



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜNEK OLMAYAN BETONARME ÇERÇEVELERDE YUMUŞAK KAT OLUŞUMU ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Tevfik Fikret ÖĞÜTÇÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran–2016

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜNEK OLMAYAN BETONARME ÇERÇEVELERDE YUMUŞAK KAT OLUŞUMU ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Tevfik Fikret ÖĞÜTÇÜ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK

2016, 100 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK
Doç. Dr. M.Hakan ARSLAN
Yrd.Doç. Dr. M.Alpaslan KÖROĞLU

Ülkemiz Dünya'da depremselliği en yüksek olan ülkelerden birisidir. Son yıllarda yaşanan depremlerden sonra yapılan araştırma ve inceleme sonuçlarına göre inşa edilmiş yapıların büyük kısmında tasarım, yapım, işçilik ve malzeme kusurlarının olduğu görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı ülkemizdeki yapı stoğunun bir an önce incelenip, uygun güçlendirme yöntemleri ile güçlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Yumuşak kat düzensizliği Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de yer alan ve ülkemizde meydana gelen depremlerde can ve mal kayıplarına yol açan en önemli nedenlerden biridir. Yumuşat kat özellikle zemin katların ticari amaçlarla kullanılmasından dolayı, bu katlarda dolgu duvarların kaldırılmasıyla oluşmaktadır. Bu durum da ülkemizde çok sık karşılaşılan bir durumdur. Bu nedenle yumuşak kat oluşumuna sahip binalarda meydana gelecek hasarların ve göçmelerin önlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada da bu amaca yönelik bazı yöntemler denenmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında 1/3 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı betonarme deney numuneleri test edilmiştir. Depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükleme uygulanmıştır. İlk deney numunesi her iki katın da dolgu duvarlı olduğu referans numunedir. İkinci deney numunesi sadece üst katın dolgu duvarlı olduğu (ticari amaçlar için zemin katında duvar bulunmayan) yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevedir. Üçüncü deneyde, 2. deneyde test edilen yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevede zemin katta ters V çaprazlarla bir takviye yapılmıştır. 4. Deneyde ise yine yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevede zemin katta X çaprazla takviye yapılmıştır.

Test edilen bu deney elemanlarına ait histerezis eğrileri, zarf eğrileri ve tüketilen enerji grafikleri verilmiş, bu deney elemanları arasındaki farklar incelenerek yorumlanmıştır. Son bölümde ise elde edilen deneysel sonuçlar irdelenerek değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, deprem davranışı, güçlendirme, tasarım ve yapım kusurları

ABSTRACT

MS THESIS

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON SOFT STORY FORMATION AT THE NONDUCTILE RC FRAMES

Tevfik Fikret ÖĞÜTÇÜ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

2016, 100 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Assoc. Prof. Dr. M.Hakan ARSLAN
Assist. Prof. Dr. M.Alpaslan KÖROĞLU

Our country is one of the countries which have high seismicity in the world. According to the results of the search and analyzing which was made after earthquakes that happened in recent years; it was seen that there are design, building, and material defects on the large part of existing structures. Therefore as soon as possible searching and then strengthening with suitable strengthening methods in our country's structure stock was became obligatory.

The soft-storey effect, which listed in Turkish Earthquake Code 2007, is one of the main causes of damage sustained by RC buildings during earthquakes. Soft storey is formed by removing of infilled walls on the ground floor especially because of ground floors are used as commercial purposes. This case is very common in Turkey. Therefore prevent of damages and collapse that will happen in the buildings which has soft storey formation is extremity important. In this study some alternative strengthening methods were tested.

In this thesis, reinforced concrete test specimens which have 1/3 scaled, two storeys and single span were tested. Reverse cyclic loading that simulates earthquake effect was applied. First test specimen is reference specimen. The second test specimen was the frame that is just infilled of the upper storey (no walls on the ground storey for commercial purposes) with soft storey irregularities. In the third specimen, the specimen which was tested in the second test with soft storey irregularity, strengthened with diagonal inverted V steel profiles on the ground storey. In the fourth specimen, the same frame was strengthened with X bracings on the ground storey.

Hysteresis curves, envelope curves and dissipated energy graphics which are belongs to these test specimens were given; they were interpreted by searching the differences between these test specimens. At final chapter obtained experimental results were evaluated and suggestions were made.

Key Words: Reinforced concrete frame, earthquake response, strengthening, design and building defect

ÖNSÖZ

Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde, hazırlamış olduğum bu Yüksek Lisans tezi çalışması süresince bana her konuda destek olan, bilgi ve emeğini esirgemeyen çok değerli Sayın Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK hocama katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın labaratuar ve diğer aşamalarında yardım ve desteklerini gördüğüm hocam Doç.Dr. Hasan H.KORKMAZ ve İnşaat Mühendisliği Deprem Araştırma Laboratuvarı Teknisyeni Yüksel ÇİFTÇİ'ye, bana yardımcı ve destek olan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimim ve yüksek lisans çalışmam sırasında bana güvenen ve yalnız bırakmayan çok sevdiğim aileme de teşekkür etmeyi borç bilirim.

Tevfik Fikret ÖĞÜTÇÜ
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**

TEZ BİLDİRİMİ ..... **iii**

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Deprem 3
1.1.1. Türkiye'nin Depremselliği 4
1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı 5
1.2.1. Hafiflik 6
1.2.2. Basitlik ve simetri 6
1.2.3. Düzgünlük ve süreklilik 7
1.2.4. Rijitlik ve dayanım 8
1.2.5. Göçme modu 10
1.2.6. Süneklik 10
1.2.7. Temel zemini koşulları 11
1.3. Taşıyıcı Sistemde Yumuşak Kat Hasarı 11
1.4. Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme 14
1.4.1. Kolonların güçlendirilmesi 14
1.4.2. Kirişlerin güçlendirilmesi 15
1.4.3. Kiriş-Kolon birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi 15
1.4.4. Perdelerle güçlendirme 17
1.4.5. Çelik elemanlarla güçlendirme 17
1.4.6. Dolgu duvarların güçlendirilmesi 19
1.5. Çalışmanın Amacı 19
1.6. Çalışmanın Önemi 21

2. KAYNAK ARAŞTIRILMASI **23**

3. METERYAL VE YÖNTEM **36**

3.1. Deney Numuneleri 37
3.1.1. Deney numunelerinin boyutları 39
3.1.2. Deney numunelerinin detayları 40
3.1.2.1.Betonarme çerçeve detayları 40
3.1.3. Deney numunelerinin malzeme özellikleri 44
3.1.3.1.Beton 44
3.1.3.2.Donatı 45
3.1.4. Deney numunelerinin hazırlanması 46

3.1.4.1.Betonarme çerçevelerin hazırlanması 46
3.1.4.2.Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin hazırlanması.....49
3.1.4.2.1.İki katı tuğla dolgu duvarlı numune 49
3.1.4.2.2.Üst katı tuğla dolgu duvarlı numune 50
3.1.4.3.Güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin hazırlanması.....51
3.1.4.3.1.Merkezi X çelik çapraz ile güçlendirilmiş numune 51
3.1.4.3.2.Merkezi V çelik çapraz ile güçlendirilmiş numune 54
3.2. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği 56
3.2.1. Yükleme düzeneği 57
3.2.2. Ölçüm tekniği 58
3.2.2.1.Yük ölçümleri 59
3.2.2.2.Yer değiştirmelerin ölçülmesi.....59

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 62

4.1. Deney Sonuçları 62
4.1.1. Deney elemanı-1 (DN1-RÇ).....62
4.1.2. Deney elemanı-2 (DN2-YKÇ).....70
4.1.3. Deney elemanı-3 (DN3-XÇAP) 76
4.1.4. Deney elemanı-4 (DN4-VÇAP) 83
4.2. Deney Sonuçlarının karşılaştırılması.....90

5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....94

5.1. Sonuçlar 94
5.2. Öneriler 96

KAYNAKLAR 97

ÖZGEÇMİŞ.....101

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_{st} : Kolon boyuna donatı alanı, mm^2
Aw : Kolon enkesiti etkin gövde alanı, mm^2
b : Kolon kesit genişliği, mm
b_w : Kiriş veya perde duvar kalınlığı, mm
f_c : Beton basınç dayanımı, MPa
f_{ck} : Beton karakteristik basınç dayanımı, MPa
f_{ctd} : Beton çekme dayanımı, MPa
f_{su} : Donatı çekme dayanımı, MPa
f_{yd} : Donatı akma dayanımı, MPa
f_{yk} : Donatı karakteristik akma dayanımı, MPa
h : Deney elemanının yüksekliği, mm
t_w : Gövde kalınlığı, mm
l_b : Donatı kenetlenme boyu, mm
l_w : Perdenin plandaki uzunluğu, mm
s : Etriye donatısı aralığı, mm
ρ : Kiriş yada kolon donatı oranı
ρ_{min} : Minimum donatı oranı
Δ : Maksimum kat ötelenmesi, mm
Δ_i : i'inci kattaki ötelenme, mm
δ : Yatay deplasman, mm
ϕ : Donatı çapı, mm
ϕ_l : Boyuna donatı çapı, mm
E_s : Çelik elastisite modülü
σa : Çelik akma gerilmesi
d : Çelik akma gerilmesi
i min : Atalet yarıçapı
Δ : Maksimum kat ötelenmesi, mm
Δ_i : i'inci kattaki ötelenme, mm
h_{ki} : i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı

Kısaltmalar

FEMA : Amerikan Acil Yönetim Kurumu
K : Kiriş harflendirilmesi
S : Kolon harflendirilmesi
max. : En yüksek değer
ort. : Ortalama değer
min. : En düşük değer
DN1-RÇ : Referans Deney Numune
DN2-YKÇ : Yumuşak Katlı Deney Numune
DN3-XÇAP : Merkezi X Çelik Çapraz Numune
DN4-VÇAP : Merkezi V Çelik Çapraz Numune
TDY : Türk Deprem Yönetmeliği
TS : Türk Standartları
JİCA : Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı
TDY 2007 : Türk Deprem Yönetmeliği 2007

1.GİRİŞ

Deprem; yerküre içerisinde biriken enerjinin yerkabuğunun zayıf noktalarından açığa çıkması sırasında ani hareketlerle meydana gelen ve süresi saniyelerle ifade edilen yer sarsıntısıdır (Kibici, 2005). Ani olarak ortaya çıkan ve önlenebilmesi mümkün olmayan bu doğa olayı, büyük can ve mal kayıplarına neden olduğu gibi, toplum üzerinde sosyal ve psikolojik yönden büyük olumsuzluklar yaratmaktadır (Şahin ve Sipahioğlu, 2003)

Dünyadaki en aktif deprem kuşakları; yeryüzündeki depremlerin %81'inin oluştuğu Pasifik deprem kuşağı ve %17'sinin oluştuğu Alp-Himalaya deprem kuşağıdır. Türkiye ise bu deprem kuşaklarından Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almasından dolayı dünyada depremselliği en yüksek olan ülkelerden birisidir (Küçük, 2006). Bu deprem kuşağı, birbirine karşıt olarak uzanan kırıkların oluşturduğu bir ağ görünümüyle Türkiye'yi kuzey, güney ve batı yönlerden üç asli kırık sistemiyle kat etmektedir. Bu kırık sistemleri Anadolu'nun tarihi süreçte birçok depremi yaşamasına neden olmuştur (TMMOB, 2010).

Türkiye'nin önemli yerleşim alanlarının neredeyse tamamının, aktif faylar tarafından kontrol edilen alüvyal ovalar üzerine kurulduğu düşünüldüğünde, bu tür yerleşim alanlarının hem tektonik bakımdan hem de zemin özellikleri nedeniyle depremler açısından yüksek risk altında olduğu anlaşılmaktadır. Yer seçiminde yapılan bu önemli hatanın yanında, yani aktif fay hatları üzerinde, yakın çevresinde oluşturulan yapılaşma ve deprem açısından elverişsiz zeminler üzerine yapıların inşa edilmesine, bir de depreme dayanıklı yapım ilkelerine uyulmaması, proje, malzeme seçimi, daha da önemlisi yapım aşamasında yönetmelik kurallarına uyulmaması ve etkin bir şekilde denetlenememesi gibi faktörler eklenmesi beklenmeyen büyük yıkımlarla karşılaşmamızın başlıca nedenlerini oluşturur (Pampal ve Özmen, 2009).

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel ilkeler, yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli süneklik olarak belirtilmektedir. Türk Deprem Yönetmeliği (TDY, 2007) bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, dayanım ve süneklik bulunmasını şart koşmaktadır (Aktan ve Kıraç, 2010)

TDY 2007'de depremin şiddetine göre belirli düzeylerde hasarlara izin verilmektedir (Kaya, 2007). Bu sebeple depreme dayanıklı yapı tasarımının esas

prensibi;

- Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,
- Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması,
- Şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanmasıdır (TDY, 2007).

Yeni yapılarda bu prensiplerin sağlanması gerekmekte, eski yapılarda ise bu prensipler sağlanamıyorsa ekonomiklik analizi de yapılarak onarım veya güçlendirme yapılması gerekmektedir.

Betonarme yapılardaki hatalar genellikle malzemeden, işçilikten, yapının oturduğu zeminden, yanlış tasarımdan, gerekli bakım ve onarımların yapılmamasından, denetim eksikliğinden, gerekli teknik personelin bulundurulmamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla yanlış tasarım, hatalı malzeme ve uygulamalar ile inşa edilen yapılar ya tamamlanmadan ya da tamamlandıktan sonra çökmektedir. Bu nedenle özellikle betonarme yapılarda taşıyıcı sistemini hatasız bir şekilde tasarlanması, yapılması ve uygulanması gerekmektedir (Koçu ve Dereli, 2005).

Deprem davranışı açısından yapıların yatayda ve düşeyde süreksizlik göstermeleri, ani rijitlik değişimi ile kütle farklılıkları içermeleri kaçınılması gereken olumsuz hallerdir. Bu özellikleri taşıyan yapılar, taşıyıcı sistem bakımından düzensiz yapılar olarak kabul edilirler. Bu tür yapılar, düzenli yapılara nazaran daha olumsuz deprem davranışına sebep olabilecekleri gibi, boyutlamada da bazı kesit zorlarının büyümesi ile ekonomik olmaktan uzaklaşırlar.

Yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesi, performans seviyelerinin arttırılması günümüz deprem mühendisliğinin önemli konuları arasındadır. Günümüzde mevcut yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla güçlendirme uygulamak, yapı performansının arttırılması bakımından yaygın bir hale gelmiştir. Ülkemizde 1999 Gölcük depremi sonrası mevcut yapı stokunun ne durumda olduğu ortaya çıkmıştır. Bu tarihten sonra birçok güçlendirme projesi yapılmış ve uygulanmıştır. Bu uygulamaların nasıl yapıldığı ve olası bir deprem sırasında güçlendirilmiş yapıların nasıl bir performans sunacağı konusunda endişeler vardır. Bu sebeple yapılan güçlendirmelerin çok iyi projelendirilmesi ve güçlendirmenin doğru şekilde yapılması şarttır (Smyth ve ark., 2004).

Betonarme yapılar düşünüldüğünde güçlendirme, eleman bazında yapılabileceği

gibi sistem bazında da yapılabilir. Eleman bazında güçlendirme ile kasıt, kolon, kiriş, döşeme gibi elemanların bireysel olarak güçlendirilmesidir. Sistem bazında güçlendirmede ise çerçeve boşluklarına yerinde dökme perde duvarlar ilave edilmesi, veya bu boşlukların çelik çaprazlarla güçlendirilmesi, binaya dış kısımda düzlem içi veya dışı perde duvarlar ilave edilmesi gibi yöntemler anlaşılır. Bu durumda mevcut taşıyıcı sistem elemanlarına gelen yük etkileri azaltılmakta ve yeni ilave edilen elemanlar yükün önemli kısmını karşılamaktadır. Mevcut yapıdaki belirsizliklerin çok daha fazla olabileceği düşünülerek, sistem bazında güçlendirme yapılması, böylece sistemin hem yatay yük taşıma kapasitesinin ve hem de rijitliğinin arttırılması daha mantıklı olabilir.

Bu çalışmada deprem dayanımı yetersiz betonarme yapılarda önemli bir hasar nedeni olan yumuşak kat oluşumuna sahip sistemlerde, yumuşak kat oluşumunun olumsuz etkilerinin giderilmesi amacıyla bazı güçlendirme yöntemlerinin önerilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 1/3 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı 4 betonarme deney numunesi test edilmiştir. Deneylerde depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükleme uygulanmıştır. İlk deney numunesi referans numune olmuştur. İkinci deney numunesi sadece üst katın dolgu duvarlı olduğu (ticari amaçlar için zemin katında duvar bulunmayan) yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevedir. Üçüncü deneyde, 2. Deneyde test edilen yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevede zemin katta X çelik çaprazlarla takviye yapılmıştır. 4. Deneyde ise yine yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevede zemin katta ters V çelik çaprazlarla takviye yapılmıştır.

1.1. Deprem

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına "deprem" denir (Barka A. ve ark., 2002).

Depremler ile ilgilenmenin çeşitli amaçları vardır. Bunların en önemlisi depremlerin oluşturduğu can ve mal kaybını en aza indirmek için gereken önlemlerin alınmasıdır. Geçmiş depremlerdeki yapı davranışlarının incelenmesinden, depreme dayanıklı yapıların nasıl olması gerektiğine dair pek çok kural çıkarılmıştır. Depreme dayanıklı yapı yapılması çok önemlidir. Çünkü depremlerde oluşan can ve mal kaybının tamamına yakını insan yapısı binaların yıkılması sonucu olmaktadır. Her ne kadar depremlerde arazide yarılmalar, çatlamalar, yer kayması, kaya düşmesi gibi olaylarda

olmakta ve bunlar da can kaybına yol açmakta ise de, can kaybının asıl kaynağı depremlerin doğurduğu kuvvetli yer hareketlerinin etkisiyle mukavemetsiz yapıların yıkılmasıdır (Bayülke, 2001).

1.1.1. Türkiyenin depremselliği

Türkiye, dünyadaki depremselliği yüksek olan ülkelerden birisidir. Türkiye topraklarının % 96'sı, nüfusunun ise %98'i deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bilinen tarihsel dönem deprem kayıtlarına göre M.Ö.2000 yılından beri hasar yapıcı büyük depremler yaşanmıştır.

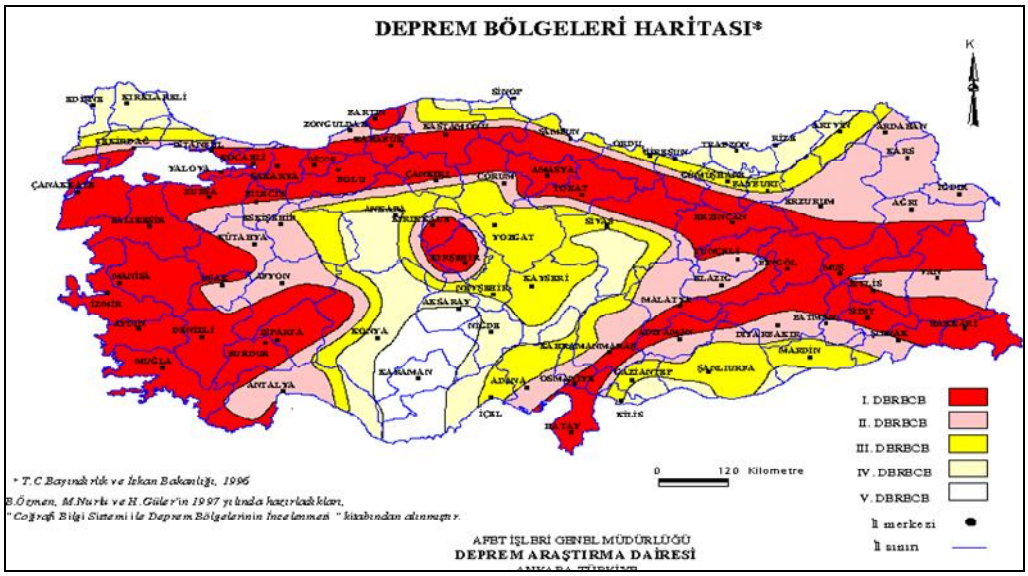
1996 tarihli Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre Türkiye beş bölgeye ayrılmıştır. I. ve II. derece deprem bölgeleri; şiddetli depremlerin her zaman olabileceği düşünülen en tehlikeli bölgelerdir. III. ve IV. derece deprem bölgeleri ise gerçekleşebilecek depremlerin daha küçük şiddette olacağı ve diğer deprem bölgelerinde meydana gelecek depremlerden etkilenebileceği kabul gören bölgelerdir. V. derece deprem bölgesi ise tehlikesiz olarak kabul edilen bölgedir. Ancak bu haritanın çok yakın bir zamanda güncelleneceği bilinmektedir. Çünkü tehlikesiz kabul edilen küçük bir bölge olmasına rağmen, bu bölgelerin bile şiddetli deprem oluşabilecek bölgelere yakın olması bu alanlarda da deprem etkisinin göz önüne alınması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye risk unsurlarının dağılımı (BİB, 2001)

Deprem Bölgesi	Yüzey Alanı (%)	Nüfus (%)	Endüstri (%)	Barajlar (%)
Bölge 1 (pga >= 0,40 g)	42	45	51	46
Bölge 2 (pga = 0,30 - 0,39 g)	24	26	25	23
Bölge 3 (pga = 0,20 -0,29 g)	18	14	11	14
Bölge 4 (pga = 0,10 -0,19 g)	12	13	11	11
Bölge 5 (pga < 0,10 g)	4	2	2	6
TOPLAM	100	100	100	100

*pga: en büyük yer ivmesi

Çizelge 1.1' de ülkemizdeki 5 deprem bölgesinin çeşitli açılardan karşılaştırılması yapılmıştır. Bu verilere göre ülkemizin çok büyük bir bölümü hem nüfus, hem de ekonomi bakımından büyük bir risk altındadır. Türkiye deprem bölgeleri haritasında da Çizelge 1.1.' de belirtilen bölgeler gösterilmiştir (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası (BİB, 2001)

Ülkemizin çok büyük bir bölümü deprem bölgesinde olduğundan her zaman bir deprem riski ile karşı karşıya kalmaktayız. Deprem riski altında olan sadece nüfus değil, ekonomik, sosyal ve kültürel varlıklarımızda bu risk altındadır. Bu sebeple yönetmeliklerin öngördüğü şekilde, depreme dayanıklı yapı tasarımı ülkemizin gelişimindeki en büyük etkenlerden biri olacaktır.

1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

"Depreme dayanıklılık" kavramı, yapının deprem yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmasını, hesaplanmasını ve uygulanmasını çağrıştırmaktadır.

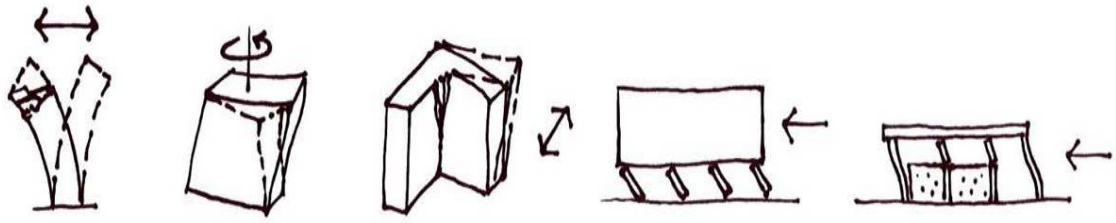
Deprem yönetmelikleri oluşturulurken asıl amaç yapıların hasar görmesini önlemekten ziyade deprem anında oluşacak can kaybını önlemeye yöneliktir.

Yıkıcı depremlerden çıkarılan dersler, depreme dayanıklı yapı tasarımı için aynı önemde ve aynı anda üç temel koşulun bir araya getirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

- Depreme dayanıklı mimari tasarım
- Yasa ve yönetmeliklere uygunluk
- Nitelikli malzeme, uygulama ve denetim

Mimari tasarım açısından hatalı ve eksik tasarım kararları, özellikle rezonans, burulma, farklı salınımlara bağlı gerilme yığılmaları, deprem yükleri altında bazı yapı bölümlerinin zayıflaması (yumuşak kat etkisi), deprem yüklerinin bazı elemanlar

üzerinde yoğunlaşması (kısa kolon etkisi vb.) gibi etkenlere bağlı olarak yıkıcı hasarlara neden olabilmektedir (Zacek, 1996).



Şekil 1.2. Mimari tasarım açısından hatalı ve eksik tasarım kararlarına bağlı olası hasar ve yıkım nedenleri (Zacek, 2002b)

Depreme karşı güvenliğin sağlanmasında, taşıyıcı sistemin tasarımının iyi yapılması çözümlemeden daha önemlidir. Bu amaçla tasarımda hafiflik, basitlik ve simetri, düzgünlük ve süreklilik, plan ve kesit şekli, rijitlik ve dayanım, göçme modu, süneklik, temel zemini koşulları gibi hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Ayvaz, 2006) (Çalık, 2012).

1.2.1. Hafiflik

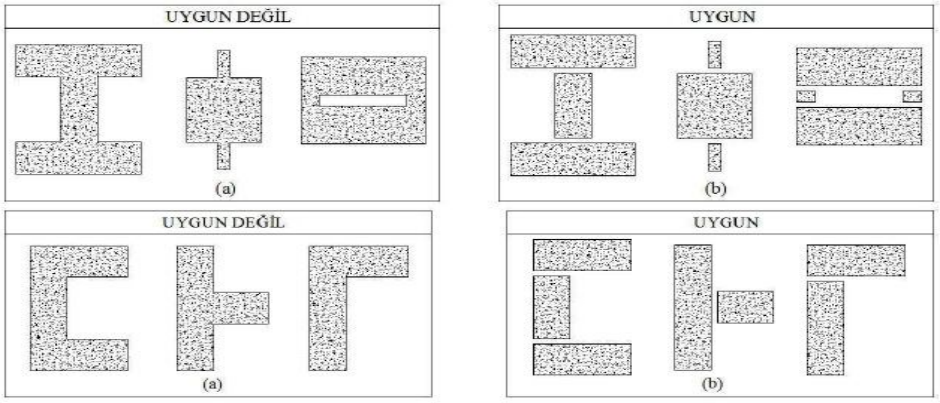
Yapıya etkiyen deprem yükü doğrudan yapının ağırlığı ile orantılıdır. Dolayısıyla dolgu duvarların daha hafif malzemelerden yapılması, ağır kaplamaların tercih edilmemesi gibi önlemlerle yapının ağırlığını azaltarak daha olumlu deprem davranışı sağlanabilir.

1.2.2. Basitlik ve simetri

Yapılar planda ne kadar basit bir geometriye sahip olursa, hem deprem sırasında daha iyi performans göstermekte, hem de tasarım aşamasında binanın davranışı daha net tahmin edilebildiğinden dolayı yapılan çözümlemeler gerçek davranışa yakın olmaktadır.

Benzer nedenlerden dolayı yapının simetrik olması da istenmektedir. Simetrik olmayan yapılarda gerek yük dağılımının gerekse rijitlik, dayanım ve sünekliğin belirlenmesi de zor olacağından yıkıcı etkilere yol açabilen burulma etkileri daha kolay oluşabilecektir (Ayvaz, 2006) (Çalık, 2012).

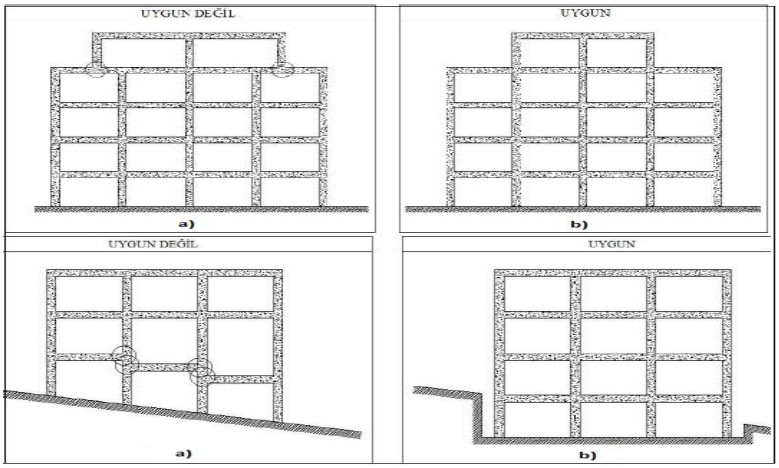
Simetrik olmayan plan geometrisi durumunda kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki eksantriste büyümekte ve sistemde önemli hasarlar oluşmaktadır. Kütle merkezinin yerini değiştirmek zor olduğundan bu durum da rijitlik merkezini değiştirme yoluna gidilmesi gerekir. Rijitlik merkezi düşey taşıyıcı elemanların taşıdıkları kesme kuvvetleri ile ilgili oluğundan özellikle sisteme perde ilavesiyle yeri düzenlenebilir. Bunu yaparken de simetriye dikkat etmek gerektiği unutulmamalıdır. Bu gibi nedenlerle yapının her iki doğrultuda simetrik olması ve aynı zamanda basit bir geometriye sahip olması gerekmektedir. Çünkü depremler sonrasında hasar gören yapılar incelendiğinde simetrik olmalarına rağmen H, L, T ve U gibi plan şekline sahip yapılarda ağır hasarlar oluşmaktadır. Bu nedenle binanın birleşim yerlerinden oluşturulan dilatasyonlarla basit parçalara ayrılması gerekmektedir. (Şekil 1.3.) (Celep ve Kumbasar, 2004).



Şekil 1.3. Depreme dayanıklı yapı tasarımında bina geometrisinin uygun ve uygun olmayan yapı planı (Celep ve Kumbasar, 2004).

1.2.3. Düzgünlük ve süreklilik

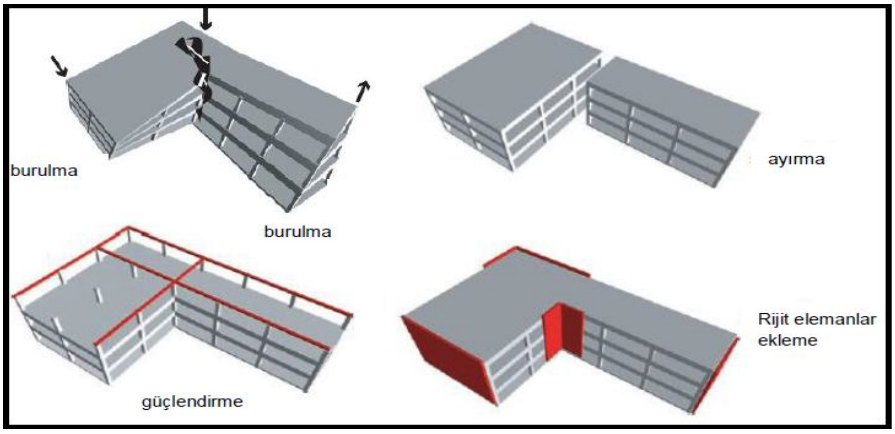
Yapı taşıyıcı sisteminde yatay ve düşey düzlemde bulunan elemanların düzgün ve sürekli olarak düzenlenmeleri önemlidir (Şekil 1.4.). Bu elemanların planda düzgün yerleştirilmesi sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önlemektedir. Bu nedenle kolon ve betonarme perde gibi düşey taşıyıcı elemanlar temelden çatıya kadar sürekli olmalı, dış merkez mesnetlenmelerinden kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistemin sürekli olarak seçilmesi ile deprem anında elastik davranışın ötesindeki taşıma kapasitesi ve plastik mafsallar arttırılmış olacak ve dolayısıyla yapının enerji yutan kısmı büyüyecektir (Celep ve Kumbasar, 2004).



Şekil 1.4. Depreme dayanıklı yapı tasarımında uygun ve uygun olmayan taşıyıcı sistem sürekliliği düzeni (Celep ve Kumbasar, 2004).

1.2.4. Rijitlik ve dayanım

Yapının rijitliğinin arttırılarak depremde oluşabilecek şekil ve yer değiştirmeleri azaltmak mümkün olduğundan taşıyıcı sistemde ve ona bağlı taşıyıcı olmayan kısımlarda hasarın azaltılabilmesi de mümkün olmaktadır (Kazaz, 1999).



Şekil 1.5. Depreme dayanıklı yapı tasarımında yapı rijitliğinin arttırılması (Arnold, 1982)

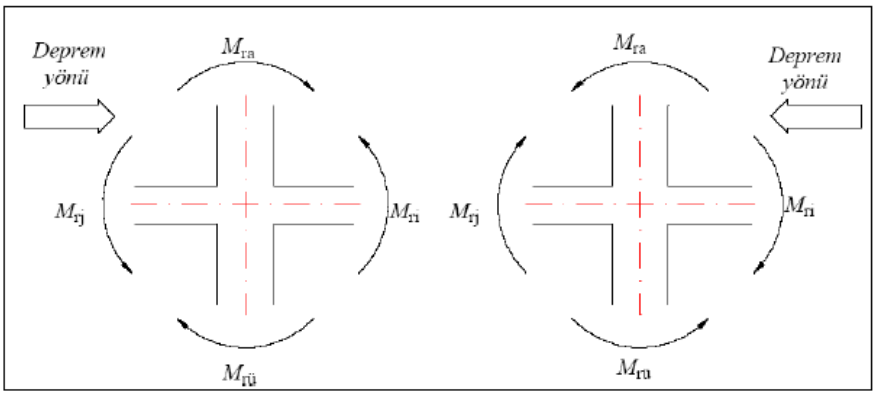
Elemanların rijitliğinin binada süreklilik arz etmesine önemle dikkat edilmelidir. Zemin katın rijitliğinin düşük tutularak, adeta zemin katın bir sünger gibi davranmasını sağlamak böylece üst yapının kuvvetli yer hareketinden daha az etkilenmesini sağlamak ilk başta mantıklı görünebilir. Ancak bunun gerçekleşmesi için kolon uçlarında oluşacak plastik mafsallarda büyük dönme kapasitelerine ihtiyaç vardır. Ancak normal kuvvetten

dolayı önemli ikinci mertebe etkiler ortaya çıktığı için yumuşak zemin kat ilkesinin tam tersine kaçınılması gereken bir durum olduğu belirlenmiştir. Bu tür binalarda bazı durumlarda toptan göçmenin meydana geldiği belirlenmiştir (Öztürk, 2005).

Yüksek yapılarda deprem anında kesitlerde oluşan ikinci mertebe etkilerini azaltmak için yapı rijitliğinin artırılması ve deplasmanların sınırlar içerisinde tutulması gereklidir.

Yeterli dayanımdan amaç ise, öncelikle taşıyıcı sistem elemanlarının, kendilerine etkiyen yük ya da yük etkileri nedeniyle oluşacak kesit tesirlerini göçmeden taşıyabilmesidir. Taşıyıcı sistem elemanlarının, yükler etkisinde kesme kırılması gibi gevrek bir şekilde kırılmasını önlemek ve taşıma kapasitelerine sünek bir davranışla ulaşmalarını sağlamak amacıyla TDY 2007 (Türk Deprem Yönetmeliği 2007)'de kapasite tasarımı ilkesi benimsenmiştir.

Kapasite tasarımı ilkesinde, yüksek süneklikli kolon ve kirişlerde, etkiyen yüklerden bağımsız olarak eleman boyut ve donatı özelliklerine göre belirlenen maksimum kapasite momentleri dikkate alınmakta ve bu sayede bulunan kesme kuvvetine göre kesme hesabı yapılmaktadır. Yani elemana etkiyebilecek en büyük kesme kuvvetine göre kesme donatısı yerleştirilerek, eğilme kırılmasına daha önce ulaşılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda TDY 2007'de getirilen koşullardan biri de, kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuludur. Bu koşula göre, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha fazla olmak zorundadır. Bu koşul deprem sırasında taşıyıcı elemanlarda oluşacak plastik mafsalların, eksenel yük seviyesi yüksek olduğundan dolayı sünekliği kısıtlı olan kolonlarda değil, kirişlerde oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 1.6. Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Durumu (Celep ve Kumbasar, 2004).

1.2.5. Göçme modu

Deprem etkisine karşı boyutlamada kesitler öngörülen etkilere karşı koyacak şekilde boyutlandırılırken, özellikle düşey taşıyıcıların dayanımlarını kaybederek tüm sistemin göçmesinden veya burkulma gibi ani göçmeden uzak kalınmak istenir. Bu amaçla kuvvetli bir deprem durumunda, sistemin elastik ötesi davranışı gözönüne alınarak göçme durumunun incelenmesi gerekir. Bazı durumlarda, kolon gibi düşey yük taşıyan elemanların ve kesme veya basınç kuvveti taşıyan elemanların göçmelerinin sünek olmayacağı düşünülerek bunların basınç dayanımlarının arttırılmasına gidilebilir (Özdemir, 2001).

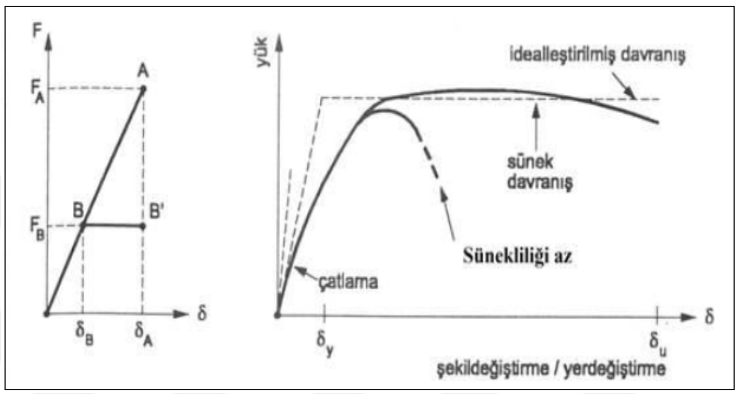
1.2.6. Süneklik

Yapı ve elemanlarının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan şekil değiştirme yapabilme ve tekrarlı yükler etkisinde enerji tüketebilme özelliğine o yapının ya da yapı elemanlarının sünekliği denilmektedir. Eğer yapı, hasar görmeden deprem enerjisini yaptığı yer değiştirme ile sönümleyebiliyorsa yapının sünek olduğu söylenebilir. Yapıda oluşacak yer değiştirmelerin bilinmesi yapının sünek davranışı hakkında bilgi verir.

Deprem etkisi altında doğrusal-elastik davranan yapılarda deprem sırasında oluşacak enerjinin tamamı plastik aşamaya geçmeden elastik aşamada sönümlenmelidir. Ancak bu durumun gerçekleşmesi için kesitlerin aşırı büyük boyutlarda seçilmesi gerekmektedir. Bu durumda ise yapının maliyeti artacaktır. Yapı maliyetini azaltmak ve enerjinin bir kısmını plastik aşamada tüketmek amaçlanırsa, yapının sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Enerjinin çoğu yapıda oluşacak plastik mafsallarda tüketilmektedir (Doğangün, 2005). Süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir (Arslan, 2007).

Enerji tüketimi açısından, sistemin büyük deplasman yapmasıyla beraber kesitlerde oluşacak kesme kırılması yapıda oluşan plastik mafsallar sayesinde enerjinin tüketilmesiyle yapının depremi yıkılmadan atlatma olasılığı artmaktadır.

Şekil 1.7' de verilen sünek olan ve sünek olmayan (gevrek) davranışa ait yük-yer değiştirme eğrilerinde görüldüğü gibi, yük-deformasyon eğrisinin yataya yakın olması yani yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan yük taşımaya devam etmesi durumunda, sisteme giren enerjinin önemli bir bölümü doğrusal olmayan davranış sebebiyle sönümlenmekte, böylece ortaya çıkan büyük şekil değiştirmeler elemanlar arası kuvvet uyumunun oluşmasına imkan vermekte ve taşıma kapasiteleri olan elemanların devreye girmesi sağlanmaktadır.



Şekil 1.7. Elastik olan ve olmayan kuvvet-yer değiştirme grafiği ve betonarme elemanda yük-yer Değiştirme Eğrisi (Celep ve Kumbasar, 2004)

1.2.7. Temel zemini koşulları

Yapıların normal kullanım koşullarını sağlaması için yapı temel zemininin dayanımının yüksek olması, aşırı oturma veya izin verilenden fazla farklı oturma yapmaması gibi bazı şartların sağlanması gerekmektedir. Temel zemin dayanımının aşılması durumunda yapı güvenliği tehlikeye girip göçme meydana gelebilmektedir. Bu nedenle yapı taşıyıcı sistemi seçiminde temel zemininin gerekli koşulları sağlaması gerekmektedir (Ayvaz, 2006).

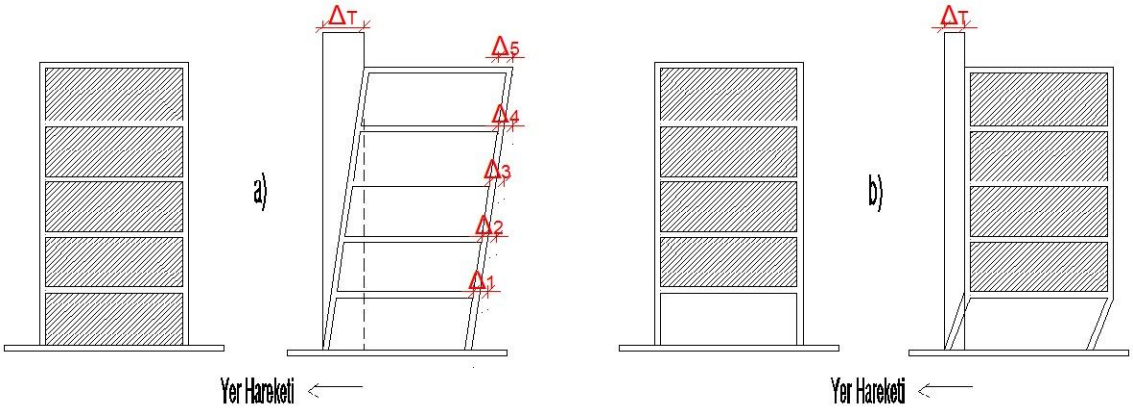
1.3. Taşıyıcı Sistemde Yumuşak Kat Hasarı

TDY 2007'de komşu katlar arası rijitlik düzensizliği matemetiksel olarak (yumuşak kat) birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı ηki'nin 2.0'den fazla olması durumudur (Denklem 1.1).

$$\eta ki = (\Delta_i/h_i)_{ort} /(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort} >2.0 \text{ veya } \eta ki = (\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort} >2.0 \quad (1.1)$$

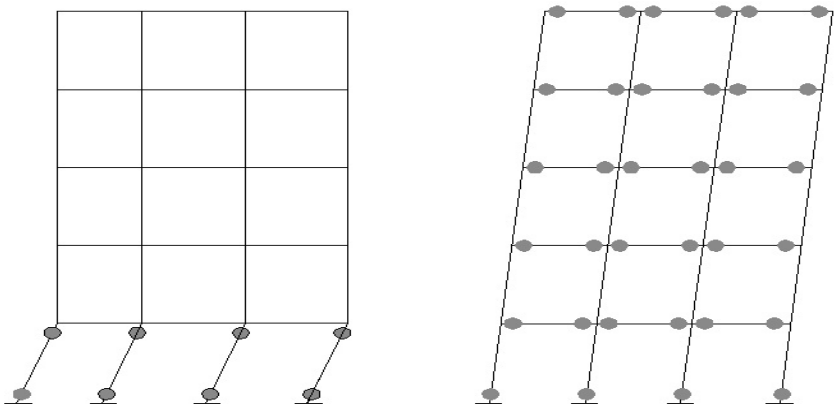
Yumuşak kat etkisi, Türkiye'de ve Dünya'da meydana gelen depremlerde betonarme yapılarda göçme ve ağır hasara neden olan temel etkenlerden biridir. Türkiye'de özellikle ana yollar üzerindeki ofis ve konut türü yapıların önemli bir bölümü, zemin katların ticari amaçlarla kullanılması nedeniyle yumuşak kat içermektedir. Bu tür yapılarda zemin kat yüksekliği genellikle daha yüksek yapılmakta ve tuğla dolgu duvarlar kaldırılarak yerlerine sunum amacıyla cam bölmeler yapılmaktadır. Tuğla dolgu duvarların yapının rijitliğini artırdığı ve kat ötelenmelerini sınırlandığı bilinmektedir. Dolgu duvarların kaldırılması ve kat yüksekliğindeki artışa bağlı olarak ötelenme rijitliğinin azalması sonucu zemin katta deformasyon talebi de artmaktadır. Ancak yapılarda rijit perde duvarların bulunmaması ve kolonların da TDY 2007'de koşullarına göre detaylandırılmaması sonucu, zemin kat kolonlarında deformasyon kapasitesi sınırlı kalmakta, kesme kırılmaları ve ankraj çözülmeleriyle yapı zemin katın üzerine çökmektedir.

Şekil 1.8 da yer hareketi sırasında her katta dolgu duvarı bulunan ve yumuşak kat düzensizliği bulunan yapılardaki göreli kat ötelemeleri gösterilmiştir.



Şekil 1.8. a) Düzenli bina deplasman durumu b) Yumuşak kat düzensizliği bulunan bina deplasman durumu.

Yumuşak kat düzensizliği bulunan yapılarda mafsallaşmalar kiriş uçları yerine zemin kat kolonlarında oluşmakta ve oluşan büyük yanal ötelenme ile birlikte yapı zemin kat üzerine çökmektedir. Şekil 1.9 da ise yumuşak kat ve ideal göçme mekanizmaları gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Yumuşak kat ve ideal göçme mekanizması.

Şekil 1.10'de Van-Erciş ilçesinde 2011 yılında meydana gelen depremde yumuşak kat hasarının oluştuğu yapılar gösterilmektedir. Bu tür hasarın gözlendiği yapıların çoğunda zemin katlar komple yıkılırken, bazı yapılarda üst katlarda camlar dahi kırılmamıştır.

Yumuşak kat hasarları bu tür binalarda ancak yeterli oranda perde duvar bulunması ile önlenebilir. TDY 2007'de 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yüksek süneklik düzeyini sağlamayan taşıyıcı sistemlerde yeterli miktarda perde duvar bulunmasını zorunlu kılınmıştır. Ancak büyük bölümü 1. ve 2. derece deprem bölgesi olan Türkiye'de mevcut betonarme binalarda hem taşıyıcı sistemlerin süneklik koşullarını sağlamaması, hem de perde duvar bulunmaması ağır hasarlara yol açmaktadır.



Şekil 1.10. Yumuşak kat sonucu oluşan bina hasarları (2011 Van depremi- Murat ÖZTÜRK'ün arşivi).

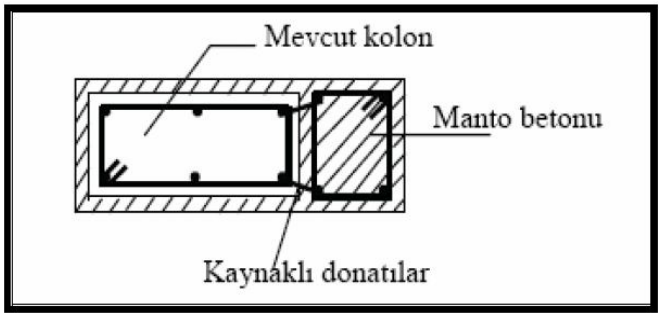
1.4. Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme

Betonarme yapı elemanlarının, tasarım ve uygulama hataları, zamana bağlı zayıflamalar, kullanım amacının değiştirilmesi ve yeni yönetmeliklere göre yetersiz kalması gibi nedenlerle onarım ve/veya güçlendirilmesi gerekebilmektedir. Yapısal olarak yetersiz olan bina sayısının fazlalığı, yapım yöntemlerinin farklılığı, halen kullanımda olmaları ve ülkenin ekonomik durumu da göz önüne alınarak, her yapı için uygun olabilecek farklı onarım/güçlendirme yöntemlerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir (Çetinkaya ve ark., 2004).

Yapıların deprem performansını artırmak için farklı güçlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Yaygın güçlendirme yöntemleri iki temel yaklaşım üzerine kurulmuştur. Bunlardan birincisi yapıya çelik diyagonal elemanlar veya perde duvarlar ekleyerek yapıyı güçlendirmek, diğeri ise betonarme yapılarda kolon kiriş gibi yapı elemanlarının dayanımlarını artırmak veya kolon kiriş birleşim noktalarını güçlendirerek yapının performansını arttırmaktır (Aydın E. ve Boduroğlu M. H., 2006).

1.4.1. Kolonların güçlendirilmesi

Çatlamış betonarme kolonlarda reçineler veya çimento şerbeti kullanılabilir. Az hasarlı, donatıları burkulmamış, betonu gevşemiş kolonlarda ise yerel olarak gevşek beton kısmı kaldırılarak yeni beton dökülmesi suretiyle onarım yapılabilir. Kolonlarda oluşan hasar derecesine göre bir, iki, üç ya da dört taraftan mantolama yapılabilir. Mantolama, mevcut kolon etrafına boyuna takviye donatısının yerleştirilmesi ve etrafının normal veya helozonik etriye donatısı ile sarılması ve mevcut betonun etrafının beton dökülerek kapatılması işlemlerine denir. Kolonun mantolanması ile, kolon enkesit alanı artırılırken donatı yüzdesi de bir miktar artırılmış olur (Şekil 1.11).



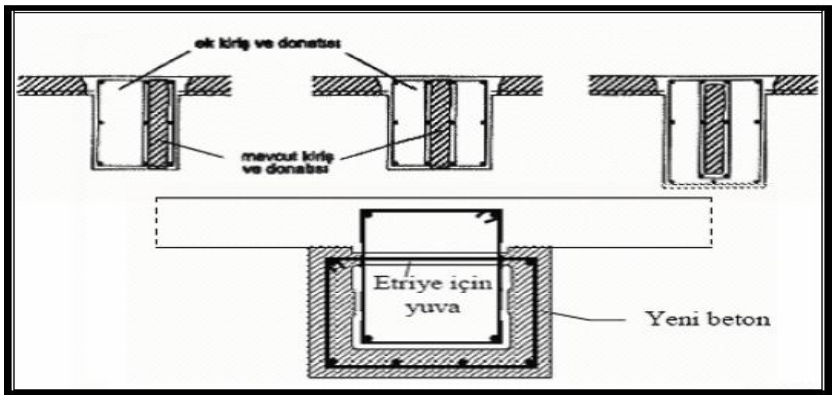
Şekil 1.11. Kolon mantolaması (Tonyalı, 2006).

Uygulanabilecek bir başka yöntem de, kolonun iki yanına kanat biçiminde perde duvar eklenmesidir. Bu durumda perdenin yatay donatısı, kolonun yatay donatısına kaynakla bağlanmaktadır. Daha sonra betonlama yapılarak eski betonun yeni perde içinde yer alması sağlanmaktadır. Böylece mevcut kolon betonarme perde arasına alınarak kesiti büyütülmüş ve yük taşıma kapasitesi arttırılmış olur (Tonyalı, 2006).

1.4.2. Kirişlerin güçlendirilmesi

Hafif çatlaklı kirişler, epoksi veya çimento şerbeti enjeksiyonu ile onarılabilir. Betonun ezilmesi veya donatının kopması gibi hasarın ağır olduğu durumlarda, kirişin geçici olarak askıya alınması uygundur. Hasarlı yerel kısımlar, basınçlı su veya hava ile temizlenip, kopan veya burkulan donatıları kesilerek kaynakla eklendikten sonra betonlanması yoluyla onarılabilir.

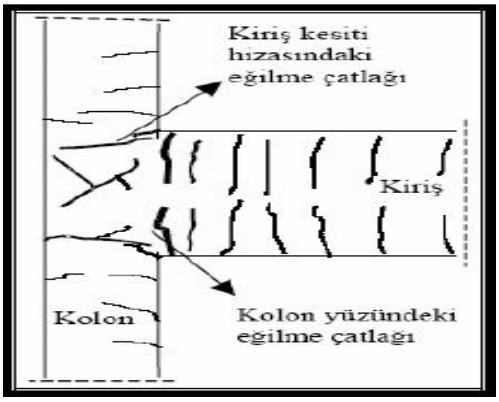
Yeterli açıklık donatısına sahip olmayan kirişlerde alttan çelik şeritler veya lif takviyeli karbon levha yapıştırılarak ilgili çatlaklar onarılıp kiriş güçlendirilebilir. Lif takviyeli karbon levha uygulaması yan yüzlere de yapılarak, kayma donatısı eksikliği giderilebilir ve ilgili çatlaklar onarılabilir. Kirişler, gerekli durumda dört veya üç tarafından beton manto giydirilerek güçlendirilebilir.



Şekil 1.12. Kiriş mantolaması (Tonyalı, 2006)

1.4.3. Kiriş-Kolon birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi

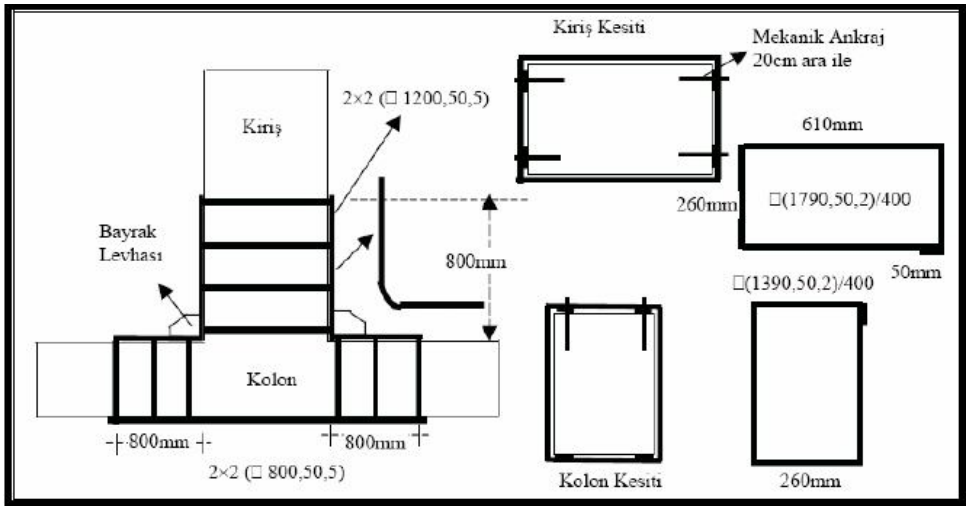
Depremde en fazla hasar gören kiriş-kolon birleşim bölgeleri, taşıyıcı sistemin en çok zorlanan ve güçlendirilmesi en zor olan kısımlarını oluşturur.



Şekil 1.13. Birleşim bölgesi çatlakları (Tonyalı, 2006)

Hasarın yerel olması ve çatlaklar şeklinde görülmesi durumunda, epoksi reçinesi enjekte edilmesi onarım ve güçlendirme için yeterli olabilir. Aderansı çözülmüş donatının aderansının tekrar oluşturulması için de epoksi enjeksiyonu önerilir. Birleşim bölgesinin lif takviyeli polimer levhalarla sarılması hem dağılmanın önlenmesi ve hem de kuvvet iletimini sağlamak için uygun olabilir.

Hasarın daha da yaygın olması durumunda, kiriş-kolon birleşim bölgesi, çelik şeritler yapıştırılarak ve sarılarak güçlendirilebilir. Bu suretle, kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri arttırılırken; sarılan şeritler, bu bölgede oluşturulan enine basınçla, betonun dolayısıyla elemanın sünekliği arttırılır. İhtiyaç olduğunda süneklik artırımı için etriyeleri eksik olan kolon ve kiriş kesitlerinde sadece sargı şeritleri kullanılabilir (Tonyalı, 2006).



Şekil 1.14. Çelik lamalarla güçlendirilmiş bir birleşim bölgesi (Tonyalı, 2006).

1.4.4. Perdelerle güçlendirme

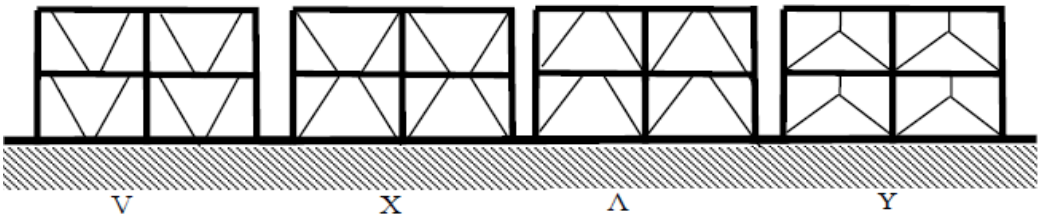
Sistem güçlendirmesinde perdelerle güçlendirme halen en yaygın ve geleneksel uygulama şeklidir. Bu yöntemde yeni elemanların betonu dökülmeden önce bu elemanlara yük aktarması söz konusu olan döşemeler askıya alınmalıdır.

Sisteme eklenecek perdenin iki kolon arasında kalması tercih edilmelidir. Bazı hallerde bir taraftan bir kolona birleşmesi düşünülebilir. Bu durumda diğer tarafta perde ucu düzenlenmelidir. İki uçtan da kolona bitişik olmayan döşemeyi delip geçen perde ile döşeme arasında çok büyük gerilme yığılmaları meydana geleceğinden bu tür perdeler yapılmamalıdır.

Perdelerin temellerinin oluşturulması da çok önemlidir. Komşu kolonları da kapsayacak şekilde sürekli veya plak temel düzenlemesi yapmak gerekir. Bu şekilde kolonların normal kuvvetlerinden faydalanarak perdeye komşu tekil temeller birleştirilerek büyük bir perde temeli yapılması gerekir. Bu durum perdenin mevcut sistemle bütünleşmesini sağlayacağı gibi, perdenin uçlarında meydana gelecek çekme kuvvetinin kolon basınç kuvvetini göz önüne alarak azaltılmasını da sağlar (Tonyalı, 2006).

1.4.5. Çelik elemanlarla güçlendirme

Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan çapraz elemanların kullanımı farklı şekillerde verilmiştir. Bunlardan en çok kullanılmakta olan güçlendirme amaçlı kullanılan çapraz elemanlar Şekil 1.15'de verilmiştir (Güneysisi ve Altay, 2004). Bunlar V, X, Λ ve Y şeklinde yapılan çaprazlamalardır.



Şekil 1.15. Literatürde Mevcut Güçlendirme İçin Kullanılan Çelik Çaprazlar (Güneysisi ve Altay, 2004)

Çelik çerçevelerle yapılan güçlendirmelerde yapı ağırlığı çok fazla artmadığından yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri de artmayacaktır. Çelik elemanlarla

güçlendirme çok kısa sürelerde uygulanabiliyor olmakla birlikte betonarme perdelere göre yatay kuvvetlere karşı daha zayıf bir davranış göstermekte ve maliyeti daha fazla olmaktadır.



Şekil 1.16. Çerçeve açıklığının çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesi (Şik, 2014).

Taşıyıcı sistem betonarme perdeler yerine çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilmesinde en basit uygulama kiriş-kolon düzlemine yerleştirilecek çaprazlar yanında kolon ve kirişe bitişik konulacak çelik elemanlarla yapılmasıdır. Merkezi çelik çaprazlar yanında dış merkez çaprazlar da kullanılabilir.

Ancak, bu durumda dışmerkezlik nedeniyle kuvvetlerin alınması yeni güçlükler doğurabilir. Çaprazlar betonarme çerçevenin içinde oluşturabildiği gibi, dışında da oluşturulup ona bağlanabilir. Kolona ve kirişe bitişik olan çelik elemanlarla kuvvetin olabildiğince düzgün yayılı iletilmesi sağlanır. Ancak, çaprazlar nedeniyle köşelerde büyük yoğun çekme ve basınç kuvvetlerinin betonarme ve çelik taşıyıcı sistem arasında iletilmesi gerekir. Özellikle, beton kalitesinin çok düşük olması durumunda büyük köşe levhalarına ihtiyaç duyulur. Çaprazlı çelik kafes sistemde kuvvetlerin kattan kata geçmesinin sağlamasına özen gösterilmelidir. Bunun için kolona bitişik düşey çelik elemanların katlar arası sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Çelik elemanların rijitliklerinin betonarmeye göre düşük olması nedeniyle, yatay deprem yüklerinin önemli bir bölümünün taşıtılması ancak çok büyük çelik kesitleriyle mümkün olur. Bunun yanında mevcut betonarme sistemle çelik sistemin bütünleşmesini sağlamak ve betonarme sistemde oluşan deprem kuvvetlerinin önemli bir kısmını çelik taşıyıcılara iletmek ayrıntılı çalışma gerektiren bir husustur (Celep ve Kumbasar, 2000).

1.4.6. Dolgu duvarların güçlendirilmesi

Dolgu duvarların güçlendirilmesi bodrum hariç en fazla 3 katlı binalarda, temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlara uygulanabilir. Güçlendirilme hasır çelik donatılı özel sıvayla, lifli polimerle veya prefabrike beton panellerle yapılabilir (Celep ve Kumbasar, 2000).

1.5. Çalışmanın Amacı

Türkiye, aktif faylar boyunca belirli zaman dilimlerinde gerçekleşen yıkıcı ve yüzey faylanması oluşturan depremlerin yaşandığı, dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biridir. Türkiye coğrafyasının %96'sı deprem tehdidine maruzdur, nüfusunun ise %98'i deprem riskiyle karşı karşıyadır. Yurdumuzda meydana gelen yıkıcı depremlerin ardından hali hazırda bulunan yapıların deprem güvenliklerinin denetlenmesi önem arz eden bir durum haline gelmiştir. Yıkıcı depremlerin sık yaşandığı Türkiye'de, mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümünün dayanım ve rijitlikleri istenen seviyede değildir. Bu nedenle meydana gelen depremlerde ağır can ve mal kayıpları yaşanmaktadır.

Son yıllarda yaşanan depremlerden sonra yapılan inceleme ve araştırma sonuçlarına göre yapılarda çok büyük tasarım, malzeme ve işçilik hatalarının yapıldığı görülmektedir. Ayrıca deprem bölgelerinde inşa edilmiş yapıların büyük bir kısmında tasarım ve yapım kusurlarının olduğu da bilinmektedir. Gelecekte oluşacak depremlerde bu yapılar göçme veya ağır hasar olma potansiyeline sahiptir. Depreme karşı yetersiz yapıların tamamının yenilenmesi pratik bir çözüm olmadığından, yapısal güçlendirme ve onarım yöntemleri son yıllarda daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle mevcut betonarme yapıların elden geçirilerek deprem güvenliğinin artırılması gereklidir. Güçlendirilen ya da onarılan binalarda temel amaç, binayı yönetmelik koşullarını sağlayacak deprem güvenliği seviyesine getirebilmektir.

Bu çalışmada deprem dayanımı yetersiz betonarme yapılarda önemli bir hasar nedeni olan yumuşak kat düzensizliğinin olumsuz etkilerinin giderilmesi amacıyla bazı güçlendirme yöntemlerinin önerilmesi amaçlanmaktadır.

Ülkemizde birçok konut ve işyeri binası malesef özellikle giriş katlarında yumuşak kat düzensizliği yapılarak inşa edilmiştir. Kısaca binanın bir katının diğer katlara oranla olası sarsıntı sırasındaki tepkiye farklı karşılık vermesi olarak da

tanımlanabilen yumuşak kat düzensizliği, deprem riskini belirlemede tek başına yeterli olmasa da geçmiş hasarlar incelendiğinde önemli ölçüde yıkıcı etki yarattığı söylenebilir.

Şehir merkezi, cadde üzeri gibi bölgelerde bulunan binaların genellikle ilk katları mağaza ve ticari olarak tanımlanmaktadır. Bu katların büyük bölümü de bina dışından iç cephelerin rahatlıklar görülebilmesi için tuğla duvarlar yerine cam pencereler ile örtülüdür. Ancak aynı binanın üst katlarının dış cephe duvarları ağır tuğlalar ile örtülüdür. Bu durumda olası bir büyük deprem sırasında binanın genelinde yaşanacak deformasyonun büyük oranda bu yumuşak katta oluşacağı ve enerji dağılım yükünün de yine bu kattaki kolonlara etki edeceği söylenebilir.

Çalışmada yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme yapıların deprem davranışlarına dolgu duvar etkisi incelenmiştir. Ayrıca yumuşak kat düzensizliği bulunan çerçevelerin merkezi çelik çapraz sistemler ile güçlendirilmesiyle yapıların deprem davranışı ile ilgili değişiklikler incelenmiş ve analizleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasında ülkemizdeki betonarme yapıların çoğunda gözlemlenen bazı yapım ve tasarım kusurları olan betonarme çerçeve, deney elemanı olarak kullanılacaktır. Bu tür sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme çerçevenin davranışına, dayanımına, sünekliğine, rijitliğine ve enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. 4 adet 1/3 geometrik ölçekli, iki katlı tek açıklıklı deney elemanı üretilmiş, deprem yüklerini benzeştiren tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar davranış, dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi bakımından yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri araştırmacıların ve yönetmeliğin önerdiği eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bulunan bu değerlendirmelerin ışığında amaç:

1) Betonarme çerçevede tuğla dolgu duvarların her katta bulunduğu düzenli , sadece alt katta bulunmadığı yumuşak kat düzensizliği var olan çerçevenin yatay yük altında deprem davranışının incelenmesi,

2) Betonarme çerçevenin yumuşak katında merkezi çelik çapraz ile güçlendirerek betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki rijitliğine katkısının araştırılması,

3) Deprem yükleri altındaki bir yapıda enerji tüketme kapasitesinin oldukça önemli bir özellik olduğu dikkate alınarak, betonarme çerçevenin merkezi çelik çapraz

ile güçlendirilerek betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki enerji tüketme kapasitelerinin araştırılması,

4) Betonarme çerçevenin merkezi çelik çapraz ile güçlendirilerek göçme şekillerinin ve buna bağlı olarak düşey taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasar durumunun ve derecesinin belirlenmesi,

5) Deney sonuçlarının ve davranışların birbirleri ile karşılaştırılması olarak sıralanabilir.

1.6. Çalışmanın Önemi

İnsanlar, yaşamlarının büyük bir bölümünü inşa ettikleri bu yapılarda geçirmektedirler. Dolayısıyla yapıya deprem, sel, rüzgâr gibi bir ilave yükün tesir etmesi durumunda; yapıların, insan hayatını ve malını tehdit etmeyecek şekilde uygun inşaat teknikleri kullanılarak teşkil edilmesi gerekmektedir. Fakat yaşamış olduğumuz ve inşaat teknolojisinin oldukça gelişmiş olduğu günümüzde dahi yapılar veya yapıların bazı bölümleri, kendisine tesir eden ilave yüklerden dolayı yıkılarak ölümlere ve maddi hasarlara sebep olmaktadırlar. Depremlerin geçmişteki örneklerinin gözlem ve incelemelerine dayanarak büyüklüğü, şiddeti, meydana gelebileceği yerler ve benzeri özellikleri önceden tahmin edilebilmesine karşın, plansız yapılaşma, denetim eksikliği ve bilgisizlik nedeniyle can ve mal kayıplarının önüne geçilememektedir. Yapılaşmada deprem tehlikesinin yeterince dikkate alınmaması, her yıl önemli ölçüde insanımızın can kaybına ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Türkiye'de nüfusun ve ekonomik değerlerin büyük kısmı önemli deprem etkilerine maruz bölgelerde bulunmaktadır. Bu bölgelerde daha önce meydana gelen depremleri küçük hasarlarla ya da hasar görmeden atlatan binaların, yeni bir depremde hasar görme ihtimalleri ise artmaktadır. Deprem etkisine karsı güçlendirilmesi gereken bu ve benzeri binalarda kullanılacak güçlendirme yönteminin ekonomik olması, güvenli olması, imalat hızının artırılması ve güçlendirme işlemine de acilen başlanılması gerekmektedir.

Ülkemizdeki binalarda yumuşak kat ve/veya zayıf kat oluşumu, burulma, yapı ağırlığının çok fazla artması, kısa kolon oluşumu, binalar arası derzlerin yetersizliği yeterli yanal rijitliğin sağlanamaması, detaylandırmadaki kusurlar, deprem etkisi altındaki zemin davranışı vb. konularda çeşitli kusurlar bulunmaktadır. Ülkemizdeki yapı stoğunun çoğu depreme karşı dayanıksız olduğundan acilen güçlendirilmesi gereği

ortaya çıkmıştır. Belirtilen bu nedenlerle yeni bir güçlendirme metoduna ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan bu çalışmada; deprem gibi yatay yüklerin yapıya etkimesi durumunda yumuşak kat düzensizliği bulunan yapılarda betonarme çerçeve içine dolgu duvarı ve merkezi çelik çapraz takviyesi yapılarak yapı davranışının nasıl etkilendiği konusunda fikir edinilebilecektir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlara göre mevcut yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme çerçeveli yapılarda merkezi çelik çapraz ile güçlendirilmesinde tasarım ve uygulama aşamasında hangi hususlara dikkat edileceği büyük ölçüde belirlenmiş olacaktır. Böylece güçlendirilen yapının olası bir depreme karşı güvenliği en üst düzeyde sağlanabilecek ve hasar riski en aza indirgenebilecektir. Ayrıca dolgu duvarların yapıya yatay yük etkimesi durumunda yumuşak kat düzensizliği durumuna ne şekilde etki edeceği görülebilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Altın, 1990), yaptığı tez çalışmasında 1/3 geometrik ölçekte, iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve elemanları betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş, tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada; betonarme dolgu duvarın donatı düzeni, betonarme dolgu duvar ile çerçeve arasında bağlantıyı sağlayan donatıların detaylandırılması, çerçeve kolonlarının boyuna donatı oranı, kolondaki eksenel yük miktarındaki değişim ve çerçevenin beton basınç dayanımı gibi değişkenler incelenmiştir. Çalışmadan çerçeve ile dolgu arasında yük aktaran donatıların davranış ve dayanımı önemli oranda etkilediği, kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yük düzeyinin davranış ve dayanımı olumlu etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır. Buna ek olarak dolgu duvarların çerçeve elemanının dayanım ve rijitliğini artırdığı sonuçları elde edilmiştir.

(Özcebe ve ark., 1998), yapılan çalışmada tek açıklıklı 8 adet betonarme çerçeve deprem davranışına benzeyen şekilde yatay yük altında hasara uğratılmıştır. Daha sonra betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş ve numunelere tekrar yatay yük etkitilmiştir. Hazırlanan numuneler deprem yönetmeliklerine aykırı olarak oluşturulmuş ve yetersiz etriye, yetersiz donatı bindirme boyları ve düşük beton dayanımı kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda; hasara uğratılan numunelere eklenen betonarme dolguların numunelerin yatay yük kapasitelerinde büyük oranda artış gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca betonarme dolgulu çerçevelerde kullanılan kolon boyuna donatının yatay yük taşıma kapasitesinde büyük bir öneme sahip olduğu görülmüştür. Artan boyuna miktarı ile birlikte eğilme etkisindeki betonarme dolgu duvarı dayanımı artmıştır. Ankraj çubuklarının kenetlenmesi ile ilgili olarak beton kalitesine doğrudan bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir başka sonuçta; kat hizalarında yetersiz bindirme boyları donatı kenetlenmesini düşürdüğü ve yatay yük kapasitesini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

(Sonuvar, 2001), tarafından yapılan bir çalışmada betonarme dolgular ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışını araştırmak için, 5 adet 2 katlı, tek açıklıklı, 1 / 3 oranında betonarme çerçeveler hazırlamıştır. Deney numuneleri pratikte sıkça rastlanılan hatalara sahip olarak üretilmiştir. Üretilen bu çerçeveler, yatay durumda tersinir tekrarlanır yükler

altında hasara uğratıldıktan sonra yerinde dökme dolgu duvarlar ve ilave güçlendirme vasıtalarıyla güçlendirilmiş ve yeniden tersinir tekrarlanır yatay yükler altında denenerek performansları araştırılmıştır. Çerçevelerin dayanım, rijitlik, enerji tüketme ve ötelenme özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada yapılan modellemede ise, betonarme dolgu duvarların eşdeğer çubuk elemanlar ile modellenmesi üzerine çalışılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle ve bir analitik modelin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda;

- Betonarme dolguların performansının özellikle kamalara ve işçiliğe bağlı olduğu tespit edilmiştir.
- Yatay yük-deplasman grafikleri incelendiğinde, betonarme dolgu ilavesinin yanında, uygulanan bölgesel güçlendirme tekniklerinin oldukça etkili olduğu gözlenmiştir.
- Dolgulu çerçevelerde boş çerçevelere göre 10-20 kat arasında yatay yük taşıma kapasitesi artışı gözlenmiştir.
- Çerçevenin beton kalitesi birleşim çubuklarının ankrajında etkili olmaktadır.
- Hemen hemen bütün dolgulu çerçeveler eğilme taşıma gücü kapasitesine ulaştığı belirtilmiştir.
- İyileştirme çalışmaları ile çerçevelerin enerji tüketme kapasiteleri önemli ölçüde artmıştır.

(Canbay, 2001), çalışmasında betonarme dolgu duvarlar ile doldurulmuş iki katlı, üç açıklıklı, yaklaşık 1/3 ölçekli betonarme çerçevenin davranış ve dayanımlarını incelemektedir. Bu çerçevede, ülkemizdeki binalarda sık rastlanan kusurların olmasına özen gösterilmiştir. İmal edilen boş çerçeve, düşey durumda, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında önemli hasar gözleyinceye kadar yüklenmiştir. Daha sonra boş çerçevenin orta gözü, betonarme bir duvarla doldurulmuş ve aynı tür yükler altında denenmiştir. Yükleme programı akma yüküne kadar yük kontrollü akmadan sonra deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Araştırmanın temel amacı, uygulanan yatay yükün çeşitli aşamalarında duvar ve çerçeve kolonları arasındaki yük dağılımlarını incelemek olduğu için; dolgu duvarının eklenmediği açıklıkların kolonları altına yatay deprem yükü uygulanması sonucunda gelen kesit tesiri değerlerinin

izlenebilmesi amacıyla özel bir ölçüm aracı geliştirilmiş ve çeşitli deneyler ile kalibre edilmiştir. Analitik kısımda ise, yapı limit analiz kullanılarak çözülmüş ve paket programlarla (drain2dx) modellenmiştir. Hesaplanan değerler deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda; betonarme dolgu duvarın kat seviyelerinde rijit kollu bir kolon olarak modellenebileceği, betonarme dolgunun göçmeden önceki aşamada yatay yükün % 90'nını taşıdığı, duvarın kapasitesinin dolgunun sınırlarında yer alan kolonların boyuna donatılarının yetersiz ankraj boyundan dolayı azaldığı, dolgulu deney numunesinin başlangıç rijitliğinin boş çerçeveninkinden yaklaşık 15 kat fazla olduğu, hasarlı çerçeveye dolgu duvar ilave edilmesiyle yatay yük taşıma kapasitesinin yaklaşık 4 kat arttığı, dolgu duvar ilavesinin sonucu olarak enerji tüketme kapasitesinin de önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır.

(Anıl, 2002), yapmış olduğu, 1 / 5 ölçekli üç katlı üç açıklıklı betonarme sistem deneylerinde yeni bir güçlendirme metodunun araştırmasını yapmıştır. Önerilen modelde kolon kiriş birleşim bölgesine epoksi yardımıyla ankraj yapılan, burkulma etkisinin önemli olmadığı, çekmeye çalışan çapraz çubuklar yardımıyla yanal ötelenmenin azaltılması, rijitliğin artırılması ve dolayısıyla yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada çekmeye çalışan çapraz çubuklar (inşaat demiri) kolon – kiriş birleşim bölgelerine basitçe ankre edilmektedir. Bu çalışmanın kapsamını değişik yapısal özellikteki 10 adet 1 / 5 ölçeğinde modellenmiş betonarme çerçeve sistemi oluşturmaktadır. Deneysel çalışma 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.
- Etriyeler sistem sünekliğini, enerji tüketme kapasitesini ve yatay yük kapasitesini artırmıştır.
- Etriye kancalarının 135 derece kancalı olarak imali etriyenin, 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.
- Kuşaklamanın zemin katta tüm açıklıklarda, üst katlarda ise azalan bir şekilde uygulanması sistemin üst katlarında perde davranışından, çerçeve davranışına kaymasına yardımcı olacaktır.
- Beton kalitesi epoksi ile yapılan ankrajın kuvvetini, dolayısıyla yatay yük kapasitesini doğrudan etkilemektedir.
- Dolgu duvarlarında kuşaklama kenar kolonlara ankastre edilerek sistemin monolitik çalışması sağlandığı takdirde, sistem davranışı olumlu yönde ilerleyecektir.
- Sünekliği kontrol altında tutmak için kuşaklamalar binanın orta bölgelerinde yapılmalı, kenar açıklılarda yapılması halinde ortaya çıkan boşluklu perde davranışı sonucu oluşan süneklik azalmasından kaçınılmalıdır.
- Dolgu duvarlar yatay yük taşıma kapasitesini artırmakla beraber, özellikle kenar açıklıklarda ciddi süneklik azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle dolgu duvarların bina statik hesaplarında yatay yüklere karşı dikkate alınmamasının uygun olduğu düşünülebilir. Kapasite artışları olumlu yönde olmasına rağmen, süneklik bazı durumlarda azalmaktadır.

(Anıl, 2002), çalışmasında 9 adet 1 / 3 geometrik ölçekli, bir açıklıklı ve bir katlı olarak modellenen betonarme dolgu duvarlı çerçeveleri tersinir tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Modellerden bir tanesi boş çerçeve, bir tanesi bir döküm çerçeve ve diğerleri ise güçlendirilmiş çerçevelerdir. Çalışmada betonarme dolgulardaki boşluk alanı ve yerinin değişimi incelenmiştir. Tüm deney elemanlarında bağlantı aynı şekilde yapılmıştır. Epoksi kullanılarak çerçeveye kenetlenen filiz donatıları, çerçeve ile betonarme dolgu duvarları arasındaki bağlantıyı sağlamak için kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda;

- Deprem bölgelerindeki betonarme çerçeve türü yapıların dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi uygun bir yöntem olarak belirtilmiştir.
- Dolgu duvarı, çerçevenin dayanım ve rijitliğini büyük ölçüde artırmaktadır.

- Kenar kolona yapılan perdeler ile güçlendirilen deney elemanlarında boş çerçeveye göre 3-6.5 kat daha fazla yatay yük tasıma kapasitesi gözlenmiştir.
- Birdöküm deney elemanlarının, dolgu duvarlarla güçlendirilen deney elemanlarından yaklaşık %81-%295 oranında daha büyük dayanıma sahip olduğu görülmüştür.
- Dolgu duvarlı elemanlar boş çerçeveye göre daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahiptir. Birdöküm elemanlar bos çerçeveden 7 kat daha fazla enerji tüketmiştir.
- Birdöküm deney elemanı, dolgu duvarlı deney elemanından 1.5-2.6 kat daha fazla enerji tüketmiştir.

Sezer ve ark. (2003), Türkiye'de 17 Ağustos 1999 depreminde betonarme yapıların performansını irdeledikleri bu çalışmada deprem hasarlarının sebeplerini şu şekilde özetlemektedirler,

- Detaylandırma hataları ya da yeterli sismik detaylarının olmaması,
- Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sargı donatısının olmaması,
- Etriyelerde kullanılan 90^{o}'lik kancalar,
- Kolon kesitlerinin yetersiz olması,
- Yanal ötelenmeyi önleyecek perde gibi elemanların çerçeve sistem içinde kullanılmaması,
- Düşük beton dayanımı,
- Yetersiz kenetlenme boyu,
- Kuvvetli kiriş zayıf kolon etkileşimi,
- Kötü zemin parametreleridir.

Bu hususlarla beraber perde duvar olan çoğu binada hasar düzeyleri çok az olmuştur.

(Balkaya ve ark., 2004), çalışmalarında Türkiye'de yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998) den 1. derece ve Z4 yerel zemini için üç katlı üç açıklıklı çerçevelerden oluşan yapı grubuna lineer olmayan statik

itme analiz uygulamışlardır. Çerçeveler düzenli ve düzensiz olarak sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak;

- Düzenli yapı ile çaprazlarla rijitleştirilmiş yapılar arasında çok büyük farklar ortaya çıkmıştır.
- Çaprazlar çerçeve rijitliğini önemli ölçüde artırmaktadır.
- Özellikle X çaprazlı çerçevelerde bu durum daha belirgindir.
- Zayıf cepheli düzensiz yapıların, kat planlarındaki rijitliğin düzenli (aynı) olması sebebiyle, düzensiz diğer yapılara göre yapının deprem performansının daha iyi olduğu görülmüştür.
- Yumuşak katlı yapıların, mafsallaşma ile kısa sürede performans kaybettikleri gözlemlenmiştir.

(Kara, 2006), araştırmasında betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde Türkiye'deki uygulamalarda sıkça kullanılan çerçeve içini doldurmayan parçasal betonarme dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altında dayanım ve davranışını incelemiştir. Türkiye'de betonarme yapıların çoğunda gözlemlenen bazı yapım ve tasarım kusurları olan betonarme çerçeve, deney elemanı olarak kullanılmıştır. Bu tür sünek olmayan betonarme çerçevelerin parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi durumunda, parçasal dolgu duvarın betonarme çerçevenin davranışına, dayanımına, sünekliğine, rijitliğine ve enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Çalışmada parçasal dolgu duvarın uzunluğunun, duvar yüksekliğine (l / h) oranındaki değişimin, aynı l / h oranındaki dolgu duvarların çerçeve içinde düzenleniş biçimlerinin ve dolgu duvarda uç elemanı varlığının dolgulu çerçevelerin davranışına etkileri incelenmiştir. 9 adet 1 / 3 geometrik ölçekli, iki katlı tek açıklıklı deney elemanı üretilmiş, deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar davranış, dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi bakımından yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri araştırmacıların ve yönetmeliğin önerdiği eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda;

- Çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri, çerçeve deney elemanına göre 3 ile 7 kat arasında değişen oranlarda artmıştır. Başlangıç rijitliği çerçeve

deney elemanına göre 6 ile 28 kat arasında değişen oranlarda artmıştır. Parçasal dolgu duvarın l/h oranının artmasıyla deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesi artmıştır.

- Çerçevenin bir kolonuna ve kirişlerine bağlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilen deney elemanlarının kolonlarında kesme kırılması gelişmiş ve deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesini ve davranışını olumsuz etkilemiştir. Çerçevenin kirişlerinde önemli sayılabilecek hasarlar oluşmamıştır.
- Betonarme çerçevenin tam dolu dolgu duvarı yerine uç elemanlı parçasal dolgu duvarıyla güçlendirilmesi davranış ve dayanımı etkilemiştir. Tam dolu dolgu duvarı yerine çerçeve içinde %25 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yatay yük taşıma kapasitesi %10; %50 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yük taşıma kapasitesi %41; %75 oranında boşluklu parçasal dolgu duvarı kullanılmasıyla, yatay yük taşıma kapasitesi %61 oranında azalmıştır.
- Parçasal dolgu duvarın çerçeve içinde çerçeve kolonuna bitişik olmayacak şekilde sadece kirişlere bağlanması veya çerçeve içinde tek parçalı yerine iki parçalı olarak kullanılmasıyla, deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri önemli oranda etkilenmemiştir. Ancak, kirişlerde gelişen kesme kırılması önemli oranda artmıştır.
- Dolgu duvarında uç elemanının olmamasıyla uç elemanlı dolgu duvarı olan deney elemanına göre başlangıç rijitliği %18, süneklik %38, enerji tüketimi %28 oranında azalmıştır.
- Betonarme çerçeve deney elemanı maksimum yük düzeyinde büyük yatay deplasmanlar yapmıştır. Deney elemanının kolon kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar oluşmuş, kolon uçlarında plastik mafsallar gelişmiştir. Deney elemanının başlangıç rijitliği ve enerji tüketim düzeyleri, dolgu duvarlı deney elemanlarına göre çok düşüktür.

(Korkmaz, 2007), çalışmasında betonarme yapılarda çelik çapraz profiller kullanılarak deprem davranışına etkisi doğrusal olmayan statik itme yöntemiyle araştırılmıştır. Çalışmada 10 katlı 1 adet betonarme çerçeve hazırlanmış ve bu çerçeveye farklı şekilde çelik çapraz modelleriyle güçlendirme yapılmıştır. Bu yöntemle

bütün numuneler deprem davranışı ve dayanım bakımından incelenmiş ve en verimli çelik çapraz modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma sonucunda; çelik çapraz ile güçlendirilme yapılması betonarme yapıların deprem performansının ciddi bir şekilde yükselttiği ve taşıma kapasitesinin buna buna bağlı olarak en az 2 kat arttığı sonucuna varılmıştır. Bu artışın çelik çapraz profillerin yerleşimine bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

(Yılmaz, 2007), bu çalışmada, mevcut diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, imalat sırasında bina kullanıcıları binayı terk etmeden binanın dışından sistemin iyileştirilmesi yöntemi araştırılmıştır. Bu amaçla, ülkemizdeki mevcut betonareme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 ölçekli, kolonları basınç kırılması gösteren, deprem dayanımı yetersiz, sünek olmayan, iki açıklıklı ve iki katlı 2 adet boş betonarme çerçeve ve 2 adet de aynı özelliklerdeki mevcut betonarme çerçeveye tek yönlü olarak betonarme dış perde duvar ilave edilmesi ile güçlendirilmiş/iyileştirilmiş sistem, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, kolonları basınç kırılması gösteren, deprem dayanımı yetersiz sünek olmayan, çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin, dayanım, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri ile davranışları elde edilmiş; daha sonra, aynı özellikteki mevcut betonarme binaya, betonarme dış perde duvar eklenmesiyle yapılan sistem iyileştirmesi/güçlendirmesi sonucu ortaya çıkan davranış ve sonuçlar elde edilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan analitik çalışmada ise; deney elemanlarının gerçek malzeme dayanımları kullanılarak, SAP2000 programında pushover analiz gerçekleştirilmiş ve sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca düşey elemanlar için de, moment-eğrilik ilişkisi bir bilgisayar programı vasıtasıyla elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar, deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır.

(Özmen ve ark., 2007) çalışmada deprem davranışı olarak düşük olarak görülen orta katlı binalardaki yumuşak kat düzensizliği ve dolgu duvarların bu düzensizliğe olan etkileri doğrusal olmayan statik analiz yöntemi ile incelenmiştir. Hazırlanan numuneler ilk kat yüksekliğinin diğer katlara göre yüksek olması, bu kattaki dolgu duvarların üst katlara göre daha az oluşu ve her iki durumun beraber olarak yapılmasıyla

oluşturulmuştur. Ayrıca hiç duvar bulunmayan numune de hazırlanarak tuğla dolgu duvarın yapılara etkisi araştırılmıştır. Bununla birlikte sargı donatısı aralığının değiştirilerek deprem davranışına olan etkisi incelenmiştir.

Çalışma sonucunda; zemin kat yüksekliğinin fazla oluşu ve tuğla duvar olmaması deprem davranışı açısından aynı derecede yumuşak kat davranışı oluşturmuştur. Bu nedenle kat yüksekliği kadar tuğla dolgu duvar alanındaki değişiminin de deprem davranışına etkili olduğu görülmüştür. Bazı durumlarda çalışma kapsamında ele alınan değerler çerçevesinde ani duvar alanı değişiminin kat yüksekliğinin arttırılmasından daha tehlikeli sonuçlara yol açabileceği gözlenmiştir.

(Arslan, 2007), özellikle okul, hastane gibi binalara yönelik ve bunların kullanım programlarını aksatmayacak, ekonomik ve emniyetli bir güçlendirme yöntemi olan, çerçeve sisteminde binanın dışına doğru ve planda her iki aksta bulunan yeni betonarme perdeler yapılması konusunda tez çalışması yapmıştır. Bu amaçla, deprem dayanımı zayıf olan ve kolonlarında düşük seviyede normal kuvvet bulunan (çekme kırılması oluşturabilecek seviyede) betonarme çerçevelerin, dış perde duvar ile güçlendirilmesi konusu araştırılmıştır. Araştırmada temel değişken, kolonların boyuna donatı oranlarının değişimi olmuştur. Deneysel araştırmada, 1 / 3 ölçekli, 2 adet boş çerçeve ve 2 adet dış perde duvar ile güçlendirilmiş çerçeve deneyleri yapılmıştır. Üretilen betonarme çerçeveler, ülkemizde sıklıkla karşılaşılan kusurları içermektedir. Bu kusurlar; düşük beton kalitesi, düz yüzeyli donatı kullanımı, kolon – kiriş birleşim bölgesinde kolonlarda etriye devam etmemesi, kolon – kiriş düğüm noktaları civarında etriye sıklaştırmasının yapılmamış olması, kolon boyuna donatılarının kat hizasında yetersiz bindirmeli ek seklinde yapılmış olması ve etriye kancalarının 90^o yapılması şeklinde sıralanabilir. Deneyler sonunda ;

- Deney numunesi 2'nin deney numunesi 1'e göre yatay yük taşıma kapasitesi, ileri çevrimler için %30 geri çevrimler için % 47 daha fazladır. Bunun sebebi, kolonlarda 2. deney numunesinde kullanılan boyuna donatının, 1. deneyde kullanılan boyuna donatıya göre %77 daha fazla olmasıdır.
- 1. grup çerçevelerde (kolonlarda boyuna donatı oranı $\rho t=0.013$) güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş çerçeveler arasında yapılan karşılaştırmaya göre, yatay yük taşıma kapasitesindeki artış oranı ileri çevrimde %366, geri çevrimde ise % 352'dir.

- 2. grup çerçevelerde (kolonlarda boyuna donatı oranı ρt =0.023) güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş çerçeveler arasında yapılan karşılaştırmaya göre, yatay yük taşıma kapasitesindeki artış oranı ileri çevrimde %304, geri çevrimde ise % 325'dir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında dış perde duvar ilavesi ile yapılan güçlendirilmenin, güçlendirilmemiş çerçeveye, yatay yük, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi olarak çok önemli katkıda bulunduğu görülmüştür.

(Öztürk, 2010), bu çalışmada çerçeve düzleminde olacak şekilde bina dışında oluşturulan betonarme perdelerin, mevcut betonarme çerçevelere farklı türlerdeki bağ kirişleri ile bağlanması sonucu oluşturulan güçlendirilmiş taşıyıcı sistemlerin dayanım ve davranışları deneysel ve analitik olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, iki katlı, tek açıklıklı, 1/2 geometrik ölçeğinde modellenen ve ülkemizde sıklıkla görülen yapım kusurlarını içeren 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerin 1'i boş, 2'si bağ kirişli betonarme dış perde duvar ilavesiyle güçlendirilerek ve 1'i de karşılaştırma amacıyla bağ kirişsiz betonarme dış perde duvar ilavesiyle güçlendirilerek depremi benzeştiren yatay yük altında denemiştir. 5. deney olarak da güçlendirme amacıyla sisteme ilave edilen dış perdenin bireysel olarak dayanımı ve davranışı incelenmiştir. Numunelerin denenmesi için, üst kata 2, alt kata ise 1 birim yatay yük uygulanarak, depremdeki üçgen yük dağılımını gerçekleştirecek eşdeğer bir statik yatay yükleme sistemi hazırlanmış ve numuneler tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altında denenmiştir.

Sonuçların değerlendirilmesi ile her bir taşıyıcı sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme gücü, rijitlik özellikleri ve genel davranışları elde edilmiştir. Çalışmanın analitik kısmında ise, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik itme (pushover) analizinden elde edilen sonuçlar ile diğer analitik çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır.

(Yön ve Sayın, 2011), çalışmada, aynı sisteme sahip 5,7 ve 9 katlı tipik betonarme binaların betonarme perde veya çelik çaprazlarla güçlendirilme seçenekleri değerlendirilmiştir. Tasarlanan bu binalar ilk olarak betonarme perde elemanlarla güçlendirilmiş daha sonra betonarme perdeler yerine çelik çaprazlar kullanılarak dayanımları artırılarak karşılaştırma yapılmıştır.

Analizler sonucunda güçlendirilmiş binaların kat deplasmanları belirlenmiştir ve iki sistem arasındaki ötelenme farkları belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda incelenen yapılarda; betonarme perde ile yapılan güçlendirmelerin çelik çaprazlarla yapılan güçlendirmeye göre göreli kat ötelemeleri bakımdan daha etkili olduğu görülmüştür. Ancak çelik çaprazlarla yapılan güçlendirmenin de yönetmelik bakımından gerekli dayanım ve rijitliği göstermiştir. Buna göre, incelenen yapıların güçlendirilmesinde her iki yönteminde güvenlik seviyesi bakımından yeterli olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yapı güçlendirilmesinde betonarme perde veya çelik çaprazların işçilik ve ekonomik sebepler göz önüne alınarak kullanılması önerilmektedir.

(Kamanlı ve ark., 2011), çalışmalarında 1/3 ölçekli tek açıklıklı ve tek katlı yapı stoğunda sıkça rastlanan tasarım kusurlarına sahip betonarme çerçeveler hazırlanmış ve tuğla dolgu duvar ile örülerek bir pencere boşluğu bırakılmıştır. Pencere boşluğu dikkate alınarak dıştan perde duvar, çelik levha ve çelik çaprazlarla numuneler güçlendirilmiştir.

Dıştan perde duvarla, çelik levhayla ve çelik çaprazlarla güçlendirilmiş çerçevelere depreme benzeyen yatay yük etki ettirilmiştir. Deney sonuçlarına göre güçlendirilmiş numunelere ait yatay yük kapasitelerinde önemli artış belirlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre uygulanan güçlendirme tekniklerinin, var olan yapıların depreme karsı güçlendirilmesinde etkin, ekonomik ve uygulanması kolay yöntemler olabileceği ortaya koymuştur. Ayrıca dıştan çelik levhalı ve düzlem dışı perde duvar ile güçlendirme yöntemlerinde yapının güçlendirilmeden çok az etkilenerek kolay bir şekilde uygulanabilir bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak incelenen güçlendirme yöntemlerinde yapı ağırlığı diğer yöntemlere daha az artacağından yapının deprem sırasındaki davranışı da daha iyi olacağı belirlenmiştir.

(Görgülü ve ark., 2012), yaptıkları çalışmada mevcut betonarme yapıların dış çelik perde sistemi ilavesiyle güçlendirilmesini araştırmışlardır. Bu amaçla 2 adet, üç boyutlu, iki katlı, üç açıklıklı ve 1/3 geometrik ölçeğinde özdeş çerçeveler hazırlanmıştır. Bu çerçeveler mevcut yapı stoğundaki genel eksiklikleri içermektedir. Numunelerden ilki referans eleman, diğeri ise dış çelik perde ile güçlendirilen elemandır. Güçlendirmede çerçeve sistemi dıştan ters V çelik çapraz ile güçlendirilmiş ve güçlendirme sadece orta açılıkta yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre ters V çelik çapraz ile güçlendirilen numune referans numuneye göre %248 daha fazla yük taşımıştır. 67,35 kN olan referans numune dayanımı güçlendirme sonunda 167.24 kN'a ulaşmıştır.

(Özbek ve Can, 2012), bu çalışmanın amacı; kolay uygulanabilir, ekonomik ve yapı kullanımını kısıtlamayan bir yöntemle betonarme yapıları depreme karşı güçlendirebilecek alternatif bir yöntem bulabilmektir. Bu amaçla malzeme olarak kolay temin edilebilir,ekonomik, sünek çelik profiller ve levhalar kullanılmıştır. Yanal rijitliğe sahip olan çelik profillerin kullanılmasındaki amaç, basınç doğrultusunda yük almaya başladığında burkulmanın geciktirilerek duvara etkiyen kuvvetin büyük kısmını kendi üzerine almasına çalışmak olmuştur. Ön ve arka yüzde kullanılacak çelik profiller duvar yüzüne bulonlarla ankrajlanmış, böylece üzerlerine çekme kuvvetleri geldiğinde duvarda oluşacak çatlaklar sınırlandırılmak istenmiştir. Çalışmada ½ ölçekli birisi referans beş adet güçlendirilmiş olmak üzere altı adet tuğla duvar tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir.

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Çelik profil ve üçgen levhalar kullanılarak yapılan güçlendirme sırasıyla duvar yatay yük kapasitesini ve rijitliğini iyileştirmiştir. Kullanılan üçgen levhanın bir kenarı iki tuğla boyunda olan elemanlarda dayanım 3,5 kat; rijitlik ise 3 kat artmıştır.
- Kullanılan üçgen levhalar köşe bölgelerin ezilmesini geciktirmiştir. Ancak bu levhaların iki yüzde karşılıklı kullanılması önerilmektedir.
- Kullanılan teknikler yapılardaki göreli kat ötelenmesi göçme sınırları dâhilinde etkinliğini sürdürmüştür. Yani yapı göçme durumuna gelmeden güçlendirilmiş duvarında göçmeyeceği düşünülmektedir.
- Analitik hesaplamalarla yapılan deney sonuçları birbirleriyle uyuşmaktadır.
- Deney çalışmasında uygulanan metot gerçek yapı stoğuna uygulanması oldukça kolay ve ekonomik olduğu görülmüştür.

(Kılıç, 2012), çalışmada betonarme yapıda mevcut olan dolgu duvarların güçlendirilmesinde hasır çelik ve sıva uygulanmasının farklı şekillerde yapılması

üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Uygulamada tasarım, malzeme ve işçilik kusurları görülen 2 katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve numuneleri oluşturulmuştur. Deney sistemi 1/2 ölçekte hazırlanmış olup, 5 adet farklı numune (betonarme boş çerçeve, sadece dolgu duvarlı betonarme çerçeve ile hasır çelik ve sıva kaplamasının farklı şekillerde kullanıldığı 3 adet farklı numune) oluşturularak birbirileri ile kıyaslama yapılmıştır.

Hasır çelik ve sıva ile güçlendirilen çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerinde önemli bir artış görülmüştür. Ancak bu güçlendirme yöntemi ile yönetmelikte belirlenen deprem performansına ulaşılamadığı sonucuna varılmıştır. Gerekli performansın sağlanamamasında tasarım, malzeme ve işçilik kusurları etkili olmuştur. Bu nedenle yapıların güçlendirilmesinde öncelikle yapının detaylı bir şekilde incelenmesi ve kusurlarının giderilmesi gerekmektedir.

(Sahoo ve Rai, 2013), çalışmalarında zemin katında yumuşak kat davranışı sergileyen sürek olmayan betonarme çerçevelerin sismik davranışlarının iyileştirilmesi ile ilgili 2 güçlendirme tekniğinin analitik değerlendirmesini yapmışlardır. Bunlardan ilki, yatay dayanımı ve zemin katta bulunan kolonların plastik dönme kapasitelerini artırmak için yapılan kolonların çelik kafes içerisine alınması yöntemidir. Diğer numune ise tam güçlendirme olarak adlandırılabilecek, güçlendirilen zemin kat kolonlarına ilave olarak, enerji tüketimini artıran alüminyum kayma bağlantılarının bulunduğu yöntemdir. Betonarme çerçeve ile söz konusu enerji dizayn yaklaşımı dikkate alınmıştır. Deney sırasında incelenen parametreler ise katlar arası öteleme, akma mekanizması, enerji sönümleme ve yatay dayanım kapasitesi olmuştur.

Deney sonuçlarına göre tam güçlendirme tekniği kayma bağlantılarında büyük enerji tüketimi ile yumuşak kat göçmesini önlemiş ve ötelenmeleri kontrol altına almıştır.

(Sivri ve ark., 2015), çalışmada, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme tek açıklıklı çerçevenin ANSYS programı ile sonlu elemanlar kullanılarak analizleriyapılmıştır. Dolgu duvarlı ve çelik çaprazla güçlendirilen çerçevenin farklı varyasyonları incelenmiştir. Çalışma sonucunda; dolgu duvarlı numunelerin betonarme çerçevenin deprem dayanımlarını 6 kat arttırdığı görülmüştür. Ayrıca yatay yükleme sırasında dolgu duvarlar daha önce hasara uğramakta ve göçmektedir. Son olarak çelik çaprazlı numunelerin yatay yük taşıma kapasitesi %235 oranında arttığı görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye'de 1970'li yıllardan bugüne kadar betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvar ile güçlendirilmesi ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte son yıllarda betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi ile ilgili deneysel çalışmalarda da artış gözlenmiştir. Bu çalışmaların nedenlerinden biri de ülkemizde bulunan yapı stoğunun istenilen deprem dayanımını sağlayamaması ve inşa edilen yapıların özen gösterilmeden ve bilinçsizce yapılmasıdır. Güçlendirme çalışmaları günümüzde de güncelliğini korumakta ve yeni güçlendirme teknikleri geliştirilmesi için araştırmalar devam etmektedir. Dolgu duvarlarla ilgili yapılan çalışmalarda genellikle tek katlı tek açıklıklı ve iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeveler betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilip tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmektedir. Betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirme yönteminin etkinliği ve dolgu duvarın, betonarme çerçevenin davranış ve dayanımı üzerindeki etkileri incelenmektedir (Kara, 2006).

Türkiye'de güçlendirme ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunda mevcut binalardaki kusurlar yansıtılmakla beraber çeşitli güçlendirme teknikleri üzerine etkileri test edilmektedir. Bu çalışmada ülkemizdeki mevcut yapı tiplerinde de sıkça karşılaşılan düşey doğrultudaki düzensizlik durumlarından "Komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat)" etkisi incelenmiştir.

Ülkenizde ticari amaçlarla giriş katlarının, üst katlardan daha yüksek yapılması ile sıklıkla karşılaşılmaktadır. Ayrıca yapıdaki yatay yük dağılımının dengelenmesi esnasında, taşıyıcı sistem ile birlikte çalışan dolgu duvarlarının herhangi bir katta kaldırılmasıyla beraber yapıda ani rijitlik değişimi meydana gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı yapılarda yumuşak kat oluşumu kaçınılmaz olmaktadır.

TDY 2007'de yumuşak kat düzensizliği, "Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı ηki 'nin 2.0'den fazla olması durumu" olarak tanımlanmaktadır. Eğer ticari amaçlarla yumuşak kat oluşumu meydana geliyorsa yapı dayanımının iyileştirilmesi gerekir.

Bu çalışmada da yumuşak kat düzensizliği bulunan yapıların güçlendirilmesi konusunda uygulanabilecek bir yöntem olan çelik çapraz elemanlarla güçlendirme

konusunda çeşitli deneyler yapılmıştır. X ve ters V şeklindeki merkezi çelik çaprazların yumuşak kat düzensizliği üzerindeki etkisi üzerinde durulmuştur.

Bu bölümde, deprem güvenliği yetersiz olan yani depreme dayanıklı betonarme bina yapım kurallarına uymayan ve uygulamada sıkça karşılaşılan tasarım ve yapım kusurlarını içerecek şekilde imal edilmiş 4 adet deney numunesinin geometrik özellikleri, malzeme özellikleri, yükleme ve ölçüm sistemleri açıklanmıştır.

Betonarme yapılarda ağır hasar ve göçmeye neden olan ve mevcut yapı stoğunu temsil etmesi açısından deney numunelerinin üretiminde göz önüne alınan kusur ve zayıflıklar şunlardır;

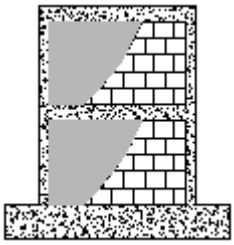
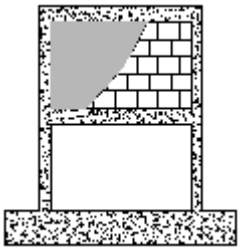
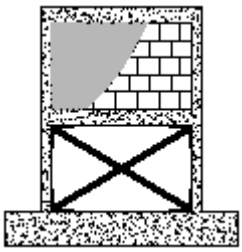
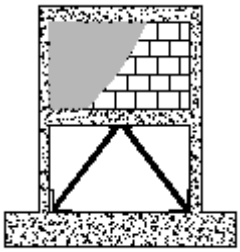
a) Beton dayanımının düşük olması,
b) Kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde etriyelerin devam ettirilmemesi,
c) Kolon-kiriş uç bölgelerinde etriye sıklaştırmasının olmaması,
d) Donatı dayanımının istenilen düzeyde olmaması,
e) Etriye kancalarının 135^{o} yerine 90^{o} yapılması,
f) Kuvvetli kiriş-zayıf kolon tasarımı.

3.1. Deney Numuneleri

Bu çalışmada deneye tabi tutulan betonarme çerçeveler, tek açıklıklı ve 2 katlı olarak üretilmişlerdir. Betonarme deney elemanlarının tümünde geometrik boyutlar ve donatı düzeni tamamen aynıdır. Betonarme numune boyutları, mevcut binaların yükseklik ve açıklıkları ile kolon kiriş boyutları göz önüne alınarak tasarlanmış ve çerçeve boyutları 1/3 geometrik ölçek ile hazırlanmıştır. Çerçevelerde alt kat yüksekliği 1200 mm, üst kat yüksekliği 900 mm çerçeve açıklığı ise dıştan dışa 1500 mm'dir. Kuvvetli kiriş – zayıf kolon oluşumu için, kirişlerin boyutu 150x150 mm, kolonların boyutları ise 100x150 mm olarak tasarlanmıştır. Betonarme çerçevenin mesnetlendiği temel kirişi ise 500x700x2500 mm boyutlarındadır. Yani temel, üst yapıyı etkilememesi için rijit olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada deneye tabi tutulacak çerçevelere; betonarme çerçeve içerisine bir yüzü çerçevenin dış yüzeyinde olacak şekilde 85mm kalınlığında tuğla duvar örülmüştür. Örme işleminde bağlayıcı olarak çimento, kireç, kum ve su malzemeleri kullanılmıştır. Tuğla duvar yüzeyi yine bu malzemelerin karışımı ile sıvanmıştır.

Deney programı içerisinde 4 adet deney numunesi hazırlanmış ve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Deney elemanlarının genel görünüşleri ve isimlendirmeleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney numunelerinin genel özellikleri.

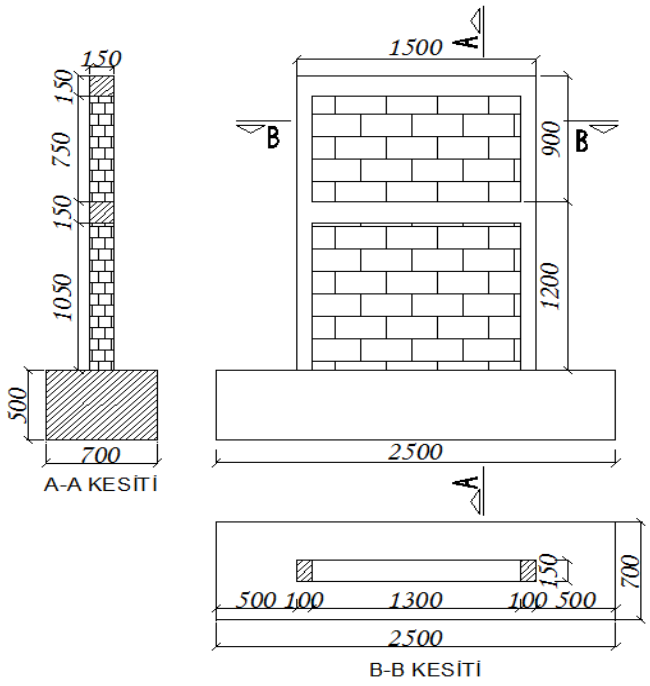
Deney Numunesi No	Deney Numunesi Özelliği	Deney Numunesi Resmi
1. Deney (DN1-RÇ)	Referans çerçeve	
2. Deney (DN2-YKÇ)	Üst katta dolgu duvarlı yumuşak katlı çerçeve	
3. Deney (DN3-XÇAP)	Üst katta dolgu duvarlı alt katta X çaprazla takviye edilmiş çerçeve	
4. Deney (DN4-VÇAP)	Üst katta dolgu duvarlı alt katta ters V çaprazla takviye edilmiş çerçeve	

Deney programında ilk deney referans numune olarak üretilen 2 katı da dolgu duvarlı olan betonarme çerçevedir. İkinci deney numunesi sadece üst katın dolgu duvarlı olduğu (ticari amaçlar için zemin katında duvar bulunmayan) yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçeve olarak üretilmiştir. Üçüncü deneyde, 2. Deneyde test

edilen yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevede zemin katta merkezi X çelik çaprazlarla bir takviye yapılmıştır. 4. Deneyde ise yine yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevede zemin katta merkezi ters V çaprazlarla takviye yapılmıştır. Ters V çaprazın tercih edilmesinin nedeni, mimari düzenlemede geçişler için daha uygun olmasıdır.

3.1.1. Deney numunelerinin boyutları

Çerçeve boyutları tasarlanırken ülkemizdeki mevcut yapı stoğu dikkate alınmıştır. Ülkemizde binaların giriş katlarının genellikle ticari amaçlarla kullanılma nedeniyle giriş kat yüksekliği daha fazla olmaktadır. Bu nedenle betonarme çerçevede açıklık dıştan dışa 1500 mm, kat yüksekliği ise temel üstünden 1. Kat kirişinin üst seviyesine kadar 1200 mm'dir. 2.kat yüksekliği ise 900 mm'dir. Temel boyutları oldukça rijit seçilmiş olup 500x700x2500 mm boyutlarında bir temel kirişi imal edilmiştir. Kolon boyutları olarak 100x150 mm'lik, kiriş boyutları olarak da, kuvvetli kiriş zayıf kolon oluşumu için 150x150 mm'lik bir kesit seçilmiştir. Referans boş çerçevenin boyutları Şekil 3.1.' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Referans deney elemanının görünümü ve boyutları (ölçüler mm'dir)

Yumuşak kat düzensizliği olan çerçeve de, referans çerçeveyle aynı boyutlara ve donatı düzenine sahiptir. Referans numuneye göre farkı alt kat betonarme çerçeve içerisine 85mm kalınlığında tuğla duvar örülmemiştir. Üst kat ise referans numunesi gibi tuğla duvar ile örülerek oluşturulmuştur. Böylece alt katın rijitliği azalarak, yumuşak kat oluşumu sağlanmıştır.

3.deney numunesi olan üst katta dolgu duvarlı alt katta X merkezi çelik çaprazla takviye edilmiş çerçeve numunesi de referans çerçeveyle aynı boyutlara ve donatı düzenine sahiptir. Referans numuneye göre farkı alt kata tuğla duvar yerine betonarme çerçeve içerisine L60.60.6 mm çelik profil X şeklinde yerleştirilerek deney numunesi oluşturulmuştur. Çelik levhalar kolon ve kirişler üzerine ankraj bulonları yardımıyla ankrajlanmıştır.

4.deney numunesi üst katta dolgu duvarlı alt katta ters V merkezi çelik çaprazla takviye edilmiş çerçeve numunesidir. Referans numuneye göre farkı alt katta tuğla duvar yerine betonarme çerçeve içerisine L60.60.6 mm çelik profil ters V şeklinde çerçeveye ankrajlanmıştır.

3.1.2. Deney numunelerinin detayları

3.1.2.1. Betonarme çerçeve detayları

Bu çalışmada kullanılan beton ve donatı detayları, Türkiye'de taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda sıkça karşılaşılan bazı yapım kusurlarını içerecek şekilde tasarlanmıştır. Çerçevede kullanılan betonun basınç dayanımının (f_c) =16 MPa olması hedeflenmiştir.

Çerçevelerde kullanılan donatının düz yüzeyli (S220) olması hedeflenmişse de, piyasadan nervürsüz donatı temin edilemediği için, nervürlü donatı (S420) kolon ve kirişlerde boyuna donatı olarak kullanılmıştır.

Çerçeve numunelerinin kirişlerinde açıklıkta altta 3Ø10 eğilme donatısı ve üstte 3Ø10 montaj donatısı kullanılmıştır. Kirişlerde pilye kullanılmamış, açıklıkta ve mesnette donatı oranı sabit tutulmuştur. Kirişlerde kullanılan eğilme donatısı oranı; ρ=0,0105'tir. Bu donatı oranı TS500'de belirtilen sınırlar dahilindedir.

$$0.02 > \rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{3 \times 79}{150 \times 150} = 0.01053 \geq \rho_{\min} = 0.8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \times \frac{0.85}{3.65} = 0.00186 \qquad (3.1)$$

Kolonlarda ise 4ϕ10 boyuna donatı kullanılmış olup donatı oranı ρ=0.021 olmaktadır. Bu donatı oranı yönetmelikte belirtilen sınırlar dahilindedir.

$$\rho = \frac{A_{st}}{b_w \times h} = \frac{4 \times 79}{150x100} = 0.02106 \geq \rho_{\min} = 0.01 \tag{3.2}$$

Kirişlerde alt ve üst donatılar, kolon dış yüzeyine kadar uzatılmış ve bu noktadan itibaren kiriş yüksekliği boyunca (150 mm) yukarı ve aşağı yönde bükülmüştür. Kolon donatılarında ise boyuna donatı yerleşiminde sürekli donatı detayı uygulanmış ve bindirmeli ek yapılmamıştır. Korkmaz ve Ark. (2010) çalışmalarında yetersiz bindirmeli ek yapılarak üretilen kolonlarda boyuna donatı sıyrılması deneyleri olumsuz yönde etkilemiş ve deneyde incelenen parametrelerin etkisinin görülmeden deneylerin sonlanmasına sebep olmuştur. Bu nedenle tez çalışması kapsamındaki numunelerde boyuna donatılar sürekli olarak yapılmıştır.

Kolon ve kirişlerde ϕ4/100 mm aralıklarla enine donatı (etriye) kullanılmıştır. TS-500-1984'de minimum etriye çapı 8 mm olarak verilmiştir. TS-500-2000 de ise etriye çapı için minimum değer 8 mm, etriye aralığı için ise en fazla 12ϕ ya da 200 mm'dir.

Kolonlar için;

Etriye çapı en az $\phi_\ell / 3 = 10/3 = 3.33mm$ (3.3)

Etriye aralıkları $s \leq \begin{matrix} 12\phi_\ell = 12 \times 10 = 120mm \\ 200/3 = \quad 67mm \end{matrix}$ (3.4)

Kirişler için;

Etriye çapı en az $\phi_\ell / 3 = 10/3 = 3.33mm$ (3.5)

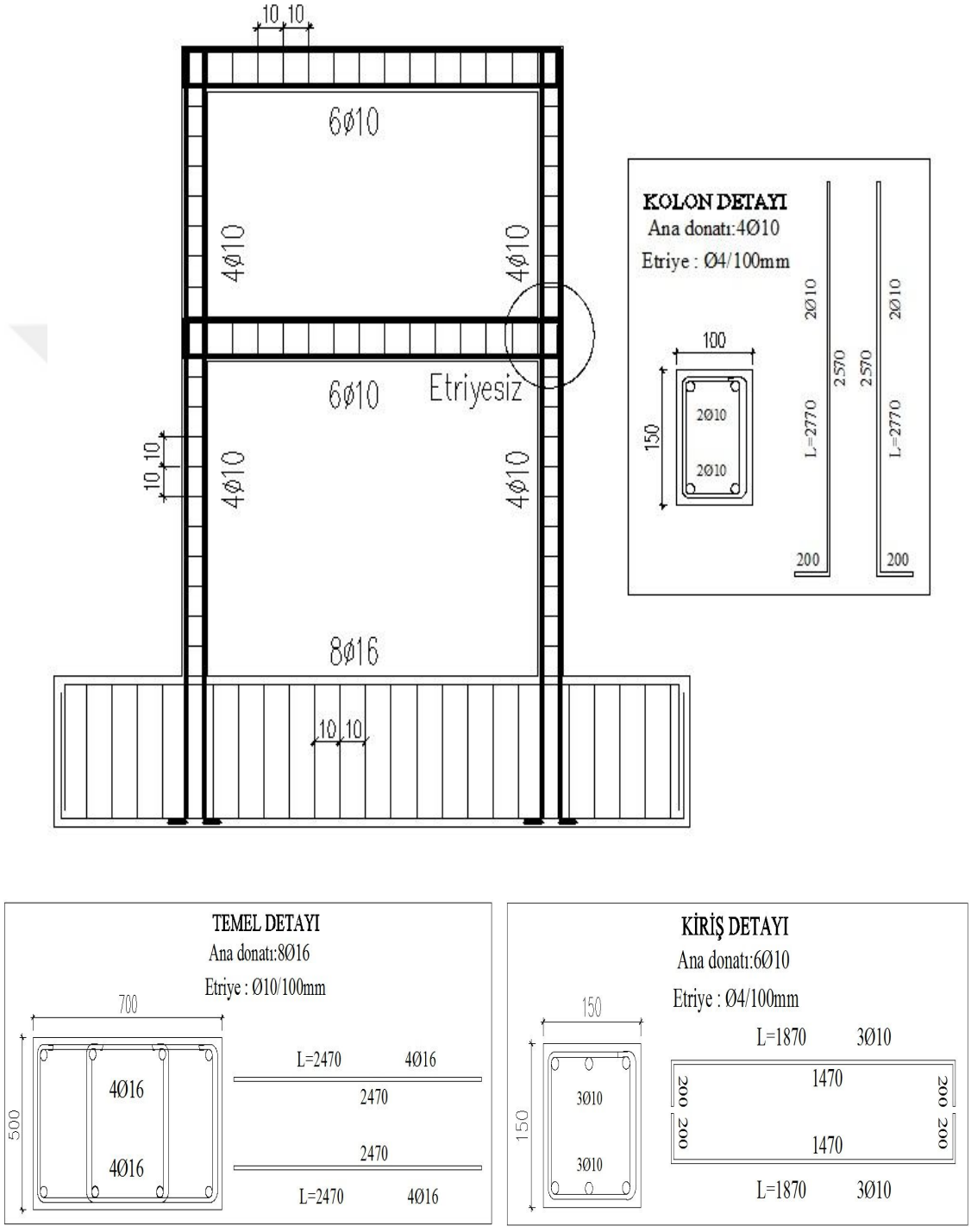
Etriye aralıkları sarılma bölgesi dışında

$s \leq h/2 = 150/2 = 75mm$ (3.6)

Bu sebeplerden dolayı 1/3 ölçekli deney elemanlarında kolon ve kirişlerde ϕ4/50 mm enine donatı kullanılması uygundur. Fakat etriye aralıklarının ilgili yönetmelik ve standartlara uygun yerleştirilmemesinin etkisi incelendiği için, etriye aralıkları 100 mm olacak şekilde düzenlenmiştir.

Betonarme çerçevelerde temel donatısı olarak 8ϕ16 boyuna donatı kullanılmış, ϕ10/100 mm enine donatı kullanılmıştır.

Şekil 3.2.' de betonarme çerçevelerin donatı detayları verilmiştir.



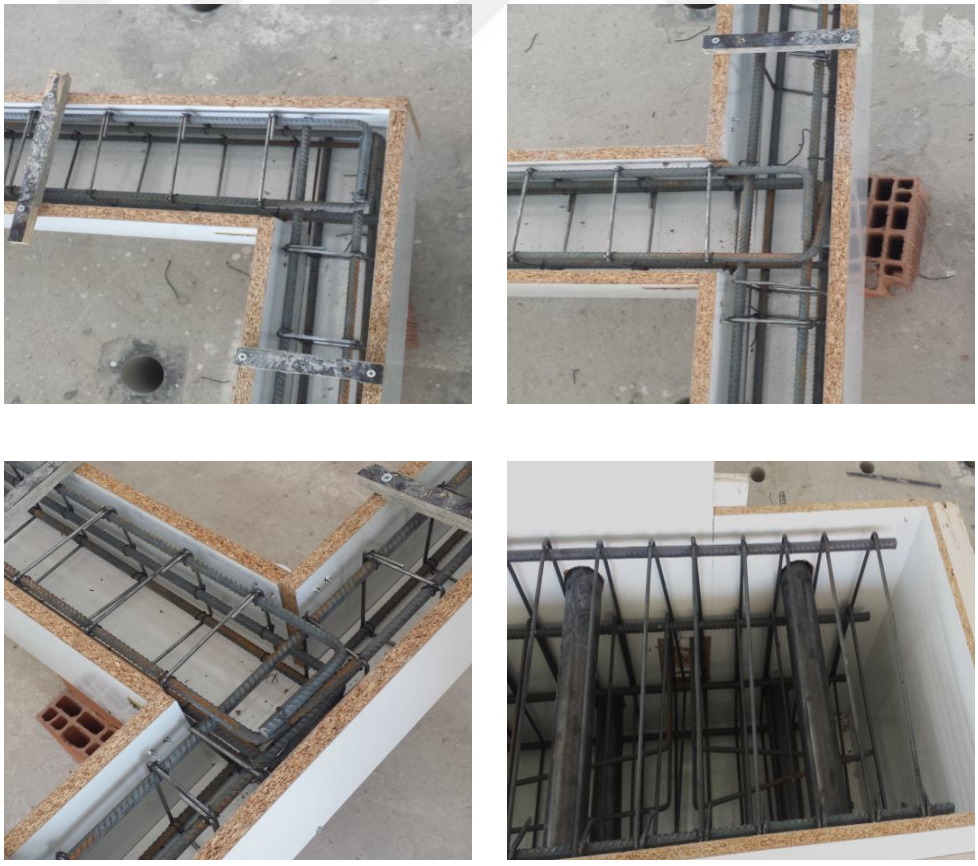
Şekil 3.2. Betonarme çerçevelerin donatı detayları.

Kolon ve kiriş etriyelerinin kancaları, uygulamadaki durum dikkate alınarak 90^{o} olacak şekilde düzenlenmiştir. Bütün deney elemanlarında paspayı, donatı yüzünden itibaren 10 mm olarak uygulanmıştır. Şekil 3.3.' de donatıları yerleştirilmiş çerçeveler görülmektedir.



Şekil 3.3. Çerçeve numunelerin beton dökümünden önceki görünümü.

Şekil 3.4.' de donatıları yerleştirilmiş çerçevelerin düğüm nokta detayları görülmektedir.



Şekil 3.4. Çerçeve numuneleri birleşim bölgelerine ait donatı detayı.

3.1.3. Deney numunelerinin malzeme özellikleri

3.1.3.1. Beton

Deney için hazırlanan betonarme çerçeveler S.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Deney elemanlarında kullanılan betonun dayanımının yaklaşık 16 MPa olması amaçlanmıştır. TDY 2007'de betonarme yapılarda kullanılabilecek en düşük beton dayanımı 20 MPa olarak tanımlanmıştır. Mevcut yapı stoğunda genel olarak beton dayanımı yönetmelik koşullarını sağlamadığı için hedef dayanım daha küçük seçilmiştir. Beton dökümü numuneler yatay konumdayken gerçekleşmiştir.

Betonarme çerçevelerdeki beton dayanımı, beton dökümü sırasında alınan beton numunelerinin 28.günde eksenel basınç testine tabi tutulması ile belirlenmiştir.

Her bir betonarme çerçeveden 2 adet numune alınmıştır. Şekil 3.5.'de alınan 15 cm çapındaki silindir numuneler ve test edildiği dijital pres makinası ile kırılması gösterilmiştir. Çizelge 3.2.'de ise alınan numunelerin beton basınç dayanımları ve ortalamaları gösterilmiştir. Yapılan testler sonucunda beton basınç dayanımları ortalama olarak 13,37 MPa elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Beton basınç dayanımlarının belirlenmesi.

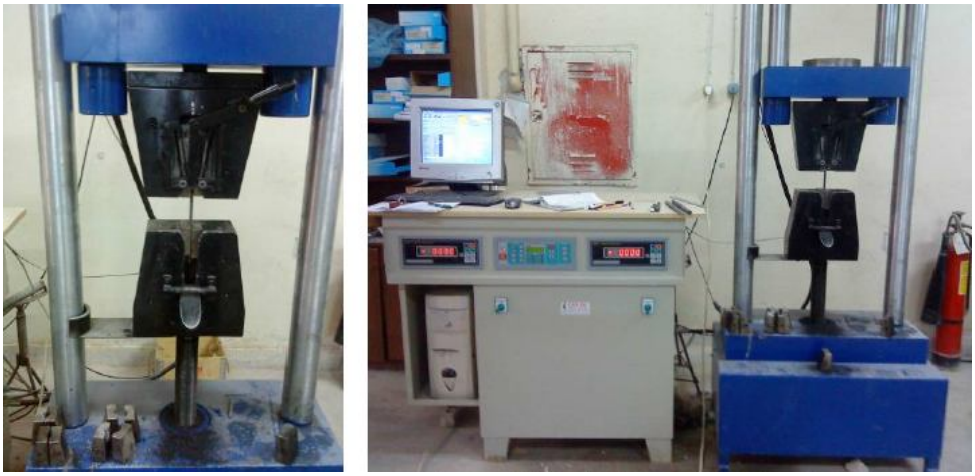
Çizelge 3.2. Deney numunelerinin ortalama beton basınç dayanımları.

Deney numune	f_c , 28 gün (MPa)	f_c , 28 gün Ortalama (MPa)
DN1	14,94	13,37
DN1	13,48	
DN2	13,35	
DN2	13,59	
DN3	13,17	
DN3	12,51	
DN4	12,05	
DN4	13,87	

3.1.3.2. Donatı

Ülkemizde deprem davranışı yetersiz, sünek olmayan yapılardaki donatılar genellikle nervürsüz donatılardır. Deney elemanlarında nervürsüz donatı kullanılması düşünülmüşse de piyasadan nervürsüz donatı temin edilemediği için, kolon, kiriş ve temel donatıları nervürlü olarak kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerde enine donatılar düz olarak temin edilebilmiş ve deney elemanlarında etriye olarak kullanılmışlardır.

Kullanılan bu donatılar çelik çekme cihazında test edilmiştir. Kullanılan donatının karakteristik değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla 3'er adet 400 mm uzunluğunda numuneler alınarak test edilmiştir. Donatıların test edilme aşamasındaki görünümü Şekil 3.6.'da, donatı çubuklarının test sonuçları ise Çizelge 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Örnek bir donatı çeliği çekme deneyi.

Çizelge 3.3. Donatı çubuklarının test sonuçları

Donatı çapı (mm)	Akma dayanımı f_{yk} (MPa)		Maksimum çekme dayanımı f_{su} (MPa)		Donatı türü ve kullanıldığı yerler
	Ölçülen	Ortalama	Ölçülen	Ortalama	
ϕ10	424	421	652	648	S420, Temel enine donatıları
	418		650		
	421		644		
ϕ10	415	419	654	650	S420, Kolon ve kiriş boyuna donatıları
	420		652		
	422		642		
ϕ16	422	422	651	647	S420, Temel boyuna donatıları
	423		645		
	421		645		

3.1.4. Deney numunelerinin hazırlanması

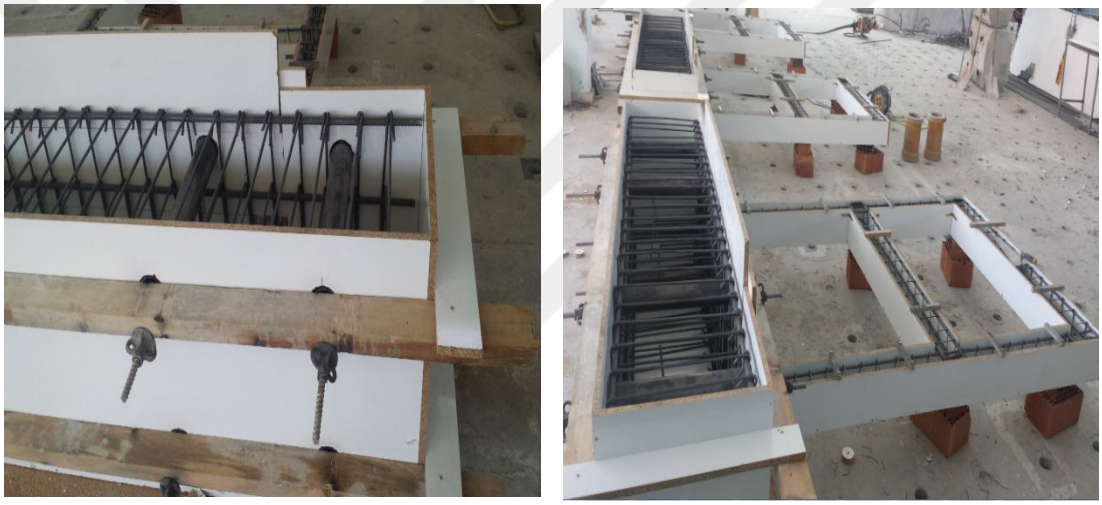
Deney numuneleri Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Laboratuvarında hazırlanmıştır. Deney numuneleri hazırlanırken, tüm deney elemanlarının çerçeve özellikleri aynı olacağından 4 adet deney elemanı aynı anda hazırlanmış, daha sonra güçlendirme elemanları bu çerçevelere eklenmiştir.

3.1.4.1. Betonarme çerçevelerin hazırlanması

Betonarme çerçeveler üretilirken ilk olarak kalıplar hazırlanmış, sonra donatılar hazırlanarak kalıp içine yerleştirilmiş ve son olarak da beton dökülerek betonarme çerçeveler oluşturulmuştur. Deney elemanları yatay şekilde yerde imal edilmişlerdir. Betonarme boş çerçevenin kalıpları 18mm kalınlığında sunta kullanılarak imal edilmiştir. İlk olarak temel kalıpları yapılmış kolonların bulunduğu yerler boş bırakılarak donatıların temel içinde oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca temel kalıpları yapılırken Deprem Laboratuvarındaki döşemelere numuneyi sabitlemek amacıyla, daha önceden belirlenen mesafelerden delikler açılmış ve bu deliklere 76mm çaplı çelik borular yerleştirilerek beton dökümü esnasında bu deliklerin kapanması engellenmiştir. Kolon-kiriş ve temel-kolon birleşim bölgelerine ek parçalar yapılarak bu bölgelerin beton dökülürken kırılmaması veya açılmaması sağlanmıştır. Şekil 3.7 ve şekil 3.8 de deney numunelerinin hazırlanması ve donatıların kalıplara yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 3.7. Deney numuneleri kalıplarının hazırlanması.



Şekil 3.8. Donatıların hazırlanması ve kalıplara yerleştirilmesi.

Kalıplar hazırlandıktan sonra donatılar hazırlanmış ve kalıplara yerleştirilmişlerdir. Temellerde üstte 3Ø16 mm, altta 3Ø16 mm donatı kullanılmıştır. Temelde etriyeler Ø10/100 mm olarak düzenlenmiştir. Kolon boyuna donatıları 4Ø10 mm olarak hazırlanmış ve Ø4/100 mm etriye kullanılarak sarılmıştır. Kolonlarda sarılma bölgesi yapılmamış, temel ve kiriş birleşim bölgelerinde etriyeler devam ettirilmemiştir. Kirişlerde ise üstte 3Ø10 mm, altta 3Ø10 mm boyuna donatı ve Ø4/100 mm enine donatı kullanılmıştır. Kirişlerin kolon içerisine giren bölümlerinde etriyeler devam ettirilmemiş ve birleşim bölgelerine yakın yerlerde etriye sıklaştırılması yapılmamıştır.

Donatıların kalıplara yerleştirilmesinden sonra beton dökülmesi için kalıplar hazırlanmıştır. Bu amaçla kalıpların beton dökülmesi aşamasında açılmaması için

laboratuvarda bulunan çeşitli malzemeler yardımıyla kalıplar sabitlenmiştir. Betonarme çerçeveler tasarlanırken beton basınç dayanımının fc=16 Mpa olması hedeflenmiştir. Bu sebeple Konya'da bulunan özel bir beton santralinden temin edilen beton Deprem Laboratuvarımıza getirilerek kalıplara dökülmüştür. Bir yandan beton dökülürken diğer yandan vibratör yardımıyla ve çelik bir çubukla şişlenerek betonun kalıplara iyi yerleştirilmesine çalışılmıştır. Tüm çerçeveler birlikte imal edildiklerinden 4 çerçeveye de aynı anda beton dökülmüştür. Böylece tüm deneylerde özdeş beton özellikleri elde edilmiştir. Şekil 3.9'da beton dökümü yapılan numuneler gösterilmiştir. Şekil 3.10'da ise beton dökümünden sonra numunelerin durumu görülmektedir.



Şekil 3.9. Numunelere beton dökümü.

Kalıplar beton dökümünden 1 hafta sonra çıkarılmıştır. Suntadan imal edilen kalıpların dış yüzeyleri parlak ve kaygan olduğundan beton numuneye yapışmamış ve kolayca çıkarılmıştır. Deprem Laboratuvarında bulunan vinç sayesinde yatay konumdan dikey konuma getirilen numuneler beton dayanımını alabilmesi için 28 gün bekletilmiştir. Beton dökümünün ardından ilk 1 hafta numuneler sabah, akşam sulanmıştır.



Şekil 3.10. Beton döküldükten sonra çerçeve numunelerinin durumu.

3.1.4.2. Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin hazırlanması

3.1.4.2.1 İki katı tuğla dolgu duvarlı numune (DN1-RÇ)

Hazırlanan betonarme boş çerçeve numunelerinden ilkinin her iki katı da 8,5'luk blok tuğlalar (85mmx190mmx190mm) ile örülmüştür (Şekil 3.11-şekil 3.12). Basınç dayanımı, tuğla deliklerine paralel yönde 12,0 MPa, boşluklara dik kısa yönde 2,8 MPa ve boşluklara dik uzun yönde 3,2 MPa olarak ölçülmüştür. Daha sonra tuğla dolgu duvarlar; kum, çimento, kireç ve su karışımından oluşan malzeme ile sıvanmıştır. Sıva duvarın her iki yüzüne de uygulanmıştır. Son olarak sıvanan yüzeyler beyaz boya ile boyanmıştır.



Şekil 3.11. Numunelerde kullanılan 8,5'luk tuğlalar.



Şekil 3.12. Deneyden önce referans çerçeve (DN1-RÇ) numunenin durumu.

3.1.4.2.2 Üst katı tuğla dolgu duvarlı yumuşak katlı numune (DN2-YKÇ)

Hazırlanan betonarme boş çerçeve numunelerinden diğerinde sadece üst kat 8,5'luk blok tuğlalar (85mmx190mmx190mm) ile örülmüştür. Daha sonra aynı şekilde tuğla dolgu duvarlar; kum, çimento, kireç ve su karışımından oluşan malzeme ile sıvanmıştır. Sıva duvarın her iki yüzüne de uygulanmıştır. Son olarak sıvanan yüzeyler beyaz boya ile boyanmıştır.



Şekil 3.13. Deneyden önce üst katı dolgu duvarlı çerçeve numunenin (DN2-YKÇ) durumu.

3.1.4.3. Güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin hazırlanması

3.1.4.3.1 Merkezi X çelik çapraz ile güçlendirilmiş numune (DN3-XÇAP)

Hazırlanan betonarme boş çerçeve numunesinin üst katı yine 8,5'luk blok tuğlalar ile (85mmx190mmx190mm) örülmüştür. Alt katı ise L.60x60x6mm St37 çelik köşebent ile merkezi X çelik çapraz çerçeve oluşturacak şekilde güçlendirilmiştir.

TDY 2007 yönetmeliği 4.7.1.1'de verilen enkesit koşulları uyarınca, çaprazların kenar uzunluğu/kalınlık oranının yönetmelik Tablo 4.3'te verilen koşulu sağlaması gerekmektedir. Çapraz elemanın enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşul, süneklik düzeyi normal sistemlerde Denklem 3.7. ile verilmiştir.

$$\frac{h}{t_w} \le 0.5\sqrt{E_s / \sigma_a} \qquad (3.7)$$

L60x60x6 için h=60 mm , t_w = 6 mm ve i_{min} = 1,17 cm

M16 bulon kullanılması halinde A_{net} = 6,91 - 0,6 x 1,7 = 5,89 cm^2

St 37 çeliği için ;

$$\frac{60}{6} = 10 \le 0{,}5\sqrt{206182 \ / 235} = 14.81$$

elde edilir ve gerekli enkesit koşullunun sağlandığı görülür.

Yönetmelik bölüm 4.7.1.4'e göre, sadece çekme kuvveti taşıyacak şekilde hesaplanan çaprazlarda narinlik oranı 250'yi aşmayacaktır.

Çubuk boyu L = 75,4 cm olan diyagonal çubuklarda narinlik oranı;

$$\lambda = \frac{75{,}4}{1{,}17} = 64{,}44 < 250$$

Yönetmelik bölüm 4.7.1.2'e göre, basınca çalışan elemanlarda narinlik oranı

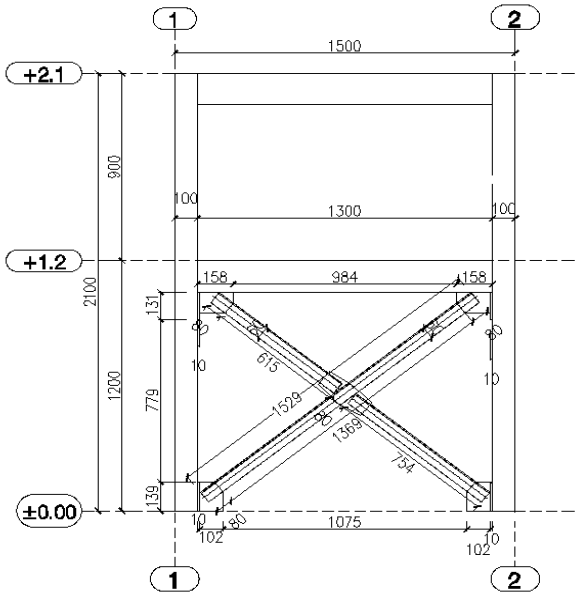
$4.0\sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır. (3.8)

$$4.0\sqrt{E_s / \sigma_a} = 4.0x29.62 = 118$$

Çubuk boyu L=75,4 cm olan diyagonal çubuklarda , narinlik oranı

$$\lambda = \frac{75{,}4}{1{,}17} = 64{,}44 < 118$$

olduğundan narinlik koşulu sağlanmaktadır.



Şekil 3.14. Merkezi X çelik çaprazlı numune boyutları.

Betonarme çerçeve ile çelik profillerin bağlantısı, 10mm kalınlıklı çelik plakaların M16 ankraj bulonlarıyla betona ankrajlanması ve profillerin de bu plakalara kaynaklanmasıyla oluşturulmuştur. Levha bulon delik mesafeleri yönetmeliklere uygun bir şekilde delinmiş ve ankraj işlemi etkinliğini araştırmak için mekanik olarak gerçekleştirilmiş ve herhangi bir kimyasal kullanılmamıştır. Bu yöntemde ankrajlar betona başlıkların açılmasıyla kenetlenmektedir. Ayrıca çerçevenin düzlem dışı hareketinin önlenmesi için çelik levhalar şaşırtmalı olarak yerleştirilmiştir.



Şekil 3.15. Çelik çaprazlı numunelerde kullanılan malzeme ve detaylar.



Şekil 3.16. Deney öncesinde merkezi X çelik çaprazlı numunenin (DN3-XÇAP) durumu.

3.1.4.3.2 Merkezi V çelik çapraz ile güçlendirilmiş numune

Hazırlanan betonarme boş çerçeve numunesinin sonuncusu ise üst katta yine 8,5'luk blok tuğlalar ile (85mmx190mmx190mm) örülmüştür. Alt katı ise L.60x60x6mm St37 çelik köşebent ile merkezi V çelik çapraz çerçeve oluşturacak şekilde güçlendirilmiştir.

TDY 2007 yönetmeliği 4.7.1.1'de verilen enkesit koşulları uyarınca, çaprazların kenar uzunluğu/kalınlık oranının yönetmelik Tablo 4.3'te verilen koşulu sağlaması gerekmektedir. Çapraz elemanın enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşul, süneklik düzeyi normal sistemlerde Denklem 3.7. ile verilmiştir.

$$\frac{h}{t_w} \le 0.5\sqrt{E_s / \sigma_a} \qquad (3.7)$$

L60x60x6 için h=60 mm , t_w = 6 mm ve i_{min} = 1,17 cm

M16 bulon kullanılması halinde A_{net} = 6,91 - 0,6 x 1,7 = 5,89 cm^2

St 37 çeliği için ;

$$\frac{60}{6} = 10 \le 0{,}5\sqrt{206182/235} = 14.81$$

elde edilir ve gerekli enkesit koşullunun sağlandığı görülür.

Yönetmelik bölüm 4.7.1.4'e göre, sadece çekme kuvveti taşıyacak şekilde hesaplanan çaprazlarda narinlik oranı 250'yi aşmayacaktır.

Çubuk boyu L = 102,3 cm olan diyagonal çubuklarda narinlik oranı;

$$\lambda = \frac{102{,}3}{1{,}17} = 87{,}43 < 250$$

Yönetmelik bölüm 4.7.1.2'e göre, basınca çalışan elemanlarda narinlik oranı

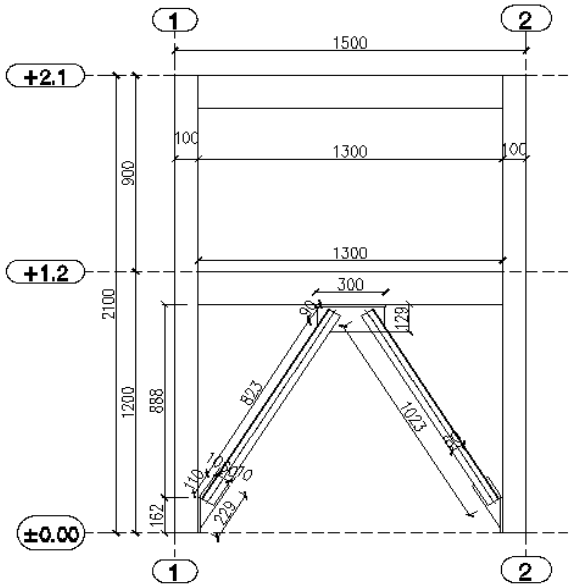
$4.0\sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır. (3.8)

$$4.0\sqrt{E_s / \sigma_a} = 4.0x29.62 = 118$$

Çubuk boyu L=102,3 cm olan diyagonal çubuklarda , narinlik oranı

$$\lambda = \frac{102{,}3}{1{,}17} = 87{,}43 < 118$$

olduğundan narinlik koşulu sağlanmaktadır.



Şekil 3.17. Merkezi V çelik çaprazlı numune (DN4-VÇAP) boyutları

Betonarme çerçeve ile çelik profillerin bağlantısı yine aynı şekilde 10mm kalınlıklı çelik plakaların M16 ankraj bulonlarıyla betona ankrajlanmasıyla oluşturulmuş ve mekanik ankraj yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Merkezi V çelik çaprazlı numune birleşim detayları.



Şekil 3.19. Deneyden önce merkezi ters V çelik çaprazlı numunenin durumu.

3.2. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği

Bu çalışmada tek açıklıklı iki katlı ve alt kat yüksekliği daha fazla olan numuneler Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında imal edilmiş ve tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir.

Numunelerin önce kalıpları hazırlanmış ve gerekli donatılar kalıplar içerisine yerleştirilerek beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra dolgu duvarlar örülmüş ve gerekli güçlendirme işlemleri çelik profiller ile yapılmıştır. Laboratuvarda hazırlanan numuneler mevcut bulunan vinç yardımıyla düşey olarak deney düzeneğine yerleştirilmiştir.

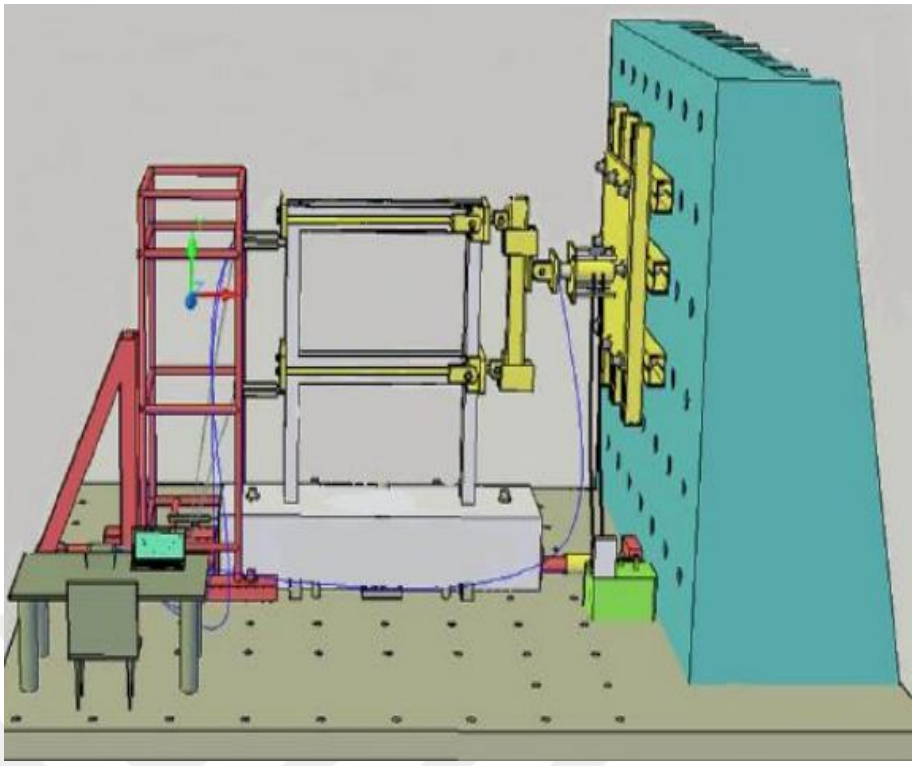
Yerleştirilen numuneler laboratuvar döşemesinde bulunan delikler sayesinde borularla döşemeye sabitlenmiştir. Dayanma duvarındaki delikler yardımıyla ise yükleme sistemi yatay olarak sabitlenmiş ve pistonlar aracılığı ile numuneye gerekli yükler etkitilmiştir. Deneylerde, bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılmış ve sisteme etkitilen yükler ve deplasman değerleri kayıt altına alınmıştır. Deneylere yük kontrollü başlanılmış sistem akma durumuna gelince deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir.

3.2.1. Yükleme düzeneği

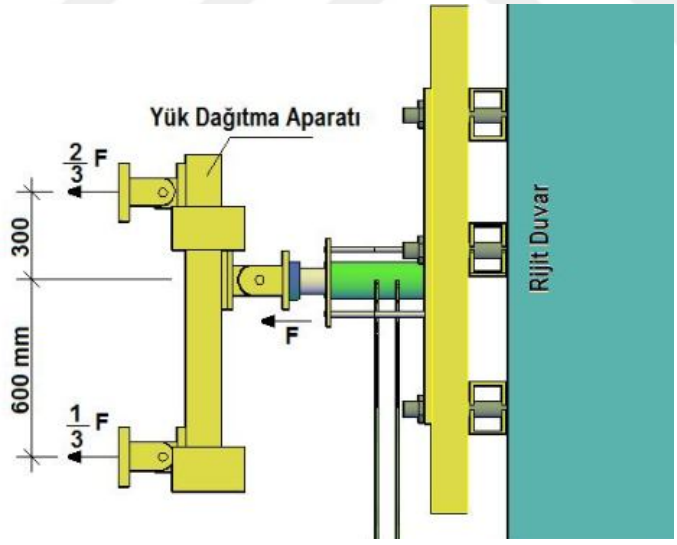
Deprem Araştırma Laboratuvarında üretilen numuneler 500 kN basınç, 500 kN çekme kuvveti kapasiteli bir hidrolik silindir aracılığıyla yüklenmiştir. Deney sırasında uygulanacak yükü okuyabilmek için hidrolik silindire yük hücresi (loadcell) bağlanması gerektiğinden, silindirin ucuna yiv açılmıştır. Böylece basınç ve çekmede yük hücresi değerlerinden okunan değerler bilgisayara aktarılabilmiştir (Ünal ve ark., 2013).

Yük hücresi çelik bir levhaya sabitlenmiş ve bu levha ucuna mafsallı bir plaka sistemi yapılarak betonarme çerçevenin katları arasında oluşabilecek farklı yer değiştirmelerde sistemin rahatça hareket edebilmesi amaçlanmıştır. Mafsal üst kirişin ortasından 300 mm aşağıda ve alt kat kirişinin ortasından 600 mm yukarıda yerleştirilmiş ve 300x300mm kesitinde 1500mm boyutunda bir çelik kutu profile kaynaklanmıştır. Bu düzenekle birlikte numuneye uygulanan yatay yük 2/3 oranında üst kata, 1/3 oranında ise alt kata etkitilmiştir. Kat kirişlerine bağlanan çelik kutu profil sisteminin üst katı rijit bir şekilde itmesini engellemek için kutu profil doğrudan numuneye bağlanmamış, alt ve üst katlar hizasından mafsallı plakalar konularak sistemin rahat bir şekilde deplasman yapabilmesi amaçlanmıştır. Rijit çelik profil, mafsallar vasıtasıyla numune kat hizalarından bağlanmıştır. Kat hizalarında kirişlere paralel şekilde yerleştirilen transmisyon milleri ile yükün çekme çevrimlerinde de uygulanması sağlanmıştır (Ünal ve ark., 2013).

Deney sırasında oluşacak büyük yük okumalarından dolayı temel hareketinin önlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle numune laboratuar döşemesinde bulunan delikler vasıtasıyla yere sabitlenmiştir. Bunun için 76 mm çapında ve 540 mm uzunluğunda borular kullanılmıştır. Numunenin sağına ve soluna beton dökümünden önce dörder adet olmak üzere toplam 8 adet delik bırakılmış ve bu deliklerden borularla numune döşemeye sabitlenmiştir. Temelin hareketini engellemek amacıyla "I" profilden yapılmış payandalar kullanılmış ve bu payandalar ile temel arasına hidrolik silindir konularak temel sıkıştırılmıştır. Ayrıca uygulanan basınç ve çekme yükleri altında potansiyometrik cetvellerin (LVDT) hareket etmemesi için kutu profillerden iskele yapılmıştır. Bu iskele de laboratuvarda bulunan döşemelere borular vasıtasıyla sabitlenmişlerdir.



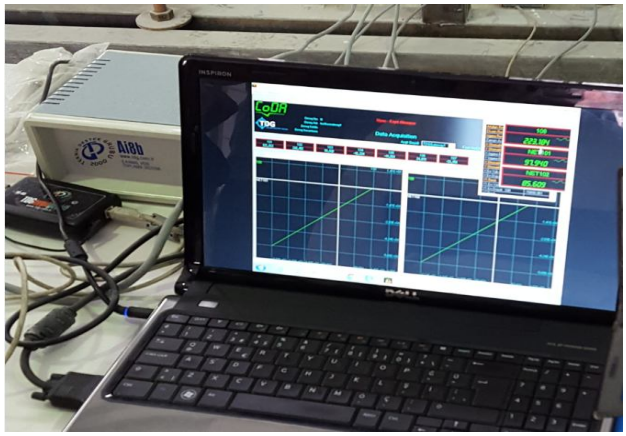
Şekil 3.20. Yükleme düzeneğinin görünümü (Ünal ve ark., 2013)



Şekil 3.21. Yükleme düzeneğinin görünümü (Ünal ve ark., 2013)

3.2.2. Ölçüm tekniği

Deneylerde yük ölçümleri, yük hücreleri (loadcell) ile sistemdeki deplasmanlar ise LVDT ile ölçülmüştür. Bu aletlerden okunan değerler bilgisayara TDG marka veri toplama (data logger) sistemi vasıtası ile aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.22. Veri toplama sistemi.

3.2.2.1. Yük ölçümleri

Deney numunelerine hidrolik kriko yardımıyla çekme kuvveti ve basınç kuvveti olarak uygulanan yatay yük, yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. Yük hücrelerinin çıkış uçları data logger kutusuna bağlanmış olup, buraya gelen yük okuma değerleri bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 3.23. Deneylerde kullanılan yük hücresi.

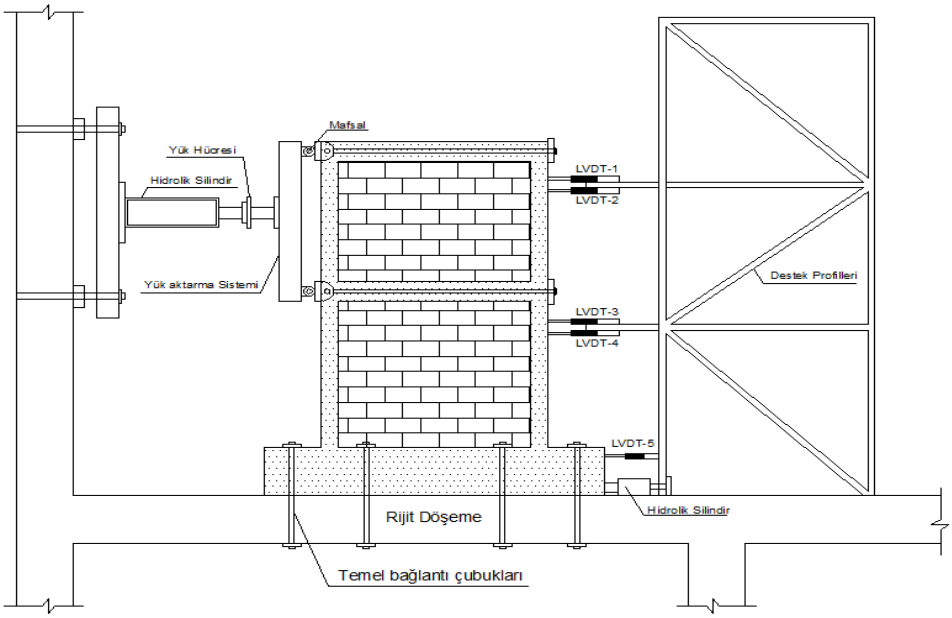
3.2.2.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi

Deney numunelerinin yer değiştirme ölçümleri LVDT adı verilen elektronik cetveller yardımıyla ölçülmüştür. LVTD'lerin çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmakta buradan da bilgisayardaki yazılıma kaydedilmektedir. Kullanılan

LVDT'ler 0,01 mm hassasiyetli bir ölçüm yapabilmektedir. Yer değiştirmelerin ölçülmesi için önce, kullanılan LVDT'lerin kalibrasyonu yapılmıştır. Kat kirişleri seviyesinde basınç ve çekme kuvvetlerini aktaran levhalar bulunduğu için, LVDT'ler bu levhaların hemen altına yerleştirilmiş ve hesaplanan değerler doğrusal olarak kat hizası seviyesine çevrilmiştir. Her kata 2 adet LVDT yerleştirilmiştir. Ayrıca temel hareketinin yatay ve düşey hareketini takip edebilmek için temel gövdesine ve kenarına da LVDT yerleştirilmiştir.

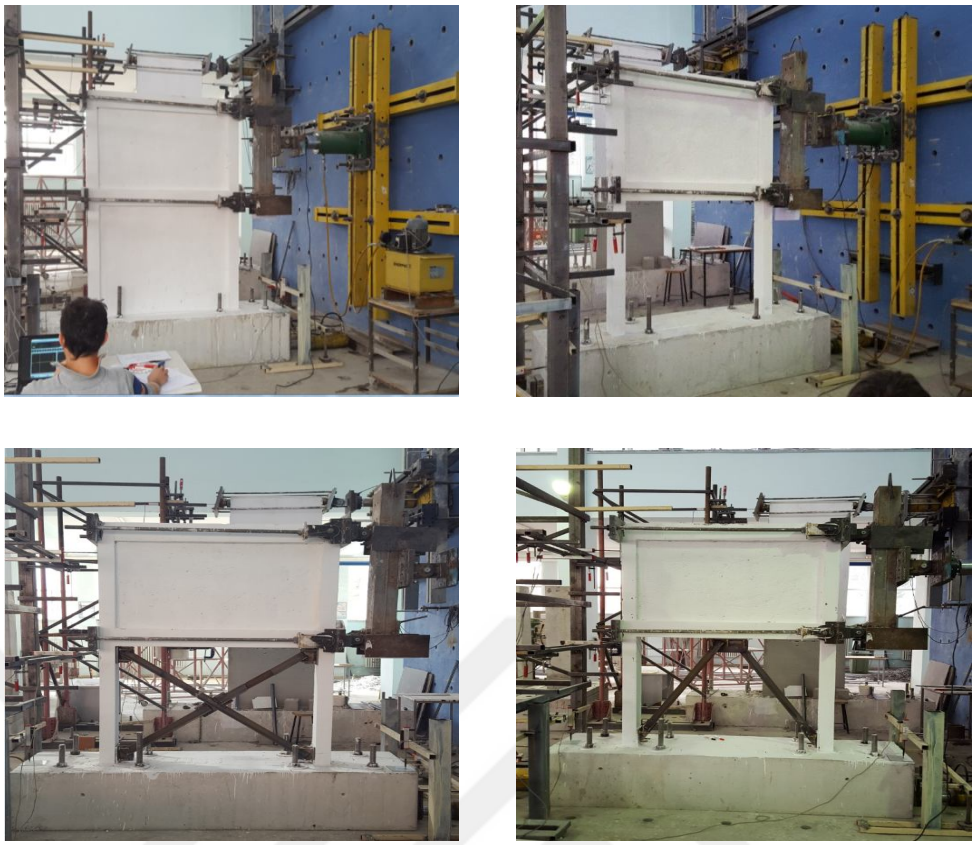


Şekil 3.24. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin kalibrasyonu ve yerleşimi.



Şekil 3.25. Deneye tabi tutulan referans betonarme çerçeve.

Ölçüm sistemleri yerleştirilen numunelerin deney öncesi görünümleri şekil 3.26'da gösterilmiştir



Şekil 3.26. Deney düzeneğine yerleştirilen deney numuneleri.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde deney elemanlarının tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmesi ve bu testlerin sonuçları açıklanmıştır. Deney elemanları farklı kapasitelere sahip olduğu için özdeş bir yükleme programı uygulanamamıştır. Test edilen deney elemanlarında üçgen yük dağılımı prensibiyle 2. kata 2 birim, 1. kata 1 birim yük gelecek şekilde yüklenmiştir. Tüm deneylerde yüklemeye önce yük kontrollü olarak başlanılmış, yük deplasman eğrisi yatay konuma geldiğinde (nominal akma sınırına ulaşıldığı zaman), deplasman kontrollü olarak devam edilmiş, deney elemanında büyük hasarlar meydana gelene kadar deneyler devam ettirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada deney esnasında oluşan çatlaklar işaretlenerek numaralandırılmış ve bu çatlaklar fotoğraflanmıştır. Deney elemanlarında son çevrimden sonra oluşan hasarlar fotoğraflanarak verilmiş, bilgisayar ortamında, oluşan çatlaklar ve hasarlar çizilmiştir. Deney sonuçlarının açıklanmasının ardından yapılan deneylerin birbirleri ile karşılaştırmaları grafiklerle gösterilmiş ve deney sonuçları yorumlanmıştır.

4.1. Deney Sonuçları

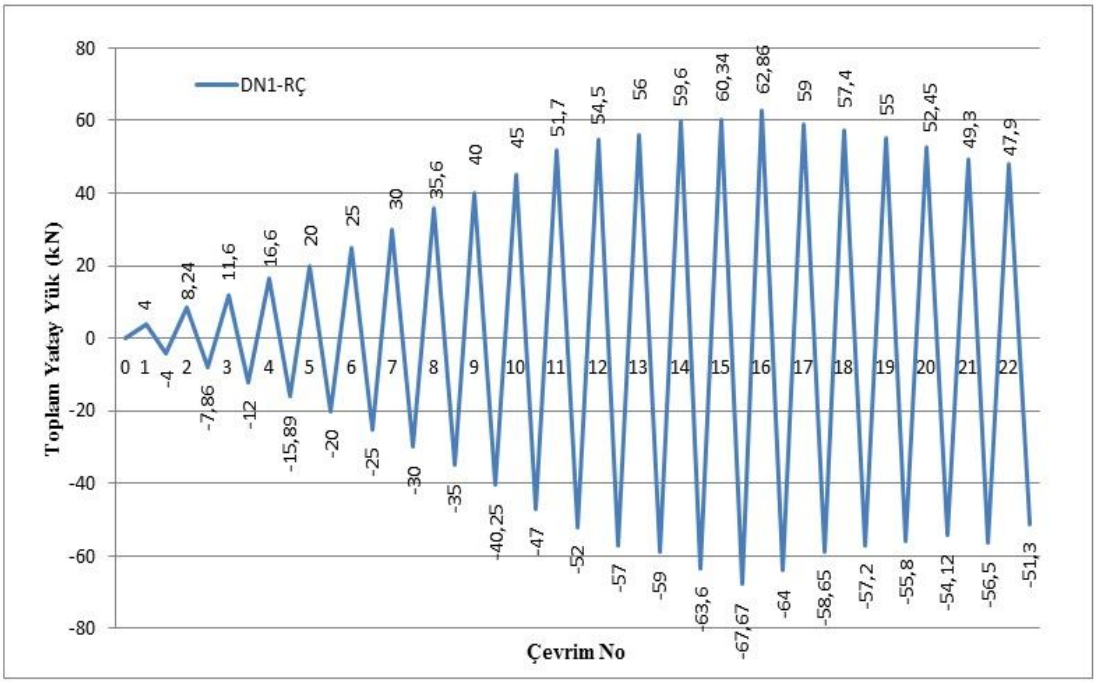
4.1.1. Deney elemanı-1 (DN1-RÇ)

Çalışma kapsamında ilk deney numunesi, alt kat yüksekliği 1200 mm, üst kat yüksekliği 900 mm olan her iki katı da tuğla dolgu duvarlı ve zayıf kolon-kuvvetli kiriş özelliği taşıyan referans betonarme çerçevedir. Mevcut beton basınç dayanımı 13,37 MPa olarak belirlenmiştir. Deneyde uygulamada sıklıkla karşılaştığımız, düşük beton kalitesi, kolon kiriş birleşim bölgesinde ve uçlarda etriye sıklaştırılmasının yapılmaması, etriye kancalarının 90° olması ve düz donatının kullanılması gibi mevcut yönetmeliklere ve standartlara uygun yapılmamış numune test edilmiştir.

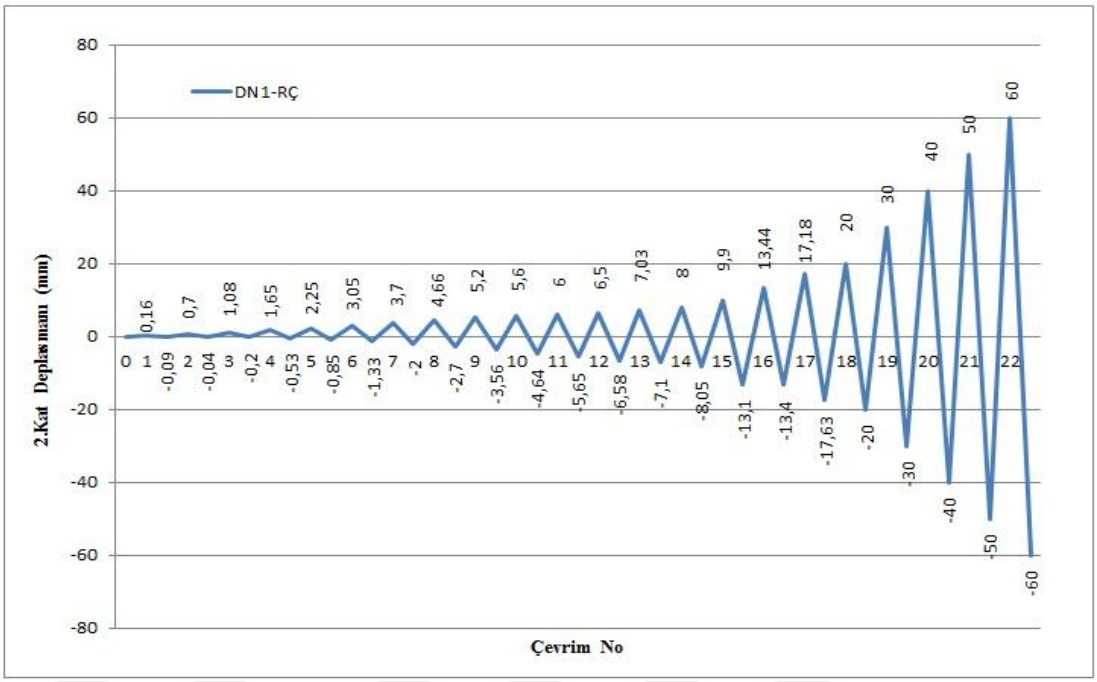


Şekil 4.1. Referans numunenin (DN1-RÇ) deney öncesi görünümü.

Referans boş çerçeveye uygulanan yük geçmişi Şekil 4.2.' de, deplasman geçmişi ise Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Referans numunesinin (DN1-RÇ) yatay yük geçmişi.



Şekil 4.3. Referans numunesinin (DN1-RÇ) tepe deplasman geçmişi.

Deneyde ilk çevrimlerde herhangi bir çatlak ve hasar görülmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir. Çevrimler pozitif, basınç kuvveti uygulanan çevrimler ve negatif, çekme kuvveti uygulanan çevrimler olarak adlandırılmıştır.

Deneyde ilk çatlaklar pozitif 2.çevrimde yaklaşık 8 kN yük seviyesinde S102 kolonuyla duvar birleşiminde 1 numaralı çatlak olarak oluşmuştur. Bu çevrimde toplam yük 8,24 kN olurken toplam yüke karşılık gelen tepe deplasmanı 0,70 mm olmuştur. Şekil 4.4'de deney sırasında oluşan ilk 4 çatlak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Referans çerçeve numunesine (DN1-RÇ) ait ilk çatlaklar.

Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri adımlar 1 ve geri adımlar 2 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

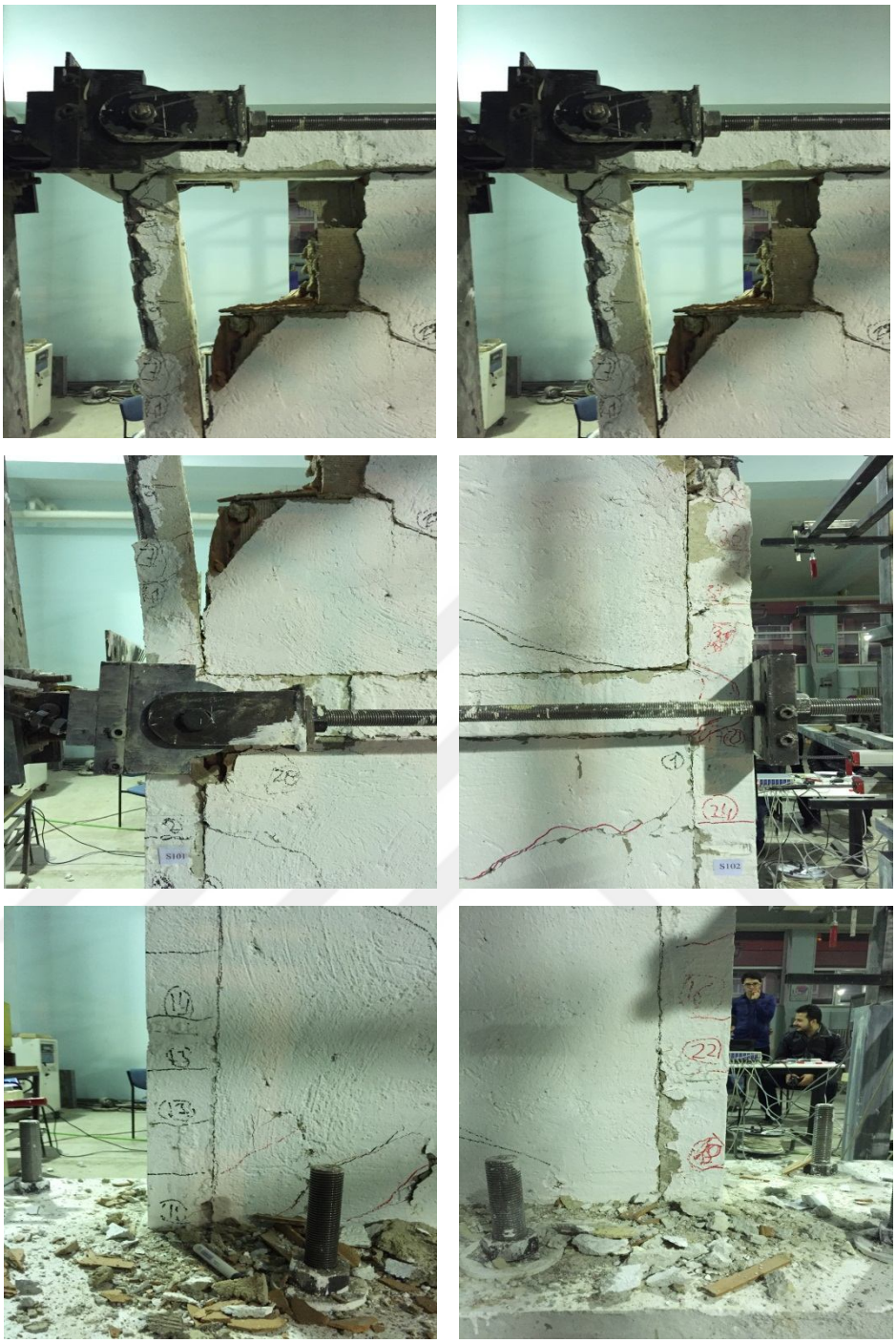
Çizelge 4.1. Referans çerçeve numunesinde (DN1-RÇ) her çevrimde gözlenen davranış.

Çevrim No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	4	0.16	-
1.2	-4	-0.09	-
2.1	8.24	0.70	S102 kolonu ile 1. Kat duvar birleşiminde 1 nolu düşey ve yatay çatlak oluştu.
2.2	-7.86	-0.04	-
3.1	11.60	1.08	S101 kolonunun üst ucundan 25 cm aşağıda 2 nolu yatay çatlak oluştu.
3.2	-12.00	-0.20	-
4.1	16.60	1.65	S101 duvar birleşiminde boydan boya ayrılma olarak 3 nolu çatlak oluştu. S101 kolonu tam ortasında 4 nolu yatay çatlak oluştu. S101 temel birleşiminin 10 cm üzerinde 5 nolu çatlak oluştu. K101 ve S202 duvar birleşiminde ayrılma olarak 6 nolu çatlak oluştu.
4.2	-15.89	-0.53	-
5.1	20.00	2.25	1 nolu çatlak ilerledi ve ayrılmalar devam etti.
5.2	-20.00	-0.85	-
6.1	25.00	3.05	S201 kolonu orta bölgesinde yatay olarak 7 nolu yatay çatlak oluştu. S201 duvar birleşiminde 8 nolu çatlak ayrılma olarak oluştu. S201 üst ucundan 25 cm aşağıda 9 nolu çatlak yatay olarak oluştu. S101 ve K101 birleşiminde 45° eğik olarak 10 nolu çatlak oluştu.
6.2	-25.00	-1.33	3 nolu çatlak ilerledi ve genişledi.
7.1	30.00	3.70	S101 ve temel birleşiminde 11 nolu çatlak oluştu.
7.2	-30.00	-2.00	1 nolu çatlak ilerledi ve genişledi.
8.1	35.60	4.66	S101 kolonu alt ucundan 25 cm yukarıda 12 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu alt ucundan 35 cm yukarıda 13 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu alt ucundan 45 cm yukarıda 14 nolu çatlak oluştu.
8.2	-35.00	-2.70	-
9.1	40.00	5.20	S101 kolonu ve K101 kiriş birleşiminde 15 nolu eğik bir çatlak oluştu.
9.2	-40.25	-3.56	S102 kolonunun alt ucundan 40 cm yukarıda 16 nolu yatay çatlak oluştu. S102 ve K101 birleşim bölgesinde 17 nolu eğik çatlak oluştu. S102 alt ucundan 10 cm yukarıda 18 nolu yatay çatlak oluştu. 3 nolu çatlak ilerledi ve genişledi.
10.1	45.00	5.60	-
10.2	-47.00	-4.64	S102 kolonu üst ucundan 25 cm aşağıda 19 nolu yatay çatlak oluştu. S102 kolonu orta bölgesinde 20 nolu yatay çatlak oluştu.
11.1	51.70	6.00	-
11.2	-52.00	-5.65	-
12.1	54.50	6.50	S101 kolonu üst ucundan 40 cm aşağıda 21 nolu yatay çatlak oluştu.
12.2	-57.00	-6.58	S102 kolonu alt ucundan 30 cm yukarıda 22 nolu yatay çatlak oluştu.
13.1	56.00	7.03	-
13.2	-59.00	-7.10	-
14.1	59.60	8.00	-
14.2	-63.60	-8.05	S102 ve K101 birleşim bölgesinde 23 nolu eğik çatlak oluştu. S102 kolonu üst ucundan 20 cm aşağıda 24 nolu yatay çatlak

			oluştu.
15.1	+60.34	9.90	S201 ve K201 birleşim bölgesinde 25 nolu eğik çatlak oluştu.
15.2	-67.67	-13.10	SİSTEM AKTI.
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
16.1	62.86	13.44	Üst kat duvarda diyagonal 27 nolu çatlak oluştu. K101 kirişi alt duvar birleşiminde 28 nolu çatlak oluştu. S201 ve K201 birleşim bölgesi civarı duvarda ezilme oluştu. Bu ezilme sonucu sistem yük kapasitesinde küçük bir artış meydana geldi.
16.2	-64.00	-13.40	Alt kat duvarda diyagonal 29 nolu çatlak oluştu. S201 ve K101 birleşiminde 30 nolu eğik bir çatlak oluştu. S101 kolonu temel birleşiminde ayrılma şeklinde 31 nolu çatlak gerçekleşti. S202 ve K201 birleşim bölgesinde 32 nolu eğik bir çatlak oluştu.
17.1	59.00	17.18	Alt kat duvarda diyagonal 33 nolu çatlak oluştu. 27 nolu diyagonal çatlak diğer köşeye kadar uzadı.
17.2	-58.65	-17.63	S202 kolonu üst ucundan 25 cm altında 34 nolu çatlak yatay bir şekilde oluştu. 34 nolu çatlağın 10 cm altında 35 nolu yatay çatlak oluştu. 35 nolu çatlağın 10 cm altında 36 nolu yatay çatlak oluştu. 36 nolu çatlağın 10 cm altında 37 nolu yatay çatlak oluştu. 37 nolu çatlağın 10 cm altında 38 nolu yatay çatlak oluştu.
18.1	57.40	20.00	S201 kolonu üst ucundan 40 cm aşağıda yatay çatlak oluştu. Çerçeve duvar tamamen birbirinden ayrıldı. 23 nolu çatlak S202 ve K101 birleşim bölgesine kadar uzadı.
18.2	-57.20	-20.00	S102 kolonunun orta bölgesinde 40 nolu yatay çatlak oluştu. 32 nolu çatlak genişledi.
19.1	55.00	30.00	S201 kolonu alt ucundan 25 cm yukarıda yatay bir çatlak oluştu. 17,27 ve 33 nolu çatlaklar genişledi.
19.2	-55.80	-30.00	Kesme kuvveti kaynaklı 32 nolu çatlakta belirgin bir ayrılma meydana geldi.
20.1	52.45	40.00	Birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları belirginleşti.
20.2	-54.12	-40.00	Birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları ciddi ayrılmalara yol açtı.
21.1	49.30	50.00	Kolonlarda şiddetli dökülmeler ortaya çıktı. Bununla beraber kolonlarda paspayları ortaya çıktı.
21.2	-56.50	-50.00	Üst kat kolonlarında duvar ayrımıyla beraber kısa kolon mekanizması oluştu ve hasarlar şiddetlendi.
22.1	47.90	60.00	Kolon temel birleşimlerinde 55 mm civarında ayrılma görüldü.
22.2	-51.30	-60.00	Oluşan deplasman değerleri yapıya ciddi hasar verdiği görüldü.

Referans numunede (DN1-RÇ) maksimum yatay yük değeri -67.67 kN olarak ölçülmüş, bu yükteki tepe deplasman değeri ise -13.10 mm olarak elde edilmiştir. Deneydeki maksimum deplasman değeri 60.00 mm olarak uygulanmış, bu deplasman değerindeki yatay yük ise -47.90 kN olarak ölçülmüştür.

Numunedeki kirişler kolonlardan daha güçlü yapılarak moment taşıma kapasitesi arttırılmıştır. Bu nedenle kirişlerde hasar seviyesi minimum düzeyde olmuştur. Bununla beraber etriye sıklaştırmasının olmadığı kolon-kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar yoğunlaşmıştır.



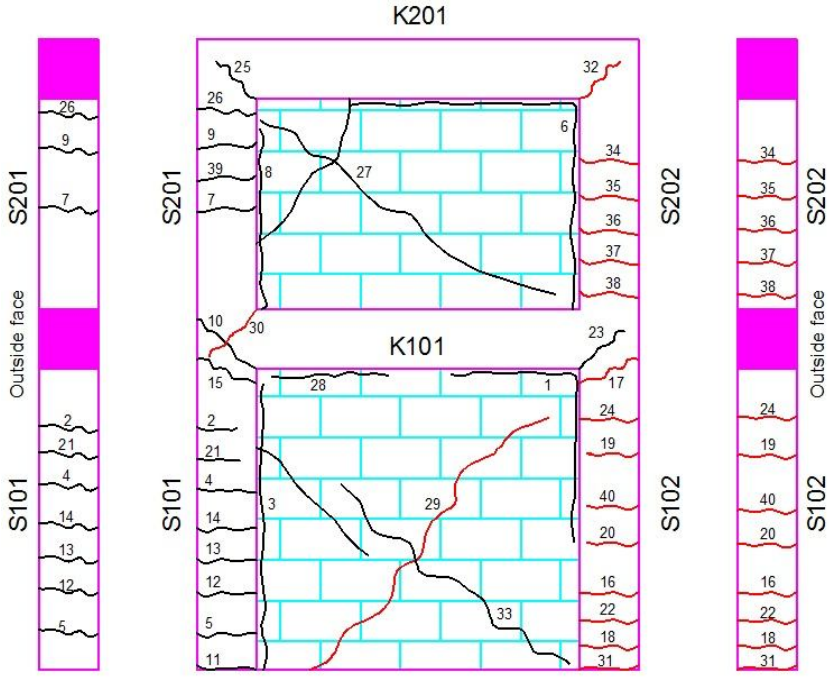
Şekil 4.5. Deney sonunda referans çerçeve numunesi (DN1-RÇ) düğüm noktaları hasarları.

Pozitif yüklemede yaklaşık 62.86 kN olan maksimum yük değeri 22.çevrim sonunda 47.90 kN'a, negatif yüklemede ise -67.67 kN olan maksimum yük -51.30 kN'a inmiştir. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %22'lık bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.6'da numunenin deney sonu görünümü verilmiştir.



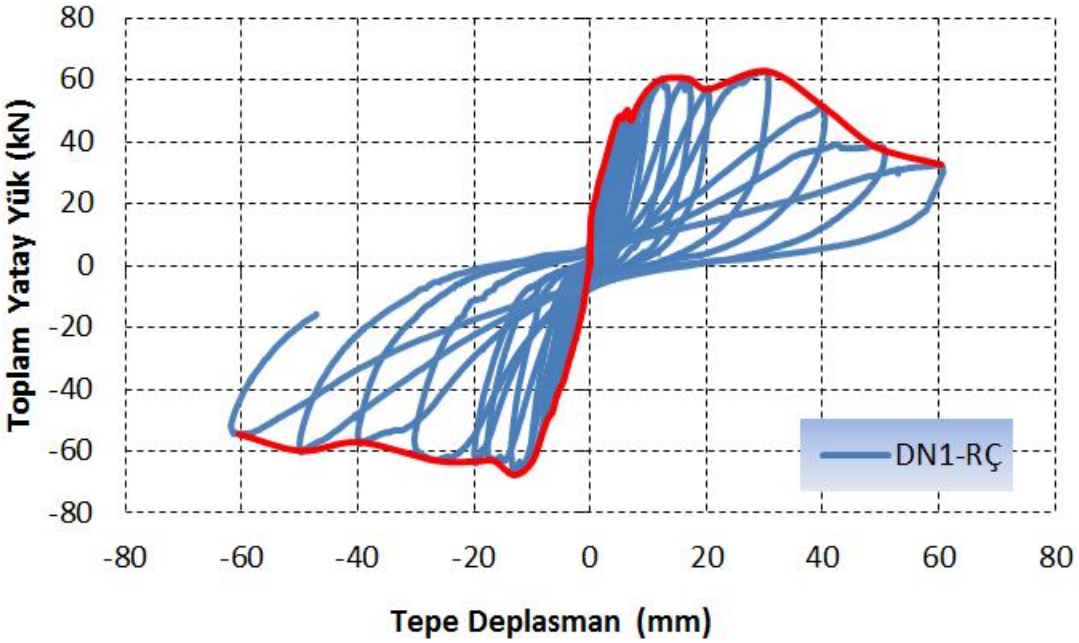
Şekil 4.6. Referans çerçeve numunesinin (DN1-RÇ) deneyden sonraki görünüşü.

Şekil 4.7'de hasara uğramış numunenin deney sonundaki görünümleri ve oluşum sıralaması verilmiştir.

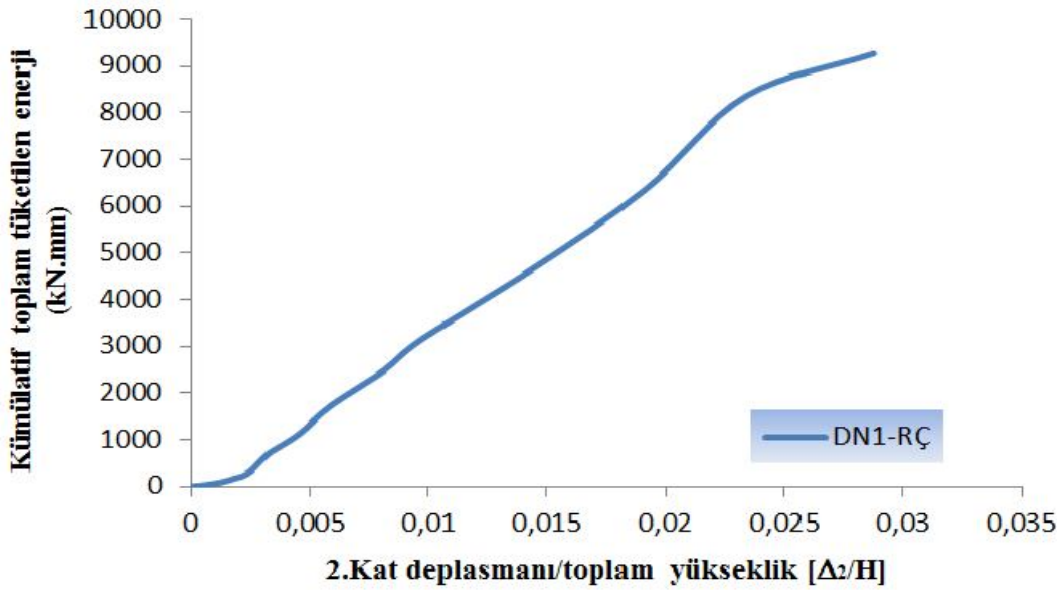


Şekil 4.7. Referans çerçeve numunesinde (DN1-RÇ) meydana gelen çatlaklar ve numaraları.

Deneye tabi tutulan betonarme çerçeveye (DN1-RÇ) ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve bu histeresis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.8.' de verilmiştir. Şekil 4.9'da ise kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği verilmiştir.



Şekil 4.8. Referans numuneye (DN1-RÇ) ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve zarf eğrisi.



Şekil 4.9. Referans numunesine (DN1-RÇ) ait kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği.

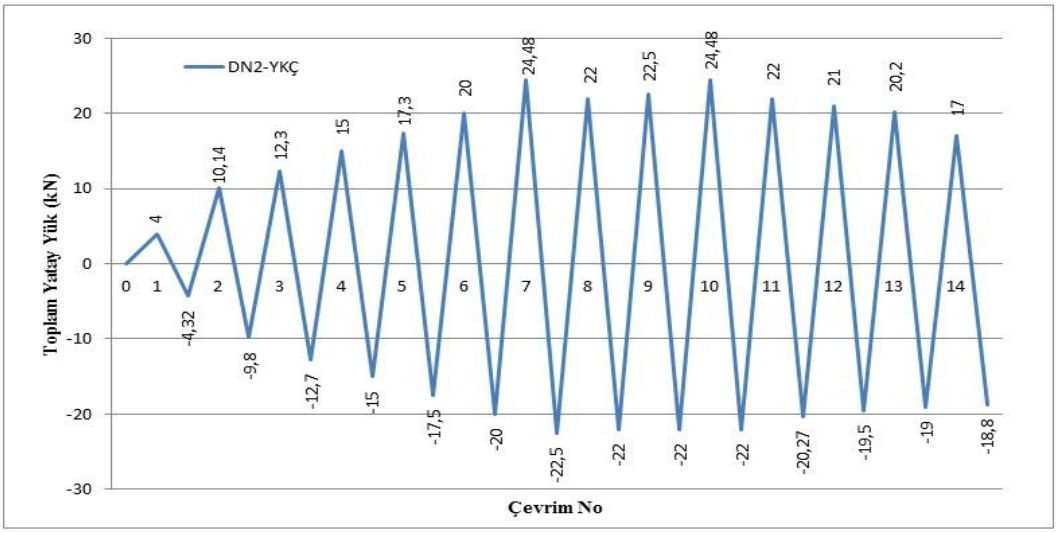
4.1.2. Deney elemanı-2 (DN2-YKÇ)

Çalışma kapsamında üretilen ikinci deney numunesi, referans numunesiyle aynı boyutlara sahip olan ve alt katta tuğla dolgu duvar bulunmayan yumuşak kat düzensizliğine sahip numunedir.

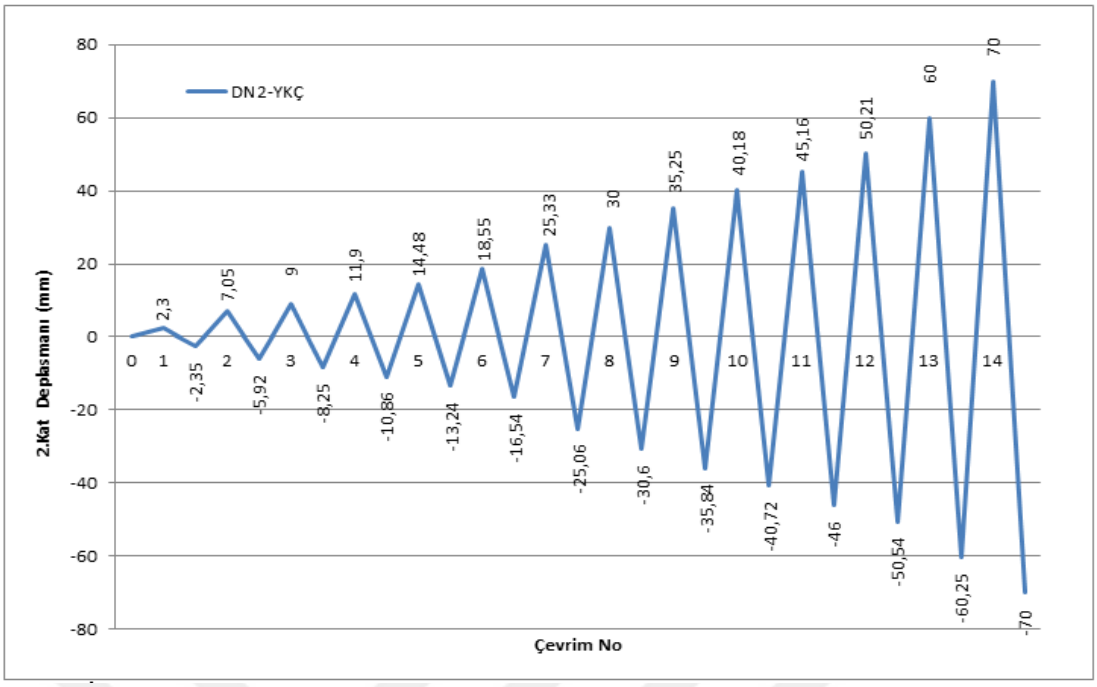


Şekil 4.10. Yumuşak katlı çerçeve numunesinin (DN2-YKÇ) deney öncesi görünümü.

DN2-YKÇ numunesine uygulanan yük geçmişi Şekil 4.11.'de, deplasman geçmişi şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Yumuşak katlı çerçevenin (DN2-YKÇ) yatay yük geçmişi.



Şekil 4.12. Yumuşak katlı çerçevenin (DN2-YKÇ) tepe deplasman geçmişi.

Deneyde ilk çevrimde herhangi bir çatlak ve hasar görülmemiştir. Deneyde ilk çatlaklar negatif 2.çevrimde S102 kolonunun üst ucundan 15 cm aşağıda yatay eğilme çatlağı olarak oluşmuştur. Diğer bir çatlak S102 kolonu ve K101 kiriş birleşim bölgesinde yatay çatlak olarak görülüştür. Diğer çatlak ise S101 kolonu alt ucundan 10 cm yukarıda yatay bir çatlak olarak oluşmuştur. Bu çevrimde toplam yük -9,80 kN olurken toplam yüke karşılık gelen tepe deplasmanı -5,92 mm olmuştur. Şekil 4.4'de deney sırasında oluşan ilk 4 çatlak gösterilmiştir. DN2-YKÇ numunesinde çevrimsel davranışlar Tablo 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Yumuşak katlı çerçeve numunesine (DN2-YKÇ) ait ilk çatlaklar.

Çizelge 4.2. Yumuşak katlı çerçeve numunesinde (DN2-YKÇ) her çevrimde gözlenen davranış.

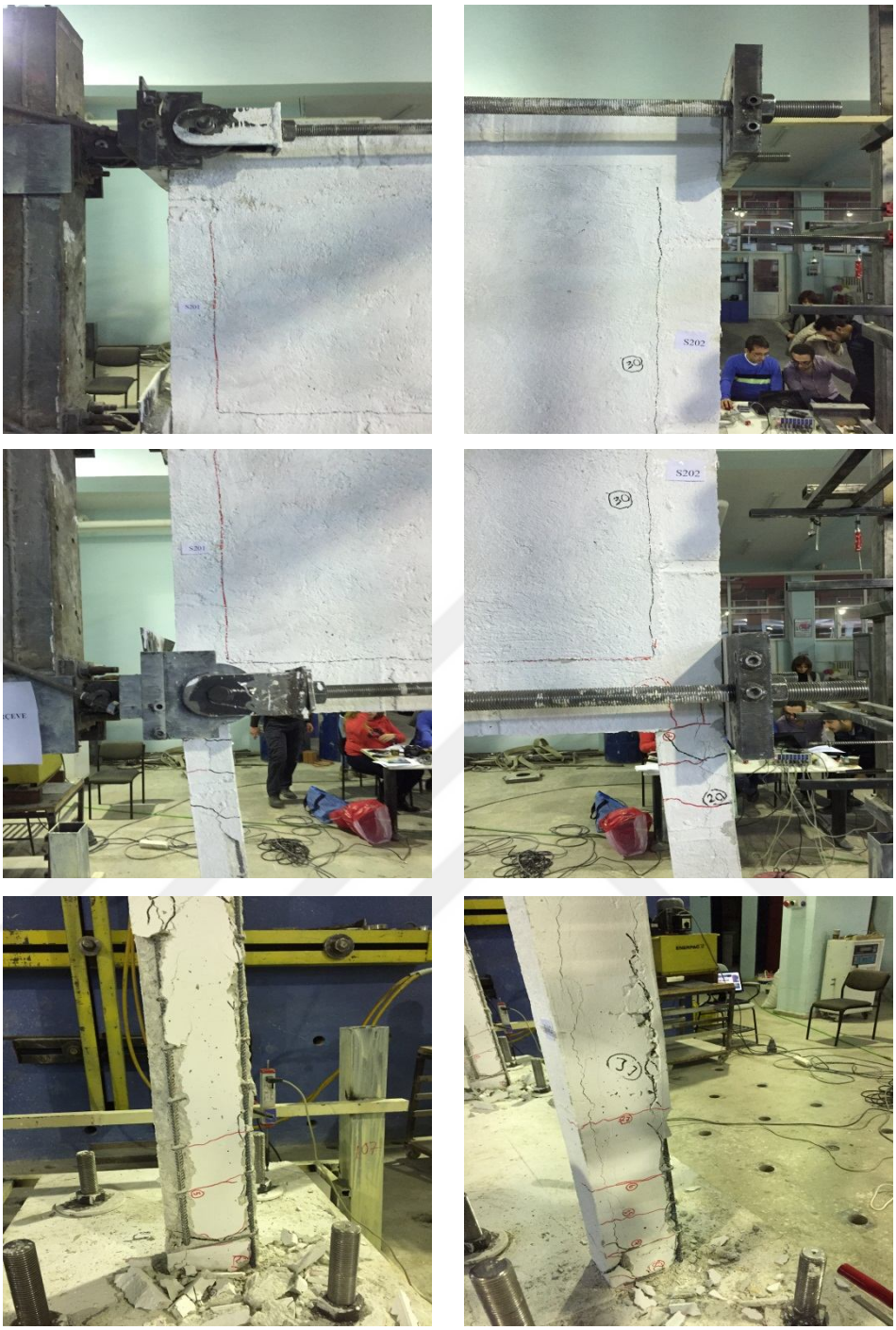
Çevrim No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	4	2.3	-
1.2	-4.32	-2.35	-
2.1	10,14	7.05	-
2.2	-9.80	-5.92	S102 kolonu üst ucundan 15cm aşağıda 1 nolu yatay çatlak oluştu. S102 ve K101 birleşim bölgesinde 2 nolu yatay çatlak oluştu. S102 kolonu temel birleşiminden 10 cm yukarıda 3 nolu yatay çatlak oluştu. S101 üst ucundan 10 cm aşağıda 4 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu alt ucundan 20 cm yukarıda 5 nolu yatay çatlak oluştu. S102 kolonu alt ucundan 30 cm yukarıda 6 nolu çatlak oluştu. S102 kolonu alt ucundan 10 cm yukarıda 7 nolu çatlak oluştu.
3.1	12.30	9.00	S101 kolonu alt ucundan 10 cm yukarıda 8 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu üst ucundan 7 cm aşağıda 9 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu üst ucundan 10 cm aşağıda 10 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu üst ucundan 20 cm aşağda 11 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu alt ucundan 20 cm yukarıda 12 nolu yatay çatlak oluştu. S101 ve K101 birleşiminde ayrılma şeklinde 13 nolu çatlak oluştu. S101 kolonu alt ucundan 30 cm yukarıda 14 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu temel birleşiminde ayrılma şeklinde 15 nolu çatlak oluştu. S102 kolonu temel birleşiminde ayrılma şeklinde 16 nolu çatlak oluştu. S102 alt ucundan 10 cm yukarıda 17 nolu yatay çatlak oluştu. S102 alt ucundan 30 cm yukarıda 18 nolu yatay çatlak oluştu. S102 kolonu alt ucundan 20 cm yukarıda 19 nolu yatay çatlak oluştu. S102 ve K101 birleşiminin üst ucundan 20 cm aşağısında 20 nolu yatay çatlak oluştu.
3.2	-12.70	-8.25	S101 kolonu alt ucundan 30 cm yukarıda 6 nolu yatay çatlak oluştu. S102 kolonu üst ucundan 10cm aşağıda 22 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu temel birleşiminde 23 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu üst ucundan 10 cm aşağıda 24 nolu yatay çatlak oluştu. S102 kolonu alt ucundan 20 cm yukarıda 25 nolu çatlak oluştu. 22 nolu çatlak ilerledi. 13 nolu çatlak genişledi.
4.1	15.00	11.90	S101 kolonu üst ucundan 30 cm aşağıda 26 nolu yatay çatlak oluştu. 9 ve 10 nolu çatlaklar birleşti. 8 nolu çatlak genişledi. 16 nolu çatlak boydan boya genişledi. 19 nolu çatlak baştan başa kadar genişledi.
4.2	-15.00	-10.86	S102 kolonu alt ucundan 45 cm yukarıda 27 nolu yatayçatlak oluştu. S102 kolonu temel birleşiminde ayrılma şeklinde 28 nolu yatay çatlak oluştu. Üst kat duvar kiriş birleşiminde ayrılma şeklinde 29 nolu çatlak oluştu. 3 nolu çatlak uzayarak kolon diğer yüzü ile birleşti. 4 nolu çatlak uzadı.
5.1	17.30	14.48	S202 kolonu duvar birleşiminde 30 nolu çatlak düşey çatlak olarak oluştu. 8,9,12,17,15,29 nolu çatlaklar genişledi ve uzadı.
5.2	-17.50	-13.24	S102 ve K101 birleşiminde 31 nolu düşey çatlak oluştu. 22 nolu çatlak genişledi. 3 ve 8 nolu çatlak birleşti. 5 ve 12 nolu çatlak birleşti.
6.1	20.00	18.55	26 nolu çatlak genişledi.
6.2	-20.00	-16.54	S101 kolonu üst ucundan 30 cm aşağıda 32 nolu yatay çatlak oluştu. 3 ve 4 nolu çatlak genişledi. 3 ve 24 nolu çatlak uzadı ve çatallandı.
7.1	24.48	25.33	SİSTEM AKTI. 26 nolu çatlak genişledi ve çatallandı. 14 nolu çatlak uzadı.
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
7.2	-22.50	-25.06	22 nolu çatlak çatallandı ve genişledi. 2,13,28 nolu çatlaklar genişledi.
8.1	21.90	30.00	S101 ve K101 birleşimi 5 mm'e kadar ayrıldı. 11,13,15 ve 22 nolu

			çatlaklar genişledi ve uzadı.
8.2	-22.00	-30.60	Birleşim bölgesi çatlakları genişledi.
9.1	21.80	35.25	Birleşim bölgelerinde ciddi şekilde ayrılmalar meydana geldi.
9.2	-22.00	-35.84	22 nolu çatlak genişledi ve düşey yönde 3 mm ayrıldı. 3 nolu çatlak temele doğru genişledi ve çatallandı. 23 nolu çatlak çatallandı ve genişledi.
10.1	21.70	40.18	S102 kolonunda düşey yönde baştan başa 33 nolu çatlak oluştu. 26 ve 32 nolu çatlak birleşti. 11 nolu çatlak çatallandı.
10.2	-22.00	-40.72	22 nolu çatlak genişledi.
11.1	21.50	45.16	15 nolu çatlak 4 mm'e kadar ayrıldı. 2 ve 8 nolu çatlaklar çatallandı. 8 nolu çatlağın olduğu bölgede beton dökülerek donatılar açığa çıktı.
11.2	-20.27	-46.00	Kolon ve temel birleşim bölgelerinde ezilmeler meydana geldi. Betonda dökülmeler oldu ve paspayları ortadan kalktı.
12.1	21.00	50.21	Betonda ezilmeler ve dökülmeler devam etti. Birleşim bölgelerinde ayrılmalar belirginleşti.
12.2	-19.50	-50.54	Betonda dökülmeler devam etti.
13.1	20.20	60.00	Beton sıyrılarak donatılar açığa çıktı.
13.2	-19.00	-60.25	Üst ve alt katlar arasında ciddi kat ötelemeleri ve deplasman farkları görüldü.
14.1	17.00	70.00	Oluşan deplasman değerleri yapıya ciddi hasar verdiği görüldü.
14.2	-18.80	-70.00	Oluşan deplasman değerleri yapıya ciddi hasar verdiği görüldü.

Yumuşak katlı çerçeve numunesinde (DN2-YKÇ) maksimum yatay yük değeri 24.48 kN olarak ölçülmüş, bu yükteki tepe deplasman değeri ise 25.33 mm olarak elde edilmiştir. Deneydeki maksimum deplasman değeri ise 70.00 mm, bu deplasman değerindeki yatay yük ise 17.00 kN olarak ölçülmüştür.

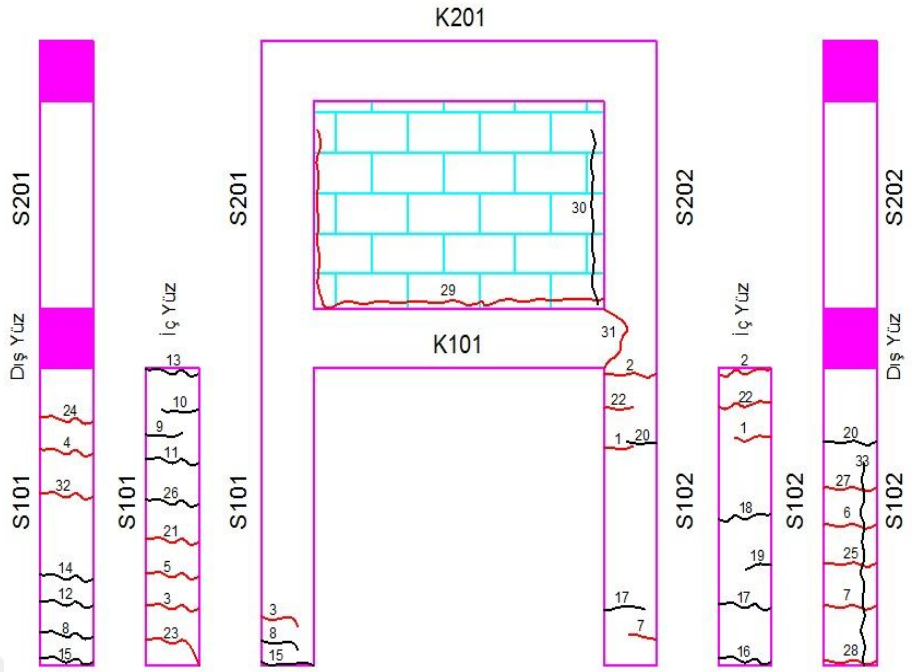


Şekil 4.14. Yumuşak katlı çerçeve numunesinin (DN2-YKÇ) deneyden sonraki görünüşü.



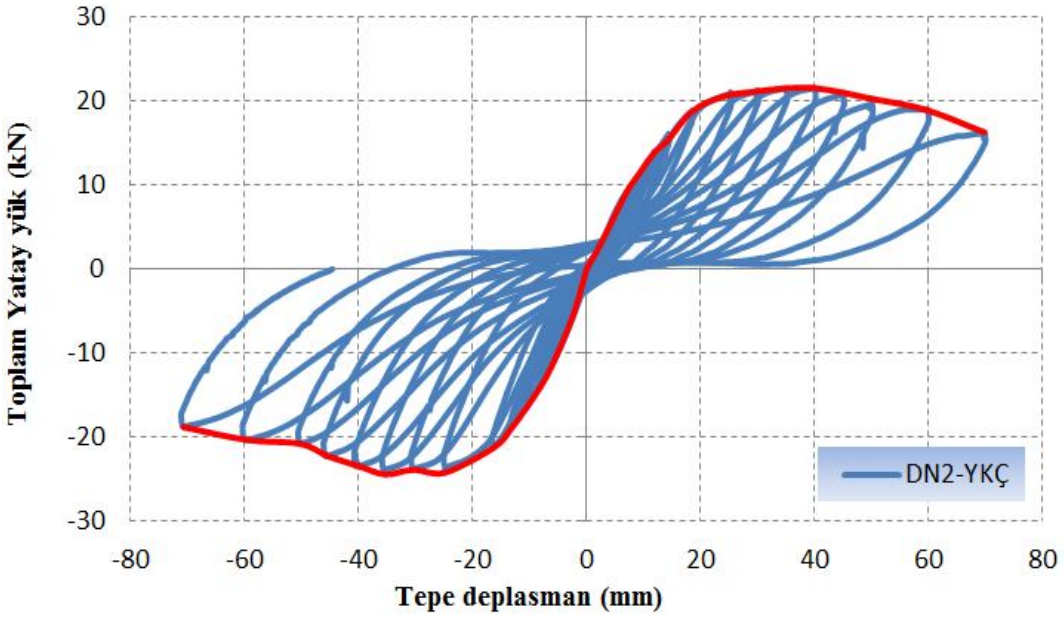
Şekil 4.15. Deney sonunda yumuşak katlı çerçeve numunesi (DN2-YKÇ) düğüm noktaları hasarları.

Pozitif yüklemede yaklaşık 24.50 kN olan maksimum yük değeri 14.çevrim sonunda 17.00 kN'a, negatif yüklemede ise -22.50 kN olan maksimum yük -18.80 kN'a inmiştir. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %28'lik bir azalma meydana gelmiştir.

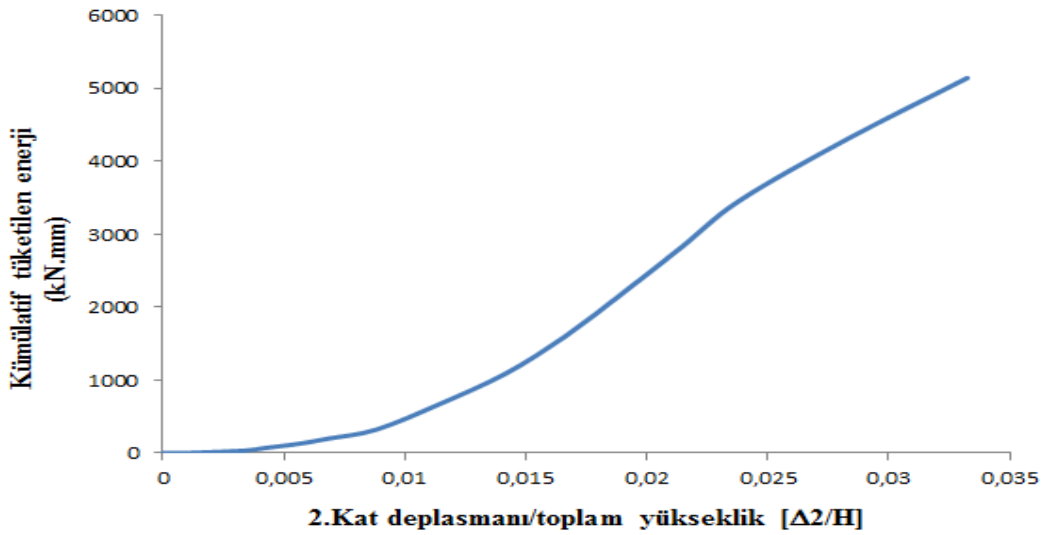


Şekil 4.16. Yumuşak katlı çerçeve numunesinde (DN2-YKÇ) meydana gelen çatlaklar ve numaraları.

Deneye tabi tutulan yumuşak katlı çerçeveye (DN2-YKÇ) ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve bu histeresis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.17.'de verilmiştir. Şekil 4.18'da ise kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği verilmiştir.



Şekil 4.17. Yumuşak katlı çerçeve numunesine (DN2-YKÇ) ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı.



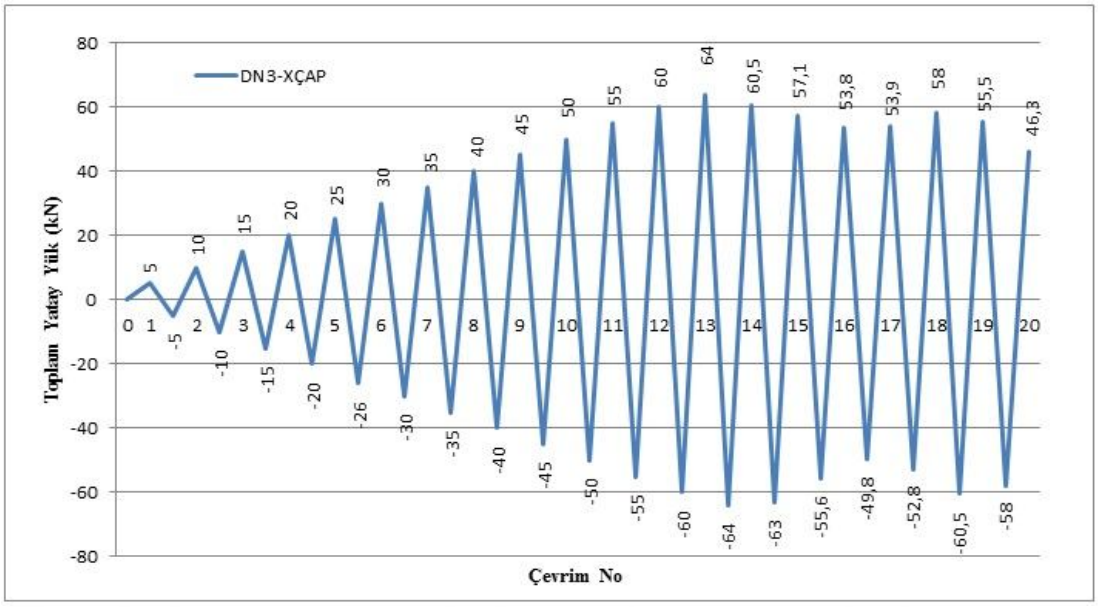
Şekil 4.18. Yumuşak katlı çerçeve numunesine (DN2-YKÇ) ait kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği.

4.1.3. Deney elemanı-3 (DN3-XÇAP)

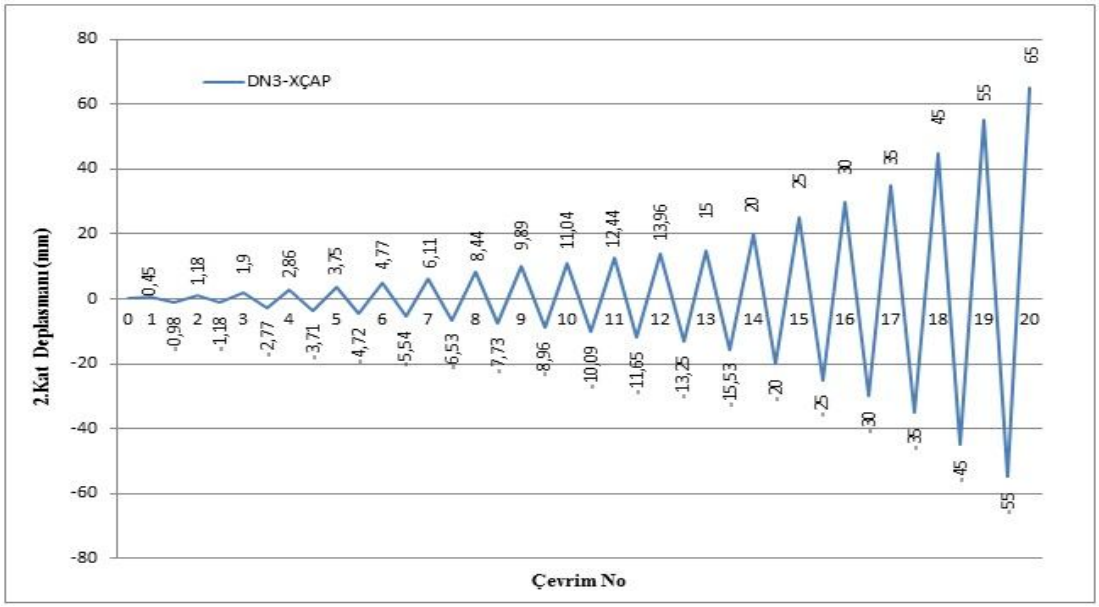
Çalışma kapsamında üretilen üçüncü deney numunesi, referans numunesiyle aynı boyutlara sahip olan, üst katı dolgu duvarlı alt katta merkezi X çelik çaprazla güçlendirilmiş olan betonarme çerçevedir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Merkezi X çelik çaprazla güçlendirilmiş çerçeve numunesinin (DN3-XÇAP) deney öncesi görünümü.



Şekil 4.20. Merkezi X çelik çapraz çerçeve numunesinin (DN3-XÇAP) yatay yük geçmişi.



Şekil 4.21. Merkezi X çelik çapraz çerçeve numunesinin (DN3-XÇAP) tepe deplasman geçmişi.

Deneyde ilk iki çevrimde herhangi bir çatlak ve hasar görülmemiştir. Deneyde ilk çatlak pozitif 3.çevrimde S101 kolonunun temel birleşiminde yatay çatlak olarak oluşmuştur. Diğer bir çatlak ise 3.negatif çevrimde S102 temel birleşiminde yatay çatlak olarak görülüştür. Bu çevrimde toplam yük -15,0 kN olurken toplam yüke karşılık gelen tepe deplasmanı -2,77 mm olmuştur. Şekil 4.4'de deney sırasında oluşan ilk 4 çatlak gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Merkezi X çelik çapraz çerçeve numunesine (DN3-XÇAP) ait ilk çatlaklar.

Çizelge 4.3. Mekezi X çapraz ile güçlendirilen numunede her çevrimde gözlenen davranış.

Çevrim No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	5.00	0.45	-
1.2	-5.00	-0.98	-
2.1	10.00	1.18	
2.2	-10.00	-1.18	
3.1	15.00	1.90	S101 kolonunun temel birleşiminde 1 nolu yatay çatlak oluştu.
3.2	-15.00	-2.77	S102 kolonunun temel birleşiminde 2 nolu yatay çatlak oluştu.
4.1	20.00	2.86	S101 kolonu alt ucundan 10 cm yukarıda 3 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu alt ucundan 25 cm yukarıda 4 nolu çatlak oluştu.
4.2	-20.00	-3.71	S102 kolonu üst ucundan 5 cm aşağıda 5 nolu çatlak oluştu.
5.1	25.00	3.75	S101 ve K101 birleşiminde 6 nolu yatay çatlak oluştu.
5.2	-26.00	-4.72	K101 kirişi üst kısmı duvar birleşiminde kiriş boyunca 7 nolu yatay çatlak oluştu.
6.1	30.00	4.77	S102 kolonu üst ucundan 10 cm altta 8 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu üst ucundan 40 cm aşağıda 9 nolu yatay çatlak oluştu. 1 ve 5 nolu çatlak ilerledi ve genişledi. S101 kolonu üst ucundan 10 cm aşağıda 10 nolu yatay çatlak oluştu. Üst kat kolon, kiriş ve duvar birleşimleri tamamen 11 nolu çatlak olarak görüldü.
6.2	-30.00	-5.54	S102 ve K101 birleşim bölgesinde 45°'lik eğik 12 nolu çatlak oluştu. S102 kolonu üst ucundan 40 cm aşağıda 13 nolu yatay çatlak oluştu. S102 alt ucundan 25 cm yukarıda 14 nolu yatay çatak oluştu.
7.1	35.00	6.11	S201 kolonu alt ucundan 10 cm yukarıda 15 nolu yatay çatlak oluştu. S201 kolonu üst ucundan 25 cm aşağıda 16 nolu yatay çatlak oluştu. S201 ve K201 birleşim bölgesinde 45°'lik eğik 17 nolu çatlak oluştu.
7.2	-35.00	-6.53	Daha önce görülen çatlaklar genişledi.
8.1	40.00	8.44	S101 üst ucundan 25 cm aşağıda 18 nolu yatay çatlak oluştu. S202 ve K201 birleşim bölgesinde 45°'lik eğik 19 nolu çatlak oluştu. S202 üst ucundan 10 cm aşağıda 20 nolu yatay çatlak oluştu. 16 nolu yatay çatlak ilerledi.
8.2	-40.00	-7.73	S102 kolonu alt ucundan 40cm yukarıda kolon iki yüzünde 21 nolu yatay çatlak oluştu. 17 nolu yatay çatlak ilerledi.
9.1	45.00	9.89	S101 kolonu alt ucundan 40 cm yukarıda 22 nolu yatay çatlak oluştu. S201 kolonu orta bölgesinde 23 nolu yatay çatlak oluştu. 9,16 ve 18 nolu çatlaklar ilerledi ve genişledi.
9.2	-45.00	-8.96	Üst kat kolon ve duvar 4 mm genişliğe kadar ayrıldı.
10.1	50.00	11.04	S101 kolonu orta bölgesi her iki yüzünde 24 nolu yatay çatlak oluştu. S201 kolon üst ucundan 15 cm aşağıda 25 nolu yatay

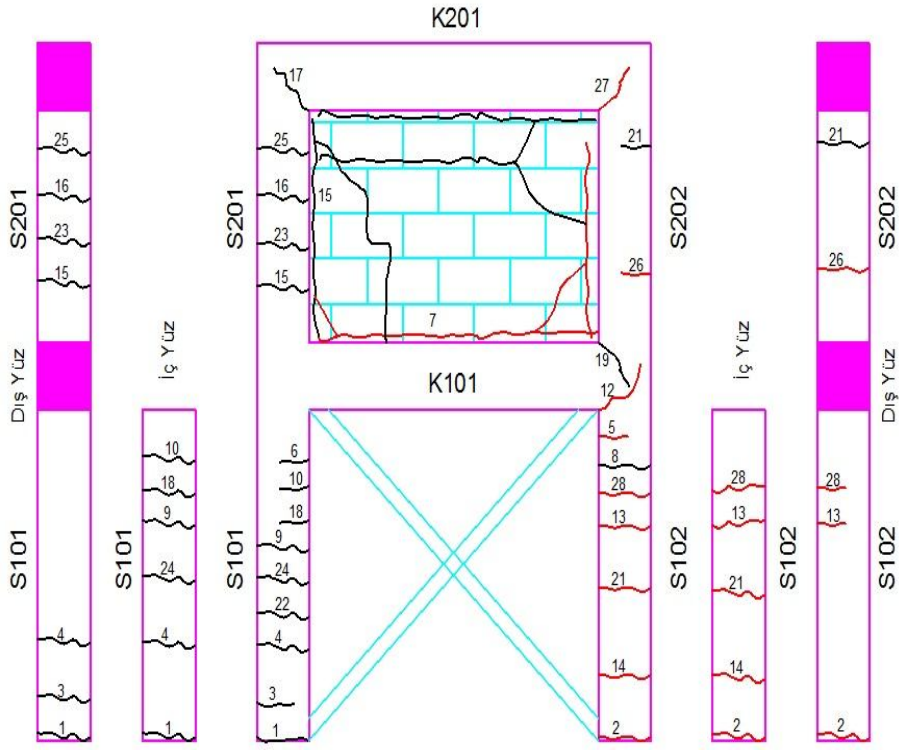
			çatlak oluştu.
10.2	-50.00	-10.09	S202 kolonu alt ucundan 30 cm yukarıda 26 nolu yatay çatlak oluştu. 12 nolu çatlak ilerledi ve genişledi.
11.1	55.00	12.44	9 nolu çatlak ilerledi ve genişledi.
11.2	-55.00	-11.65	S202 ve K101 birleşim bölgesinde 45°'lik eğik 27 nolu çatlak oluştu. 12 nolu çatlak ilerledi ve genişledi.
12.1	60.00	13.96	Birleşim bölgesi çatlakları ilerledi ve genişledi.
12.2	-60.00	-13.25	S102 kolonu üst ucundan 30 cm aşağıda 28 nolu yatay çatlak oluştu.
13.1	64.00	15.00	S201-K201 ve S202-K101 birleşimlerindeki çatlaklar ilerledi ve çatallandı.
13.2	-64.00	-15.53	SİSTEM AKTI.Birleşim bölgesindeki çatlaklar genişledi.
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
14.1	60.50	20.00	Çatlaklar genişledi.
14.2	-63.00	-20.00	Çatlaklar ilerleyerek genişledi ve betonda dökülmeler başladı.
15.1	57.10	25.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
15.2	-55.60	-25.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
16.1	53.80	30.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
16.2	-49.80	-30.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
17.1	53.90	35.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
17.2	-52.80	-35.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
18.1	58.00	45.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
18.2	-60.50	-45.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
19.1	55.55	55.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
19.2	-58.00	-55.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
20.1	46.30	65.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.

X çelik çaprazlı numunede (DN3-XÇAP) maksimum yatay yük değeri -64.00 kN olarak ölçülmüş, bu yükteki tepe deplasman değeri ise -15.53 mm olarak elde edilmiştir. Deneydeki maksimum deplasman değeri ise -65.00 mm, bu deplasman değerindeki yatay yük ise 46.30 kN olarak ölçülmüştür.

DN3-XÇAP numunesinin deney sonu görünümü şekil 4.23.'de, çatlak oluşum sıralaması ise Şekil 4.24.'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Merkezi X çelik çapraz çerçeve numunesinin (DN3-XÇAP) deneyden sonraki görünüşü.



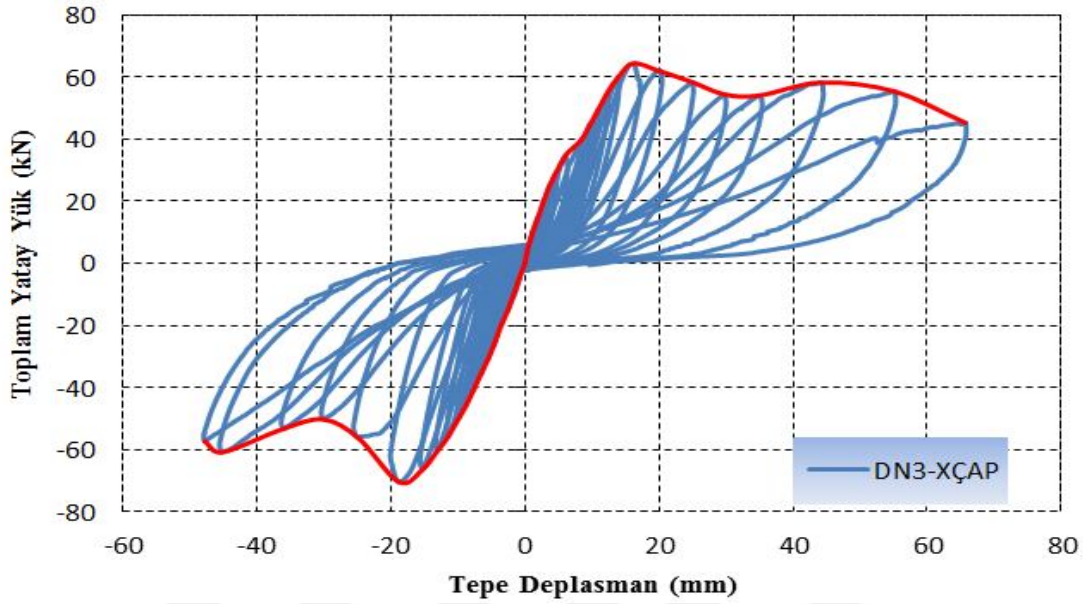
Şekil 4.24. Merkezi X çelik çapraz çerçeve numunesinde (DN3-XÇAP) meydana gelen çatlaklar ve numaraları.



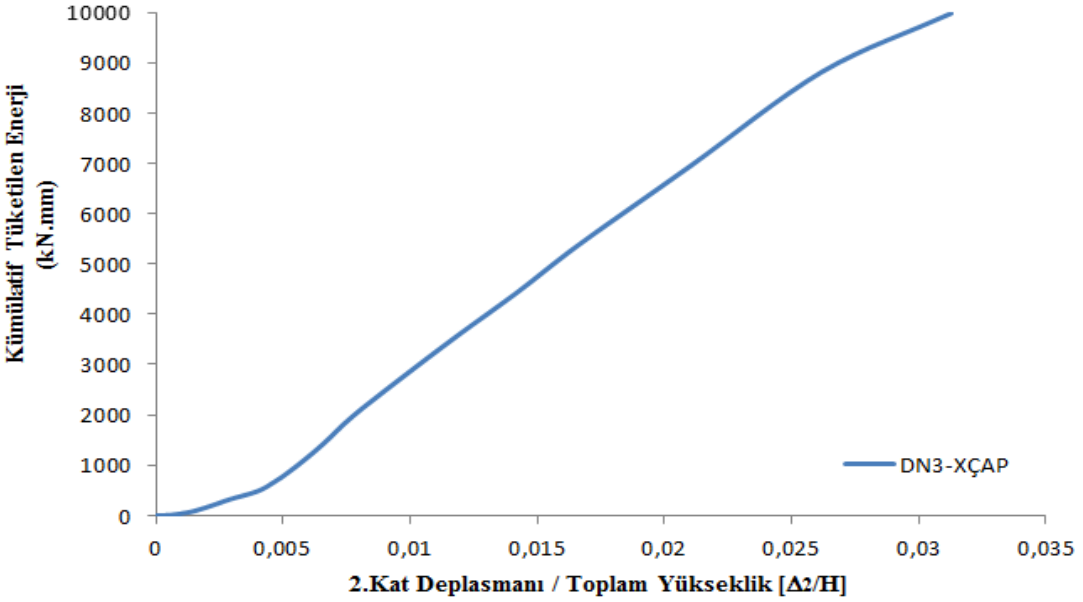
Şekil 4.25. Deney sonunda merkezi X çelik çapraz çerçeve numunesi (DN3-XÇAP) düğüm noktaları hasarları.

Pozitif yüklemede yaklaşık 64.00 kN olan maksimum yük değeri 20.çevrim sonunda 46.30 kN'a, negatif yüklemede ise -64.00 kN olan maksimum yük -58.00 kN'a inmiştir. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesinde pozitif yönde yaklaşık %27'lik bir azalma meydana gelmiştir.

Deneye tabi tutulan betonarme çerçeveye (DN3-XÇAP) ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.26.' de verilmiştir. Şekil 4.27'de ise kümülatif toplam tüketilen enerji grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.26. Merkezi X çelik çaprazlı numuneye (DN3-XÇAP) ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı.



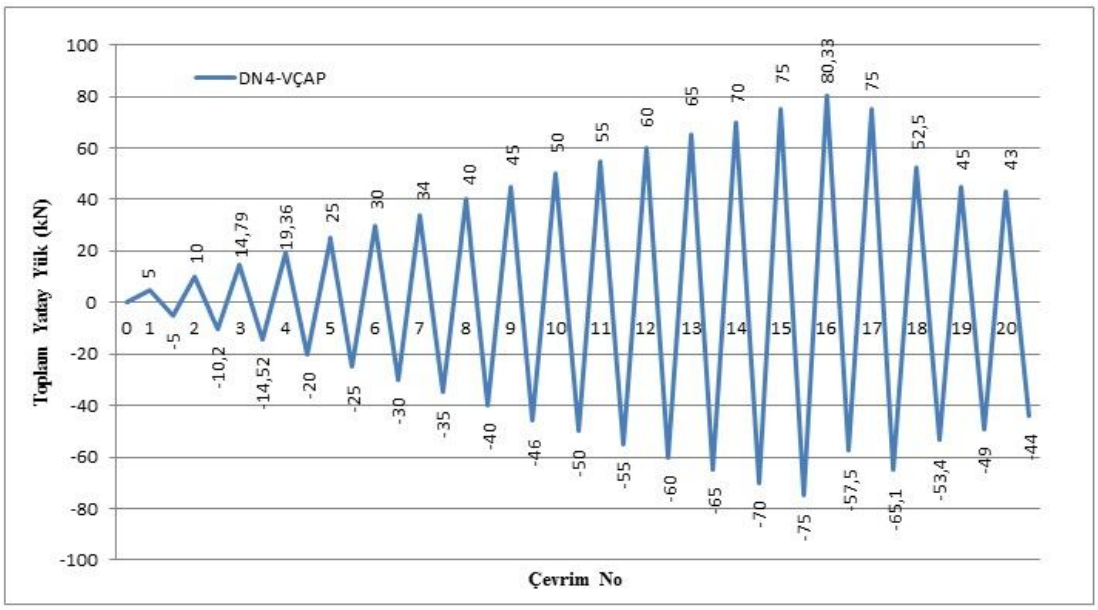
Şekil 4.27. Merkezi X çelik çaprazlı numuneye (DN3-XÇAP) ait kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği.

4.1.4. Deney elemanı-4 (DN4-VÇAP)

Çalışma kapsamındaki dördüncü deney numunesi, referans numunesiyle aynı boyutlara sahip olan ve alt katta merkezi ters V çelik çaprazla güçlendirilmiş olan betonarme çerçevedir (Şekil 4.28.).

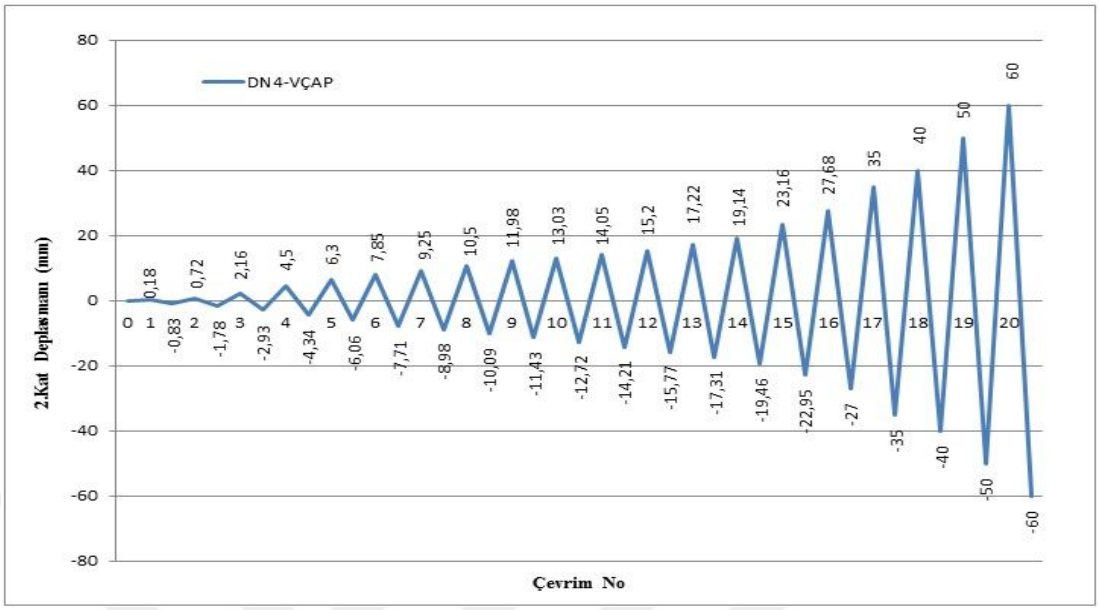


Şekil 4.28. Merkezi V çelik çapraz çerçeve numunesinin (DN4-VÇAP) deney öncesi görünümü.



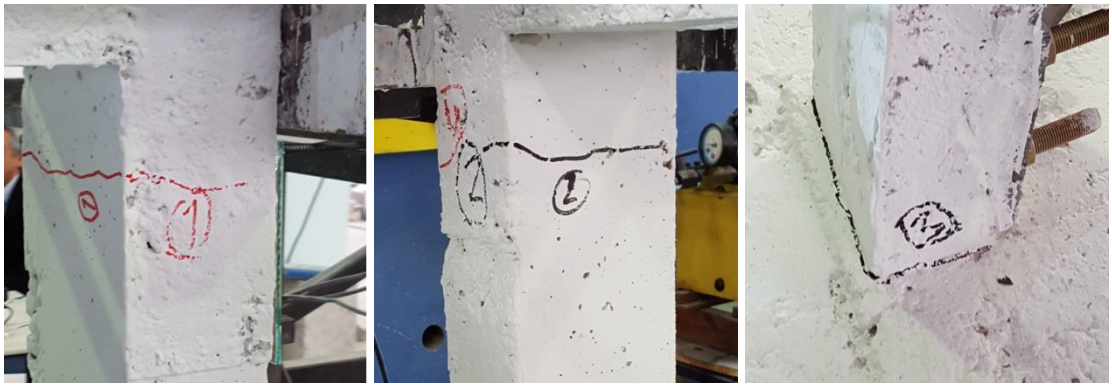
Şekil 4.29. Merkezi V çelik çapraz çerçeve numunesinin (DN4-VÇAP) yatay yük geçmişi.

DN4-VÇAP numunesine ait yük geçmişi şekil 4.29.'da, deplasman geçmişi ise şekil 4.30.'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Merkezi V çelik çapraz çerçeve numunesinin (DN4-VÇAP) tepe deplasman geçmişi.

Deneyde ilk çevrimde herhangi bir çatlak ve hasar görülmemiştir. Deneyde ilk çatlak negatif 2.çevrimde S102 kolonunun üst ucundan 8 cm aşağıda yatay çatlak olarak oluşmuştur. Bu çevrimde toplam yük -10,19 kN olurken toplam yüke karşılık gelen tepe deplasmanı -1,78 mm olmuştur. Şekil 4.31'de deney sırasında oluşan ilk 3 çatlak gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Merkezi V çelik çapraz çerçeve numunesine (DN4-VÇAP) ait ilk çatlaklar.

Çizelge 4.4. Mekezi V çelik çapraz çerçeve numunede (DN4-VÇAP) her çevrimde gözlenen davranış.

Çevrim No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	5.00	0.18	-
1.2	-5.00	-0.83	-
2.1	10.00	0.72	-
2.2	-10.20	-1.78	S102 kolonunun üst ucundan 8 cm aşağıda 1 nolu yatay çatlak oluştu.
3.1	14.79	2.16	S101 kolonunun üst ucundan 10 cm altında 2 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu temel birleşiminde 3 nolu yatay çatlak oluştu.
3.2	-14.52	-2.93	S101 kolonunun üst ucundan 8 cm aşağısında 4 nolu yatay çatlak oluştu. S102 ve K101 birleşim bölgesinde 5 nolu yatay çatlak oluştu. K101 kirişi bağlantı levhasının üstünde 6 nolu yatay çatlak oluştu.
4.1	19.36	4.50	6 nolu yatay çatlak genişledi.
4.2	-20.00	-4.34	S102 kolonunun üst ucundan 40 cm aşağıda 7 nolu yatay çatlak oluştu. 1 ve 5 nolu çatlaklar ilerledi.
5.1	25.00	6.30	S101 kolonunun üst ucundan 30 cm aşağıda 8 nolu yatay çatlak oluştu. S101 ve K101 birleşim bölgesinde 9 nolu eğik ve yatay çatlak oluştu. S101 kolonu temel birleşiminden 5 cm yukarıda 10 nolu yatay çatlak oluştu.
5.2	-25.00	-6.06	S101 kolonunun alt ucundan 15 cm yukarıda çelik plakaya doğru yatay ve düşey çatlak oluştu.
6.1	30.00	7.85	S101 kolonunun üst ucundan 20 cm aşağıda 12 nolu yatay çatlak oluştu. S102 kolonunun alt ucundan 15 cm yukarıda çelik playa doğru yatay ve düşey çatlak oluştu. 6 ve 11 nolu çatlaklar ilerledive genişledi. Ayrıca çelik ankraj bulonlarında gevşeme görüldü.
6.2	-30.00	-7.71	S101 kolonunun üst ucundan 25 cm aşağıda 14 nolu yatay çatlak görüldü. S201 kolonu duvar birleşiminde 15 nolu düşey çatlak görüldü. K101 kirişi duvar birleşiminde 16 nolu yatay çatlak oluştu. Tüm çatlaklar ilerledi ve genişledi.
7.1	34.00	9.25	K101 kirişi duvar birleşiminde 17 nolu yatay çatlak oluştu. 15 nolu çatlak ilerledi ve genişledi. Birleşim levhalarında bulunan bazı ankraj bulonları kolon ve kirişlerden sıyrıldı.
7.2	-35.00	-8.98	16 nolu çatlak ilerledi ve genişledi.Duvar kolon birleşiminde ayrılma oluştu. 15 ve 17 nolu çatlaklar birleşti.
8.1	40.00	10.50	S201 kolonu alt ucundan 20 cm yukarıda 18 nolu yatay çatlak oluştu. S201 kolonu üst ucundan 20 cm aşağıda 19 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu üst ucundan 20 cm aşağıda 20 nolu yatay çatlak oluştu. 16 nolu çatlak duvar birleşimi boyunca genişledi.
8.2	-40.00	-10.09	S101 kolonu üst ucundan 10 cm aşağıda 21 nolu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu üst ucundan 15 cm aşağıda 22 nolu yatay çatlak oluştu. 5 nolu çatlak ilerledi ve genişledi.
9.1	45.00	11.98	15 nolu çatlak ilerledi, genişledi ve çatallandı. Duvar,kolon,kiriş birleşimleri tamamen ayrıldı. 10 ve 11 nolu çatlaklar genişledi. Kolon betonunda parçalanma görüldü.
9.2	-46.00	-11.43	S202 ve K201 birleşim bölgesinde 45°'lik eğik 23 nolu çatlak oluştu. S202 kolonu üst ucundan 15 cm aşağıda 24 nolu yatay çatlak oluştu. 11 ve 13 nolu çatlaklar genişledi ve kolon birleşimlerinde açılma meydan geldi.
10.1	50.00	13.03	S101 kolonu orta bölgesinde 25 nolu yatay çatlak oluştu.
10.2	-50.00	-12.72	Tüm çatlaklarda genişleme görüldü.
11.1	55.00	14.05	S102 kolonu temel birleşiminde 26 nolu dikey çatlak oluştu. Duvar kiriş birleşimleri tamamen ayrıldı.
11.2	-55.00	-14.21	S102 kolonu birleşim levhasında ayrılma meydana geldi. 26 nolu çatlak ilerledi be genişledi.

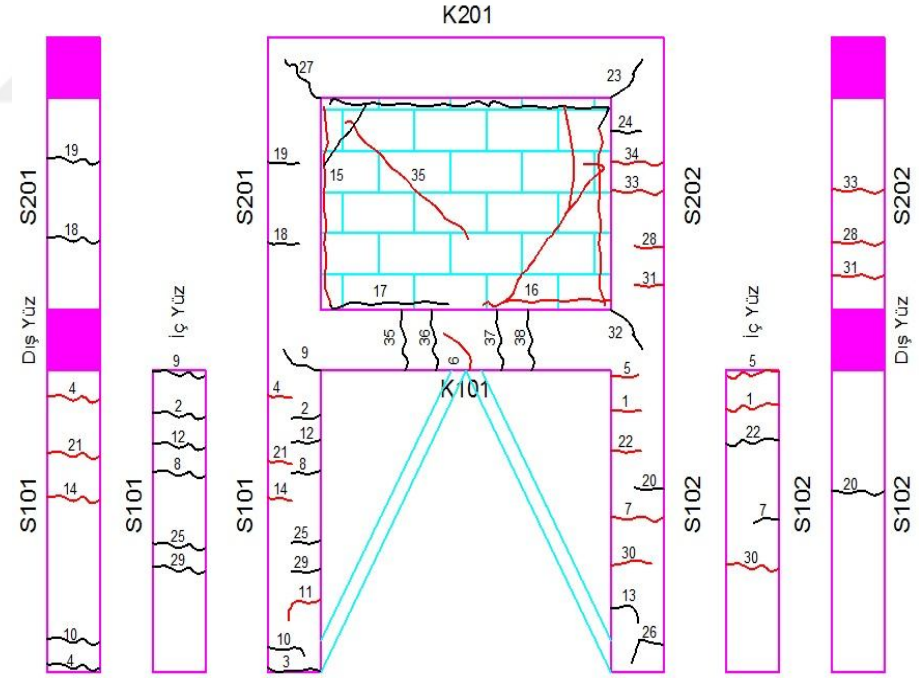
12.1	60.00	15.20	S201 ve K201 birleşim bölgesinde 45°'lik eğik 27 nolu çatlak oluştu. Duvar kolon birleşiminde ayrılmalar meydana geldi.
12.2	-60.00	-15.77	S202 kolonu alt ucundan 25 cm yukarıda 28 nolu yatay çatlak oluştu. 13 nolu çatlak ilerledi.
13.1	65.00	17.22	S101 kolonu alt ucundan 30 cm yukarıda 29 nolu yatay çatlak oluştu. Kolon birleşim bölgeleri levha birleşimlerinde ayrılmalar arttı. 5 ve 8 nolu çatlaklar ilerledi ve genişledi.
13.2	-65.00	-17.31	S102 kolonu levha birleşimi ayrıldı.
14.1	70.00	19.14	20 nolu çatlak ilerledi ve çatallandı.
14.2	-70.00	-19.46	S102 kolonu alt ucundan 40 cm yukarıda 30 nolu yatay çatlak oluştu. S202 kolonu alt ucundan 10 cm yukarıda 31 nolu yatay çatlak oluştu.
15.1	75.00	23.16	S202 ve K101 birleşim bölgesinde 45°'lik eğik 32 nolu çatlak oluştu. S101 kolonu birleşim levhası tamamen ayrıldı. Dolgu duvar betonarme çerçeveden tamamen ayrıldı.
15.2	-75.00	-22.95	S202 kolonu orta bölgesinde 33 nolu yatay çatlak oluştu. S202 kolonu üst ucundan 30 cm aşağıda 34 nolu yatay çatlak oluştu. 23 nolu yatay çatlak ilerledi ve genişledi.
16.1	80.33	27.68	SİSTEM AKTI.
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
16.2	-57.50	-27.00	Duvarda boydan boya eğik çatlak oluştu.
17.1	75.00	35.00	S201 ve K202 birleşim bölgesinde yarılma meydana geldi.
17.2	-65.10	-35.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
18.1	52.50	40.00	Dolgu duvarda düzlem dışı hareket başladı.
18.2	-53.40	-40.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
19.1	45.00	50.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
19.2	-49.00	-50.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.
20.1	43.00	60.00	Çelik çapraz profillerde burkulma meydan geldi.
20.2	-44.00	-60.00	Oluşan bütün çatlaklar genişledi ve çatallandı.

Ters V çelik çaprazlı numunede (DN4-VÇAP) maksimum yatay yük değeri 80.33 kN olarak ölçülmüş, bu yükteki tepe deplasman değeri ise 27.68 mm olarak elde edilmiştir. Deneydeki maksimum deplasman değeri ise 60.00 mm, bu deplasman değerindeki yatay yük ise 43 kN olarak ölçülmüştür.

DN4-VÇAP numunesinin deney sonu görünümü şekil 4.32.'de, çatlak oluşum sıralaması ise Şekil 4.33.'de verilmiştir.



Şekil 4.32. Merkezi v çelik çapraz çerçeve numunesinin (DN4-VÇAP) deneyden sonraki görünüşü.



Şekil 4.33. Merkezi V çelik çapraz çerçeve numunesinde (DN4-VÇAP) meydana gelen çatlaklar ve numaraları.



Şekil 4.34. Deney sonunda merkezi V çelik çapraz çerçeve numunesi (DN4-VÇAP) düğüm noktaları hasarları.

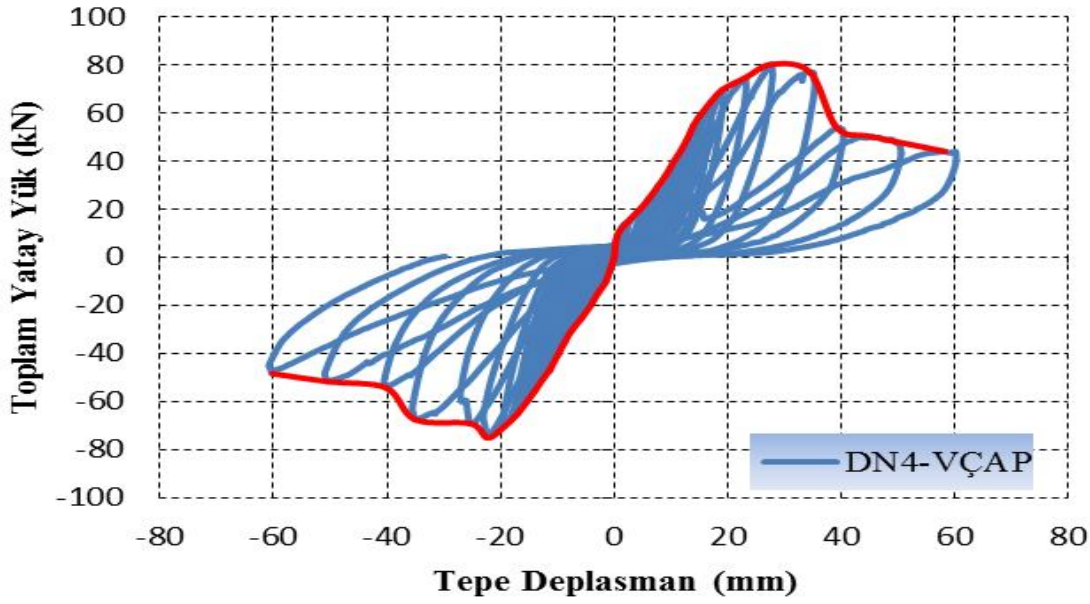
Pozitif yüklemede yaklaşık 80.00 kN olan maksimum yük değeri 20.çevrim sonunda 43.00 kN'a, negatif yüklemede ise -75.00 kN olan maksimum yük -44.00 kN'a inmiştir. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %45'lik bir azalma meydana gelmiştir.

DN4-VÇAP numunesinde 60.00 mm deplasman değerine ulaşıldığında çelik profillerde burkulma meydana gelmiştir. Bu deplasman değerinde toplam yük 43.00 kN olarak okunmuştur. Şekil 4.35'de burkulma meydana gelen profiller gösterilmiştir.

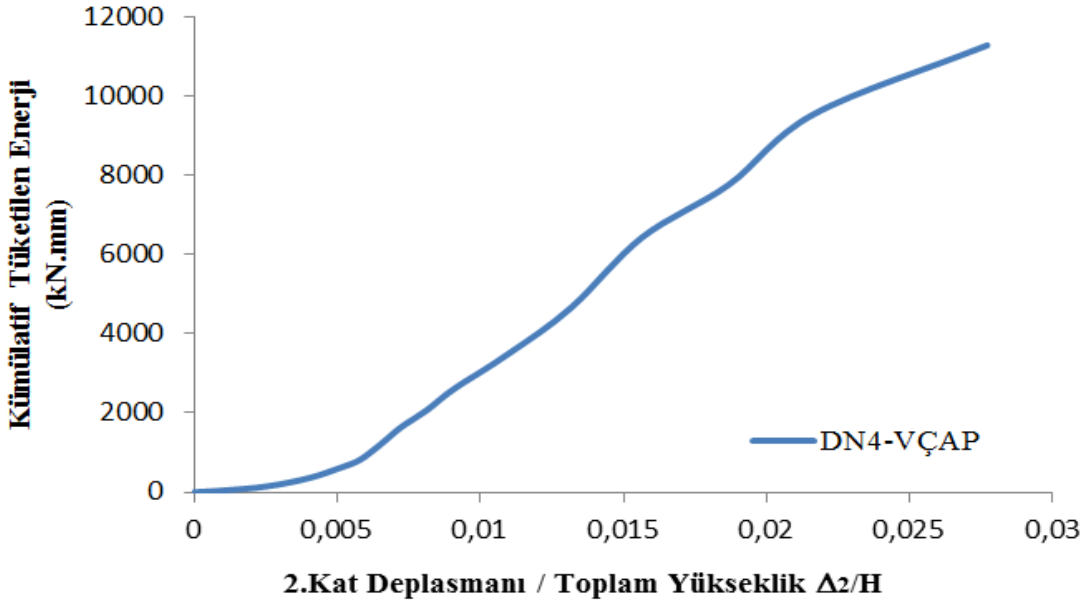


Şekil 4.35. Deney sırasında merkezi ters V çelik çapraz çerçeve numunesine (DN4-VÇAP) ait çelik profillerde görülen burkulma ve plakalardaki ankraj bulonları sıyrılma.

Deneye tabi tutulan merkezi ters V çelik çaprazlı çerçeveye (DN4-VÇAP) ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve bu histeresis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.36.' de verilmiştir. Şekil 4.37'de ise kümülatif toplam tüketilen enerji grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.36. Merkezi ters V çelik çaprazlı çerçeve numunesine (DN4-VÇAP) ait yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi ve dayanım zarfı.



Şekil 4.37. Merkezi ters V çelik çaprazlı çerçeve numunesine (DN4-VÇAP) ait kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği.

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde; deney sonuçları, deney elemanlarının davranış, dayanım gibi özellikleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Deneyler karşılaştırılırken deney sonuçlarından elde edilen grafikler, aynı ölçekte ve tek bir grafikte çakıştırılarak karşılaştırmanın daha güvenilir yapılması amaçlanmıştır. Bu grafiklerde her bir deney elemanına ait eğri farklı renklerde oluşturulmuştur. Tüm deney numuneleri yaklaşık %3 tepe deplasmanı değerine kadar test edilmiştir.

Referans numune (DN1-RÇ) deneyinde ulaşılan maksimum yük pozitif çevrimlerde 62.86 kN olup bu yüke karşılık gelen deplasman 13.44 mm'dir. Negatif çevrimlerde ise ulaşılan maksimum yük -67.67 kN olup bu yüke karşılık gelen deplasman -13.10 mm'dir. Deneye tabi tutulan (DN1-RÇ) betonarme çerçeve; deplasman ölçer ve silindirik yükleme pistonunun kapasitelerini aşmamak amacıyla, en fazla 60.00 mm değerine kadar yatay yer değiştirme yapmıştır. İlk deney elemanı referans çerçeve (DN1-RÇ) olduğundan diğer deney sonuçları, referans numune ile karşılaştırılmıştır. Çünkü, güçlendirmenin amacı, yumuşak katlı çerçeveleri referans çerçeve dayanımına ulaştırabilmektir.

İkinci numune olan DN2-YKÇ numunesi pozitif çevrimlerde 24.48 kN yüke ulaşmış ve bu yüke karşılık gelen 25.33 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. Negatif

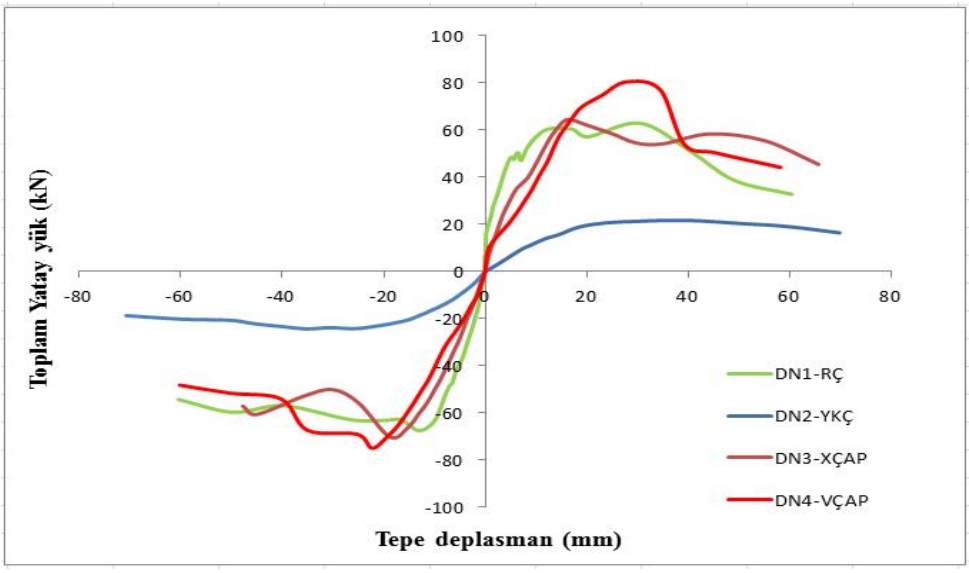
çevrimlerde ise -22.50 kN yatay yüke dayanabilen DN2-YKÇ numunesi bu yükte -25.06 mm tepe deplasmanına ulaşmıştır.

Üçüncü numune olan DN3-XÇAP numunesi pozitif çevrimlerde 64.00 kN yüke ulaşmış ve bu yüke karşılık gelen 15.00 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. Negatif çevrimlerde ise -64.00 kN yatay yüke dayanabilen DN3-XÇAP numunesi bu yükte -15.53 mm tepe deplasmanına ulaşmıştır.

Dördüncü numune olan DN4-VÇAP numunesi pozitif çevrimlerde 80.33 kN yüke ulaşmış ve bu yüke karşılık gelen 27.80 mm tepe deplasmanına ulaşılmıştır. Negatif çevrimlerde ise -75.00 kN yatay yüke dayanabilen DN4-VÇAP numunesi bu yükte -22.95 mm tepe deplasmanına ulaşmıştır.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde referans numuneye (DN1-RÇ) göre yumuşak katlı çerçeve numunesi (RÇ-YKÇ) dayanımı önemli ölçüde azalmıştır. Bu azalmayı yüzde olarak incelemek gerekirse; yumuşak katlı numune (DN2-YKÇ) dayanımının , DN1-RÇ referans numuneye göre pozitif çevrimlerde % 61, negatif çevrimlerde % 67 azaldığı görülmüştür. DN3-XÇAP numunesi referans numuneye (DN1-RÇ) göre göre pozitif çevrimlerde %2 artış gösterirken, negatif çevrimlerde %5 dayanım düşüşü görülmüştür. Son olarak DN4-VÇAP test numunesi referans numuneye (DN1-RÇ) göre pozitif çevrimlerde %27 dayanım artışı gösterirken, negatif çevrimlerde %11 dayanım artışı görülmüştür.

Deneye tabi tutulan 4 adet deney numunesine ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı ve zarf eğrileri şekil 4.38'de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Deney numunelerinin yatay yük – 2. kat yer değiştirmesi dayanım zarfları.

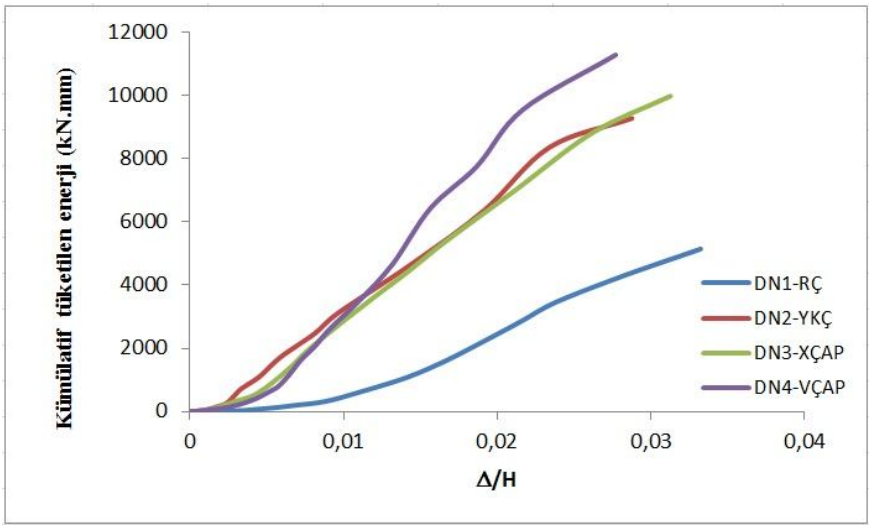
Deney sonuçlarının sayısal olarak karşılaştırılabilmesi için çeşitli tablolar hazırlanmıştır. Numunelerin taşıdıkları maksimum yatay yükler ve bu yüklere karşılık gelen ötelenme oranları Çizelge 4.5'de gösterilmiştir. Tablolarda karşılaştırma yaparken DN1-RÇ numunesi esas alınmıştır.

Çizelge 4.5. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri ile ilgili karşılaştırma.

Deney Numunesi	En Büyük Yük Anında Yük ve Tepe Yer Değiştirmesi Oranı Değerleri		En Büyük Yatay Yük Oranı
	Yük (kN)	(δ/H)	
DN1-RÇ	62.86	0.0064	1.00
DN2-YKÇ	24.48	0.012	0.39
DN3-XÇAP	64.00	0.0073	1.02
DN4-VÇAP	80.33	0.013	1.27

Görüldüğü gibi yumuşak kat davranışından dolayı dayanımı büyük ölçüde azalan çerçevede, çelik profillerle X veya ters V şeklinde güçlendirme yapılması, çerçeve dayanımını referans dayanımına oranla büyük ölçüde artmıştır.

Şekil 4.39'da 4 numunenin enerji tüketme grafikleri verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, son çevrimde 1 nolu referans numune, 2 nolu numuneden %172, daha fazla enerji tüketmiştir. 3 nolu numune ise 1 nolu referans numunesine göre %233 daha fazla enerji tüketmiştir. Son olarak 4 nolu numune 1 nolu referans numunesine göre %404 daha fazla enerji tüketmiştir.



Şekil 4.39. Deney numunelerinin kümülatif toplam enerji grafikleri.

Çizelge 4.6. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri ile ilgili karşılaştırma.

Deney Numunesi	Tüketilen Enerji Değerleri (KNmm)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maksimum Yükte	Deney Sonunda	Maksimum Yükte	Deney Sonunda
DN1-RÇ	1153.28	9275.60	1.00	1.00
DN2-YKÇ	669.92	5143.69	0.58	0.46
DN3-XÇAP	2692.10	9978.35	2.38	1.08
DN4-VÇAP	4662.39	11282	4.04	1.22

Görüldüğü gibi güçlendirme sonunda referans çerçeveye göre %22'ye varan, yumuşak katlı çerçeveye göre ise %120'ye varan enerji tüketim artışı olmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemiz yapı stoğunda sıkça rastlanan yumuşak kat düzensizliği deprem sırasında oluşan bina hasarlarının en önemli nedenlerinin başında gelmektedir. Bu düzensizliğin başlıca nedeni ticari olarak değerlendirilen zemin katta, kat yüksekliğinin diğer katlara nazaran daha yüksek yapılması, dış duvarlar yerine cam kullanılması, iç duvarların ise daha geniş alanlara sahip olmak amacıyla kaldırılmasıdır.

Bu nedenlerden dolayı binanın zemin katında rijitlik azalmakta ve yanal ötelenmeyi sınırlandıran perde de bulunmadığından dolayı, bina deprem sırasında zemin katın üstüne çökmektedir.

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme çerçevelerde dolgu duvar etkisi ve çerçevelerin merkezi X ve ters V çelik çaprazlar ile güçlendirilmesiyle oluşan deprem davranışı incelenmiştir.

Deney serisinde toplam 4 adet deney numunesi depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler altında denenmiştir.

1.deney numunesi her iki katı tuğla dolgu duvarlı betonarme referans çerçeve olmuştur. Bu deney numunesi pozitif çevrimlerde 62.86 kN, negatif çevrimlerde -67.67 kN yük taşımıştır.

2.deney numunesi sadece üst katta dolgu duvar bulunan yumuşak kat düzensizliğine sahip yapıyı temsil eden numunedir. Bu deney numunesi pozitif çevrimde 22.60 kN, negatif çevrimlerde -22.00 kN yük taşımıştır.

3.deney numunesi merkezi X çelik çapraz profillerle güçlendirilen yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçeve olmuştur. Bu deney numunesi pozitif çevrimde 64.00 kN, negatif çevrimlerde -64.00 kN yük taşımıştır.

4.deney numunesi ise merkezi ters V çelik çapraz profillerle güçlendirilen yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevedir. Bu deney numunesi pozitif çevrimde 80 kN, negatif çevrimlerde -75 kN yük taşımıştır.

Her iki katı da tuğla dolgu duvarlı olan referans numune (DN1-RÇ), yumuşak katlı çerçeve numunesine (DN2-YKÇ) göre yaklaşık 3 kat daha fazla yük taşımıştır. Bu bakımdan tuğla dolgu duvarın sistemde yatay yük taşıma kapasitesine çok büyük katkı sağladığı görülmüştür.

Güçlendirme yapılan merkezi X çelik çaprazlı numune (DN3-XÇAP), yumuşak katlı numuneye (DN2-YKÇ) göre yaklaşık 3 kat fazla yük taşımıştır. Merkezi ters V çelik çaprazla güçlendirilen (DN4-VÇAP) numune ise yumuşak katlı çerçeve numunesine (DN2-YKÇ) göre yaklaşık 4 kat fazla yük taşımıştır. Dolayısıyla güçlendirme amacına ulaşmış ve yumuşak katlı çerçeveyi referans çerçeve dayanımına ulaştırmıştır.

Test edilen numunelerin başlangıç rijitlikleri etkisi incelendiğinde, ilk dayanım rijitliği küçükten büyüğe doğru sırasıyla; yumuşak katlı numune (DN2-YKÇ), referans numune (DN1-RÇ), merkezi X çelik çaprazla güçlendirilen numune (DN3-XÇAP), merkezi ters V çelik çaprazla güçlendirilen numune (DN4-VÇAP) olarak belirlenmiştir. Tüm test edilen numuneler için ilerleyen deplasmanlarda çevrim rijitlikleri azalmaktadır. Enerji tüketimi açısından test numuneleri incelendiğinde ise elde edilen veriler küçükten büyüğe sıralanırsa; yumuşak katlı çerçeve (DN2-YKÇ), referans çerçeve (DN1-RÇ), merkezi X çelik çaprazlı çerçeve (DN3-XÇAP) ve merkezi ters V çelik çaprazlı çerçeve (DN4-VÇAP) şeklinde tespit edilmiştir.

Bu çalışmada alt katında tuğla dolgu duvar bulunmayan yumuşak katlı çerçeveye dolgu duvar eklenmesiyle beraber yatay yük taşıma kapasitesi, rijitliğinde, enerji tüketme kapasitesinde ciddi bir artış görülmüştür.

Güçlendirme uygulanan test numuneleri (DN3-XÇAP)-(DN4-VÇAP), referans ve yumuşak katlı çerçeve numunelerine göre daha fazla yatay yük kapasitesi, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Güçlendirme yapılan numunelerde uygulanan mekanik ankraj ileri yük değerlerinde sıyrılmaya neden olmuştur. Bu nedenle çelik elemanların betonarme elemanlarla birlikte çalışması için kimyasal ankraj kullanılmasının daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Yumuşak katlı çerçeveye uygulanan çelik çapraz elemanlar sayesinde yumuşak kat düzensizliğinin olumsuz etkilerinin büyük ölçüde ortadan kalktığı ve her iki katı da tuğla dolgu duvarlı olan numuneyle yaklaşık olarak aynı yatay yük kapasitesine ulaştığı görülmüştür. Bu yüzden zemin katı ticari alan olarak değerlendirilen binalarda tuğla dolgu duvar yapılamıyorsa, çelik çapraz elemanlar kullanılmasının oldukça ekonomik, kullanışlı ve uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneriler

Çelik profillerle güçlendirme aşamasında, betonarme çerçeve içerisine çelik bir çerçeve yapılarak çaprazların bu sisteme bağlanmasının daha olumlu sonuç verebileceği düşünülmektedir.

Ayrıca mevcut yapı stoğunda kolonlarda eksenel yükün oldukça yüksek seviyede olmasından dolayı, deney düzeneğinin yüksek eksenel yük seviyelerini sağlayacak şekilde geliştirilmesi, deney sonuçlarının daha gerçekçi olmasını sağlayacaktır.

Yurdumuzdaki yapı stoğu değerlendirildiğinde bu tür güçlendirme çalışmalarının yapılması hem bilimsel açıdan hem de yapı stoğunun ekonomik olarak iyileştirilmesi açısından son derece önem arz etmektedir. Bu tez kapsamında denenen güçlendirme yöntemlerinin alternatiflerinin geliştirilmesi, ayrıca analitik çalışmalarla desteklenmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Aktan, S. ve Kıraç, N., 2010 Betonarme binalarda perdelerin davranışa etkileri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1), 16-32.

Altın, S., 1990, Strengthening of reinforced concrete frames with reinforced concrete infills, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-6.

Anıl, Ö., 2002, Betonarme çerçevelerin boşluklu betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-17.

Arnold, C., 1982, Designing for Earthquakes, *A Manual for Architects.,*, USA (FEMA 454), December 2006

Arslan, M. H., 2007, Kolonları çekme kırılması gösteren sünek olmayan betonarme çerçevelerin dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 405.

Aydın E. ve Boduroğlu M. H., 2006, Yapıların Deprem Davranışlarının İyileştirilmesi İçin Çelik Çapraz Elemanların Optimum Yerleşimi, *itüdergisi/d mühendislik* 5(3), 175-186.

Ayvaz, Y., 2006, Depreme dayanıklı yapı tasarımı, . Yayımlanmamış Ders Notları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

Balkaya, C., Durmuş, G. ve Ay, Z., 2004, Düzensiz çelik yapıların sismik performansı. 6. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi. İstanbul**:** 210-220.

Barka A., Altunel E., Akyüz S., Sunal G., Hartleb R., Uslu O. ve Toroman E., 2002, Yeryüzü ve deprem, 2.Baskı, *Boyut Bilim Kitapları*, İstanbul p. 31.

Bayülke, N., 2001, Depremlerde hasar gören yapıların onarım ve güçlendirilmesi, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir şubesi*, İzmir, p. 32.

Canbay, E., 2001, Contribution of R/C ınflls to the seismic behaviour of structural system, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi* Ankara, 4-87.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2000, Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, *Beta Dağıtım*, İstanbul p. 592.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004, Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, 3.Baskı, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Profesörleri*, İstanbul p. 24.

Çalık, Ç., 2012, Dünyadan ve Türkiye'den Örneklerle Çok Amaçlı Salon Yapılarının Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yönünden İncelenmesi
Uzmanlık Tezi, ANKARA 4-24.

Çetinkaya, N., Kaplan, H. ve Şenel, M., 2004, Betonarme kirişlerin lifli polimer malzemeler kullanılarak onarım ve güçlendirilmesi, *PAÜ Mühendisli Bilimleri Dergisi*, 10 (3), 291-298.

Doğangün, A., 2005, Betonarme yapıların hesap ve tasarımı, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, p. 24-40.

Görgülü, T., Tama Y.S., Yılmaz S., Kaplan H. ve Z., A., 2012, Strengthening of reinforced concrete structures with external steel shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 226-235.

Güneysisi, E. M. ve Altay, G., 2004, Seismic behavior of an r/c frame retrofitted by eccentric steel bracing. Sixth International Congress on Advances in Civil Engineering. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

Kamanlı, M., Korkmaz, H. H., Balık, F. S. ve Bahadır, F., 2011, Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin, Çelik Çaprazlarla, betonarme dolgu duvarlarla ve çelik levhalar ile güçlendirilmesi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. ODTÜ, Ankara**:** 2-6.

Kara, E., 2006, Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Betonarme Parçasal Dolgu Duvarlarıyla Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-7.

Kaya, Y., 2007, Yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında kullanılabilecek kısmi bağlı ankraj detayı ve yüzey temizliği koşulları altında ankrajların eksenel çekme davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 185.

Kazaz, Y., 1999, Farklı rijitleştirici elemanlara sahip deprem etkisindeki yapıların lineer olmayan davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 5-7.

Kibici, Y., 2005, Deprem, 59, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları* Afyon, p. 139-166.

Kılıç, A., 2012, Betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvarların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2-6.

Koçu, N. ve Dereli, M., 2005, Betonarme karkas yapılarda malzeme, tasarım,uygulama hataları ve deprem etkilerinin araştırılması. Deprem sempozyumu,. Kocaeli,**:** 716-723.

Korkmaz, K. A., 2007, Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilen Betonarme Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 8 (2), 191-201.

Küçük, D., 2006, Deprem zararlarını azaltma çalışmalarında mimarlık eğitiminin yeri, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 48.

Özbek, E. ve Can, H., 2012, Dolgu Tuğla Duvarların Çelik Profillerle Güçlendirilmesi, *G.Ü.Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,*, 27 (4), 921-929.

Özcebe, G., Ersoy, U. ve Tankut, T., 1998, Betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin deprem etkisi altında davranışı, TÜBİTAK Projesi, *INTAG 537 (MAG 194I003)*, Ankara, 8-9.

Özdemir, I. Y., 2001, Farklı rijitleştirici elemanlara sahip deprem etkisindeki yapıların lineer davranışlarının zemini de dikkate alarak karşılaştırmalı olarak İncelenmesi, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 5-71.

Özmen, H., B., , İnel, M. ve Bilgin H., 2007, Yumuşak kat davranışının duvar etkisi dikkate alınarak incelenmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,. İstanbul,**:** 101-103.

Öztürk, M., 2010, Deprem dayanımı yetersiz betonarme çerçevelerin bağ kirişli dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 342.

Öztürk, T., 2005, Betonarme binalarda deprem perdelerinin yerleşimi ve tasarımı, *İMO Meslekiçi Eğitim Kursları* İstanbul, 6-12.

Pampal, S. ve Özmen, B., 2009, Depremler doğal afet midir? Depremlerle baş edebilmek, *Eflatun Yayınevi*, Ankara, p. 280-281.

Sahoo, D. R. ve Rai, D. C., 2013, Design and Evaluation of Seismic Strengthening Techniques for Reinforced Concrete Frames with Soft Ground Story,, *Engineering Structures, Elsevier,*, 56, 1933–1944.

Sivri, M., Çelik, İ. D., Fenkli, M., Kımıllı, N. A. ve Ay, Z., 2015, Çelik çaprazla güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışı, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (1), 63-65.

Smyth, A. W., Altay, G., Deodatis, G., Erdik, M., Franco, G., Gulkan, P., Kunreuther, H., Lus, H., Mete, E., Seeber, N. ve Yuzugullu, O., 2004, Probabilistic benefit-cost analysis for earthquake damage mitigation: Evaluating measures for apartment houses in Turkey, *Earthquake Spectra*, 20 (1), 171-203.

Sonuvar, M. O., 2001, Hysteretic response of reinforced concrete frames repaired by means of reinforced concrete infill's, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi* Ankara, 4-9.

Şahin, C. ve Sipahioğlu, Ş., 2003, Doğal Afetler ve Türkiye, *Gündüz Eğitim ve Yayıncılık*, Ankara, p. 70-71.

Şik, H., 2014, Deprem Güvenliği Yetersiz Betonarme Bir Bina İçin Farklı Güçlendirme Önerilerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 1-81.

TDY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi. Yayın No: İMO/09/01, İzmir.

TMMOB, 2010, Türkiye'de Deprem Gerçeği ve TMMOB Makine Mühendisleri Odası'nın Önerileri Oda Raporu Ağustos, 7.

Tonyalı, H., 2006, Betonarme Binalarda Duvar Etkisi ve güçlendirilmesi, Bitirme Tezi, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Konya, 1-47.

Ünal, A., Korkmaz, H. H., Kaltakçı, M. Y., Kamanlı, M., Bahadır, F. ve F.S., B., 2013, Deprem dayanımı yetersiz betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvar ile güçlendirilmesi, *2.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, 7-8.

Yılmaz, Ü. S., 2007, Kolonları basınç kırılması gösteren sünek olmayan betonarme çerçevelerin dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 382.

Yön, B. ve Sayın, E., 2011, Betonarme Perdeler ve Çelik Çaprazlarla Yapılan Güçlendirmelerin Karşılaştırılması,, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 7-10.

Zacek, M., 1996, Construire Parasismique. Editions Parenthèses, Marseille, France.

Zacek, M., 2002b, Depreme dayanıklı bina tasarımı – Form ve Strüktür. Yıldız Teknik Üniversitesi. Üniversite yayın no : Y.T.Ü., ICUS.SM-02.0643. , İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Tevfik Fikret ÖĞÜTÇÜ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 14/06/1988
Telefon : 0312 418 08 85
Faks :
e-mail : tfogutcu@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Yıldırım Beyazıt YDA Lisesi, Ankara	2006
Üniversite	:	Akdeniz Üniveristesi, Antalya	2010
Yüksek Lisans	:	-	-
Doktora	:	-	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2016	Alis Yapı Proje	Proje Mühendisi
2016	Fifer Yapı Proje	Proje Mühendisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR