

## Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların yapısal parametre özelliklerinin değerlendirilmesi

### Evaluation of structural parameters properties of low and mid-rise reinforced concrete buildings

Emrah MERAL<sup>1</sup>, Mehmet İNEL<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye.  
emrahmeral@osmaniye.edu.tr

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
minel@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 06.11.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 22.03.2016  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.29291  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Ülkemiz yapı stokunun büyük bir bölümünü oluşturan düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar ciddi deprem tehlikesi altındadır. Nüfusun çoğunluğunun içinde yaşadığı bu yapıların deprem performanslarını etkileyen parametrelerin belirlenebilmesi için yapı stokunun değerlendirilmesi gerekir. Bu sebeple Denizli şehri ve çevresinde yaklaşık 500 konut binası üzerinde envanter çalışması yapılmıştır. Düşük ve orta katlı binaları temsil etmesi için envanter çalışması dikkate alınarak 2, 4 ve 7 katlı toplam 144 adet bina modellenmiştir. Farklı beton, donatı sınıfı ve yönetmelik durumları modellemeye yansıtılmıştır. Ayrıca dolgu duvar katkısı, yumuşak kat ve kapalı çıkma düzensizlikleri de hesaplamalara dâhil edilmiştir. Her bir yapı statik itme analizine tabi tutulmuş ve yapılara ait kapasite eğrileri hesaplanmıştır. Çalışmanın amacı düşük ve orta yükseklikteki binaların doğrusal olmayan davranışın dikkate alınması ile elde edilen deplasman taleplerini de içeren çeşitli yapısal parametreler ile bina periyotlarının değişimini incelemektir.

**Anahtar kelimeler:** Doğrusal olmayan analiz, Statik analiz, Mevcut betonarme binalar, Yapısal özellikler

#### Abstract

The low and mid-rise reinforced concrete buildings are a major part of existing building stock are under serious earthquake hazard. The building stock, where the majority of the population lives, should be evaluated to determine the parameters affecting their earthquake performance. Therefore, inventory study was carried out on approximately 500 residential buildings in Denizli city and around. A total of 144 buildings with 2, 4 and 7 story were modeled considering the inventory study to represent low and medium-rise buildings. Different classes of concrete, reinforcement and regulation cases were reflected in modeling. Also, infill-wall contribution, soft story and heavy overhang irregularities were included in the calculations. Each building was subjected to static pushover analysis and the capacity curves were obtained. The purpose of this study is to examine the changes of the low and mid-rise building periods with the various structural parameters including displacement demands considering the nonlinear behavior.

**Keywords:** Nonlinear analysis, Static analysis, Existing reinforced concrete buildings, Structural properties

## 1 Giriş

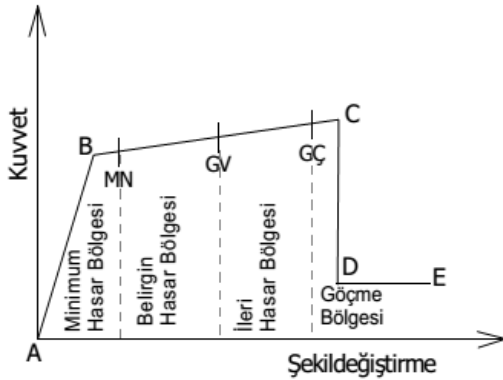
Ülkemizde son yıllarda çok fazla sayıda can kaybı ve büyük ölçekte maddi zarara neden olan orta ve büyük seviyede depremler meydana gelmiştir. Bu depremler sonucunda hayatını kaybedenlerin ve oluşan hasarlı yapıların sayısı, büyük bir kısmı kat sayısı sekizin altında olan “düşük ve orta yükseklikteki” betonarme binaların yapısal özelliklerinin yetersizliklerinden dolayı bu binaların yeterli performansa sahip olmadığını göstermiştir [1]-[6]. Araştırmalarda hemfikir olunan diğer bir nokta ise orta veya büyük ölçekte depremler olması durumunda önemli hasara uğrayacak çok miktarda binanın bulunmasıdır [3]-[8]. Çalışmaların ortak gözlemleri yumuşak kat, zayıf kolon-kuvvetli kiriş, kısa kolon, ağır kapalı çıkmaların olması, az miktarda perde bulunması, sünek olmayan detaylandırma, kötü beton kalitesi ve yapının projesine göre inşa edilmemesidir. Bu yüzden mevcut binaların yapısal özellikleri hakkında deprem performanslarının belirlenmesi bir ihtiyaç haline gelmiştir. Mevcut bina stoku ile ilgili bir değerlendirme yapabilmek için öncelikle mevcut bina stokunun yapısal özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Bunun için bina bilgilerinin toplandığı bazı çalışmalar yapılmıştır [9],[10].

## 2 Çalışmanın amacı ve yöntemi

Deprem sonucunda meydana gelen yatay kuvvetler yapıda yatay yer değiştirmelere, bu yer değiştirmeler ise binada yapısal ve yapısal olmayan hasarlara sebep olmaktadır. Bu açıdan binanın yapacağı yer değiştirme, binanın hasarı hakkında ölçüt olarak kabul edilebilir [11]-[13]. Çalışmanın amacı dolgu duvar katkısının bulunduğu ve bulunmadığı, yumuşak kat ve kapalı çıkma düzensizliklerini içeren konut yapı stokunun çoğunluğunu oluşturan düşük ve orta katlı yapıların doğrusal ötesi davranışlarının göz önüne alınmasıyla bu binalara ait yer değiştirme taleplerini ve büyük kısmını talep hesabını oluşturan çeşitli yapısal parametreleri değerlendirmektir.

Doğrusal olmayan davranış elemanların uçlarına atanan plastik mafsallar yardımıyla yansıtılmıştır. Plastik bir mafsallın oluşturulabilmesi için Şekil 1’de belirtilen B (akma), C (maksimum dayanım), D (dayanım kaybı), E (göçme) (ve performans kıstasları için MN, GV, GÇ) sınırlarının konumunun belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada “D” sınırındaki dayanım değeri FEMA 356 [14] ve ATC 40 [15] şartnamelerinde belirtildiği gibi akma dayanımının %20’si olarak öngörülmüştür. “D”-“E” bölgesinde azalan kapasitenin bir süre daha devam ettiği ve “E” sınırında kapasitenin ortadan kaybolarak sıfırlandığı varsayılmaktadır. Eğilme mafsallarında

bu sınırların belirlenebilmesi için moment-eğrilik analizinin yapılması gerekir. Bu amaç için elemanların en çok zorlanan kesitlerinde enine donatı miktarı göz önüne alınarak ilk önce sargılı beton birim şekil değiştirme-dayanım ilişkisi elde edilmiştir. Çelik birim şekil değiştirme-dayanım ilişkisi DBYBHY-2007'de [16] verilen şekilde kullanılmıştır. Malzeme şekil değiştirme-dayanım bağıntıları kullanılarak bulunan moment-eğrilik durumu ve tanımlanan süneklik kıstasları kullanılarak eğilme mafsallarının şekil değiştirme kapasiteleri elde edilmiştir. Her bir mafsalın oluşturulması için elemanların en çok zorlanan kesitlerinin moment-eğrilik durumları Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı (SEMAp) kullanılarak bulunmuştur [17].



Şekil 1: Tipik dayanım-deformasyon ilişkisi.

Beton modeli olarak Mander sargılı beton modeli [18] dikkate alınmıştır. Bu moment-eğrilik durumları, nihai şekil değiştirme kıstasları ve plastik mafsal boyu ( $L_p$ ) DBYBHY-2007'de belirtildiği şekilde deprem doğrultusundaki kesit yüksekliğinin yarısı olarak kullanılıp elemanların plastik dönme kapasiteleri ve mafsal tanımlamaları elde edilmiştir. Eğilme mafsallarının hasar sınırı ölçütleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Eğilme mafsalı hasar sınırı kıstasları.

Nokta	Beton Birim Şekil Değiştirmesi $\epsilon_c$	Çelik Birim Şekil Değiştirmesi $\epsilon_s$
B	Akma dayanımı ve eğilme rijitliği belirler	
MN	$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$	$(\epsilon_s)_{MN} = 0.01$
GV	$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.010 \cdot (\rho_s / \rho_{sm})$ $\leq 0.0135$	$(\epsilon_s)_{GV} = 0.04$
GÇ	$(\epsilon_{cg})_{GÇ} = 0.0040 + 0.014 \cdot (\rho_s / \rho_{sm})$ $\leq 0.0180$	$(\epsilon_{su})_{GÇ} = 0.06$
C-D	$(\epsilon_{cg})_C = 0.03$	$(\epsilon_s)_C = 0.5 \cdot \epsilon_{su}$
E	$(\epsilon_{cg})_E = 0.04$	$(\epsilon_s)_E = \epsilon_{su}$

Moment mafsallarının dışında, kiriş ve kolonlara kesme mafsalları da atanmıştır. Moment mafsallarından ayrı bir biçimde, kesme mafsallarında herhangi bir süneklik öngörülmemiş, elemanlar kesme kapasitesine eriştiği anda

göçmeye ulaştığı kabul edilmiştir. Her bir elemanın kesme dayanımı kapasitesi TS500'e [19] göre bulunmuştur.

Doğrusal ötesi davranış, araştırmacılar tarafından sıkça kullanılan statik itme analizi ile yansıtılarak binalara ait kapasite eğrileri belirlenmiştir. Yer değiştirme talebi hesabında ise 2007 Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007) [16] prensipleri dikkate alınmıştır. Kapasite eğrileri "Eşdeğer" Tek Serbestlik Dereceli Sisteme (TSD) çevrilerek DBYYHY-2007 tepki tasarım spektrumuna göre binaların yer değiştirme talepleri hesaplanmıştır.

### 3 Yapıların tanımlanması ve model özellikleri

Yapı stokunu yansıtması amacıyla çoğunlukla Denizli ili ve çevresinde yapılmış bulunan 500 adet konut binası üzerinde yapılan envanter çalışmasıyla [20] 1-2 katlı binaları temsilen 2 katlı, 3-5 katlı binaları temsilen 4 katlı ve 6, 7 ve 8 katlı binaları temsilen 7 katlı bina modelleri oluşturulmuştur. Mevcut yapı stokunu yansıtan özelliklere sahip referans binalar oluşturulduktan sonra bu binalara çalışma kapsamında düşünülen yumuşak kat ve kapalı çıkma gibi yapısal düzensizlikler eklenmiştir. Referans binalar, yumuşak kata ve kapalı çıkmaya sahip binalar olmak üzere dolgu duvar dayanımının dikkate alındığı ve alınmadığı duruma göre toplamda 6 tane yapı grubu oluşturulmuştur [21].

Her bir yapı grubu için tasarım farklılıkları 1975 [22] ve 1998 [23] Afet Yönetmelikleri ile yansıtılarak binaların 1. Deprem Bölgesinde ve Z3 sınıfı zemin üzerinde olduğu göz önüne alınmıştır. Malzemenin davranış üzerindeki etkileri için üç farklı beton sınıfı ve iki farklı enine donatı durumu göz önüne alınmıştır. Beton dayanımı olarak 1998'den önce tasarlanan binalarda BS16 (orta kalite) ve BS10 (düşük kalite), 1998 ve sonrasında tasarlanan binalarda BS16 (orta kalite) ve BS25 (iyi kalite) dikkate alınmıştır. Oluşturulan modeller için sargı yönetmeliklerle uyumlu donatı detaylandırılması ve 200 mm aralıklı aynı zamanda çirozsuz olarak iki farklı enine donatı durumu dikkate alınmıştır. Boyuna ve yanal donatıların karakteristik akma dayanımları ABYYHY-1975 ve ABYYHY-1998 için sırayla 220 MPa (BÇ-I) ve 420 MPa (BÇ-III) kullanılmıştır. Boyuna donatıların pekleşme durumu göz önünde bulundurulmuştur.

3 farklı mimariye sahip toplam 144 adet binanın 3 Boyutlu (3-B) modellemesi, SAP2000 [24] yapısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Referans 2, 4 ve 7 katlı binalara ait kalıp planları ve kolon isimlendirmeleri sırasıyla Şekil 2'de verilmiştir.

Hareketli yükler ve duvar yükleri TS 498'e [25] göre alınmıştır. Binalarda bulunan döşemeler tasarımda oluşturulmamış, döşemelerin kendi ağırlıkları ve üzerine gelen yükler bu döşemelerin etrafında bulunan kirişlere yayılı yük olarak etkilmiştir. Farklı kat seviyelerinde rijit diyafram kabulü uygulanmıştır.

Eğilme etkisine maruz kalan betonarme elemanlarda çatlamış kesitin etkin eğilme rijitlikleri  $(EI)_e$  kullanılmıştır. Etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen Denklemler (1)-(3) kullanılmıştır. Eksenel basınç kuvvetinin ( $N_D$ ) arada kalan değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılarak kolonların etkin eğilme rijitlikleri bulunmuştur [16].

a) Kirişlerde:

$$(EI)_e = 0.40(EI)_o \quad (1)$$



sistem elemanlarının kesit boyutlarının fazla olması, yumuşak kat ve kapalı çıkmanın bulunması bu binaların ağırlığını artırmıştır. Bu nedenle aynı mimariye sahip binaların ağırlıkları ve diğer özellikleri belirli bir bant aralığında değişmektedir. Tabloda yer alan sismik ağırlık ifadesi ölü yükün tamamını ve hareketli yükün %30'luk (G+0.3.Q) kısmını, periyot binanın çatlamış kesit rijitliğine ait periyodunu, yatay dayanım oranı ise bina yatay dayanımının sismik ağırlığına bölünmesini ifade etmektedir.

Tablo 2: Binaların karakteristik özellikleri.

Parametre	2 Katlı Binalar	4 Katlı Binalar	7 Katlı Binalar
Sismik Ağırlık (ton)	249-263	622-705	1862-2129
Periyot (s)	0.22-0.38	0.37-0.71	0.60-0.93
Yatay Dayanım Oranı	0.28-0.72	0.13-0.39	0.10-0.25
Bina Kat Alanı (m <sup>2</sup> )	130	150	254

#### 4 Artımsal itme analizi

Artımsal İtme Analizlerinde yatay yük dağılımı olarak "Modal Yük Dağılımı" kullanılmıştır. Modal yük dağılımında binaların Artımsal İtme Analizi uygulanan yönlerinde en kritik mod şekli göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Binanın her bir katına etki ettirilecek kuvvet, her katın kütesinin hâkim moda ait yer değiştirme değeri ile çarpılmasıyla bulunur. Bu işlem tüm katlar için tekrarlandıktan sonra taban kesme kuvveti hesaplanan bu değerler oranında katlar arasında dağıtılır.

Kapalı çıkmaya sahip olmayan modeller simetrik kat planına sahip olduğundan modeller simetri merkezlerinden itilmiştir. Simetrik olmayan tek yönden çıkmaya sahip olan yapıların her kat için kütle merkezleri hesaplanarak, yapılar bu noktalardan itilmiştir. Artımsal itme analizlerinde P-Delta etkileri hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Bu şekilde 144 adet 3-B modele ait iki asal yönün dikkate alınmasıyla 288 kapasite eğrisi SAP2000 [24] programıyla doğrusal olmayan statik analiz edilerek elde edilmiştir.

#### 5 Doğrusal olmayan yer değiştirme taleplerinin belirlenmesi

Deprem etkisi altındaki yapılarda maksimum yer değiştirme taleplerinin hesaplaması için uluslararası yönergelerde [14], [15],[26] farklı doğrusal olmayan (nonlinear) yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde, bir yapıdaki doğrusal olmayan yer değiştirme talebi "Eşdeğer" Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistem yaklaşımı veya biraz daha kapsamlı yüksek mod etkilerinin dikkate alındığı [27],[28] yaklaşımlarla bulunmaktadır. Özellikle birinci mod kütle katılım oranının düşük olduğu binalarda yüksek mod etkilerinin dikkate alınması önemlidir. Bu çalışmada düzenli binalarda birinci mod kütle katılım oranı oldukça yüksek diğer binalarda da %70'lerin altına düşmemesi nedeniyle "Eşdeğer" Tek Serbestlik Dereceli sistem yaklaşımının yeterli olduğu düşünülerek bu yaklaşım kullanılmıştır.

ATC-40 [15] ve FEMA-356 [14] dokümanlarında, artımsal statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrilerinin mühendislik yaklaşımları kullanılarak iki doğrulu (bi-lineer) bir eğri haline getirilebileceğinden bahsedilmektedir. Her iki yönergede akma yer değiştirmesi benzer şekilde ifade edilirken, akma dayanım katsayıları farklılık göstermektedir. FEMA-440 [26], önerilen

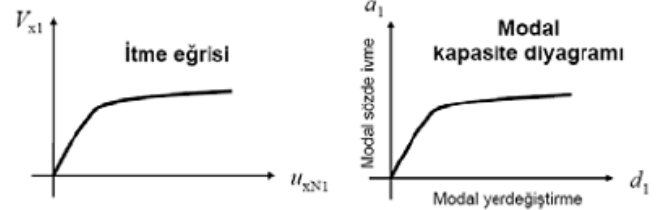
bu yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmış ve ATC-40'da verilen metodu önermiştir. ATC-40 ile 2007 Deprem Yönetmeliği'nin çok serbestlik sistemin "Eşdeğer" Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sisteme dönüştürme işlemleri benzerlik göstermektedir.

Statik itme analizinden bulunan kapasite eğrileri 2007 Deprem Yönetmeliği dikkate alınarak iki doğrulu (bi-lineer) bir eğri haline getirilip idealize edilmiştir. Talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrilerinin "Eşdeğer" Tek Serbestlik Dereceli Sisteme (TSD) dönüştürülmesi gerekir. Yani taban kesme kuvveti ( $V_x$ )-çatı (tepe) yer değiştirmesi ( $U_{xN}$ ) formatındaki kapasite eğrisi modal ivme ( $a_1$ )-modal yer değiştirme ( $d_1$ ) formatına dönüştürülür (Denklem (4), (5)). Bu işlem, birinci doğal moda ait kütle katılım oranı ( $\alpha_1$ ) ve modal katkı çarpanı ( $\Gamma_1$ ) kullanılarak yapılabilmektedir. Birinci doğal moda ait etkin kütle ( $M_{x1}$ ), bina kütesinin birinci moda ait kütle katılım oranı ( $\alpha_1$ ) ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$a_1 = \frac{V_{x1}}{M_{x1}} \quad (4)$$

$$d_1 = \frac{U_{xN1}}{\phi_{xN1} \cdot \Gamma_1} \quad (5)$$

Kapasite eğrisinde yatay ekseninde bulunan çatı (tepe) yer değiştirmesinin ( $U_{xN}$ ) modal yer değiştirmeye ( $d_1$ ) ve düşey ekseninde bulunan taban kesme kuvvetinin ( $V_x$ ) modal ivmeye ( $a_1$ ) çevrilmesiyle kapasite eğrisi elastik tasarım spektrumuyla aynı formata dönüştürülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4: Modal kapasite diyagramının elde edilmesi.

Yerel zemin sınıfı Z3 ve 1. derece deprem bölgesi için  $A_0$  (etkin yer ivme katsayısı) 0.4, binalar konut olarak tasarlandığı için bina önem katsayısı ( $I$ ) 1 alınarak DBYBHY-2007 tasarım spektrumu yardımıyla bina doğal periyodu  $T_1$ 'e bağlı Spektral İvme Katsayısı  $A(T)$  değerleri hesaplanmıştır (Denklem (6)). %5 sönüm oranı için tanımlanmış bulunan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme  $S_{ae}(T)$ , Spektral İvme Katsayısı  $A(T)$  ile yerçekimi ivmesi  $g$ 'nin çarpımıyla elde edilmektedir (Denklem (7)).

$$A(T_1) = A_0 \cdot I \cdot S(T_1) \quad (6)$$

$$S_{ae}(T_1) = A(T_1) \cdot g \quad (7)$$

Birinci (hâkim) moda ait ve eksenleri ( $d_1$ ,  $a_1$ ) olan modal kapasite diyagramı ile eksenleri "spektral yer değiştirme ( $S_d$ )-spektral ivme ( $S_a$ )" olan elastik tasarım spektrumu bir arada çizilerek binaların yer değiştirme talepleri hesaplanmıştır.

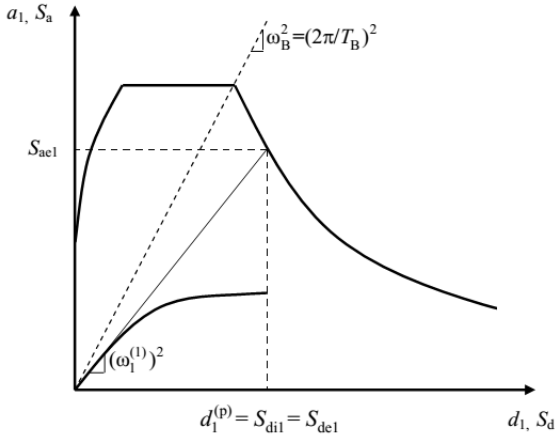
Doğrusal elastik (lineer) spektral yer değiştirme ( $S_{de1}$ ), itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme ( $S_{ae1}$ )'den hesaplanır (Denklem (8)).

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (8)$$

Doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ ), analizin birinci adımında, doğrusal elastik davranış gözetilerek elde edilen birinci (hâkim) moda ait başlangıç periyoduna ( $T_1$ ) denk gelen doğrusal elastik (linear) spektral yer değiştirme ( $S_{de1}$ )'e bağlı olarak Denklem (9) ile bulunur.

$$S_{di1} = C_{R1} \cdot S_{de1} \quad (9)$$

Spektral yer değiştirme oranı ( $C_{R1}$ ), başlangıç periyodu ( $T_1$ ) değerinin ivme spektrumundaki karakteristik periyod ( $T_B$ ) ile olan  $T_1 \geq T_B$  ve  $T_1 < T_B$  durumlarına göre iki şekilde bulunur.  $T_1$  başlangıç periyodunun,  $T_B$ 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ( $T_1 \geq T_B$ ) elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ ), eşit yer değiştirme kuralı uyarınca  $C_{R1}=1$  alınarak lineer elastik spektral yer değiştirme ( $S_{de1}$ ) değerine eşit olduğu Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5:  $T_1 \geq T_B$  durumunda elastik olmayan spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ ) hesabı.

$T_1$  başlangıç periyodunun,  $T_B$ 'den kısa olması ( $T_1 < T_B$ ) durumunda Spektral yer değiştirme oranı ( $C_{R1}$ ) ardışık yaklaşımla (iterasyonla) DBYBHY-2007'de verilen hesap yöntemlerine göre bulunmuştur.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında  $C_{R1}=1$  kabulü yapılarak eşdeğer akma noktasının konumu eşit alanlar kuralıyla bulunur. Şekil 6a'da verilen  $a_{y1}^o$  temel alınarak  $C_{R1}$  aşağıda Denklem (10)'da ifade edilir:

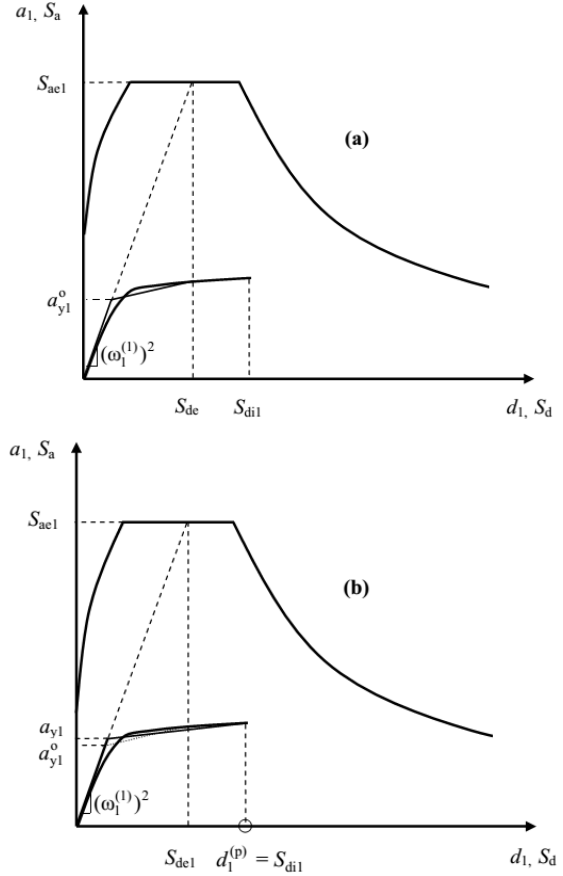
$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) \cdot T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (10)$$

Bu bağıntıdaki  $R_{y1}$ , birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını tanımlamaktadır (Denklem (11)):

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (11)$$

Denklem (10)'dan bulunan  $C_{R1}$  kullanılarak Denklem (9)'a göre hesaplanan  $S_{di1}$  esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 6b'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre  $a_{y1}$ ,  $R_{y1}$  ve  $C_{R1}$  tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul

edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir [16].



Şekil 6:  $T_1 < T_B$  durumunda elastik olmayan spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ ) hesabı.

Tanım olarak modal yer değiştirme istemi ( $d_1^{(p)}$ ) doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ )'e eşittir [16]. Tasarım spektrumu ve binaların kapasite eğrileri kullanılarak elde edilen "Eşdeğer" Tek Serbestlik Dereceli Sisteme (TSD) ait doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ ) değerleri, modal katkı çarpanı ( $\Gamma_1$ ) ile mod şekli genliği ( $\phi_{xN1}$ ) yardımıyla binaların çatı katı (tepe) yer değiştirme istemleri hesaplanmıştır (Denklem (12)).

$$U_{xN1}^{(p)} = \phi_{xN1} \Gamma_1 S_{di1} \quad (12)$$

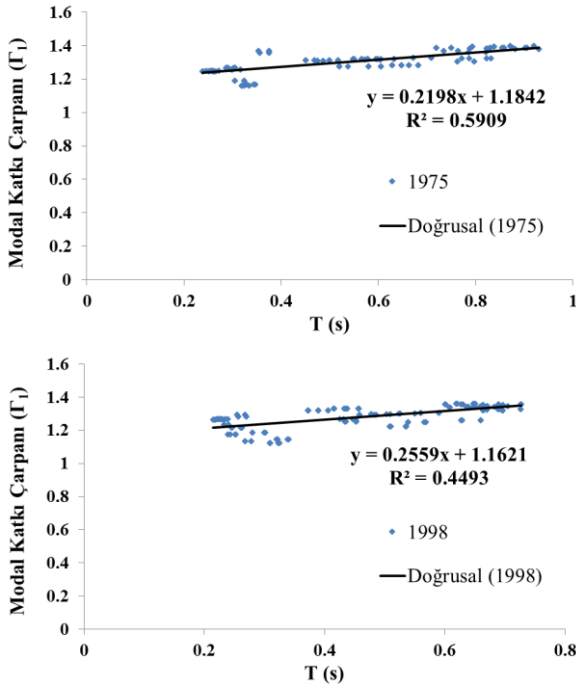
## 6 Yapısal parametrelerin değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında duvar katkısı ve düzensizlik etkilerini içeren farklı özellikteki modellerin yapısal parametrelerinin birbiri ile ilişkileri hakkında genel fikir edinilmesini sağlayacak grafik ve denklemler oluşturulmuştur. Bu sayede çeşitli parametrelerin birbirine göre değişim ve etkileşimi incelenerek mevcut yapı stokunun durumu değerlendirilmiş olacaktır. Veri setlerinin değerlendirilmesinde genel olarak yer değiştirmeyle ilgili parametrelerde doğrusal denklem ve dayanım ile ilgili olan parametrelerde ise üs denklem tipleri tercih edilmiştir.

Yapı periyodu, talebi yansıtan kütle ve kapasiteyi oluşturan rijitlik ile etkileşimini içermesi sebebiyle yapı davranış özelliklerini yansıtan en kapsamlı parametre olarak düşünülebilir. Çalışmada yapı periyodu ile farklı yapısal

özellikleri yansıtan diğer parametreler arasında ilişki kurulmuştur. Özellikle korelasyon katsayısının yüksek olduğu durumlarda elde edilen denklemler yoluyla herhangi bir analiz yapılmadan periyodu bilinen yapıların özellikleri ile ilgili tahminde bulunacak araştırmacılar için kolaylık sağlanmış olacaktır.

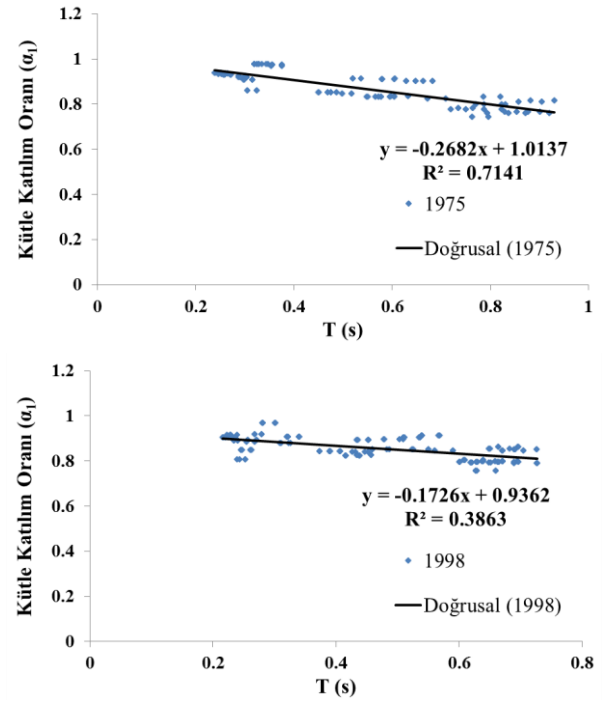
Binalara ait modal katkı çarpanı ( $\Gamma_1$ ) ile yapı periyodu ilişkisi Şekil 7'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi yapı periyodu ile modal katkı çarpanı arasında her iki yönetmelik için orta seviyede bir korelasyon değeri bulunmaktadır. Genel olarak yapı periyodu arttıkça modal katkı çarpanı da artmaktadır. Modal katkı çarpanını "Eşdeğer" Tek Serbestlik Dereceli Sisteme (TSD) ait doğrusal olmayan yer değiştirme değerlerini çok serbestlik dereceli sisteme yani çatı katı (tepe) yer değiştirme değerlerine dönüşümünü sağlayan bir tanımlayıcı olarak kabul edebiliriz. Bu yüzden periyot değeri kat sayısı ile doğru orantılı olduğundan, kat sayısı arttıkça tek serbestlik ile çok serbestlik sistem arasındaki yer değiştirme farkı da modal katkı çarpanı parametresi kadar artacaktır.



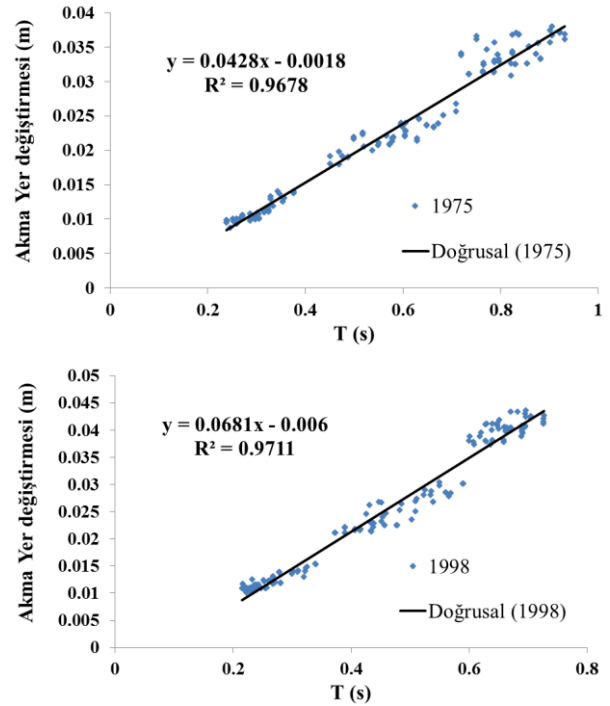
Şekil 7: Modal katkı çarpanı ( $\Gamma_1$ ) ile yapı periyodu ilişkisi.

1975 ve 1998 yönetmelikleri binalarına ait periyot-kütle katılım oranı ( $\alpha_1$ ) grafiği ve doğrusal ilişki ile atanan denklem eğrileri Şekil 8'de verilmiştir. Kütle katılım oranı, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, bulunan birinci (hâkim) moda ait etkin kütlelerin toplam yapı kütlelerine oranı olarak ifade edilir. Artımsal itme analizi yapabilmek için bu oranın en az 0.70 olması zorunludur [16]. 1975 yönetmeliği binalarının periyot-kütle katılım oranı arasındaki korelasyon değeri ( $R^2=0.71$ ) ve 1998 yönetmeliği binalarına ait korelasyon değerine ( $R^2=0.38$ ) göre yüksektir. Bu da iyi binalarda periyot-kütle katılım oranı ilişkisinin daha düşük olduğunu göstermektedir.

Süneklik gibi bazı parametrelerin belirlenmesi adına çok serbestlik dereceli sisteme ait akma yer değiştirme değeri ile yapı periyodu ilişkisi değerlendirilmiştir (Şekil 9). Her iki yönetmelik için periyotla artan akma yer değiştirmeleri görülmekle birlikte elde edilen korelasyonlar oldukça yüksektir.

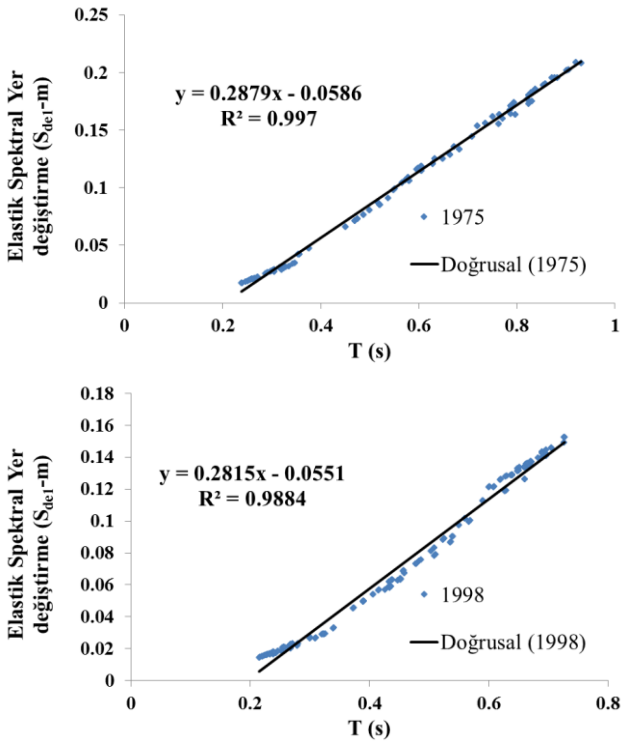


Şekil 8: Kütle katılım oranı ( $\alpha_1$ ) ile yapı periyodu ilişkisi.



Şekil 9: Akma yer değiştirmesi ile yapı periyodu ilişkisi.

Binaların doğrusal olmayan (nonlineer) spektral yer değiştirme ( $S_{di1}$ ) değerlerinin hesaplanabilmesi için modellere ait elastik spektral yer değiştirme ( $S_{de1}$ ) değerlerinin bulunması gerekir.  $S_{de1}$ 'nin hesabı için daha önce verilen Denklem (8) genişletilecek olursa elastik spektral yer değiştirme ( $S_{de1}$ ) periyodun karesi ile orantılı olarak artacağı görülmektedir (Denklem (13)). Binalara ait periyot- elastik spektral yer değiştirme ( $S_{de1}$ ) grafiği ve doğrusal ilişki ile atanan denklem eğrileri Şekil 10'da verilmiştir. Her iki yönetmelik için de benzer eğilim göze çarpmaktadır.



Şekil 10: Elastik spektral yer değiştirme ( $S_{de1}$ ) ile yapı periyodu ilişkisi.

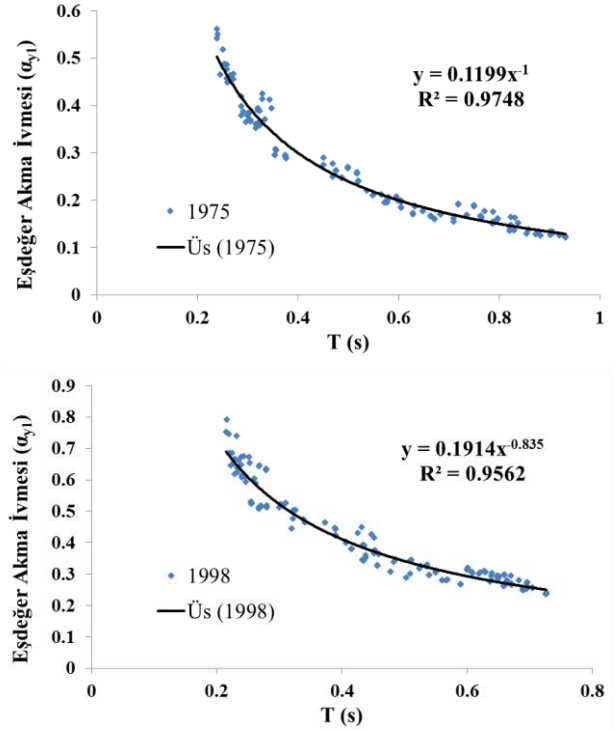
$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} = \frac{S_{ae1}}{(2\pi/T_1)^2} = \frac{S_{ae1} T_1^2}{4\pi^2} \quad (13)$$

Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısının ( $R_{y1}$ ) hesabı için birinci modun elastik spektral ivmesi ( $S_{ae1}$ ) ile birinci modun eşdeğer akma ivmesi ( $a_{y1}$ ) parametrelerinin bilinmesi gerekir.  $S_{ae1}$ , Spektrum Katsayısı  $S(T_1)$  2.5 alınarak daha önce belirtilen parametreler ile Denklem (6) ve (7) yardımıyla sabit 1.g olarak bulunmuştur. Bu yüzden sadece periyot ile eşdeğer akma ivmesi ( $a_{y1}$ )'nin değişimine bakılmıştır. Eşdeğer akma ivmesi ( $a_{y1}$ ) binaların modal kapasite diyagramı üzerinden hesaplandığı için kat sayısı arttıkça binalara ait taban kesme kuvvetinin etkin kütleyle oranı düşmektedir. Bu yüzden periyot ile eşdeğer akma ivmesi arasında ters orantılı olarak güçlü bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 11).

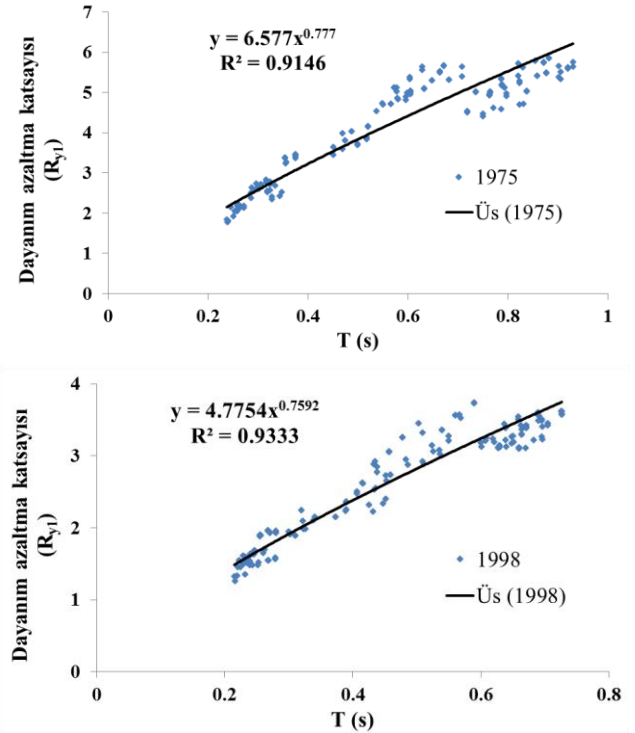
1975 yönetmeliği binalarına göre 1998 yönetmeliği binaları sahip olduğu yüksek eşdeğer akma ivmesi ( $a_{y1}$ ) değerleri sebebiyle Denklem (11)'e göre 1998 yönetmeliği binaları daha düşük birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı ( $R_{y1}$ ) verilerine sahiptir. Dayanım azaltma katsayısı, 1975 ve 1998 yönetmeliklerine göre yapılmış olan binaların DBYYHY-2007 tepki tasarım spektrumuyla olan tasarım farklılığının bir ölçüsü olarak düşünülebilir. Periyot ile birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı ( $R_{y1}$ ) arasında doğru orantılı olarak kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 12).

Elastik ( $S_{de1}$ ) ve elastik olmayan ( $S_{di1}$ ) yer değiştirmeler arasındaki oranı veren spektral yer değiştirme oranı ( $C_{R1}$ ) katsayısı ile periyot ilişkisi Şekil 13'te verilmiştir. Eşit yer değiştirme kuralı nedeniyle yapı periyodunun Z3 zemin sınıfına ait karakteristik periyottan ( $T_B=0.6$  s) büyük olduğu durumda spektral yer değiştirme oranı ( $C_{R1}$ ) 1 alındığı için eğri ve denklem atama işlemi periyodun 0.6 s'den önce olduğu

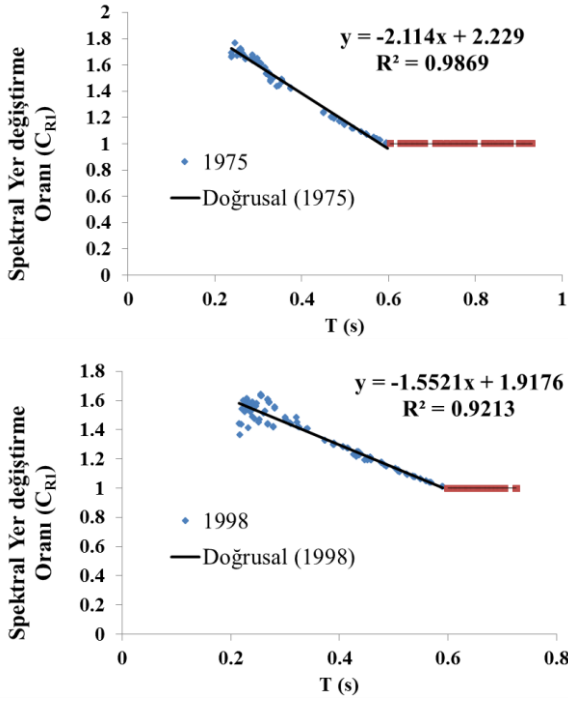
bölümde yapılmıştır. Periyodu düşük olan yapılar rijitlik ve dayanım açısından daha iyi durumda olduğu için deprem sırasında tüketebileceği enerji miktarı diğer yapılara göre daha fazladır. Bu yüzden düşük periyotlu yapıların yapabileceği yer değiştirme daha fazla olacağı için elastik yer değiştirme değerleri spektral yer değiştirme oranı ( $C_{R1}$ ) katsayısı ile çarpılarak büyütülmektedir.



Şekil 11: Eşdeğer akma ivmesi ( $a_{y1}$ ) ile yapı periyodu ilişkisi.

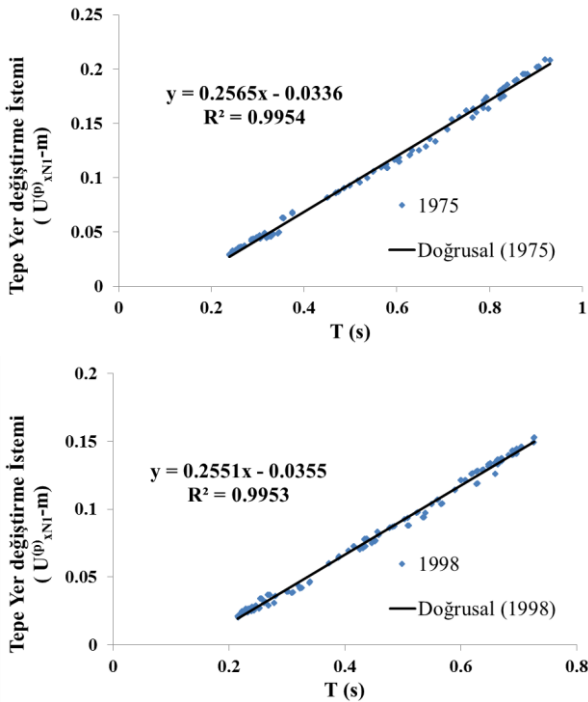


Şekil 12: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısının ( $R_{y1}$ ) ile yapı periyodu ilişkisi.



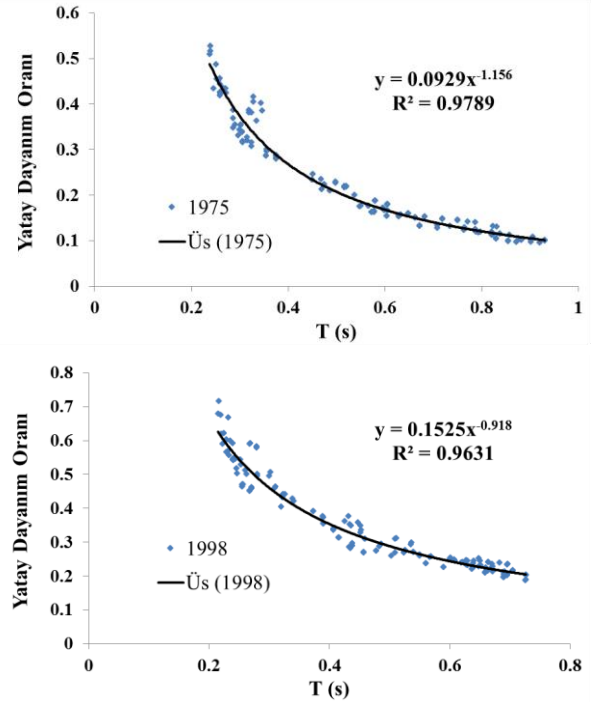
Şekil 13: Spektral yer değiştirme oranı ( $C_{R1}$ ) ile yapı periyodu ilişkisi.

Çok serbestlik dereceli sisteme ait tepe yer değiştirme istemi ( $U^{(p)}_{xN1}$ ) değerleri ile periyot arasında hem 1975 hem de 1998 yönetmeliği binaları için yüksek korelasyonlar bulunmuştur (Şekil 14). Doğrusal olmayan yer değiştirme istemleri için periyot ile iyi derecede ilişki elde edilmesi incelenen periyot aralığı için bulunan denklemler vasıtasıyla binaların deprem davranışlarının tahmini için sismik değerlendirme çalışmaları adına hızlandırıcı bir rol oynayabilir.



Şekil 14: Tepe yer değiştirme istemi ( $U^{(p)}_{xN1}$ ) ile yapı periyodu ilişkisi.

Bina yatay dayanımının sismik ağırlığına bölünmesini ifade eden yatay dayanım oranı ile yapı periyodu ilişkisi Şekil 15'de verilmiştir. Düşük periyoda sahip yapılar daha yüksek yatay dayanım oranına sahipken, periyot değerleri arttıkça dayanım oranı azalmaktadır. Düşük periyot değerine sahip binalar incelenen 2 katlı binalardır. Bu binalarda bulunan dolgu duvarlar sahip olduğu daha küçük taşıyıcı elemanlar sebebiyle dayanım oranına diğer 4 ve 7 katlı binalara göre daha büyük katkıda bulunmaktadır.



Şekil 15: Yatay dayanım oranı ile yapı periyodu ilişkisi.

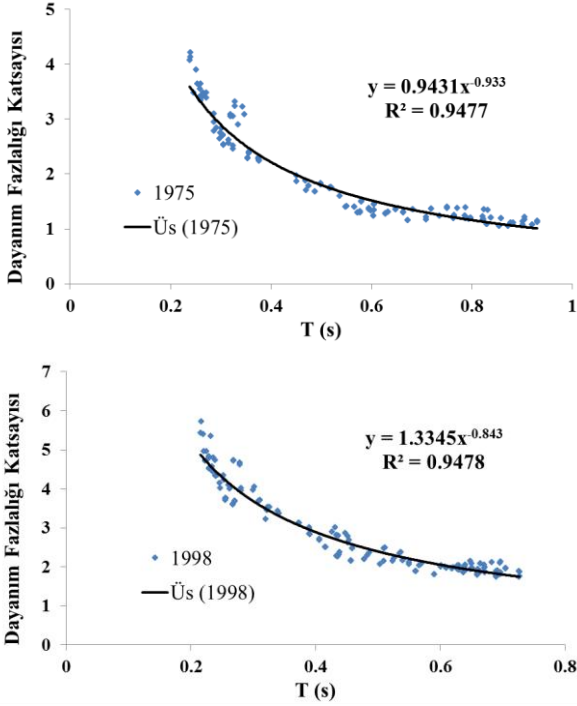
Mevcut betonarme yapıların dayanım fazlalığı değeri dayanım azaltma katsayısı gibi parametrelerin belirlenmesi adına yapılacak çeşitli çalışmalar için önemlidir. Bu sebeple çalışma kapsamında ele alınan binaların dayanım fazlalığı katsayısı ile periyot ilişkisi incelenmiştir (Şekil 16). Burada bahsedilen dayanım fazlalığı katsayısı incelenen binaların sahip olduğu yatay dayanımın 1. derece deprem bölgesi ve Z3 zemin sınıfı için DBYBHY-2007'de referans binaların tasarımı yapıldığında bulunan taban kesme taleplerine oranıdır. Yapılar betonarme çerçeve olduğundan süneklik düzeyi yüksek sistem varsayılarak taşıyıcı sistem davranış katsayısı olarak ( $R$ ) 8 değeri kullanılmıştır.  $R=8$  değerinin kullanılması kötü detaylandırma ve beton dayanımına sahip 1975 yönetmeliği binalarının sünek olarak davrandığını göstermez. İncelenen binaların yatay dayanım değerinde kaç kat fazlalık olduğunun belirlenmesi adına yönetmelik talebi baz alınmıştır [29]. 2 katlı yapılarda eleman tasarımında yönetmelik minimum koşulları daha yüksek değerler verebilmekte ve bu sebeple dayanım fazlalığı düşük katlı bu binalarda daha büyük değerlere ulaşmaktadır.

Bu çalışmanın amaçları arasında olmamakla birlikte, düzenli ve düzensiz binaların periyotlarının çalışma kapsamındaki parametrelerle olan ilişkilerine ayrı ayrı bakıldığında korelasyonun parametrelere göre değiştiği fakat genel eğilimin düzenli binalardaki korelasyonun düzensiz binalara göre bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir.



## 7 Sonuçlar

Ülkemiz düşük ve orta yükseklikteki betonarme yapı stokunu temsil etmesi amacıyla göz önüne alınan 144 adet konut binasının, doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak 2007 Deprem Yönetmeliği kriterlerine göre yer değiştirme istemleri hesaplanmıştır. Çoğunluğunu yer değiştirme hesabını oluşturan değişik parametreler ile binaların periyodu arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Çalışmadan bulunan kazanım ve çıkarımlar aşağıda özet halinde verilmiştir;



Şekil 16: Dayanım fazlalığı katsayısı ile yapı periyodu ilişkisi.

- 1975 yönetmeliği binalarının yer değiştirme istemleri 1998 yönetmeliği binalarına göre ortalama %35 oranında fazla çıkmaktadır. Buna 1975 yönetmeliği binalarının sahip olduğu düşük yatay dayanım ve rijitlik sebep olmaktadır,
- 1975 yönetmeliği binalarında yatay dayanım oranında %10'a varan değerler görülürken 1998 yönetmeliği binalarında en düşük değer bunun iki katı kadar %19'dur,
- 1975 yönetmeliği binaları 1.06 ile 4.22 arasında dayanım fazlalığı katsayısına sahip iken 1998 yönetmeliği binalarında bu değerler 1.75 ile 5.74'tür. 1975 yönetmeliği binalarında ortalama değer 1.90 iken, 1998 yönetmeliği binalarında 2.88 seviyesindedir. Bu verilere göre 1998 yönetmeliği binaları 1975 yönetmeliği binalarından yaklaşık %50 daha fazla dayanım fazlalığı katsayısına sahiptir. Elde edilen dayanım fazlalığı katsayıları, betonarme binalarda farklı yönetmeliklerle yapılan çalışmalarla uyumludur [30],[31],
- 1998 yönetmeliğine göre olan yapılar 1975 yönetmeliği yapılarına göre daha dayanıklı ve sünekler. Bunun nedenleri arasında 1998 yönetmeliği binalarındaki beton ve çelik sınıflarının iyileşmesi, etriye aralıklarındaki iyileşme ile özellikle 1998 yönetmeliğinde kolon boyutlarının bir miktar artması gibi olumlu etkenlerin olmasıdır,

- Yapı periyodu ile diğer parametreler arasındaki ilişkinin anlaşılması ve genel eğilimin incelenmesi adına oluşturulan eğri ve denklemler periyodu 0.2 ile 0.9 s civarında olan düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar için geçerlidir. Özellikle yapı periyodu ile yüksek korelasyona sahip parametreler, mevcut binalar için yapılacak olan araştırma çalışmaları için bir öngörü niteliğinde olacağı düşünülmektedir.

## 8 Teşekkür

Bu çalışma 107M569'nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## 9 Semboller

- $E_c$  : Beton basınç birim şekil değiştirmesi,  
 $E_{cu}$  : Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi,  
 $E_{cg}$  : Sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi,  
 $E_s$  : Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi,  
 $E_{su}$  : Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi,  
 $\rho_s$  : Kesitte mevcut bulunan enine donatının hacimsel oranı,  
 $\rho_{sm}$  : DBYYHY-2007'ye göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı,  
 $A_c$  : Kolonun brüt kesit alanı,  
 $f_{cm}$  : DBYYHY-2007'ye göre tanımlanan mevcut beton dayanımı,  
 $EI_o$  : Çatlamamış kesit eğilme rijitliği,  
 $G$  : Toplam sabit yük,  
 $Q$  : Toplam hareketli yük.

## 10 Kaynaklar

- [1] Özcebe G. "Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi". TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Ankara, Türkiye, 2004.
- [2] Bayraktar A, Altunisik AC, Pehlivan M. "Performance and damages of reinforced concrete buildings during the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey, earthquakes". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53, 49-72, 2013.
- [3] Adalier K, Aydingun O. "Structural engineering aspects of the June 27, 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) earthquake". *Engineering Structures*, 23(4), 343-355, 2001.
- [4] Dogangun A. "Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey". *Engineering Structures*, 26(6), 841-856, 2004.
- [5] Sezen H, Whittaker AS, Elwood KJ, Mosalam KM. "Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey". *Engineering Structures*, 25(1), 103-114, 2003.

- [6] Yakut A, Gülkan P, Sadık Bakır B, Tolga Yılmaz M. "Re-examination of damage distribution in Adapazarı: Structural considerations". *Engineering structures*, 27(7), 990-1001, 2005.
- [7] Ayala DD, Charleson AW. "Review of seismic strengthening guidelines for reinforced concrete buildings in developing countries". 12th European Earthquake Engineering Conference, London, 9-13 September 2002.
- [8] İnel M, Özmen HB, Bilgin H. "Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey". *Engineering Structures*, 30(2), 412-427, 2008.
- [9] Bal İE, Gülay FG, Görgülü O. "Adana bölgesindeki B/A yapı stoğu karakteristiklerinin hasar kayıp tahmin modelleri açısından incelenmesi". 6. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim 2007.
- [10] Bal I, Crowley H, Pinho R, Gülay FG. "Detailed assessment of structural characteristics of Turkish RC building stock for loss assessment models". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(10), 914-932, 2008.
- [11] İrtəm E, Türker K, Hasgöl U. "Türk deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış betonarme yapıların performansının değerlendirilmesi". 6. *Ulusal İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 6-8 Ekim 2004.
- [12] Arısoy B, Arel HŞ. "Yapısal özellikleri farklı ba binaların performansa dayalı analizi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 431-439, 2010.
- [13] Kutunis M, Orak E, Özcan Z. "Betonarme binaların performans düzeylerinin deprem geçirmiş binalarla ilişkilendirilerek belirlenmesi". 6. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim 2007.
- [14] FEMA-356. "Prestandart and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, prepared by American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency". Washington, DC, USA, 2000.
- [15] ATC-40. "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Applied Technology Council". Vol 1. Washington, DC, USA, 1996.
- [16] DBYYHY-2007. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2007.
- [17] SEMAp. "Sargılı Etkisi Modelleme Analiz Programı". Ankara, Türkiye, TÜBİTAK Proje No, 105M024, 2008.
- [18] Mander JB, Priestley MJN, Park R. "Theoretical stress-strain model for confined concrete". *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1825, 1988.
- [19] Türk Standartları Enstitüsü. "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları". Ankara, Türkiye, 500, 2000.
- [20] İnel M, Özmen HB, Şenel ŞM, Kayhan AH. "Mevcut betonarme binaların yapısal özelliklerinin belirlenmesi". *Uluslararası Sakarya Sempozyumu*, Sakarya, Türkiye, 1-2 Ekim 2009.
- [21] Meral E. Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Yapıların Sismik Deplasman Taleplerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2010.
- [22] ABYYHY-1975. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1975.
- [23] ABYYHY-1998. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1998.
- [24] SAP2000, CSI. "Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual". Berkeley, CA, USA, Computers and Structures Inc. 2000.
- [25] Türk Startları Enstitüsü. "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri". Ankara, Türkiye, 498, 1987.
- [26] FEMA-440. "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, prepared by ATC for American Society of Civil Engineers for Federal Emergency". Washington, DC, USA, 2005.
- [27] Chopra AK, Goel RK, Chintanapakdee C. "Evaluation of a modified MPA procedure assuming higher modes as elastic to estimate seismic demands". *Earthquake Spectra*, 20(3), 757-778, 2004.
- [28] Goel RK, Chopra AK. "Role of higher-"mode" pushover analyses in seismic analysis of buildings". *Earthquake Spectra*, 21(4), 1027-1041, 2005.
- [29] Özmen HB. Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Yapıların Deprem Performanslarını Etkileyen Faktörlerin İrdelenmesi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2011.
- [30] Elnashai AS, Mwafy AM. "Overstrength and force reduction factors of multistorey reinforced-concrete buildings". *The structural design of tall buildings*, 11(5), 329-351, 2002.
- [31] Massumi A, Tasnimi A, Saatcioglu M. "Prediction of seismic overstrength in concrete moment resisting frames using incremental static and dynamic analyses". *13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, BC, Canada, 1-6 August 2004.