

BETONARME ÇERÇEVELERDE KISMİ KUŞAKLAMAMANIN ETKİNLİĞİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

S.Kamil AKIN^a Nail KARA^a M.Yaşar KALTAKCI^a

^aSelçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Özet

Deprem etkisi altındaki ülkelerde oluşturulan modern deprem yönetmeliklerinden önce yapılmış yapıların deprem güvenliğinin artırılması gerekmektedir. Bu konudaki çalışmalar tüm dünyada araştırmacıların başlıca çalışma konularındandır.

Yapılan güçlendirme çalışmalarının yapı davranışı üzerine etkilerinin irdelenmesi amacıyla yapılan deneyler ışığında en etkin, en ekonomik, en hızlı güçlendirme metodolojisi oluşturulmaya çalışılmaktadır.

Etkin güçlendirme metotlarından birisi de çelik kuşaklama ile yatay yüklere karşı güçlendirmedir. Bu güçlendirme metodunda kullanılan çelik kuşaklamaların kesitinin seçiminde yatay yük altında kuşaklamalarda oluşan basınç kuvvetinin sonucu olarak ortaya çıkan burkulma etkisi baskın rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, kuşaklamalar yalnızca çekme kuvveti alan çubuklar şeklinde oluşturulmuş ve kuşaklamamanın etkinliği 1/5 modellenmiş 3 katlı, 3 açıklıklı 4adet deney numunesinde tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuşaklama, betonarme çerçeve, güçlendirme, tersinir-tekrarlanır, yatay yük

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF PARTIAL BRACING ON RC FRAMES

Abstract

The structures which were designed according to the old earthquake codes sometimes need strengthening for lateral earthquake forces.

Most economic, most effective and rapid strengthening methods are investigated by the results of different strengthening techniques on the structural behavior.

Bracing is one of the effective strengthening techniques. On the other hand, sections of bracing members are not economical because of buckling under compression.

This study represents use of buckling free, tension only bracing members on the poorly reinforced RC frames. 1/5 modeled 4 RC frame specimen are tested under cyclic loading representing earthquake forces.

Keywords: bracing, rc frame, strengthening, lateral force

1. Giriş

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, rijitliği 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 merteye etkilerinin azaltılması ya da sınırlandırılması için yer değiştirmelerin sınırlandırılması da ancak rijitliğin artırılması ile mümkün olur.

Yapıda büyük hasarların ve tümünden 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.

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. [1]

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 mertebe etkileri nedeniyle sistemin geçmesine sebep olmaktadır. [2]

Bu çalışmada, 2 farklı donatı düzenine 2 farklı beton mukavemetine sahip 8 adet 3 katlı 3 açıklıklı 1/5 ölçekli betonarme çerçeve modeli depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Betonarme çerçevelerin deprem güvenliğinin artırılmasının amaçlandığı bu çalışmada toplam 8 adet 3 açıklıklı ve 3 katlı betonarme çerçeve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir.

Yapılan çalışma 5 ana safhada değerlendirilebilir. Bunlar sırasıyla;

1. Yükleme çerçevesinin oluşturulması,
 2. Deney numunelerinin hazırlanması,
 3. Ölçüm sistemi ve tekniğinin oluşturulması,
 4. Numunelerin test edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi,
- olarak sıralanabilir.

2.1. Yükleme çerçevesinin oluşturulması

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılacak bu tür çerçeve deneyleri için yeni bir yükleme çerçevesi oluşturulmasına karar verilerek çalışmalar başlatılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda her türlü deney çerçevesinin yerleştirilmesinde ve sabitlenerek yatay yük uygulanmasına imkan veren Şekil 1de detayları verilen çelik profil ve plakalardan oluşan yükleme sistemi oluşturulmuştur.

2.2. Deney numunelerinin hazırlanması,

Farklı özelliklere sahip 4 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;
- Epoksi ile çapraz filizlerinin ekilmesi;
- Çapraz donatıların eklenmesi ve kaynağının yapılması;



Şekil 1 Oluşturulan yatay yük çerçevesi

2.3. 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

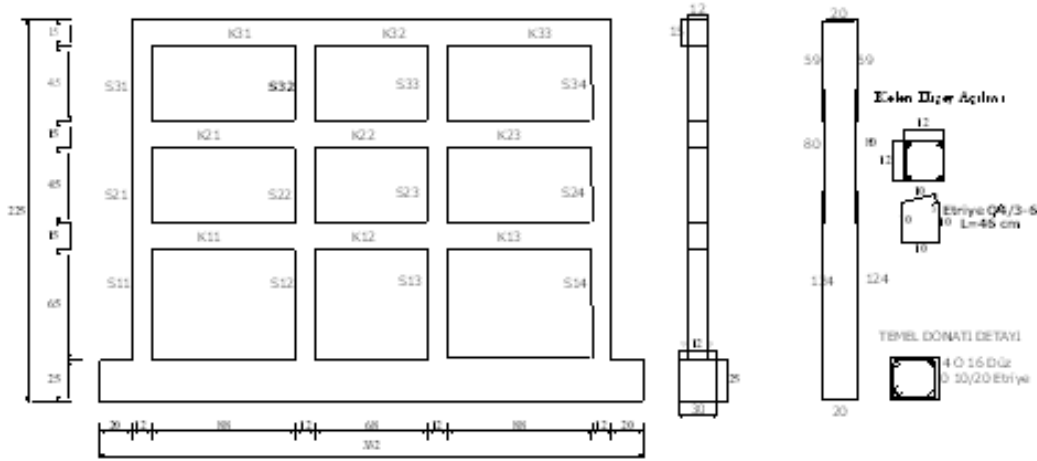
Kirişler için atalet momenti $I=b \cdot h^3 / 12 = 30 \cdot 50^3 / 12 = 312500 \text{ cm}^4$ olmaktadır. Kiriş için $b=12 \text{ cm}$ alındığında $h=13,56 \text{ cm}$ olur. Paspayı olarak $1,5 \text{ cm}$ alınırsa kiriş ebatları $12 \cdot 15 \text{ cm}$ olarak bulunmaktadır.

Kolonlarda $4\text{Ø}7$ ($153,86 \text{ mm}^2$) boyuna donatı kullanılmış olup donatı yüzdesi $\%1,07$ 'dir.

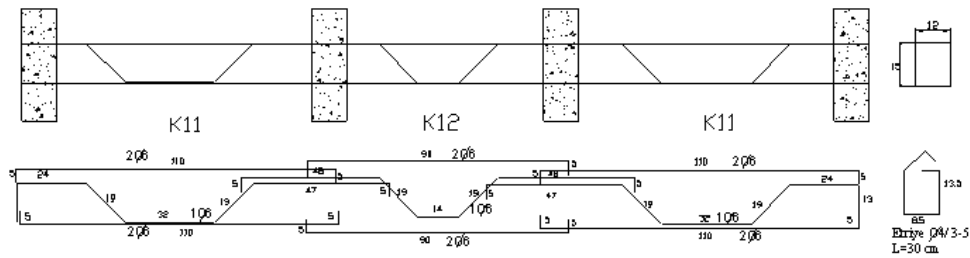
Kirişlerde $2\text{Ø}6$ düz, $2\text{Ø}6$ montaj ve $1\text{Ø}6$ pilye kullanılmıştır ($\rho = 0,004781$).

Rijit bir temel oluşturulması amacıyla temel ebatları $h=25 \text{ cm}$ $b=30 \text{ cm}$ olarak belirlenmiştir. Donatı olarak $4 \text{Ø}16$ düz ve $\text{Ø}8/20$ etriye kullanılmış, temel uçlarında kaldırma ve taşıma aparatlarının kolayca sıyrılmaması için etriye sıklaştırması yapılmıştır. Şekil 2'de numune ebatları ve düşey donatı şeması verilmektedir.

ABYYHY 1998 hükümlerine uygun olarak donatılandırılan numunelerdeki donatı düzeni 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 4'te etriye sıklaştırması yapılmış kolon donatıları, Şekil 5'te ise kolon kiriş birleşim bölgesinde devam ettirilmiş etriyeler görülmektedir.



Şekil 2 Numune ebatları ve düşey donatı şeması



Şekil 3 Kat kiriş donatıları



Şekil 4 Etriye sıklaştırması yapılmış kolon donatıları



Şekil 5 Kolon-Kiriş bölgesinde devam eden etriyeler ve sıklaştırma bölgesi

Etriyeleeri 90 derece gönyeli ,boyuna donatılarda kenetlenme boyu yetersiz, etriye sıklaştırması yapılmamış , kolon kiriş birleşim bölgesi etriyesiz olarak donatılan numuneler T2 olarak adlandırılmıştır. Şekil 6'da bu tür numunelere ait kolon kiriş birleşim bölgesi verilmektedir.



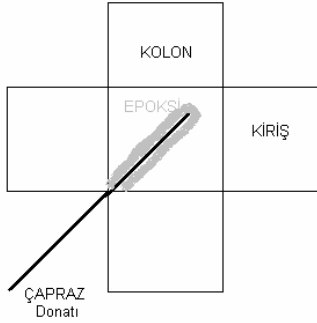
Şekil 6 T2 donatı düzenine sahip numunede etriyesiz kolon kiriş birleşim bölgesi

2.4. Güçlendirme için Kullanılan Çapraz Çubukların Yerleştirilmesi

Bu bölümde epoksi ile çapraz filizlerinin ekilmesi, çapraz donatıların eklenmesi, gerginin yapılması ve kaynakla ekleme yapılması hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan çaprazlama yöntemi şematik olarak Şekil 7'de verilmiş olup aşağıdaki basamaklardan oluşmuştur;

- Çaprazlama elemanlarının kolon kiriş birleşimine ekilmesi için, kullanılan epoksi üreticisi firmanın Kullanma kılavuzunda belirtilen şekilde 10 mm çapında ve 8 mm derinliğinde delikler açılmıştır.
- Açılan deliklerin tozu tel fırçalar yardımıyla iyice temizlenmiş, ardından kompresör yardımıyla tozdan tamamen arındırılmıştır.
- Çift bileşenli kendinden karışan epoksi deliğin $\frac{3}{4}$ 'üne kadar doldurulmuş ardından ankraj çubuğu döndürülerek açılan deliğe iyice yerleştirilmiştir; Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da bu işlemlerin yapılışı gösterilmektedir.
- Epoksi ile filiz ekiminin 1 gün sonrasında ekilen filizler gerdirilerek boşluk kalmayacak şekilde kaynatılmıştır. Şekil 11 ve Şekil 12'de bu işlemin detaylarını göstermektedir.



Şekil 7 Kullanılan çaprazlama detayı



Şekil 8 Epoksi enjeksiyonu



Şekil 9 Çapraz filizlerinin yerleştirilmesi



Şekil 10 Çapraz filizlerinin sabitlenmesi



Şekil 11 Çapraz filizlerinin gerdirilmesi



Şekil 12 Çaprazlar çubukların kaynaklanması

3. Deney Düzeneği Ve Ölçüm Tekniği

Bu çalışmada çok katlı çok açıklıklı, betonarme çerçevelerin çelik çaprazlarla güçlendirilmesiyle ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalar, S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanmış olan 10 adet betonarme çerçeve numunesi, 250 kN kapasiteli rijit çelik yükleme çerçevesi sistemi kullanılarak, depremi benzeştiren, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Deneylerde bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır.

3.1. Deney Düzeneği

Hazırlanmış olan betonarme çerçeve numunelerini denemek için, rijit yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Rijit yükleme çerçevesi, farklı çelik profillerden imal edilmiş ve üst kat seviyesinde yatay yük uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem, deney numunelerinin ankastre mesnetlenmesine imkan veren rijit bir taban plakasına sahiptir. Bu plaka 30 mm kalınlığında platineden ve 100 mm aralıklarla 24 mm çapında delikler açılarak imal edilmiştir. Denenecek çerçeveler, bu rijit taban plakasına 22 mm çapında transmisyon çeliği kullanılarak sabitlenmiş ve böylece elemanın herhangi bir dönme ve ötelenme yapması engellenmiştir. Deney elemanlarına yatay yük, rijit yükleme çerçevesinin düşey kolonlarına mesnetlendirilmiş durumdaki U profilinden oluşturulan ve yükleme plakasının üzerinde sabitlenmiş olan hidrolik kriko ve çekme çubuğu yardımıyla uygulanmıştır. Hidrolik kriko sistemi, iki yönlü çalışabilmekte olup, numuneye hem çekme hem de basınç kuvveti uygulayabilmektedir. Basınç durumunda

hidrolik kriko sistemi bulon ve platine yardımıyla bağlı olduğu numuneyi itmekte, çekme durumunda ise bu uçtan diğer uca kadar uzanan ve diğer uçtaki platineye uçlarından bulonla birleştirilen 4 adet 30 mm çapındaki transmisyon çeliği yardımıyla numuneyi çekmektedir. Böylece numunenin uç bölgelerinde ezilme olmadan numuneye tersinir-tekrarlanır yatay yük uygulanmıştır. Deney numunelerinin düzlem dışına çıkıp yana yatmasını engellemek için, rijit yükleme çerçevesinin platineden imal edilmiş olan rijit taban plakasına sabitlenmiş 8 adet kolon ve bunların arasındaki çapraz bağlantılardan oluşan ve numunenin düzlem hareketini engellemeyecek biçimde üst kat girişinin çelik makaraların arasında hareket etmesine imkan veren bir düzenek kullanılmıştır. Stabilité için kullanılan bu elemanlar, oluşturulan kayma düzeneği sayesinde numunenin yatay yük doğrultusundaki hareketine engel olmamakta ve yük almayarak sadece numunenin yanal stabilitesini sağlamaktadır. Yükleme plakası üzerindeki hidrolik kriko ile numune arasındaki bölgeye yatay yük okumalarını yapabilmek için 500 kN itme ve çekme kapasiteli yük hücresi yerleştirilmiştir. Bu sistemde, yük hücresi ve hidrolik kriko birbirleri ile temas halinde olup; hidrolik kriko, her iki durumda(çekme ve basınç) da yük hücresine basınç kuvveti uygulamakta, böylece yük hücresi numuneye uygulanan yükü okuyabilmektedir. Çerçeveye uygulanan yükün her zaman yatay konumda olabilmesi için, çerçeve üzerindeki platineyle transmisyon çeliklerinin ankrajının yapıldığı platine arasına çelik küre (mafsal) konulmuştur.

Deney numunelerinin, düşey elemanlarına, kenar kolonlara 20 kN, orta kolonlara 40 kN eksenel düşey kuvvet, 12 mm çapında olan 50 kN taşıma kapasiteli çelik halat kullanılarak uygulanmıştır. Uygulanan düşey yükün büyüklüğünü okumak için 200 kN kapasiteli yük ölçer kullanılmıştır.

Yükleme çerçevesi, pompa ve yük hücrelerinden oluşan yükleme düzeneğinin yatay ve düşey hareketini ve dönmesini sıfıra yakın değerlerde tutacak ve deneydeki ölçümlere etki etmeyecek büyüklükte olması için mümkün olduğunca rijit tasarlanmıştır.

3.2. Ölçme Tekniği

Deneysel yatay ve düşey yük ölçümleri yük ölçerler ile, yer değiştirmeler ise LVDT deplasman ölçerler kullanılarak yapılmıştır. Bu aletlerden okunan değerler anında bilgisayara CoDA isimli veri toplama(data logger) sistemi vasıtasıyla aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.

3.3. Yük Ölçümleri

Deney numunelerine hidrolik kriko yardımıyla çekme veya basınç olarak uygulanan yatay yük ve manuel hidrolik kriko yardımıyla uygulanan sabit düşey yük değerleri yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. Yatay yükü ölçmek için kullanılan 500 kN kapasiteli yük hücresi, yük uygulandığında basınca maruz kalmakta ve bu surette çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücresinin çıkış ucu data logger kutusuna bağlı olup, yük hücresinden alınan gerilme data logger kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Yük hücresinden okunan yük değeri bilgisayar ekranından da takip edilebilmektedir. Düşey yük için 200 kN kapasiteli Taralsa marka tek yönlü yük ölçer ve ENERPAC marka hidrolik kriko kullanılmıştır.

Deneysel kullanılan yük hücreleri ve bağlantı sistemleri Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15'te görülmektedir.



Şekil 13 Deneysel kullanılan yatay yük ölçüm düzeneği



Şekil 14 Deneysel kullanılan düşey yük ölçüm düzeneği



Şekil 15 Deneylerde kullanılan düzenek ve yükleme sistemi

3.4. Yer Değiştirmelerin Ölçülmesi

Deneyler sırasında, betonarme çerçevelerin kolon ve kirişlerinde ve ilave çelik çaprazlı tuğla dolgu duvarlarda meydana gelen yer değiştirmeler, boy kısılma 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.

3.5. Yük ve Yer Değiştirme 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 ± 0.5 , ± 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 16’da görülmektedir.



Şekil 16 Yük ve yer değiştirme okumalarını değerlendiren veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği

3.6. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği

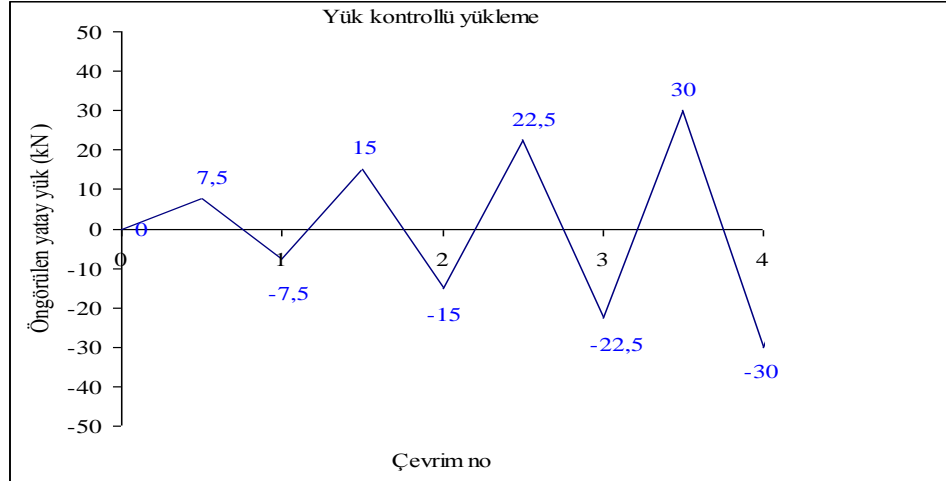
Deneylerde yapılacak yer değiştirme ve şekil değiştirme ölçümleri için LVDT(Linear Variable Displacement Transducer) ölçüm aletleri kullanılmıştır. Deneysel verilerin alındığı ölçüm yerleri Şekil 4.7’de görülmektedir. Her katın temele göre yatay yer değiştirmesinin ölçülmesi için 100 ve 200 mm uzunluğunda LVDT’ler kullanılmıştır. Bu ölçümler kullanılarak, 1. kat, 2. kat ve 3. kat için yük deplasman eğrileri çizilmiştir. Şekil 17’de deney numuneleri için ölçüm düzeneği görülmektedir.



Şekil 17 Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği

3.7. Çerçeve Deneylerinde Uygulanan Yükleme Programı

Deneylerde uygulanan yükleme programı, sistemin 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. Deplasman artışları ise 10 mm lik adımlarla yapılmıştır. Şekil 18'de 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 18 Deney numuneleri için uygulanan yükleme programı

3.8. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

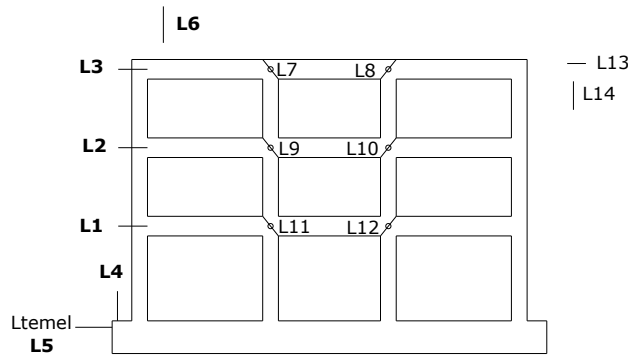
Deneyle esnasında LVDT ve yük hücresinden alınan okuma değerlerinden hareketle, deney numunelerinde görülen davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Her deney elemanı için, yük geçmişi ve oluşan hasarlar anlatılmış, yatay yük-tepe deplasmanı ilişkisi, dayanım zarfı grafikleri çizilmiş ve tüketilen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

3.9. Yük Geçmişi ve Deplasman Geçmişi Grafiklerinin Elde Edilmesi

Deneylelerin 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.

3.10. Yük-Tepe Deplasmanı Grafiklerinin Elde Edilmesi

Yük-tepe deplasmanı grafiklerinin elde edilmesi için, deney sırasında yük hücresinden okunan yük değerleriyle, her katta bulunan deplasman değerleri belirlenmiştir. Bu deplasman değerinden ise temel deplasmanı çıkarılmıştır. Diğer taraftan elde edilen veriler ışığında temel deplasmanının olmadığı söylenebilir.



Şekil19 LVDT ölçüm yerleri

Yük uygulanan tepe noktasının ölçülen yatay deplasmanı,

$$\Delta_{\text{Tepe}} = \text{LVDT 3} - \text{LVDT Temel}$$

2. kat seviyesindeki ölçülen yatay deplasman,

$$\Delta_{2.\text{kat}} = \text{LVDT 2} - \text{LVDT Temel}$$

1. kat seviyesindeki ölçülen yatay deplasman,

$$\Delta_{1.\text{kat}} = \text{LVDT 1} - \text{LVDT Temel}$$

Temelde ölçülen yatay deplasman(tabanda),

$$\Delta_{\text{Temel}} = \text{LVDT Temel}$$

3.11. Dayanım Zarfı Grafiklerinin Elde Edilmesi

Dayanım zarfı grafiklerinin çizdirilmesi için, her çevrim için 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.

4. Deney Sonuçları

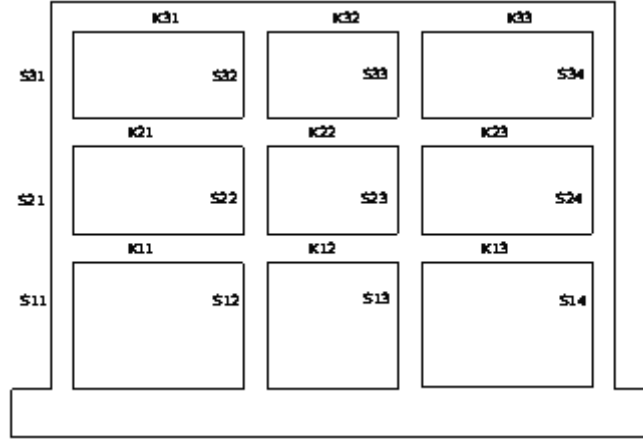
Bu bölümde, deneylerden elde edilen sonuçlar ve davranış detaylı bir biçimde sunulmaktadır.

Her deneye ait yatay yük-1., 2., 3. kat deplasmanı grafikleri ile deney sonundaki görüntüleri verilmiştir

Deneyler esnasında yatay yük sadece 3. kat seviyesinden uygulanmıştır.

DeneySEL ölçümlerin değerlendirilmesiyle ilgili daha ayrıntılı bilgi Bölüm 4'te bulunmaktadır.

Deney sırasında gözlenen davranış anlatılmış olup giriş ve kolon elemanlarında kullanılan numaralandırma sistemi Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19 Betonarme çerçeve deney numunelerindeki elemanların numaralandırılması

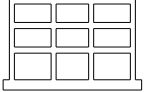
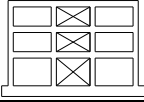
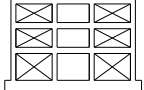
Deney elemanlarının isimlendirilmesinde ilk indis deney numarasını (01,02,... 10 gibi) , ikinci indis donatı düzenini (DT1 ve DT2 gibi) , 3. indis beton kalitesini (C20, C12 gibi), 4. indis kuşaklamamanın yerini (ortada kuşaklı için OK , yanlarda kuşaklama için KK, tamamen kuşaklı numune için TK, kuşaklamasız numune için HK gibi), son indis ise dolgu duvar bulunan bölgeyi (Ortası dolgu duvarlı için OD, Kenarları dolgu duvarlı için KD, duvarsız için HD gibi) belirtmektedir.

Bu sisteme ve deney numunelerine göre oluşturulan kodlama Çizelge 1’de verilmiştir.

4.1. 1 nolu Deney (01DT1C20HKHD)

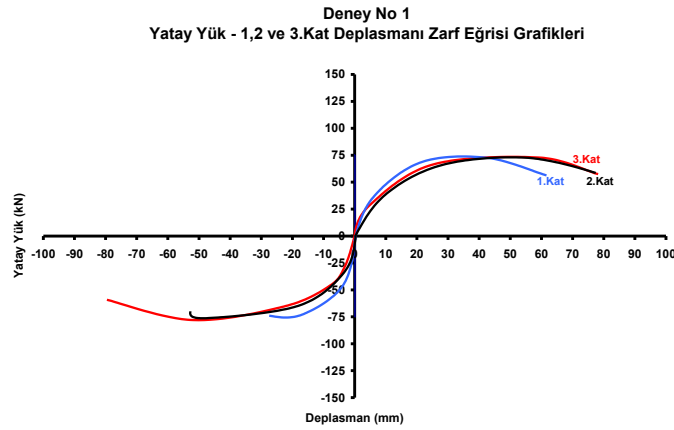
1 nolu deney numunesi T1 donatı düzenine sahiptir. Etriyeler birleşim bölgesinde sıklaştırılmış ve devam ettirilmiştir. Etriyelerin uçları 135° kancalı olarak imal [4] ve montaj edilmiştir. Beton kalitesi C20’dir. Numunenin ABYYHY 1998 hükümlerinde verilen donatı düzeni ve 1.derece deprem bölgelerinde kullanılacak beton kalitesini sağlaması amaçlanmıştır. Bu deney ABYYHY 1998 hükümleri ışığında etriye düzeni depreme dayanıklı olarak tasarlanmış referans numune elde etmek amacıyla yapılmıştır. Deney numunesinin deney sonundaki görünüşü Şekil 20’de, göstermektedir. Şekil 21’de1 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat deplasmanı grafikleri verilmiştir.

Çizelge 1 Deney numunelerinin kodlama sistemi ve şematik görünüşü

Numune No	Beton Sınıfı	Donatı Düzeni	Şematik Görünüşü
1-2	C 20-12	T 1-T2	
3	C 12	T 2	
4	C 12	T 2	



Şekil 20 1 nolu deney numunesinin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 21 1 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat deplasmanı grafikleri

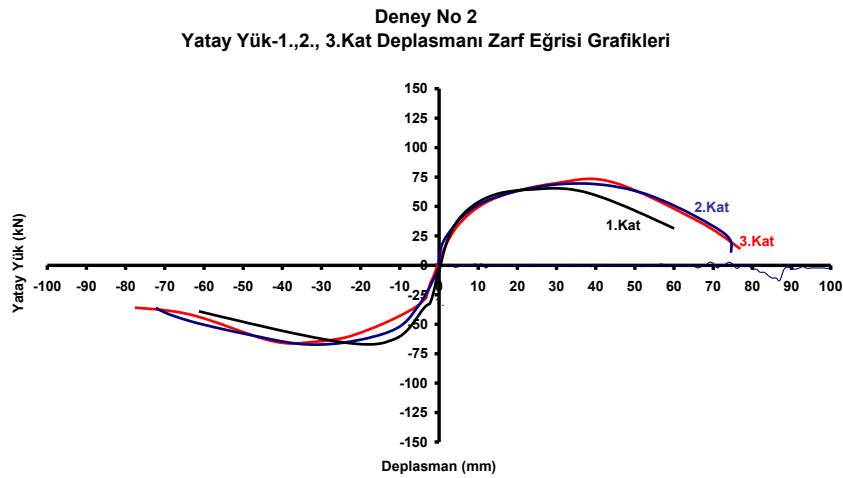
4.2. 2 nolu Deney (02DT2C12HKHD)

2 nolu deney numunesi T2 donatı düzenine sahiptir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye yoktur. Etriyeler 90° gönyeli olarak imal ve montaj edilmişlerdir. Beton sınıfı C12'dir. Aderans boyu kolon ek bölgelerinde 30 Ø ile sınırlandırılmıştır. Bu deneyin amacı kötü ve yatay kuvvetlere karşı güçlendirilmesi gereken referans numune elde etmektir.

Deney numunesinin deney sonundaki görünüşü Şekil 22'de, göstermektedir. Şekil 23'te 2 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat deplasmanı grafikleri verilmiştir.



Şekil 22 2 nolu deney numunesinin deney sonundaki görüntüsü



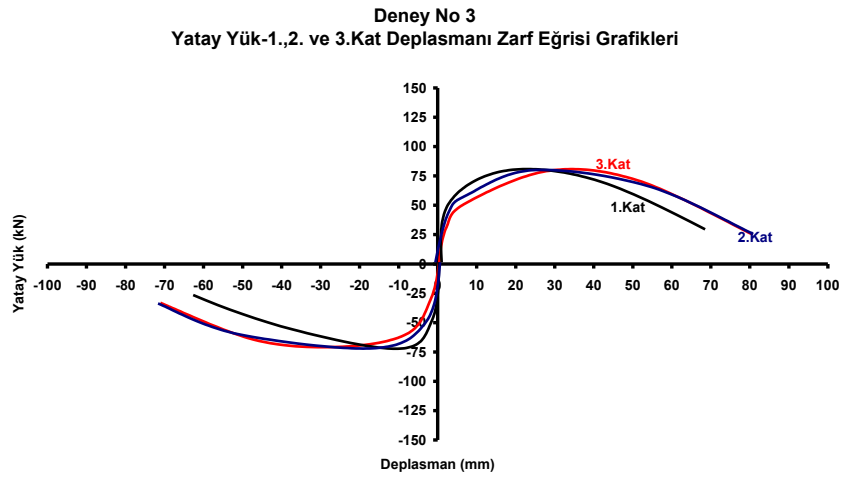
Şekil 23 2 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat deplasmanı grafikleri

4.3. 3 nolu Deney (03DT2C12OKHD)

3 nolu deney numunesi T2 donatı düzenine sahip olup kolon ve kiriş uç bölgelerinde etriye sıklaştırması yoktur. Etriyeler 90 derece gönyelenmiş olup kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye yoktur. Orta bölgesinde kuşaklama yapılmıştır. Beton kalitesi C12 'dir. Bu deneyin amacı yatay kuvvetlere karşı orta açıklıkta kuşaklama ile güçlendirilmiş numuneye ait davranışın incelenmesi ve kuşaklamanın etkinliğinin araştırılmasıdır. Deney numunesinin deneyden sonraki görünüşü Şekil 24'te verilmiş olup . Şekil 25'te 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat deplasmanı grafikleri verilmiştir.



Şekil 24 3 nolu deney numunesinin deney sonundaki görünüşü



Şekil 25 3 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat deplasmanı grafikleri

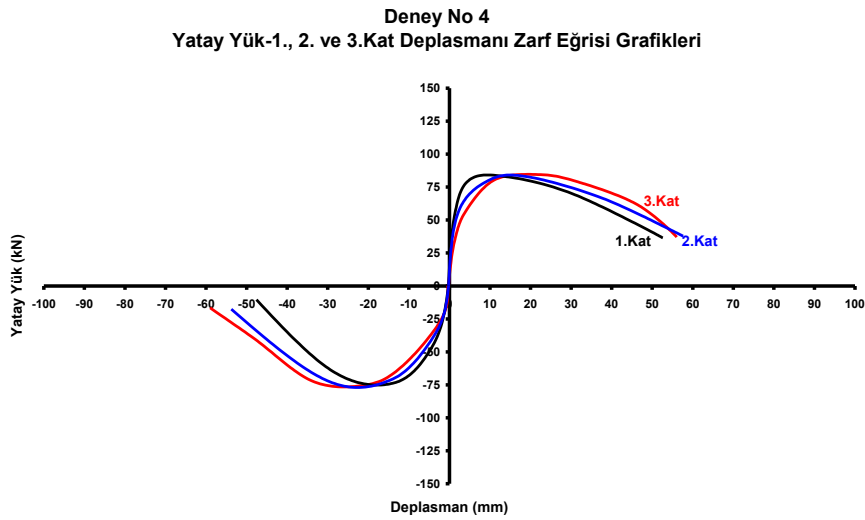
4.4. 4 nolu Deney (04DT2C12KKHD)

4 nolu deney numunesi T2 donatı düzenine sahiptir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye yoktur. Etriyeler 90° gönyeli olarak imal ve montaj edilmişlerdir. Beton sınıfı C12'dir. Aderans boyu kolon ek bölgelerinde 30 Ø ile sınırlandırılmıştır.

Bu deneyin amacı kötü ve yatay kuvvetlere karşı güçlendirilmesi gereken referans numune elde etmektir. Deney numunesinin deneyden sonraki görünüşü Şekil 26'da verilmiş olup Şekil 27'de 4 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat deplasmanı grafikleri verilmiştir.



Şekil 26 4 nolu deney numunesinin deney sonundaki görüntüsü



Şekil 27 4 nolu deney numunesinin yatay yük-1, 2, 3. kat deplasmanı grafikleri

4.5. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deney modelinin Türkiye’de olası bir depremde hasar görmesi kuvvetle muhtemel yapıları temsil etmesi amaçlanmıştır. 1998 ABYYHY [3] hükümleri çerçevesinde donatılandırılmış ve inşa edilen binaları temsil etmesi amacıyla etriyeleri 135 derece kancalı, kolon kiriş 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 ise etriyeleri 90 derece gönyeli, birleşim bölgesinde etriyesi devam etmeyen ve C12 beton mukavemetine sahip numunelerdir.

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

Kuşaklamalar 3 açıklıklı model çerçevenin orta açıklıkta, her iki kenar açıklıkta bina yüksekliği boyunca devam ettirilmiştir.

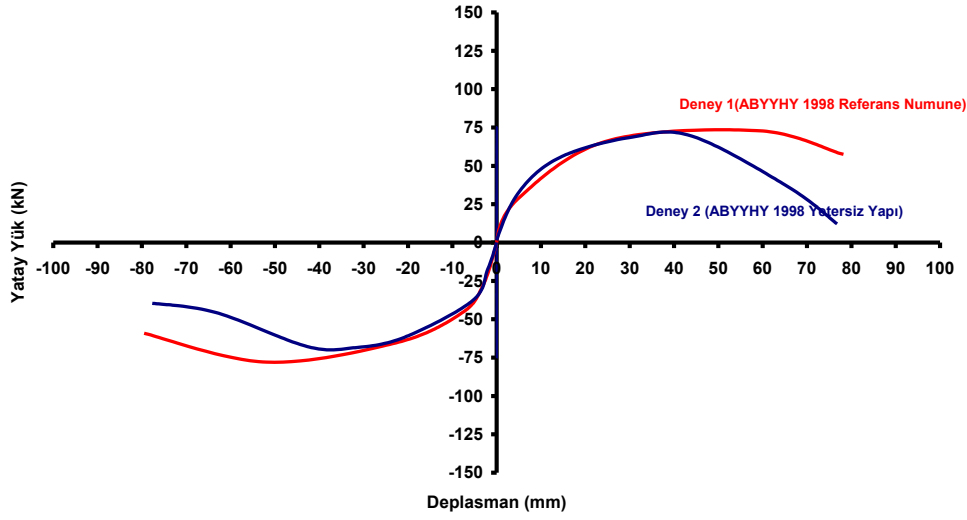
Sonuçlar 2 ayrı grupta incelenecektir;

1.grupta etriye düzeni ABYYHY1998 hükümlerine uygun olan ve olmayan yapıları temsil eden kuşaklamasız numuneler karşılaştırılacak, 2.grupta kuşaklamanın çerçevelerde etkisi karşılaştırılacaktır.

4.6. Kuşaklamasız Numunelerin Karşılaştırılması

Bu bölümde ABYYHY hükümlerine göre etriye düzeni oluşturulan numune ile etriye inşa edilmiş kötü yapıları temsil eden numuneden elde edilen sonuçlar irdelenecektir. 01DT1C20HKHD ve 02DT2C12HKHD numunelerine ait yatay yük – tepe deplasman grafiği Şekil 28’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

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



Şekil 28 Referans numunelerin karşılaştırılması

Akma yükü değeri olarak kabul edilen 30 kN yatay yük seviyesine kadar numunelerin özdeş davrandığı, sonrasında ise ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmış numunenin sünek davranış gösterdiği, etriye düzensizliği olan numunenin ise gevrek bir davranış göstererek göçmeye gittiği görülmektedir.

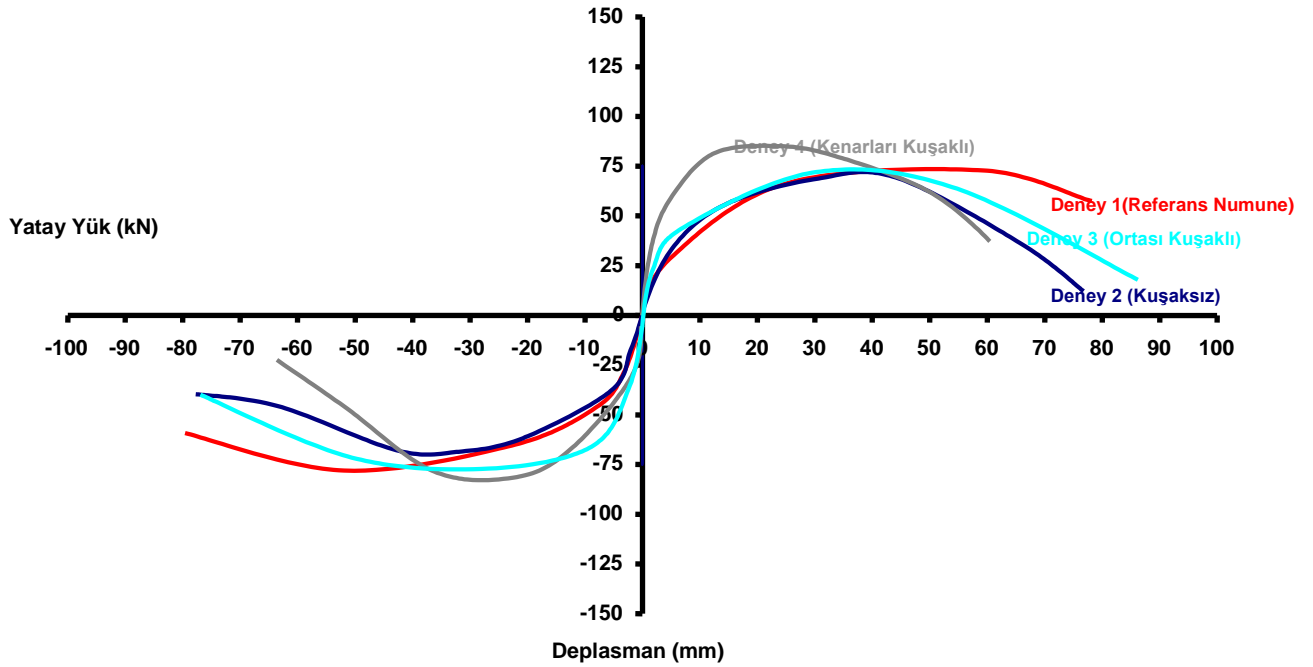
ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmış numunenin süneklik katsayısı 6,20 olarak hesaplanırken, etriye düzensizliği olan numunede süneklik katsayısı 4,60 düzeyindedir. ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmış numunede maksimum yatay yük 45 mm deplasman değerinde 80 kN iken, yetersiz etriye düzenine sahip numune 50 mm deplasman değerinde 75 kN yatay yük kapasitesine sahip olmaktadır. ABYYHY 1998 hükümlerine göre etriye düzeni sağlanmış numunenin, yetersiz etriye düzenine sahip numuneye göre, süneklikte %35 , yatay yük kapasitesinde % 6.67 artış gerçekleşmiştir. [5]

Etriye kullanımı ve yerleştirilmesinin önemi elde edilen sonuçlarda açıkça görülmektedir.

4.7. Kuşaklamanın Yetersiz Donatı Düzenine Sahip Numunelerde Etkisinin Karşılaştırılması

Yetersiz etriye düzenine sahip kuşaklanmış numunelerden elde edilen dayanım zarfı grafiği Şekil 29’da verilmiş olup Çizelge 2 maksimum yatay yük kapasitelerini, Çizelge 3 süneklik düzeylerini karşılaştırmalı olarak vermektedir.

1-2-3-4Nolu Deneylerin Yatay Yük-Tepe Deplasmanı Zarf Eğrisi Grafikleri



Şekil 29 Yetersiz etriye düzenine sahip numunelerde dayanım zarfı grafikleri

Çizelge 2 Maksimum yatay yük kapasiteleri değişimi

DENEY NO	KODLAMA	Maksimum Yük
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	80 kN
Deney 2	02DT2C12HKHD	75 kN
Deney 3	03DT2C12OKHD	82 kN
Deney 4	04DT2C12KKHD	85 kN

Çizelge 3 Süneklik düzeyleri değişimi

DENEY NO	KODLAMA	Süneklik Düzeyi
Deney 1 (Referans)	01DT1C20HKHD	6,20
Deney 2	02DT2C12HKHD	4,60
Deney 3	03DT2C12OKHD	6,25
Deney 4	04DT2C12KKHD	4,75

Çizelgeler ve elde edilen dayanım zarfı grafiklerinin irdelenmesinden elde edilen sonuçlara göre kuşaklama miktarı arttıkça yetersiz etriye düzenine sahip kuşaklamasız numuneye göre yatay yük kapasitesi, süneklik (kenarları kuşaklı numune hariç) kademeli olarak artmaktadır.[5]

Kuşaklamanın etkinliği, yetersiz etriye düzenine sahip çerçevelerin, tek açıklıkta uygulamada yatay yük kapasitesi ve süneklik yönünden referans numuneye yaklaşmasını, iki ve daha fazla açıklıkta kuşaklamada ise yatay yük kapasitesi yönünden daha iyi sonuçlar vermesini sağlamıştır.

Kenarlarda kuşaklamalı numunelerdeki süneklik azalımı yapının perde ve çerçevesi sistemden, boşluklu perdeli sistem davranışına geçiş yapmasına bağlanabilir.[6]

Çizelge 4 30kN Yatay yük değerinde oluşan deplasman değerleri

DENEY NO	KODLAMA	30 kN Yatay Yük Değerinde Deplasman
Deney 1	01DT1C20HKHD	4,50 mm
Deney 2	02DT2C12HKHD	5,00 mm
Deney 3	03DT2C12OKHD	2,50 mm
Deney 4	04DT2C12KKHD	2,00 mm

Çizelgelerin irdelenmesi ve deney ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ışığında zemin kat kuşaklama ankrajlarının çözülmesiyle birlikte deney çerçeveleri ani yük azalışının ardından hızla göçmeye gitmektedirler. Kuşaklama ankrajlarının bulunduğu birleşim bölgesinde etriye ihtiva etmeyen numunelerde sargı etkisi olmamasından ötürü sıyrılmaya etriyeli birleşim bölgesine sahip numunelere göre daha kolay gerçekleşmekte, bunun sonucu olarak yatay yük taşıma kapasitesi olumsuz etkilenmektedir. Deney no 3, deney no 4 ve deney no 8'de maksimum yük değerindeki deplasman kapasiteleri etriyesiz birleşim bölgesindeki sargı etkisinin olmamasından ötürü düşmüştür

Deney sonuçları, hasar ve göçme mekanizmalarının değerlendirilmesi sonucunda;

- Sistem sünekliği ortada kuşaklama olan sistemde çerçeve davranışına yakın özellik gösterirken, aynı bölgeye duvar eklenmesiyle perdeli çerçeve davranışına yönelmekte, bunun sonucu olarak gerek yatay yük gerekse enerji tüketme kapasitesi artmaktadır.
- Etriyelerin sistem sünekliği, enerji tüketme kapasitesini, yatay yük kapasitesini artırdığı gözlemlenmiştir.
- Etriye kancalarının 135 derece kancalı olarak imali etriye aderans boyunu artırarak sargı etkisini artırmakta ve bunun sonucu olarak gerek düşey, gerekse yatay yük kapasitesine olumlu etkiler yapmaktadır.
- Etriyelerin birleşim bölgesi boyunca devam ettirilmesi, birleşim bölgesinde hasar oluşumunu engellemekte ve hasarın güçsüz elemana doğru kaymasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak güçlü kolon zayıf kiriş prensibinin de ödünsüz uygulanması sonucu birleşim bölgelerindeki hasarlar kirişlere kayacak ve ani basınç kırılması göçmelerine sebep olmayacaktır.
- Kuşaklama sargı etkisinin oluşturduğu aderans artışı sebebiyle etriyeli birleşim bölgesine sahip sistemlerde epoksi ile ankraj daha etkin sonuçlar vermektedir.
- Kuşaklamanın etkinliği zemin kat hizasında ankraj boyunun artırılması ile artırılabilir.
- Kuşaklamanın zemin katta tüm açıklıklarda, üst katlarda ise azalan bir şekilde uygulanması sistemin üst katlarında perde davranışından, çerçeve davranışına kaymasına yardımcı olacaktır. Bu konu ileri bir çalışma konusu içinde irdelenmelidir.
- Beton kalitesi epoksi ile yapılan ankraj kuvvetini, dolayısıyla yatay yük kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Düşük beton kalitesine sahip sistemlerde epoksi ankraj sıyrılmalarının önlenmesi için aderans boyu artırılmalıdır.
- Kenarlarda kuşaklama sonucu sistemin yatay yük kapasitesi artmış olsa bile, oluşan kuvvet çifti sebebiyle kenar kolonlarda artan aksenal kuvvetler sebebiyle kolonlarda basınç kırılmalarına sebep olmakta ve sistemin sünek davranışını azaltmaktadır.

- Sünekliği kontrol altında tutmak için kuşaklamalar binanın orta bölgelerinde yapılmalı, kenar açıklıklarda yapılması halinde ortaya çıkan boşluklu perde davranışı sonucu oluşan süneklik azalmasından kaçınılmalıdır.

Teşekkür

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

Kaynaklar

- [1] ERSOY Uğur, ÖZCEBE Güney, Betonarme Temel İlkeler TS 500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap, Evrim Yayınevi, 2001
- [2] ATIMTAY Ergin, Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bizim Büro Yayınevi, 2000
- [3] ABYYHY (1998) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü
- [4] TS 500-2000, (2000), Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü , Ankara
- [5] AKIN S.K., KARA N.(2003) Betonarme çerçevelerin Çapraz Çubuklar Yardımıyla Güçlendirilmesi, Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü, 2003-026 nolu Proje, Konya
- [6] AKIN Süleyman Kamil, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006