

## **Dolgu Duvarlı Betonarme Yapıların Deprem Davranışında Bağ Kirişlerinin Yapı Performansına Etkisinin İncelenmesi**

**K. Armağan KORKMAZ, Zeki AY, Ömür ÇİMEN, Nilay KESKİN  
Devran ÇELİK, Çağrı BAYRAK**

Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

Received: 16.05.2008, Accepted: 17.02.2009

**Özet:** Yapıların deprem davranışlarının anlaşılabilmesi, yapı zemin etkileşiminin doğru bir şekilde ortaya konulmasıyla ilişkilidir. Bu nedenle öncelikle yapının mevcut temel sistemi doğru detaylandırılmalı ve yatay deprem yükü altındaki davranışı doğru ifadelendirilmelidir. Mevcut yapıların deprem sonrası, yapısal güvenlik analizlerinin gerçekleştirilmesi sırasında, temel sistem analizlerinin tam ve gerçekçi olarak bu analizlere dâhil edilmesi, yapılacak değerlendirmenin doğru olmasını sağlayacaktır. Yapısal değerlendirme sürecinde, temel sistemi incelenirken, genellikle bağ kirişlerinin yapı performansına etkisi dikkate alınmamaktadır. Gerçekte ise, bağ kirişleri temel sisteminin bir parçası olarak temel taşıma gücüne katkı sağlamaktadır. Bu katkı, zemin özelliklerine, temele etkiyen kesit tesirlerine, bağ kirişi temel sistemi geometrisine ve uygulama tekniklerine göre değişmektedir. Bu çalışmada konut tipi yapılarda yaygın olarak uygulanan bağ kirişli temel sistemlerinde, bağ kirişinin yapı performansına etkisi incelenmiştir. Analizlerde betonarme bir yapı sistemi dolgu duvarlı olarak ele alınarak, farklı şekillerde uygulanan bağ kirişleriyle üç boyutlu olarak artımsal itme analizi uygulanmıştır. Bu analizler neticesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bağ kirişleri, temel sistemleri, dolgu duvarlı betonarme yapılar, yapısal deprem performansı

# Investigation of Effects of Tie-Beams on Structural Performance for Earthquake Behavior of R/C Structures with Infill Walls

**Abstract:** Soil-structure interaction should be defined properly for an accurate definition of structural earthquake behavior. Therefore, existing foundation system of the structures should be investigated in detail under earthquake loads. For structural earthquake behavior analysis of R/C structures, taking foundation system into consideration accurately makes the analysis more realistic and brings more effective results. Although, in the analyses, tie-beam effect is not considered, in practice, tie beams have an important effect to the foundation behavior. This effect is changing depending on the soil type, load pattern and geometry of the foundation system and application properties. In this study, the effects of the tie-beams on the foundation capacity, considering residential type structures are investigated. In the analyses, a sample structure is modeled with masonry walls and with different types of tie-beams. Sample structure is nonlinearly analyzed in 3-D. The obtained structural results are compared to investigate the tie-beam effects on the foundation systems.

**Key words:** Tie-beams, foundation types, infill walled R/C structures, structural earthquake performance

## 1.Giriş

Yapı sistemlerinin önemli bir parçası olan temel sisteminin hesabı, temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerinin belirsizliğinden dolayı, inşaat mühendisliğinin karmaşık problemlerinden birisidir. Uygulamada, temel sistemlerinin çözümleri genelde temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini dikkate almayan basit yaklaşık yöntemlerle yapılmaktadır. Bağ kirişlerinin etkileri ise çoğunlukla dikkate alınmamaktadır [1]. Bu da analizlerin gerçekçi bir yaklaşımdan sapmalarına sebebiyet vermektedir. Yapıların deprem davranışlarının belirlenme yöntemleri günümüz deprem mühendisliği yaklaşımlarında çok büyük çeşitlilik arz etmektedir. Her yöntemin ortak noktası, yapıların deprem davranışlarını en iyi şekilde ifade etmektir. Yapısal deprem davranışların gerçekçi olarak belirlenmesi günümüz deprem mühendisliğinin önemli hedefleri arasındadır [2].

Zemin özelliklerinin yanında, yapı zemin etkileşimini doğru bir şekilde ortaya koyabilmek için zeminle etkileşime giren temel elemanlarının özellikleri belirlenerek analizler bu çerçevede yapılmalıdır. Bağ kirişleri bu kapsamda yapısal davranışı olumlu etkileyen yapısal bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır ve deprem mühendisliğinin inceleme alanına girmektedir. Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin ortaya konulması için yapılan inceleme çalışmaları kapsamında; temel sistemlerinin

dolayısıyla bağ kirişlerinin geometri ve malzeme bakımından tespitinde büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu nedenle çoğu zaman bağ kirişlerinin yapısal davranış üzerindeki etkisi ihmal edilmektedir. Bağ kirişi uygulaması etkilerinin saptanması, yapının deprem sırasında bağ kirişli ve bağ kirişsiz olarak nasıl davranacağını belirlenmesiyle mümkün olacaktır. Yapısal değerlendirme kapsamında, temel sisteminin incelenmesinde genellikle bağ kirişlerinin temel taşıma gücüne ve dinamik etkiye maruz kalan temel sistemi davranışı üzerene etkisi dikkate alınmamaktadır. Gerçekte ise, bağ kirişleri temel sisteminin bir parçası olarak temel taşıma gücüne katkı sağlamaktadır. Bu katkı, zemin özelliklerine, temele etkileyen kesit tesirlerine, bağ kirişi temel sistemi geometrisine ve uygulama tekniklerine göre değişmektedir.

Bağ kirişleri yapıım şekline göre tek veya çift ekseninde temeller ile birleşerek, yatay yer değiştirmelerin farklı olmasını engeller. Ayrıca tüm temel sisteminin yatay deprem etkilerine karşı beraber çalışmasını sağlar. Oluşan etkilerden dolayı temeller arası hareket hem yaklaşma hem de uzaklaşma şeklinde olacağı için; bağ kirişlerinin hem basınç hem de çekme kuvveti etkisi altında olacağı unutulmamalıdır. Bu nedenle bağ kirişleri donatıları yalnız basınç değil, çekme kuvvetini de taşıyabileceği düşünülerek tasarlanmalıdır. Bağ kirişleri temel kazısına uygun olarak, temel altından kolon tabanına kadar yapılabilir [3]. Son yıllarda meydana gelen depremlerde, yapılarda meydana gelen hasarlar ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan ekonomik kayıplar çok büyük olmuştur. Bu depremler, hasar kontrolünün dolayısıyla performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin çok önemli olduğu gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Yapıların performansının belirlenmesinde doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılmaktadır [4].

Bu çalışmada konut tipi yapılarda yaygın olarak uygulanan bağ kirişli temel sistemlerinde, bağ kirişinin yapı performansına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, ülkemizdeki mevcut yapı sistemlerinin deprem davranışlarının belirlenmesi sırasında, temel davranışının yapı davranışına etkisi ele alınmıştır. Yapıların temel sistemlerinin analizlerinde bağ kirişlerinin etkisi dâhil edilerek sistem bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle ortaya çıkan fark incelenmeye çalışılmıştır. Analizlerde 5 katlı dolgu duvarlı betonarme bir yapı ele alınarak bu sistem üç boyutlu olarak artımsal itme analizlerine tabi tutulmuştur. Bu çalışmada yapılan modellemede zemin uzama ve dönme rijitliğine sahip yaylarla temsil edilmiştir. Analizler gerçekleştirilirken yapısal

davranışı olumlu yönde etkileyen bağ kirişleri farklı şekillerde uygulanmış ve yapısal kapasitedeki değişiklikler gözlenmiştir. Yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

## 2. Seçilen Örnek Yapı

Çalışma kapsamında yapı zemin etkileşimi göz ardı edilmeden, bağ kirişlerinin yapı performansına etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, analizlerde kullanılmak üzere beş katlı betonarme bir yapı seçilmiştir. Seçilen yapı modeli TS500 ve Türk Deprem Yönetmeliği 2007’de tanımlanan kriterler dikkate alınarak, malzeme ve geometri bakımından uygun bir şekilde boyutlandırılmıştır [5-7]. Çalışmada esas alınan beton sınıfı C20, betonarme donatı sınıfı S420’dir. Yapı birinci derece deprem bölgesinde olup, yapı önem katsayısı  $I=1,0$  olarak alınmıştır. Yapı, çerçeve sistem olarak tasarlanmış ve süneklik düzeyi yüksek kabul edilmiştir. Buna göre deprem yükü azaltma katsayısı  $R=8$  alınmıştır. Zemin sınıfı Z1 olarak hesaba katılmıştır. Yapı yatayda her iki düzlemde de dört açıklığa sahip olup aks aralıkları 5m alınmış ve kat yükseklikleri 3m olarak tasarlanmıştır. Yapı dolgu duvarlı olarak ele alınmıştır. Şekil 1’de yapı modeli kesitleriyle birlikte verilmiştir.

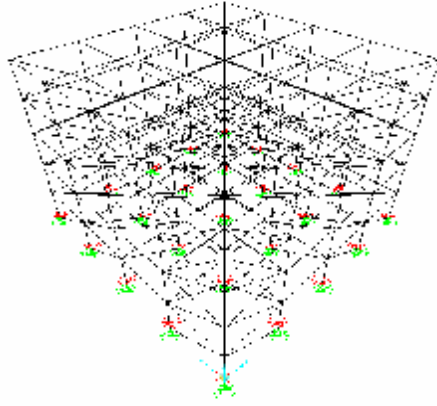
Dolgu duvar etkisi Şekil 2’de gösterildiği gibi her iki ucu mafsalı diogonal basınç çubuğu olarak modellenmiş, FEMA’da verilen bağıntılarla hesaplanmıştır [8-11]:

$$a = 0,175(\lambda_1 h_{col})^{-0,4} r_{inf} \quad (1)$$

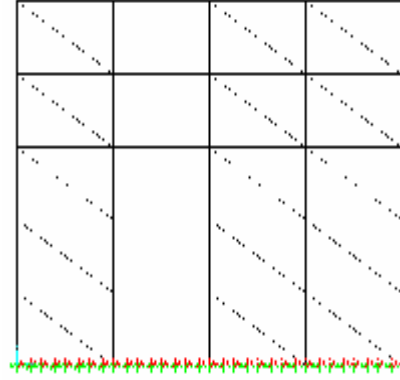
$$\lambda_1 = \left[ \frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right] \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right) \quad (3)$$

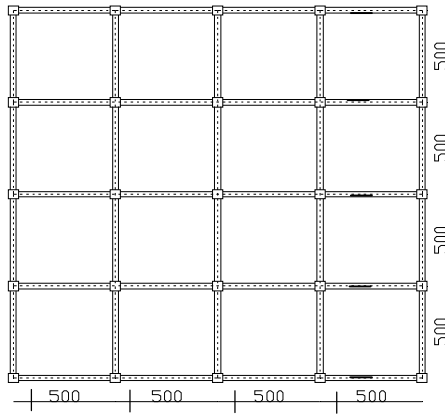
Bu iki bağıntıda;  $h_{col}$ : kolon yüksekliği (kat yüksekliği),  $h_{inf}$ : dolgu duvar yüksekliği,  $E_{fe}$ : çerçeve malzemesinin elastisite modülü,  $E_{me}$ :dolgu duvar malzemesinin elastisite modülü,  $I_{col}$ :kolonların atalet momenti,  $L_{inf}$  :dolgu duvar uzunluğu (açıklığı),  $r_{inf}$ : dolgu duvarın diyagonal uzunluğu,  $t_{inf}$ : dolgu duvarın kalınlığı,  $\lambda_1$ :basınç çubuğunun eşdeğer genişliğini hesaplamada kullanılan katsayıdır.



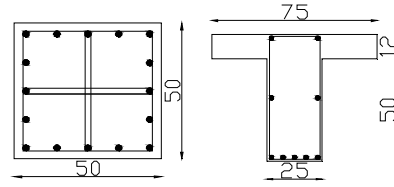
a. Modelin Üç Boyutlu Görünümü



b. Modelin Kesit Görünümü



c. Modelin Plan Görünümü



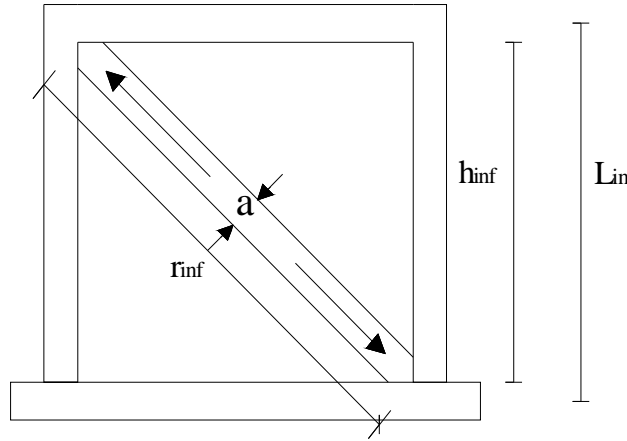
a. Kolon

b. Kiriş

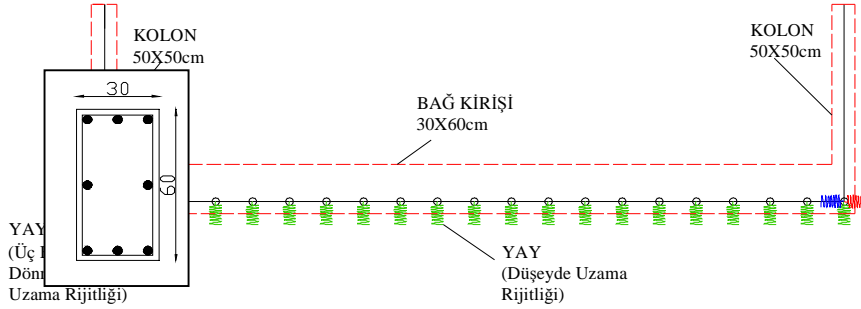
d. Kolon ve Kiriş Kesit Görünümü

Şekil 1 Modelin Geometrik Detayları

Modellerde yapı zemin etkileşimi yaylarla sağlanmaya çalışılmıştır. Kolonların mesnet düğüm noktalarında üç eksende dönme ve üç eksende uzama rijitliğine sahip yaylar kullanılmıştır. Kolonlar arasında kullanılan bağ kirişleri, elastik bir zemin üzerine oturan kiriş gibi modellenmiştir. Bağ kirişleri kendi içinde sonlu elemanlara bölünmüş ve oluşan her düğüm için düşeyde uzama rijitliğine sahip yaylar atanmıştır (Şekil 3).



Şekil 2 Dolgu duvar modeli



(a) Kolon ve Bağ Kirişi Yay Bağlantı Detayı

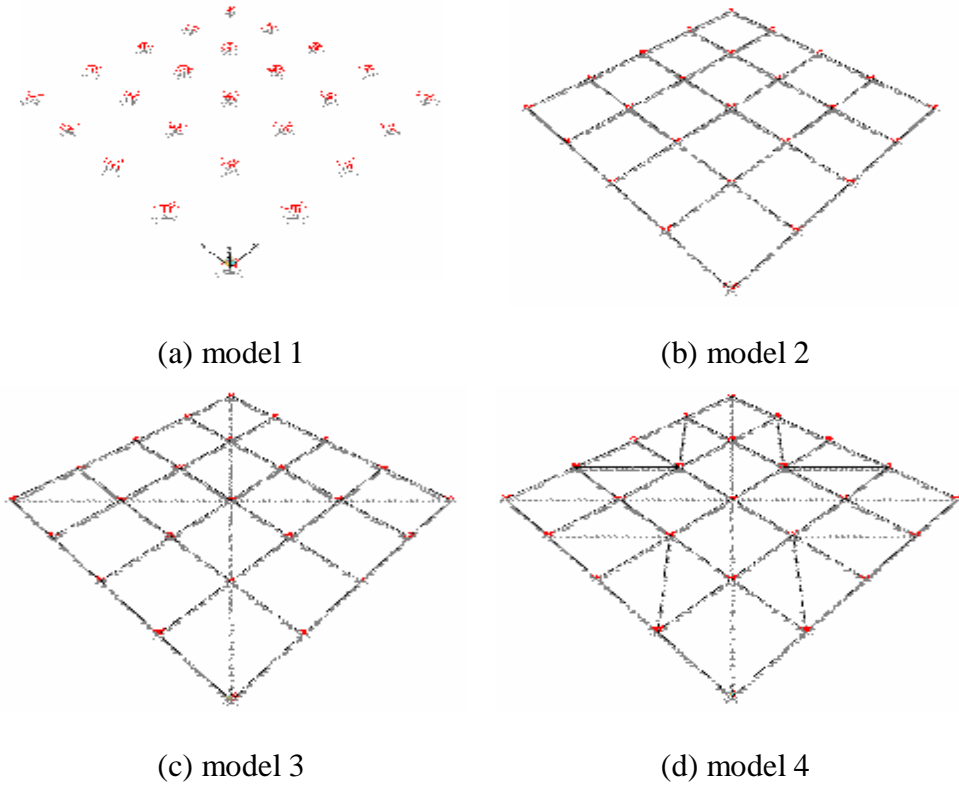
(b) Bağ kirişi kesiti

Şekil 3 Mesnet ve bağ kirişi elaman detayları

Modeller de yapı zemin etkileşimini doğru ortaya koyabilmek için yay rijitlikleri, deprem yükünün hesabında da kullanılan zemin sınıfına göre Şekil 3'deki gibi tanımlanmıştır. Mesnetlerde meydana gelecek dönme ve yer değiştirmeleri dikkate alabilmek için mesnet yaylarına üç eksenli dönme ve üç eksenli uzama rijitliği verilmiştir. Bağ kirişinde meydana gelebilecek düşey yer değiştirmeleri dikkate alabilmek için ise bağ kirişi tasarımında kullanılan yaylara sadece düşeyde uzama rijitliği verilmiştir. Yaylar için tanımlanan rijitlikler, Tablo 1'de verilen zemin sınıflarına ait yatak katsayıları dikkate alınarak modellenmiştir. Çalışmaya esas alınan modeller için zemin sınıfı Z1 olarak alınmıştır. Belirlenen bu zemini temsil eden yatak katsayısı Tablo 1'den sıkı kum\* için verilen  $128000 \text{ kN/m}^3$  değeri dikkate alınmıştır [12].

**Tablo 1** Değişik zemin sınıfları için tanımlanmış ortalama yatak katsayıları

Değişik Zeminlere Göre Yaklaşık Yatak Katsayıları	
Zemin Sınıfı	Yatak Katsayısı $k_0$ (kN/m <sup>3</sup> )
Gevşek Kum	4800–16000
Orta Sıkı- Kum	9600–80000
Sıkı Kum*	64000–128000
Killi Orta Sıkı Kum	32000–80000
Siltli Orta Sıkı Kum	24000–48000



**Şekil 4** Çalışmada kullanılan betonarme model için mesnet bağlantı tipleri

Çalışmada kullanılan betonarme model üç farklı bağ kirişi bağlantı detayına göre modellenmiş olup bağ kirişsiz modelle birlikte toplam dört ayrı model üzerinde artımsal statik analizler yapılmıştır. Bütün modellerde dolgu duvar etkisi dikkate alınmıştır. Şekil 4 'de farklı tasarımda bağ kirişi bağlantı detayı verilmiştir. Model 1'de bağ kirişi kullanılmadan, kolonlar sadece üç ekseninde dönme ve uzama rijitliğine sahip yaylar üzerine mesnetlenmiştir. Model 2, Model 3, Model 4'de ise, farklı geometrik yerleşimde bağ kirişi tasarımları kullanılmıştır. Analizleri yapılan dört farklı model sayesinde bağ kirişinin yapı performansına etkisi irdelenmiş ve farklı geometrik dizilimdeki bağ kirişlerinin kendi içindeki yapısal davranış değişimleri gözlenmeye çalışılmıştır.

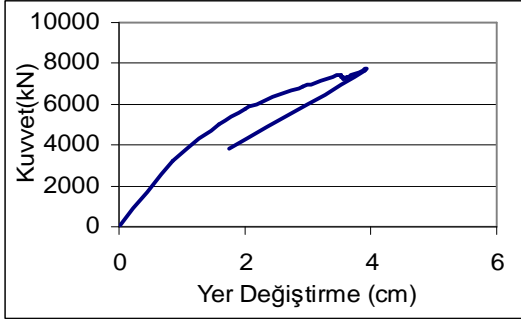
### 3. Seçilen Örnek Yapının Doğrusal Olmayan Analizleri

Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin kullanılması ile yapıların doğrusal olmayan davranışını gerçeğe yakın bir şekilde belirlemek mümkündür. Ancak bu yöntemler oldukça karmaşık, zaman alıcı ve çok fazla yerel deprem kaydı gerektirdiğinden uygulama açısından çok pratik olmamaktadır. Daha kolay olmaları nedeniyle sıklıkla kullanılan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapının yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet-yatay yer değiştirme (P- $\Delta$ ) ilişkisinin malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre belirlenmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır [5,13].

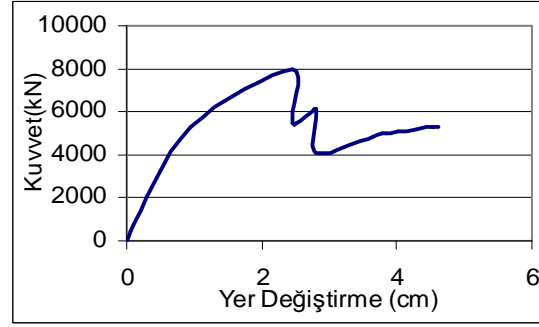
Doğrusal olmayan analizler yapılırken, kolonlarda aksenal yük ve moment (P-M2-M3) etkileri, kirişlerde ise kesme kuvveti ve moment (M3) kuvvetleri mafsal koşullarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Dolgu duvarı temsil eden elemanlarda ise sadece aksenal yük kapsamında mafsal koşulları belirlenmiştir. Analizlerde taşıyıcı eleman ve dolgu duvar için tanımlanan çapraz elemanlar için performans kriterleri, kesit özelliklerine bağlı olarak FEMA'dan belirlenmiştir. [8-10].

Şekil 5'de bağ kirişsiz ve kirişli olarak 4 farklı modelin statik artımsal itme analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 6, tüm modellerin, artımsal statik itme sonucunda taşıyıcı sistemde oluşan ilk plastik mafsal durumu için her kattaki yer değiştirmeyi vermektedir. Şekil 7'de ise artımsal statik itme sonucunda taşıyıcı sistemde oluşan ilk plastik mafsal durumu için katların kendi içindeki görelî kat ötelenmeleri eğrisel grafik halinde verilmiştir. Analiz sonuçlarından da görüleceği üzere, bağ kirişleri yapısal dayanımı arttırmakta ve statik itme eğrilerinde kapasite artışı sağlamaktadır. Bu artışın başlıca sebebi, bağ kirişlerinin yapı zemin etkileşimi içerisinde kolon mesnetlerindeki dönmeyi sınırlamasıdır. Bu sayede mesnet düğüm noktaları ankastre mesnet kabulünü daha gerçekçi kılmakta ve yapı titreşim periyoduna etki etmektedir. Bu etki yapısal dayanımda kapasitenin artmasına neden olmaktadır.

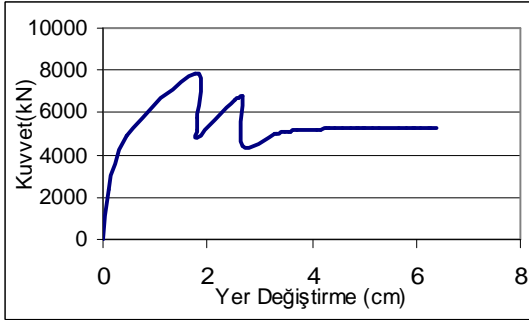




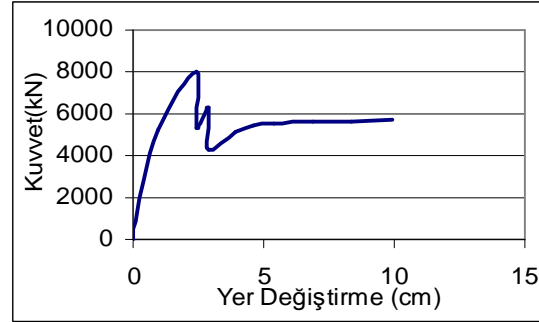
(a) Bağ Kirişsiz Model 1 Analiz Sonucu



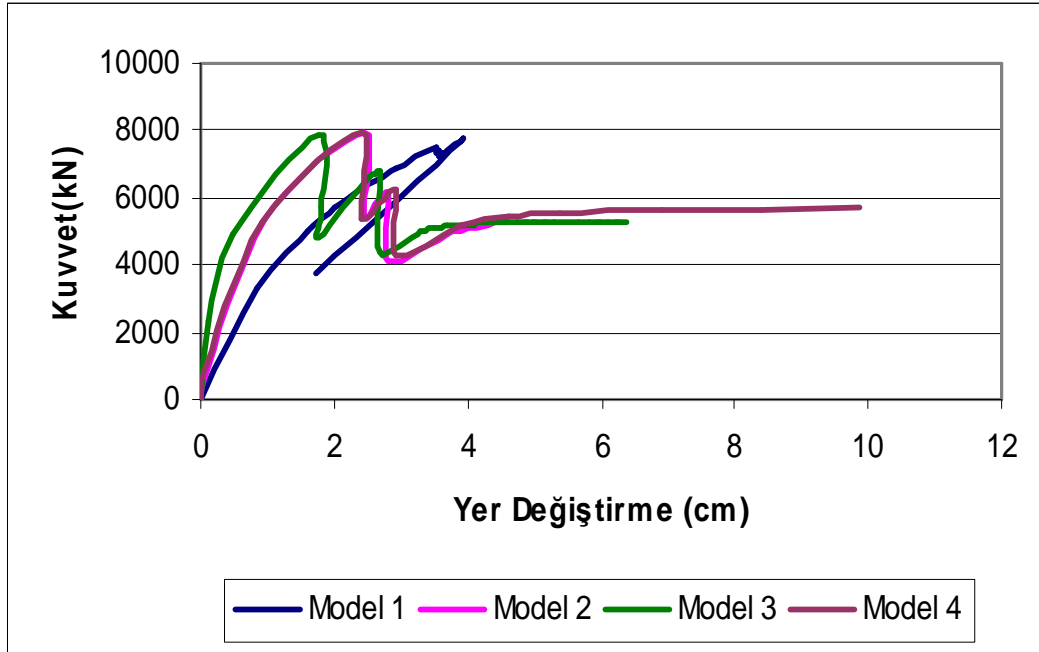
(b) Bağ Kirişli Model 2 Analiz Sonucu



(c) Bağ Kirişli Model 3 Analiz Sonucu

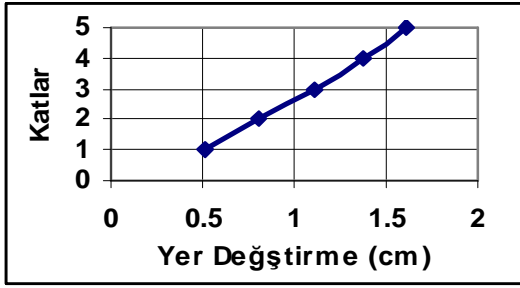


(d) Bağ Kirişli Model 4 Analiz Sonucu

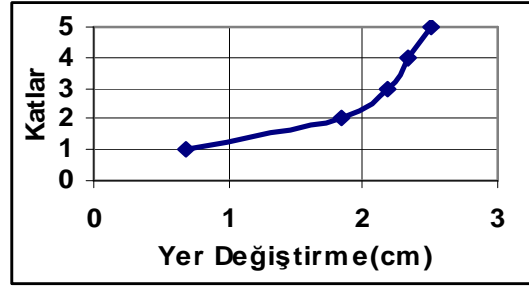


(e) Tüm modellerin statik artımsal itme sonuçları

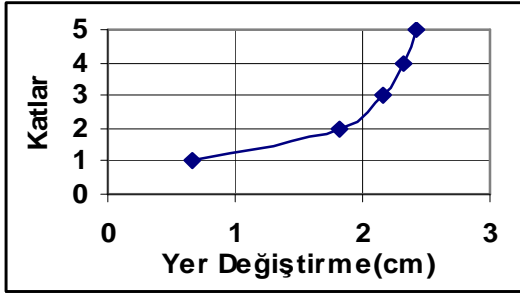
Şekil 5 Modellerin statik artımsal itme eğrileri



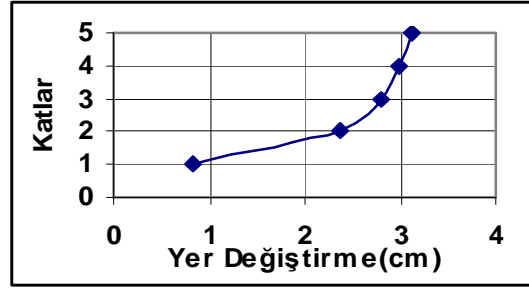
(a) Model 1



(b) Model 2

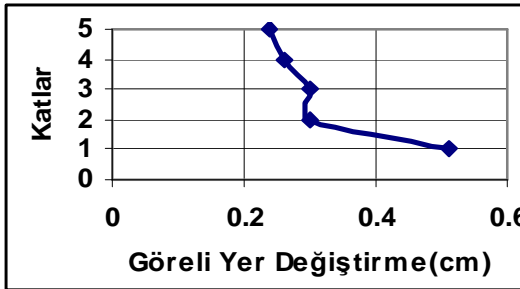


(c) Model 3

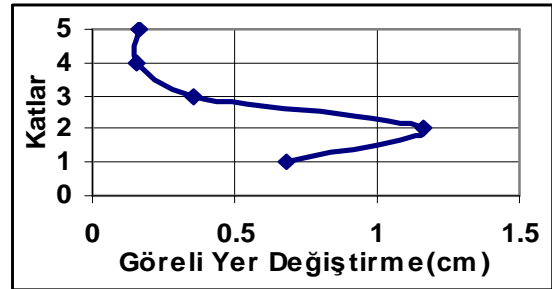


(d) Model 4

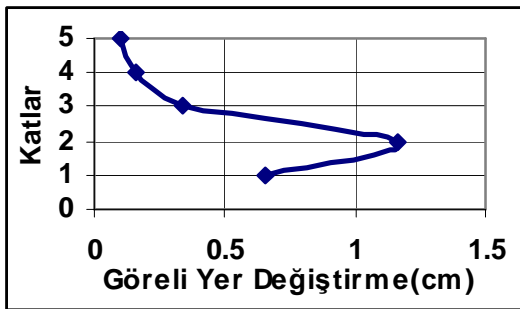
Şekil 6 İlk plastik mafsal için kat ötelenmeleri



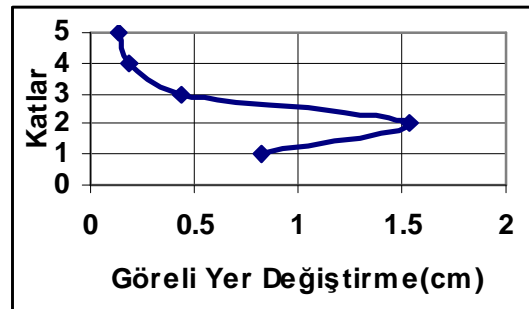
(a) Model 1



(b) Model 2



(c) Model 3



(d) Model 4

Şekil 7 İlk plastik mafsal için görelî kat ötelenmeleri

#### 4. Sonuçlar

Çoęunlukla yapısal analizlerde yapı-zemin etkileşiminin ihmal edilerek zeminin “rijit” bir ortam olarak kabul edildiği bilinmektedir. Ancak gerçekte, yapının altındaki zemin dış yükler altında deformasyon gösteren elastik bir ortamdır. Zeminin rijit bir ortam olarak kabul edilmesiyle yapılan analizlerin gerçekçi olmayacağı açıktır. Yalnızca dūşey yüklerin söz konusu olduğu özel durumlarda bu kabul çok fazla hata vermeyebilir ancak deprem gibi yatay yüklerin söz konusu olduğu durumlarda, yapı ve altındaki zeminden oluşan sistemin davranışı dikkate alındığında, sonuç çok farklı olabilmektedir. Yapı zemin etkileşimi dikkate alınarak yapılan dinamik analizlerde, yapının hakim periyodu oldukça değişmekte, buna bağlı olarak yapıya etkiyen yatay yük değeri artmakta ve sistemdeki kesit tesiri dağılımı etkilenmektedir. Buna bağlı olarak, yatay yüklerden dolayı artan yatay yer değiştirmeler sisteme ikinci mertebe kesit tesirlerinin etkimesine neden olmaktadır.

Çalışmada gerçekleştirilen analizler göstermektedir ki yapıların deprem analizi oldukça fazla parametreye bağlı karmaşık bir olaydır. Yapıların tümünün etkileşim içinde bulunduğu zeminin de, bu analizlerde yer alması gereken bir unsurdur. Yapıların daha doğru ve gereye en yakın şekilde modellenip analiz edilmesi için yapıların üzerinde oturduğu zemin oldukça iyi bir şekilde araştırılmalı ve bu araştırmalardan elde edilen veriler ışığında yapısal analizler yapılmalıdır. Betonarme elemanlarda yapısal analizin yanında davranışın da önmeli bir yeri olduğundan yapıların gerçek davranışını yansıtmak amacıyla yapı zemin etkileşimi dikkate alınarak yapıların yatay yükler altındaki analizinin yapılması gerekmektedir.

Yapılan statik itme analizleri yapısal davranışa bağ kirişlerinin yapı performansına katkısı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yapısal analizlerde bağ kirişleri mutlaka dikkate alınmalı ve analiz sonuçları oldukça dikkatli yorumlanmalıdır. Özellikle her yapı tipine göre en uygun bağ kirişi tipinin belirlenmesi gerekliliği de çalışma kapsamında kullanılan üç farklı model sonuçlarının farklı olmasından anlaşılmaktadır. Her yapı tipine göre en uygun bağ kirişi uygulamasının yapılması ve uygulamada bu noktaya önem verilmesi gerekmektedir.

## Kaynaklar

- [1] P.Gülkan, "Influence of Different Soil Modeline Criteria in SSI Analysis" Developments in Dynamic SSI Proceedings, Antalya, 1992.
- [2] M.N. Aydınöglü, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), İstanbul, 1993.
- [3] U. Ersoy, G. Özcebe , Betonarme. Evrim Yayınevi, İstanbul, 2004.
- [4] Z. Celep, N. Kumbasar, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [5] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik., İstanbul, Resmi Gazete 2007.
- [6] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [7] TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [8] FEMA 273 (Federal Emergency Management Agency) Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings., 1997.
- [9] FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency) Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings., 2000.
- [10] FEMA 440 (Federal Emergency Management Agency), Improvement Of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, "NEHRP Guidelines", Washington D.C., 2005.
- [11] E. İrtem, K. Turker, U. Hasgöl, "Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi" İTÜ Muhendislik Dergisi/d, cilt 4, sayı 4, İstanbul, 2005.
- [12] A. A. Birand, Kazıklı Temeller, Teknik Yayın Evi, Ekim Ankara, 2001, 433s,
- [13] Y.R. Li, "Non-Linear Time History And Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation" PhD Thesis, University of Texas, Austin, TX, 1996.