

ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

**BETON BASINÇ DAYANIMLARI FARKLI VE DONATI DETAYLARI YETERSİZ
BETONARME ÇERÇEVELERİN TERSİNİR-TEKRARLANIR YATAY YÜKLER
ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

M. Yaşar KALTAKCI¹, Günnur YAVUZ²

ÖZ

Ülkemiz topraklarının yarıya yakınının deprem riski yüksek olan 1. ve 2. derece deprem bölgeleri olarak adlandırılan alanlarda yer aldığı bilinmektedir. Bu nedenle, deprem ve depreme dayanıklı yapı olgusu ile bu alanda yapılan çalışma ve araştırmalar ülkemiz için son derece önemlidir. Bu çalışmada, deprem etkisi altında bulunan yetersiz sismik donatı detaylarına sahip binaları temsil etmek üzere beton basınç dayanımları farklı 2 adet, 2 katlı ve 2 açıklıklı, 1/3 ölçekli, kolonları yaklaşık $0.10A_c f_c$ büyüklüğünde aksel yüklerle yüklenmiş betonarme çerçeve, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanir yatay yükleme etkisi altında denenmiştir. Deneylerden elde edilen dayanım zarfı grafikleri ve yatay yük taşıma kapasiteleri, SAP2000 programından bulunan dayanım zarfı grafikleri ve yatay yük taşıma kapasiteleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, beton basınç dayanımının sistemin tersinir-tekrarlanir yatay yükleme etkisi altındaki davranışına etkisi araştırılmış ve ulaşılan sonuçlar irdelenmiştir. Deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, çerçevelerde yatay yük taşıma kapasiteleri hemen hemen aynı bulunmuştur ki, bu durum çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde esas etkili parametrenin düşey donatı miktarı ve donatıdaki pekleşmeli dayanım değeri olduğunu göstermektedir. SAP2000-pushover analiz sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, özellikle geri çevrimlerde akma gerçekleşinceye kadar dayanım zarfı grafiklerinin birbiriyle büyük ölçüde uyumlu olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Betonarme çerçeve, Tersinir-Tekrarlanir yatay yükleme, Nonlineer statik İtme analizi, Beton basınç dayanımı.

**INVESTIGATION OF BEHAVIOUR OF RC FRAMES HAVING DIFFERENT
CONCRETE COMPRESSION STRENGTHS AND INADEQUATE
REINFORCEMENT DETAILS UNDER
REVERSED-CYCLIC LATERAL LOADS**

ABSTRACT

As it is known that, in our country the earthquake risk is very high in the first and second degree seismic zones which occupy one half of Turkey's area. Therefore the concepts of earthquake and earthquake resistant design are very important for our country. In this study 1/3 scaled, two storey, two-bay two reinforced concrete frames which have different concrete compression strengths were tested under magnitude of approximately $0.10A_c f_c$ axial load and reversed-cyclic lateral load to represent the buildings in these regions having inadequate reinforcement details. The response envelope curves and lateral load carrying capacities obtained from the tests were compared to those obtained from SAP2000 program. The effect of concrete compression strength on the behaviour of these systems under reversed-cyclic lateral load was investigated. When the test results were comparing with each other, the lateral load carrying capacities were found approximately same for both frames. It

¹, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KONYA, mykal@selcuk.edu.tr

², Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KONYA, gyavuz@selcuk.edu.tr

shows that, essential parameters to affect the lateral load carrying capacity of a frame are longitudinal reinforcement ratio and hardening strength of reinforcement. When the test results were comparing with SAP2000-pushover analysis, especially at backward cycles response envelope curves are very close to each other until yielding phase.

Keywords: Reinforced concrete frame, Reversed-Cyclic lateral loading, Pushover analysis, Concrete compression strength.

1. GİRİŞ

Ülkemiz, dünyanın önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde yer almaktadır. Ülkemiz topraklarının alan olarak yarıya yakınına kaplayan ve ülke nüfusunun yaklaşık 2/3'ünün bulunduğu 1. ve 2. derece deprem bölgeleri olarak adlandırılan alanlarda deprem riskinin yüksek olduğu bilinmektedir. Ülkemizde halen karşılaşılan önemli sorunlardan biri, özellikle önemli deprem bölgelerinde (1. ve 2. derece deprem bölgeleri) hasar görmemiş ve kullanılmakta olan çok sayıda binanın öngörülen depremlere karşı yeterli güvenliğinin olup olmadığının ve böyle bir yük etkisinde ortaya çıkacak davranışın belirlenmesidir.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de, son yıllarda meydana gelen depremlerde oluşan hasarlar dikkate alınarak çerçevelerin deprem etkisindeki davranışı ile ilgili bazı deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de literatürde dolgu çerçevelerle ilgili ilk yayınlanan deneysel çalışma Ersoy ve Uzsoy tarafından gerçekleştirilmiştir (Ersoy ve Uzsoy, 1971). Canbay (2001), 2 katlı ve 3 açıklıklı zayıf betonarme çerçevelerdeki yük dağılımı ve güçlendirmeye ilgili, Türk (1998) ve Sonuvar (2001) ise 2 katlı ve tek açıklıklı zayıf betonarme çerçevelerin güçlendirilmesiyle ilgili deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Analitik yük-deplasman grafiklerini elde etmede kullanılan nonlinear statik itme analizi (pushover analiz) ile ilgili çalışmalar da son yıllarda çok artmıştır (Phan vd., 1995; Canbay ve Sucuoğlu, 1998; Pankaj ve Lin, 2005; Yüksel ve Polat, 2005; Zou ve Chan, 2005).

Bu çalışmada, ayrıntıları daha sonra verilecek olan ve yapım aşamasında yaygın olarak karşılaşılan hatalara sahip olarak üretilmiş, deprem davranışı zayıf çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Bu amaçla, 1/3 ölçekli, 2 adet farklı beton basınç dayanımına sahip, fakat donatı düzeni aynı olan 2 katlı ve 2 açıklıklı betonarme çerçeve yatay konumda üretilmiştir. Tersinir-tekrarlanır yatay yükleme; çerçevenin akma yüküne ulaşılmasına kadar yük kontrollü, bu noktadan sonra deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Deneyler düşey ko-

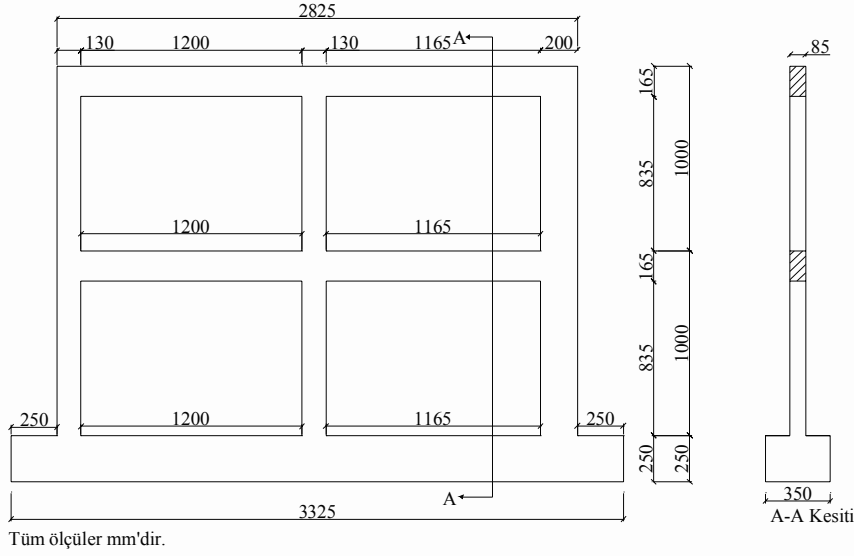
numda gerçekleştirilmiş ve beton basınç dayanımı farklılığının sistem davranışındaki etkileri de araştırılmıştır. Deney sonucunda elde edilen dayanım zarfı grafikleri SAP2000'de gerçekleştirilen nonlinear statik itme analizinden (pushover analiz) bulunan dayanım zarfı grafikleriyle karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarında kolonlara deneyden önce, TS500 (2000)'de kolon davranışı için gerekli olan minimum düşey yük değeri ($0.10A_c f_c$) uygulanmıştır (Yavuz, 2005; Kaltakçı ve Yavuz, 2005).

2. DENEY ELEMANLARININ ÖZELLİKLERİ

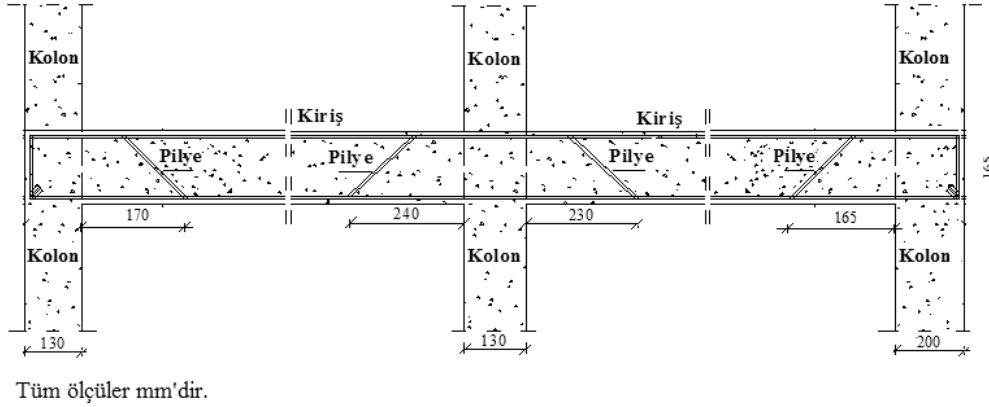
Bu çalışmada, uygulamada yapım aşamasında görülen sismik zayıflıklara sahip olarak üretilmiş, 1/3 ölçekli 2 adet 2 katlı ve 2 açıklıklı çerçeve üretilmiştir. Çerçeve numunelerindeki zayıflıklar; düşük beton basınç dayanımı, mevcut binalarda yaygın olarak bulunan düz yüzeyli donatı kullanılması, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının olmaması, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kiriş yüksekliğince kolon etriyesinin bulunmaması, kolon boyuna donatılarında kat seviyesinde bindirmeli ek yapılması (40ϕ), kiriş donatısında yetersiz kenetlenme bulunması'dır.

Öncelikle 1/3 ölçekli, 2 adet zayıf betonarme çerçevenin beton dökümü yatay konumda gerçekleştirilmiştir. Bütün çerçeve numuneleri, tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında denenmiştir. Bu çerçevelerden birinci grup beton basınç dayanımına sahip olanı B1, 2. grup beton basınç dayanımına sahip olanı ise B2 olarak isimlendirilmiştir. Deney çerçevelerinin boyutları Şekil 1'de görülmektedir. Çerçevelerde sol kenar kolonun boyutu farklı seçilerek (85/130 mm ve 85/200 mm) sistemin simetrik olmamasının davranışa olan etkisi de araştırılmıştır.

Pilye donatısı kırım noktaları kenar mesnet bölgelerinde kolonlar arası hesap açıklığının 1/7'si, orta mesnet bölgesinde ise 1/5'i olarak alınmıştır (Şekil 2). Bu çalışmada, çerçeve sisteminde kullanılan pilye donatısının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisindeki davranışının belirlenmesi de amaçlanmıştır.



Şekil 1. Betonarme çerçeve deney elemanlarının boyutları



Şekil 2. Pilyenin kenar ve orta mesnet bölgesindeki konumu

2.1. Malzeme Özellikleri

Mevcut yapıların kalitesiz ve düşük beton basınç dayanımı özelliklerini yansıtacak betonarme çerçevelerin beton karışım oranını belirlemek için çok sayıda deneme karışımı yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak, Tablo 1'de betonarme çerçevelerde kullanılan betonun karışım oranları verilmiştir. Çerçevelerin ortalama silindirik beton basınç dayanımları, aynı beton karışım oranları kullanılmasına karşılık, beton küründeki farklılık sonucunda (beton dökümünün ve kür işleminin yapıldığı hava şartlarındaki değişiklikten dolayı) sırasıyla yaklaşık 14 MPa ve 10 MPa olarak elde edilmiştir (Tablo 2). Deprem bölgelerinde kullanılması gereken minimum beton sınıfı ABYYHY-1998 (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik)'de C16 ($f_{ck}=16$ MPa), 2007'de yürürlüğe giren DBYBHY (Deprem Bölgeler-

inde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik)-2007'de ise, C20 ($f_{ck}=20$ MPa) olarak belirtilmektedir. Çerçeve kirişlerinde $\rho=0.067$ oranında, $\phi 6$ mm çaplı S220 kalitesinde düz yüzeyli çekme donatısı, kolonlarda ise $\rho=0.01$ oranında $\phi 8$ mm çaplı S220 kalitesinde düz yüzeyli boyuna donatı kullanılmıştır. Buna göre kolon ve kirişler için belirlenen donatı düzeni Tablo 3'te görülmektedir. Kiriş ve kolonların tamamında etriye olarak $\phi 4$ mm çaplı S220 kalitesinde düz yüzeyli donatı 100 mm aralıkla kullanılmıştır. Uygulamada yapılan hataları yansıtmaması amacıyla kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamış ve kolon etriyeleri düğüm bölgelerinde kolon yüksekliği boyunca devam ettirilmemiştir. Kiriş ve kolon etriyelerinin kancaları uygulamada çoğunlukla karşılaşıldığı gibi 90° yapılmış ve kanca boyu 10ϕ alınmıştır. Çerçeve elemanlarında kullanılan donatıların malzeme karakteristikleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

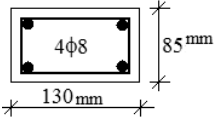
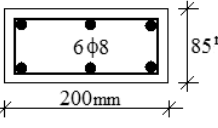
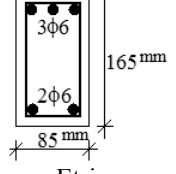
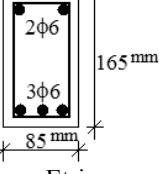
Tablo 1. Betonarme çerçeve betonlarının malzeme karışım oranları

	AĞIRLIK(KG)
Çimento	240 (%11)
Agrega(0-7mm)	1810 (%80)
Su	216 (%9)
Toplam	2266 (%100)

Tablo 2. Deney elemanlarının beton basınç ve çekme dayanımları

NUMUNE NO	$f_{c,3\text{ gün}}$ (MPa)	$f_{c,7\text{ gün}}$ (MPa)	$f_{c,7\text{ gün}}$ ORT. (MPa)	$f_{c,28\text{ gün}}$ (MPa)	$f_{c,28\text{ gün}}$ ORT. (MPa)	f_{cu} (MPa)	f_{cu} ORT. (MPa)
1. grup	8.218	8.628	8.721	16.550	14.241	2.147	1.710
		7.276		12.400		1.630	
		10.26		13.773		1.370	
2. grup	3.428	4.169	6.492	9.967	10.388	0.772	0.785
		7.345		8.457		0.798	
		7.962		12.739		0.785	

Tablo 3. Çerçeve elemanlarının kesit boyutları ve donatı şeması

Deney Numunesi	KOLONLAR		KIRIŞLER	
	Sol Kenar ve Orta Kolon	Sağ Kenar Kolon	Mesnet Bölgesi	Açıklık
B1 ve B2	 <p>Etriye φ4/100 mm</p>	 <p>Etriye φ4/100 mm</p>	 <p>Etriye φ4/100 mm</p>	 <p>Etriye φ4/100 mm</p>

Tablo 4. Deney elemanlarında kullanılan donatı çubuklarının özellikleri

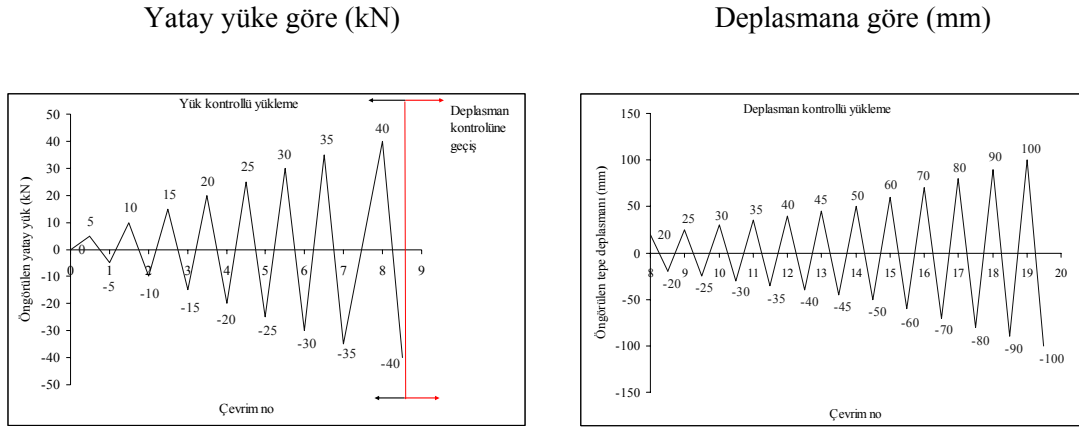
DONATI ÇAPI (MM)	AKMA DAYANIMI f_y (MPa)	MAKSIMUM ÇEKME DAYANIMI f_{su} (MPa)	KOPMA BİRİM UZAMASI ϵ_{su}	TÜRÜ
φ4	333	469	0.1496	Düz
φ6	541	638	0.1285	Düz
φ8	447	653	0.2303	Düz

2.2. Yükleme ve Ölçüm Düzenegi

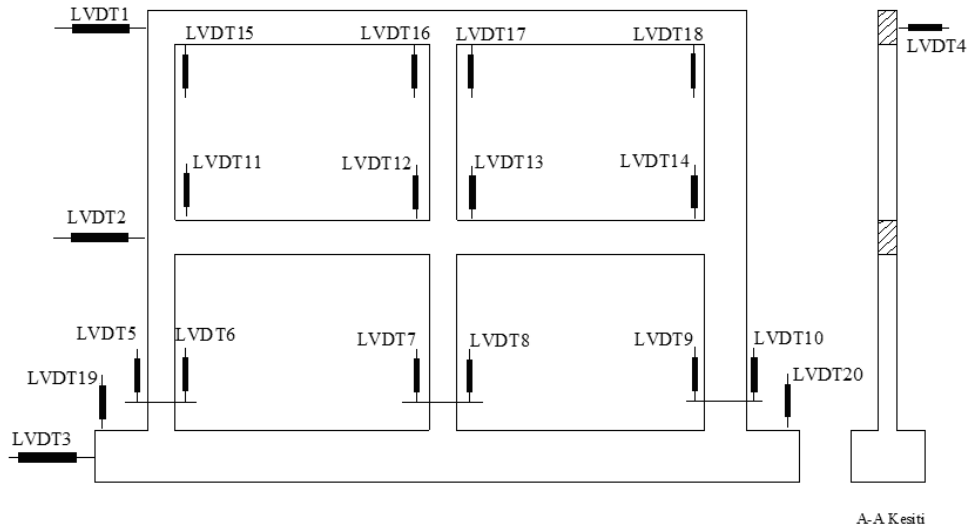
Deneylerde yükleme programı, sistemin akmaya başlamasına kadar 5 kN artımlı adımlarla yük kontrollü, akmadan sonra 10 mm artımlı deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Deneysel yükleme programında kullanılan akma yükü SAP2000 programında gerçek malzeme değerleri yardımıyla gerçekleştirilen nonlineer statik itme analizi (pushover analiz) sonucunda bulunan kapasite eğrisine göre belirlenmiştir. Şekil 3'te deney numunelerine uygulanan yükleme programı gösterilmiştir. Deneyler 250 kN kapasiteli yükleme çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te ise deneylerde kullanılan ölçüm düzenegi görülmektedir.

Deneylere başlamadan önce, çerçeve kolonlarına çelik halatlar vasıtasıyla $0.10A_c f_c$ değerinde aksel kuvvet uygulanmıştır. Deney

sırasında deplasman artışıyla beraber halatların gerilmesinden dolayı aksel kuvvet seviyesi yaklaşık $0.15A_c f_c$ seviyesine kadar yükselmiştir. Çerçeveye depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme üst kat çerçeve kirişi seviyesinden uygulanmış, tersinir kuvveti elde etmek ve yük uygulamasının itme şeklinde olmasını sağlamak için 4 adet transmisyon çeliği vasıtasıyla yatay yük aktarılmıştır. Çerçevenin yatay stabilitesini sağlamak amacıyla çelik profillerden oluşan bir dış çerçeve kullanılmıştır. Bu çerçevenin üst kat kirişi seviyesindeki bölümünde makaralar kullanılarak çerçevenin bu makaralar arasında hareket etmesi sağlanmış ve böylece sistemin düzlem dışı hareketi engellenmiştir. Yük ve yer değiştirme okumaları 32+4 kanallı veri aktarım sistemi ile deney esnasında bilgisayara aktarılmıştır. Deneylerde yer değiştirme ölçümleri için LVDT(Linear Variable Displacement Transducer) ölçüm aletleri kullanılmıştır.



Şekil 3. Deney numunelerine uygulanan yükleme programı



Şekil 4. Deney çerçevelerinde kullanılan ölçüm düzenegi (LVDT yerleşim bölgeleri)

3. DENEY SONUÇLARI

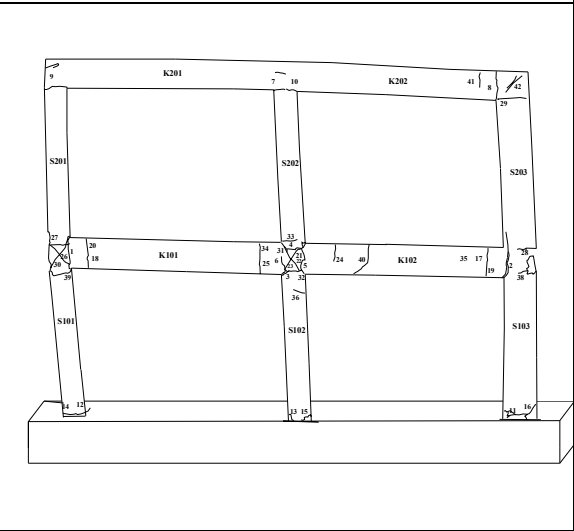
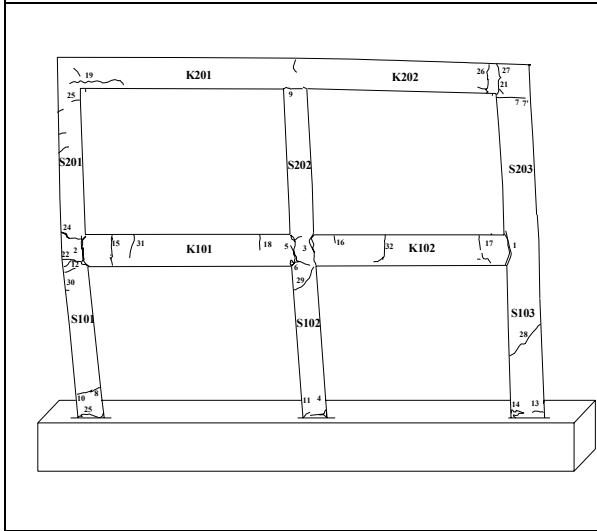
Deney numunelerinde göçme, eğilme etkisiyle oluşmuştur. Çerçeve numunelerinin deney sonundaki hasar durumları Şekil 5’de görülmektedir. Özellikle etriye sıklaştırmasının olmadığı ve kolon etriyesinin düğüm yüksekliği boyunca devam etmediği düğüm bölgelerinde kesmeden dolayı hasar oluşumu meydana gelmiş

tir (özellikle 1. kat düğümleri). Beton basınç dayanımı düşük olan B2 deney numunesinde, çerçevelerin yatay yük taşıma kapasiteleri arasında %2 gibi küçük bir fark olmasının yanında çatlak dağılımı da hemen hemen aynı olmuştur. Deneyler sonunda elde edilen yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri ise Şekil 6’da gösterilmiştir.

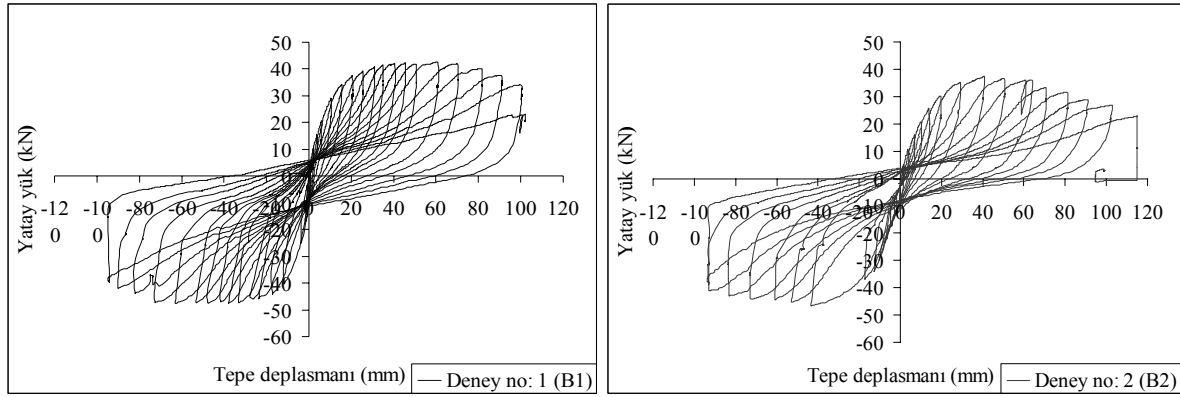
B1 deney numunesi



B2 deney numunesi



Şekil 5. Çerçeve numunelerinin deney sonundaki görünüşü ve çatlak dağılımı



Şekil 6. B1 ve B2 deney numunelerinde elde edilen yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri

3.1. Deneysel Davranışın Analitik Olarak İncelenmesi

Deney elemanlarının teorik dayanım zarf eğrisi SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak incelenmiştir. Burada, bütün deney numunelerinde, malzemelerin gerçek değerleri (beton için silindirik basınç deneylerinden bulunan ortalama silindirik basınç dayanımı değeri ve her donatı tipi için çekme deneyinden bulunan maksimum gerilme değeri) kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin deneysel dayanım zarf eğrisini tahmin etmek için nonlinear statik itme analizi (pushover analiz) gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, genellikle yapıların yatay yükler altında göstereceği davranışı, yapının deformasyon ve hasar şeklini tahmin etmek ve değerlendirmek için kullanılmaktadır. Pushover analizde yapı 2 veya 3 boyutlu bir analitik modelle tanımlanmaktadır (Ghobarah, 2000).

SAP2000 elemanların akma kapasitesi olarak, sadece akma momentini veya eksenel yük-moment etkileşim eğrisini kabul etmektedir. Nonlinear statik itme analizinde, plastik mafsalları tanımlaması için ATC40 ve FEMA273(Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings)'te pushover analizi için basitleştirilmiş plastik mafsallı modelleri yer almaktadır. Mafsalları tanımlama için kullanılan eğrinin özellikleri; betonun basınç dayanımına, betonarme donatısının özelliğine, etriye miktarına ve eksenel yük durumu gibi değişkenlere bağlıdır.

Şekil 7'ye göre, A ve B noktaları arası elastik davranışı temsil etmekte; B noktasından sonra ise, elastik ötesi davranış ve plastik mafsalları oluşumu başlamaktadır. Burada, a, b ve c bölgeleri ATC-40 ve FEMA-273 / 356'da yer alan modelleme parametreleridir. a ve b radyan olarak plastik dönme açılarını, c ise artık güç oranlarını göstermektedir ve tablolardan alın-

maktadır. FEMA273 ve FEMA356'da yapı performans noktaları şu şekilde belirlenmiştir:

IO (Immediate Occupancy): Yapı güvenlidir. Oluşan hasar kolaylıkla onarılabilir.

LS (Life Safety): Yapı ayakta. Yapısal ve yapısal olmayan hasarlar oluşur.

CP (Collapse Prevention): Yapı çok zorlanmıştır. Kesitlerin çoğunda mafsallaşma olmuştur.

Burada; M_y ve θ_y sırasıyla akma anındaki momenti ve dönmeyi göstermektedir.

Bu analizde, potansiyel süneklik kapasitesi, yapıların yatay yüklere karşı dayanımının yeterliliği, elemanların hangi yük kademesinde ve hangi sırayla akma ve göçmeye ulaşacakları belirlenebilmektedir. Bir bina taşıyıcı sisteminin akmaya başlaması için, sistem üzerinde tek bir plastik mafsalları oluşması yeterli değildir. Çerçeve davranışını belirgin bir şekilde değiştirecek kadar çok plastik mafsalları oluşması gerekir. Plastik mafsallar, üzerinde oluştuğu eleman tipine ve yerine göre değerlendirilmelidir. Kiriş kesitlerinde oluşan plastik mafsallar sisteme ait kapasite eğrisinin şeklini fazla değiştirmemektedir. Eksenel yük taşıyan kolon ve perde elemanlarında, plastik mafsalları oluşumu ile birlikte kapasite eğrisinin şekli değişerek yatay olmaya başlamaktadır. Sadece çerçevelerden oluşan sistemlerde, sistem akma başlangıcının kolondaki dönme kapasitesine bağlı olduğu söylenebilmektedir (Yüksel ve Polat, 2005).

Bu çalışmada, 2 adet deney numunesi, sistem simetrik olmadığı için sağ tepe noktasından ve sol tepe noktasından ayrı ayrı yüklenmiş ve her iki durum için analiz yapılarak dayanım zarf eğrisi elde edilmiştir. Kolon tabanları ankastre kabul edilmiş ve 3 durum için nonlinear statik

itme analizi (pushover analiz) yaptırılmıştır. Bu durumlar aşağıda verilmiştir.

- a) PUSHOVER1: Kendi ağırlığı+Düşey yük
- b) PUSHOVER-SOL: Sol tepe noktasından uygulanan yatay yük
- c) PUSHOVER-SAĞ: Sağ tepe noktasından uygulanan yatay yük

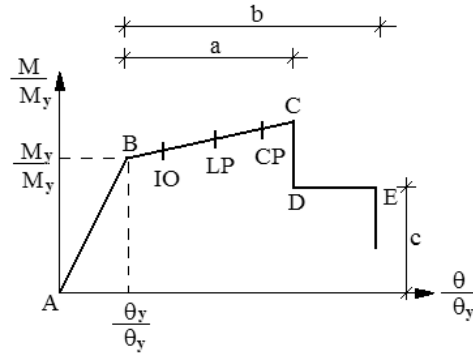
Analizde, çatlamış kesit elastisite modülü kullanılmıştır. FEMA273'te, kirişler ve düşey yük seviyesi $0.3A_g f_c$ 'den küçük olan kolonlarda eğilme rijitliği $0.5E_c I_g$ olarak alınmaktadır. Bu çalışmada, eğilme rijitliği için $0.5E_c I_g$ değeri dikkate alınmış, donatı için pekleşmeli dayanım değeri kullanılmıştır. Betonun elastisite modülü bir çok değişkene bağlı olmakla birlikte, burada aşağıdaki formül (1) kullanılarak hesaplanmıştır

(Ersoy ve Özcebe, 2001).

$$E_c = 3250\sqrt{f_c} + 14000 \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

Burada, E_c : betonun elastisite modülü'nü, f_c : betonun silindirik basınç dayanımını göstermektedir.

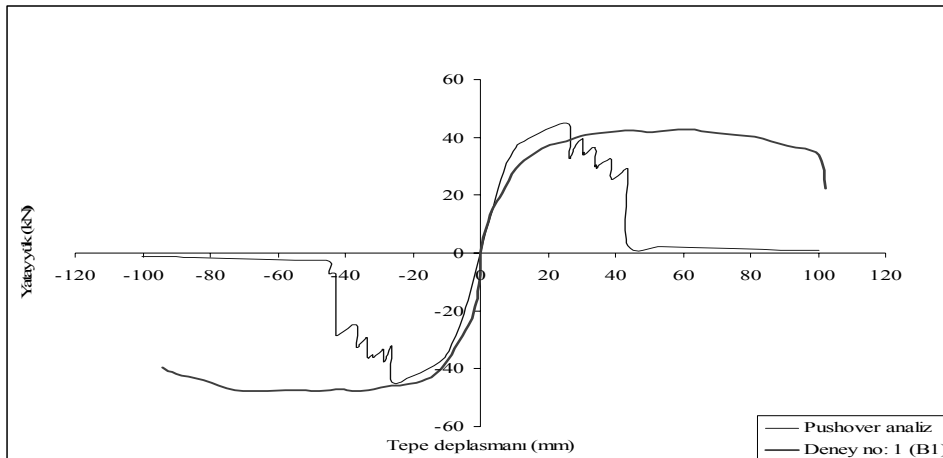
SAP2000 pushover analiziyle her deney numunesi için ayrı ayrı bulunan dayanım zarf eğrileri, deneysel dayanım zarf eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Bu grafiklere göre, pushover analizden bulunan sonuçlar, B1 ve B2 deney elemanlarının gerçek davranışına yaklaşmaktadır. Başlangıç rijitliği ve yatay yük taşıma kapasiteleri birbirine oldukça yakın bulunmuştur.



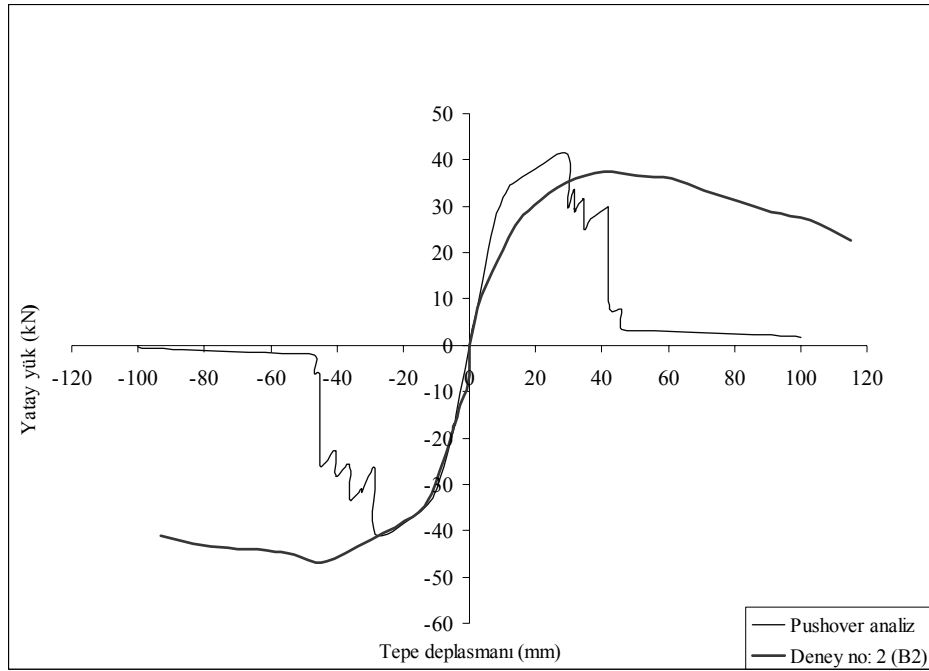
Şekil 7. Plastik mafsalda meydana gelen deformasyon kriter noktaları

Tablo 5'te SAP2000-pushover analizinden ve deneylerden ileri ve geri çevrimler için elde edilen maksimum yatay yük, maksimum deplasman, akma yükü, akma deplasmanı ve bu değerlerin oranları gösterilmiştir. Deneylerden elde edilen dayanım zarfı grafikleri histeretik eğrilerin tepe noktalarının birleştirilmesiyle

oluşturulmuştur. Pushover analizden ve deneylerden elde edilipen dayanım zarfı grafiklerinin karşılaştırmasından özellikle akmaya kadar olan eğri kısımlarının deneysel ve teorik olarak birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 8 ve Şekil 9).



Şekil 8. B1 numunesinin karşılaştırmalı dayanım zarfı grafikleri



Şekil 9. B2 numunesinin karşılaştırmalı dayanım zarfı grafikleri

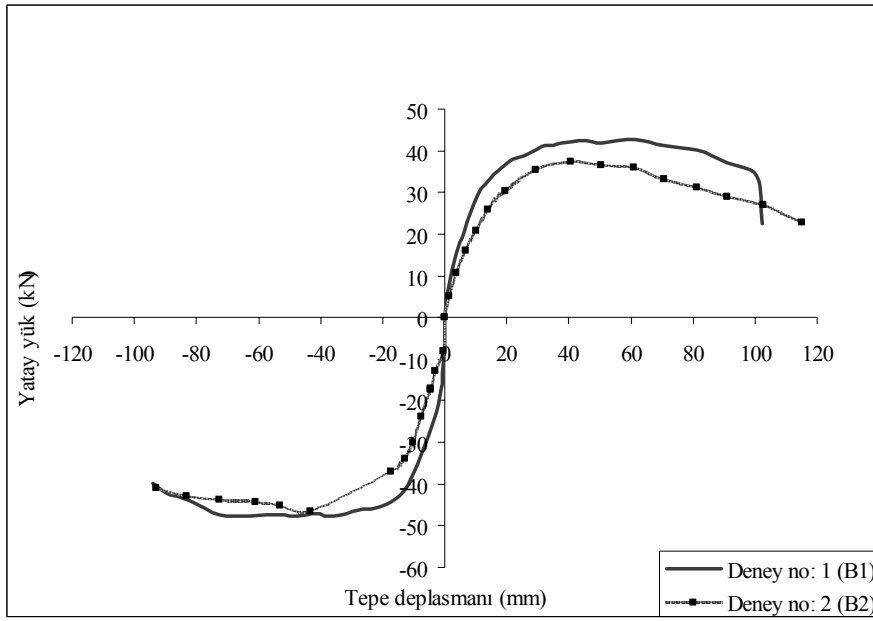
Tablo 5. Pushover analiz ve deneylerden bulunan sonuçların karşılaştırılması

ÇERÇEVE NO	MAKSİMUM YATAY YÜK (kN)		MAKS. YÜK ORANI (DENEY/SAP2000)	MAKS. DEPLASMAN (mm)		MAKS. DEPLASMAN ORANI (DENEY/SAP2000)	AKMA YÜKÜ (kN)		AKMA YÜKÜ ORANI (DENEY/SAP2000)	AKMA DEPLASMANI (mm)		AKMA DEPLASMANI ORANI (DENEY/SAP2000)
	Deney	SAP 2000		Deney	SAP 2000		Deney	SAP 2000		Deney	SAP 2000	
İLERİ ÇEVİRİM												
B1	41.93	44.51	0.94	102.03	43.59	2.34	37.49	36.33	1.03	22.75	10.59	2.15
B2	37.49	41.19	0.90	114.83	45.91	2.50	32.31	32.90	0.98	23.50	10.89	2.16
GERİ ÇEVİRİM												
B1	47.61	44.75	1.06	94.17	44.85	2.10	44.15	33.97	1.30	17.29	9.42	1.83
B2	46.87	40.71	1.15	92.92	46.65	1.99	34.04	34.31	0.99	12.86	12.65	1.02

3.2. Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Deney numunelerine ait 2. kat dayanım zarfı grafikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 10'da görülmektedir. Buradan görülebileceği gibi, taşınan en büyük yatay yük değerleri B1 numunesinde 47.61 kN, B2 numunesinde 46.87 kN olarak elde edilmiştir. Beton basınç dayanımı %40 daha yüksek olan B1 numunesi, B2 numunesine göre %2 daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Ölçülen maksimum deplasman ise B1 numunesinde 102.03 mm, B2 numunesinde ise 114.83 mm olarak ölçülmüştür. Buradan beton basınç dayanımı düşük olan B2 numunesinin daha fazla deformasyon yapabilme

kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Hasar kademesi incelendiğinde, her iki çerçevede de kolon ve kiriş uçlarında mafsallaşma meydana geldiği gözlenmiştir. Özellikle B2 çerçevesinde, 1. kat sol kenar düğümünde ve orta düğümde kesme hasarı meydana gelmiştir.



Şekil 10. B1 ve B2 numunelerine ait karşılaştırmalı dayanım zarfı grafikleri

4. SONUÇ

Bu çalışmada, 2 farklı beton basınç dayanımına sahip, sismik detayları yetersiz olan donatı düzeni ile özellikleri aynı 2 katlı ve 2 açıklıklı deprem davranışı zayıf betonarme çerçeve numunesinin depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanırlı yatay yükleme etkisi altındaki davranışı incelenmiş, elde edilen sonuçlar SAP2000’de gerçekleştirilen pushover analizden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, farklı beton basınç dayanımında fakat aynı miktarda ve düzende kolon boyuna donatısına sahip çerçevelerde yatay yük taşıma kapasiteleri hemen hemen aynı bulunmuştur. Bu durum, beton basınç dayanımının çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde çok önemli bir etken olmadığını, esas etkili parametrenin düşey donatı miktarı ve donatıdaki maksimum gerilme (pekleşmeli dayanım değeri) olduğunu göstermektedir. Deneysel sonuçlarda; B2 deneysel numunesinin kenar kolonlarında, B1 deneysel numunesinin kenar kolonlarında oluşandan daha fazla hasar meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, düşük beton basınç dayanımı sonucunda sismik detayları yetersiz olan düğümlerde daha fazla hasar oluşturduğunu göstermiştir. Kirişlerin pilye kırım bölgelerinde her iki deneysel numunesinde de yön değiştiren momentler etkisinde düşey çatlaklar oluşmuştur. Bu durum, ülkemizde yaygın olarak kullanılan pilye donatısının depremi benzeştiren yatay yükler altında mesnetlerde iyi bir çözüm olmadığını göstermektedir. Bütün deneysel elemanlarında sistemin göçmesinde eğilme durumu etkili olmuş, kesme etkisinden dolayı bir göçme

meydana gelmemiştir. Ayrıca deneysel sonuçlarda, kiriş boyuna donatısının yetersiz kenetlenme uzunluğundan dolayı kenar düğümlerde hasar gözlemlenmiştir.

Elde edilen yatay yük taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığında, SAP2000 ile deneysel sonuçlar arasında akma yükünde; B1 deneysel numunesinde ileri çevrimde %3, geri çevrimde %30, maksimum yükte ise; ileri ve geri çevrimde %6 oranında; B2 deneysel numunesinde akma yükünde, ileri çevrimde %2, geri çevrimde %1, maksimum yükte ise, ileri çevrimde %10, geri çevrimde %15 yaklaşıklık elde edilmiştir. SAP2000-pushover analiz sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, özellikle geri çevrimlerde akma gerçekleşinceye kadar dayanım zarfı grafiklerinin birbiriyle büyük ölçüde uyumlu olduğu görülmektedir. Yapılan bu analizde de, beton basınç dayanımının yatay yük taşıma kapasitesinde çok önemli bir etken olmadığı, ancak elastisite modülünün ve kolonlardaki düşey donatı miktarı ve donatıdaki maksimum gerilmenin davranışı belirlediği tespit edilmiştir.

Ayrıca, bu deneysel çalışmada genelleme yapılabilmesi için büyük ölçekli deneysel sonuçlara ihtiyaç olduğu göz ardı edilmemelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, SÜ-BAP-2002/018 nolu proje kapsamında Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. S.Ü. BAP Koordinatörlüğü’ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- ABYYHY-1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1998, Ankara.
- DBYBHY-2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2007, Ankara.
- ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council, November (1996), , Cilt I ve II, Redwood City, California, USA.
- Canbay, E., Sucuoğlu, H. (1998). Seismic Assessment of Damaged/Strengthened Reinforced Concrete Buildings. Repair and Strengthening of Existing Buildings” Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, page: 132-151, February, İstanbul, Turkey.
- Canbay, E. (2001). Contribution of RC Infills to the Seismic Behavior of Structural Systems. A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, December.
- Ersoy, U., Uzsoy, S., (1971). The Behavior and Strength of Infilled Frames. Report No. MAG-205 TUBİTAK, Ankara, Türkiye.
- Ersoy, U., Özcebe, G. (2001). Betonarme Temel İlkeler TS500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap. Evrim Yayınevi, Ankara.
- FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, (1997). Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Cilt I, Redwood City, California, USA.
- FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, USA.
- Ghobarah, A. (2000). Seismic Assessment of Existing RC Structures. Structural Engineering Materials, vol. 2, p. 60-71.
- Kaltakçı, M.Y. Yavuz, G. (2005). Kısmi Betonarme Perde Duvar ile Güçlendirilmiş Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Deprem Davranışı. 2002/018 nolu proje, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Konya.
- Pankaj P, Lin, E (2005). Material Modelling in the Seismic Response Analysis for the Design of RC Framed Structures. Engineering Structures, Vol. 27, p. 1014-1023.
- Phan, L.T, Cheok, G.S., Todd, D.R. (1995). Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames: Recommended Design Guidelines for Strengthening with Infill Walls. Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, NISTIR 5682, July.
- SAP2000, Version 7.40, CSI Company, Berkeley, California, USA.
- Sonuvar, M. O. (2001). Hysteretic Rspone of Reinforced Concrete Frames repaired by Means of reinforced Concrete Infills. A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, June
- TS500-2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2000, Ankara.
- Türk, A. M. (1998). Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames by Reinforced Concrete Infill Walls. A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Boğaziçi University.
- Yavuz, G., (2005). Kısmi Betonarme Perde Duvar ile Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Zayıf Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Deprem Davranışı. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yüksel, İ., Polat, Z (2005). Yield State Investigation of Reinforced Concrete Frames From a New Point of View. *Engineering Structures*. 27(1), 119-127.
- Zou, X.-K., Chan, C.-M. (2005). Optimal Seismic Performance-Based Design of Reinforced Concrete Buildings using Nonlinear Pushover Analysis. *Engineering Structures*. 27,1289-1302



M. Yaşar KALTAKCI, 1959 yılında Konya’da doğdu. 1980 yılında Konya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, İnşaat Bölümü’nü, 1983’te Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı’nda Yüksek Lisansını, 1990’da Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktorasını tamamladı. 1990 yılında Yrd.Doç.Dr., 1996’da Doç.Dr., 2002’de Prof.Dr. oldu. Halen, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Prof.Dr., Yapı Anabilim Dalı Başkanı, İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Selçuk Üniversitesi Dilek Sabancı Devlet Konservatuvarı Müdürü olarak görevini sürdürmektedir.



Günnur YAVUZ, 1974 yılında İstanbul’da doğdu. 1996 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü, 1999’da Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisansını, 2005’te Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktorasını tamamladı. 2006 yılında Yrd.Doç.Dr. oldu. Halen, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Yrd.Doç.Dr. olarak görevini sürdürmektedir.