir. Dolgu duvarların mevcut olmadığı çerçeve yapıda ise ilk plastik kesit kirişler üzerinde meydana gelmiştir. Bu farklılık yapılarada dolgu duvar etkisiyle meydana gelen yapısal değişimin en önemli göstergesidir.

Çizelge 1'den görüldüğü üzere dolgu duvarlarının olmadığı çerçevede (Tip1) taban kesme kuvvetinin daha düşük değerlerinde yani deprem yükünün daha az değerinde plastik mafsallar meydana gelmekte ve ilk plastik kesitler kirişlerde oluşmaktadır. Dolgu duvarlı çerçevelerde ise ilk plastik kesitin oluştuğu andaki taban kesme kuvveti artmakla birlikte ilk plastik kesitler dolgu duvarlarda meydana geldikten sonra kolonlarda görülmektedir. Plastik mafsallardaki dönme değerleri açısından da bir karşılaştırma yapılacak olursa, dolgu duvarların taşıma kapasitesinin analizlerde göz önüne alındığı çerçevelerde (Tip2) meydana gelen ilk plastik kesitlere ait plastik dönme değerleri, dolgu duvarların taşıma kapasitesinin ihmal edildiği çerçevelerde (Tip1) meydana gelen ilk plastik kesitlere ait plastik dönme değerlerine göre daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Bununla birlikte de dolgu duvarlı çerçevelerde ilk plastik kesitler beklenildiği gibi yatay tepe yer değiştirmelerinin daha büyük değerlerinde meydana gelmektedir. Bu sonuçlara göre dolgu duvarların analiz sonuçlarını önemli oranda değiştirdiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü [Afet İşleri GM] (1998): "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Ankara.
- ATC (1996): "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", Washington, ATC 40, Vol. 1, Applied Technology Council.

- Atımtay E. (2000a): “Çerçeve ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri”, ODTÜ İnşaat Müh. Bölümü, Ankara.
- Atımtay E. (2000b): “Afet Bölgelerinde Yapılar Hakkında Yönetmelik Esasları”, ODTÜ İnşaat Müh. Bölümü, Ankara.
- FEMA (2000): “Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency.
- İrtem E., Türker K. (2002): “Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması”, Balıkesir Üniversitesi, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 425-436.
- İrtem E., Türker K., Hasgöl U. (2005): “Dolgu Duvarlarının Betonarme Bina Davranışına Etkisi”, İTÜ Mühendislik Dergisi/d, Cilt 4, Sayı 4.
- Li Y.R. (1996): “Non-Linear Time History and Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation”, Austin, PhD Thesis, University of Texas.
- Korkmaz A., Uçar T., İrtem E. (2005): “Yumuşak Kat Düzensizliğinin ve Dolgu Duvarların Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkileri”, IMO Teknik Kongre, Antalya.
- TS 500 (2000): “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, TSE
- Wilson E., Habibullah A. (1998): “SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual”, Berkeley, Computers and Structures.