

## BETONARME ÇERÇEVELERDE ETRİYE DÜZENİNİN YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİLERİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Süleyman Kamil AKIN, Nail KARA, Mevlüt Yaşar KALTAKCI  
Selçuk Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs, KONYA

Makalenin Geliş Tarihi: 18.05.2006

**Özet:** Deprem; doğal afetler içerisinde, herhangi bir uyarı göstermeksizin meydana gelmesi, süresi ve etkisinin kestirilememesinin yanı sıra, dinamik bir kuvvet olması açısından kendine has özelliklere sahiptir. Daha önce herhangi bir yatay yük etkisi altında bulunmamış olan taşıyıcı sistem, kısa bir zamanda önemli bir yatay yük etkisi altına girer. Taşıyıcı sistem kusurları çok kısa sürede ortaya çıkar ve tedbir almak imkansızdır. Güvenilir bir uyarı sisteminin de mevcut olmaması, yapıların deprem etkilerine dayanıklı olarak tasarlanması ve yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dünyada her gün birçoğu ancak aletler yardımıyla ölçülebilen irili ufaklı yüzlerce deprem meydana gelmektedir. Bu depremlerin yapılar üzerine etkisi olmamakla beraber oluşan şiddetli depremlerde yapılarda oluşan hasarlar sonucunda meydana gelen can ve mal kayıpları, tüm dünyada deprem hareketinin yapılar üzerindeki etkileri üzerinde yoğunlaşmıştır. Türkiye ve dünyada halen kullanımda olan birçok yapı, deprem etkilerinin daha iyi anlaşılmasından ve depreme dayanıklı yapı tasarımını temel alarak oluşturulan yapı yönetmeliklerinden önce inşa edilmiş olup, modern deprem yönetmeliklerinin getirdiği kısıtları sağlamaktan uzaktır. Bu yapıların acil olarak olası bir depreme en etkin, en hızlı, en ekonomik olarak hazırlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, ABYYHY (1998) hükümlerinin şart koştuğu etriyeleri 135 derece kancalı olarak imal edilen, birleşim bölgelerinde sıklaştırılan ve kolon kiriş birleşim bölgesinde devam ettirilen, yönetmelik hükümlerindeki asgari beton kalitesine sahip 3 katlı 3 açıklıklı betonarme çerçevenin deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışı ile etriyeleri 90 derece kancalı olarak imal edilen, birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamış, kolon kiriş birleşim bölgesinde etriyesi bulunmayan ve mevcut binaları temsil etmesi açısından düşük kaliteli betona sahip 3 katlı 3 açıklıklı betonarme çerçevenin deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışı incelenecek ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak irdelenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme çerçeve, tersinir-tekrarlanır, etriye, süneklik.

### An Experimental Study on the Effect of Stirrup Spacing in RC Frames Under Lateral Loads

**Abstract:** Stirrups should be put closely next to the joints and continue at the joints and be hooked 135 degree according to the code. On the other hand most of the buildings built before the strict regulations of the new code have no stirrup at the joints and are not put closely at the joint region. In this experimental study the effect of stirrup spacing and angle of hook is studied by two 1/5 modeled 3 bay 3 storey RC frame under cyclic loads simulating earthquake loads. The obtained results show that the angle of hook and spacing of stirrups effect the ductility, lateral load performance and capacity and behaviour of frame under lateral loads directly.

**Keywords:** Stirrup spacing, stirrups, reinforced concrete frame, cyclic loading

### GİRİŞ

Betonarme yapıların düşey yükler yanında, yatay yükleri de güvenli bir şekilde taşıması gerekir. Bina türü yapılarda ölü ve hareketli yükler düşey yükleri oluştururken,

rüzgar ve özellikle deprem etkileri en önemli yatay yükleri oluştururlar.

Taşıyıcı sistemler, inşaat safhasının en başından itibaren kendi ağırlıkları yanı sıra; döşeme, sıva, duvar yükleri gibi sabit yükleri

taşımaya başlarlar. Hareketli yükler de zamanla artan ve binanın kullanım amacı değişmediği sürece belli değerler içerisinde ölü yükler gibi sabit kabul edilebilecek yüklerdir. Yüklemenin değerinin yavaşça artmasından ötürü oluşacak hasarlar, önceden ve kolayca tespit edilerek gerekli tedbirler alınabilir.

Dünyada her gün birçoğu ancak aletler yardımıyla ölçülebilen irili ufaklı yüzlerce deprem meydana gelmektedir. Bu depremlerin yapılar üzerine etkisi olmamakla beraber, oluşan şiddetli depremlerde yapılarda oluşan hasarlar sonucunda meydana gelen can ve mal kayıpları, tüm dünyada deprem hareketinin yapılar üzerindeki etkileri üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Depreme karşı dayanımın yapıların tasarımında vazgeçilmez olduğu düşüncesi 1920-1930'lara kadar uzanmaktadır. Sayısal ölçüm noksanlarının da sonucu olarak, yakın tarihlere kadar deprem etkisinin, yapı ağırlığının %10'u kadar bir yatay yük olduğu kabul edilmiştir.

Sonraki yıllarda deprem hareketinin yapılar üzerinde oluşturduğu etkilerin daha iyi anlaşılması, sayısal bilgilerin artması ve bilgisayarlar yardımıyla daha gerçekçi yük kabulleri yapılmaya başlanmıştır. Bunun yanı sıra, depremlerin verdiği dersler sonucunda bir kesitin yeterli eğilme momenti dayanımının bulunmamasının taşıyıcı sistemi bozmaması koşuluyla yapıyı her zaman ağır hasara ve göçmeye götürmediği belirlenmiştir. Ayrıca kesme kuvveti etkisinin karşılanamamasından ortaya çıkan elastik ötesi şekil değiştirmelerin önemli hasara sebep olduğu belirlenmiştir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel eğilim, sünek taşıyıcı sistemlerin teşvik edilmesi şeklindedir. Bunun yanı sıra taşıyıcı sistemde yatay yer değiştirmeleri sınırlandıracak yeterli rijitliğin oluşturulması da en az süneklik kadar önemlidir (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Oluşan bir depremde yapının tamamen elastik davranış gösterdiğinin kabul edilmesi durumunda, yönetmeliklerde öngörülen yüklerin kullanılmasına göre 3 ile 6 kat arasında değişen kesit etkileri ve yer değiştirmeler meydana gelir. Bunun sonucu olarak yapılan incelemeler, dikkatleri dayanımdan elastik ötesi davranışa kaydırmıştır. Taşıyıcı sistemin elastik ötesi yer değiştirmelerinin büyük olması veya

sünek olması ile deprem enerjisinin sönmülenebileceği ve elemanlar arasında oluşacak yardımlaşma sayesinde daha büyük deprem etkilerinin karşılanabileceği öne çıkmıştır. Diğer taraftan elastik ötesi yer değiştirmeler her zaman kolayca güvenilecek bir özellik olmamakta, yerine göre bir kısmı süneklik sağlarken bir kısmı da meydana gelen aşırı ikinci mertebeye etkileri nedeniyle sistemin göçmesine sebep olmaktadır (Atımtay, 2000).

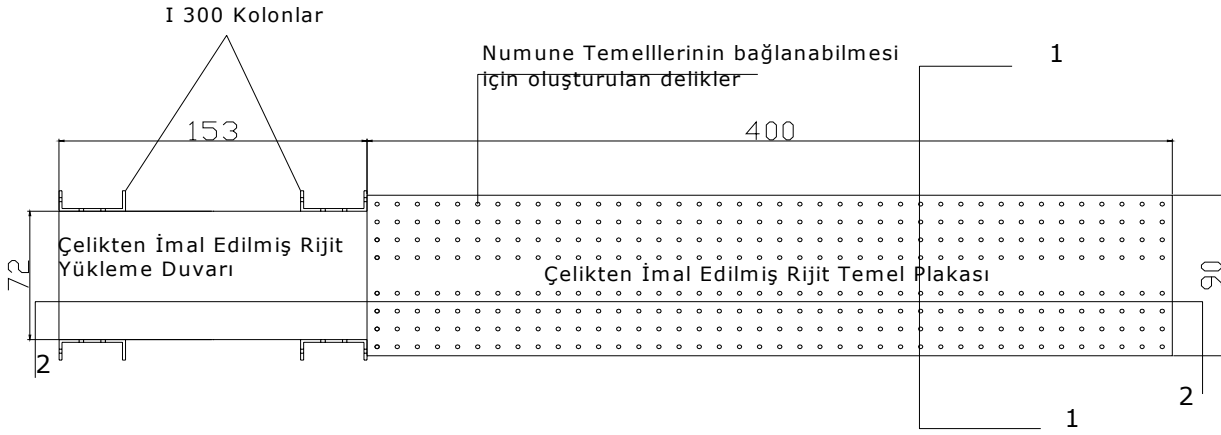
Yatay kuvvetler altında yapıdaki yer değiştirmelerin hesabı yanal rijitliğin belirlenmesine bağlıdır. Brüt eleman kesitlerinden ve betonun başlangıç elastisite modülünden hareket edildiğinde bulunacak rijitlik yatay yükün çok küçük değerleri için geçerli olur. Kullanılabilirlik sınır durumundaki rijitlik için, betonun çatlamasının göz önüne alınması gerekir. Yatay yüklerin artması ile donatıda akma ve donatı ile betonda doğrusal olmayan davranışın hakim duruma geçmesi, rijitliğin daha da azaltacaktır.

Rijitliğin artırılması ile katların birbirine göre olan rölatif yatay ötelenmesi sınırlandırılarak, taşıyıcı sisteme göre daha gevrek davranış gösteren taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşacak hasarlar sınırlandırılabilir. Yüksek yapılarda düşey yüklerin ikincil mertebeye etkilerinin azaltılması ya da sınırlandırılması için yer değiştirmelerin sınırlandırılması da ancak rijitliğin artırılması ile mümkün olur.

Yapıda büyük hasarların ve tümenden göçmenin önlenmesi, taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımının büyük bir kısmını büyük elastik ötesi yer değiştirmelerde de devam ettirebilmesi ile mümkündür. Taşıyıcı sistemin veya elemanlarının veya kullanılan malzemenin elastik ötesi davranışta da, şekil ve yer değiştirmeler artarken, dayanımın önemli bir kısmını sürdürme özelliği süneklik olarak isimlendirilir. Sünek kavramı, aynı zamanda büyük şekil ve yer değiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemelerde enerji söndürebilme özelliğini de içerir. Depremde en büyük hasar nedeninin sistem sünekliğinin sağlanamaması olduğu gözlenmektedir.

ABYYHY (1998) yapıları süneklik düzeyi normal ve süneklik düzeyi yüksek olmak üzere 2 ayrı gruba ayırmıştır.





Şekil 2. Oluşturulan yükleme çerçevesinin üstten görünüşü.

Figure 2. Top view of loading frame.



Şekil 3. Oluşturulan yükleme çerçevesi.

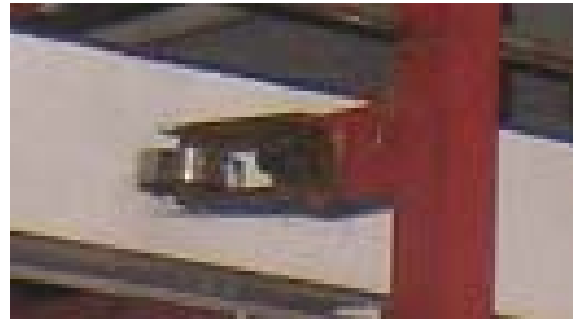
Figure 3. Testing frame.



Şekil 4. Yükleme başlığı.  
Figure 4. Loading Cap.



Şekil 5. Tersinir yüklemeyi sağlayan transmisyon milleri ve arka başlık.  
Figure 5. Transmission mills and back cap for cyclic loading.



Şekil 6. Yükleme sırasında sürtünme oluşturmadan çerçevenin düzlem dışına çıkmasını engelleyen kayıcı makaralar.  
Figure 6. Frictionless supports to prevent out of plane.

Çerçevenin, deneyler sırasında yükleme düzleminden dışarı çıkmasının herhangi bir kuvvet aktarımı olmadan gerçekleşmesi amacıyla makaralar kullanılarak oluşturulan kayıcı sistem Şekil 6'da verilmiştir

Deneyler yapılırken sisteme eksenel yük verilmesini ve bu yükün değerinin takip edilmesini sağlayan makara ve kablolardan oluşturulan bir sistem kullanılmıştır. Şekil 7'de düşey yükün uygulanmasında kullanılan makaralı sistem, Şekil 8'de ise eksenel yük

değerini kullanılan bilgisayar programına aktaran loadcell sistemi verilmektedir.

Yük uygulanırken numunenin yatay hareketinin engellenmesi amacıyla temelin her iki yanına mahmuzlar yapılarak ve deney öncesi mahmuz ve temel arası alçı ile doldurulmuştur. Yapılan mahmuzlar Şekil 9'da verilmektedir. Ayrıca yükleme çerçevesi mevcut laboratuvar zemini ve tavanına epoksi ve kaynak ile de sabitlenmiştir.



Şekil 7. Eksenel yük verilmesine imkan sağlayan makara ve kablolardan oluşan sistem.

*Figure 7. Axial loading system containing cables and joints.*



Şekil 8. Eksenel yük değerini kullanılan bilgisayar programına aktaran loadcell sistemi.

*Figure 8. Load cell that transfers the axial load to the computer program.*



Şekil 9. Yatay hareketi engelleyen mahmuzlar.

*Figure 9. Supports that prevents horizontal deflection.*

### Deney Numunelerinin Hazırlanması

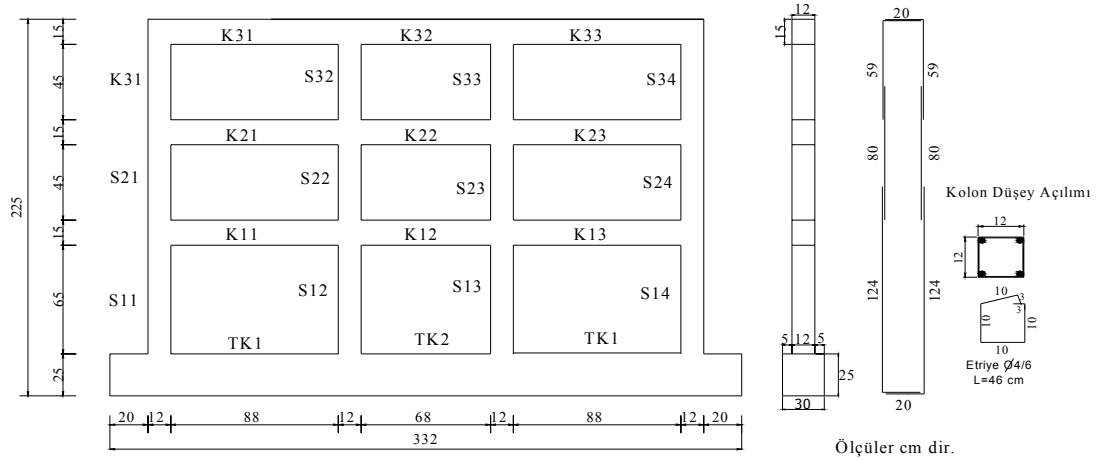
Farklı özelliklere sahip 2 adet deney numunesinin hazırlanmasında aşağıdaki sıra takip edilmiştir;

- Deney numunelerinin ebatları ve kesitlerinin belirlenmesi
- Donatı şemasının oluşturulması ve montajı;
- Kalıpların oluşturulması;
- Beton karışım hesapları , betonlama ve beton bakımı;
- Kaldırma ve taşıma aparatlarının üretilerek numunelerin ayağa kaldırılması ve yerleştirilmesi;

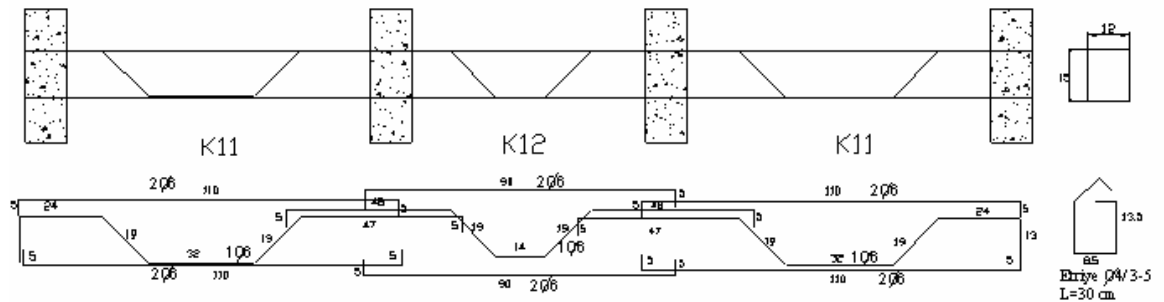
### Deney Numunelerinin kesit, boyut ve donatılarının belirlenmesi;

Gerçek binada 40\*40 cm kesitindeki kolonların atalet momentleri  $I=b*h^3/12=40*40^3/12=213333 \text{ cm}^4$  olarak bulunur. Ebatlar 1/5 küçültülmüştür. Elemanların eğilme

etkisi altında test edileceği dikkate alındığında ve momentin uzunluğa 3. dereceden bağlı olması sonucunda, atalet momenti ihtiyacı 1/125 kat azalmış olmaktadır. Modelin atalet momenti  $I=1706,66 \text{ cm}^4$  olur. Buradan kolon ebatları  $B=11,96 \sim 12*12 \text{ cm}$  olarak bulunmaktadır. Kirişler için atalet momenti  $I=b*h^3/12=30*50^3/12=312500 \text{ cm}^4$  olmaktadır. Kiriş için  $b=12 \text{ cm}$  alındığında  $h=13,56 \text{ cm}$  olur. Paspayı olarak 1,5 cm alınırsa kiriş ebatları 12\*15 cm olarak bulunmaktadır. Kolonlarda 4Ø7 (153.86 mm<sup>2</sup>) boyuna donatı kullanılmış olup donatı yüzdesi %1.07'dir. Kirişlerde 2Ø6 düz , 2Ø6 montaj ve 1Ø6 pilye kullanılmıştır ( $\rho = 0,004781$ ). Rijit bir temel oluşturulması amacıyla temel ebatları  $b=30 \text{ cm}$ ,  $h=25 \text{ cm}$  olarak belirlenmiştir. Donatı olarak 4 Ø16 düz ve Ø8/ 20 etriye kullanılmış, temel uçlarında kaldırma ve taşıma aparatlarının kolayca sıyırılmaması için etriye sıklaştırması yapılmıştır. Şekil 10'da numune ebatları ve düşey donatı şeması verilmektedir.



Şekil 10. Numune ebatları ve düşey donatı şeması.  
Figure 10. Dimensions and reinforcement detailing of tested frames.



Şekil 11. Kat kiriş donatıları.  
Figure 11. Beam reinforcements.

ABYYHY 1998 hükümlerine uygun olarak donatılan numunede T1 olarak adlandırılmıştır. Bu donatı düzeninde tüm etriyeler 135 derece kancalı imal edilmiş, boyuna donatılarda kenetlenme boyları yeterli seviyede tutulmuş, kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye

sıklaştırması yapılmış ve birleşim bölgesinde etriyeler devam ettirilmiştir. Şekil 12’de etriye sıklaştırması yapılmış kolon donatıları, Şekil 13’te ise kolon kiriş birleşim bölgesinde devam ettirilmiş etriyeler görülmektedir.



Şekil 12. Etriye sıklaştırması yapılmış kolon donatıları.  
Figure 12. Decreased stirrup spacing in columns.



Şekil 13. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde devam eden etriyeler ve sıklaştırma bölgesi.  
Figure 13. Decreased stirrup spacing region and continued stirrups in beam column connection.



Şekil 14. T2 numunesinin etriyesiz kolon kiriş birleşim bölgesi.  
Figure 14. Beam column connections without stirrups for Specimen T2.



Etriyeleri 90 derece kancalı, boyuna donatılarda kenetlenme boyu yetersiz, etriye sıklaştırması yapılmamış, kolon giriş birleşim bölgesi etriyesiz olarak donatılan numune ise T2 olarak adlandırılmıştır. Şekil 14'te bu numuneye ait kolon giriş birleşim bölgesi detayı Şekil 15'te ise betonlanmaya hazır numune verilmektedir.

### Kalıpların Oluşturulması

Deney numunelerinin düzenli olarak üretilebilmesi, taşınabilmesi, sabitlenebilmesi

amacıyla 16 mm kalınlığında MDF kullanılarak kalıplar üretilmiş ve suyun ahşap kalıplara zarar vermemesi amacıyla yağlıboya ile boyanmıştır. Kalıplar oluşturulurken numunelerin hasarsız şekilde ayağa kaldırılması, taşınması ve temelin yükleme çerçevesine bağlanması amacıyla çeşitli aparatlar da kalıba eklenmiştir. Şekil 16'da oluşturulan kalıp kesiti, Şekil 17'de taşıma ve kaldırma için üretilen elemanlar, Şekil 18'de ise temelin sabitlenmesi için kalıba yerleştirilen tijler görülmektedir.



Şekil 15. Betonlanmaya hazır T2 donatı düzenine sahip numune.

Figure 15. Specimen T2 having no stirrups in connection region ready for concreting.



Şekil 16. Üretilen kalıp kesiti.

Figure 16. Molding system.



Şekil 17. Yatay konumdaki deney numunelerini kaldırma ve yatay olarak taşıma için kalıba eklenen parçalar.

Figure 17. Parts that are added to the molds for transfer of specimens.

### Beton karışım hesapları ve beton dökümü

Mevcut yapıların kalitesiz ve dayanımı zayıf beton özelliklerini yansıtmak üzere deney numunesinin 1 tanesinde (T2) karakteristik beton basınç dayanımı 12 MPa, ABYYHY 1998 hükümlerine göre üretilen 1 adet numunede (T1) ise, 20 MPa olarak seçilmiştir.

Tablo 1 ve Tablo 2'de T1 ve T2 numunelerinde kullanılan beton için malzeme karışım oranları verilmiştir. Şekil 19'da ise betonda kullanılan

agreganın granülometri eğrisi verilmektedir. Betonlar laboratuvar mikseri yardımıyla üretilmiş; üretilen numuneler ise, kürlenmiştir.

Çerçeve betonu dökümü sırasında yapılan kıvam deneyi sonucunda C20 beton kalitesinde 90 mm, C12 beton kalitesinde 150 mm çökme değeri ölçülmüştür

Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımını ve silindirik yarma dayanımını belirlemek için iki grup beton dökümünde de 10 adet standart silindirik numune alınmıştır.



Şekil 18. Numune temelinin yükleme çerçevesine sabitlenmesini sağlayan tij boruları.

Figure 18. The pipes for setting the specimen to the reaction frame.

Tablo 1. Betonarme çerçeve betonlarının malzeme karışım oranları(C12) (1 m<sup>3</sup> beton için).

Table 1. Mix design of concrete (C12).

	Ağırlık(kg)
Çimento	240
0-7 mm arası agrega	1810
Su	216
Toplam	2266

Not: Su/çimento oranı %90'dır.

Tablo 2. Betonarme çerçeve betonlarının malzeme karışım oranları(C20)(1 m<sup>3</sup> beton için).

Table 2. Mix design of concrete (C20).

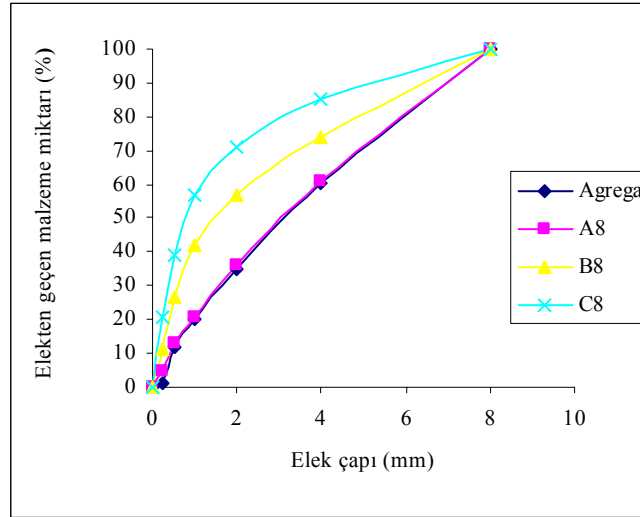
	Ağırlık(kg)
Çimento	350
0-7 mm arası agrega	1810
Su	150
Akışkanlaştırıcı(Sikament300)	7
Toplam	2317

Not: Su/çimento oranı %43'dür.

Silindir numunelerinin çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm'dir. Silindir numuneleri, çerçevelerle aynı şartlarda kür edilmiştir. 10 adet silindir numuneden 1 adedi 3 günlük, 3 adedi 7 günlük, 3 adedi 28 günlük, 3 adedi de silindir yarma deneyinde kullanılmış ve 3'er numunenin ortalama dayanım değeri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Hidratasyonda gerekli ideal sıcaklığı elde etmek için beton dökümünden 1 saat sonra, beton yüzeyleri ıslak çuvallarla sarılmış ve 10 gün boyunca sabah ve akşam olmak üzere günde iki defa sulanmıştır.

Deneyler sırasında kullanılan donatıların çekilmesinden elde edilen akma ve kopma dayanımları ise, Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 19. Betonda kullanılan agreganın granülometrisi.

Figure 19. Sieve analysis of used aggregate.

Tablo 3. Deney elemanlarının ortalama karakteristik beton basınç dayanımları.

Table 3. Concrete strength of tested frames.

Beton Sınıfı	$f_{c,3\text{ Gün}}$ (MPa)	$f_{c,7\text{ Gün}}$ Ortalama (MPa)	$F_{c,28\text{ Gün}}$ Ortalama (MPa)	$f_{cu}$ Ortalama (MPa)
C20	10,10	17,50	20,10	2,40
C12	6,70	8,70	11,98	1,27

Tablo 4. Deney elemanlarında kullanılan donatılara ait akma ve kopma dayanım değerleri.

Table 4. Steel properties of tested frames.

Donatı Çapı	Akma Dayanımı $f_{sy}$ (MPa)		Kopma Dayanımı $f_{su}$ (MPa)		Kopma Birim Uzaması, $\epsilon_{su}$	
	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama
Φ 4	528	531	687	680	0,21	0,23
	535		673		0,25	
	530		681		0,23	
Φ 6	533	530	690	693	0,22	0,24
	530		692		0,26	
	527		696		0,23	
Φ 7	538	533	685	689	0,23	0,23
	533		693		0,21	
	528		689		0,25	

### Yer Değişikliklerinin Ölçülmesi

Deneyler sırasında, betonarme çerçevelerin kolon ve kirişlerinde meydana gelen yer değişiklikleri, boy kısalma ve uzamaları ve yatay kat deplasmanı ölçümleri; dijital LVDT kullanılarak yapılmıştır. Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. markalı LVDT'ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT'lerin çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan bu LVDT'ler sayesinde 0.01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. Deneylerde 100, 150, 200 mm'lik LVDT'ler kullanılmıştır.

### Yük ve Yer Değişiklik Ölçümlerinin Bilgisayar Ortamına Aktarılması

Yük hücreleri, LVDT'den alınan gerilmeler, ara bağlantı kutuları yardımıyla data logger'a iletilmektedir. Veri toplama sistemi, üzerinde yük hücreleri ve LVDT'lerin çıkış uçlarının bağlandığı 32 kanaldan ve 4 adet Mitutoyo marka dijital komparametre yerleştirilebilen kanaldan oluşan 5 adet veri toplama kutusu ile bu sistemle bilgisayar arasında veri iletimini sağlayan bir communicator'a bağlanmakta ve veriler bu kutudan bilgisayara aktarılmaktadır. CoDA deney düzenleyici programı ile bir deney süresince 125 milisaniye aralıklarla kayıt

alınabilmektedir. Bu kanallar vasıtasıyla alınan gerilmeler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılmaktadır. Bilgisayara yüklenmiş olan özel yazılım CoDA programı, doğru akım kartından alınan değerleri LVDT'ler için 0.01 mm, komparametreler için 0.001 mm hassasiyetle, potansiyometrik cetveller için  $\pm 0.5$ ,  $\pm 1\%$  linearite hassasiyetle ve yük hücreleri için de 0.2 kN hassasiyetle değerlendirmekte ve bu değerler ekrandan da takip edilebilmektedir. Kullanılan kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayarda kayıt altına alınmakta ve deney esnasında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir. Alınan okuma değerlerinin çıktısı "EXCEL" programında okunabilecek şekildedir. Yük hücresi ve LVDT'lerden , alınan okumaların değerlendirilmesine yarayan veri toplama sistemi ve bilgisayar düzeneği Şekil 20'de görülmektedir.

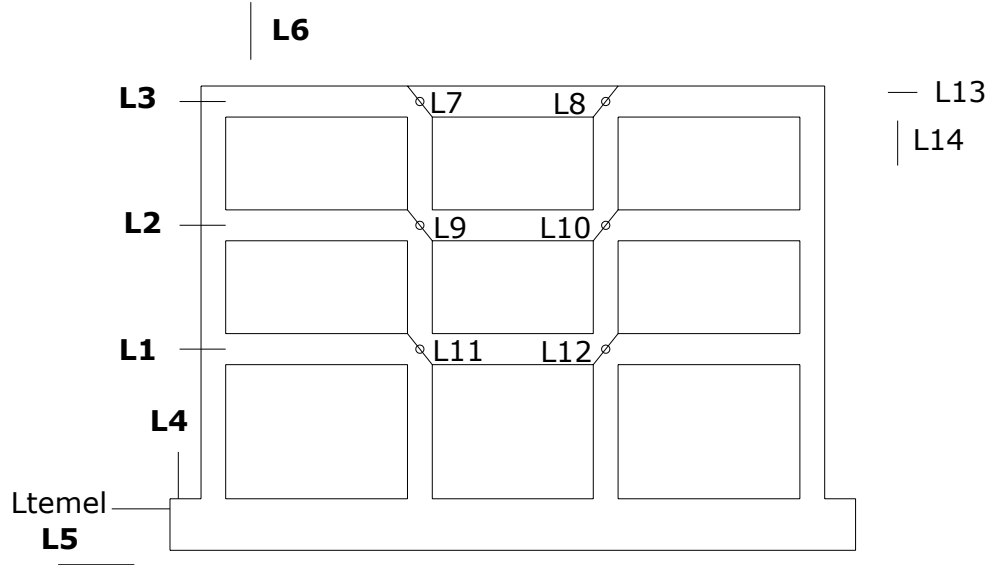
### Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği

Deneylerde yapılacak yer değişiklik ve şekil değişiklik ölçümleri için LVDT(Linear Variable Displacement Transducer) ölçüm aletleri kullanılmıştır. Deneysel verilerin alındığı ölçüm yerleri Şekil 21'de görülmektedir. Şekil 21'de deney numuneleri için ölçüm düzeneği görülmektedir. Bu ölçümler kullanılarak, 1. kat, 2. kat ve 3. kat için yatay yük deplasman eğrileri çizilmiştir.



Şekil 20. Yük ve yer değişiklik okumalarını değerlendiren veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği.

Figure 20. Computerized deflection and load measurement system.



Şekil 21. LVDT ölçüm yerleri.

Figure 21. LVDT places.



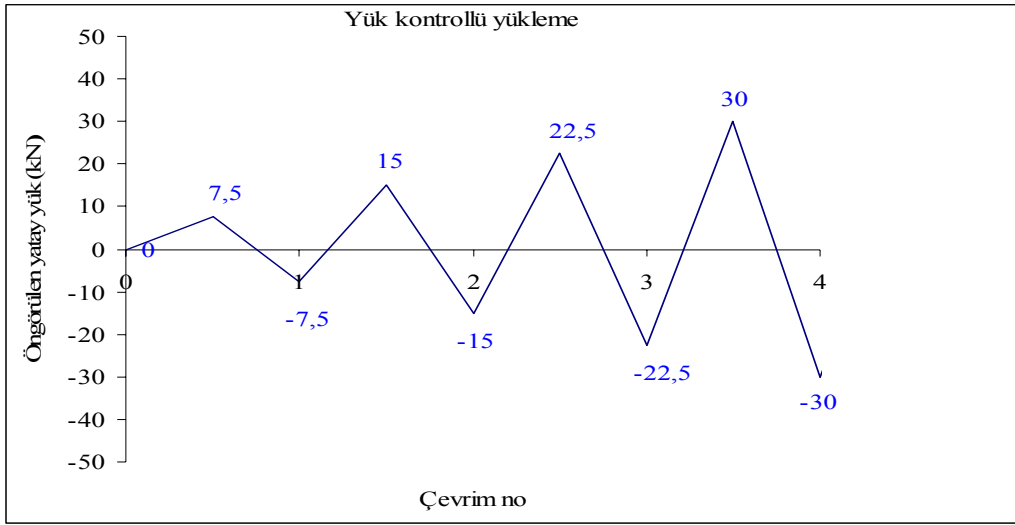
Şekil 22. Deney numuneleri için deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği.

Figure 22. Measurement system for testing frames.

### Çerçeve Deneylerinde Uygulanan Yükleme Programı

Deneylerde uygulanan yükleme programı, sistemin nominal akma yüküne kadar yük kontrollü olarak, akma sınırından sonra ise deplasman kontrollü olarak planlanmıştır. Yük artımları; 30 kN'a kadar 7.5 kN yük kontrollü, bu yükten sonra deplasman kontrollü olarak

gerçekleştirilmiştir. Şekil 23'te betonarme çerçeveler için uygulanan yükleme programı gösterilmiştir. Deneylerde uygulanacak yükleme programı, SAP2000'de gerçek malzeme değerleri kullanılarak gerçekleştirilen pushover analiz sonucu elde edilen akma yükü ve bu yük değerindeki tepe deplasmanı dikkate alınarak belirlenmiştir.



Şekil 23. Deney numuneleri için uygulanan yükleme programı.

Figure 23. Used loading program.

### Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Deneyler esnasında LVDT ve yük hücresinden alınan okuma değerlerinden hareketle, deney numunelerinde görülen davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Her deney elemanı için, yük geçmişi ve oluşan hasarlar anlatılmış, yatay yük-tepe deplasmanı ilişkisi, dayanım zarfı grafikleri çizilmiş ve tablo şeklinde verilmiştir.

### Yük Geçmişi ve Deplasman Geçmişi Grafiklerinin Elde Edilmesi

Deneylerin yük geçmişi grafiklerinin elde edilmesi için, deney sırasında her çevrimde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan yatay yük değerleri ile ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan deplasman değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, çevrim ve yatay yük ilişkisi ile çevrim ve deplasman ilişkisi grafiksel olarak değerlendirilerek her numune için yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiği çizdirilmiştir.

### Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Grafiklerinin Elde Edilmesi

Yatay yük-tepe deplasmanı grafiklerinin elde edilmesi için, deney sırasında yük hücresinden okunan yük değerleriyle, her katta bulunan deplasman değerleri belirlenmiştir. Bu deplasman değerinden ise temelde ölçülen deplasman çıkarılmıştır. Diğer taraftan, elde

edilen veriler ışığında temel deplasmanın olmadığı da söylenebilir.

### Dayanım Zarfı Grafiklerinin Elde Edilmesi

Dayanım zarfı grafiklerinin çizdirilmesi için, her çevrimde akmaya kadar en büyük yük değerleri ve bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri, akmadan sonra ise okunan en büyük yatay deplasman değerleri ve buna karşılık gelen yatay yük değerleri belirlenmiştir. İleri ve geri okumalardan elde edilen deplasmanlarla yük değerlerinin tepe noktaları grafiksel olarak çizdirilmiştir.

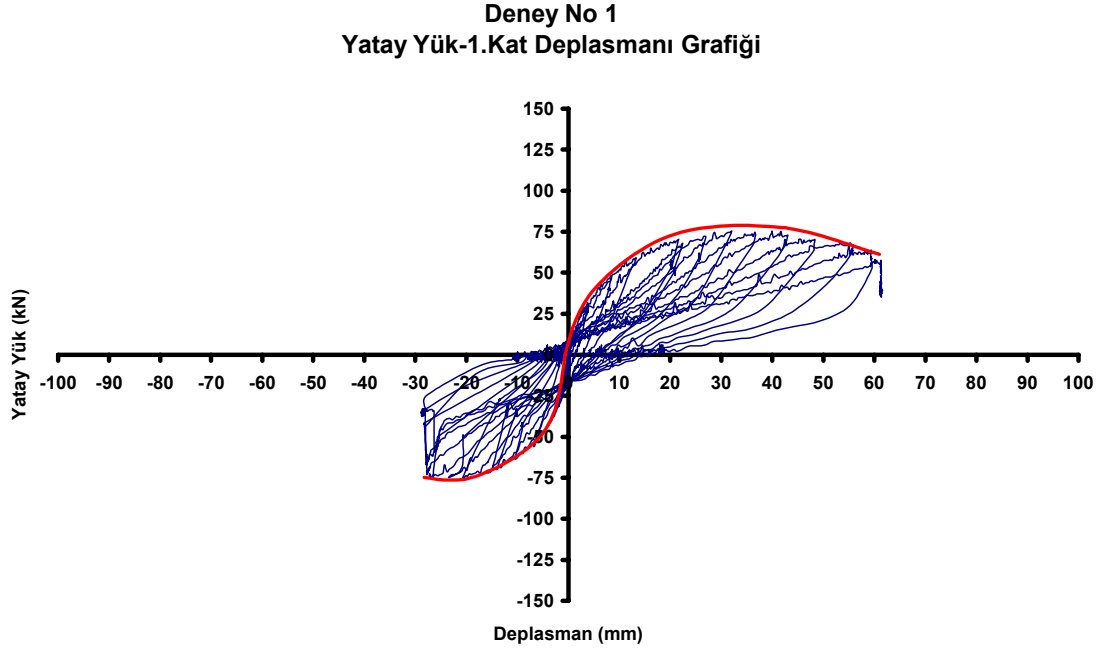
### DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, deneylerden elde edilen sonuçlar ve davranış detaylı bir biçimde sunulmaktadır. Her deneye ait deneyin yapılışı, gözlenen davranış özellikleri anlatılmış, deney sırasında çekilen fotoğraflar verilmiştir. Her deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi ve elde edilen yük-tepe deplasmanı grafiği, yük-1. kat deplasmanı grafiği, yük-2. kat deplasmanı grafiği, 1. kat, 2. kat ve 3. kat yatay yük-ötelenme oranı grafikleri, 1., 2. ve 3. kat dayanım zarfı grafikleri sunulmaktadır. Deneyler esnasında yatay yük sadece 3. kat seviyesinden uygulanmıştır. Burada 1., 2. ve 3. kat için katlar arası ötelenme oranlarının değişimi, katlar arası görelî deplasmanın kat yüksekliğine bölünmesiyle hesaplanmıştır.

**1 Nolu Deney:**

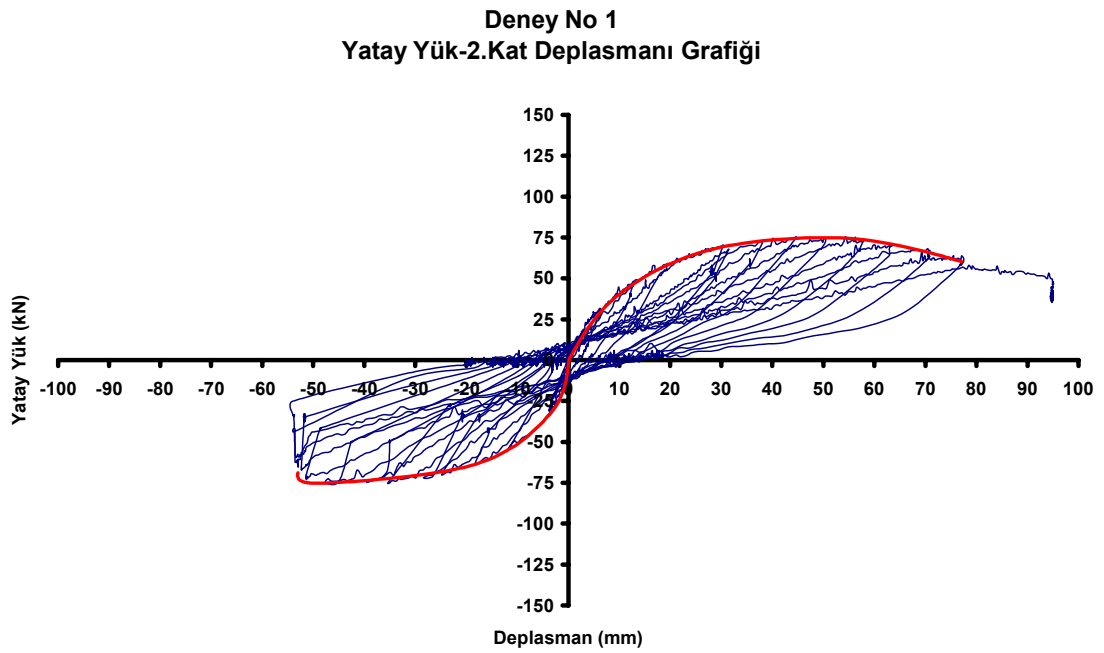
ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmış olan bu numunede (T1) elde edilen yatay yük-1. kat deplasmanı Şekil 24'te, yatay

yük-2.kat deplasmanı Şekil 25'te, yatay yük-tepe deplasman grafikleri deplasmanı Şekil 26'da verilmiş olup; her kat için ayrı ayrı elde edilen zarf eğrileri ise Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 24. T1 nolu deney numunesine ait yatay yük – 1. kat deplasmanı grafiği.

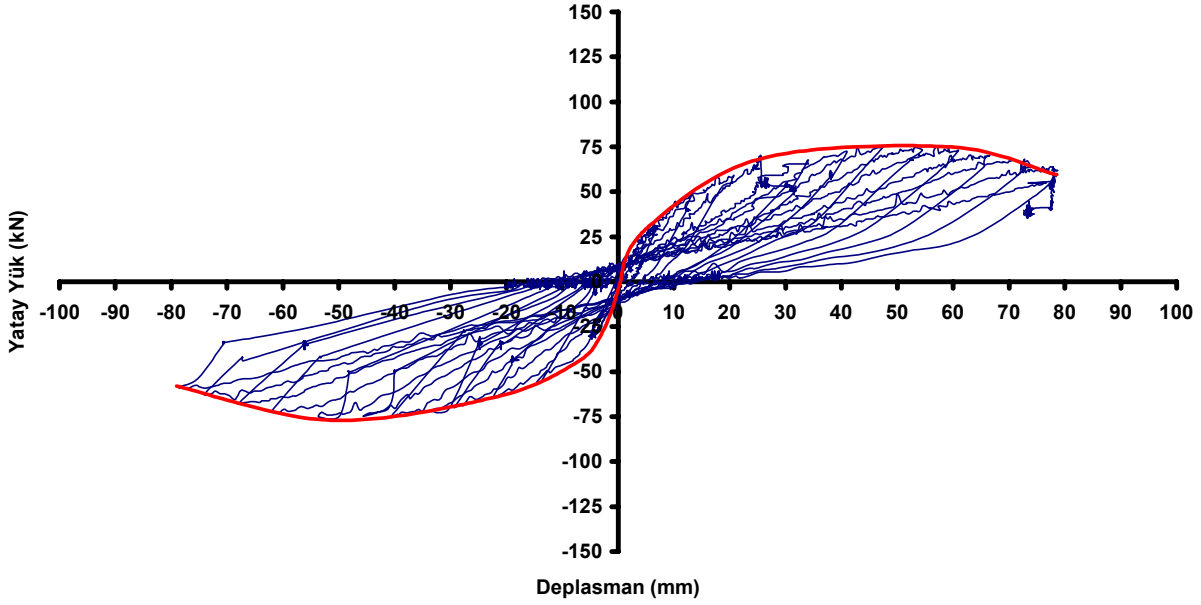
Figure 24. Lateral load- 1<sup>st</sup> story deflection graphics for specimen T1.



Şekil 25. T1 nolu deney numunesine ait yatay yük – 2. kat deplasmanı grafiği.

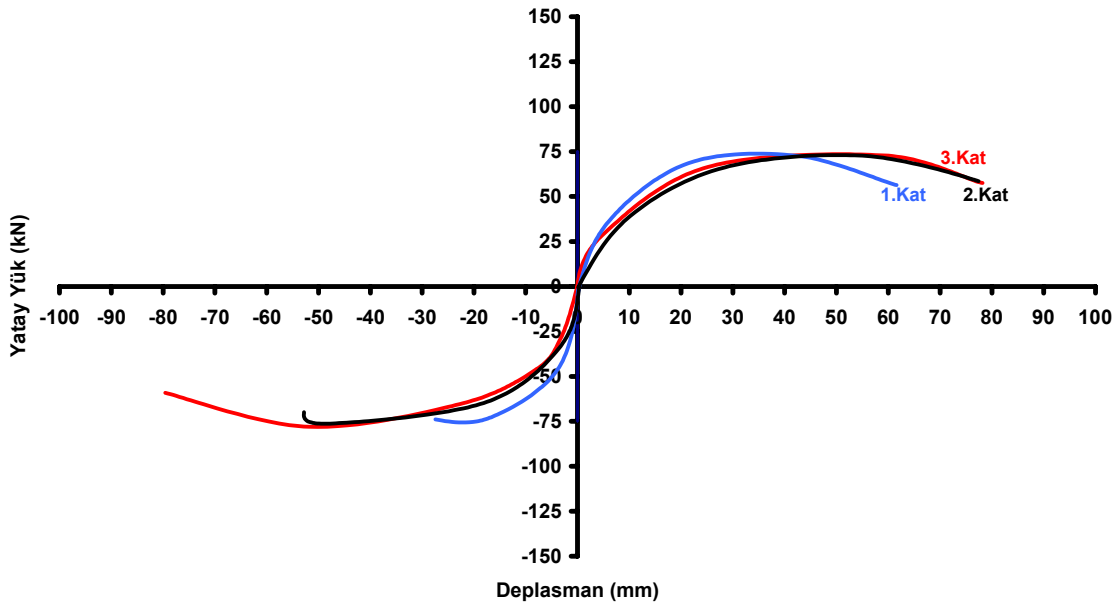
Figure 25. Lateral load- 2<sup>nd</sup> story deflection graphics for specimen T1.

**Deney No 1**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Grafiği**



**Şekil 26.** T1 nolu deney numunesine ait yatay yük-tepe deplasmanı grafiği.  
*Figure 26. Lateral load- 3<sup>rd</sup> story deflection graphics for specimen T1.*

**Deney No 1**  
**Yatay Yük - 1,2 ve 3.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri**



**Şekil 27.** T1 nolu deney numunesinin yatay yük-1., 2., 3. kat deplasmanı grafikleri.  
*Figure 27. Lateral load- 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> story deflection graphics for specimen T1.*





Şekil 28. T1 numunesinde mesnetlerde ve zemin kat kolon uçlarında oluşan mafsallar.

Figure 28. Hinges at 1<sup>st</sup> story columns.



Şekil 29. T1 numunesinin deney sonundaki görüntüsü.

*Figure 29. View of specimen T1 at the end of test.*



Şekil 30. T1 deney numunesi 2. kat kirişlerinde hasar oluşumu.

*Figure 30. Cracks at the 2<sup>nd</sup> storey beams for specimen T1.*



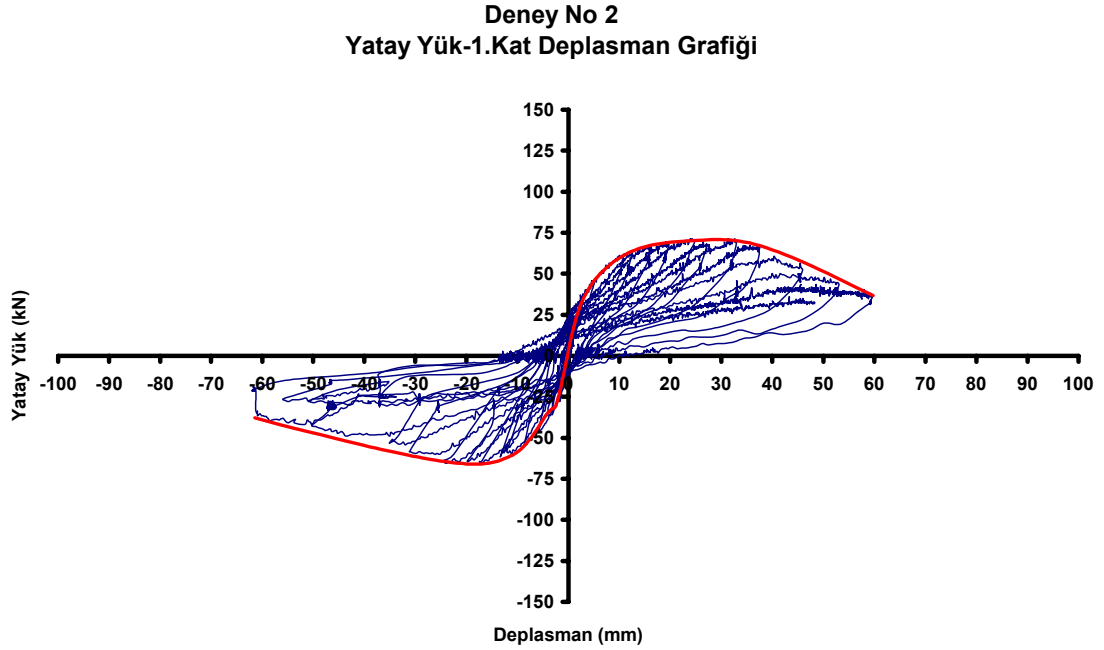
Şekil 31. T1 deney numunesi 1. kat kirişlerinde hasar oluşumu.

*Figure 31. Cracks at the 1<sup>st</sup> storey beams for specimen T1.*

**2 Nolu Deney:**

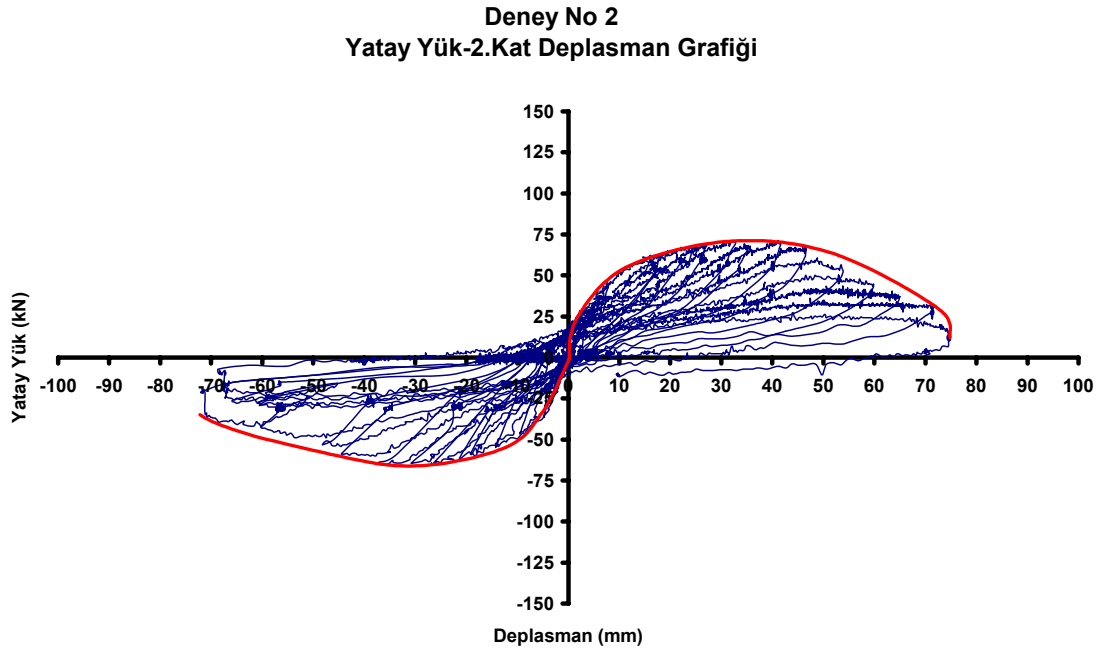
ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmamış olan bu numunede (T2) elde edilen yatay yük-1. kat deplasmanı Şekil 32’de, yatay

yük-2.kat deplasmanı Şekil 33’te, yatay yük-tepe deplasman grafikleri deplasmanı Şekil 34’te verilmiş olup her kat için ayrı ayrı elde edilen zarf eğrileri ise Şekil 35’te verilmiştir.



Şekil 32. T2 deney numunesine yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği.

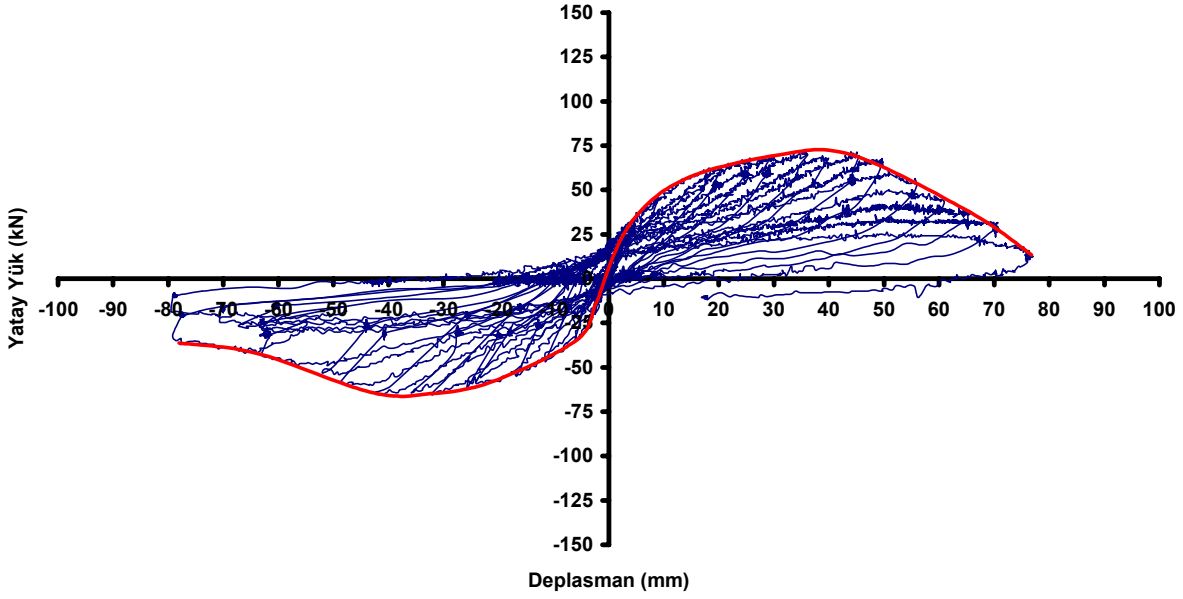
Figure 32. Lateral load- 1<sup>st</sup> story deflection graphics for specimen T2.



Şekil 33. T2 deney numunesine yatay yük-2. kat deplasmanı grafiği.

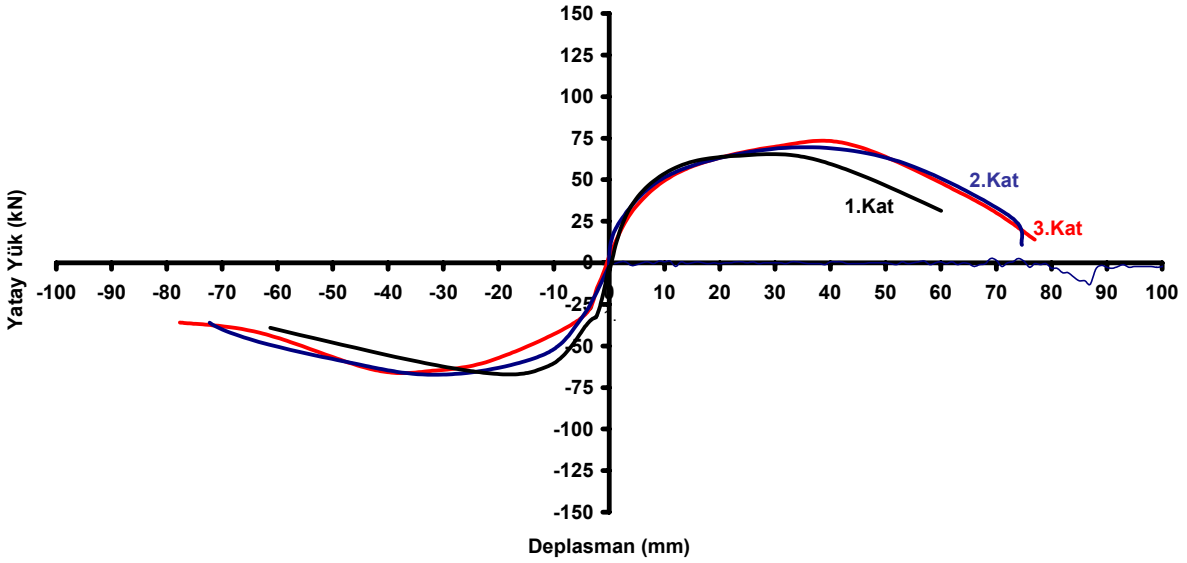
Figure 33. Lateral load- 2<sup>nd</sup> story deflection graphics for specimen T2.

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-Tepe Deplasman Grafiği**



**Şekil 34.** T2 deney numunesine yatay yük-tepe deplasmanı grafiği.  
*Figure 34.* Lateral load- 3<sup>rd</sup> story deflection graphics for specimen T2.

**Deney No 2**  
**Yatay Yük-1.,2., 3.Kat Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri**



**Şekil 35.** T2 deney numunesinin yatay yük-1., 2., 3. kat deplasmanı grafikleri.  
*Figure 35.* Lateral load- 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> story deflection graphics for specimen T2.



Şekil 36. T2 deney numunesi mesnetlerinde ve zemin kat kolonlarında oluşan mafsallar.

Figure 36. Hinges at 1<sup>st</sup> story columns.



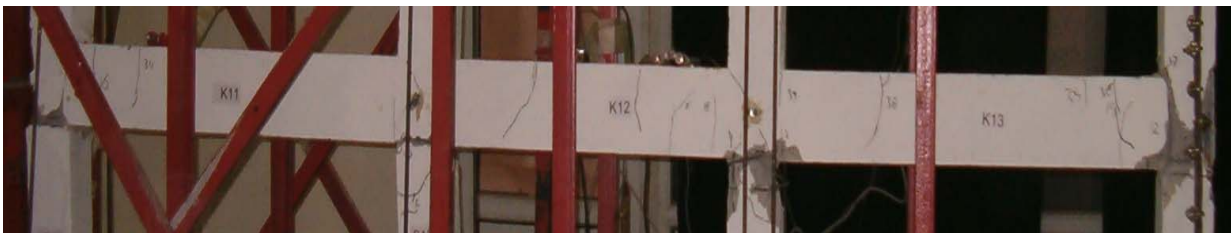
Şekil 37. T2 deney numunesinin deney sonundaki görüntüsü.

*Figure 37. View of specimen T2 at the end of test.*



Şekil 38. T2 deney numunesi 2. kat kirişlerinde hasar oluşumu.

*Figure 38. Cracks at the 2<sup>nd</sup> storey beams for specimen T2.*



Şekil 39. T2 deney numunesi 1. kat kirişlerinde hasar oluşumu.

*Figure 39. Cracks at the 1<sup>st</sup> storey beams for specimen T2.*

Hasar mekanizmalarının karşılaştırılması sonucunda ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmış numune 1. ve 2.kat kirişlerinde (Şekil 30, Şekil 31) hasar oluşumu etriye düzensizliği bulunan 2 nolu deney numunesine göre (Şekil 38, Şekil 39) daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Farklılık, birleşim bölgesinde sıklaştırılan etriyelerin sargı etkisinden kaynaklanmaktadır.

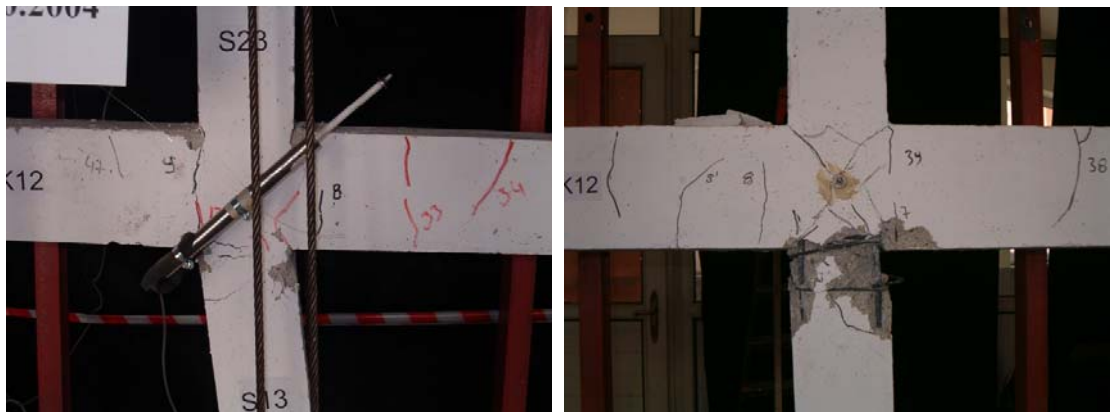
Diğer taraftan kolon hasarları, etriye düzensizliği olan numunede kenar kolonlarda kolon içinde ve 1. kat kiriş hizasında oluşurken,

etriye düzeni sağlanmış numunelerde kolon üstünde kiriş alt hizasında ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi de kolon kiriş birleşim bölgesinde etriyelerin devam ettirilmesi sayesinde sağlanan sargı etkisinin birleşim bölgesini güçlendirmesi olarak açıklanabilir. Şekil 40'ta etriyeli ve etriyesiz birleşim bölgesine sahip deney numunelerine ait kenar kolon-kiriş birleşim hasarı verilmektedir. Etriyesiz birleşim bölgesi parçalanmış olmasına rağmen, etriyeli birleşim bölgesinde önemli bir hasar oluşmamıştır.



Şekil 40. Etriyeli ve etriyesiz birleşim bölgesine sahip numunelerde kenar kolon – kiriş birleşim bölgesi hasarı.

Figure 40. Beam column connection cracks with or without stirrups.



Şekil 41. Ara düğümde etriyeli ve etriyesiz birleşim bölgesi.

Figure 41. Middle beam column connection cracks with or without stirrups.

Kat orta kolon kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar etriyeli ve etriyesiz birleşim bölgesine sahip numuneler için Şekil 41’de verilmiş olup, etriyeli birleşim bölgesinde kolon ve kiriş uçlarında oluşan hasarlar, etriyesiz birleşimde oluşan kesit zorları sebebiyle birleşim bölgesinde X çatlakları şeklinde ortaya çıkmıştır. Etriye sıklaştırılmasının yapılmadığı ve etriyelerin 90 derece kancalı olarak üretildiği 2 nolu deney numunesinde etriyelerin sargı etkisini belli bir süre sonra kaybettiği ve açılarak görevini yerine getirmediği gözlemlenmiştir. Şekil 41 açılan etriyeleri göstermektedir.

### Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deney modelinin Türkiye’de olası bir depremde hasar görmesi kuvvetle muhtemel yapıları temsil etmesi amaçlanmıştır. ABYYHY 1998 hükümleri çerçevesinde etriye düzeni sağlanmış binaları temsil etmesi amacıyla

etriyeleri 135 derece kancalı, kolon kiriş birleşim bölgesinde etriye sıklaştırılması yapılmış ve birleşim bölgesinde devam etmesi sağlanmış, bindirme boyları yeterli ve beton kalitesi şartname hükümlerinde üretilen numune referans olarak seçilmiştir.

Kötü binaları temsil etmesi için de etriyeleri 90 derece kancalı, etriye sıklaştırması yapılmamış, birleşim bölgesinde etriyesi devam etmeyen ve C12 beton dayanımına sahip numune seçilmiştir.

Numune çerçevelerde kolonlar kirişlerden eksenel yük seviyesine göre %6 ve %18 mertebelerinde daha güçlü olarak tasarlanmış, böylece yatay etki altında oluşacak momentlerin kolonlara hasar vermesi ve yumuşak kat davranışını ortaya çıkarması sağlanmıştır.

ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmış ve sağlanmamış numunelere ait karşılaştırmalı yatay yük – tepe deplasmanı zarf eğrisi grafiği Şekil 42’de verilmiştir.

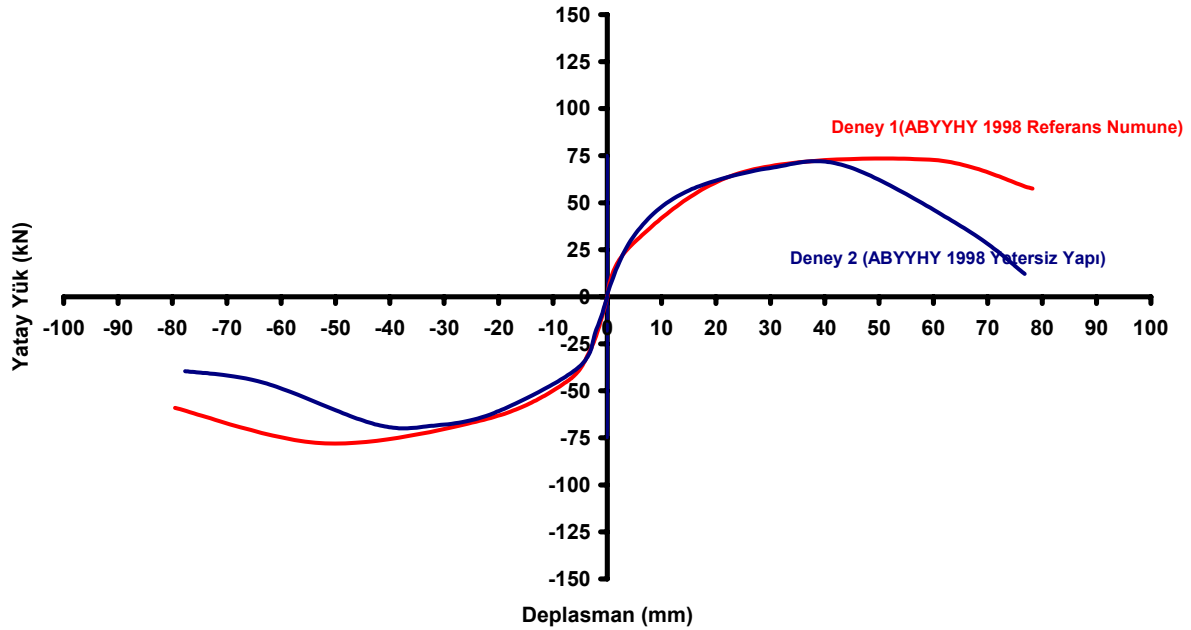


Şekil 42. Açılan ve sargı etkisini yitiren etriyeler ve kolon donatılarında burkulma.

Figure 42. Opened and loss of stirrups working and buckling at columns.



### 1ve 2 Nolu Deneylerin Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri



Şekil 43. Deney numunelerinin karşılaştırılması.

Figure 43. Comparison of tested frames.

Akma yükü değeri olarak kabul edilen 30 kN yatay yük seviyesine kadar numunelerin özdeş davrandığı, sonrasında ise ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmış çerçevenin sünek bir davranışla 60 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük kapasitesine ulaşarak göçmeye gittiği, etriye düzensizliği bulunan yapının ise 40 mm deplasman değerinde maksimum yatay yük değerine ulaşarak gevrek bir davranış göstererek göçmeye gittiği görülmektedir.

Referans numunenin süneklik katsayısı 6,20 olarak hesaplanırken, yetersiz donatı detayına sahip numunede süneklik katsayısı 4,60 düzeyindedir. Referans numunede maksimum yatay yük 4,5 mm deplasman değerinde 80 kN iken, yetersiz donatı detayına sahip numune 5 mm deplasman değerinde 75 kN yatay yük kapasitesine sahip olmaktadır. Referans numune 25452 kNmm enerji yutarırken, yetersiz numune 19800 kNmm enerji sönmlemiştir. Referans numunede, yetersiz donatı detayına sahip numuneye göre, süneklikte %35, yatay yük kapasitesinde % 6.67, enerji tüketme kapasitesinde ise %29 artış

gerçekleşmiştir(Akın, 2006). Etriye kullanımı ve yerleştirilmesinin önemi elde edilen sonuçlarda açıkça görülmektedir.

Deney sonuçları ile hasar ve göçme mekanizmalarının değerlendirilmesi sonucunda;

- Etriye düzeninin yatay yükler altında sistem davranışını doğrudan etkilediği,
- ABYYHY 1998 hükümlerine göre düzenlenmiş etriyelerin sistemin yatay deplasman kabiliyetini artırdığı,
- Artan deplasman kabiliyeti ile sistem sünekliğinin arttığı,
- Artan süneklikle birlikte enerji tüketme kapasitesinin arttığı,
- Sistemin yatay yük kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Etriye sıklaştırması ile kolonlarda ve kirişlerde burkulma boyunun kısılması sağlanırken, ani basınç kırılmalarının önüne geçilmiştir.
- Etriye kancalarının 135 derece kancalı olarak imali etriyenin sargı etkisini artırmakta ve bunun sonucu olarak Eksenel yük altındaki elemanların taşıma kapasitesine olumlu etkiler yapmaktadır.

- 90 derece kancalı olarak imal edilen etriyeler belli bir süre sonra açılmakta ve sargı etkisi oluşturma özelliklerini kaybetmektedir.
- Etriyelerin birleşim bölgesi boyunca devam ettirilmesi, birleşim bölgesinde hasar oluşumunu engellemekte ve hasarın güçsüz elemana doğru kaymasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak ABYYHY 1998 hükümlerinden olan güçlü kolon zayıf kiriş prensibinin de ödünsüz uygulanması sonucu birleşim bölgelerindeki

hasarlar kirişlere kayacak ve ani basınç kırılması göçmelerine sebep olmayacaktır.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında 2003-026 nolu proje ile destekleyen Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğüne teşekkürlerimizi sunarız.

### KAYNAKLAR

- Akın, S.K., 2006, Betonarme çerçevelerin Çapraz Çubuklar Yardımıyla Güçlendirilmesi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,
- ABYYHY, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Atımtay, E., 2000. Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bizim Büro Yayınevi.
- Ersoy, U., Özcebe, G., 2001. Betonarme Temel İlkeler TS 500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap, Evrim Yayınevi.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü , Ankara.