T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATLAR ARASI RİJİTLİK DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Abdulhamit NAKİPOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği/Mekanik Anabilim Dalı

Ocak-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KATLAR ARASI RİJİTLİK DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Abdulhamit NAKİPOĞLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği/Mekanik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. M. Sami DÖNDÜREN

2018, 134 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. M. Sami DÖNDÜREN
Doç. Dr. Atilla ÖZÜTOK
Doç. Dr. M. Tolga ÇÖĞÜRCÜ

Dünyanın aktif kuşaklarından Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemiz, her yıl büyük küçük ortalama 20 bin depreme maruz kaldığı için adeta doğal bir laboratuvara dönüşmüştür. Özellikle 1999 Gölcük depremi ve yaşanan diğer depremler sonrasında, betonarme taşıyıcı sisteme sahip hasar görmüş binalar üzerinde yapılan incelemeler, binalardaki taşıyıcı sistem düzensizliklerinin olumsuz etkilerinin deprem yükünün tesiriyle ortaya çıktığını göstermiş olup, depreme dayanıklı betonarme taşıyıcı sistem tasarımındaki en önemli hususlardan birinin yapının düzenli olması gerekliliği olduğunu ortaya koymuştur. Bu amaçla mevcut yapılarda deprem davranışının ve performansının iyileştirilmesi üzerine gidilmiş ve bu husus inşaat mühendislerinin önemli çalışma alanı haline dönüşmüştür. Bunun neticesinde birçok güçlendirme projesi oluşturulup uygulanmıştır. Ayrıca 2012 yılında çıkan kentsel dönüşüm yasası ile birlikte de güçlendirme uygulamaları hızla artmıştır. Yapılan bu güçlendirme projelerinde yönetmeliklerde belirtilen şartların göz önünde bulundurulması ve taşıyıcı sistem düzensizliklerinin bu şekilde önüne geçilmesi hayati önem taşımaktadır.

Güçlendirme uygulamalarının deprem anındaki performansı ve davranışı net olarak bilinmediğinden dolayı, yapılan uygulamaların güvenliği ve verimliliği konusundaki endişeler devam etmektedir. Bu endişeler düşünüldüğünde, öncelikli olarak yapılması gerekenler, güçlendirme projelerinin yeterli dikkat ve özenle yönetmeliklere uygun bir şekilde hazırlanması ve uygulama aşamasında da projelerin yerinde doğru şekilde tatbik edilmesidir. Ayrıca laboratuvar ortamında yapılacak olan deneysel çalışmalarla, uygulanması planlanan güçlendirme projelerinin performansının belirlenmesi ile uygulamadaki eksiklikler görülüp can ve mal güvenliğinin üst seviyelere çıkarılabileceği düşünülmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında, TDY-2007'ye göre katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat düzensizliği) bulunan ve deprem dayanımı yetersiz, 1/3 ölçekli, iki katlı-tek açıklıklı betonarme deney numuneleri bazı güçlendirme yöntemleri uygulanarak test edilmiştir. Güçlendirme uygulamasının amacı yapılardaki yumuşak kat düzensizliğinin olumsuz etkilerinin giderilmesidir. Deney numunelerine depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük uygulaması yapılmıştır. 1. çerçeve, üst katı dolgu duvarlı, alt katında duvar yerine (<>) şeklinde K-Tipi çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş numunedir. 2. ve 3. çerçeveler ise üst katı dolgu duvarlı ve sırasıyla, alt katı (V) şeklinde düz V-Tipi ve (>) şeklinde yan V-Tipi çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş numunelerdir. Güçlendirilmiş bu 3 deney numunesine referans olarak, diğer bir çalışmada deney tabi tutulmuş olan, her iki katı dolgu duvarlı numune ve üst katı dolgu duvarlı alt katı duvarsız yumuşak kat düzensizliğine sahip numune kullanılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, deneyleri yapılan 3 adet güçlendirilmiş betonarme çerçeve numunesine ait yük ve deplasman geçmişleri, histerezis ve zarf eğrileri ve enerji tüketimi grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca güçlendirilmiş numunelere, diğer çalışmadan alınan referans numunelerin sonuçları da eklenip,

tüm deney sonuçları ve elde edilen grafikler karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Yapılan karşılaştırmaların neticesinde en uygun güçlendirme tipi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, deprem, depreme dayanıklı yapı tasarımı, düzensizlikler, güçlendirme, yumuşak kat.

ABSTRACT

MS THESIS

AN EXPERIMENTAL STUDY ABOUT STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH INTERSTOREY STIFNESS IRREGULARITY

Abdulhamit NAKİPOĞLU

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN

2018, 134 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN
Assoc. Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK
Assoc. Prof. Dr. M. Tolga ÇÖĞÜRCÜ

Turkey is one of the earthquake-prone countries. Our country is located on Alpine-Himalayan seismic belt. The country has transformed into a natural seismic laboratory, because nearly twenty thousand small and large earthquakes have occurred every year. Especially after the 1999 Gölcük earthquake and other earthquakes in the past, the studies on the damaged buildings with reinforced concrete structural system showed that the negative effects of the structural irregularities in the buildings come to light by the impact of earthquake load and also revealed that the necessity of being regular of the structure is one of the main principles in the design of earthquake resistant reinforced concrete structural systems. For this purpose, existing structures are handled to improve their earthquake performance and this issue has become an important work area of civil engineers. Thereby, many strengthening projects have been created and implemented. Also, with the urban transformation law that have come into effect in 2012, strengthening applications have increased rapidly. It is vital that in these strengthening projects the conditions set out in the regulations have to be taken into account and that structural irregularities must be avoided in this way.

Since the performance and behavior of strengthening applications in earthquake are not known clearly, the concerns about the safety and efficiency of the applications are still ongoing. When these worries are considered, things need to be done firstly are; preparing the strengthening projects according to regulations with due diligence and care, and implementing the projects correctly on site. It is also thought that with experimental works to be held in laboratory, via determining the performance of the projects that planned to be implemented the deficiencies in practice can be seen and so the safety of life and property can be increased.

In this thesis study, two storey-single span and 1/3 scale reinforced concrete test specimens which have interstorey stiffness irregularity (soft storey irregularity) and insufficient earthquake resistance have been tested by applying some strengthening methods. The purpose of strengthening applications is to eliminate the adverse effects of the soft storey irregularity. Reverse-cyclic horizontal load application was performed on the test specimens to simulate the earthquake. The first frame is the specimen with infill walls on the upper storey, and on the lower storey strengthened with K-type steel diagonal elements shaped (<>) instead of infill walls. 2. and 3. frames are the specimens with infill walls on the upper storey, and on the lower storey strengthened by steel diagonal elements with the shape of straight V-type (V) and turned sideways V-type (>) respectively. For reference to these three strengthened frames, following two frames which were tested in another study were used; a frame with both storeys

infill walls and a frame with soft storey irregularity having infill walls on upper storey and no infills on lower storey.

As a result of the study, load and displacement histories, hysteresis and envelope curves and energy dissipation graphs of these three strengthened reinforced concrete frames were obtained. Besides, the results of the reference samples which have taken from another study were added to the strengthened frames, and all the experimental results and obtained graphs were compared and interpreted. In consequence of comparisons, the most appropriate type of strengthening was determined and obtained results were commented and various suggestions were made.

Keywords: Design of earthquake resistant structure, earthquake, irregularities, reinforced concrete frame, soft storey, strengthening.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince, benden bilgi ve tecrübesini esirgemeyerek yetişmemi sağlayan, tezin hazırlanması aşamasında ise göstermiş olduğu ilgi ve destekten dolayı danışmanım Sn. Doç. Dr. M. Sami DÖNDÜREN'e, tez çalışması sırasında bilgi paylaşımları ve yardımlarından dolayı Sn. Arş. Gör. Dr. Alptuğ ÜNAL'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu çalışmada benden destek ve yardımını esirgemeyen Sn. Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK'e ve Sn. T. Fikret ÖĞÜTÇÜ'ye gönülden teşekkür ederim.

Aynı zamanda yüksek lisans eğitimim sürecinde bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren Mekanik Anabilim Dalı öğretim üyeleri Sn. Prof. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ, Sn. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI ve Sn. Doç. Dr. M. Tolga ÇÖĞÜRCÜ'ye saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin laboratuvar çalışması kısmında bana yardımcı olan Sn. Yüksel ÇİFTCİ ve İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarım ve asistanlarına çok teşekkür ederim.

Bu süreçte benden yardımlarını esirgemeyerek her zaman yanımda olan, beni her zaman cesaretlendiren aileme gösterdikleri ilgi ve anlayıştan dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Abdulhamit NAKİPOĞLU
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖNSÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

1.1 Deprem ve Türkiye 3
1.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı 5
1.2.1 Yapının Hafifliği 7
1.2.2 Yapının Düzgünlüğü ve Sürekliliği 7
1.2.3 Yapıda Basitlik ve Simetri 8
1.2.4 Yapının Rijitliği ve Dayanımı 8
1.2.5 Yapının Sünekliği 9
1.2.6 Yapının Göçme Modu 10
1.2.7 Zemin Koşulları 10
1.3 Taşıyıcı Sistem Düzensizlikleri 10
1.3.1 A Tipi-Planda Düzensizlikler 11
1.3.2 B Tipi- Düşey Doğrultuda Düzensizlikler 21
1.4 Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri 35
1.4.1 Kirişlerin, Kolonların ve Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi 35
1.4.2 Betonarme Perdelerde Güçlendirme 38
1.4.3 Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirme 38
1.5 Çalışmanın Amacı 39
1.6 Çalışmanın Önemi 41

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **43**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **58**

3.1 Betonarme Çerçeve Deney Numuneleri 59
3.1.1 Numunelerle İlgili Genel Bilgiler 59
3.1.2 Numunelerin Boyutları 61
3.1.3 Numunelerin Detayları 62
3.1.4 Numunelerin Malzeme Özellikleri 65
3.1.5 Numunelerin Hazırlanması 67
3.1.6 Numunelerin Güçlendirilmesi 71
3.2 Deney Düzeneği, Yükleme ve Ölçüm Tekniği 77
3.2.1 Yükleme Düzeneği 78
3.2.2 Ölçüm Tekniği 80

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **84**

4.1 Deney Sonuçları 84
4.1.1 Deney Numunesi- 1 (KÇÇ) 84
4.1.2 Deney Numunesi- 2 (DVÇÇ) 97
4.1.3 Deney Numunesi-3 (YVÇÇ) 108
4.2 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 118

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 123

5.1 Sonuçlar 123
5.2 Öneriler 125

EKLER 130

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_c: Kolon enkesit alanı, mm^2
A_e: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı, mm^2
A_g: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanı, mm^2
A_k: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanları, mm^2
A_o: Etkin yer ivmesi katsayısı, m/sn^2
A_s: Donatı alanı, mm^2
A_w: Kolon enkesiti etkin gövde alanı, mm^2
b_w: Kiriş genişliği, mm
d: Kiriş faydalı yüksekliği, mm
E_s: Çeliğin elastisite modülü, MPa
F: Deney elemanının bir katına gelen yük, kN
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
g: Yerçekimi ivmesi, m/sn^2
H: Toplam çerçeve yüksekliği, mm
h: Kiriş yüksekliği, mm
h_i: i'inci katın yüksekliği, mm
i_{min}: Atalet yarıçapı, cm
I: Bina önem katsayısı
k_i: i'inci katın rijitliği
M: Deprem moment büyüklüğü
R: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_s: Yanal kat rijitliği oranı
r_s: Yanal kat rijitliği
$\bar{r}_s$: Ortalama yanal kat rijitliği
s: Etriye donatısı aralığı, mm
t_w: Profil et kalınlığı, mm
V_{max}: Sisteme etki eden maksimum kesme kuvveti, kN
η_{bi}: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
σ_a: Çeliğin akma dayanımı, MPa
ρ: Kiriş ya da kolon donatı oranı
ρ_{min}: Minimum donatı oranı
λ: Narinlik oranı
Δ: Kat ötelenmesi, mm
Δ_i: i'inci kattaki ötelenme, mm
Φ: Donatı çapı, mm
Φ_l: Boyuna donatı çapı, mm
Σ : Toplam

Kısaltmalar

ASCE-7: Amerikan Deprem Yönetmeliği
DVÇÇ: Düz V-Tipi Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilmiş Numune
FRP: Fiber Takviyeli Plastik
FEMA: Amerikan Acil Yönetim Kurumu
GIB: Boşluklu Eğimli Takviye Çubuk Sistemi
IS 1839-1: Hint Deprem Yönetmeliği
K: Kiriş harflendirilmesi
KÇÇ: K-Tipi Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilmiş Numune
NZS-4203: Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği
max: En yüksek değer
PGA: Maksimum Yer İvmesi
RÇ: Referans Çerçeve Numunesi
S: Kolon harflendirilmesi
SI-413: İsrail Deprem Yönetmeliği
TDY: Türk Deprem Yönetmeliği
TS: Türk Standartları
YKÇ: Yumuşak Katlı Çerçeve Numunesi
YVÇÇ: Yan V-Tipi Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilmiş Numune

1. GİRİŞ

Ülkemizin büyük bölümü aktif deprem riski taşıyan kuşaklar üzerinde yer almaktadır. Bu durum neticesinde deprem, ülkemizde en sık yaşanan ve büyük önem arz eden doğal afetlerden biri olmaktadır. Yerkabuğu üzerinde bulunan plakaların yer değiştirmesinden dolayı gerilip aniden kırılmasına deprem denir. Depremin büyüklüğü de kırılma olayının açığa çıkardığı enerji miktarını belirten bir ölçüttür. Depremler, deprem büyüklüğüne bağlı olarak büyük, orta ve küçük büyüklükte depremler olarak sınıflandırılmaktadır. Büyük depremler, tekrarlanma aralıkları uzun olan ciddi kayıplara ve hasarlara sebep olan depremlerdir. Orta ve küçük büyüklükteki depremler ise çokça oluşup hiç veya az miktarda hasara yol açarlar (Sandıkçı, 2014).

Ülkemiz topraklarında şahit olduğumuz depremler, büyüklükleri düşünüldüğünde anormal olarak hayli çok zarara, kayba ve yıkıma sebebiyet vermektedir. Meydana gelen büyük zayiat ve kayıpların, kırsal kesimlerin beraberinde nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu yerleşim yerlerinde de yaşanması, deprem bölgelerinde inşa edilmiş çoğu yapının güvenlik konusunda şüpheli ve yetersiz olduğunu gösterir niteliktedir. Bu durum düşünüldüğünde, inşaat mühendisliği projelerinde, betonarme yapılar için deprem etkisi hayati ehemmiyete sahip olup, bu tür yapılarda deprem yüklemesinin bütün ayrıntılarıyla ele alınıp doğruca hesaplanması ve yapıya uygun bir şekilde etkitilmesi gerekmektedir (Işık, 2006).

Depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi, deprem şiddetine bağlı olarak, can ve mal kayıplarını önlemek amacıyla, yapılarda oluşabilecek hasarların kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmasıdır. Depreme dayanıklı betonarme taşıyıcı sistemli tasarımlarda en hassas konulardan biri ise, yapının düzenli ve sürekli olması gerekliliğidir. Taşıyıcı sistemi düzenli olan her yapı, analitik çözüm, imalat, inşaat ve tasarım dâhil birçok hususta düzensiz bir yapıya göre kullanışlı, hesaplı ve daha mühim olanı emniyetlidir. Özellikle betonarme taşıyıcı sistemli yapılarda, depreme karşı davranış bakımından, yapının düşey ve yatay doğrultuda süreksizlik belirtmesi, aniden dayanım ve rijitlik değişimine uğraması ile kütle farklılıkları içermesi sakınılması gereken olumsuz durumlardır. Bu tür sorunları barındıran bir yapı, taşıyıcı sistem bakımından düzensiz yapı olarak adlandırılır (Öğütçü, 2016). Büyük çoğunlukla deprem yükünün yapıya tesiriyle ortaya çıkan bu olumsuzluklar, taşıyıcı sistemin, yönetmeliklerin ortaya koyduğu şartlar çerçevesinde, düzenli olması gerekliliğinin ne kadar ciddi öneme sahip olduğunu gözler önüne serer. Ancak standartlara uyulmuş olarak varsayılsa da bazı sebeplerden

dolayı, yine de yapılarda düzensizlikler meydana gelebilir. Bu sebepler şöyle açıklanabilir; yapının inşa edileceği arsanın getirebildiği kısıtlamalar, yapı sahibinin istekleri, mimari sebepler ve estetik kaygılar, mimar ile mühendisin eş güdümlü çalışmaması, taşıyıcı sistem seçimine gereken önemi ve özeni göstermeyip taşıyıcı sistem seçimi, aşamasına yeterli zaman ayrılmaması, mühendisin bilgi veya tecrübesindeki eksiklikler, projelendirme aşamasında kullanılan yazılımlara aşırı güvenerek elde edilen sonuçların yorumlanmadan kullanılması, imalat sırasında projeden bağımsız davranılması, denetim eksikliği ve maddi çıkarlar. Bu gibi durumlarda da yapıların deprem davranışlarındaki olumsuzluklar giderilmek için çeşitli iyileştirme yöntemleri aranmalıdır.

Açıkça görülüyor ki 1999 Gölcük depreminden çıkarılan dersle, mevcut yapılarda deprem davranışının ve performansının iyileştirilmesi üzerine gidilmiş ve bu husus inşaat mühendislerinin önemli çalışma alanı haline dönüşmüştür. Ve neticesinde birçok güçlendirme projesi oluşturulup uygulanmıştır. Ancak yapılan bu çalışmaların güvenilirliği ve muhtemel bir deprem esnasında güçlendirilmiş yapıların sunacağı performans konusunda hala endişeler vardır. Bu nedenle güçlendirme hususu üzerine daha da yoğunlaşmak gerekmekte ve güçlendirilmesi planlanan yapıların iyi analiz edilip yapıya uygulanacak projelerin eksiksiz ve doğru olduğundan emin olunması büyük önem taşımaktadır (Korkmaz, 2007).

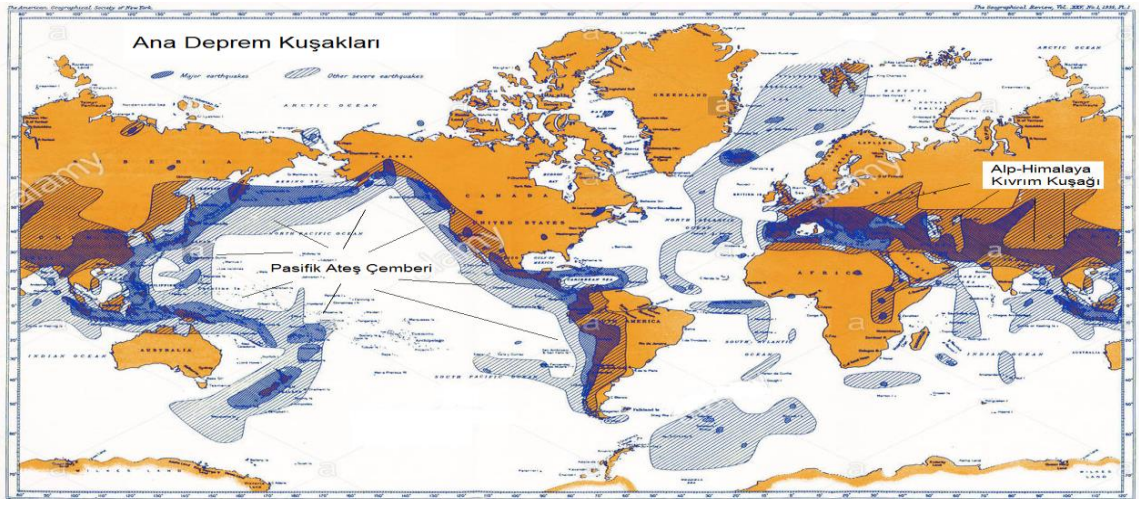
Bu çalışmada; katlar arası rijitlik düzensizliği bulunan deprem dayanımı yetersiz betonarme yapılarda, yumuşak kat oluşumunun olumsuz tesirlerinin önüne geçilmesi amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemlerinin denenip önerilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda 3 adet 1/3 ölçeğinde, iki katlı ve tek açıklıklı betonarme taşıyıcı sistemli çerçeve deney numuneleri test edilmiştir. Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı ve Deprem Laboratuvarında yapılan deneylerde, numunelere depremi benzeştirecek Tersinir-Tekrarlanır yatay yük uygulaması yapılmıştır. İki katında dolgu duvarlı olduğu Referans Numune ile üst katın dolgu duvarlı alt katın boş olduğu katlar arası rijitlik düzensizliğine sahip çerçeve modellerle ilgili deney sonuçları (Öğütçü, 2016) tarafından yapılan çalışmadan alınarak kullanılmıştır. Yapılan 1.deneyde, zemin kata **(<>)** şeklinde K tipi çelik çapraz güçlendirmesi yapılmıştır. 2. deneyde zemin kata (V) şeklinde düz V tipi çelik çapraz güçlendirmesi yapılmıştır. 3. deneyde ise yine zemin katta **(>)** şeklinde yan V tipinde çelik çapraz takviyesi yapılarak deney numunesi test edilmiştir. Bütün deney numuneleri özdeş olup hepsinde katlar arası rijitlik düzensizliği yani diğer bir adıyla yumuşak kat düzensizliği mevcuttur. Deneyler sonucunda her bir numuneden elde

edilen yük-deplasman grafikleri, enerji tüketme kapasiteleri ve yatay yük taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Bütün numunelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak güçlendirme yöntemlerinin hangisinin daha uygun olacağı ile ilgili yorumlamalar yapılmıştır.

1.1 Deprem ve Türkiye

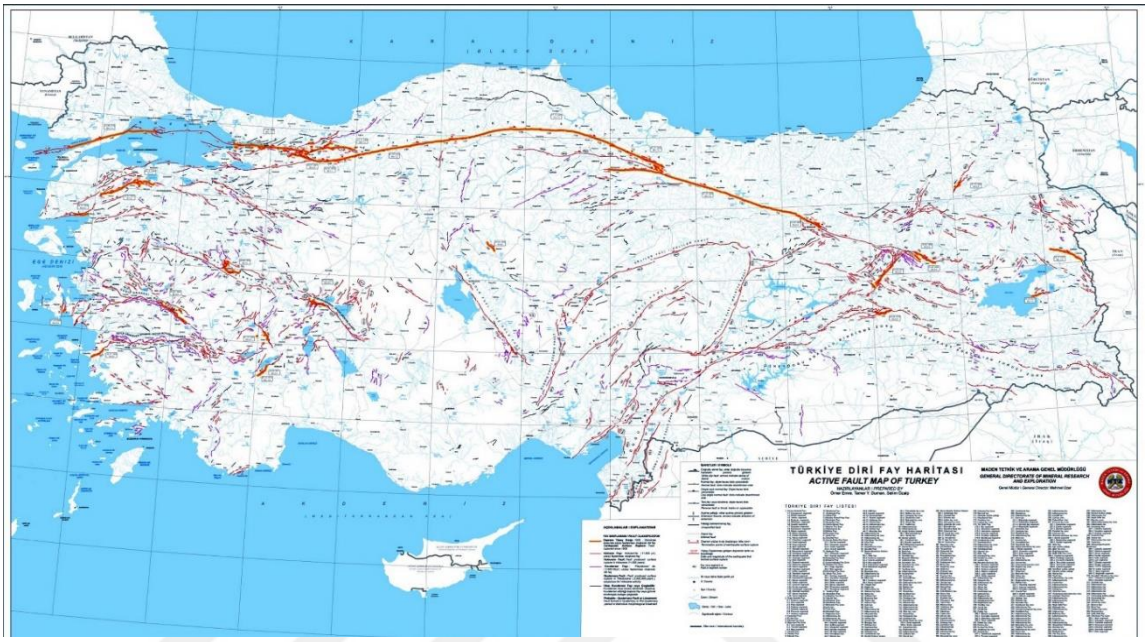
Yerkabuğu hareketleri neticesinde, kütlelerin maruz kaldığı gerilme etkisi kırılmayla sonuçlandığı anda boşalan muazzam büyüklükteki enerji harmonik titreşim hareketiyle dalgalar halinde yayılarak yeri değişken bir ivmeyle sarsar ve kırar. Binlerce yıldır dünya tarihinde adından çokça söz edilmiş, arkasında çok büyük yıkımlar ve kayıplar bırakmış bu doğal afete deprem veya diğer bir adıyla zelzele denir.

Dünya üzerinde yaşanmış büyük depremler hakkında yapılan incelemeler 2 ana hattın varlığını ortaya koyar. Bunlardan birincisi; yaşanan depremlerin yaklaşık %81'ini kapsayan Pasifik Deprem Kuşağı (Pasifik Ateş Çemberi) diğeri ise %17 oranla Alp-Himalaya Deprem Kuşağı (Alp-Himalaya Kıvrım Kuşağı)'dır. Nüfusunun %95'ine yakınının deprem riski altında yaşadığı ülkemizde Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'nın içinde yer alır (Şekil 1.1). Ülkemiz depremselliğinin ne kadar yüksek olduğunu gözler önüne seren bu kuşak, birbirine zıt uzanan kırıkların oluşturduğu bir ağ görünümüyle Türkiye'yi kuzey, güney ve batı yönlerinden 3 adet fay sistemiyle kuşatır. Bu fay sistemleri ülke tarihimiz boyunca birçok depreme dolayısıyla binlerce kayba sebebiyet vermiştir (Öğütçü, 2016).



Şekil 1.1. Ana deprem kuşakları (American Geographical Society, 1935)

Türkiye'de 1992 yılında yayınlanan diri fay haritasında 150 adet fay bulunurken, 2004-2012 yılları arasında yapılan yoğun çalışmalarla bu harita revize edilmiş ve sonuç olarak ülkemizde 326 adet diri fay bulunduğu ortaya konmuştur. Bunların en çok can ve mal kaybı yaratanı şüphesiz Kuzey Anadolu Fay Hattı'dır (Şekil 1.2) (M.T.A., 2012).

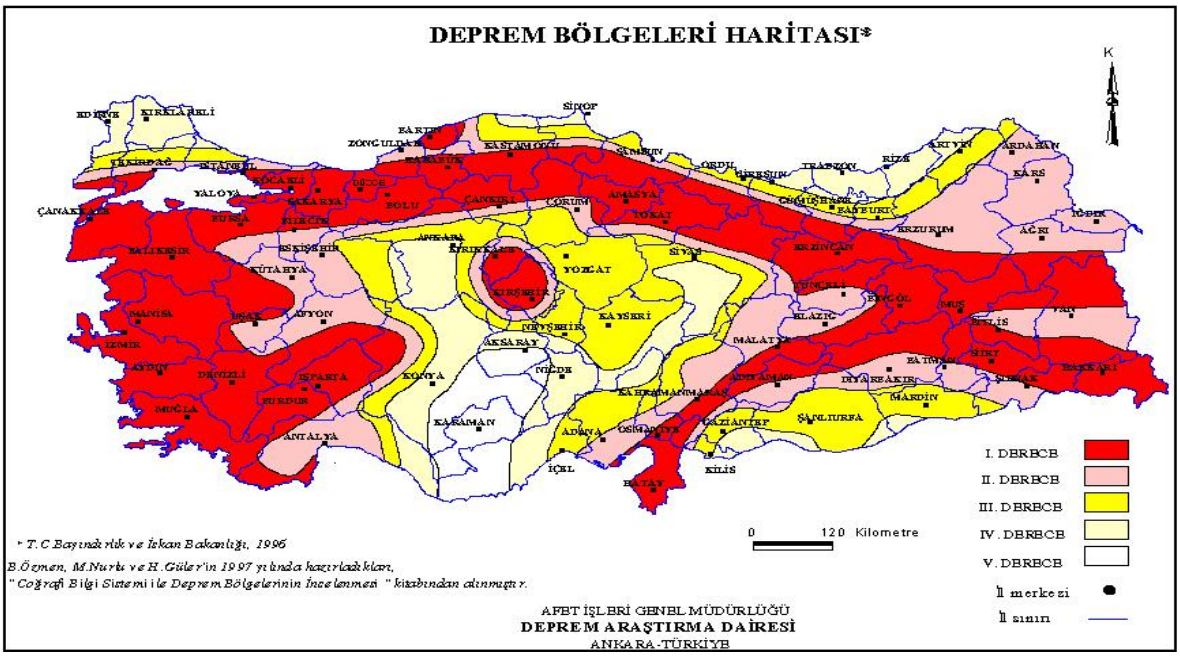


Şekil 1.2. Türkiye diri fay haritası serisi (M.T.A., 2012)

Çoğu büyük şehrimizin diri faylar üzerine oturmuş olduğu gerçeği düşünüldüğünde bu yerleşkelerin hem tektonik hem de zemin koşulları sebebiyle yüksek deprem riski taşıdığı belli olmaktadır. Yapı sahası tercihinde yapılan bu hatayla beraber, depreme elverişsiz zeminler üzerinde yapılmış deprem dayanımı yetersiz yapılar, yanlış veya yetersiz malzeme kullanımı, en önemlisi de projelendirme ve uygulama sürecinde yönetmeliklerde belirlenmiş şartlara uyulmaması ve eksik veya uygun olmayan denetimler gibi nedenlerin neticesinde yaşanmış ve yaşanılacak büyük yıkım ve kayıpların ana sebebini doğal afete bağlamak doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Depremlerin oluşturacağı hasarları azaltmanın yolu yönetmeliklerde belirlenen şartlara uygun depreme dayanıklı yapılar inşa etmek ve bunları yetkin şekilde denetlemektir. Buna ek olarak toplumu depreme karşı eğitmek hususunda da oldukça hassasiyet göstermek gerekir (Pampal ve Özmen, 2009).

Bir deprem ülkesi olan Türkiye, yapılan çalışmalar sonucunda, depremselliği açısından belirli bölgelere bölünmüştür. 1996 yılında yürürlüğe giren ve önceki haritalardan farklı olarak olasılık metotlarıyla hazırlanmış Türkiye Deprem Bölgeleri

Haritasında 5 ayrı deprem bölgesi bir arada çizilmiştir (Şekil 1.3). I. ve II. Derece deprem bölgelerini, ülke tarihimiz boyunca en sık ve şiddetli depremlere yol açan, Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Ege Bölgesi'ndeki horst ve graben sisteminin kapsadığı alanlar oluşturmaktadır. III., IV., V. Dereceden bölgeler olarak devam eden bu haritada il-ilçe bazında değişkenlik gösteren genel bir deprem risk tablosu ortaya konmuştur. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (TDY, 2007) ile birbirini tamamlar niteliktedir. Yönetmeliğe göre kabul edilen etkin yer ivme katsayısı, I. Derece deprem bölgeleri için 0.4g, II. Derece için 0.3g, III. Derece için 0.2g, IV. Derece için 0.1g olarak alınmalıdır. Burada 'g' 9.81 m/s^2'lik değeriyle yerçekimi ivmesidir. Yönetmelik V. Derece için deprem hesabı yapılmasını zorunlu kılmamaktadır (AFAD, 1996).



Şekil 1.3. Deprem bölgeleri haritası (AFAD, 1996)

1.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temelinde rijitlik, süneklik ve dayanım bakımından istenilen seviyeye ulaşmak yatar. (TDY, 2007) yönetmeliği de koyduğu şartlar çerçevesinde aslında bu 3 olgu üzerinde yoğunlaşır. İstenilen, yapının tamamen hiçbir hasar görmeden dimdik ayakta durması değildir. Optimum seviyede rijit, sünek ve dayanımlı bir yapıda, yapının sürekliliği ve düzenliliği göz önünde bulundurularak yapıya etkiyen yüklerin güvenli bir biçimde toprağa yani zemine aktarılması amaçlanmaktadır.

(TDY, 2007)'ye göre inşası planlanan binalar için deprem yüklemesi düşünüldüğünde hasar sınırlaması ilkeleri şöyledir;

1. Hafif şiddetli depremler için binalardaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistem elemanlarının hiçbir şekilde hasar görmemesi,
2. Orta şiddetli depremler için taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarın belirli sınırda ve tamir edilebilir seviyede kalması,
3. Şiddetli depremler için de temel ilke olarak, can güvenliğinin sağlanması maksadıyla kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması gerekmektedir.

Bahsedilen şiddetli deprem; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve konut, işyeri tarzında bina önem katsayısı I=1 olan binaların tasarım depremi olarak kullanılacak depremdir. Bu ilkeler inşası planlanan yeni yapılar için geçerlidir. Ancak hali hazırda inşası tamamlanmış, hasar görmüş veya risk teşkil eden yani hasara meyilli eski yapılarda da bu ilkeler kontrol edilmeli ve yapıların deprem performansı analiz edilmelidir. Yapıyla ilgili yeterli bilgi seviyesine ulaşılıp, yapılan teknik incelemelerle meydana gelmiş/olası hasar düzeyi belirlendikten sonra ekonomik fayda/maliyet analizleri de düşünülüp gerekli görüldüğü takdirde bu mevcut yapılar (TDY, 2007)'de belirlenen şartlara bağlı bir şekilde güçlendirme ve onarım aşamalarından geçirilmelidir. Güçlendirme ve onarım uygulamalarının uygun biçimde yapılamayacağı veya yapılsa dahi can güvenliği riskini ortadan kaldıramayacağı durumlarında, yapıların varlığından kaçınmak gerekir. Bu durumda yapının yıkımı kaçınılmazdır.

Betonarme yapıların projelendirme ve inşası aşamalarında çoğu zaman yapılan hatalar; yönetmeliklere uygun olmayan, yanlış ve eksik analiz edilmiş projeler, projeye uygun olmayan imalatlar, etkin olmayan teknik kontrol ve denetimler, kusurlu ve yanlış işçilik, eksik, yetersiz veya yanlış malzeme kullanımı, yapı için yanlış yer seçimi, elverişsiz zemin koşulları vs. olarak sıralanabilir. Bu gibi hataların bir veya birkaçı, yapının, tamamlanma aşamasından bağımsız olarak, ağır hasar görmesine ve göçmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla betonarme taşıyıcı sistem tasarımının doğru ve etik bir şekilde yapılması ve tatbik edilmesi icap etmektedir (Öğütçü, 2016).

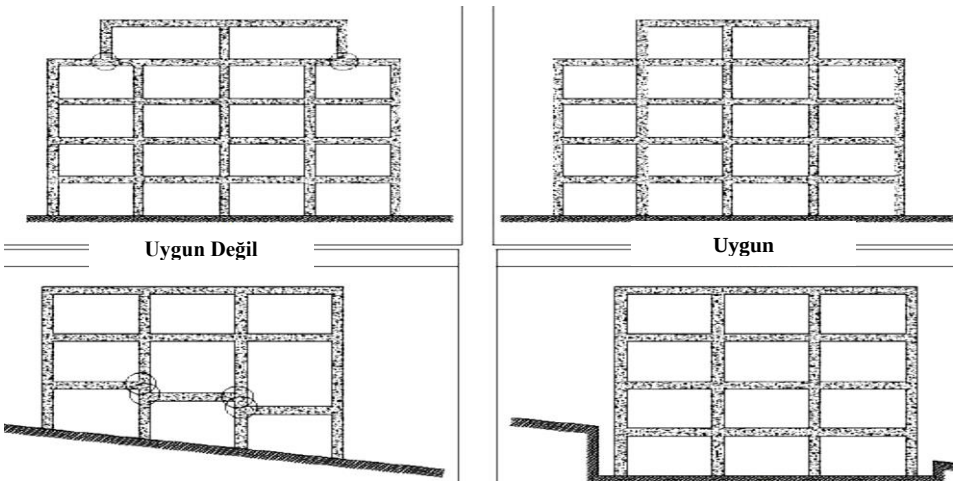
Yaşanılan depremlerden çıkarılan sonuçlar, depreme dayanıklı yapı tasarımının daha mimari aşamadayken başlaması gerektiğini göstermektedir. Deprem güvenliğinin sağlanması amacıyla, taşıyıcı sistemin seçiminde, mimari ve statik tasarımda dikkat edilmesi gereken bazı kritik noktalar ön plana çıkmaktadır. Bunlar yapının hafif, basit ve simetrik olma durumu, düzgün ve sürekli olması, rijitliği ve dayanımı, göçme modu, sünekliği ve oturacağı zeminin koşulları ve benzeri durumlardır (Hisar, 2014).

1.2.1 Yapının Hafifliği

Yapının maruz kalacağı herhangi büyüklükte bir depremde yapıya etkiyecek olan yatay yükler direkt olarak yapının ağırlığı ile orantılıdır. Yani yapı ne kadar hafifse olası bir depremde üzerine o kadar az yük alır. Dolayısıyla hafiflik deprem güvenliği açısından oldukça önemli bir kriterdir. Ve malzeme seçimi esnasında hafif malzemeler tercih edilmelidir. Ayrıca düzgün bir mimari tasarımla yapıyı hafifletmekte mümkündür.

1.2.2 Yapının Düzgünlüğü ve Sürekliliği

Depreme dayanaklı taşıyıcı sistem tasarımı yapılırken yapıda yatay ve düşey yönde yük aktarımı problemi ve ekstra kesit zorlanmalarının yaşanmaması için taşıyıcı elemanların dizilimi iki yönde de düzgün ve sürekli olmalıdır (Şekil 1.4). Düşey taşıyıcı elemanlar olan kolon ve perdelerin, temel üst kotundan çatı üst kotuna kadar sürekli olarak devam etmesi ve aşağı doğru inildikçe bu elemanların boyutlarında herhangi bir azalma ve yerleşim düzeninde sapma olmaması gerekmektedir. Çünkü örneğin konsol kirişe oturtulmuş bir kolon, yapıda ekstra çok büyük moment etkisine sebep olur. Kaçınılması gereken bu durum zaten (TDY, 2007) tarafından da kesinlikle yasaklanmıştır. Diğer bir taraftan, taşıyıcı sistemin düzgün ve sürekli olacak şekilde tasarlanmasıyla, deprem anında elastik davranışın ötesindeki yük taşıma kapasitesi ve plastik mafsal sayısı arttırılmış olacak ve dolayısıyla yapının enerji yutan kısmı büyüyecektir (Öğütçü, 2016).

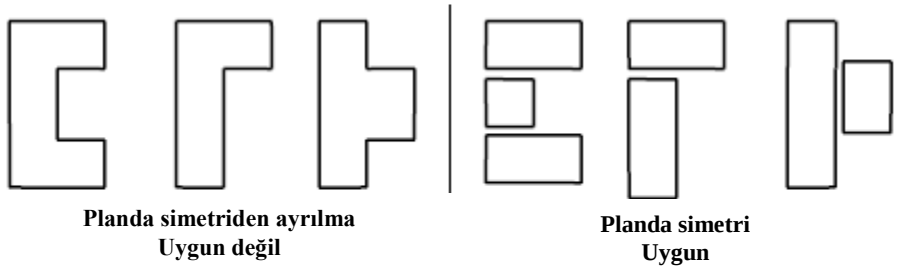


Şekil 1.4. Uygun ve uygun olmayan bazı süreklilik ve düzgünlük durumları (Öğütçü, 2016)

1.2.3 Yapıda Basitlik ve Simetri

Yapıların deprem performansları incelenerek elde edilen deneyimler, basitlik ve simetri hususunu ön plana çıkartır. Basit ve simetrik olarak tasarlanmış bir yapı, deprem davranışı bakımından daha olumludur. Basit yapıların deprem etkisindeki davranışı da basit olduğu için, tasarım aşamasında, davranış tahmininde bulunmak ve statik çözümlemeler yapmak karmaşık bir yapıya nazaran çok daha rahat olmaktadır. Bilakis karmaşık ve simetrik olmayan bir yapıda modelleme aşaması oldukça uzun sürerken, yapının simetrik olmamasından kaynaklı ekstra burulma momenti oluşumu ciddi bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bunların yanı sıra basit tasarımlarda, projeler net bir şekilde ortada olacağı için yapım aşamasında karşılaşılan hatalarda da azalmalar görülmesi çok muhtemeldir (Hisar, 2014).

Simetriklikten uzaklaşan yapılarda kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki mesafe yani eksantrisite büyümekte ve yapıya etkiyecek deprem yüküyle, yapı kat düzeyinde ciddi bir burulma momentine maruz kalmaktadır. Oluşan kat burulma momenti kolonları ekstra kesme kuvvetleriyle zorlamaktadır ki bu hiç istenmeyecek bir durumdur (Döndüren ve ark., 2007). Ayrıca yapının simetrik olmamasından kaynaklı maruz kalacağı burulma momenti, Şekil 1.5'te görüldüğü gibi dilatasyonlar yapılarak daha basit ve simetrik parçalara bölünerek azaltılabilir.



Şekil 1.5. Dilatasyon boşluklarıyla yapının daha basit ve simetrik hale gelmesi (Toptaş, 2012)

1.2.4 Yapının Rijitliği ve Dayanımı

Depreme dayanıklı taşıyıcı sistem tasarımında en önemli hususlardan biriside rijitliktir. Yapı ne kadar rijit ise o kadar az deplasman yapar, ki istenilen durumda budur. Yapının yatay ve düşey yönde yüke maruz kalmasıyla oluşabilecek ikinci mertebe moment etkisinde kalmaması için meydana gelebilecek deplasmanların minimum seviyede tutulması gerekir. Rijtitliği arttırmak yer değiştirme talebini düşürerek yapının

alacağı hasarı da azaltır. Yapının rijitliği büyük oranda düşey yönde çalışan elemanlarla alakalıdır. Kat yükseklikleri azaltılıp her katta birbirine yakın tutularak, dolgu duvar alanları her katta olacak şekilde yeterli miktarda arttırılarak, kesit boyutları büyütülerek veya çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanarak yapının yetersiz olan rijitliği arttırılabilir.

Yatay yönde deprem yüklemesi altında yapının rijitliğinin en önemli kıstası toplam deplasmandan ziyade katlar arası göreli deplasman miktarlarıdır. Katlar arasında oluşan ani rijitlik farklılıkları deprem etkisiyle yatayda zorlanan yapının stabilitesini bozarak deprem enerjisini tek bir kata yoğunlaştırır. Bunun neticesinde meydana gelen yumuşak kat oluşumu yaşanılan depremlerin yıkımla sonuçlanmasının başlıca sebeplerindendir. Dolayısıyla depreme dayanıklı yapı tasarımında yapının sürekli olarak rijitliğinin yüksek olması çok önemlidir (Özmen ve ark., 2007).

Depreme dayanıklı taşıyıcı sistem tasarımında istenilen dayanım durumu, yük etkisi altındaki taşıyıcı elemanların oluşan kesit zorlarını kırılma yaşanmadan taşımasıdır. Türk Deprem Yönetmeliği 2007 de deprem güvenliği açısından, yapının maruz kaldığı deprem enerjisini yeterli sayıda plastik mafsal oluşumu ile sönümleyerek tüketmesini ve sünek davranmasını öngörür. Bu sebeple kapasite tasarımı ilkesi benimsenmiştir. Bu bağlamda daha sünek bir kırılma tipi olan eğilme kırılmasının kesmeden önce yaşanması için güçlü kolon zayıf kiriş prensibi ile hareket edilmektedir. Kolonların, kiriş taşıma kapasitelerinden %20 daha güçlü olacak şekilde tasarlanması uygun görülmüştür. Bunun neticesinde şiddetli bir deprem anında ilk etapta kolonlar hasar almayacak, oluşan hasarın çok büyük bir kısmı kirişlerde meydana gelecektir. Çünkü kirişlerde oluşan hasar yapının göçmesine sebep olmaz ve sünek davranışı ile yapının boşaltılması için yeterli zamana olanak sağlar (Sandıkçı, 2014).

1.2.5 Yapının Sünekliği

Süneklik herhangi bir dış yük etkisinde taşıyıcı sistemin veya taşıyıcı elemanın dayanım kaybı yaşamadan veya göçmeden çok daha fazla deformasyon yapabilme yeteneğidir. Yapının sünek olmasındaki amaç, deprem kaynaklı büyük etkilerin sistemde veya elemanda şekil değiştirme yoluyla emilmesidir. Etkilerin büyük bir kısmı emildiği takdirde sistemde dolaşan deprem yükü sönümleniş olacak ve azalacaktır. (TDY, 2007)'ye göre I. ve II. Derece deprem bölgelerinde yapılacak binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem kullanmak zorunludur. Yapıların sünek tasarlanmasıyla deprem

anında oluşan enerjinin plastik deformasyonlarla sönümlenmesi icap etmektedir. Ortaya çıkan deformasyon talebi yapıda meydana gelecek plastik mafsallarla karşılanır. Oluşan plastik mafsallarla büyük şekil değiştirmelere izin verilip deprem enerjisinin çoğu sönümlenmiş olur ve böylece yapının yıkımı gerçekleşmeden depremden çıkma olasılığı büyük ölçüde artar. Bunun yanı sıra yeterli süneklik seviyesinde tasarlanmayan yapılar deprem esnasında büyük hasara maruz kalıp göçme durumuna geçmektedir (Işık, 2006).

1.2.6 Yapının Göçme Modu

Birincil olarak deprem yüklemesine göre yapılan tasarımda kesitler öngörülen etkilere karşı koyacak şekilde boyutlandırılırken, özellikle düşey taşıyıcı elemanların dayanımlarını kaybederek tüm sistemin göçmesinden veya burkulma gibi ani göçmeden uzak kalınmak istenir. Yapının göçme durumuna erişmeden oluşan plastik mafsallarla yeterli sünek davranışı göstermesi ana ilkedir. Betonarme yapı elemanlarının kesitlerinde betonun ezilmesinden önce donatının akması beklenir. Dolayısıyla istenilen göçme modu sünek olan eğilme durumunun gevrek olan kesme durumundan önce yaşanmasıdır (Öğütçü, 2016).

1.2.7 Zemin Koşulları

Depreme dayanıklı yapı tasarımıyla ilgili başlıca disiplinlerden biride şüphesiz geoteknik deprem mühendisliğidir. Yapının tasarımı ve uygulanması aşamasında, uygun zemin etüdünün yapılması ve yapının oturduğu temelin dayanımının yeterli olması ciddi önem arz eden gerekliliklerdendir. Özellikle deprem anında oluşabilecek zemin sıvılaşması hususu, taşıma gücü yenilmesiyle zeminin kayma dayanımının tamamen kaybına ve bunun sonucunda yapıda çok ciddi hasarlara ve göçmeye neden olabilir. Olası sıvılaşma durumu araştırılmalı ve önüne geçebilmek için zeminde veya yapıda çeşitli yöntemlerle gereken iyileştirmeler yapılmalıdır (Day, 2002).

1.3 Taşıyıcı Sistem Düzensizlikleri

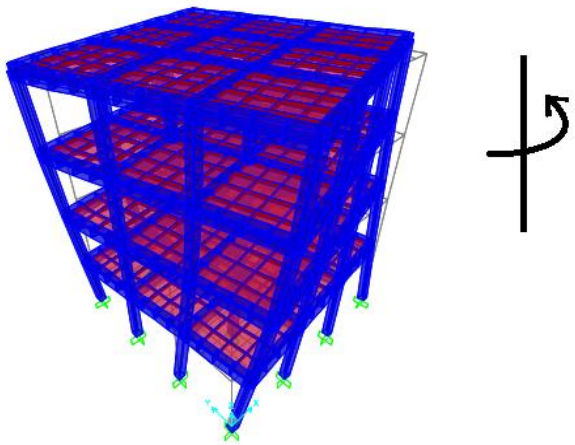
Düzensizlikler kısaca; deprem yüklemesi altında binalara çeşitli istenmeyen, olumsuz davranışlar sergileten, kaçınılması gereken, taşıyıcı sistemlerdeki düzen bozukluklarıdır. Süreksizlikler, dayanım ve rijitlik farklılıkları bunlara örnektir. (TDY,

2007) göre düzensiz binalar planda düzensiz ve düşey doğrultuda düzensiz olmak üzere 2 bölüme ayrılmıştır. Bu düzensizliklerden A1 (Burulma Düzensizliği) ve B2 (Yumuşak Kat Düzensizliği) deprem hesap yönteminin seçiminde etken olan düzensizlik türleridir.

1.3.1 A Tipi-Planda Düzensizlikler

1.3.1.1 A1- Burulma Düzensizliği

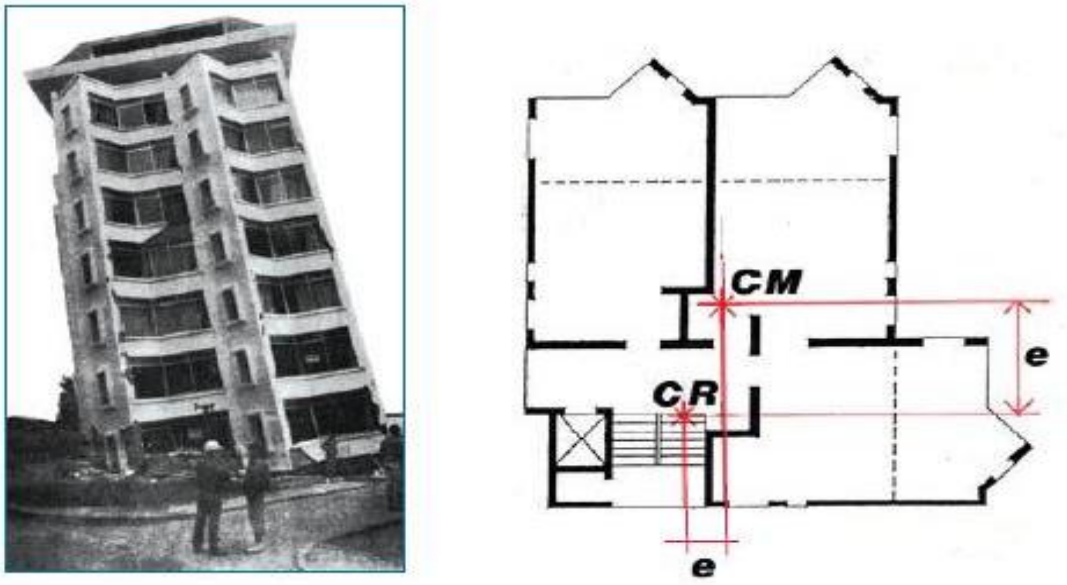
Binalarda çoğunlukla plan boyutunda simetrikliğin olmamasından kaynaklı oluşan burulma düzensizliği çağdaş deprem yönetmeliklerinin çoğunda bahsi geçen düzensizlik tiplerindendir. Simetri bozukluğu sistemi düşey eksen doğrultusunda dönme eylemine zorlar, bu hâle burulma denir. Yapının plandaki simetrisi ne kadar sağlanırsa burulma düzensizliğinden o kadar kaçınılmış olunur (Şekil 1.6) (Döndüren ve ark., 2007).



Şekil 1.6. Burulma momentine maruz kalmış yapı

Burulma düzensizliğini tetikleyen ana etkenler, yapının plandaki geometrisi ile plandaki rijitlik dağılımıdır. Düzensizliğin önüne geçebilmek için, binanın simetrik olmasına dikkat edilmelidir. Ve kat planında, rijitlik merkezi ve kütle merkezi arasındaki uzaklık diğer bir deyişle eksantrisite olabildiğince küçük tutulmalıdır. Sistemde kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında eksantrisite oluşumu, yatay yüklerin sisteme etki etmesi durumunda, kat düzeyinde burulma momenti meydana gelir (Şekil 1.7). Kat burulma momenti düşey taşıyıcı elemanlarda ekstra kesme kuvveti oluşturur. Deprem yükleri altında hâlihazırda yüksek kesme kuvvetlerinin etkisinde olan bu elemanlara, bir de katta oluşan burulma momentinden dolayı ekstra kesme kuvvetlerinin etkimesi

istenmeyen bir durumdur (Şekil 1.8). Kat düzeyindeki bu burulma momentini azaltmak ya da eğer mümkünse, tamamen yok etmek için, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin birbirine çok yakın olması veya üst üste çakışması gerekmektedir. Kütle merkezi neredeyse sabit, yerinin kaydırılamayacağı bir noktada olarak düşünülebilir. Çünkü bu merkezin konumunu değiştirmek için kattaki kütle dağılımını değiştirmek gerekir ki, bu oldukça zordur. Ama rijitlik merkezinin konumu, kolonların ve perdelerin rijitlikleriyle oynanarak değiştirilebilir (Döndüren ve ark., 2007).



CM: Ağırlık Merkezi CR: Rijitlik Merkezi
e: Eksantrisite

Şekil 1.7. Planda eksantrisite oluşumu ve deprem sonrası burulma düzensizliği hasarı (Arnold, 2006)



Şekil 1.8. Burulma düzensizliği hasarı (Topçu, 2008)

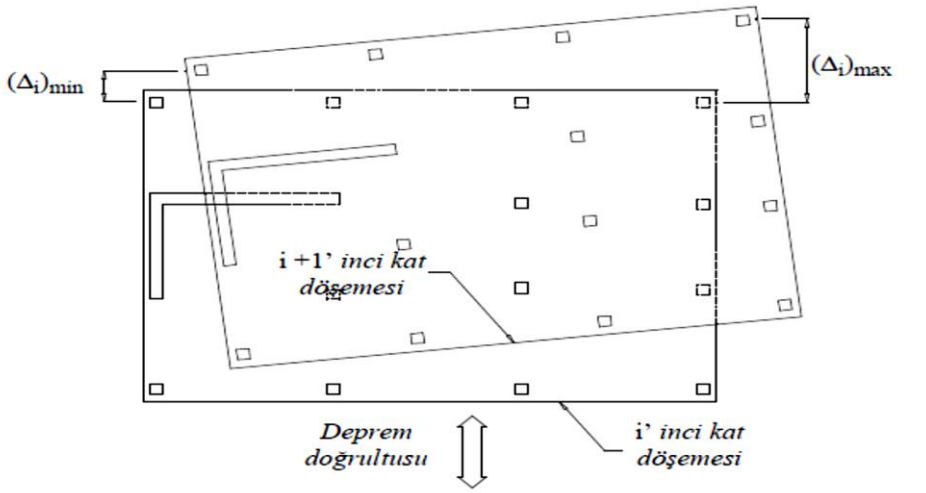
Rijitlik dağılımı ve geometrik yapı açısından düzenli olan sistemlerde de, burulma düzensizliği oluşabilmektedir. Burada burulma düzensizliği oluşumunun başlıca sebebi, planda kenar akslar üzerindeki taşıyıcı elemanların rijitliklerinin az olmasıdır. Bu durumda da bahsi geçen elemanların boyutlarının büyütülmesiyle düzensizliğin önüne geçilebilir (Gök, 2013).

1.3.1.1.1 Türk Deprem Yönetmeliği'nde (TDY 2007) Burulma Düzensizliği

A1 tipi burulma düzensizliği (TDY, 2007)'de şu şekilde tanımlanmıştır;

- Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi}'nin 1.2'den büyük olması durumu [$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2$] (Şekil 1.9).
- Göreli kat ötelemelerinin hesabı, ± %5 ek dış merkezlik etkileri de göz önüne alınarak binanın herhangi bir i'inci katında burulma düzensizliğin bulunması durumunda, $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ olmak koşulu ile bu katta uygulanan ±%5 ek dış merkezlik, her iki deprem doğrultusu için Denk.1.1'de verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

$$D_i=\left(\frac{\eta_{bi}}{1.2}\right)^2 \tag{1.1}$$



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$(\Delta_i)_{ort} = 1/2\ [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}]$

Burulma düzensizliği katsayısı :

$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort}$

Burulma düzensizliği durumu : $\eta_{bi} > 1.2$

Şekil 1.9. Burulma düzensizliği durumu (TDY, 2007)

- (TDY, 2007) ayrıca, çoğu çağdaş deprem standardından ayrılarak, η_{bi} burulma düzensizliği katsayılarının 2.00 değerinden büyük olması durumunda, "Eşdeğer Deprem Yükü" yöntemi yerine "Dinamik Hesap" yöntemleriyle çözümlemelerin yapılmasını öngörmektedir. Çünkü eşdeğer deprem yükü yöntemi hesap yaparken 1.titreşim periyodu ele alınır ancak zaten burulmanın olası etkisi daha çok sonraki periyotlarda ortaya çıkar (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1-2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$m
1-2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca **B2** türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$m
3-4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$m

1.3.1.1.2 Diğer Bazı Çağdaş Deprem Yönetmeliklerinde Burulma Düzensizliği

- Amerikan ve Hint Deprem Yönetmeliklerinde burulma düzensizliği;

Burulma düzensizliği Türk Deprem Yönetmeliği'nden farklı olarak (ASCE-7, 2002)'de de işlenmiştir. Hint Deprem Yönetmeliği'nde ise diğer birçok hususta olduğu gibi burulma düzensizliği de birebir Amerikan Yönetmeliği ASCE' den alınmıştır. (ASCE-7, 2002)'ye göre burulma düzensizliği normal burulma düzensizliği, aşırı burulma düzensizliği olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Burulma düzensizliğinin tanımı şu şekilde yapılmaktadır:

Herhangi bir kattaki oluşacak maksimum kat ötelenmesinin yine o kattaki ve aynı doğrultudaki ortalama kat ötelenmesine oranı 1.2'yi geçerse normal burulma düzensizliği oluşur. Bu oran 1.4'ü geçtiği takdirde aşırı burulma düzensizliği gözlemlenir.

Normal veya aşırı burulma düzensizliği oluşan yapılarda diyaframların düşey elemanlarla bağlantı noktaları için tasarım yükleri %25 oranında arttırılarak etkinir. Bu yükleme artışı sadece rijit veya yarı-rijit diyaframa sahip yapılarda uygulanır.

- Avrupa Birliği Deprem Yönetmeliğinde burulma düzensizliği;

(Eurocode 8, 2004) burulma düzensizliğini daha farklı bir şekilde ele almıştır. Herhangi bir katta veya herhangi bir doğrultuda (x veya y), yapının eksantrisitesi ve burulma yarıçapı aşağıdaki bağıntılara uymalıdır.

$0.3r_x \geq e_x$ ve $0.3r_y \geq e_y$ (1.2)

$r_x \geq l_s$ ve $r_y \geq l_s$ (1.3)

Burada dönme yarıçapı her bir kat kütlesinin polar atalet momentinden hesaplanabilir.

$$r_x = \sqrt{\frac{\Sigma(x^2 EI_y + y^2 EI_x)}{\Sigma(EI_y)}} \quad , \quad r_y = \sqrt{\frac{\Sigma(x^2 EI_y + y^2 EI_x)}{\Sigma(EI_x)}} \tag{1.4}$$

- İran Yönetmeliği'nde burulma düzensizliği;

Her bir kattaki rijitlik merkezi ve ağırlık merkezi arasındaki mesafe o doğrultudaki katın toplam uzunluğunun %20 'sini geçemez (Standart 2800, 2007).

1.3.1.2 A2- Döşeme Süreksizliği

Döşemelerde çoğunlukla, tesisat, mekanik, elektrik işleri nedeniyle açılan boşlukların ani diyafram süreksizliklerine yol açmasıyla oluşan düzensizlik tipidir (Şekil 1.10 ve 1.11).



Şekil 1.10. Döşeme süreksizliği nedeniyle hasar görmüş yapılar (Sandıkçı, 2014)



Şekil 1.11. Döşeme boşluğu **(**Coşkun, 2009)

Döşemeler genellikle, sağladığı kolaylıklardan dolayı rijit diyafram varsayımıyla modellenir. Döşeme sisteminde yapılan rijit diyafram kabulü, döşemenin bir bütün olarak tek parça halinde, yatay yöndeki iki doğrultuda deplasman ve bu düzleme dik olan eksen doğrultusunda dönme yaptığı manasına gelir. Dolayısıyla, döşeme üzerindeki herhangi bir noktada deplasman ve dönme açıları biliniyorsa, diğer noktalardaki bu değerlerde tayin edilebilecektir. Rijit diyafram içinde kalan kirişlerde eksenel uzama oluşmayacaktır. Döşemede büyük boşlukların varlığı, döşemenin istenilen rijit diyafram davranışından uzaklaşmasına neden olabilir. Kattaki boşluk oranı arttıkça bu durum daha da barizleşir ve sonucunda döşeme üzerindeki noktalar düzlem içinde birbirlerine kıyasla rijit hareketten farklı bir öteleme yaparlar (Gök, 2013).

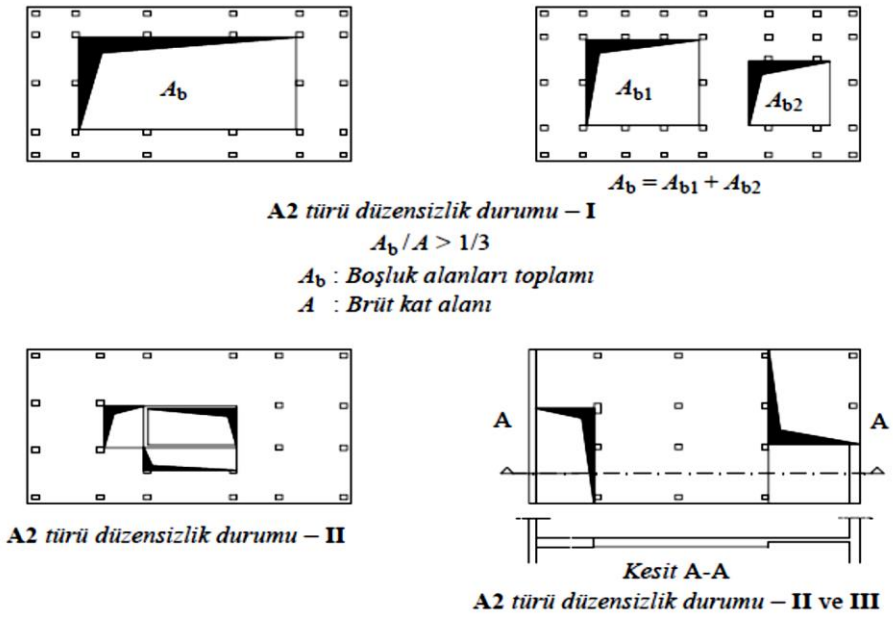
1.3.1.2.1 Türk Deprem Yönetmeliği'ne Göre Döşeme Süreksizliği

Türk Deprem Yönetmeliği'nde döşeme süreksizliği birkaç türde tanımlanmıştır. Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 1.12);

I – Merdiven ve asansör boşlukları dâhil, $A_b=A_{b1}+A_{b2}$ şeklindeki boşluk alanları toplamının A kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu.



Şekil 1.12. Döşeme süreksizliği düzensizliği durumları (TDY, 2007)

Ayrıca (TDY, 2007)'ye göre A2 tipi döşeme süreksizliği düzensizliğinin olduğu binalarda, 1. ve 2. Derece deprem bölgelerinde, döşemelerin, deprem yüklerini düşey taşıyıcı elemanlara güvenli bir şekilde aktardığının hesap yapılarak doğrulanması istenmektedir.

1.3.1.2.2 Diğer Bazı Çağdaş Deprem Yönetmeliklerinde Döşeme Süreksizliği

- ASCE/Hint/İran Yönetmeliklerinde döşeme-diyafram süreksizliği;

(ASCE-7, 2002)'ye göre ani diyafram süreksizlikleri, rijitlikteki farklılıklar, döşemelerdeki açık, boş alanlar (boşluklar) ve kesilmiş alanlar sonucu ortaya çıkan diyafram süreksizliği diye isimlendirilmiş düzensizlik tipidir. Bu döşeme boşluklarının toplam döşeme alanına oranı ½ yani %50'sinden fazla olduğu ya da bir kattaki diyafram rijitliğinin diğer bir komşu katın diyafram rijitliğine oranı %50'den büyükse yapıda diyafram-döşeme süreksizliği düzensizlik türü mevcuttur. Güvenli bölgede kalmak için yine burulma düzensizliğinde olduğu gibi bu tür düzensizliklerde de diyaframların düşey elemanlarla bağlantı noktaları için tasarım yükleri %25 oranında arttırılarak etkinir.

Bu düzensizlik Hint ve İran Deprem Yönetmeliklerinde de yine ASCE ile aynı şekilde işlenmiştir.

- Eurocode-8 Yönetmeliği'nde döşeme-diyafram süreksizliği;

Avrupa Birliği Deprem Yönetmeliği (Eurocode 8, 2004) bu düzensizlik türü ile ilgili herhangi bir açıklama yapmamıştır.

1.3.1.3 A3- TDY'de Planda Çıkıntılar Düzensizliği

Binanın plan görünüşünde çeşitli girinti çıkıntılar yapılarak genellikle simetriği bozuk bir şekilde inşa edilmesidir. Bu durum ani süreklilik farklılığı gibi olumsuzluklara yol açabilir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Planda çıkıntı yapmış bina (Sandıkçı, 2014)

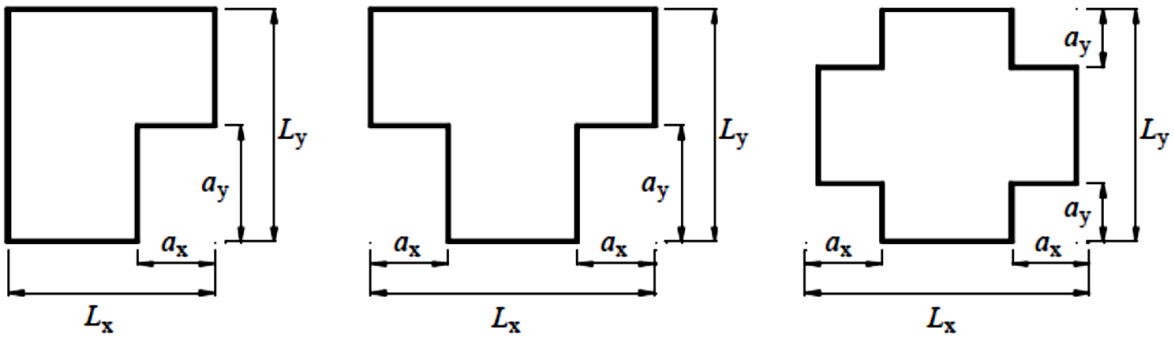
Yine A2 tipi düzensizlikte olduğu gibi plandaki şekli H, L ve T benzeri olan yapılarda da döşemenin rijit diyafram kabulü yeterli doğru yaklaşımı sağlamayabilir (Şekil 1.14). Binada döşeme süreksizliklerinin ve bina planında çıkıntıların olması (A2, A3 tipi düzensizlikler) durumunda rijit diyafram varsayımı doğru olmayan neticeler yansıtabilmektedir. Yapılması gereken; döşemenin düzlem içi hareketi düşünülerek, döşemeyi yeterli adette üç boyutlu kabuk elemanlara parçalayıp oluşturulacak sonlu elemanlar modelinin çözümlenmesidir. Oluşturulan modelde kat kütlelerinin döşeme düğüm noktalarına uygun bir biçimde dağıtmak gerekmektedir (Gök, 2013).



Şekil 1.14. Planda çıkıntı yapmış l harfi şeklinde apartman, konya

1.3.1.3.1 Türk Deprem Yönetmeliği'ne Göre Planda Çıkıntılar Düzensizliği

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu bu düzensizliğin Türk Deprem Yönetmeliğine göre tanımıdır (Şekil 1.15) (TDY, 2007).



A3 *türü düzensizlik durumu:*
$a_x > 0.2\,L_x$ *ve aynı zamanda* $a_y > 0.2\,L_y$

Şekil 1.15. Planda çıkıntılar düzensizlik durumu (TDY, 2007)

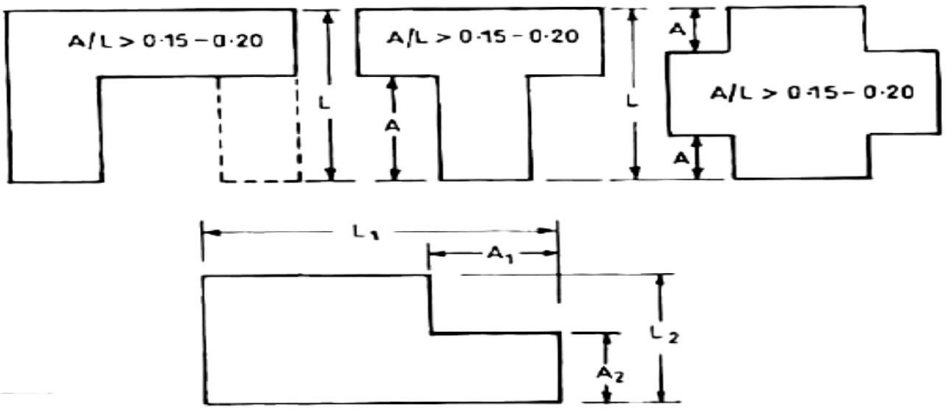
Döşeme süreksizliği düzensizliğinde olduğu gibi, A3 tipi planda çıkıntılar ile ilgili düzensizliğinin bulunduğu binalarda da, 1. ve 2. Derece deprem bölgelerinde, döşeme yüklerinin güvenle doğru bir şekilde aktarıldığı hesapla sabit olmalıdır (TDY, 2007).

1.3.1.3.2 Diğer Bazı Çağdaş Deprem Yönetmeliklerinde Döşeme Süreksizliği

- ASCE/Hint Yönetmeliklerince planda çıkıntılar düzensizliği;

Amerikan yönetmeliği ASCE planda çıkıntılar bulunan yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarının oluşacak maksimum eksenel yüklemeye karşı dayanımının yeterli olması gerektiğini belirtmektedir. ASCE ve Hint Deprem Yönetmeliklerine göre, planda çıkıntılar bulunan yapılarda çıkıntı yapan uzunluğun aynı doğrultudaki yapının toplam uzunluğuna oranı 0.15'den büyük olursa düzensizlik meydana gelir (Şekil 1.16).

Plandaki çıkıntılar düzensizliklerinde de diyaframların düşey elemanlarla bağlantı noktaları için tasarım yükleri %25 oranında arttırılarak etkinir (ASCE-7, 2002).



Şekil 1.16. Planda çıkıntılar düzensizliği (IS 1893-1, 2002)

- İran Deprem Yönetmeliği'nde planda çıkıntılar düzensizliği;

İran Deprem Yönetmeliği binanın planının ana akslarına göre simetrik veya simetriğe çok yakın olmalı öngörüsünde bulunmaktadır. Plandaki herhangi bir girinti çıkıntı durumunda; oluşan girinti veya çıkıntının boyutu aynı doğrultudaki toplam boyutun %25'ini geçmemelidir (Standart 2800, 2007).

- Eurocode-8'de planda çıkıntılar düzensizliği;

Planda girinti ve çıkıntı düzensizliği; bina planda toplu bir durumda olmayıp, H, I gibi şekillere sahipse her iki doğrultudaki girinti ve çıkıntılar, ilgili dış boyutun %25'ini geçmesi durumunda meydana gelir (Öztürk, 2013).

1.3.2 B Tipi- Düşey Doğrultuda Düzensizlikler

1.3.2.1 B1- Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)

Diğer bir adı da komşu katlar arası dayanım düzensizliği olan zayıf kat düzensizliği kısaca; taşıyıcı sistemin herhangi bir kattaki yatay yük taşıma kapasitesinin bir üst kata göre aniden azalması sonucu oluşan düzensizliktir.

Binalarda düşey yük etkileri ve deprem yüklemesiyle oluşan kesme kuvveti ve moment tesirleri, alt katlardan üstlere doğru azalmaktadır. Bu bağlamda üst katlara çıkıldıkça taşıyıcı elemanların kesit boyutları küçülmektedir. Komşu iki kat arasında düşey taşıyıcı elemanların boyutları, karşılaması gereken tasarım yüküne bağlı olarak değişmeyebilir. Fakat çeşitli sebeplerden dolayı dolgu duvarlara sahip olmayan katlarda, yatay yük taşıma kapasitesi yani dayanım azımsanmayacak miktarda düşmektedir. Bununla beraber bazı banka, atölye, dükkân, mağaza, iş merkezi, konferans salonları, restoranlar vb. bulunan binalarda mimari ve estetik amaçlarla bazı kolon ve perdelerin kaldırılması durumunda o kattaki etkili kesme alanı ciddi miktarda düşmektedir. Dolayısıyla, bina kat düzeyinde düşey taşıyıcı elemanların ve dolgu duvarların azlığı durumları neticesinde zayıf kat düzensizliği oluşumu kaçınılmaz olmaktadır (Işık, 2006) (Şekil 1.17-1.20).



Şekil 1.17. Zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliği bulunan bir bina **(**Topçu**,** 2008**)**



Şekil 1.18. Imperial County belediye binası zayıf kat hasarı, 1979 Imperial County depremi, M = 6,4 (Tezcan ve ark., 2007)



Şekil 1.19. Casa Micasa binası zayıf kat hasarı, 1972 Nicaragua depremi, M = 6,2 (Tezcan ve ark., 2007)



Şekil 1.20. Zayıf kat hasarı görmüş bina (Sandıkçı, 2014)

1.3.2.1.1 TDY 2007'de Zayıf Kat Düzensizliği

Genellikle zemin katta taşıyıcı elemanların azaltılması ve dolgu duvarların kaldırılmasıyla meydana gelen bu düzensizlik Türk Deprem Yönetmeliği'nde şu şekilde açıklanmıştır;

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci}'nin 0.80'den küçük olması durumu (Denk 1.5).

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0.80 \quad (1.5)$$

Herhangi bir kattaki etkili kesme alanı şöyle tanımlanmıştır;

$$\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0.15\ \Sigma A_k \quad (1.6)$$

Burada;

A_e: Etkili kesme alanı

A_w: Kolon enkesiti etkin gövde alanı (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç)

A_g : Deprem doğrultusuna paralel perde enkesit alanı

A_k: Deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanı (kapı ve pencere boşlukları hariç)

Ayrıca Türk Deprem Yönetmeliği B1 tipi düzensizliğin bulunduğu binalarda şu durumları da şart koşmaktadır; hesap edilen herhangi bir kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine nazaran daha fazlaysa, η_c hesabı yapılırken dolgu duvarlar göz önüne alınmayacaktır. $0.60 \leq (\eta_{ci})_{min} < 0.80$ aralığında (TDY, 2007)'de verilen deprem yük azaltma katsayısı (R katsayısı), 1.25 $(\eta_{ci})_{min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da yapının tamamına uygulanması gerekmektedir. Fakat $\eta_{ci} < 0.60$ değeri hiçbir zaman kabul edilemez. Bu durumda, zayıf kat düzensizliği bulunan katın, taşıma gücü ve rijitliğinin arttırılarak deprem hesabının tekrardan yapılması gerekmektedir.

1.3.2.1.2 Diğer Bazı Çağdaş Deprem Yönetmeliklerinde Zayıf Kat Düzensizliği

- ASCE/Hint/İran Yönetmeliklerinde zayıf kat düzensizliği;

Zayıf kat hususu birçok yönetmelikte Türk Deprem Yönetmeliği'ne benzer şekilde irdelenmiştir. Amerikan Deprem Yönetmeliği (ASCE), Hindistan Yönetmeliği ve İran Yönetmeliği dayanım düzensizliğini özetle şöyle açıklar;

Herhangi bir katın yanal dayanımı bir üst katın yanal dayanımının %80'inden küçük olmamalıdır. Kat dayanımı hesap yapılan doğrultudaki kat kesmesini karşılayan bütün elemanların dayanımları toplamıdır (ASCE-7, 2002).

- Eurocode-8 Yönetmeliği'nde zayıf kat düzensizliği;

Eurocode-8 zayıf kat düzensizliği durumunu ciddi boyutta işlenmemiştir. Eurocode-8 komşu katların dayanımlarının fazla farklılık göstermeden birbirine yakın olmalıdır.

1.3.2.2 B2- Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği yani yumuşak kat düzensizliği bir binada herhangi bir katın rijitliğinin bir üst veya bir alt katın rijitliğine göre makul olmayacak kadar az veya çok olması durumudur. Dolayısıyla komşu katların göreli deplasmanlarının

kıyaslamasında ani değişimler görülmesi durumudur. Bu durumda rijitliği daha az olan ve daha fazla deplasman yapmış olan kat yumuşak kat olarak adlandırılır (Şekil 1.21).



Şekil 1.21. Giriş kat-yumuşak kat düzensizliği Örnek-1 (Topçu, 2008)

Genellikle bina giriş katlarında görülen yumuşak kat düzensizliğinin oluşmasının en önemli sebepleri şunlardır:

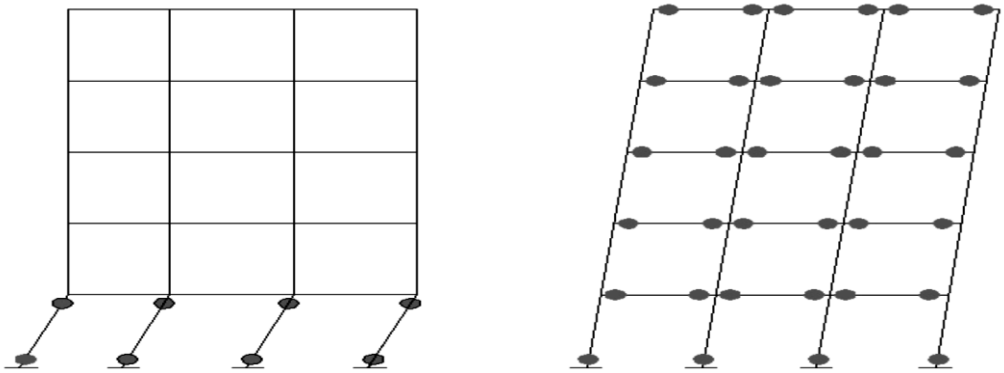
- Binada herhangi bir katın yüksekliğinin, bir üst katın yüksekliğinden fazla olması durumu.
- Binanın herhangi bir katında dolgu duvarların olmaması veya bir üst kata kıyasla çok az olması durumu.

Sokağa adımımızı attığımız anda etrafımızdaki binalara göz gezdirecek olursak, birçok binanın zemin katında, banka, galeri, süpermarket, mağaza vb. gibi işletmeler amacıyla, dış dolgu duvarların olması gereken yerlerinde cam kaplamaların bulunduğunu fark edebiliriz. Ve yine, otel lobisi, sanayi gibi farklı kullanım amaçlarından dolayı, bina giriş katının diğer katlardan daha yüksek inşa edildiğini görürüz. Fakat bu durumlar sonucunda, binaların, dolgu duvar eksikliği ile ve yükseklik artırımı ile rijitliği azalmış olan bu katlarında yumuşak kat, yani rijitlik düzensizliği oluşumu kaçınılmaz olmaktadır (Şekil 1.22).



Şekil 1.22. Giriş kat yumuşak kat düzensizliği Örnek-2, 1999 (Tezcan ve ark., 2007)

Ne yazık ki, ülkemizde çoğu konut ve işyeri binası, bilhassa zemin katlarında, yumuşak kat düzensizliği göz önünde bulundurulmadan inşa edilmiş ve hala bu şekilde inşa edilmeye devam edilmektedir. Bomba kat olarak da ifade edilen yumuşak katlar, binanın deprem yüklemesi etkisi altındaki davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Sadece bu katlardaki düşey taşıyıcı elemanlarda plastik mafsal oluşumuyla, deprem enerjisi bu bölgelerde yoğunlaşmakta ve sonucunda da binanın çökmesine veya kullanılamaz hale gelmesine sebep olmaktadır (Tezcan ve ark., 2007) (Şekil 1.23). Yumuşak kat olan binalarda, deprem etkisiyle titreşime geçen binanın enerjisi, dolgu duvarı olmayan ve yüksekliği fazla olan kısımlardaki düşey taşıyıcı elemanlarda boşalarak binanın göçmesine sebep olmaktadır (Kaplan, 2008). 1999 yılında yaşadığımız Gölcük Depremi'nde de ana caddeler üzerindeki hasar gören ve yıkılan binaların çoğunluğunda, bu sebeplerden ötürü yumuşak kat oluştuğu tespit edilmiş ve hasar ve yıkımın ana sebebi bu düzensizliğin dikkate alınmamasına bağlanmıştır (Şekil 1.24 ve 1.25).



Şekil 1.23. Yumuşak kat durumundayken ve istenilen plastik mafsal oluşumu (Öğütçü, 2016)



Şekil 1.24. Giriş kat yumuşak kat düzensizliği Örnek-3 ve 4,1999 (Topçu, 2008)



Şekil 1.25. Giriş kat yumuşak kat düzensizliği Örnek-5 ve 6,1999 (Sandıkçı, 2014)

Kaliforniya, Amerika'da 9 Şubat 1971 tarihinde yaşanan San Fernando depreminde de (M=6.5), Olive View Hastanesinin beş katlı Tıbbi Müdahale ve Bakım

binasının zemin kat kolonları, dolgu duvar yokluğundan ötürü, ağır hasara uğramıştır (Şekil 1.26) (Tezcan ve ark., 2007).



Şekil 1.26. Olive View hastanesi yumuşak kat ve zayıf kat hasarı, 1971 Kaliforniya Depremi, M = 6,5 (Tezcan ve ark., 2007)

Yumuşak kat oluşumu bina ara katlarında da meydana gelebilir. Yine sebep kat rijitliğinin komşu katlara nazaran makul olmayacak seviyede az olmasıdır (Şekil 1.27).



Şekil 1.27. Ara katta yumuşak kat düzensizliği örneği (Özürün, 2014)

1.3.2.2.1 TDY 2007 (Türk Deprem Yönetmeliği 2007)'De Yumuşak Kat Düzensizliği

Türk Deprem Yönetmeliği yumuşak kat düzensizliğini şu formülle ortaya koymuştur;

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 η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumudur (TDY, 2007) (Denk.1.8,1.9).

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \quad (1.8)$$

veya

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2.0 \quad (1.9)$$

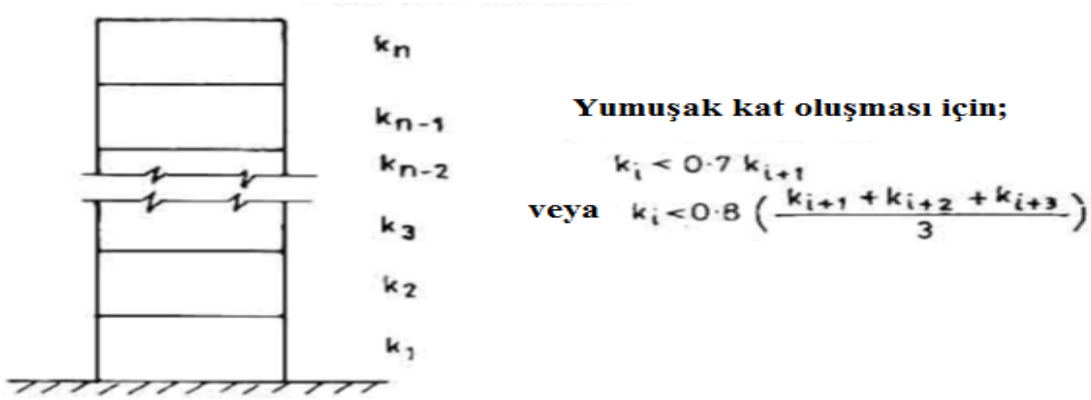
Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre A1 tipi burulma düzensizliğinde olduğu gibi yumuşak kat düzensizliği de diğer çağdaş deprem yönetmeliklerinden farklı olarak deprem hesap yönteminin seçiminde etkin rol oynamaktadır.

1.3.2.2.2 Diğer Bazı Çağdaş Deprem Yönetmeliklerinde Yumuşak Kat Düzensizliği

- ASCE/Hint/İran Yönetmeliklerinde yumuşak kat düzensizliği;

Amerikan yönetmeliği yumuşak kat düzensizliğini biraz daha farklı bir şekilde irdeler. Bu yönetmeliğe göre yumuşak kat 2'ye ayrılır (ASCE-7, 2002).

1. Normal yumuşak kat: Yanal rijitliği bir üst katınkine oranla %70'den az olan katlar veya yine yanal rijitliği üzerindeki 3 katın ortalama yanal rijitliğine oranlandığında %80'den az olan katlar normal yumuşak kattır.(Şekil 1.28)
2. Aşırı yumuşak kat: Yanal rijitliği bir üst katın yanal rijitliğinin %60'ından az olan katlar ya da üzerindeki 3 katın yanal rijitlik ortalamasının %70'inden az olan katlar aşırı yumuşak kat olarak isimlendirilir.



Şekil 1.28. Yumuşak kat düzensizliği durumu (IS 1893-1, 2002)

Hint ve İran deprem yönetmelikleri de yumuşak kat düzensizliği hakkında ASCE ile birebir şekilde formülizasyon yapmıştır.

- Eurocode-8 Yönetmeliği'nde yumuşak kat düzensizliği;

Dolgu duvarların az olduğu katlarda kaybolan rijitliğin telafisi olarak aynı kattaki kolon güçlerinin artırılmasını tavsiye etmektedir. Avrupa Standardı, ayrıca binada birinci katta duvarlar yapılmış ve mesken olarak kullanılıyor olsa bile daha sonra iş yeri olarak kullanılmasının muhtemel olduğunu itibara alarak, birinci katta kolon etriyelerinin kolonun tüm boyunca sarılma bölgesi gibi sıklaştırılmasını önermektedir (Kaplan, 2008).

- Japon Deprem Yönetmeliği'ne göre yumuşak kat düzensizliği;

Japon yönetmeliği yumuşak kat düzensizliğinin önüne geçmek için daha güvenli bir yaklaşımda bulunarak şöyle bir formül ortaya koymaktadır. Buna göre belirlenen yanal rijitlik oranı her 0.6'dan az olamaz (Denk.1.10) (Ishiyama, 2011).

$$R_s = \frac{r_s}{\bar{r_s}} \qquad (1.10)$$

Burada;

R_s : Yanal rijitlik oranı

r_s: Yanal rijitlik; kat yüksekliğinin ortalama bir deprem hareketi sonucunda ortaya çıkan yanal sismik kuvvetin etkisiyle oluşan kat deplasmanına bölünmesiyle bulunan değer

$\bar{r_s}$: Ortalama yanal kat rijitliği

- Bulgaristan, Yeni Zelanda ve İsrail deprem standartlarına göre yumuşak kat düzensizliği;

Bulgaristan Standardında (1987) komşu katlar arasında rijitlik oranı %50'den az ise yumuşak kat olarak değerlendirilir. Binaya gelecek yük hesabında proje yükü belirlenirken yumuşak kat yükünün daha fazla alınmasını önerir ve yumuşak kat taşıyıcı sisteminin, üç misli daha fazla yatay yük taşıyacak kapasiteye sahip olması istenmektedir (Kaplan, 2008).

Yeni Zellanda Standardına (NZS-4203, 1992) göre eşdeğer deprem yükü yönteminin düşey doğrultudaki düzenlilik gereklerini sağlamak için her bir katın yanal deplasmanının o katın yüksekliğine oranı makul bir seviyede birbirine yakın olmalıdır.

İsrail Standardına (SI-413, 2004) göre herhangi bir kat, üzerindeki katın yatay rijitliğinin %65'inden daha az veya üzerindeki 3 katın rijitlik ortalamasının %70'inden az olursa bu kat yumuşak kat olarak adlandırılır.

1.3.2.3 B3- Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği, binada kolonların ve perdelerin simetriği bozularak kesitlerinin alt katlara doğru azaltılması, bu elemanların bazı katlarda eksik olması veya yerinin tehlikeli bir biçimde değiştirilerek yapıyı ekstradan zorlaması durumudur.

Düşey taşıyıcı elemanların süreksizlik durumunda olmaları, sistemin deprem güvenliğini oldukça olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Şekil 1.29-1.31'de görüldüğü üzere, düşey taşıyıcı elemanlar, bazı katlarda çıkarılmakta, konsol kirişlere oturtulmakta veya verilen kaçıklıklarla düşey doğrultuda süreksiz hale getirilmektedir. Bu tarz binaların, deprem yükü etkisinde yıkılmamaları neredeyse mümkün değildir (Sandıkçı, 2014).



Şekil 1.29. Çakışmayan kolon aksı (Topçu, 2008)



(a) **(b)**

Şekil 1.30. **a)** Konsola oturan kolon, **b)** Düşey doğrultuda taşıyıcı eleman süreksizliği **(**Topçu, 2008)



Şekil 1.31. Düşey taşıyıcı elemanların süreksizliği örnekleri (Topçu, 2008)

1.3.2.3.1 TDY 2007'de Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

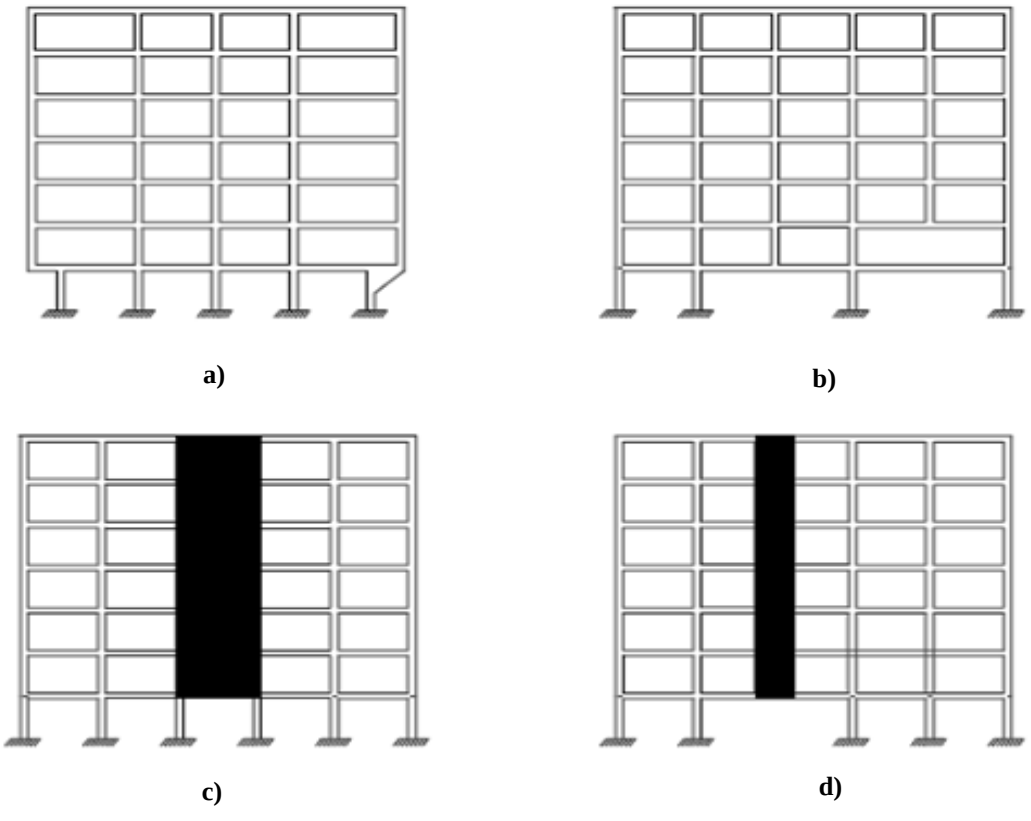
(TDY, 2007) düşey taşıyıcı elemanların süreklilik durumu ile ilgili şu durumlar üzerinde yoğunlaşmıştır (Şekil 1.32);

a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.

c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



Şekil 1.32. Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının süreksizliği durumu (TDY, 2007)

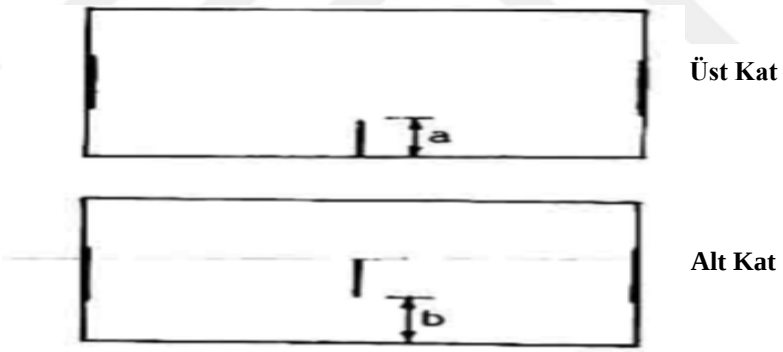
1.3.2.3.2 Diğer Bazı Çağdaş Deprem Yönetmeliklerinde Düşey Taşıyıcı Elemanların Süreksizliği Durumu

- ASCE/Hint Yönetmeliklerinde taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği;

Düşey taşıyıcı elemanların (kolon, perde) alt katlara inildiğinde sürekliliği bozularak devam ettiği yapılarda B3 tipi düzensizlik gözlemlenir.

B3 düzensizliği birçok yönetmelikte detaylandırılmamıştır. Uluslararası alanda sadece birkaç yönetmelikte bu düzensizlik türüne değinilmiştir. Bunlardan en önemlisi ASCE ve Hint Yönetmeliği'dir.

Bu yönetmeliklere göre düşey elemanların süreksizliği ''Herhangi bir kattaki yanal kuvvetleri karşılayan düşey elemanlarda(kolon, perde) diğer bir kattakine göre düzlemsel bir sapma var olduğunda bu sapma boyunun elemanın boyundan büyük olması durumu veya herhangi bir düşey taşıyıcı elemanın bir alt kata inildiğinde boyutlarında azalma olması durumu'' şeklinde tanımlanır. Olabildiğince bu süreksizlikten kaçınılmalıdır (IS 1893-1, 2002) (Şekil 1.33).



Şekil 1.33. Düşey doğrultuda süreksizlik durumu (IS 1893-1, 2002)

- Eurocode-8 ve İran Yönetmeliklerine göre taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği;

İran ve Eurocode-8 Deprem Yönetmelikleri taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği düzensizliği hakkında herhangi bir bilgi vermemiştir.

1.4 Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri

Onarımdaki maksat yapıyı veya yapı elemanını eski haline döndürmektir. Bu, kullanım açısından olabileceği gibi bazı mukavemet parametreleri açısından da olabilir. Güçlendirme yapılmasındaki maksat ise, dayanım, rijitlik, süneklik gibi parametreler başta olmak üzere, yapının veya yapı elemanının, çeşitli mukavemet parametrelerini ilk durumdaki değerlerinden veya hasar sonrasındaki değerlerinden fazlasına getirmektir.

Onarım çalışmaları hasara maruz kalmış yapılarda yapılırken güçlendirme uygulamaları için yapıların hasarlı olması etken değildir. Güçlendirme uygulaması, yapının gördüğü veya görebileceği hasarın önüne geçmek amacıyla yapılabilirken, bazı zamanlarda da yapının çeşitli fonksiyonlarının değiştirilmesi sebebiyle yapıya etkiyen yüklerin artması sonucunda yapılması düşünülebilir. Bu durum örneğin; bir köprünün yük sınıfının H_{15}-S_{12} tipi kamyon yükünden H_{30}-S_{12} tipi kamyon yüküne çıkarılması ya da bir konut yapısının bir hastane veya öğrenci yurduna çevrilmesi gibi nedenlerden dolayı olabilir. Aynı zamanda, yaşanılan depremler veya yapılan araştırmalardan kazanılan yeni tecrübeler neticesinde tekrardan hazırlanan deprem standartlarında yapının bulunduğu bölgenin deprem riskinin artması, yani deprem hesabına esas olan yüklerin büyümesi durumu da güçlendirme nedeni olarak görülebilir (Yiğit, 2002).

Yapıların depreme karşı performansını iyileştirmek ve arttırmak için çeşitli güçlendirme metotları uygulanmaktadır. Genel olarak, güçlendirme uygulamalarında 2 ana bakış açısı üzerinde yoğunlaşılmıştır. İlk yaklaşım, yapıya çelik çapraz elemanlar veya betonarme perde duvarlar ekleyerek güçlendirmek, ikincisi ise betonarme kolon ve kirişlerin boyutlarını büyüterek dayanımlarını yükseltmek ya da kolon-kiriş düğüm noktalarını güçlendirerek yapının performansını yukarı taşımaktır (Yön ve Sayın, 2011).

1.4.1 Kirişlerin, Kolonların ve Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi

- Kirişlerde Güçlendirme;

Hasar görmüş veya dayanım, rijitlik gibi parametreleri yetersiz olan kirişler çeşitli yollarla güçlendirilebilir. Güçlendirme işlemi kiriş kesitinin betonarme mantolamayla büyütülmesi veya kirişlere dışarıdan ekstra gerilme uygulanarak açılan çatlakların doldurulması gibi metotlarla yapılabilir (Şekil 1.34). Kiriş üzerindeki çatlaklar epoksi reçinesiyle veya çimento şerbeti enjekte edilerek kapatılabilir. Betonarme çerçeve taşıyıcı

sistemli yapılarda kirişin, beton kırılması, ezilmesi, donatı kopması vb. gibi hasarlara maruz kalmış olması durumunda, tamamen yıkılıp tekrardan yapılması öngörülebilir. Bu işlem esnasında yıkılacak kirişin taşıdığı bölümler askıya alınıp desteklenmelidir. Kiriş kesitlerinin betonarme mantolama ile büyütülmesi aşamasında, eklenecek yeni donatılar mevcut donatılara kaynaklanmalıdır. Ve burada dikkat edilmesi gereken önemli bir hususta, yeni eklenen donatılarla beraber, kirişin donatı yüzdesinin dengeli kırılma donatı yüzdesinin altında kalmasıdır. Aksi takdirde güçlendirilmiş kiriş, gevrek ve basınç kırılması yapabilecek duruma gelmekte ve bu durum, yapının depreme karşı dayanaklılığı açısından, istenilen sünek davranışını bozmaktadır. Ayrıca güçlendirme projesinde ve uygulama aşamasında güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine de özellikle dikkat edilmelidir.



Şekil 1.34. Betonarme mantolama yöntemiyle kiriş kolon kesitlerinin büyütülerek güçlendirilmesi (Beşoğlu, 1997)

- Kolonlarda Güçlendirme;

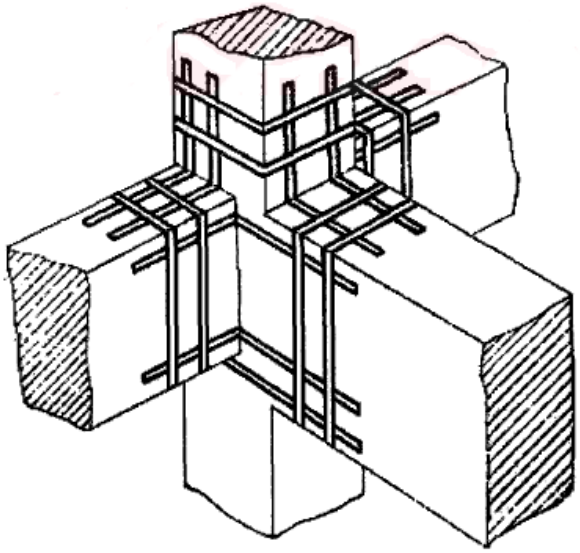
Hasarlı bir kolonun deprem yüklerini güvenli bir şekilde karşılayabilmesi veya yanal yük taşıma kapasitesinin arttırılması amacıyla güçlendirilmesine ihtiyaç duyulabilir. Boyutlar kirişlerde olduğu gibi betonarme mantolama yöntemiyle büyütülerek kolonların eğilme mukavemeti arttırılabilir. Kesme mukavemeti ve süneklik durumu ise etriye sıklaştırması yapılarak arttırılabilir. Yapının plan görünüşünde kolon elemanlarının kesitlerinin birbirine yaklaştırılması sistem davranışını daha dengeli konuma getirmektedir. Kolonlarda da yine kirişlerde olduğu gibi küçük çatlaklar epoksi

reçinesi kullanılarak, büyük çatlaklarda çimento şerbeti uygulanmasıyla kapatılabilir (Bayülke, 1999).

- Birleşim Bölgelerinde Güçlendirme;

Deprem etkisi esnasında sistemde en çok zorlanan ve en büyük hasara maruz kalan bölgelerden biri olan kolon-kiriş birleşim bölgeleri güçlendirilmesi de en zor olan bölgelerden biridir.

Hasarın kısmi ve küçük çatlaklar şeklinde oluşması halinde, epoksi uygulamasıyla onarım ve güçlendirme yapılabilir. Aderansı kaybolmuş donatının tekrardan yeterli aderansı kazanması için de epoksi reçinesi uygulaması önerilmektedir. Birleşim bölgelerinin lif takviyeli polimer levhalar kullanılarak sarılmasıyla, olası dağılmanın önüne geçilebilir ve yük aktarımı ciddi oranda düzgünleştirilebilir. Hasarın yayılmış ve ciddi oranda olması halinde ise, birleşim bölgesi, çelik şeritler yapıştırma ve sarılma metoduyla güçlendirilebilir (Şekil 1.35). Böylece, kesitlerde eğilme momenti mukavemeti arttırılırken; sarılan şeritlerin etkisiyle de, betonun ve dolayısıyla elemanın sünekliği arttırılır. Gerek duyulduğunda süneklik artırımı amacıyla, etriyeleri yetersiz ve eksik olan kolon ve kirişlerde sadece sargı şeritlerinden yararlanılabilir (Yiğit, 2002).



Şekil 1.35. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde çelik şeritlerin sarılmasıyla güçlendirme uygulaması (Yiğit, 2002)

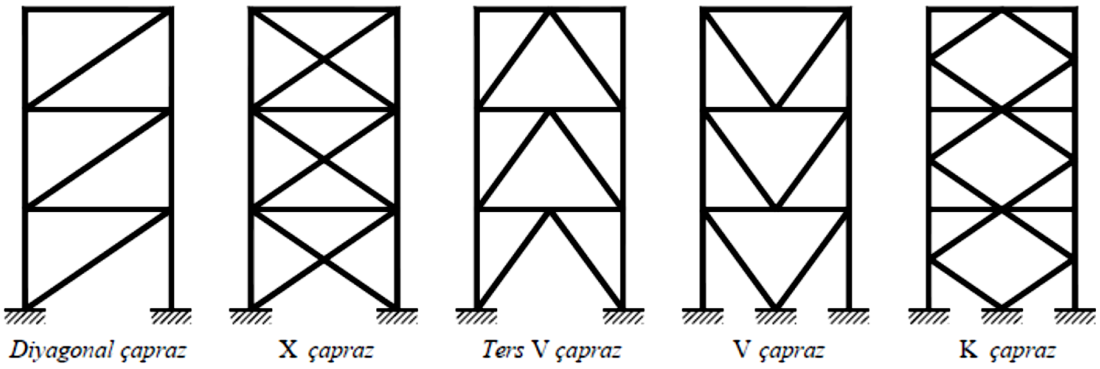
1.4.2 Betonarme Perdelerde Güçlendirme

Yapılan hasar analizi sonucunda taşıyıcı sistemin yanal yüklere karşı yeterli dayanımda olmadığının ortaya çıkması sonucunda sisteme yanal yükleri karşılayabilecek perde duvarların eklenmesi öngörülebilir. Genellikle büyük açıklıklı çerçeveleri olan veya perde duvarsız çok katlı yapılarda deprem hasarı sonrası veya öncesi güçlendirme aşamasında en uygun metot açıklıklara betonarme perde eklemektir. Az sayıda kolonu hasar görmüş bir yapı için bu kolonların mantolanması yeterli olabilecekken, çok sayıda kolonu hasar görmüş bir yapıda tek tek kolonları güçlendirmek yerine açıklıklar arasına perde duvarlar yerleştirmek daha uygun bir çözüm olacaktır. Ayrıca yapı içinde simetrik olarak yerleştirilmemiş perdeler bulunuyorsa veya yapı planda simetriklikten uzaksa, olası burulma momenti etkisini gidermek için bazı açıklıklara perde duvar uygulaması yapılarak sistemin rijitlik ve kütle merkezi arasındaki mesafe yani eksantrisite azaltılabilir. Genel olarak yapının rijitliğini arttırmak ve dolayısıyla deprem esnasında oluşacak yanal ötelenmeleri azaltmak amacıyla da perde duvar eklemesi yapılabilir. (TDY, 2007)'ye göre uygulanacak perde duvarların yapının tüm yüksekliği boyunca devam etmesi gerekmektedir. Ve yapıya eklenmesi planlanan perdelerin temellerinin, komşu kolonları da içine alarak sürekli veya plak temel şeklinde tasarlanması gerekmektedir (Bayülke, 1999).

1.4.3 Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirme

Betonarme perde duvarlarla güçlendirme yapılması, binanın ağırlığını ve dolayısıyla yapıya gelen deprem yüklerini azımsanmayacak miktarda arttırır. Bundan kaçınmak için, yapının ağırlığını belirli seviyede tutarak, rijitliğini ve sünekliğini yükseltmek amacıyla, çerçeve boşlukları arasına, farklı şekillerde çelik diyagonal elemanlar konularak güçlendirme yapılabilir (Şekil 1.36). Bu tip güçlendirme yöntemi, diğer yöntemlere nazaran çok daha pratik bir şekilde kısa süre içerisinde uygulanabilir. Çelik diyagonal uygulamasının bir diğer önemli avantajı da açıklıktaki pencere, kapı boşluklarının kapatılması gerekmeksizin güçlendirme çubuklarının kolaylıkla yerleştirilebilmesidir. Ancak bu yöntemde, çelik elemanların betonarme taşıyıcı elemanlara özel bir biçimde bağlanması gerekir. Kaynaklı bağlantı yerine bulonlu bağlantının daha iyi sıkılaştırma kabiliyeti bulunmaktadır. Bulon bağlantısı kolonun dış

yüzeyinden yapılabileceği gibi, betonarme kolonun delinip bulonların kolonun içerisinden geçirilmesiyle de yapılabilir.



Şekil 1.36. Çelik çapraz elemanlarla güçlendirme tipleri (TDY, 2007)

Dezavantaj olarak çelik diyagonal uygulaması, yatay yük taşıma kapasitesi açısından betonarme perde duvarlara nazaran daha güçsüz ve maliyet düşünüldüğünde daha pahalı bir yöntemdir. Bunun yanı sıra, mevcut betonarme sistemle, çelik sistemin ortak çalışmasını sağlayabilmek ve çelik taşıyıcı elemanlara yük aktarımını gerçekleştirebilmek, ayrıntılı çalışma gerektiren bir başka husustur (Yiğit, 2002).

1.5 Çalışmanın Amacı

Bilindiği üzere ülkemiz, dünyada ağır yıkımlara sebep olmuş depremlerin yaşandığı bir bölgede, aktif deprem kuşakları üzerinde olan, deprem ülkeleri listesindedir. Topraklarının %96'sı deprem riskinde olan ülkemizin nüfus bakımından da %98'inin deprem tehdidiyle yüz yüze olduğu hazin bir gerçektir. Yaşadığımız onca büyük, ciddi kayıplara vesile olmuş depremin arkasından, mevcut yapı stokumuzun depreme karşı direnç hususunda incelenmesi bizim için hayati ehemmiyettedir. Ne yazık ki, ülkemizin ana yapı stokunu oluşturan betonarme ve yığma yapıların büyük çoğunluğunda dayanım, süneklik, rijitlik gibi mekanik karakteristikler yeterli düzeyde değildir. İşte bu durumun neticesinde yaşanılan orta ve büyük şiddetli çoğu depremden ağır kayıplarla çıkmaktayız. 1999 Gölcük ve 2011 Van depremi sonrasında, bu bölgelerde yürütülen çalışmalardan elde edilen değerlendirmeler, yıkıma uğramış, az veya çok hasar görmüş yapıların büyük çoğunluğunda işçilik, malzeme ve daha da önemlisi tasarımsal çok ciddi hataların bulunduğunu ortaya koymuştur. Yıkıma uğramamış olan bu yapıların, mevcut halleriyle, olası bir başka depremde, göçme durumuna gelmesi neredeyse kaçınılmazdır. Deprem

güvenliği yeterli olmayan yapıların tamamının yenilenmesi pratik ve ekonomik bir çözüm olmadığı için, yapısal güçlendirme ve onarım uygulamaları son yıllarda daha sık görülmektedir. Bu sebeplerden ötürü, hali hazırda inşa edilmiş veya inşasına devam edilen, deprem dayanımı şüpheli veya yetersiz olan yapıların, ciddi incelemelerden geçirilip performans seviyeleri yükseltilmedir. Bu kapsamda uygulanacak ana ilke, mevcut deprem yönetmeliği (TDY, 2007)'nin belirlediği koşulların sağlanmasıdır. Deprem güvenliği yetersiz betonarme yapıların güçlendirilmesi ve deprem performansının artırılması amacıyla birçok teknik geliştirilmiştir. Güçlendirme uygulamaları eleman düzeyinde yapılabileceği gibi taşıyıcı sistem düzeyinde de yapılabilir.

Çalışmada ele alınacak olan ve en kritik düzensizlik türlerinden olan katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat düzensizliği) bulunan yapılarda daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde analiz sonuçlarının olumsuz olduğu görülmektedir. Bu tür düzensizliği bulunan yapılarda plastik dönme değerleri önemli oranda artmaktadır. Tüm yapıda kat yüksekliklerinin eşit olduğu durum ile en alt kat yüksekliğinin üst katlara göre fazla olduğu duruma ait statik itme analizi sonuçları incelendiğinde ise, deprem davranışının beklenildiği gibi daha olumsuz tarafta olduğu görülmektedir. Alt kat yüksekliğinin fazla olduğu durumda taban kesme kuvveti önemli oranda azalmakta, yani daha küçük deprem yüklerinde sistemde plastik kesitler oluşmakta ve yapının karşılayabildiği deprem yükü değerinin (yapının sismik kapasitesi) azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle giriş katlardaki kolonlarda plastik kesit oluşması sonucunda bina ya çökmekte ya da kullanılamaz hale gelmektedir. Yumuşak kat düzensizliği olan binalarda, deprem etkisiyle titreşime geçen binanın enerjisi, duvar olmayan kısımlardaki taşıyıcı sistemde boşalarak binanın göçmesine sebep olmaktadır. 1999 yılında yaşanan Gölcük Depremi'nde ana caddeler üzerindeki hasar gören binaların çoğunluğunda yumuşak kat tespit edilmiştir ve yukarıda belirtilen etkilerin gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Bu tür düzensiz yapılar özellikle deprem etkisi altında bulunan bölgelerde inşa edilecekse dikkatle tasarlanmalıdırlar. Bu doğrultuda, yapı tasarımında temel unsurları içeren yönetmeliklere göre tasarım, analiz ve imalat yapılması, afet durumlarında yapının ayakta kalmasını sağlayarak can kayıplarının azaltılması bakımından büyük önem taşır.

Bu araştırmada genel olarak, deprem güvenliği ve dayanımı yeterli olmayan betonarme yapılardaki önemli bir hasar nedeni olan yumuşak kat düzensizliğinin negatif etkilerinin önüne geçilmesi amacıyla çeşitli güçlendirme metotlarının önerilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında yumuşak kat düzensizliğine sahip, deprem

dayanımı yetersiz, kasten çeşitli yapım ve tasarım kusurları içeren, 3 adet 1/3 ölçeğinde, iki katlı ve tek açıklı betonarme çerçeve deney numunesi oluşturulmuştur. 3 numunede merkezi çelik çaprazlarla takviye edilmiş olup bunların yanına daha önceden (Öğütçü, 2016) tarafından yapılmış 2 adet referans çerçeve numunesinin deney sonuçları eklenecektir. Sonuç olarak 5 numune arasında karşılaştırmalar yapılmış, kıyaslamanın ana ölçütleri dayanım, rijitlik, enerji tüketimi hususları olmuştur. Çerçeveler depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır çevrimsel yatay yüke maruz bırakılmıştır.

Değinilen bu hususların neticesinde çalışmanın amaçları:

- Betonarme bir çerçevede, dolgu duvarların her katta bulunduğu düzenli ve sadece giriş katında bulunmadığı yumuşak kat düzensizliğine sahip bir çerçevenin, yatay yükleme etkisindeki deprem davranışının irdelenmesi,
- Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş yumuşak katlı betonarme çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki enerji tüketme kapasitelerinin incelenmesi,
- Güçlendirilmiş çerçevelerin göçme modlarının ve buna bağlı olarak kolonlarda oluşan hasar durumunun ve derecesinin belirlenmesi,
- Deney sonuçlarının ve gözlemlenen davranışların birbirileriyle kıyaslanması şeklindedir.

1.6 Çalışmanın Önemi

İnsanlar, hayatlarının çoğunu tasarladıkları ve inşa ettikleri yapılarda sürdürmektedirler. Bu yapıların, deprem başta olmak üzere, sel, yangın, fırtına vb. afetlerin, zaman zaman etkisi altına girdiği düşünüldüğünde, yapıların, insanların can ve mal güvenliğini riske atmayacak şekilde mühendislik teknikleri uygulanarak tasarlanması ve hayata geçirilmesi icap etmektedir. Ancak günümüzde, yapı ve inşaat teknolojisi bu denli gelişmiş olmasına rağmen, dayanıksız yapılar, özellikle deprem yüküne ve çeşitli ilave etkilere maruz kaldığında göçerek can kayıplarına ve maddi hasarlara yol açmaktadırlar. Geçmişte yaşanmış depremlerden elde edilen deneyimlere dayanarak, depremlerin büyüklüğü, şiddeti, oluşabileceği yerler vb. gibi nitelikleri daha öncesinde kestirilebilse de, kaçak, plansız yapılaşma ve çarpık kentleşme, denetimsel eksiklikler ve bilgi eksikliği gibi sebeplerin sonucunda can ve mal kayıplarına engel olunamamaktadır. Yapılarda deprem etkisinin yeterli seviyede dikkate alınmaması, her yıl ciddi sayıda vatandaşımızın canına ve diğer bir yandan da ülke ekonomisinin düşüşüne mal olmaktadır.

Ülkemizde büyük şehirlerin, popülasyonun ve ekonomik değerlerin çoğunluğu, büyük deprem riski taşıyan bölgelerde konuşlanmıştır. Bu bölgelerde geçmişte yaşanmış depremleri ufak hasarlarla veya hasarsız atlatan yapıların, olası yeni sarsıntılarda hasara maruz kalma olasılıkları da artmaktadır. Deprem güvenliği açısından güçlendirilmesi gerekli olan bu ve bunun gibi binalarda uygulanacak güçlendirme metodunun pratik, güvenli ve ekonomik olması ve güçlendirme işlemine de en kısa zamanda başlanılması icap etmektedir.

Türkiye'deki binalarda genellikle, yumuşak kat-zayıf kat oluşumu, burulma durumu, yapı ağırlığının çok fazla oluşu, kısa kolon, binalar arasındaki derz mesafelerinin yetersiz olması, yeterli yanal rijitliğin bulunmaması, detaylandırmadaki eksiklikler, deprem esnasında zeminin davranışının yanlış yorumlanması vb. gibi hususlarda birçok özürler yer almaktadır. Bu gibi nedenlerin ışığında ülkemizdeki çoğu yapının deprem dayanımının yetersiz olduğu bilinmektedir. Muhakkak surette olabilecek en kısa zamanda, bu yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Daha pratik, daha ekonomik ve daha güvenli yaklaşımlarla, yeni yöntemler üzerine yoğunlaşılıp, tasarlanabilecek optimum güçlendirme tiplerine duyulan ihtiyaç çok büyüktür.

Yapılan çalışma kapsamında; binaları yatay eksende vuran deprem yükünün yapıya etki etmesi esnasında, yumuşak kat düzensizliğine sahip yapıların, düzensiz katından çelik çapraz takviye elemanlarla güçlendirilmesiyle, bu işlemin yapının deprem etkisi altındaki davranışını ne yönde ve nasıl değiştirdiği ve güçlendirmenin getirdiği kazanımlar konularında incelemelerde bulunulabilecektir. Araştırmaların sonucunda elde edilen tecrübelere göre, yumuşak kat düzensizliğine sahip mevcut betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli yapılarda, çelik çapraz elemanlar ile yapılan güçlendirme yöntemlerinin tasarım ve uygulama aşamasında hangi konulara dikkat edileceği genel olarak belirlenecektir. Böylelikle güçlendirilmiş yapıların, yaşanması muhtemel bir depremde, güvenliğinin en yüksek seviyede tutulması ve olası hasar riskinin en düşük seviyelere indirilmesi sağlanabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında, yumuşak kat güçlendirmesi üzerinde yoğunlaşıldığından dolayı kaynak araştırması kapsamında da yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme yapılarda güçlendirme üzerine yapılmış çalışmalar irdelenmiştir. Ayrıca genel olarak betonarme yapılarda güçlendirme konusuna değinen çalışmalar da ele alınıp incelenmiştir. Aşağıda, incelenmiş olan makale, yayın ve tez çalışmalarına yönelik önemli kısımlara yer verilmiştir.

(Lee ve Woo, 2002) dolgu duvarların yapının sismik performansına etkisini araştırmışlardır. Bu amaç için 3 adet 2 açıklıklı 3 katlı ve 1/5 ölçekli çerçeveyi Kore'nin sismik olmayan detaylandırma uygulaması ve benzerlik yasasına göre inşa etmişlerdir. Hazırlanan çerçevelerden 1 adet boş/dolgu duvarsız (BÇ), 1 adet tek açıklığı dolgu duvarlı/kısmen dolu (KDÇ), 1 adette tamamı dolgu duvarla dolu (TDÇ) çerçevedir. Bu çerçevelere bir dizi deprem simülasyon testi ve pushover testi uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre;

1. Deprem simülasyonu sonuçlarında çerçevelerin doğal periyotları sırasıyla TDÇ'de 0.06 s, KDÇ'de 0.17 s, BÇ'de 0.23 s çıkmıştır.
2. Yine deprem simülasyonu testleri neticesinde katlar arası maksimum deplasman oranları TDÇ'de %0.19, KDÇ'de bunun yaklaşık 3 katı yani %0.51, BÇ'de ise yine TDÇ'nin yaklaşık 8 katı yani %1.68 olarak bulunmuştur. Kore deprem yönetmeliği bu hususstaki sınır değeri %1.5 düşünüldüğünde dolgu duvarlı çerçeveler bu açıdan güvenlidir. Çerçevelerin rijitlik değerleri sırasıyla TDÇ'de 147 kN/mm, KDÇ'de 33.3 kN/mm, BÇ'de 7.94 kN/mm olarak hesaplanmıştır.
3. Maksimum taban kesme kuvvetleri TDÇ'de 32.0 kN, KDÇ'de 37.3 kN, BÇ'de 17.6 kN değerleri deprem simülasyon testleri sonuçlarından elde edilmiştir.
4. Pushover test sonuçlarına göre; dolgu duvarların etkisiyle yapının dayanımı %80, rijitliği %85 oranında artmıştır.
5. Dolgu duvarlı çerçevelerin göçme modu kesme kırılmalarından, boş çerçevenin göçme modu ise 1.katta yumuşak kat mekanizması oluşmasından dolayı olmuştur.

(Korkmaz ve Uçar, 2006) yaptıkları çalışmada yumuşak kat düzensizliğinin betonarme yapıların deprem davranışına etkisini irdelemişlerdir. Hem dolgu duvarların olmamasından hem de giriş kat yüksekliğinin farklı olmasından kaynaklanan düzensizlik durumlarını doğrusal olmayan statik itme analizlerini yaparak incelemişlerdir. Bu amaçla tüm katlarda dolgu duvarlı kat yükseklikleri 3 m olan düzenli bir yapıyı (1), tüm katlarda

dolgu duvarlı giriş katı 5 m diğer kat yükseklikleri 3 m olan bir yapıyı (2), giriş katı dolgu duvarsız diğer katlarında dolgu duvarlı kat yükseklikleri 3 m olan bir yapıyı (3), giriş katı dolgu duvarsız diğer katlarında dolgu duvarlı ve giriş katı 5 m diğer kat yükseklikleri 3 m olan bir yapıyı (4) ele almışlardır. Çalışmanın neticesinde şu değerlendirmelerde bulunmuşlardır;

1. Elde edilen grafikler incelendiğinde yapıların giriş katı yükseklikleri artınca özellikle giriş katı yatay yer değiştirmelerinde artış görülmektedir.
2. Plastik dönme değerleri Model-1,2'ye göre Model-3,4'te önemli oranda artmıştır.
3. Giriş katı yüksekliği fazla olan modellerde taban kesme kuvveti ciddi bir seviyede azalmıştır, yani yapının sismik kapasitesi azalmıştır.
4. Dolgu duvarlı çerçeve davranışında olması beklenildiği gibi ilk plastik kesitler dolgu duvarlarda oluşmuştur. Tüm katları dolgu duvarlı olan çerçevelerde ilk plastik kesitin oluştuğu andaki taban kesme kuvveti artmakla birlikte ilk plastik kesitler dolgu duvarlardan sonra kirişlerde değil kolonlarda meydana gelmektedir.
5. Kat seviyesi-kat ötelenmeleri grafikleri incelendiğinde en yüksek kat ötelenmeleri değerleri Model-4 ve Model-2'de oluşmuştur.

(Aydın ve ark., 2007) yaptıkları çalışmada giriş katı yumuşak kat düzensizliği bulunan 10 katlı yapılarda taban kesme kuvvetini aktarmak için optimum damper (sönümlendirici) yerleştirilmesi durumunu incelemişlerdir. Damperlerin farklı yerleştirilmeleri incelenmiştir. Optimum damperden hesabından kasıt damperin optimum yeri ve büyüklüklerini hesap etmektir. Elde ettikleri sonuçlara göre;

1. Numerik sonuçlar gösteriyor ki bütün damper tasarımları yapının dinamik tepkisini azaltmaktadır.
2. Optimum damper tasarımını çatı katı deplasmanına göre yapmak, kat deplasmanlarını, katlar arası ötelenmeleri azaltırken, diğer damper tasarımlarına göre taban kesme kuvvetlerini arttırmaktadır.
3. Deplasmana göre tasarlanan optimum damper tasarımları katlar arası deplasmanların maksimum olduğu katlara yerleştirilmelidir.
4. Eğer tasarım taban kesme kuvvetlerini azaltmak için olacaksa damperler giriş katından en üst kata kadar azalan miktarda uygulanmalıdır.

(Korkmaz ve ark., 2007) yaptıkları çalışmada dolgu duvarlı betonarme yapılarda duvarların deprem davranışlarını değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında 3 katlı ve 4 akslı betonarme çerçeve bir yapıyı ele almış, bu yapının SAP2000 programı ile doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmişlerdir. 5 farklı duvar kombinasyonuna sahip model

oluşturmuşlardır. Kombinasyonlar Model-1 dolgu duvarsız; Model-2 ise 1-1 ve 4-4 aksları 3 katta da tam dolu dolgu duvarlı; Model-3 1-1 ve 4-4 akslarında zemin katı duvarsız aynı akslarda diğer katlar tam dolu dolgu duvarlı; Model-4'de 1-1 aksı bütün katlarda tam dolu dolgu duvarlı, 4-4 aksında zemin katı duvarsız aynı aksta diğer katlar tam dolu dolgu duvarlı; son olarak Model-5'te 1-1 aksı tüm katlarda tam dolu dolgu duvarlı, 4-4 aksı ise tüm katlarda dolgu duvarsız şeklindedir. Elde ettikleri sonuçlar ışığında şu değerlendirmeleri yapmışlardır;

5. Statik itme analizi sonuçlarına göre taban katı kesme kuvveti Model-2'de 1600 kN, Model-4'te 770 kN, Model-5'te 720 kN, Model 3'te 500 kN ve Model-1'de 440 kN şeklinde çıkmıştır.
6. Plastik mafsal oluşumu Model-2'de olmuştur.
7. Göreli kat ötelenmeleri büyükten küçüğe sırasıyla Model-4, 2, 5, 3, 1 şeklinde çıkmıştır.
8. Sonuçlar duvarların deprem etkisi altında yapının davranışına çok önemli etkileri olduğunu göstermektedir.
9. Ayrıca yapının deprem etkisindeki kapasitesinin, deplasmanlarının, göreli kat deplasmanlarının yapısal düzensizliklerden etkilendiği görülmektedir.

(Özmen ve ark., 2007) çalışmalarında orta katlı binalarda yumuşak kat davranışı, dolgu duvarların ve kat yüksekliklerinin bu davranışa etkisi üzerine SAP2000 programı ile doğrusal olmayan statik analiz yöntemleriyle incelemelerde bulunmuşlardır. Bu amaçla 5 farklı model tasarlayıp bu modellerin her birinde 4 ve 7 katlı alt modeller oluşturmuşlardır. Bu 5 farklı model şu şekildedir; 1) Referans bütün katları dolgu duvarlı düzenli bir bina, 2) Referans bütün katları dolgu duvarsız düzenli bir bina, 3) Zemin katı yüksek bir bina, 4) Zemin katı duvarsız bir bina, 5) Zemin katı yüksek ve zemin katı duvarsız bir bina. Ve tüm bunlardan ayrı olarak her bir modelde 10 ve 20 cm olacak şekilde 2 farklı etriye aralıklı tasarım yapmışlardır. Modellerin analitik ve numerik çözümlerinden gelen sonuçlardan yola çıkarak şu sonuçlara varmışlardır;

1. Yanal donatı miktarının azalması dayanım üzerinde sınırlı etkiye sahipken, deplasman kapasitesini önemli ölçüde azaltmaktadır. 10 ve 20 cm etriye aralığına sahip modeller aynı akma dayanımına sahiptirler fakat 20 cm etriye aralığına sahip modellerin deplasman kapasiteleri diğerlerine oranla oldukça düşüktür.
2. 7 katlı modellerin deplasman kapasitelerini 4 katlılara kıyasla daha düşük olduğu gözlenmektedir.

3. Duvarların modellemeye dâhil edilmesiyle 4 katlı referans modelin akma dayanımında %45, 7 katlı modelin dayanımında %32 artış meydana gelmiştir.
4. Göreli kat ötelenmesi değerleri iki farklı kat sayısı durumuna göre de en kötü olarak 5 numaralı modelde oluşurken, bu hususta kat yüksekliklerinin fazla olması dolgu duvar olmaması durumundan daha kötü sonuçlar vermiştir.

(Briman ve Ribakov, 2008) yaptıkları çalışmalarda sürtünme esaslı sarkaç tip deprem izolasyonu prensibine dayanarak sismik izolasyon kolonları ile güçlendirilmiş yumuşak katlı çok katlı betonarme çerçeveli bir yapıyı numerik olarak incelemişlerdir. Deprem hesabı olarak zaman tanım alanında hesap yöntemini seçmişler ve El Centro (1940), Kobe (1995), Eilat (1995) ve Los Angeles depremlerini sisteme etkitmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre;

1. Sonuçlar incelendiğinde sismik izolasyon kolonları ile güçlendirme yöntemi tüm deprem yüklemelerinde yapısal tepkiyi azaltmıştır.
2. Kat kesme kuvvetleri güçlendirilmemiş modelle uygulanan yöntem kıyaslandığında güçlendirme sisteminin etkisiyle ciddi oranda azalmıştır.
3. Yine güçlendirme uygulamasının etkisiyle güçlendirmesiz modele göre uygulanan yöntem sonucunda kat deplasmanları oldukça azalmıştır.
4. Tüm sonuçlar düşünüldüğünde yumuşak kat düzensizliği bulunan yapılarda sismik izolasyon kolonlarıyla güçlendirme yöntemi yapının sismik dayanımını arttırmak ve düzensizliğini azaltmak açısından önerilen bir sistemdir.

(El-Sokkary ve Galal, 2009) çalışmalarında farklı yöntemlerle güçlendirilme yapılmış betonarme yapıların deprem performanslarını dinamik analizlerle karşılaştırmışlardır. Bu amaçla 3 farklı şiddette(düşük, orta, yüksek) sismik ivme kayıtları kullanarak 5 ve 15 katlı yapıların her biri için 4'er farklı yöntemle güçlendirilmiş ve güçlendirme olmayan 1 model tasarlayarak, toplamda 10 model sistem oluşturmuşlardır. Bu modeller; 1) Açık, dolgu duvarsız güçlendirmesiz, 2) Tam dolu betonarme duvarla(perde) güçlendirilmiş, 3) X şeklinde çelik çubuklarla desteklenmiş, 4) X şeklinde FRP (fiber takviyeli plastik) kompozit çubuklarla desteklenmiş, 5) Çerçevenin kıyaslanan bölümündeki kolon ve kirişler FRP sargılarla güçlendirilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında şu değerlendirmelerde bulunmuşlardır;

1. 5 katlı tam dolu betonarme duvarla güçlendirilmiş modelde PGA (maksimum yer ivmesi) kapasiteleri, kat kesme talepleri ve enerji soğurma kapasiteleri en fazla çıkmıştır.

2. 15 katlı tam dolu betonarme duvarla güçlendirilmiş modelde kat kesme talepleri maksimum çıkarken, maksimum PGA değerleri ve enerji soğurma kapasiteleri en yüksek değerlere FRP sargılarla güçlendirilmiş modelde ulaşmıştır.
3. 5 ve 15 katlı bütün modellerde maksimum göreli kat ötelenme oranları büyükten küçüğe sırasıyla; Açık-dolgu duvarsız güçlendirmesiz model, FRP sargıyla güçlendirilmiş model, X şeklinde FRP (fiber takviyeli plastik) kompozit çubuklarla desteklenmiş model, X şeklinde çelik çubuklarla desteklenmiş model, tam dolu betonarme duvarla(perde) güçlendirilmiş model şeklinde oluşmuştur.

(Quayyum ve ark., 2010) giriş katı yumuşak kat düzensizliği bulunan 6, 10 ve 15 katlı bina modellerinde farklı oranlarda rastgele yerleştirilmiş dolgu duvarların Eşdeğer Deprem Yükü ve Modal Analiz hesap yöntemlerini kullanarak binaların yanal deplasmanlarına etkisini incelemişlerdir. Rastgele yerleştirdikleri dolgu duvar oranları %10,%20,…,%90 şeklindedir. Elde ettikleri sonuçlara göre;

1. Çatı deplasmanları dolgu duvar oranı arttıkça azalmıştır.
2. %0 duvar oranlı (boş çerçeve) hariç bütün modellerde Modal Analiz hesabındaki deplasmanlar daha yüksek çıkmıştır.
3. %0 duvar oranlı 6 katlı modelde çatı katı deplasmanları ortalama 50 mm, 10 katlı modelde 95 mm, 15 katlı modelde 130 mm; %30 duvar oranlı 6 katlı modelde çatı katı deplasmanları ortalama 34 mm, 10 katlı modelde 60 mm, 15 katlı modelde 76mm; %60 duvar oranlı 6 katlı modelde çatı katı deplasmanları ortalama 25 mm, 10 katlı modelde 42 mm, 15 katlı modelde 62 mm; %90 duvar oranlı 6 katlı modelde çatı katı deplasmanları ortalama 23 mm, 10 katlı modelde 40 mm, 15 katlı modelde 59 mm olarak hesaplanmıştır.

(Karasu ve ark., 2011) ilk katı yükseltilmiş yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme bir binayı ele alarak, dolgu duvarların yapıların performansına olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla dolgu duvarsız, 2. ve 3. katı dolgu duvarlı ve tüm katları dolgu duvarlı olmak üzere 3 farklı duvar kombinasyonlu model oluşturmuş bu modelleri SAP2000 programında analiz etmişlerdir. Bina giriş katı yüksekliği 5 m 2. ve 3. kat yükseklikleri 3 m'dir. Dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal basınç çubukları olarak sisteme etkitilmiştir. Yapıların eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak performans analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu elde ettikleri sonuçlar ışığında aşağıdaki değerlendirmelerde bulunmuşlardır;

1. Dolgu duvarsız yapıda kolonların büyük bölümü göçme sınırını aşarken, kirişler göçme sınırında kalmıştır. Aynı yapı, tüm katları dolgu duvarlı olarak ele alındığında,

kolonların çoğu göçme sınırında kalmış, kirişlerin hepsi minimum hasar sınırında kalmıştır. 2. ve 3. katları dolgu duvarlı yapıda, kolonların çoğu göçme sınırını aşarken, kirişler güvenlik sınırının içerisinde kalmıştır.

2. Modellerin göreli kat deplasmanları oranları kıyaslandığında; oranlar dolgu duvarsız modelde tüm katları dolgu duvarlı modelin 3.5 katından daha fazla ve 2. ve 3. katı dolgu duvarlı modelde yine tüm katları dolgu duvarlı modelin 2.5 katından daha fazla çıkarak dolgu duvarların binanın tamamında olması gerektiğini açık bir şekilde göstermiştir.

(Kamanlı ve ark., 2011) çalışmalarında sünek olmayan betonarme çerçevelerin, çelik çaprazlarla, betonarme dolgu duvarlarla ve çelik levhalarla güçlendirilmesi durumlarında yapıların sismik davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla, tek katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli ve çeşitli yetersizliklere sahip betonarme çerçeveler üretmişlerdir. Üretilen betonarme çerçeve içlerine, tuğla duvar örülmüş ve duvarlarda (400 mmx350 mm) boyutunda pencere boşluğu bırakmışlardır. Daha sonra numuneleri pencere boşluğu dikkate alarak dıştan perde duvar, çelik levha ve çelik çaprazlarla güçlendirmişlerdir. Deney numunelerinde beton dayanımının düşük olması, zayıf kolon güçlü kiriş uygulaması, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının olmaması, kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde etriye bulunmaması, kolon boyuna donatısında kanca kullanılmaması, etriye kancalarının 90^o olması gibi ülkemizdeki yapılarda sıkça rastlanan kusur ve zayıflıkların olmasına özen gösterilmiştir. Elde ettikleri sonuçlar ışığında şu değerlendirmeleri yapmışlardır;

1. Elde edilen deney sonuçlarına göre uygulanan bu güçlendirme yöntemlerinin, var olan yapıların depreme karsı güçlendirilmesinde etkin, ekonomik ve uygulanması kolay yöntemler olabileceği görülmektedir.
2. Maksimum yatay yük durumu 282.9 kN ‘la betonarme perde ile güçlendirilmiş numunede oluşurken, çelik sargı+çaprazlarla güçlendirilmiş numunede 115.99 kN, dolgu duvarlı referans güçlendirmesiz numunede 30.21 kN, çelik levhayla güçlendirilmiş numunede 107.74 kN şeklinde oluşmuştur.
3. Numunelerde maksimum yatay yük durumuna göre oluşan maksimum deplasman değerleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla şu şekildedir; referans numune 5.76 mm, çelik sargı+çaprazlı numune 6.85 mm, perde duvarlı numune 7.86 mm, çelik levhalı numune 10.04 mm.

4. Tüketilen toplam enerji değerleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla şu şekildedir; referans numune 229.70 kNmm, çelik sargı+çaprazlı numune 583.83 kNmm, çelik levhalı numune 1,153.12 kNmm, perde duvarlı numune 2,284.91 kNmm.
5. Dıştan çelik levhalı ve düzlem dışı perde duvar ile güçlendirme yöntemlerinde, bütün uygulama çalışmaları yapı dışında yapılacağı için, yapının kullanımı ve fonksiyonu çok az etkilenmekte, uygulama hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.
6. Çelik sargı+çaprazlı ve dıştan çelik levhalı güçlendirme yöntemleri, betonarme perde uygulaması gibi diğer güçlendirme yöntemlerine göre, yapının kütlesini çok daha az arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak ta, yapı üzerine gelen deprem yükleri diğer güçlendirme yöntemlerinden çok daha az olacak, temellerin takviye maliyetleri daha düşük olacaktır.
7. İşçilik için uygulamada kalifiye elemana ihtiyaç duyulması, çeliğin paslanmaması için ek önlemlerin alınmasının gerekliliği, ısı değişiminden dolayı çelikte meydana gelebilecek olan şekil değiştirme sorunları gibi durumlar çelik sargı+çaprazlı ve dıştan çelik levhalı güçlendirme yöntemlerinin bazı dezavantajları olarak sıralanabilir.

(Kılıç, 2012) yüksek lisans tez çalışmasında deneysel olarak betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvarların güçlendirilmesi hususu üzerinde durmuştur. Deney kapsamında uygulamada görülen tasarım ve imalat kusurlarına sahip, malzeme dayanımları yetersiz olacak şekilde 2 katlı ve tek açıklıklı bir betonarme çerçeve sistemi imal edilmiştir. Deney sistemi 1/2 ölçekli 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 ve sonuçlar incelenmiştir. Numunelerin özellikleri şu şekildedir; 1) Betonarme boş çerçeve, 2) Tuğla duvarla dolu çerçeve, 3) İlk 2 numune ile aynı betonarme çerçeveye sahip olan ancak tuğla duvar, 1 sıra hasır çelik ve 1.5 cm kalınlığında sıva uygulanmış deney numunesi, 4) 3 numaralı numuneyle aynı betonarme çerçeve, tuğla duvar ve hasır oranına sahip olan ancak 2.5 cm kalınlığında sıva uygulanmış deney numunesi, 5) 4 numaralı numune ile aynı betonarme çerçeve, tuğla duvar, hasır oranı ve sıva kalınlığına sahip olan ancak kolon-kiriş birleşimlerinde ve temeldeki bindirme boyu yetersizlikleri giderilmiş deney numunesi. Çalışmaların neticesinde şu sonuçlara ulaşmıştır;

1. Boş çerçevenin duvar ile doldurulması çevrimlerde tüketilen enerjinin önemli boyutta artmasını sağlamıştır. Enerji tüketiminin artmasıyla birlikte taşıyıcı sistemin enerji

yutma kapasitesi de arttırılabilmektedir. Güçlendirme uygulanan numunelerde ise referans boş çerçevedeki çevrimlerde tüketilen enerji miktarına oranla ciddi boyutlarda artış olduğu gözlemlenmiştir (5 numaralı numunede max. tüketilen enerji değeri referans boş çerçevedekinin yaklaşık olarak 3 katından fazladır).

2. Boş çerçeveye sadece duvar örülmesi dahi çevrimlerdeki yanal rijitliğe önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Güçlendirme uygulanan numunelerdeki çevrimlerde ise yanal rijitlik değerlerinde ciddi boyutlarda artış gözlemlenmiştir (5 numaralı numunede 5 mm deplasman seviyesindeki rijitlik değeri referans boş çerçevenin 5 mm deplasman seviyesindeki rijitlik değerinin yaklaşık olarak 5 katına çıkmıştır).
3. Referans boş çerçeve ileri çevrimde 36.51 KN, geri çevrimde -39.33 KN maksimum yatay yüke dayanırken, referans dolgulu çerçeve ileri çevrimde 42.41 KN, geri çevrimde ise -54.81 KN maksimum yatay yük seviyesine çıkmıştır. Buna göre dolgulu numunenin ileri çevrimde boş çerçeveden 1.16 kat, geri çevrimde ise 1.50 kat daha fazla yatay yüke dayanabildiği anlaşılmaktadır.
4. 5 mm deplasman seviyesinde; boş çerçevenin rijitlik değerinin yaklaşık 2.45 KN/mm, duvar dolgulu çerçevenin ise yaklaşık 6.80 KN/mm olduğu tespit edilmiştir. Bu açıdan dolgu duvarların çerçevenin yatay rijitliğini artırdığı açıktır. 3 numaralı numunede 5 mm deplasman seviyesinde elde edilen rijitlik değeri yaklaşık 5.90 KN/mm seviyesindedir. 4 numaralı numunede 5mm deplasman seviyesindeki rijitlik değeri ise 9.60 KN/mm'dir. 5 numaralı numunenin 5mm deplasman seviyesinde elde edilen rijitlik değeri yaklaşık 12.30 KN/mm mertebesine çıkmıştır.

(Kaymak ve Tuna, 2012) IPE 240 çeliğini kullanarak 2 katlı 2 açıklıklı çelik taşıyıcı sistemli bir düzlem çerçeve tasarlayarak dolgu duvarların yapının sismik performansına etkisini gözlemlemişlerdir. Bu amaçla dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve bant pencereli sistemlerde farklı duvar kombinasyonlarına sahip 7 farklı modeli SAP2000 programıyla analitik olarak çözüp kıyaslamışlardır. Duvarları tasarlanan modellere eşdeğer basınç çubuğu olarak uygulamışlardır. Duvar Kombinasyonları; 1) Boş çerçeve (Duvarsız), 2) Üst kat tam dolu duvarlı alt kat duvarsız (yumuşak kat), 3) Her iki katta da sol açıklık tam dolu duvarlı sağ açıklık duvarsız, 4) Üst katta sol açıklık tam dolu duvarlı alt katta sağ açıklık tam dolu duvarlı, 5) Her iki katta her iki açıklıkta tam dolu duvarlı, 6) Üst kat tam dolu duvarlı alt kat bant pencereli duvarlı, 7) Her iki katta bant pencereli duvarlı. Elde edilen sonuçlara dayanarak şunları belirtmişlerdir;

1. Yumuşak katlı model dışındaki tüm modeller için dolgu duvar kullanım yüzdesinin artışına bağlı olarak yatay rijitliğin de arttığı gözlemlenmiştir.

2. Dolgu duvarlar çelik çerçevelerin doğal titreşim periyodunu düşürmüş, buna karşılık yumuşak katlı çerçevenin doğal titreşim periyodunu artırmıştır.
3. Yumuşak katlı ve bant pencereli kombinasyonlar çelik çerçeve kolonların kesme kuvvetlerini artmıştır.
4. Dolgu duvarlar çerçevelerin yatay elastik yük kapasitesini artırmıştır.
5. Dolgu duvarlar, yatay yer değiştirmeleri azaltmıştır.
6. 3 numaralı duvar kombinasyonuna sahip model, 4 numaralı modele göre daha az rijitlik ve daha yüksek titreşim periyoduna sahiptir.
7. Her iki katı bant pencereli model, bir katı bant pencereli modelden taban kesme kuvvetleri açısından daha güvenlidir. Katlar arasındaki dolgu duvar yerleşimlerinde aynı geometrik yapılaşmanın tekrar edilmesine özen gösterilmelidir.

(Samanta ve Nanda, 2012) yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme binalarda dolgu duvarla ve çelik takviye çubuklarıyla güçlendirme yöntemlerini incelemişlerdir. Bu kapsamda giriş katı yumuşak kat olan 6 katlı betonarme binayı farklı dolgu duvar kombinasyonu ve çelik takviye çubuklarıyla güçlendirerek 5 farklı model oluşturup SAP2000 programında bu modelleri statik itme analizine (pushover) sokmuşlardır. Oluşturulan modellerdeki güçlendirme durumları şu şekildedir; Model-1: Giriş katı dolgu duvarsız, diğer katlar tam dolu dolgu duvarlı, Model-2: Dış akslar dolgu duvarlı, giriş katı kısmen dolgu duvarlı, Model-3: Dış akslar dolgu duvarlı, giriş katı kısmen çelik çubuk takviyeli, Model-4: Giriş katı kısmen dolgu duvarlı, diğer katlar tam dolu dolgu duvarlı, Model-5: Giriş katı kısmen çelik çubuk takviyeli, diğer katlar tam dolu dolgu duvarlı. Elde ettikleri sonuçlar kapsamında şu değerlendirmelerde bulunmuşlardır;

1. Model-1'de plastik mafsallar giriş katında oluşmuş buda yapının giriş katından güçlendirilmesi gerekliliğini göstermiştir.
2. Taban kesme kuvveti-çatı katı deplasmanları grafiği incelendiğinde taban kesme kuvveti kapasiteleri büyükten küçüğe sırasıyla Model-4, 5, 3, 2, 1 şeklinde çıkmıştır.
3. Sismik kapasite-istek grafikleri incelendiğinde Model-4 en iyi performansı göstermiştir.
4. Kat seviyesi-deplasman grafiğine bakıldığında giriş katı katlar arası deplasman oranı en çok Model-4'te azalırken, diğer modellerdeki durum iyiden kötüye sırasıyla Model-3, 2, 5, 1 şeklinde bulunmuştur. Yine aynı grafikten çelik çubuk takviyeli modellerin sünekliğinin daha fazla olduğu ama yumuşak kat düzensizliği bulunan

binada 4 numaralı modelin çökmeye karşı daha güvenli olduğu net bir şekilde görülmektedir.

(Tezcan ve ark., 2013) yumuşak kat oluşumunda dolgu duvarların etkisini analitik ve numerik yöntemlerle SAP2000 programını kullanarak incelemişlerdir. Bu amaçla 2 katlı tek açıklıklı 3 faklı model oluşturmuş bunları da 8 farklı deprem analizine sokmuşlardır. Modeller; 1) Dolgu duvarsız, TDY-2007'ye göre, 2) Tüm katlar dolgu duvarlı, FEMA (Amerikan Yönetmeliği)'ya göre, 3) Sadece üst kat dolgu duvarlı, FEMA'ya göre değerlendirilecek şekilde modellenmiştir. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde şu değerlendirmeleri yapmışlardır;

1. TDY'de analizlerde duvar etkisini dikkate almadığı ve yapı kat yükseklikleri aynı olduğu için katlar arasında oluşan göreli kat ötelenmesi oranı 2'den küçük çıkmaktadır. Bu yüzden yapılan çalışmada TDY'ye göre yapılan çözümlerde yumuşak kat düzensizliği oluşmamıştır.
2. Her iki kat duvarla örülü olduğunda katlar arasında oluşan göreli kat ötelenmesi oranı, TDY'ye göre yapılan çözüme göre artmıştır. Ancak yumuşak kat düzensizliğini gösteren katsayı tüm çözümlerde 2'den küçük çıkmıştır. Bu yüzden her iki katında duvar örülü modelde FEMA'ya göre yapılan çözümlerde yumuşak kat düzensizliği oluşmamıştır.
3. Sadece üst katı duvarla örülü modelde FEMA çözümlerinde katlar arasında oluşan göreli kat ötelenmesi oranı, TDY'ye göre çıkan sonuçlara göre yaklaşık üç kat artmıştır. Yumuşak kat düzensizliğini gösteren katsayı tüm çözümlerde 2'den oldukça büyüktür. Bu yüzden alt katında duvarı olmayan, üst katı duvarlı modelde FEMA'ya göre yapılan çözümlerde yumuşak kat düzensizliği oluşmaktadır.

(Beigi ve ark., 2014) yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme çerçevede boşluklu eğimli takviye çubuk sistemiyle (gapped-inclined brace system-GIB) güçlendirme yaparak yapının düzensizliğini yok etmek amaçlı numerik analizler yapmışlardır. Bu kapsamda 6 katlı orijinal halinde giriş katı dolgu duvarsız diğer katlar dolgu duvarlı bir binayı, giriş katına GIB sistemi ile güçlendirerek ve yine giriş katını dolgu duvarlarla güçlendirerek orijinal ve güçlendirilmiş durumlarını karşılaştırmışlardır. GIB ile güçlendirme yönteminde pimli bir takviye çubuğu ve bir boşluk elemanı şeklinde giriş kat kolonlarına sanal ortamda monte edilmiştir. Deprem yüklemesi olarak 8 adet deprem zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde;

1. GIB ile güçlendirilmiş modelde diğer modellere göre yanal deplasman kapasitesi oldukça artarken, yanal rijitlik ve dayanım yeterince artmamıştır.
2. Lineer olmayan dinamik analiz sonuçlarına göre GIB modeli yanal deplasman isteği açısından tam dolgu duvarlı modele kıyasla çok daha yüksektir (yaklaşık 7 kat). Ancak GIB modelinin avantajı giriş katından üst katlara çıkıldığında deplasman oranlarının daha düşük olması olarak görülmüştür.
3. Zemin ivmeleri GIB modelinde tam dolu dolgu duvarlı modelin %70'inden daha az çıkmıştır.
4. Yumuşak kat düzensizliği bulunan binalarda bina giriş katında GIB sistemini kullanmak dolgu duvar kullanmaya nazaran potansiyel yapı çökme ihtimalini ciddi bir seviyede düşürmektedir.
5. Sonuçlar gösterdi ki GIB sistemi ile güçlendirilmiş yumuşak katlı yapılar güçlendirme maliyeti açısından diğer yöntemlere göre daha ucuzdur.
6. Gelecek çalışmalarda GIB takviyelerinin yerleştirilme yerleri ve ek sönümleyicilerin etkisi üzerinde yoğunlaşmakta fayda vardır.

(Dubey ve Kute, 2014) yaptıkları çalışmada yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme çerçevelerin dayanım ve rijitliğinin betonla destekleme ve bu desteğin hasar görmüş halinin epoksi ile tamir edilmesi yöntemlerini incelemiştir. Bu amaçla 2 adet desteksiz açık model 3 adet köşelerden kısmen dolu betonarme destekli, merkezden kısmen dolu betonarme destekli, diyagonal tam dolu betonarme destekli ve 3 adet hasar görmüş yine köşelerden kısmen dolu, merkezden kısmen dolu, diyagonal tam dolu betonarme destekli ve hasarın epoksi ile tamir edildiği model çerçeveler imal etmiş ve test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda şu değerlendirmeleri yapmışlardır;

1. Eğer betonarme dolgu duvarlar çerçeveden güçlü ise, kırılma ötelenme mekanizması sonucu kolonlarda büyük çekme çatlakları ve desteklenmiş dolgu duvarlı çerçevelerin kolon kiriş birleşimlerinde plastik mafsal oluşumu neticesinde oluşur.
2. Reçine ve sertleştirici oranı 1:0.5 olan epoksinin başlangıç ve bitiş priz alma süreleri 30 ve 90 dakikadır.
3. Mimari durumda düşünüldüğünde köşelerden kısmen dolu ve tam dolu diyagonal betonarme destekli sistemlere nazaran ortalama dayanıma sahip olduğu görülen merkezden kısmen dolu betonarme destekli sistemler yumuşak kat düzensizliği bulunan yapılarda uygulanabilir.
4. Bir karşılaştırma yapmak gerekirse, betonarme dolgu duvar destekli çerçeveler hasar gördükten sonra epoksi ile tamir edildiğinde ilk haline kıyasla yanal yük kapasitesinde

az miktarda farklılık vardır. Bu yanal yük kapasitesi azalma oranı sırasıyla; köşelerden kısmen dolu modelde %16.6, merkezden kısmen dolu modelde %21.42, diyagonal tam dolu modelde %11.7 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar hasar sonucu kaybedilen dayanımın ciddi bir miktarda epoksi tamiratı ile kazanıldığını göstermektedir.

5. Aynı yaklaşımla epoksi ile tamir sonucu ilk duruma kıyasla rijitlik oranındaki azalma köşelerden kısmen dolu modelde %9.09, merkezden kısmen dolu modelde %24.4, diyagonal tam dolu modelde %27.08 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar epoksi kullanımı sonrası çerçevelerin önemli bir ölçüde rijitliğini tekrardan kazandığı söylenebilir.

(Tan ve ark., 2015) yaptıkları çalışmalarda betonarme çerçevelerde güçlendirmenin yapının sismik performansına etkisini incelemek adına 2 adet 1/4 ölçekli 2 katlı 3 açıklıklı çerçeve yapmışlardır. Çerçevelerden 1 tanesini kontrol amaçlı boş/açık olarak hazırlamış, diğerini ise betonarme X çubuklarla takviye etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre;

1. Boş çerçevede kolon uçları kiriş uçlarından önce hasar görmüş ve kırılmıştır.
2. Takviyeli çerçevede takviye çubukları kolon kiriş uçlarında plastik mafsal oluşumundan önce hasar görmüştür.
3. Boş çerçeveye kıyasla takviyeli çerçeve rijitlik açısında oldukça iyi bulunmuştur. Maksimum deplasman durumunda (33 mm) takviyeli çerçevenin rijitliği 17.8 kN/mm çıkarken boş çerçevede rijitlik 4.7 kN/mm'dir.
4. Boş çerçevede enerji soğurulmasının çoğunluğu kiriş uçlarında olmuştur. Kirişler kırıldığında tüm sistem çökmüştür. Diğer taraftan takviyeli çerçevede enerji soğurulma kapasitesi takviye çubukları, kirişler ve kolonlara bağlıdır. Burada takviyeler kiriş ve kolonlara nazaran en önemli rolü oynamıştır.
5. Takviyeli çerçeve şiddetli depremlere dayanmaya daha müsaittir. Ancak, takviyeli çerçevede eğer yumuşak kat oluşumu başlarsa kırılma biçimi farklı olacaktır. Bu yüzden bundan sonra yapılacak çalışmalarda takviyeli model yapılırken yumuşak kat mekanizması da hesaba katılmalıdır.

(Furtado ve ark., 2015)'nın yaptıkları çalışmadaki amacı; numerik ve analitik metotlarla yumuşak kat düzensizliği bulunan var olan bir binanın farklı güçlendirme şekillerini değerlendirmektir. Dolgu duvarların binanın sismik davranışına etkisini incelemişlerdir. Yumuşak kat düzensizliğini elimine etmek için farklı güçlendirme tekniklerini denemiş ve sonuçları binanın orijinal haliyle kıyaslamışlardır. Ayrıca bu

güçlendirme yöntemlerinin maliyetlerini inceleyip karşılaştırmışlardır. Kullandıkları güçlendirme yöntemleri şu şekildedir; 1) betonarme kolon kaplama (BKK), 2) çelik çubuk takviyesi (ÇÇT), 3) enerji sönümleme aletli çelik çubuk takviyesi (EÇÇT), 4) betonarme perde takviyesi (BPT). İncelemeler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeleri yapmışlardır;

1. Giriş katı maksimum deplasman değerlerini azaltma hususunda en iyi teknik açık bir şekilde ÇÇT olarak görülmüştür. ÇÇT güçlendirme tekniği yumuşak kat düzensizliğini tam manasıyla yok etmiştir. Diğer teknikler ise birbirine yakın bir şekilde giriş katı deplasmanlarını orijinal halinin yaklaşık olarak yarısına düşürmüştür.
2. Maksimum taban kesme kuvveti artışında en yüksek değerler ÇÇT güçlendirmesinde oluşurken (orijinal halinin 7 katı), en düşük artış EÇÇT tipi güçlendirme yönteminde oluşmuştur(orijinal halinin 2 katı).
3. Enerji sönümlemesi açısından en etkili teknik ÇÇT olurken, BKK ikinci, EÇÇT tekniği bu konuda en etkili 3. metot olmuştur.
4. Tüm sonuçlar incelendiğinde en efektif güçlendirme metodu ÇÇT olduğu açık bir şekilde görülürken aynı zamanda bu bina için tahmini maliyet hesabında 44,680 € ile en pahalı yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer bir taraftan EÇÇT 10,750 € ile en ucuz yöntem ve BKK yöntemi 37,750 €, BPT yöntemi ise 38,880 € olarak bulunmuştur.

(Yuen ve Kuang, 2015) çalışmalarında betonarme çerçevelerde dolgu duvarların yapının sismik davranışına ve kırılma mekanizmasına etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 2 katlı 2 açıklıklı 5 farklı duvar konfigürasyonuna sahip model oluşturmuşlardır. Bu konfigürasyonlar 1) tam dolu dolgu duvarlı, 2) 2/3 kat yüksekliği kadar dolgu duvarlı, 3) giriş yumuşak katlı (1.katı dolgu duvarsız), 4) pencere boşluklu dolgu duvarlı, 5) kapı boşluklu dolgu duvarlı şeklindedir. Modellere 1979 El Centro, 1987 Superstition Hills, 1995 Kobe ve 1999 Chi-Chi depremleri etkinmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Sonuç olarak şu kanılara varmışlardır;

1. 2/3 dolgulu modeldeki orta kısa kolonlar kenar kolonlara göre duvar etkisinden dolayı daha ciddi hasar almaktadır. Çünkü orta kolonlar iki tarafından da duvar etkisine maruz kalırken kenar kolonlar tek taraftan duvar etkisine maruz kalmaktadır. Bu yüzden orta kolonlarda kenar kolonlara göre sismik yanal yük 1.7-2.6 kat daha yüksek oluşmaktadır.

2. Yumuşak katlı modelde rijitlikteki ani değişimler takviyelerle veya duvarla desteklenmemiş yumuşak kat kolonlarındaki yükü arttırmakta ve düşey yük taşıma kapasitesini azaltmaktadır.
3. Dolgu duvarlı çerçevelerin kolonları bitişik kirişlerinden daha fazla zorlanmaya maruz kalır. Bu yüzden dolgu duvarlı çerçevelerde duvarların etkisinden dolayı güçlü kolon-zayıf kiriş konsepti her zaman makul olmaz.

(Öğütçü, 2016) yüksek lisans tezi kapsamında yumuşak kat düzensizliği ve bu tür düzensizlik bulunan yapılarda güçlendirme yöntemleri üzerine deneysel çalışmalarda bulunmuştur. 1/3 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı betonarme deney numunelerini Selçuk Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü Deprem Laboratuvarı'nda test etmiştir. Depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükleme durumu 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 çelik çaprazlarla bir takviye yapılmıştır. 4. Deneyde ise yine yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevede zemin katta X çelik çaprazla takviye yapılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1. Her iki katı da tuğla dolgu duvarlı olan referans numune (1), yumuşak katlı çerçeve numunesine (2) göre yaklaşık 3 kat daha fazla yük taşımıştır. Bu bakımdan tuğla dolgu duvarın sistemde yatay yük taşıma kapasitesine çok büyük katkı sağladığı görülmüştür.
2. Güçlendirme yapılan merkezi X çelik çaprazlı numune (4), yumuşak katlı numuneye (2) göre yaklaşık 3 kat fazla yük taşımıştır. Merkezi ters V çelik çaprazla güçlendirilen (3) numune ise yumuşak katlı çerçeve numunesine (2) göre yaklaşık 4 kat fazla yük taşımıştır. Dolayısıyla güçlendirme amacına ulaşmış ve yumuşak katlı çerçeveyi referans çerçeve dayanımına ulaştırmıştır.
3. Test edilen numunelerin başlangıç rijitlikleri etkisi incelendiğinde, ilk dayanım rijitliği büyükten küçüğe doğru sırasıyla 3, 4, 1, 2 numaralı numunelerde olmuştur. Tüm test edilen numuneler için ilerleyen deplasmanlarda çevrim rijitlikleri azalmaktadır. Enerji tüketimi açısından test numuneleri incelendiğinde ise elde edilen veriler büyükten küçüğe sıralanırsa yine 3, 4, 1, 2 şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.
4. 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 (3)-(4), referans ve yumuşak katlı çerçeve numunelerine göre daha fazla yatay yük kapasitesi, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

5. Yumuşak katlı çerçeveye uygulanan çelik çapraz elemanlar sayesinde yumuşak kat düzensizliğinin olumsuz etkilerinin büyük ölçüde ortadan kalktığı düşünüldüğünde zemin katı ticari alan olarak değerlendirilen binalarda tuğla dolgu duvar yapılamıyorsa, çelik çapraz elemanlar kullanılmasının oldukça ekonomik, kullanışlı ve uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Ülkemizde, özellikle 1999 depremi gibi ağır kayıplarla sonuçlanan depremler sonrasında, bina güçlendirmesi ile ilgili uygulamalar ve deneysel çalışmalar yaygınlaşmıştır. 2012 yılında çıkarılan kentsel dönüşüm kanunuyla devlet desteğinin verilmesinin yanında teknolojinin de gelişmesi ile birlikte son yıllarda, betonarme çerçevelerin güçlendirilme uygulamalarında ve bu konu ile ilgili yapılan deneysel araştırmalarda önemli miktarda artış gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların ana sebebi hiç kuşkusuz, ülkemiz bina stokunun yeterli deprem güvenliğinin olmaması, yumuşak kat gibi deprem anında hayati tehlike arz eden düzensizliklerin çoğu binada bulunması ve inşa edilen yeni binalarda halen, bu hususlarda gereken özenin gösterilmeden ve bilinçsizce yapılmasıdır. Güçlendirme uygulamaları günümüzde hala güncelliğini korumakta ve yeni güçlendirme tekniklerinin gelişmesine yol açmak amacıyla yapılan araştırmalar halen sürmektedir. Betonarme binaların güçlendirilmesi amacıyla yapılan araştırmalarda çoğunlukla, iki katlı-tek açıklıklı çerçeve modelleri üzerinde durularak, bu çerçevelerin betonarme perdelerle veya çelik çaprazlarla takviye edilip, tersinir-tekrarlanır yatay yükler etkisindeki davranışı deneysel olarak test edilmektedir. Yapılan çalışmalarda özellikle, mevcut binalarda görülen taşıyıcı sistem düzensizlikleri, çeşitli proje ve imalat hataları kasten çalışmalara yansıtılıp, sonrasında çeşitli güçlendirme metot ve teknikleriyle bu kusurların giderilmesi ve modellerin beklenen deprem performansını sağlaması test edilmektedir (Ünal, 2012).

Yapılan bu tez çalışmasında, Türkiye'deki mevcut binalarda çokça gözlemlenen, düşey doğrultudaki düzensizlik tiplerinden, Yumuşak Kat-Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği oluşumu deneysel olarak irdelenmiştir. Çalışmada, yumuşak kat düzensizliğine sahip binaların güçlendirilmesine dair uygulanabilecek bir metot olan, çelik çapraz elemanlarla güçlendirme tekniğiyle ilgili deneyler yapılmıştır. K tipi çapraz (<>), düz V tipi çapraz ve yan V tipi çapraz (>) biçimindeki merkezi çelik çaprazlar, hazırlanan 3 adet betonarme çerçeve numunesine uygulanarak, bu takviyelerin yumuşak kat düzensizliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca güçlendirilmiş numunelerin yanına, (Öğütçü, 2016) tarafından yapılmış tez çalışmasından 2 farklı çerçeve numunesi daha alınıp, ilgili deney sonuçları da, güçlendirilmiş numunelerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Diğer çalışmadan alınan 1. numune iki katında dolgu duvarlarla döşenmiş bir şekilde üretilmiş olduğu Referans Numune'dir. Alınan 2. numune de, klasik yumuşak kat düzensizliğine sahip bir model olacak şekilde imal edilmiş olup, üst katı

dolgu duvarlı ve alt katı hem daha yüksek hem de dolgu duvarsız olacak şekilde tasarlanmıştır. Tezin deneyleri kapsamında, üretilmiş olan 3 numuneyle diğer çalışmadan alınmış olan 2 numune, yani 5 çerçeve numunesi de aynı boyutlarda, aynı malzeme özelliklerine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır ve bu şekilde imal edilmeye çalışılmıştır.

Materyal ve yöntem ana başlığı altında; deprem dayanımı yetersiz olan, yani depreme dayanıklı betonarme bina yapım kurallarına aykırı olan ve bunun yanında uygulama aşamasında çokça gördüğümüz işçilik ve tasarım hatalarının bir kısmını içerecek şekilde üretilmiş 5 adet betonarme çerçeve deney numunesinin malzeme özellikleri, geometrik değerleri ve deneylerde kullanılan düzenek, yükleme ve ölçme sistemleri detaylandırılmıştır.

Ülkemizdeki mevcut bina stoğunu temsil amacıyla, deney çerçevelerinin tasarım ve üretiminde kasten tatbik edilmiş olan hata ve kusurlar şöyledir;

- Etriye kancalarının 135^o olması gerekirken 90^o olması,
- Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının yapılmaması,
- Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin içinde etriyelerin devam ettirilmemesi,
- Güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine uyulmaması.
- Donatı dayanımının yetersizliği,

3.1 Betonarme Çerçeve Deney Numuneleri

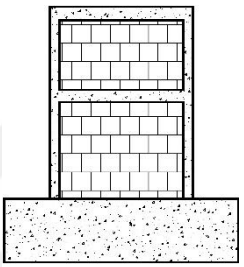
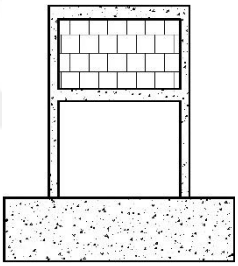
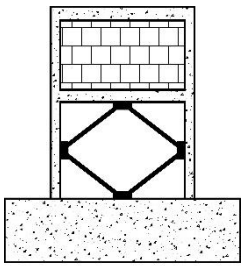
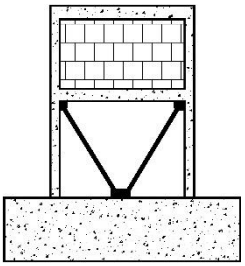
3.1.1 Numunelerle İlgili Genel Bilgiler

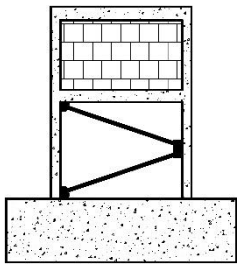
Çalışma kapsamında deneyleri yapılan, betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli numuneler, iki kata, tek açıklığa ve 1/3 ölçeğe sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Bütün numunelerin boyutları, donatı sayısı ve düzeni birbiriyle aynıdır. Çerçevelerde temel üst kotundan 1. kat kirişi üst kotuna kadar olan mesafe yani 1. kat yüksekliği 1200 mm, 1. kat kirişi üstünden 2. kat kirişi üstüne kadarki mesafe yani 2. kat yüksekliği de 900 mm'dir. Açıklık mesafesi dıştan dışa 1500 mm olarak tasarlanmıştır. Güçlü kiriş-zayıf kolon uygulaması maksadıyla, kirişler 150x150 mm boyutlarında, kolonlar da 100x150 mm boyutlarında üretilmiştir. Betonarme çerçeveler, 500x700x2500 mm ebatlarındaki temellere mesnetlenmiştir. Çerçeveler 190x85x190 mm ölçülerindeki (8.5 cm kalınlığında) tuğlalarla örülmüş ve sıvanmıştır. Duvar örme ve sıvama aşamalarında, kum, çimento, kireç ve su malzemelerinin karışımından elde edilen harçlar kullanılmıştır.

3 deney numunesinde de güçlendirme uygulaması için kullanılan çelik profiller, St37 çeliğinden L köşebent olarak seçilmiş olup L60x60x6 mm ölçülerindedir.

Hazırlanan 3 çerçeve deney numunesi de, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında teste tabi tutulmuştur. Laboratuvarda üretilen 3 numunenin ve diğer çalışmadan alınmış olan 2 numunenin genel görünüşleri, isimleri ve değişkenleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

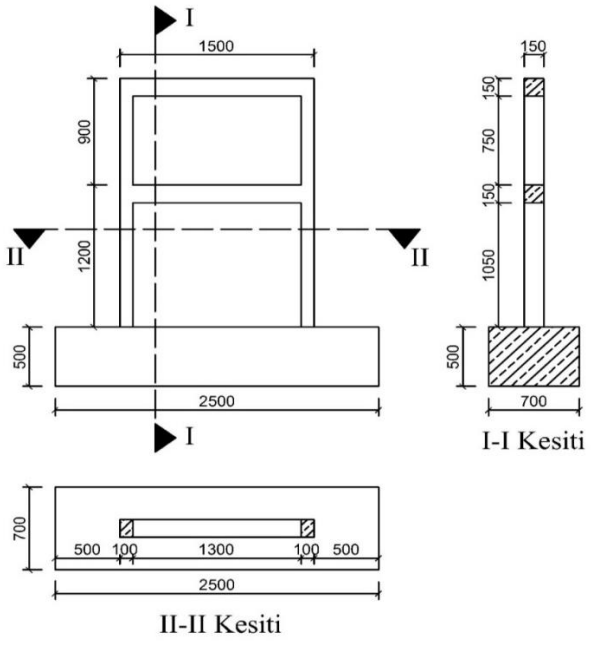
Çizelge 3.1. Deney numuneleri

Deney Numarası	**Deney Numunesinin İsmi ve Özellikleri**	**Deney Numunesinin Genel Görünüşü**
1. Deney	Referans Çerçeve (RÇ) İki Katıda Dolgu Duvarlı Çerçeve (Öğütçü, 2016)	
2. Deney	Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) Sadece Üst katı Dolgu Duvarlı Çerçeve (Öğütçü, 2016)	
3. Deney	K-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (KÇÇ) Üst Katı Dolgu Duvarlı, Alt Katı (<>) Şeklinde K Çaprazla Güçlendirilmiş Çerçeve	
4. Deney	Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (DVÇÇ) Üst Katı Dolgu Duvarlı, Alt Katı (V) Şeklinde Düz V Çaprazla Güçlendirilmiş Çerçeve	

5. Deney	Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (YVÇÇ) Üst Katı Dolgu Duvarlı, Alt Katı (>) Şeklinde Yan V Çaprazla Güçlendirilmiş Çerçeve	

3.1.2 Numunelerin Boyutları

Betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli deney numunelerinin kesitleri ve genel tasarımları aşamasında, Türkiye'deki genel bina stoğu göz önünde bulundurulmuştur. Mevcut ve yapım aşamasındaki birçok binada çokça rastlanan durum olan, zemin kat yüksekliğinin üst katlara nazaran fazla olması hususu, hazırlanan numuneler için de uygulanmıştır. Dolayısıyla çerçeveler ilk halleriyle yumuşak kat düzensizliğine sahip olarak üretilmiştir. Tüm tasarımlar 1/3 ölçeğinde yapılmıştır. (Şekil 3.1)'de detaylı olarak gösterilmiş olan numunelerde genel boyutlar; dıştan dışa açıklık 1500 mm, 1. kat yüksekliği 1200 mm, 2. kat yüksekliği 900 mm şeklindedir. Kiriş kesitleri 150x150 mm ve kolon kesitleri 100x150 mm olarak tasarlanmış ve imal edilmiş olup, güçlü kolon-zayıf kiriş yaklaşımı, kasten, güçlü kiriş-zayıf kolon şeklinde yanlış uygulanmıştır. Deney numunelerinin temelleri üzerinde bir ölçüm yapılmayacağından, temel rijitliği yüksek tutulmuş ve ebatları 500x700x2500 mm olacak şekilde üretilmiştir.



Şekil 3.1. Boş çerçevenin boyutları ve görünümü (Tüm ölçüler mm cinsindendir.)

3.1.3 Numunelerin Detayları

Çalışmada uygulanan donatı ve beton detayları, ülkemizdeki betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli binalarda çokça görülen, çeşitli yapım hatalarını ihtiva edecek şekilde tasarlanmıştır. Çerçevelerde kullanılan betonda, basınç dayanımının f_{ck} =16 MPa olması hedeflenmiştir.

Deney çerçevelerinde kullanılan donatının, nervürsüz S220 çeliğinden olması planlanmış olsa da, piyasadan sadece kolon ve kiriş etriyeleri nervürsüz S220 çeliğinden tedarik edilebilmiş, diğer bütün donatılar nervürlü S420 çeliğinden temin edilmiştir.

Çerçeve kirişlerine, açıklıkta altta 3Ø10 ana eğilme donatısı ve üstte 3Ø10 montaj donatısı yerleştirilmiştir. Kirişlerde pilye donatısı kullanılmamış, açıklık ve mesnette donatı oranı sabit tutulmuştur. Kirişlerde kullanılan ana eğilme donatısı oranı yaklaşık olarak ρ=0.01'dir. Denklem 3.1'de gösterildiği gibi bu oran TS500-2000'de belirtilen şartları sağlamaktadır.

$$0.02 > \rho = \frac{A_s}{b_w \times h} = \frac{3\times79}{150\times150} = 0.01053 \geq \rho_{min} = 0.8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \times \frac{0.93}{365.2} = 0.00204 \quad (3.1)$$

Kolonlardaysa, ρ=0.021 donatı oranıyla, 4Ø10 ana boyuna donatı kullanılmıştır. Bu donatı oranı TS 500-2000 ve TDY-2007'de belirtilen ρ_{min}=0.01 şartını sağlamaktadır (Denk.3.2).

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times h} = \frac{4\times79}{150\times100} = 0.021067 \geq \rho_{min} = 0.01 \quad (3.2)$$

Kiriş ana ve montaj donatıları, kolon dış yüzeyine kadar uzatılmış ve 150 mm kiriş derinliği boyunca, aşağı ve yukarı doğru bükülmüştür. Kolonlarda da boyuna donatılar bindirmeli ek yapılmadan sürekli olarak kullanılmıştır.

Çerçevelerin kolon ve kiriş elemanlarının tamamında, enine donatı (etriye) olarak Ø4/100 mm nervürsüz S220 çeliği kullanılmıştır. Kolon ve kiriş etriyeleriyle ilgili TS500-2000 ve TDY-2007 yönetmeliklerinde belirtilen şartlar (Denk.3.3,3.4 ve 3.5)'teki gibidir.

Kirişlerde;

- Etriye çapı en az $8\ mm$
- Etriye aralıkları orta bölge için

$$s \leq d/2 = 140/2 = 70\ mm \quad (3.3)$$

Kolonlarda;

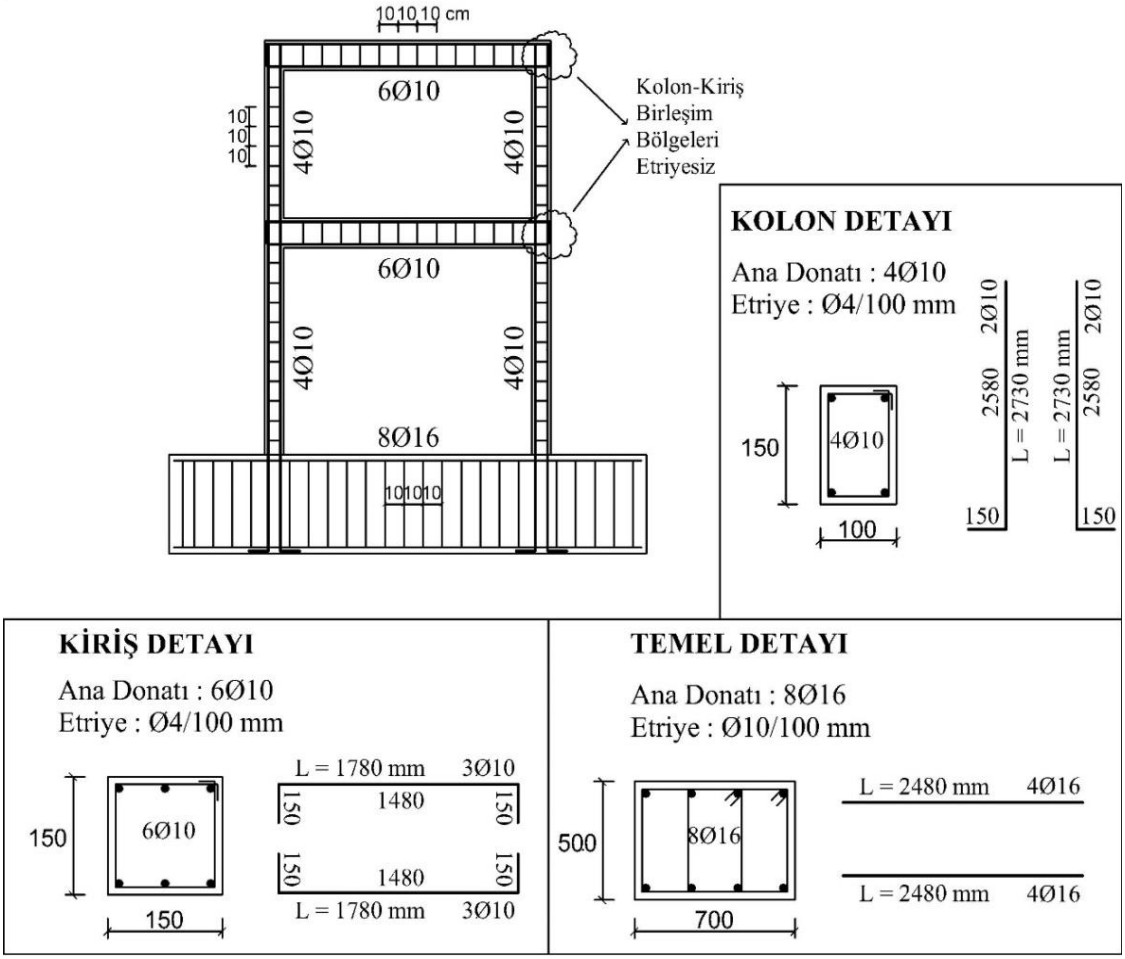
- Etriye çapı en az $Ø_l/3 = 10/3 = 3.33\ mm, 8\ mm$ (3.4)
- Etriye aralıkları orta bölge için

$$s \leq h/2 = 100/2 = 50\ mm\ ,\ \ s \leq 12\,Ø_l = 12 \times 10 = 120\ mm, s \leq 200mm \quad (3.5)$$

Etriye aralıklarının ve çaplarının, ilgili yönetmeliklere uygun kullanılmamasının etkisi incelendiğinden dolayı, kolon ve kirişlerde etriyeler Ø4/100 mm olacak şekilde sıklaştırma yapılmadan yerleştirilmiştir.

Çerçeve temellerinde, 8Ø16 boyuna ve Ø10/100 mm enine, olacak şekilde donatı düzeni vardır.

Çerçeve deney numunelerinin genel donatı düzeni ve detayları (Şekil 3.2).'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çerçeve donatı detayları

Kolon ve kiriş elemanlarının etriyelerinde kancalar, genel uygulama hatalarındaki durum göz önünde bulundurulup, 135º yerine 90º olarak bükülmüştür. Temel etriyelerinin kancaları 135º olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca kirişlerin, kolonların içerisine giren uç bölgelerinde, etriyeler devam ettirilmemiştir. Deney çerçevelerinin tamamında paspayı mesafesi, donatı yüzünden 10 mm olacak şekilde uygulanmıştır. Donatı montajı yapılmış numunelerin genel görünüşü Şekil 3.3'te görüldüğü gibidir. Çerçeve birleşim bölgelerinin detayları da Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Donatı montajı tamamlanmış çerçeve deney numunesi



Şekil 3.4. Çerçeve birleşim bölgelerinin detayları

3.1.4 Numunelerin Malzeme Özellikleri

3.1.4.1 Beton

Betonarme çerçeve deney numuneleri S.Ü. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda hazırlanmış ve üretilmiştir. TDY-2007 yönetmeliğinde belirtilen şartla beton basınç dayanımının minimum 20 MPa olması gerekirken, mevcut yapı stokunun durumu düşünüldüğü için, üretilen numunelerde beton basınç dayanımının yaklaşık 16 MPa civarında kalması hedeflenmiştir. Deney çerçevelerinin, donatı montajı tamamlandıktan sonra, yatay konumda betonları dökülmüştür.

Çerçevelerin beton basınç dayanımları, döküm esnasında alınan küp beton numunelerinin, 28 gün geçtikten sonra eksenel basınç testine tabi tutulması ile saptanmıştır. Şekil 3.5'te kenar uzunlukları 15 cm olan küp beton numunelerinin, dijital basınç makinası ile kırılma aşaması gösterilmiştir. Çizelge 3.2'de de yapılan testler sonucu belirlenen ve (Öğütçü, 2016) tarafından yapılmış çalışmadan alınan numunelere ait basınç dayanımları ve ortalaması gösterilmiştir. Neticede, 3 adet güçlendirilmiş numunede kullanılan betonun, ortalama basınç dayanımı 15.69 MPa çıkmıştır.



Şekil 3.5. Küp beton numunelerinde eksenel basınç testi ile dayanımların belirlenmesi

Çizelge 3.2. Deney numunelerinin beton basınç dayanımları

Deney Numunesi	Küp Basınç Dayanımı (MPa)	Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Karakteristik Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Karakteristik Beton Basınç Dayanımı (MPa)
RÇ-1 (Öğütçü, 2016)	-	14.94	14.94	**13.84**
RÇ-2 (Öğütçü, 2016)	-	13.48	13.48	
YKÇ-1(Öğütçü, 2016)	-	13.35	13.35	
YKÇ-2 (Öğütçü, 2016)	-	13.59	13.59	
KÇÇ	20.06	-	16.05	**15.69**
DVÇÇ	18.79	-	15.03	
YVÇÇ	19.97	-	15.98	

3.1.4.2 Donatı

Türkiye'de deprem performansı düşük, yetersiz süneklikte olan binalarda çoğunlukla nervürsüz donatılara rastlanmaktadır. Bu durum düşünülüp, çerçeve deney numunelerinde kullanılan bütün donatıların nervürsüz olması amaçlanmış olsa da, piyasada bulunamamış, kolon, kiriş etriyeleri hariç bütün donatılar nervürlü S420 çeliğinden temin edilmiştir. Sadece kolon ve kiriş etriyeleri, özel siparişle, S220 nervürsüz düz çelikten üretilmiştir.

Montajı yapılan donatılar çelik çekme testine tabi tutulmuştur. Donatılardan 3'er tane 400 mm boyunda numuneler alınarak çekme testi yapılmıştır. Donatı çekme testi esnasında alınmış bir görüntü Şekil 3.6'da verilmiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen dayanım değerleri Çizelge 3.3'teki gibidir.



Şekil 3.6. S.Ü. İnşaat Müh. Böl. Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılan çelik çekme deneyi

Çizelge 3.3. Donatı dayanım değerleri

Donatı Tipi	Donatı Çapı (mm)	Akma Dayanımı f_{yk} (MPa)		Maksimum Çekme Dayanımı f_{su} (MPa)	
		Ayrı	Ortalama	Ayrı	Ortalama
Kolon, Kiriş Boyuna Donatıları, S420	10	411	406	615	625
		406		623	
		402		638	
Temel Boyuna Donatıları, S420	16	398	397	547	548
		395		534	
		400		565	
Temel Etriyeleri, S420	10	403	398	510	514
		394		528	
		398		503	

3.1.5 Numunelerin Hazırlanması

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda hazırlanan deney numunelerinde, boyutlar, donatı düzeni, çerçeve özellikleri vb. gibi özellikler özdeş olacağından 3 deney numunesi de eş zamanlı olarak üretilmiş ve ardından güçlendirme safhasında takviye elemanları bu çerçevelere monte edilmiştir.

3.1.5.1 Boş Çerçevelerin Üretilmesi

Betonarme çerçevelerin üretiminde, ilk aşamada kalıp montajı tamamlandıktan sonra donatılar düzenlenip kalıpların içine yerleştirilmiş, ardından çerçeveler beton dökümüne hazır hale getirilip döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Bütün çerçeve deney numuneleri, yatay pozisyonda yerde hazırlanıp üretilmiştir.

Kalıp montajı, hazırlanan kalıp planına göre, 18 mm et kalınlığına sahip parlak ve kaygan dış yüzeyli suntalarla yapılmıştır. Çerçevelerin deney yüklemesi esnasında hareket etmeden sabit durabilmesi için, laboratuvar döşemesinde açılmış olan deliklere eş değer olacak şekilde, temel kalıpları üzerinde de delikler açılmıştır. Çerçevelerin döşemeye mesnetlenebilmesi amacıyla, mesafeleri önceden belirlenip açılan bu deliklerin içine 76 mm çapında içi boş çelik borular yerleştirilip, beton dökümü aşamasında deliklerin kapanma riski ortadan kaldırılmıştır. Kalıplara birleşim bölgelerinde takviye yapılarak, döküm esnasında açılması engellenmiştir. Çerçeve kalıplarının montajı, Şekil 3.7 ve 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kalıpların hazırlanması



Şekil 3.8. Kalıp montajı tamamlanmış çerçeveler

Kalıpların montaj aşaması tamamlandıktan sonra donatı montajına geçilmiş, daha önceden hesaplanmış ve belirlenmiş olan donatı düzenine göre donatılar hazırlanıp kalıplara yerleştirilmişlerdir. Donatıların hazırlanma aşaması ve kalıpların içine yerleştirilmesi Şekil 3.9 ve 3.10'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.9. Donatıların hazırlanması



Şekil 3.10. Donatıların çerçeve kalıplarına yerleştirilmesi

Donatı montajının da tamamlanmasının ardından, bir sonraki aşama olan beton dökümü için, çerçevelerde hazırlıklar yapılmıştır. Bu doğrultuda, kalıplar, beton dökümü esnasında açılmaması maksadıyla, çeşitli malzemelerle desteklenmiştir. Çerçevelerin tasarım aşamasında, beton basınç dayanımlarının f_{ck}=16 MPa olması hedeflenmiştir. Bu nedenle, Konya'da bulunan özel bir beton santralinden, özel siparişle laboratuvara getirtilen beton, hazırlanan kalıplara mikserle dökülmüştür. Beton dökümü devam ederken, bir taraftan, dökülen betonun kalıplara düzgünce yerleşmesi için, vibratörle

sıkıştırma ve çelik çubuklarla şişleme işlemi yapılmıştır. Bütün çerçeve numunelerinde özdeş beton karakteristiklerini sağlamak amacıyla, 3 numunenin de beton döküm işlemi, aynı anda aynı mikserden gelen betonla gerçekleştirilmiştir. Beton döküm aşaması ve dökümü tamamlanmış numuneler Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Beton döküm aşaması ve dökümü tamamlanmış çerçeveler

Kalıp söküm işlemi, betonun prizini alması beklenip dökümden yaklaşık bir hafta sonra gerçekleştirilmiştir. Dış yüzeyi kaygan sunta malzemesinden imal edilmiş olan kalıplar, söküm sırasında numuneye yapışmamış ve rahatlıkla çıkarılmıştır. Laboratuvarda bulunan vinç yardımıyla kaldırılıp yataydan dikeye getirilen çerçeveler, betonun yeterli dayanıma erişmesi için 28 gün boyunca bu pozisyonda bekletilmiştir (Şekil 3.12). Ayrıca beton dökümünün tamamlanmasından sonra, çatlamayı önlemek için, ilk 1 hafta numuneler sabah ve akşam olmak üzere günde 2 defa sulanmıştır.



Şekil 3.12. Kalıpların sökülmesi ve numunelerin dikey konuma getirilmesi

3.1.5.2 Dolgu Duvarların Örülmesi ve Sıvanması

Betonarme boş çerçevelerin üretiminin tamamlanmasının ardından çerçevelerin üst katlarına uygulanması öngörülen dolgu duvar örümü işlemine geçilmiştir. Duvar örümü 8.5'luk blok tuğlalar (85 mmx190 mmx190 mm) ile geçekleştirilmiştir.. Tuğlalarda basınç dayanımı, deliklere paralel yönde 12.0 MPa, boşluklara dik kısa yönde 2.8 MPa ve boşluklara dik uzun yönde 3.2 MPa olarak ölçülmüştür. Örüm işlemi bittikten sonra duvarlar iki yüzünden de kaba sıva ile sıvanmıştır. Örme ve sıvama aşamasında kullanılan harç, kum, çimento, kireç ve su malzemelerinden oluşmaktadır. Duvar örümü ve sıvanması aşamalarında, numuneler birkaç gün sulanmıştır. Daha sonrasında, çerçeve numuneler, deneyler esnasında oluşacak çatlakların net görülmesi için, beyaz boyayla boyanmıştır (Şekil.3.13).



Şekil 3.13. Çerçevelerde dolgu duvar örümü ve sıvanması aşamaları

3.1.6 Numunelerin Güçlendirilmesi

Güçlendirme uygulamaları kapsamında, numunelere montajı yapılan çapraz çelik profiller, St37 çeliğinden L60x60x6 mm köşebent olarak temin edilmiştir. Hazırlanan güçlendirme projesine göre, betonarme çerçeve numuneleri ile çelik profillerin bağlantısı için, 8 mm et kalınlığına sahip çelik plakalar hazırlatılmış, M12 uygun ankraj bulonları temin edilip bulonlar yardımıyla plakalar betona ankrajlanmış, ardından profiller de bu plakalara kaynaklanmıştır. Bu amaçla, numunelerde kullanılmak üzere, 3 tip plaka, bulon delik mesafeleri yönetmeliklere uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Ankrajlama işlemi için betonarme çerçeve elemanlarının delinecek bölgeleri işaretlenip, darbeli matkap

vasıtasıyla delikler dikkatlice açılmıştır. Ayrıca çerçevelerdeki düzlem dışı hareketlerin önlenmesi için çelik profiller şaşırtmalı olarak kaynaklanmıştır. Şekil.3.14'te güçlendirme uygulamasında kullanılan malzemeler gösterilmiştir ve numunelerde yapılan ankraj ve kaynak işleri de Şekil 3.15'te görüldüğü gibidir.



a) **b)** **c)**

Şekil 3.14. Güçlendirme uygulamasında kullanılan malzemeler **a)** Plakalar, **b)** Ankraj Bulonları ve **c)** L-Profiller



a)

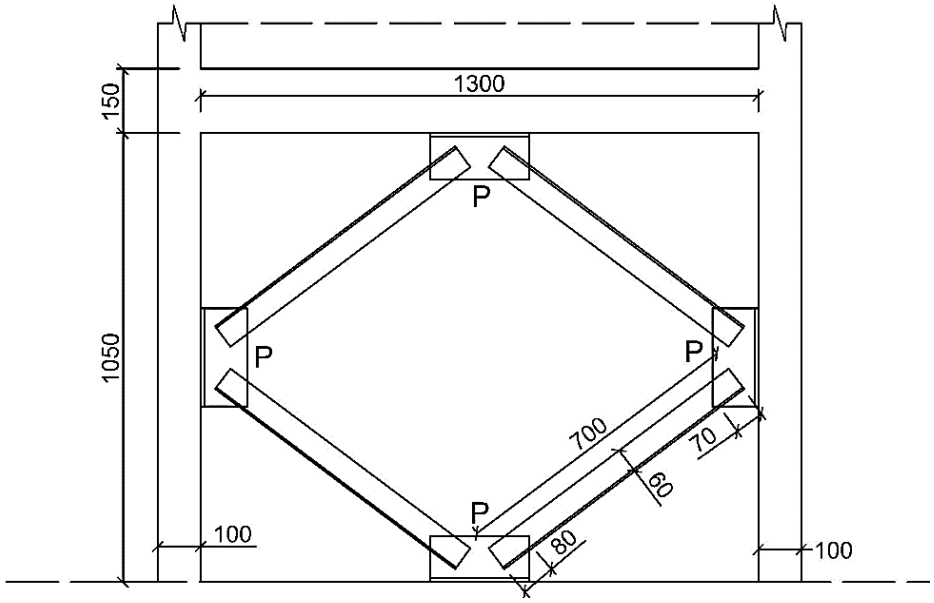


b)

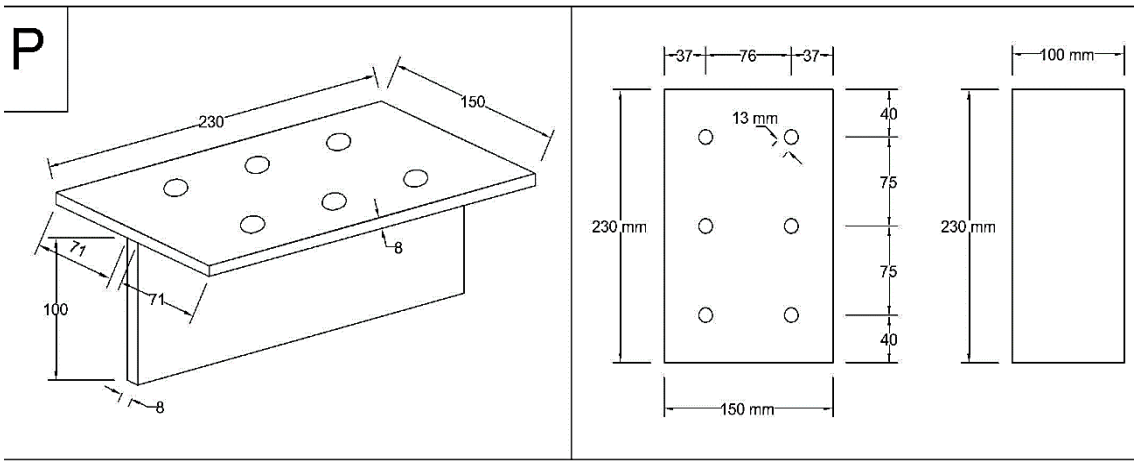
Şekil 3.15. a) Ankraj ve **b)** Kaynak işleri

3.1.6.1 K-Tipi Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmiş Numunede (KÇÇ) Güçlendirme Detayları

Üst katı dolgu duvarlı KÇÇ numunesi, alt katında L köşebent ile (<>) şeklinde K tipi çapraz oluşturularak güçlendirilmiştir. Güçlendirme detayı Şekil.3.16'da gösterilmiştir. KÇÇ numunesinde kullanılan plakalar P tipi olarak isimlendirilmiştir. Şekil.3.17'de P tipi plakanın detayları verilmiştir.



Şekil 3.16. KÇÇ numunesinin güçlendirme detayı (Tüm ölçüler mm cinsindendir.)



Şekil 3.17. P-Tipi plaka detayı

(TDY, 2007) yönetmeliğinde 4.7.1.1 numaralı bölümde verilen enkesit şartlarına göre, çaprazların kenar uzunluğu/kalınlık oranının, yönetmeliğin Tablo 4.3'te verilen

şartını sağlaması icap etmektedir. Çapraz elemanın enkesitinde yerel burkulmanın engellenmesi amacıyla belirlenmiş olan bu şart, süneklik düzeyi normal sistemlerde Denk. 3.6'da olduğu gibidir.

$$\frac{h}{t_w} \leq 0.5\sqrt{E_s/\sigma_a} \tag{3.6}$$

L60x60x6 için h=60 mm, t_w = 6 mm ve i_{min} = 1.17 cm

St 37 çeliği için;

$$\frac{60}{6} = 10 \leq 0.5\sqrt{\frac{200000}{235}} = 14.59$$

elde edilir ve belirlenen enkesit şartının sağlandığı görülmektedir.

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

KÇÇ numunesinde çelik profil boyu L = 70 cm olduğundan, narinlik oranı;

$$\lambda = \frac{70}{1.17} = 59.83 < 250$$

Yönetmelik bölüm 4.7.1.2'e göre, basınca çalışan elemanlarda narinlik oranı $4.0\sqrt{(E_s\ /\ \sigma_a\ )}$ sınır değerini aşmayacaktır. (3.7)

$$4.0\sqrt{(E_s\ /\ \sigma_a\ )} = 4.0 \times 29.17 = 117$$

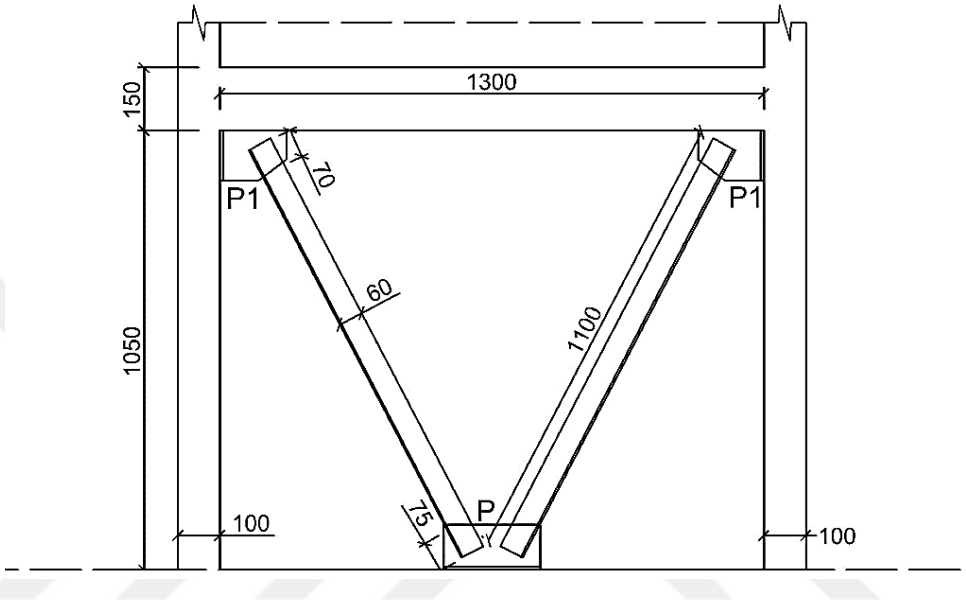
KÇÇ numunesinde çelik profil boyu L = 70 cm olduğundan, narinlik oranı;

$$\lambda = \frac{70}{1.17} = 59.83 < 117$$

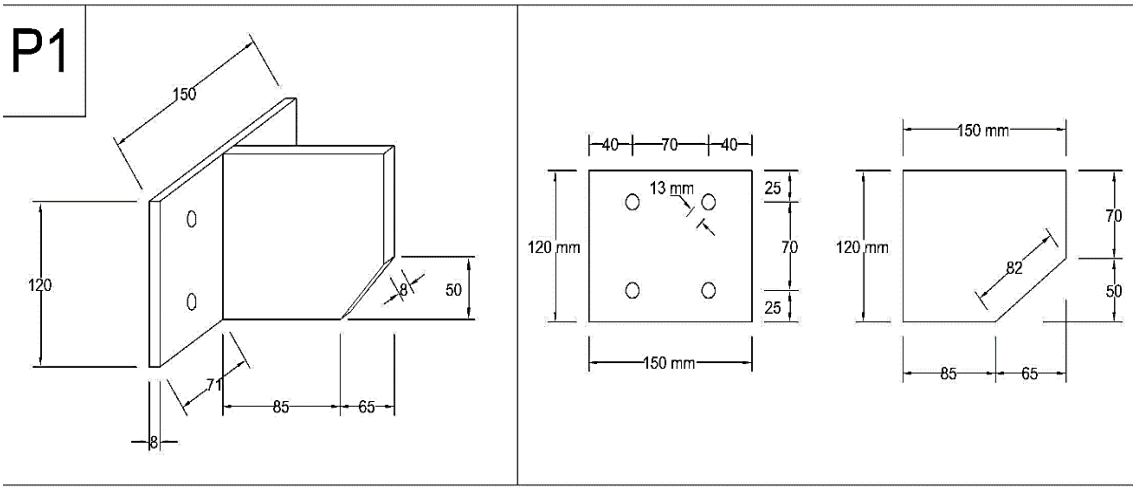
olduğundan narinlik koşulu sağlanmaktadır.

3.1.6.2 Düz V-Tipi Çelik Çaprazla Güçlendirilmiş Numunede (DVÇÇ) Güçlendirme Detayları

Yine üst katı dolgu duvarlı DVÇÇ numunesi, alt katında L köşebentler kullanılarak, (V) şeklinde düz V tipi çaprazlarla güçlendirilmiştir. Numuneye ait güçlendirme detayı Şekil.3.18'de gösterildiği gibidir. DVÇÇ numunesinde kullanılan plakalar P ve P1 tipi plakalardır. Şekil.3.19'da P1 tipi plakanın detaylarına yer verilmiştir.



Şekil 3.18. DVÇÇ numunesinin güçlendirme detayı (Tüm ölçüler mm cinsindendir.)



Şekil 3.19. P1-Tipi plaka detayı

DVÇÇ numunesi için de Denklem 3.6'da verilen enkesit şartı sağlanmaktadır.

Çekme durumunda narinlik koşulu; DVÇÇ numunesinde diğer numuneden farklı olarak kullanılan çelik profil boyu L = 110 cm olduğundan, narinlik oranı;

$$\lambda = \frac{110}{1.17} = 94.02 < 250$$

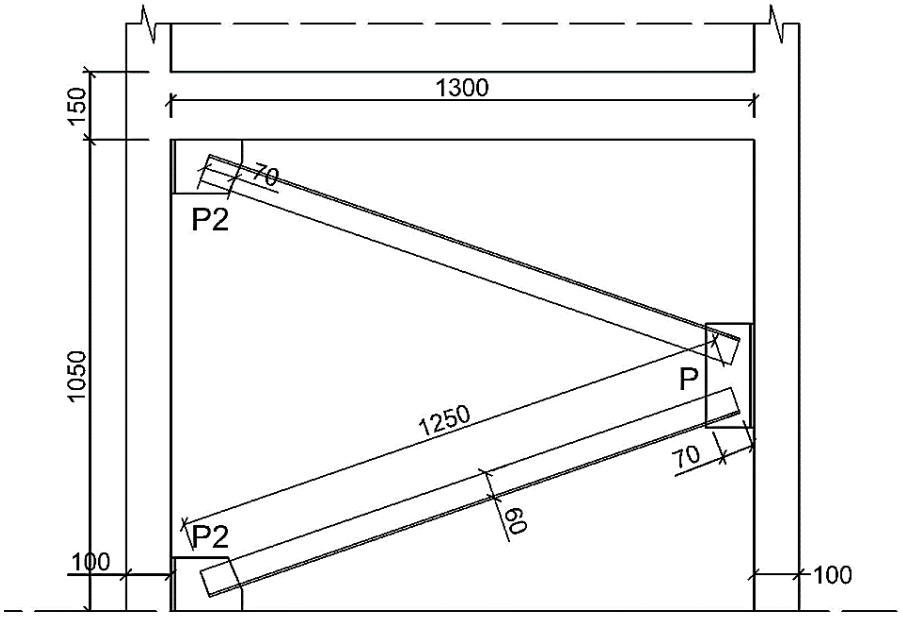
Basınç durumunda narinlik koşulu;

$$\lambda = \frac{110}{1.17} = 94.02 < 117$$

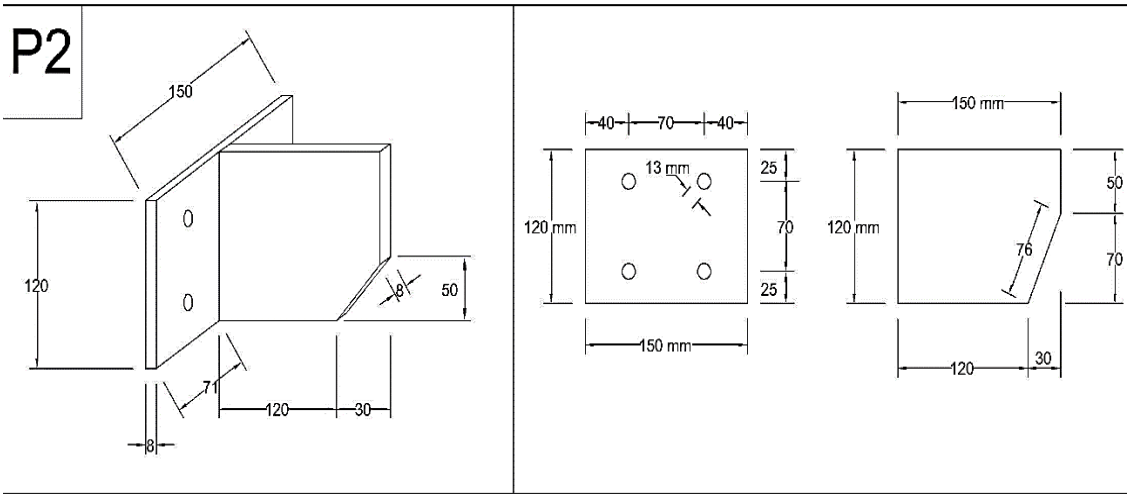
olduğundan her iki durum için de narinlik koşulu sağlanmaktadır.

3.1.6.3 Yan V-Tipi Çelik Çaprazla Güçlendirilmiş Numunede (YVÇÇ) Güçlendirme Detayları

Üst katında dolgu duvarlı olan YVÇÇ numunesinin alt katında, (>) şeklinde L köşebentler yerleştirilerek, yan V tipi çaprazlarla güçlendirilmiştir. Yapılan güçlendirmenin detayı Şekil.3.20'de verilmiştir. YVÇÇ numunesinin güçlendirme bağlantıları için kullanılan plakalar P ve P2 tipi plakalardır. Şekil.3.21'de P2 tipi plakanın detayları gösterilmiştir.



Şekil 3.20. YVÇÇ numunesinin güçlendirme detayı (Tüm ölçüler mm cinsindendir.)



Şekil 3.21. P2-Tipi plaka detayı

Aynı şekilde YVÇÇ numunesi de Denklem 3.6'da verilen enkesit şartını sağlamaktadır.

Çekme durumunda narinlik şartı; YVÇÇ numunesinde diğer numunelerden farklı olarak kullanılan çelik profil boyu L = 125 cm olduğundan, narinlik oranı;

$$\lambda = \frac{125}{1.17} = 106.84 < 250$$

Basınç durumunda narinlik şartı;

$$\lambda = \frac{125}{1.17} = 106.84 < 117$$

olduğundan her iki durumda da narinlik şartı sağlanmaktadır.

3.2 Deney Düzeneği, Yükleme ve Ölçüm Tekniği

Yapılan çalışmada, tek açıklıklı-iki katlı ve alt katı üst katından daha yüksek olan çerçeve deney numuneleri, S.Ü. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda üretilmiş olup, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında teste tabi tutulmuştur.

Numuneler hazırlanırken, ilk önce kalıplar düzenlenmiş ve çakılmış, ardından hazırlanan donatılar kalıpların içerisine monte edilmiştir. Numuneler beton dökümüne hazır hale getirildikten sonra döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında çerçevelerin

üst katlarında, tuğla duvar örümü ve sıvanması işlemleri yapılmış ve projelendirilen güçlendirme uygulaması, çelik profiller ve plakalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler deneylere hazır hale getirildikten sonra, vinç yardımıyla düşey konuma getirilip deney düzeneğine yerleştirilmiştir.

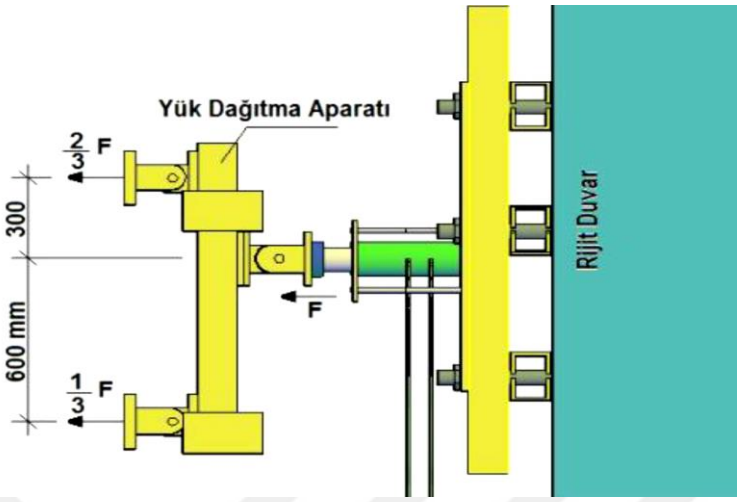
Deney düzeneğine yerleştirilen numunelerin temellerindeki önceden bırakılmış delikler, döşemedeki deliklerle çakıştırılıp, çerçeveler bu bölgelerinden büyük cıvatalar yardımıyla laboratuvar döşemesine mesnetlenmiştir. Dayanma duvarında bulunan delikler kullanılarak, yükleme sistemi yatay olarak sabitlenmiş ve deneyler esnasında, pistonlar aracılığı ile numunelere, bu sistemle yatay yük uygulaması yapılmıştır. Deneylerde, bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak, uygulanan yük ve oluşan deplasman değerleri kaydedilmiştir. Deneylere, yük odaklı olacak şekilde başlanılmış ve sistem akma durumuna eriştikten sonra deplasman odaklı olarak devam edilmiştir.

3.2.1 Yükleme Düzeneği

Maksimum 500 kN basınç ve 500 kN çekme kuvveti üretebilen bir hidrolik silindir vasıtasıyla numunelerin yükleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında etkitilen yükün değerini ölçebilmek amacıyla, hidrolik silindire yük hücresi bağlanması gerektiğinden dolayı, silindirin uç kısmına yiv açılmıştır. Bu sayede, basınçta ve çekmede, yük hücresi aracılığıyla, uygulanan yük verileri bilgisayar ortamına iletilmiştir.

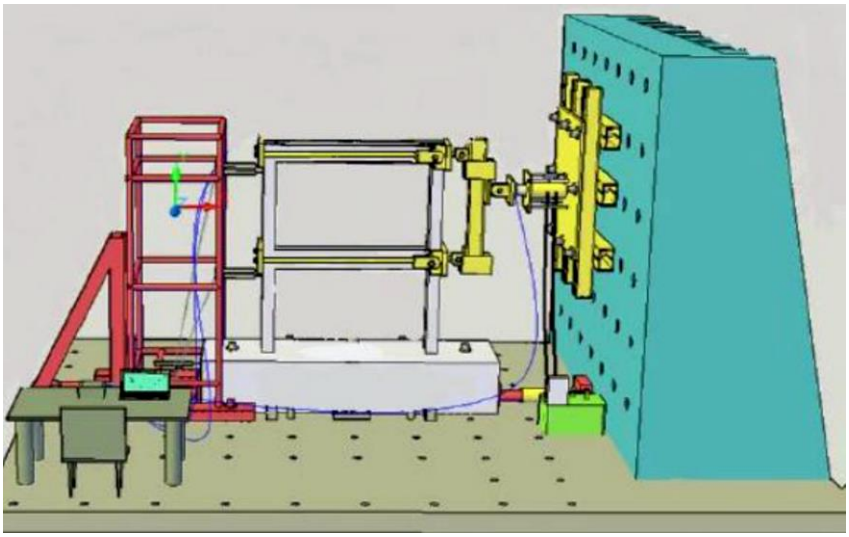
Çerçevelerin alt ve üst katlarında meydana gelebilecek farklı deplasmanlarda, sistemin hareket kabiliyetini rahatlatmak amacıyla, yük hücresi (load-cell) bir plakaya bağlanıp bu plakanın uç kısmında da mafsallı bir sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan mafsal, 300 mmx300 mm kesitine ve 1,500 mm boy uzunluğuna sahip bir kutu profile kaynaklanmıştır. Üst kat yüksekliği 900 mm olan iki katlı tek açıklıklı çerçeve numunelere özel olarak tasarlanmış olan bu sistemde, kaynaklama işlemi üst kat kirişinin ortasından 300 mm aşağı ve alt kat kirişinin ortasından 600 mm yukarıda yapılmıştır. Bu düzene göre, çerçevelere etkiyen toplam yatay yük 2/3 oranında üst kata ve 1/3 oranında alt kata dağıtılabilecektir (Şekil.3.22). Teşkil edilen kutu profilde, alt ve üst kat kirişlerinin geldiği hizalara plakalar kaynatılmış ve böylece deprem etkisinin sistem üzerinde daha iyi gözlemlenmesi amaçlanarak yükün bu plakalar üzerinden direkt kolon kiriş birleşim bölgelerine aktarılması sağlanmıştır. Rijit çelik profil mafsallar aracılığıyla numune kat kiriş hizalarından bağlanmıştır. Kiriş elemanlarına paralel olacak şekilde

transmisyon milleri yerleştirilip, tersinir-tekrarlanır çevrimsel yük uygulaması için çekme çevriminin yapılabilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.22. Yük dağıtma sistemi

Deneyler esnasında çerçevelere uygulanacak yükün büyük olmasından dolayı oluşabilecek temel hareketinin engellenmesi, ölçümlerin hassasiyeti açısından önemlidir. Bu nedenle çerçeveler 76 mm çapında, 540 mm uzunluğundaki borularla laboratuvar döşemesindeki deliklere mesnetlenmiştir. Bunun yanında yine olası temel hareketinin önüne geçilmesi için, temel iki tarafından da hidrolik silindirlerle sıkıştırılmıştır. Ayrıca deplasman ölçümleri almak için kullanılan potansiyometrik cetveller (LVDT), deneyler esnasında oynamaması için, kutu profillerden oluşturulan iskelelere bağlanmış ve bu iskeleler de laboratuvar döşemesine aynı şekilde borularla sabitlenmiştir. Yükleme düzeneğinin genel görünümü Şekil.3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.23. Yükleme düzeneğinin genel görünümü

3.2.2 Ölçüm Tekniği

Deneyler esnasında, uygulanan yük değerleri yük hücresi ile, oluşan deplasmanlar da potansiyometrik cetvellerle ölçülmüştür. Bu aletlerden elde edilen değerler, bilgisayar ortamına TDG marka veri toplama sistemi (data-logger) aracılığı ile aktarılmış ve kaydedilmiştir (Şekil.3.24).



Şekil 3.24. Veri toplama sistemi

3.2.2.1 Yük Ölçümleri

Deneylerde çerçevelere etkitilen yük değerleri, yük hücresi ile okunmuştur. 500 kN yük kapasitesine sahip yük hücresi, üzerinde bulunan yivle çıkış ucundan veri toplama sistemine bağlanarak, bu şekilde basınç ve çekme çevrimlerinde uygulanan yük miktarları ölçülüp bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

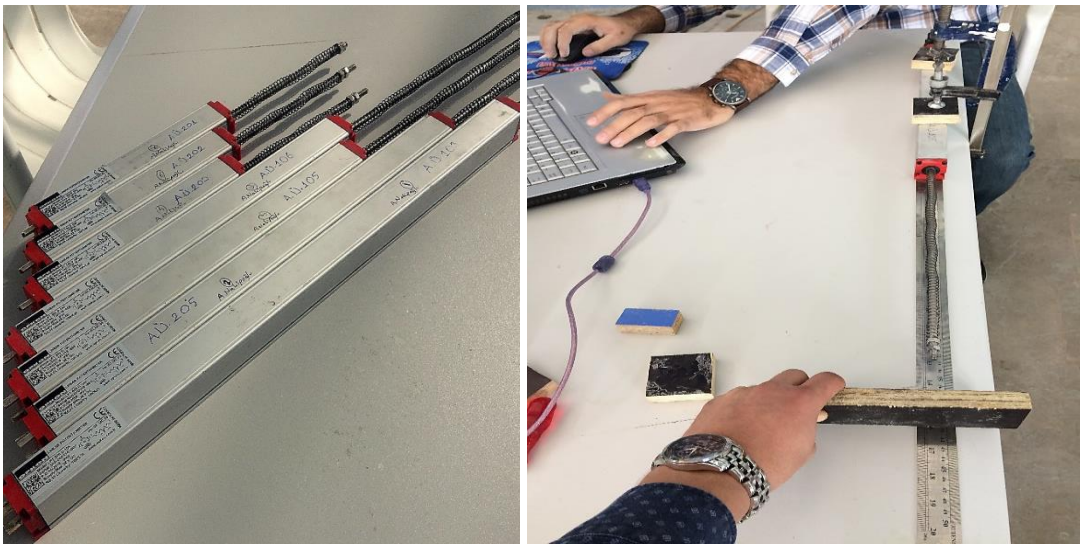


Şekil 3.25. Yük hücresi

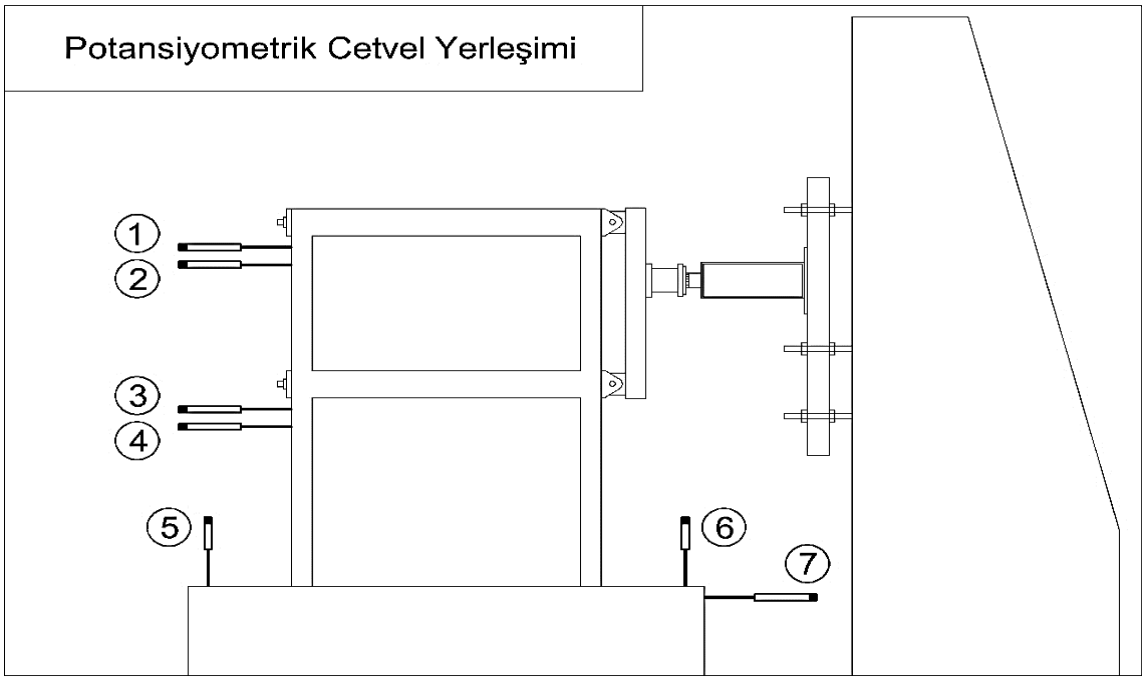
3.2.2.2 Deplasmanların Ölçülmesi

Deney çerçevelerinde oluşan deplasman miktarları, LVDT olarak da bilinen potansiyometrik cetveller yardımıyla ölçülmüştür. Cetvellerin çıkış uçları veri toplama sistemine bağlanmış, buradan bilgisayara aktarılmış ve kullanılan yazılım vasıtasıyla da veriler bilgisayarda depolanmıştır. LVDT'lerin deplasman miktarlarını okuyabilmesi için, kalibrasyonları deneylere başlanmadan yapılmıştır (Şekil.3.26). Kullanılan LVDT'lerin hassasiyeti 0.01 mm kadardır. Kat kirişleri hizasında, tersinir-tekrarlanır yük uygulamasının yapabilmesi amacıyla, konulan plakalardan dolayı, LVDT'ler bu plakaların hemen altına yerleştirilmiş ve ölçülen deplasman değerleri orantı yapılarak hesaplanıp kat hizası seviyesine getirilmiştir.

Her kata 2'şer tane LVDT yerleştirilmiştir. Ayrıca, temel hareketinin yatay ve düşey yönde takibini yapabilmek amacıyla, temel gövdesi üzerine ve kenarına da 3 adet LVDT yerleştirilmiştir. Toplamda her çerçevede 7 LVDT yerleşimi ile 7 ayrı noktadan deplasman değerleri ölçülmüştür. Deney çerçevelerindeki potansiyometrik cetvellerin yerleşimi Şekil.3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Çerçevelerde kullanılan potansiyometrik cetveller ve bunların kalibrasyonu



Şekil 3.27. Deney çerçevelerinde potansiyometrik cetvel yerleşimi

Numunelerin tüm hazırlık ve güçlendirme aşaması bittikten sonra, ölçüm sistemlerinin takılıp deney düzeneğine yerleştirilmiş halleri Şekil 3.28'de görüldüğü gibidir. Ayrıca Şekil 3.29'da da, (Öğütçü, 2016) tarafından yapılmış çalışmadan deney sonuçları alınmış olan 2 numunenin görüntüsü verilmiştir.



a) **b)** **c)**

Şekil 3.28. a) KÇÇ, **b)** DVÇÇ ve **c)** YVÇÇ betonarme çerçeve deney numunelerinin hazırlıklarının tamamlanmış, deney düzeneklerine yerleştirilmiş halleri



a) **b)**

Şekil 3.29. a) Referans Çerçeve (RÇ)'nin deney öncesi görüntüsü, **b)** Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) 'nin deney öncesi görüntüsü (Öğütçü, 2016)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, çerçeve deney numunelerinin, tersinir-tekrarlanır çevrimsel yatay yük altında test edilmesine ve yapılan testlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Numuneler farklı kapasitelere sahip olduğundan, özdeş bir yükleme programı uygulanamamıştır. Deney numuneleri, üçgensel yük dağılımı ilkesine uyularak, 2. kata 2, 1. kata 1 birim yük gelecek şekilde yüklenmiştir. Bütün deneylerde yüklemeye, öncelikle, yük odaklı artışlarla başlanılmış, daha sonra, yük-deplasman eğrisi yatay konuma geldiği zaman yani nominal akma sınırına erişildiğinde, deplasman odaklı artışlarla devam edilmiştir. Numunelerde büyük hasarlar oluşana kadar deneyler devam ettirilmiştir.

Tersinir-tekrarlanır yükleme çevrimlerinde, basınç kuvveti hali pozitif, çekme kuvveti hali negatif olacak şekilde belirlenmiştir. Deneyler anında, yüklemeye maruz kalan numunelerde meydana gelen çatlaklar, işaretlenip numaralandırılmış ve çatlakların fotoğrafları çekilmiştir. Numuneler üzerinde pozitif basınç yüklemesi sonrası oluşan çatlaklar mavi renkli, negatif çekme yüklemesi sonrası oluşan çatlaklar kırmızı renkli kalemle işaretlenmiştir. Deney numunelerinde, uygulanan son çevrimden sonra, oluşan hasarlar, fotoğraflanıp deney sonu fotoğrafları olarak verilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında, numunelerde meydana gelen hasar ve çatlaklar, bilgisayar ortamında da çizilerek gösterilmiştir. Deneye tabi tutulan her numuneye ait verilen deney sonuç verileri ve grafiklerinin ardından, bölümün sonunda, bu verilere ve grafiklere (Öğütçü, 2016) tarafından yapılmış çalışmadan alınan sonuç ve grafikler de eklenerek genel karşılaştırmalar yapılmış ve yorumlanmıştır.

4.1 Deney Sonuçları

4.1.1 Deney Numunesi- 1 (KÇÇ)

Teste tabi tutulan ilk deney numunesi, alt katı 1200 mm, üst katı 900 mm olup toplam yüksekliği temel üstünden 2100 mm olan, üst katı tuğla dolgu duvarlı ve alt katı (<>) şeklinde K-tipi çelik çaprazla güçlendirilmiş betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli numunedir. KÇÇ ve diğer numuneler için, kullanılan beton basınç dayanımı 15.69 MPa olarak belirlenmiştir. Tüm deneylerde, uygulamada çokça karşılaşılan, düşük beton kalitesi, kirişlerin kolonlardan güçlü olması, kolon-kiriş bağlantı bölgelerinde ve uçlarda etriye sıklaştırılmasının yapılmaması, etriye kancalarının 90° olacak şekilde bükülmesi

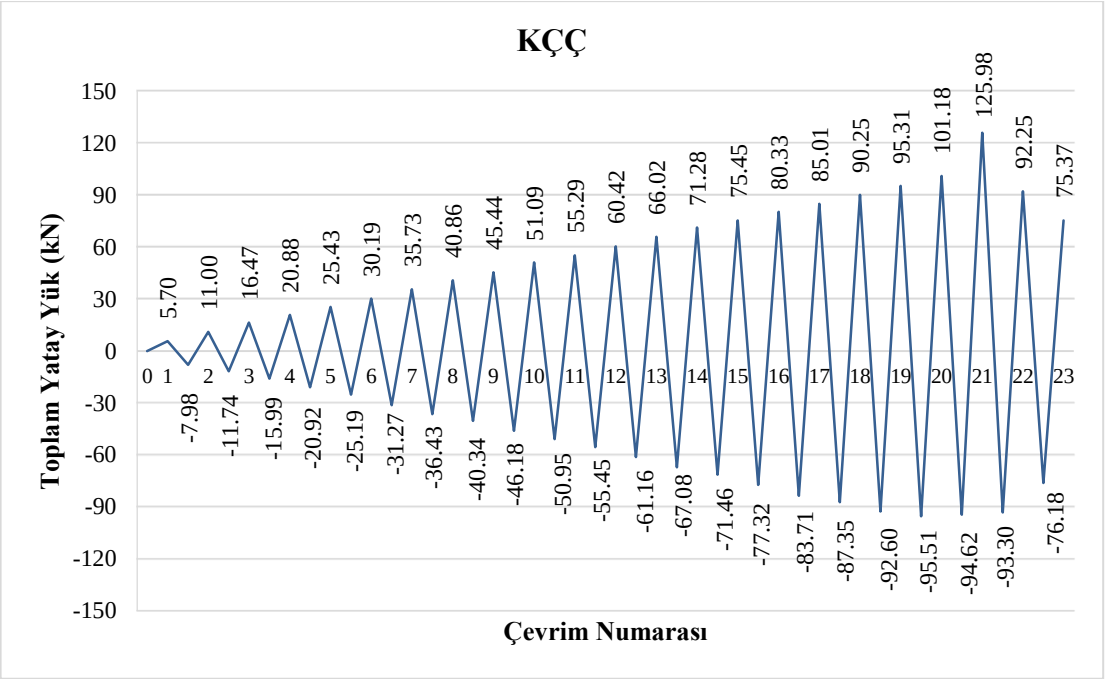
ve nervürsüz donatı kullanılması gibi mevcut yönetmelik ve standartlara uymayan betonarme çerçeve numunelerinin deprem performansı test edilmiştir.

KÇÇ numunesinin deney başlangıcından hemen öncesine ait fotoğrafı Şekil 4.1'de verilmiştir.

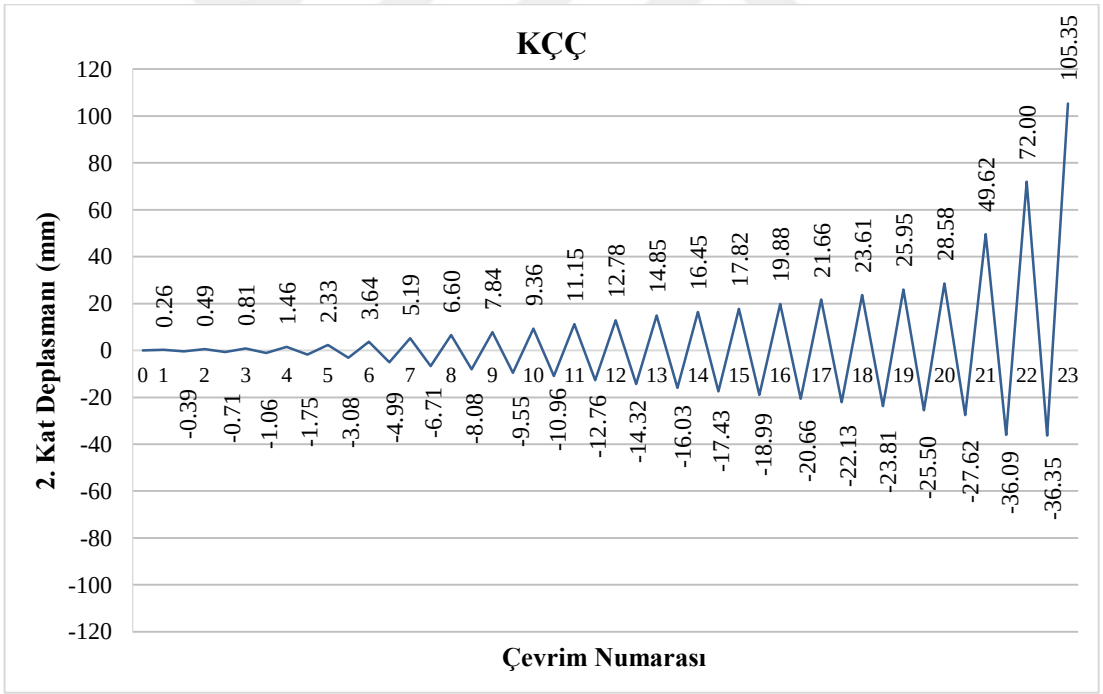


Şekil 4.1. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin deney öncesi görünümü

K-tipi çelik çaprazlı numunenin uygulanmış olan yükleme sonucunda oluşan yük geçmişi grafiği Şekil 4.2'de gösterildiği gibidir. Bu numuneye ait tepe deplasman geçmişi grafiği de Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.2. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin yatay yük geçmişi



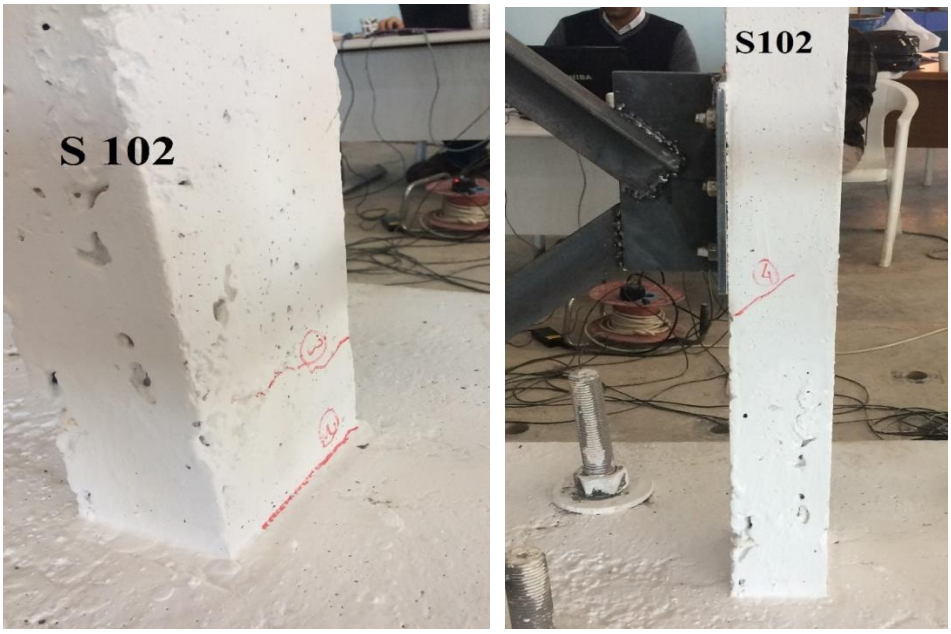
Şekil 4.3. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin tepe deplasman geçmişi

Deneyin ilk 3 çevriminde herhangi bir çatlak gözlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altındaki elastik çevrimlerdir ve numunenin elastik özelliklerinin görülmesi amacıyla değerlendirmeye alınmıştır.

Deneyde ilk çatlak oluşumu 4. çevrimin pozitif yüklemesinde görülmüştür. Beklenildiği üzere 1 numaralı çatlak, S101 kolonuyla temel birleşim bölgesinde, kolon dış yüzünde oluşmuştur (Şekil 4.4). +4 çevriminde, ulaşılan maksimum toplam yatay yük miktarı +20.88 kN olmuş ve bu yüke karşılık tepe deplasmanı değeri de +1.46 mm olarak kaydedilmiştir. 4. çevrimin negatif yüklemesinde de 2, 3 ve 4 numaralı çatlaklar meydana gelmiştir. -4 çevriminde meydana gelen çatlaklar da Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Numunede oluşan ilk çatlak



Şekil 4.5. -4 çevriminde meydana gelen çatlaklar

Deneyin her bir çevrim yüklemesinde numunede meydana gelen bütün çatlaklar, hasarlar ve gözlemlenen davranışlar, ayrı ayrı Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Çizelgede '+' işaretlerle gösterilen kısımlar, çevrimlerin, pozitif basınç yüklemesini, '-' işaretler negatif çekme yüklemesini belirtmektedir.

Çizelge 4.1. KÇÇ Numunesi İçin Deney Sırasında Oluşan Çatlaklar ve Gözlemlenen Davranışlar

Çevrim No	Maksimum Toplam Yatay Yük (kN)	Maksimum Yatay Yüke Karşılık Tepe Deplasmanı (mm)	Gözlemlenen Davranış
+1	5.70	0.26	-
-1	-7.98	-0.39	-
+2	11.00	0.49	-
-2	-11.74	-0.71	-
+3	16.47	0.81	-
-3	-15.99	-1.06	-
+4	20.88	1.46	S101 kolonuyla temel birleşim bölgesinde kolon dış yüzünde 1 numaralı ilk kılcal çatlak oluştu.
-4	-20.92	-1.75	S102 kolonuyla temel birleşim bölgesinde kolon dış yüzünde 2 ve 3 numaralı kılcal çatlaklar oluştu. S102 kolonu ön yüzünde plaka birleşiminin hemen altında 45° açıyla eğik 4 numaralı kılcal çatlak oluştu.
+5	25.43	2.33	S102 kolonu ön yüzünde plaka hizasında 5 no'lu küçük çatlak oluştu. S102 kolonu iç yüzü boyunca plaka birleşiminin üstünde 6 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu dış yüzü boyunca temelden 13cm yukarıda 7 numaralı çatlak oluştu. S101 kolonu ön yüzünde temelden 47cm yukarıda 8 no'lu eğik kılcal çatlak oluştu. S101 kolonu temelden 12.5cm yukarıda 9 no'lu yatay küçük çatlak oluştu. 1 no'lu çatlak genişledi.
-5	-25.19	-3.08	S102 kolonu ön yüzünde temel birleşim yerinde 10 no'lu çatlak oluştu. S102 kolonu temelden 11 cm yukarıda 11 no'lu kılcal çatlak oluştu. 2, 3 ve 4 no'lu çatlaklar genişledi. 3 no'lu çatlak kolon ön yüzüne doğru ilerledi. 4 no'lu çatlak aşağıya doğru uzadı. S102 kolonu ön yüzünde plaka birleşiminde 12 ve 13 no'lu

			kılcal çatlaklar oluştu. S101 kolonu ön yüzünde kolon ortalarında 14 no'lu kılcal çatlak oluştu.
+6	30.19	3.64	1 no'lu çatlak genişleyerek kolon dış yüzünün tamamı kadar ilerledi. 7 ve 9 no'lu çatlaklar genişleyip birleşti. 8 no'lu çatlak uzadı. S101 kolonu plaka birleşiminde 15 no'lu çatlak oluştu. S102-K101 kolon kiriş birleşiminde eğik 16 no'lu çatlak oluştu.
-6	-31.27	-4.99	4 no'lu çatlak genişleyerek kolon iç yüzüne doğru ilerledi. S101-K101 birleşim bölgesinde yatay 17 no'lu çatlak oluştu. S102-K101 birleşim bölgesinin 10 cm aşağısında kolon iç yüzü boyunca 18 no'lu yatay çatlak oluştu. S201 kolonuyla duvar birleşimi boyunca 19 no'lu çatlak oluştu.
+7	35.73	5.19	K101 kirişi ile duvar birleşim yeri ortasına kadar çatladı(20 no'lu). K101-S102 birleşimi kolon ön yüzünde 21 no'lu eğik çatlak görüldü. S101 kolonu iç yüzünde kirişten 11 cm aşağıda 22, 20 cm aşağıda da 23 no'lu çatlaklar oluştu. 1, 6, 7 no'lu çatlaklar genişledi.
-7	-36.43	-6.71	S102-K101 kolon kirişinin tam birleşim yerinde kolon iç yüzünde boydan boya 24 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu iç yüzünde plaka birleşiminde 25 no'lu çatlak oluştu. S102 kolonu dış yüzünde temel birleşim bölgesinin 10 cm kadar yukarısında 26 no'lu çatlak oluştu. 4, 11, 18 no'lu çatlaklar genişledi, dallandı ve uzadı.
+8	40.86	6.60	S202 kolonu ile duvar birleşimi boydan boya çatladı (27 no'lu). S101 kolonu plaka birleşim yerinde 28, S101 kolonu temel birleşim yerinde 29 no'lu çatlaklar oluştu. S102 no'lu kolon iç yüzünde temelden 5 cm yukarıda 30 no'lu boydan boya yatay çatlak oluştu. 1 no'lu çatlak uzadı ve açıldı. 7 no'lu çatlak genişledi. 15 no'lu çatlak dallandı.
-8	-40.34	-8.08	2, 3, 11 ve 17 no'lu çatlaklar genişledi. 4 ve 18 no'lu çatlaklar genişleyerek uzadı. S102 kolonu ön yüzünde plaka birleşim yerinde 31 no'lu çatlak oluştu.
+9	45.44	7.84	S102 kolonu temel birleşiminde kolon iç yüzü boyunca 32 no'lu yatay çatlak oluştu. S101-K101 birleşiminin 2 cm aşağısında kolon iç yüzü boyunca devam eden yatay 33 no'lu çatlak oluştu. S101-K101 elemanlarının tam kesiştiği noktada iç yüzeyde boydan boya 34 no'lu yatay çatlak oluştu. 6 no'lu çatlak genişledi. 7 no'lu çatlak 0.5 mm'ye kadar genişledi. 9 ve 15 no'lu çatlaklar

			genişledi ve dallandı. 23 no'lu çatlak uzayarak kolon ön yüzüne ilerledi.
-9	-46.18	-9.55	16, 18, 20 ve 21 no'lu çatlaklar dallanarak uzadı. 3, 11 ve 26 no'lu çatlaklar ve 7, 9 no'lu çatlaklar birleşti. 2, 17 no'lu çatlaklar genişledi. 5 no'lu çatlak uzadı ve kolon dış yüzüne ilerledi. 1 no'lu çatlak kolon etrafı boyunca devam etti.
+10	51.09	9.36	S101 kolonu iç yüzünde plaka birleşiminin hemen altında düşey doğrultuda 35 no'lu çatlak oluştu.1,7, 21 no'lu çatlaklar genişledi ve 30 no'lu çatlak dallandı. 8, 15, 28 no'lu çatlaklar birleşti.
-10	-50.95	-10.96	2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 15, 18, 24, 26 no'lu çatlaklar genişledi.
+11	55.29	11.15	22 no'lu çatlak kolon iç yüzü boyunca uzadı. 1, 8, 15, 28 no'lu çatlaklar genişledi. 7 no'lu yaklaşık 1mm genişliğine ulaştı. K201 kirişi duvar birleşiminde boydan boya 36 no'lu çatlak görüldü. 23 no'lu çatlak uzadı. 8, 15, 28 no'lu çatlakların birleşmesine 35 no'lu çatlak da eklendi. 33 ve 34 no'lu çatlaklar birleşti. 17 no'lu çatlak genişledi, uzadı ve 33, 34 no'lu çatlaklarla birleşti.
-11	-55.45	-12.76	2, 3, 26 no'lu çatlaklar genişledi. 11, 17, 18, 24, 34 no'lu çatlaklar genişleyerek uzadı. 4 ile 31, 16 ile 24 no'lu çatlaklar birleşti.
+12	60.42	12.78	15 no'lu çatlak kolon dış yüzüne dönerek bu yüzü boydan boya yatay doğrultuda geçti. 1 ve 29, 14 ve 28 no'lu çatlaklar birleşti. 7 no'lu çatlak dallandı. 1, 7, 8, 14, 15, 22, 23, 28, 29, 33, 34 no'lu çatlaklar genişledi.
-12	-61.16	-14.32	S201-K201 kolon kiriş birleşim bölgesinin üst köşesinde ezilme başlangıcı görüldü. 2, 3, 10, 11, 26 no'lu çatlaklar genişledi ve dallandı. 15 no'lu çatlakta dallanma, 18 no'lu çatlakta da genişleme görüldü. 24 no'lu çatlak yaklaşık 1 mm genişliğine ulaştı.
+13	66.02	14.85	S201-K201 birleşimindeki ezilme arttı. 33 ve 34 no'lu çatlaklar 0.5 mm değerine erişti. 1, 7, 18 no'lu çatlaklar dallandı. 1, 7, 8, 14, 15, 19, 22, 23, 28 no'lu çatlaklar genişledi.
-13	-67.08	-16.03	18 ve 24 no'lu çatlaklar büyüyerek 1mm'ye kadar genişledi. 2, 3, 10, 11, 17, 26, 32 no'lu çatlaklar genişledi.
+14	71.28	16.45	S201-K201 birleşimindeki ezilmede artış görüldü. 1, 7, 8, 15, 22, 23, 28, 33 no'lu çatlaklar genişledi. 19 no'lu çatlak uzadı, 23 no'lu çatlak dallandı.

-14	-71.46	-17.43	S201-K201 birleşimindeki ezilme miktarı artmaya devam etti. 18 no'lu çatlak dallandı. Genel olarak çatlaklarda genişleme görüldü.
+15	75.45	17.82	S101-K101 kolon kiriş birleşiminde ezilmeler başladı. 4 ve 11, 30 ve 10 no'lu çatlaklar birleşti. 1, 17, 19 no'lu çatlaklar genişledi.
-15	-77.32	-18.99	Plaka birleşim bölgelerindeki çatlaklar dallandı. 10, 11, 30, 32 no'lu çatlaklar birleşti. 18 ve 24 no'lu çatlaklar genişledi.
+16	80.33	19.88	S102 kolonu ön yüzünde plaka birleşim bölgesinde kabuk betonu döküldü. S101-K101 birleşimindeki ezilme arttı ve kabuk betonu döküldü. S201-K201 birleşimindeki ezilme büyüdü. 1 ve 7 no'lu çatlaklar 2mm genişliğine ulaştı. 23 no'lu çatlak dallandı.
-16	-83.71	-20.66	S201-K201 birleşimindeki ezilme sonucu betonda parçalanmalar görüldü ve kabuk betonu attı. 3 ve 26 no'lu çatlaklar 1mm genişliğine geldi. 5, 12, 13 no'lu çatlaklar birleşti. 5 no'lu çatlak dallandı. 24 no'lu çatlak uzadı. 2, 5, 18 ve 24 no'lu çatlaklar genişledi.
+17	85.01	21.66	Çatlaklar genel olarak genişledi. 23 ve 30 no'lu çatlaklar dallandı.
-17	-87.35	-22.13	19 ve 29 no'lu çatlaklar birleşti. 10 no'lu çatlak dallandı. 11 no'lu çatlak kolon dış yüzü boyunca yatay doğrultuda dallandı.
+18	90.25	23.61	Kolonların plaka birleşim yerlerinin etrafında çatlaklar yoğunlaştı. 5 ve 18 no'lu çatlaklar birleşti ve dallandı.
-18	-92.60	-23.81	S102 kolonu duvar birleşimindeki 19 no'lu çatlak genişledi ve ayrılma birleşimde ayrılma görüldü. 31 no'lu çatlak dallandı.
+19	95.31	25.95	K201, S202 birleşim noktasında 45° açıyla eğik 37 no'lu çatlak oluştu. S202 kolonu ön yüzünde, tepe noktasından 36 cm aşağıda 38 no'lu çatlak oluştu. S201 kolonu ön yüzünde tepe noktasından 32 cm aşağıda 39 no'lu, 45 cm aşağıda 40 no'lu yatay çatlaklar oluştu. 22, 23 no'lu çatlaklar birleşti.15, 19, 28 no'lu çatlaklar dallanarak uzadı. 1, 7 no'lu çatlaklar genişledi.
-19	-95.51	-25.50	K101 kirişinin plaka birleşim yerinde hafif eğik düşey doğrultuda 41 no'lu çatlak oluştu. S201 duvar birleşimi, 19 no'lu çatlak, 3mm ayrıldı. 2, 18, 24, 26 no'lu çatlaklar genişledi.
+20	101.18	28.58	K201 kirişi ortalarında kabuk betonunda parçalanmalar görüldü (42 no'lu). 4, 5, 31 no'lu çatlaklar birleşti. 1, 7, 37 no'lu çatlaklar genişledi.

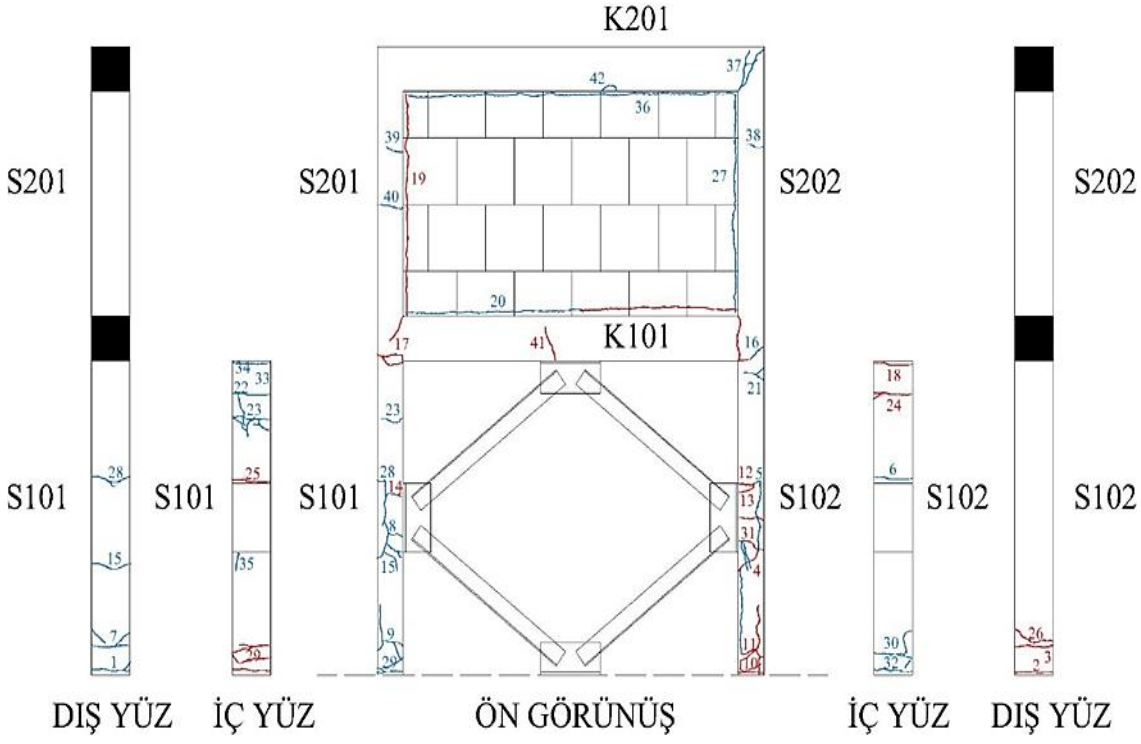
-20	-94.62	-27.62	S202-K201 birleşim noktasında S202 kolonunun betonu ezilerek parçalandı ve kesme kırılması oluştu. Duvar düşey taşıyıcı elemanlardan ayrıldı. S101-K101 birleşiminde de ezilme oluştu.
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
+21	125.98	49.62	Duvar düzlemden çıktı. S201-K201 birleşimindeki kırılma ve parçalanma büyüdü. S101 ve S102 kolonlarında plakanın üstünden K101 kirişine kadar olan bölgede kısa kolon oluşumu gözlemlenmiştir.
-21	-93.30	-36.09	S202-K201 birleşiminde kiriş kolondan ayrıldı, dolayısıyla numune artık '-' negatif yönde fazla yüklenememektedir. Birleşim bölgesinde boyuna donatılarda burkulma ve kesilme, etriyelerde açılma görüldü. Duvar taşıma kapasitesine ulaştı. K101 kirişinin plaka birleşimindeki sol ankraj kesildi ve attı.
+22	92.25	72.00	Duvar artık düzlemden tamamıyla çıktı. Yükte ciddi azalma oluştu.
-22	-76.18	-36.35	Yapıdaki hasar arttı.
+23	75.37	105.35	Yapı, ağır hasar gördü ve artık yük almamakta olduğu için deneye son verildi.

K-tipi çelik çaprazlı numunede (KÇÇ) ölçülen maksimum toplam yatay yük değeri +125.98 kN olmuş ve bu yük esnasında kaydedilen deplasman miktarı da +49.62 mm olmuştur. Deney esnasında maksimum olarak +105.35 mm yanal deplasman miktarına erişilmiş ve bu değer sonrasında, yapıdaki hasarlar ve sistemin artık yük almaması sebebiyle deney sonlandırılmıştır. +105.35 mm maksimum yer değiştirme miktarına karşılık gelen yük değeri ise +75.37 kN olarak ölçülmüştür.

Deney sonrası KÇÇ numunesinin genel görünümü, numunede oluşan çatlaklar ve numunenin deney sonrası detaylı görünümü sırasıyla Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.6. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin deney sonrası genel görünümü



Şekil 4.7. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunede oluşan çatlaklar



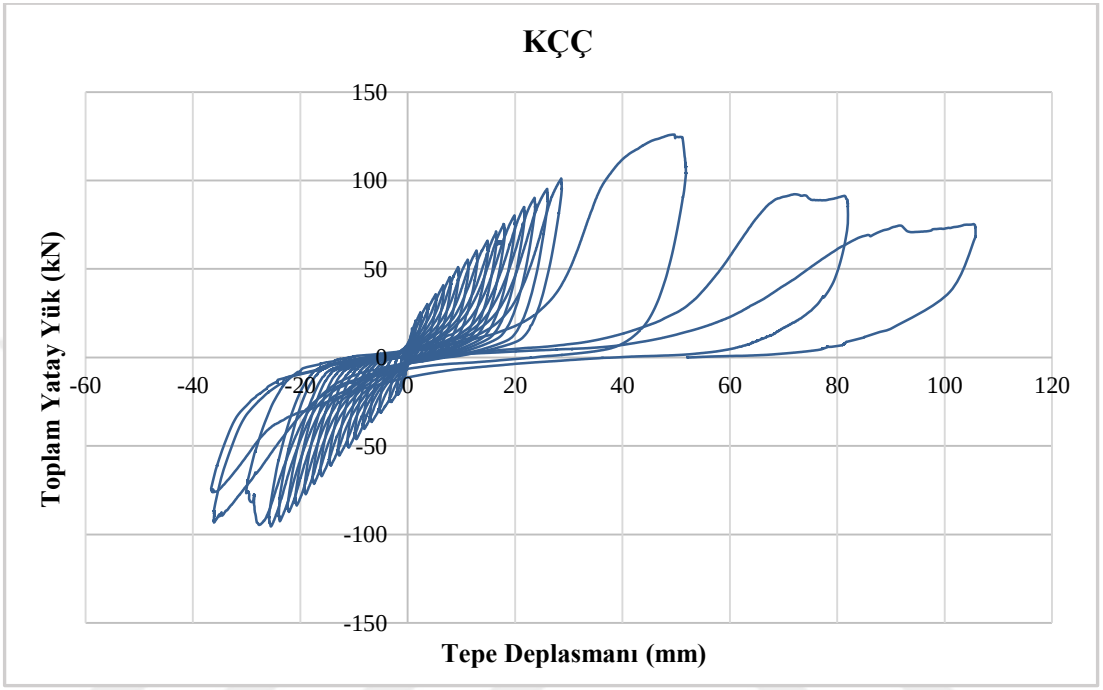
Şekil 4.8. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin deney sonrası detay görünümü

Güçlü kiriş zayıf kolon uygulamasının etkisiyle, betonarme çerçeve deney numunesinin kirişleri üzerinde neredeyse hiç hasar oluşmazken kolonlarında ağır hasarlar meydana gelmiştir. Bunun yanında, en büyük hasarlar, etriye sıklaştırmasının yapılmadığı kolon kiriş birleşim bölgelerinde oluşmuş ve sistem 20. çevrimin negatif yüklemesinde, S202-K201 kolon kiriş birleşiminde betonun parçalanmasıyla akma yaşanmadan gevrek olarak göçme durumuna gelmiştir. Deney esnasında alt kat kolonlarında kısa kolon oluşumu gözlemlenmiş ve ayrıca deneyin -21 çevrimi koşulurken K101 kirişinin plaka birleşimindeki sol ankraj kesilip düşmüştür. KÇÇ numunesinde deney sonrası görülen ağır hasarlar Şekil 4.9'da verilmiştir.

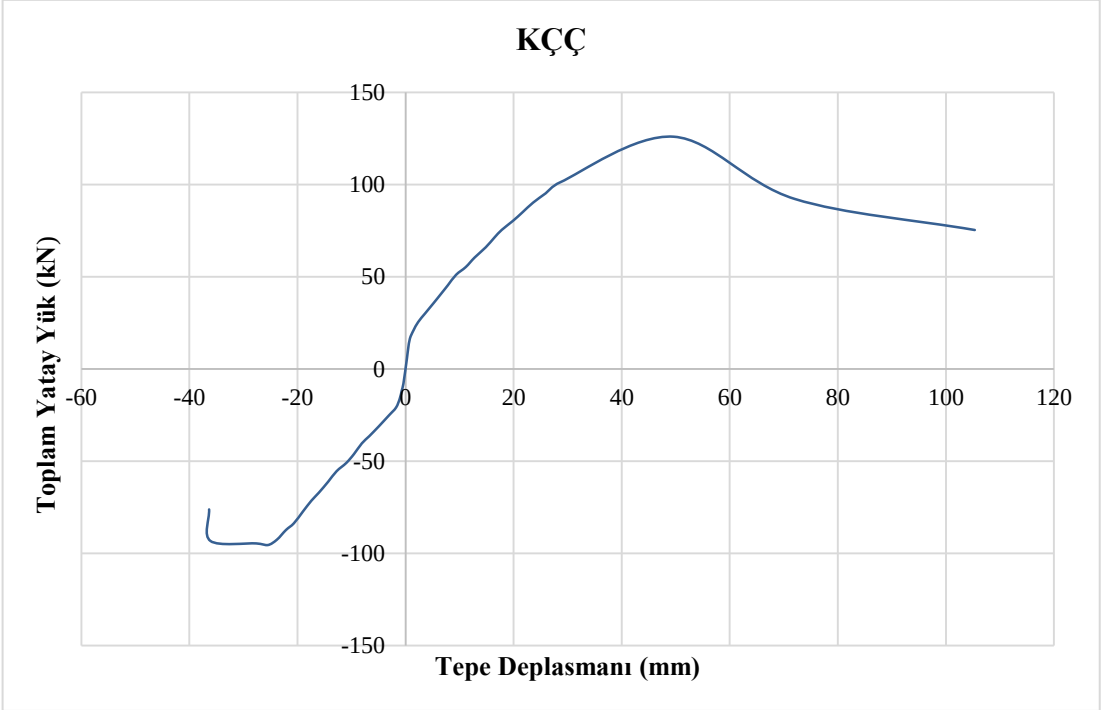


Şekil 4.9. Deney Sonunda KÇÇ Numunesinde Görülen Ağır Hasarlar

Elde edilen veriler ışığında çizilen, K-tipi çelik çaprazlı numunenin (KÇÇ) yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi grafiği ve bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.10'da gösterilmiştir. KÇÇ numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği Şekil 4.11'de olduğu gibidir.

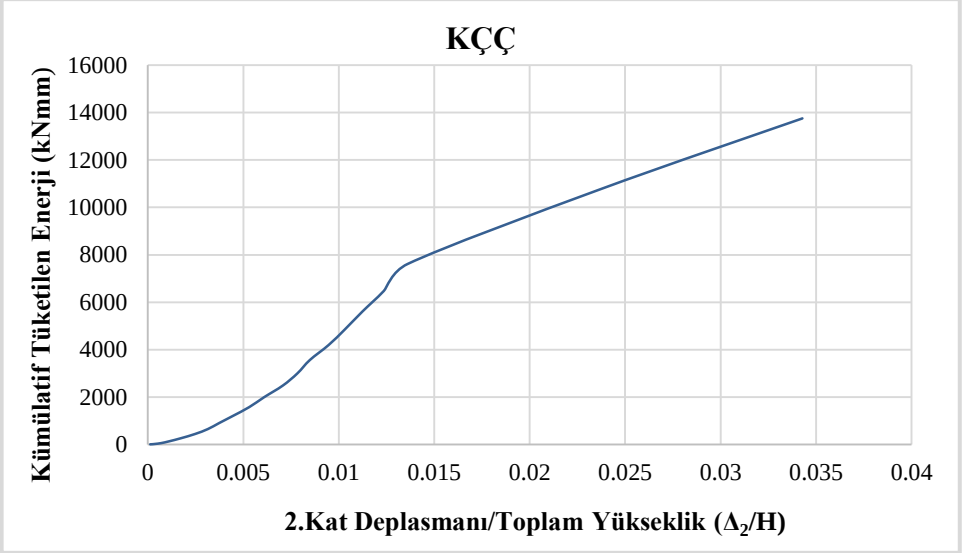


a)



b)

Şekil 4.10. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin **a)** Yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi **b)** Zarf eğrisi



Şekil 4.11. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji - 2.kat ötelenme oranı grafiği

4.1.2 Deney Numunesi- 2 (DVÇÇ)

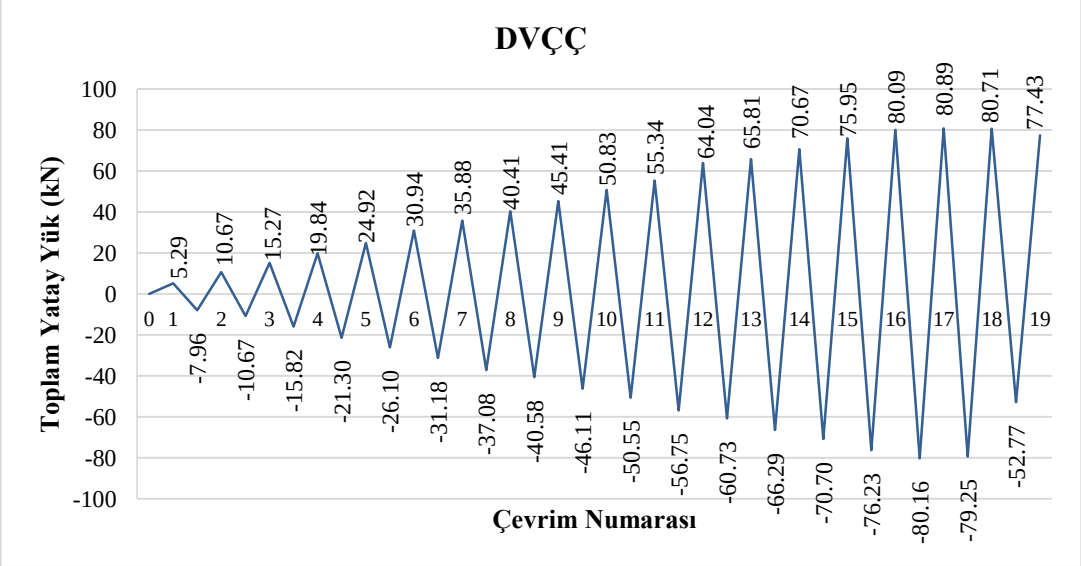
Teste tabi tutulan ikinci deney numunesi, diğer bütün numunelerle özdeş boyutlara ve özelliklere sahip, üst katı tuğla dolgu duvarlı ve alt katı (V) şeklinde düz V-tipi çelik çaprazla güçlendirilmiş betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli numunedir.

DVÇÇ numunesinin deney başlangıcından hemen önceki haline ait fotoğrafı Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

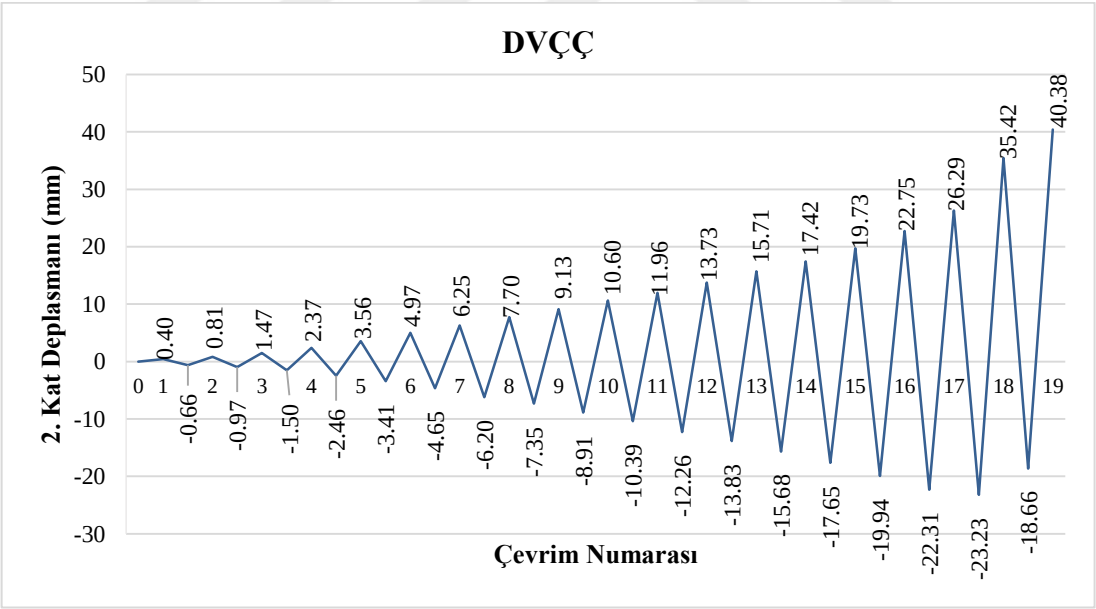


Şekil 4.12. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin deney öncesi görünümü

Düz V-tipi çelik çaprazlı numunenin yükleme sonucunda oluşan yük geçmişi grafiği Şekil 4.13'te verildiği gibidir. Bu numuneye ait tepe deplasman geçmişi grafiği de Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



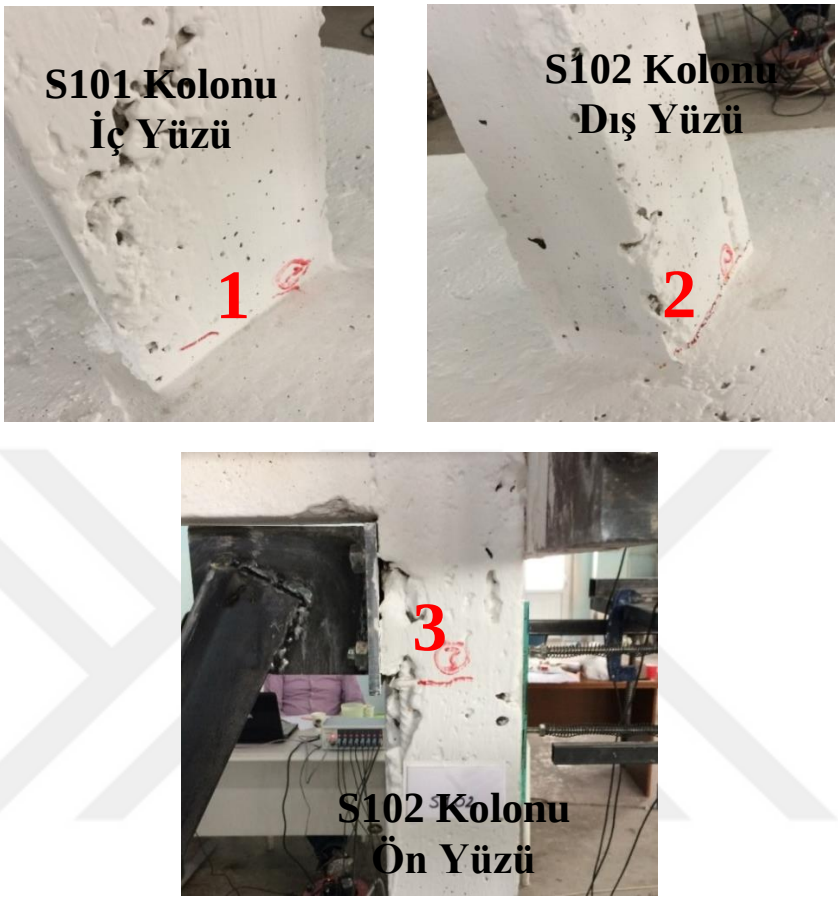
Şekil 4.13. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin yatay yük geçmişi



Şekil 4.14. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin tepe deplasman geçmişi

Deneyin ilk 3 çevriminde ve 4. çevrimin pozitif yüklemesinde herhangi bir çatlak oluşmamıştır. Bu deneyde ilk çatlak oluşumu 4. çevrimin negatif yüklemesinde görülmüştür. İlk çatlaklar, KÇÇ numunesinde olduğu gibi kolon temel birleşim bölgesinde oluşmuş ve Şekil 4.15'te gösterilmiştir. -4 çevriminde, ulaşılan maksimum

toplam yatay yük miktarı -21.30 kN olmuş ve bu yüke karşılık tepe deplasmanı değeri de -2.46 mm olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.15. Numunede oluşan ilk çatlaklar (-4 Çevrimi)

Deneyin her bir çevrim yüklemesinde numunede meydana gelen bütün çatlaklar, hasarlar ve gözlemlenen davranışlar, ayrı ayrı Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. DVÇÇ Numunesi İçin Deney Sırasında Oluşan Çatlaklar ve Gözlemlenen Davranışlar

Çevrim No	Maksimum Toplam Yatay Yük (kN)	Maksimum Yatay Yüke Karşılık Tepe Deplasmanı (mm)	Gözlemlenen Davranış
+1	5.29	0.40	-
-1	-7.96	-0.66	-
+2	10.67	0.81	-

-2	-10.67	-0.97	-
+3	15.27	1.47	-
-3	-15.82	-1.50	-
+4	19.84	2.37	-
-4	-21.30	-2.46	S101 kolonuyla temel birleşim bölgesinde kolon iç yüzünde 1 ve S102 kolonuyla temel birleşim bölgesinde kolon dış yüzünde 2 numaralı kılcal çatlaklar oluştu. S102 kolonu ön yüzünde plaka kolon birleşiminde 3 numaralı yatay kılcal çatlak oluştu.
+5	24.92	3.56	S102 kolonu iç yüzünde ile temel birleşiminde 4 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu ortasında, kolonun ön ve dış yüzünde 5 no'lu, dış yüzünde 6 no'lu yatay çatlaklar oluştu. S101 kolonu temel birleşiminden 10 cm yukarıda kolon dış yüzünde 7 no'lu yatay çatlak oluştu. S101 kolonu iç yüzünde K101 kirişinden 30 cm aşağıda yatay yönde 8 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu plaka birleşimine yakın 9 no'lu kılcal çatlak oluştu.
-5	-26.10	-3.41	S102 kolonu dış yüzünde temelden 20 cm yukarıda yatay 10 no'lu çatlak oluştu. S102 kolonu iç yüzünde K101 kirişinden 32 cm aşağıda yatay 11 no'lu kılcal çatlak oluştu. 10 no'lu çatlak S102 kolonunun ön yüzüne uzadı.
+6	30.94	4.97	5, 8 ve 9 no'lu çatlaklar uzadı. K101 kirişi duvar birleşiminde 40 cm'lik 12 no'lu yatay çatlak oluştu. S202 kolonu duvar birleşiminde 55 cm'lik 13 no'lu çatlak oluştu. K101-S101 kiriş-kolon-plaka birleşiminde 14 no'lu yatay çatlak oluştu.
-6	-31.18	-4.65	S201-K201 kolon kiriş birleşiminde yükleme noktasında az miktarda ezilme görüldü. 10 no'lu çatlak uzadı. 11 no'lu çatlak genişledi ve S102 kolonu ön yüzüne uzadı. S102 kolonu dış yüzünde temelden 42 cm yukarıda 15 no'lu çatlak oluştu. S201 kolonu duvar birleşiminde boydan boya 16 no'lu çatlak oluştu. K101 kirişi duvar birleşiminde yaklaşık 30 cm'lik 17 no'lu çatlak oluştu. K201 kirişi duvar birleşiminde yaklaşık 30 cm'lik 18 no'lu çatlak oluştu. S201-K201 kolon kiriş birleşiminde yatay yönde 19 no'lu çatlak oluştu.
+7	35.88	6.25	8 no'lu çatlak genişledi. 12 no'lu çatlak uzadı. S102 kolonu plaka birleşiminde 20 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu temel birleşiminde kolon dış yüzü boyunca 21 no'lu çatlak oluştu.

-7	-37.08	-6.20	3 no'lu çatlak uzadı. 10 ve 11 no'lu çatlaklar dallanarak genişledi. 16 no'lu çatlak genişledi. S102 kolonu dış yüzünde temelden 10 cm yukarıda 22 no'lu çatlak oluştu. S201-K201 kolon kiriş birleşiminde 23 no'lu çatlak oluştu. S102 kolonu iç yüzünde K101 kirişinden 21 cm aşağıda 24 no'lu çatlak oluştu.
+8	40.41	7.70	6 ve 21 no'lu çatlaklar S101 kolonu dış yüzü boyunca uzadı. 8 no'lu çatlak dallanarak genişledi. 13 no'lu çatlak uzadı. 20 no'lu çatlak dallanarak uzadı. K201 kirişi duvar birleşiminde 60 cm boyunca 25 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu ön, iç ve dış yüzünde temelden 52 cm yukarıda 26 no'lu çatlak oluştu.
-8	-40.58	-7.35	1 no'lu çatlak S101 kolonu iç yüzeyi boyunca uzadı. 2 ve 15 no'lu çatlaklar genişledi. Ayrıca 15 no'lu çatlak S102 kolonu ön yüzüne uzadı. 11 no'lu çatlak dallanarak uzadı. 17 no'lu çatlak uzadı. 13-17, 18-25 no'lu çatlaklar birleşti. S101 kolonu iç yüzeyi boyunca temelden 10 cm yukarıda 30º'lik açıyla 27 no'lu çatlak oluştu.
+9	45.41	9.13	9 ve 14 no'lu çatlaklar dallanarak uzadı. 13 no'lu çatlak genişledi. 12-17 no'lu çatlaklar birleşti. S101 kolonu plaka birleşiminde 28 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu dış yüzünde temelden 34 cm yukarıda yatay 29 no'lu çatlak oluştu. S102 kolonu ön yüzünde temelden 13 cm yukarıda 30 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu ön yüzünde temelden 5 cm yukarıda 31 no'lu yatay çatlak oluştu.
-9	-46.11	-8.91	2 no'lu çatlak dallandı. 10 no'lu çatlak genişledi. 15 no'lu çatlak S102 kolonu iç yüzü boyunca uzadı. 27-31 no'lu çatlaklar birleşti. S102 kolonu ön, iç ve dış yüzünde temelden 50 cm yukarıda boydan boya 32 no'lu çatlak oluştu.
+10	50.83	10.60	5, 8 ve 26 no'lu çatlaklar dallanarak uzadı. 7 no'lu çatlak dallandı. 9 no'lu çatlak uzayarak plaka birleşiminin alt kısmına dayandı. 30 no'lu çatlak S102 kolonu iç yüzü boyunca uzadı. 31 no'lu çatlak S101 kolonu dış yüzü boyunca uzadı. S102 kolonu köşesinde temelden 24 cm yukarıda 33 no'lu çatlak oluştu.
-10	-50.55	-10.39	2, 3, 10, 11, 15, 16, 22 ve 23 no'lu çatlaklar genişledi. Ayrıca 2,15, 22 ve 32 no'lu çatlaklar dallandı, 11 no'lu çatlak uzadı. S102-K101 kolon kiriş birleşiminde 34 no'lu çatlak oluştu.
+11	55.34	11.96	S201-K201 birleşimindeki ezilme miktarı arttı. 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 26 ve 29 no'lu çatlaklar genişledi. S102-K101 kolon kiriş birleşiminin ortalarında 35 no'lu çatlak oluştu.

-11	-56.75	-12.26	2, 3, 10, 15, 22 ve 32 no'lu çatlaklar genişledi. 14 no'lu çatlak dallanarak uzadı. 16 no'lu çatlak yaklaşık 1 mm'ye kadar genişledi. 34 no'lu çatlak dallandı. S202-K201 kolon kiriş birleşiminde 45º'lik açıyla 36 no'lu çatlak oluştu.
+12	64.04	13.73	S102 kolonu plaka birleşiminde kabuk betonu döküldü. S201-K201 birleşimindeki ezilme miktarı daha da arttı. 5, 6, 7, 8, 9, 21, 29 ve 31 no'lu çatlaklar genişledi. 7, 14, 20 ve 29 no'lu çatlaklar dallandı. 9-14-28 no'lu çatlaklar birleşti. 13 ve 25 no'lu çatlaklar 1 mm genişliğine ulaştı.
-12	-60.73	-13.83	1 no'lu çatlak S101 kolonu ön yüzüne uzadı. 3, 10, 11, 16 ve 27 no'lu çatlaklar genişledi. 2 no'lu çatlak dallanarak uzadı ve genişliği 1 mm değerine ulaştı. 2-22 no'lu çatlaklar birleşti. 3, 32 ve 34 no'lu çatlaklar dallandı. 5 no'lu çatlak S101 kolonu iç yüzü boyunca devam etti. 10 ve 24 no'lu çatlaklar uzadı.
+13	65.81	15.71	S101 kolonu ön yüzünde 1-21 no'lu çatlaklar birleşti. 8, 13 ve 26 no'lu çatlaklar genişledi. 9 no'lu çatlak uzadı. 13 numaralı çatlağın genişliği 1 mm' ye ulaştı. 4, 14 ve 19 no'lu çatlaklar dallandı. 20-35 no'lu çatlaklar birleşti. 13-25 no'lu çatlaklar birleşti ve birleşim kısmında dallandı. S101 kolonu dış yüzünde kolon kiriş birleşiminde 37 no'lu düşey çatlak oluştu.
-13	-66.29	-15.68	S201-K201 kolon kiriş birleşimindeki ezilme büyüdü ve bu bölgedeki kabuk betonu dökülmeye başladı. 3, 10 ve 11 no'lu çatlaklar genişledi. Ve 16 ve 27 no'lu çatlaklar ciddi miktarda genişledi. 34 no'lu çatlak dallandı.
+14	70.67	17.42	S102 kolonundaki plaka kolondan 3-4 mm kadar ayrıldı. S101 kolonu dış yüzündeki çatlaklar genişledi. 4 no'lu çatlak dallandı ve genişliği 1 mm'ye ulaştı. 8 no'lu çatlak S101 kolonu dış yüzüne uzadı. 12 ve 13 no'lu çatlaklar genişledi. 33 no'lu çatlak dallanarak S102 kolonu iç yüzü boyunca devam etti.
-14	-70.70	-17.65	S101 kolonundaki plaka kolondan 2 mm kadar ayrıldı. S201-K201 kolon kiriş birleşimindeki ezilme miktarı iyice arttı. 3, 16, 17 ve 27 no'lu çatlaklar genişledi. 7-27-31 no'lu çatlaklar birleşti, dallandı ve S101 kolonu ön yüzü boyunca düşey doğrultuda ilerledi. 10 no'lu çatlak S102 kolonu ön yüzü boyunca düşey doğrultuda uzadı. 11 no'lu çatlak dallanarak uzadı.
+15	75.95	19.73	S101 kolonundaki bütün çatlaklar dallandı ve genişledi. S202 kolon duvar birleşimindeki 13 no'lu çatlak 2 mm genişliğine

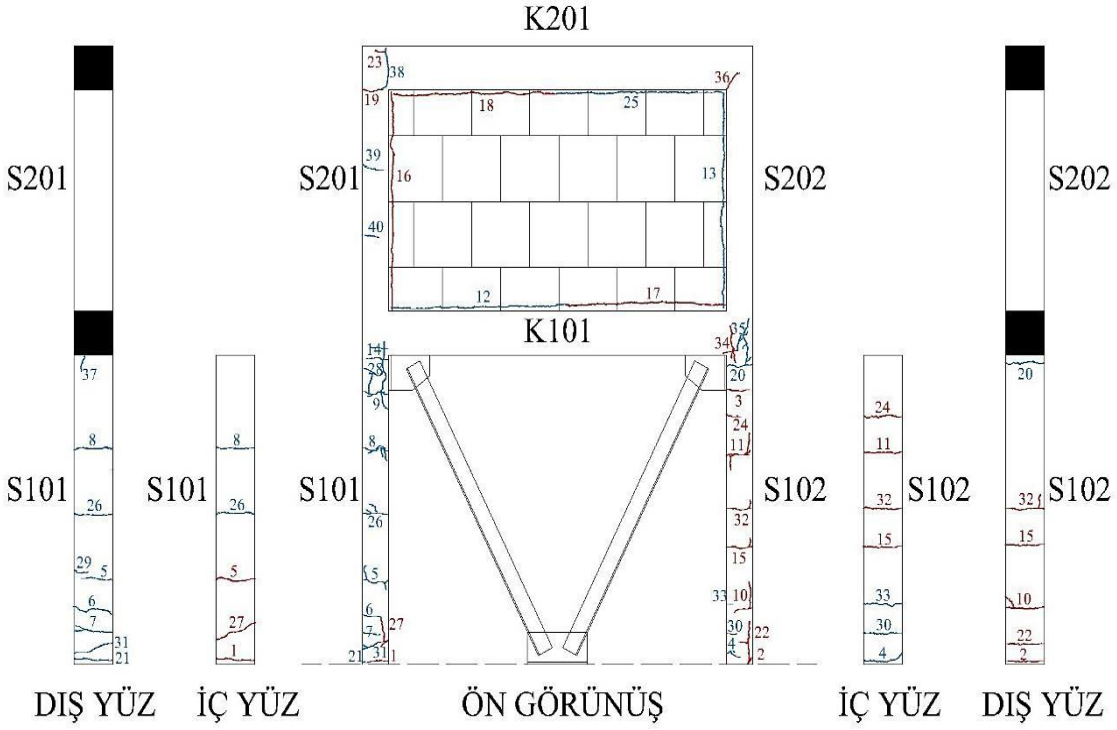
			ulaştı. 6-7-27-31 no'lu çatlaklar birleşti. S102 kolonundaki plaka kolon birleşimi daha da açıldı. 20 no'lu çatlak S102 kolonu dış yüzüne uzadı ve 1 mm genişliğe erişti. S201-K201 kolon kiriş birleşiminde düşey doğrultuda 38 no'lu çatlak oluştu. S201 kolonda K201 kirişinden 40 cm aşağıda 39 no'lu, 60 cm aşağıda 40 no'lu yatay çatlaklar oluştu.
-15	-76.23	-19.94	9 ve 19 no'lu çatlaklar dallandı. Ayrıca 9 ve 14 no'lu çatlaklar uzadı. 16, 27 ve 34 no'lu çatlaklar genişledi.
+16	80.09	22.75	S201-K201 birleşimindeki ezilme bölgesi büyüdü. 13 no'lu çatlak ile plaka birleşimlerindeki çatlaklar genişledi.
-16	-80.16	-22.31	Plaka birleşim yerlerindeki ankrajlar sıyrılmaya çalıştı ve plakalar kolonlardan ayrılmaya zorlandı.
+17	80.89	26.29	Sistem aktı. S201-K201 kolon kiriş birleşim bölgesindeki kabuk betonundaki dökülme ciddi miktarda arttı. S102 kolonu plaka birleşimindeki ankrajlar sıyrılmaya çok yaklaştı. S202 kolonu duvar birleşiminde ayrılma görüldü.
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
-17	-79.25	-23.23	S202-K201 kolon kiriş birleşim bölgesinde beton parçalandı ve elemanlar birbirinden ayrıldı. Bu bölgedeki kolon boyuna donatısı burkuldu. S101-K101 kolon kiriş birleşimindeki çatlaklar ciddi boyutlara ulaştı. Duvar düzlemden çıktı.
+18	80.71	35.42	S201-K201 birleşimindeki ezilme çok büyüdü.
-18	-52.77	-18.66	Yapıdaki hasarlar büyüdü ve arttı.
+19	77.43	40.38	Yapıda çok ağır hasarlar oluştu ve göçtü. Sistem yük almamaya başladığı için deney burada sonlandırıldı.

Düz V-tipi çelik çaprazlı numunede (DVÇÇ) kaydedilen maksimum toplam yatay yük değeri +80.89 kN ve bu yük için oluşan deplasman miktarı da +26.29 mm ölçülmüştür. Deneyde maksimum olarak +40.38 mm yanal yer değiştirme değerine erişilmiş ve bu değer sonrasında, yapıdaki ağır hasarlar ve sistemin artık yük almaması nedeniyle deneye son verilmiştir. +40.38 mm maksimum deplasman miktarında kaydedilen yük değeri ise +77.43 kN olmuştur.

Deney sonrası DVÇÇ numunesinin genel görünümü, numunede oluşan çatlaklar ve numunenin deney sonrası detaylı görünümü sırasıyla Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin deney sonrası genel görünümü



Şekil 4.17. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunede oluşan çatlaklar



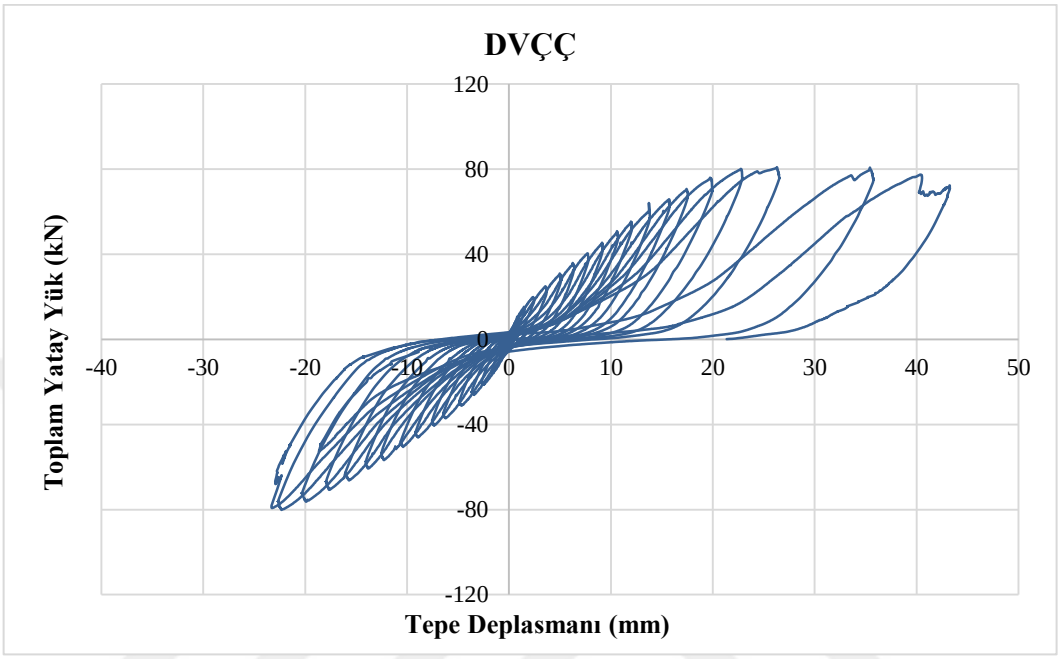
Şekil 4.18. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) Numunenin Deney Sonrası Detay Görünümü

KÇÇ numunesindekine benzer sebeplerden dolayı DVÇÇ numunesi için de kirişlerde hasar oluşmazken kolonlarda ciddi hasarlar meydana geldi. Yine en büyük hasarlar kolon kiriş birleşim bölgelerinde görülürken, +17 çevriminde sistem akmış ve hemen arkasına -17 çevriminde de diğer numuneye benzer şekilde, S202-K201 kolon kiriş birleşiminde betonun parçalanmasıyla gevrek olarak göçme durumuna gelinmiştir. Ayrıca deney sonlarında plakalardaki ankrajların zorlandığı ve kolonlardan sıyrılmaya çalıştığı görülmüştür. DVÇÇ numunesinde deney sonrası gözlemlenen ağır hasarlar Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

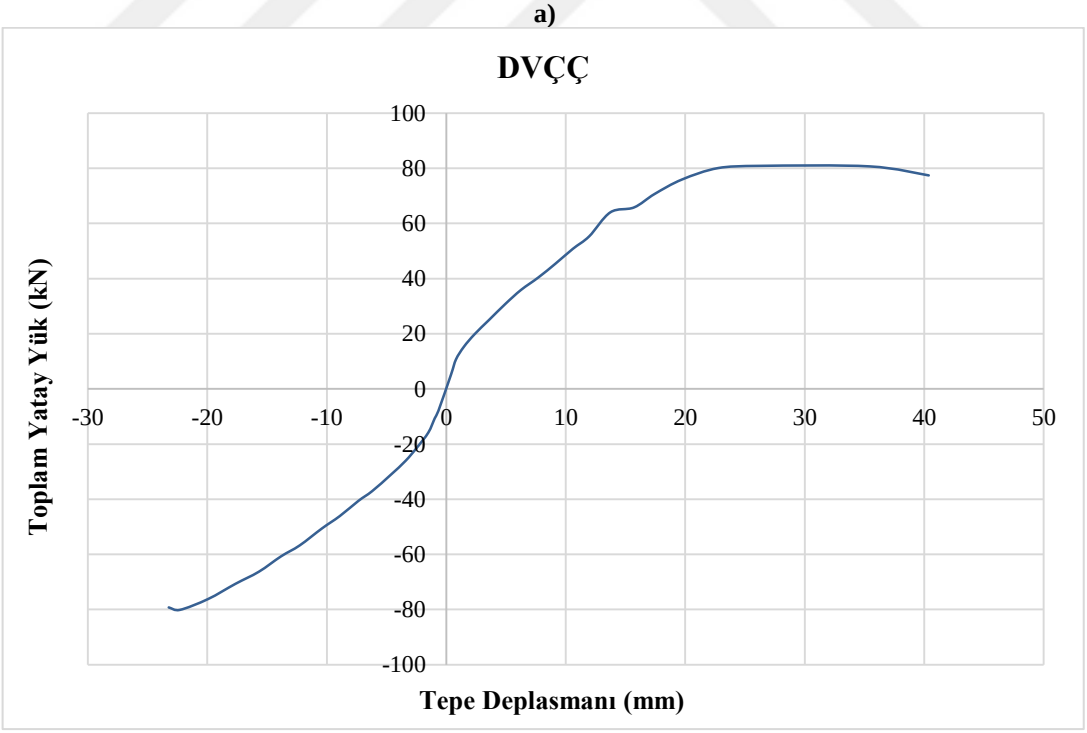


Şekil 4.19. Deney Sonunda DVÇÇ Numunesinde Görülen Ağır Hasarlar

Düz V-tipi çelik çaprazlı numunenin (DVÇÇ) yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi grafiği ve bu grafiğe ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.20'de verilmiştir. DVÇÇ numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği Şekil 4.21'de gösterildiği gibidir.

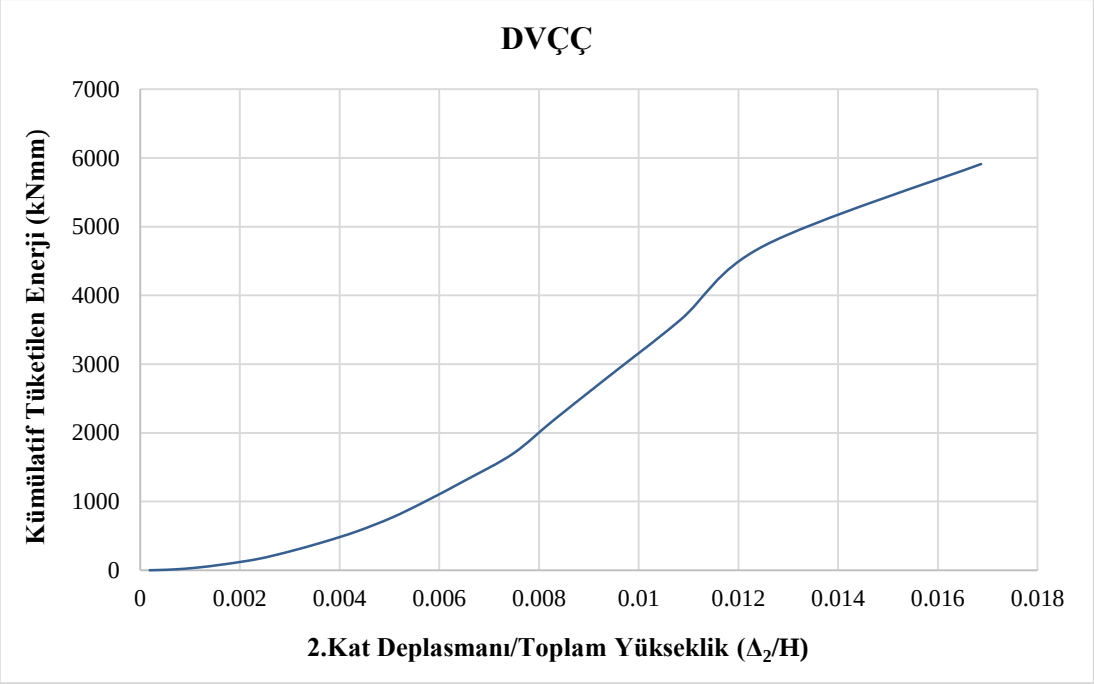


a)



b)

Şekil 4.20. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin a) Yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi b) Zarf eğrisi



Şekil 4.21. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji- 2.kat ötelenme oranı grafiği

4.1.3 Deney Numunesi-3 (YVÇÇ)

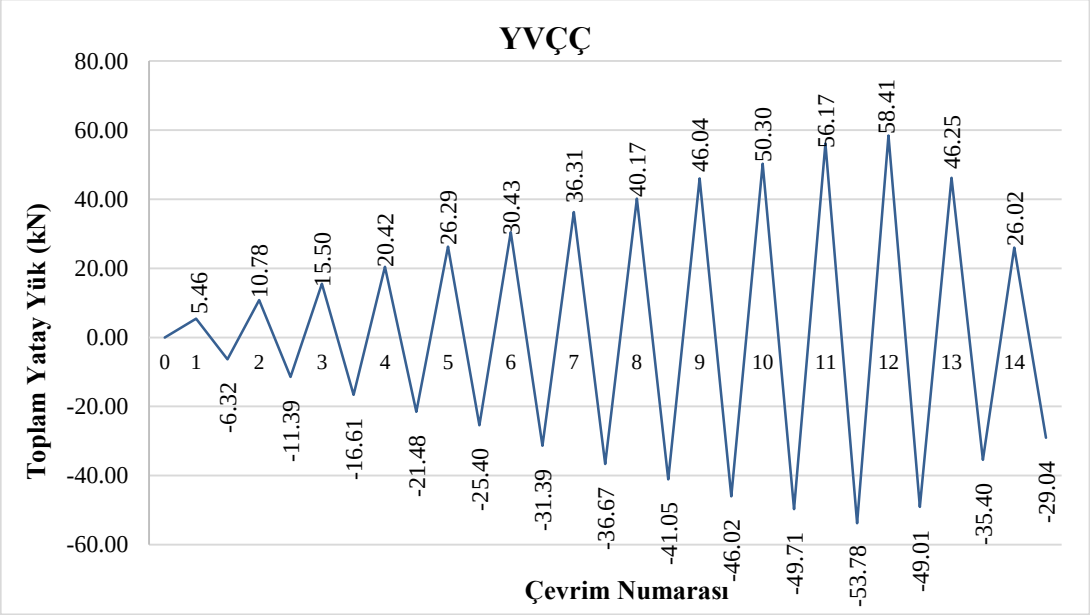
Test edilen üçüncü ve son betonarme çerçeve deney numunesi, diğer bütün numunelerle özdeş boyutlarda ve özelliklerde hazırlanmış, üst katında tuğla dolgu duvarlı, alt katında (>) şeklinde yan V-tipi çelik çaprazla güçlendirilmiş numunedir.

YVÇÇ numunesinin deney başlangıcından hemen önceki halini gösteren fotoğrafı Şekil 4.22'de verilmiştir.

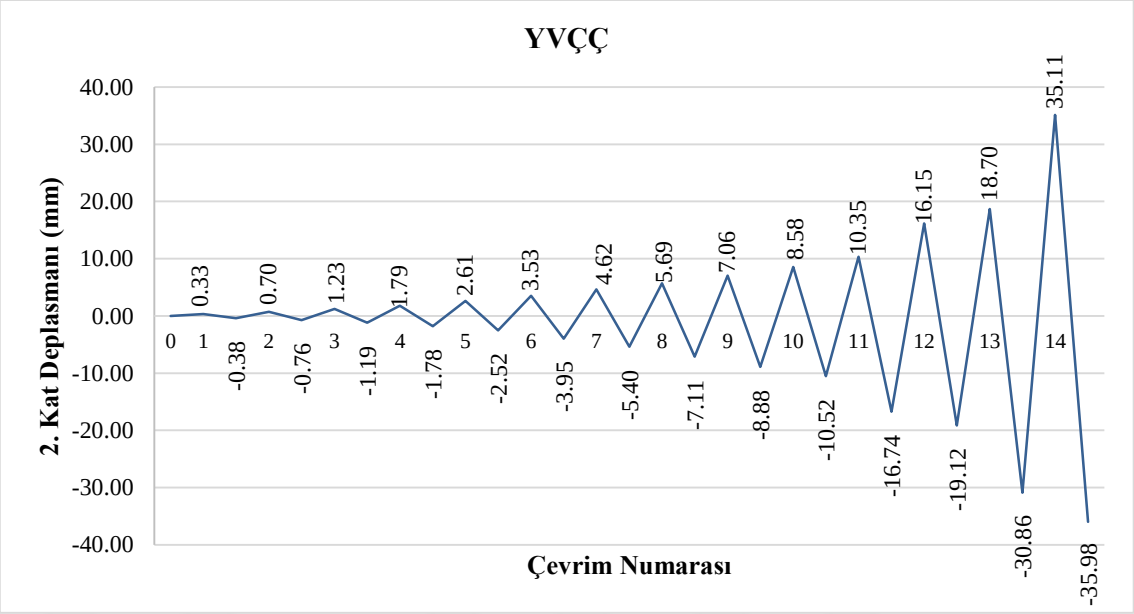


Şekil 4.22. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin deney öncesi görünümü

Yan V-tipi çelik çaprazlı numunenin uygulanmış olan yükleme sonucunda oluşan yük geçmişi grafiği Şekil 4.23'te gösterildiği gibidir. Bu numuneye ait tepe deplasman geçmişi grafiği de Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.23. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin yatay yük geçmişi



Şekil 4.24. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin tepe deplasman geçmişi

Deneyin ilk çevriminde çatlak oluşmamıştır. Bu deneyde ilk çatlak oluşumu 2. çevrimin pozitif yüklemesinde görülmüştür. İlk çatlaklar, diğer numunelerde olduğu gibi kolon temel birleşim bölgesinde oluşmuş ve Şekil 4.25'te 2 numaralı çevrimde oluşan çatlaklar gösterilmiştir. +2 çevriminde, ulaşılan maksimum toplam yatay yük miktarı +10.78 kN olmuş ve bu yüke karşılık tepe deplasmanı değeri de +0.70 mm, -2 çevriminde ise bu değerler -11.39 kN ve -0.76 mm olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.25. Numunede oluşan ilk çatlaklar (2. Çevrim)

Deneyin her bir çevrim yüklemesinde numunede meydana gelen bütün çatlaklar, hasarlar ve gözlemlenen davranışlar, ayrı ayrı Çizelge 4.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.3. YVÇÇ numunesi için deney sırasında oluşan çatlaklar ve gözlemlenen davranışlar

Çevrim No	Maksimum Toplam Yatay Yük (kN)	Maksimum Yatay Yüke Karşılık Tepe Deplasmanı (mm)	Gözlemlenen Davranış
+1	5.46	0.33	-
-1	-6.32	-0.38	-
+2	10.78	0.70	S101 kolonu dış yüzünde temel birleşiminde 1 no'lu çatlak oluştu.
-2	-11.39	-0.76	S102 kolonu dış yüzünde temelden 15 cm yukarda 2 no'lu çatlak oluştu.
+3	15.50	1.23	-
-3	-16.61	-1.19	-
+4	20.42	1.79	1 no'lu çatlak uzadı. S101 kolonu ön yüzünde üst plaka kolon birleşiminde 3 no'lu çatlak oluştu.
-4	-21.48	-1.78	2 no'lu çatlak uzayarak S102 kolonunun ön yüzüne ulaştı.
+5	26.29	2.61	1 no'lu çatlak genişledi. S101 kolonu ön ve iç yüzeyinin ortalarında 4 no'lu yatay kılcal çatlak oluştu. S101 kolonu dış ve ön yüzü ortalarında 5 no'lu kılcal çatlak oluştu. S101 kolonu iç yüzünün ortalarında 6 no'lu yatay çatlak oluştu.
-5	-25.40	-2.52	2 no'lu çatlak uzadı. S102 kolonu dış yüzünde temel birleşiminde 7 no'lu çatlak oluştu. S102 kolonu ön yüzünde plaka birleşiminde 8 no'lu dallanmış çatlaklar oluştu.
+6	30.43	3.53	1 no'lu çatlak genişledi. 5 no'lu çatlak uzadı ve dallandı.
-6	-31.39	-3.95	8 no'lu çatlak dallanarak uzadı. S201 kolonu duvar birleşiminde boydan boya 9 no'lu çatlak oluştu. K101 kirişi duvar birleşiminin sağ tarafında 30 cm'lik 10 no'lu çatlak oluştu. S102-K101 kolon kiriş birleşimine yakın yerde 11 no'lu kılcal çatlak oluştu.
+7	36.31	4.62	3 no'lu çatlak dallandı. 4 no'lu çatlak S101 kolonu dış yüzüne kadar uzadı. 11 no'lu çatlak uzadı. S101-K101 kolon kiriş birleşiminde 12 no'lu çatlak oluştu. K101 kirişi duvar birleşiminin sol tarafında 30 cm'lik 13 no'lu çatlak oluştu. S202 kolonu duvar birleşiminde boydan boya 14 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu ön ve iç yüzünün üst kısmında 15 no'lu yatay çatlak oluştu.

-7	-36.67	-5.40	2 no'lu çatlak genişledi ve düşey doğrultuda dallandı. 3 ve 8 no'lu çatlaklar dallandı. 7 no'lu çatlak dallanarak S102 kolonu ön yüzüne uzadı. 10 no'lu çatlak uzadı. 11 no'lu çatlak S102 kolonu iç yüzüne uzadı. S102 kolonunda K101 kirişinden 20 cm aşağıda kolon iç yüzü boyunca ve ön yüzünde bir miktar olacak şekilde 16 no'lu yatay çatlak oluştu.
+8	40.17	5.69	1 no'lu çatlak S101 kolonu ön yüzüne uzadı, düşey doğrultuda dallandı ve genişledi. 4 ve 14 no'lu çatlaklar genişledi. 5 no'lu çatlak dallanarak uzadı. 5-6 no'lu çatlaklar birleşti. 15 no'lu çatlak uzadı. S102 kolonu iç yüzünde plaka birleşiminin altında düşey doğrultuda 17 no'lu geniş çatlak oluştu. S102 kolonu iç yüzü temel birleşiminde 18 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu ön ve iç yüzünde temelden 20 cm yukarıda 19 no'lu çatlak oluştu.
-8	-41.05	-7.11	2, 7, 8 ve 11 no'lu çatlaklar genişleyerek dallandı. 9 ve 16 no'lu çatlaklar genişledi. K201 kirişi duvar birleşiminin sol tarafında kiriş ortasına kadar 20 no'lu çatlak oluştu. S102 kolonu dış yüzünün ortalarında 21 no'lu çatlak oluştu.
+9	46.04	7.06	1 ve 12 no'lu çatlaklar düşey doğrultuda dallanarak uzadı. 3 no'lu çatlak dallanarak uzadı. 10-13 no'lu çatlaklar birleşti. 14 no'lu çatlak genişledi. 17 no'lu çatlağın genişliği 1.5 mm'ye ulaştı ve S102 kolonu ön yüzüne uzadı. K201 kirişi duvar birleşiminin sağ tarafında 22 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu alt plaka birleşiminde 23 no'lu çatlak oluştu. S101 kolonu plaka birleşimlerindeki çatlaklar dallandı.
-9	-46.02	-8.88	2 no'lu çatlak 1 mm genişliğine ulaştı. 2-3 no'lu çatlaklar dallanarak birleşti. 8 ve 11 no'lu çatlaklar dallanarak uzadı ve genişledi. 9, 16 ve 20 no'lu çatlaklar genişledi. S102 kolonu ön yüzünde 24 no'lu çatlak oluştu.
+10	50.30	8.58	1 ve 14 no'lu çatlakların genişliği 1.5 mm'ye ulaştı. 4 ve 6 no'lu çatlaklar uzadı. 12 no'lu çatlak yukarı yönde uzadı. 15 no'lu çatlak genişledi ve uzadı. 8-17 no'lu çatlaklar birleşti ve 17 no'lu çatlağın genişliği 2 mm'ye ulaştı. 19 no'lu çatlak S101 kolonu dış yüzüne uzadı. 20-22 no'lu çatlaklar birleşti. 23 no'lu çatlak dallanarak uzadı.
-10	-49.71	-10.52	2, 9, 10 ve 20 no'lu çatlaklar genişledi. 3 no'lu çatlak dallandı ve düşey yönde uzayarak genişledi. 7 no'lu çatlak uzadı. 11 no'lu çatlak uzadı ve genişledi. 8-21 no'lu çatlaklar birleşti. 23 ve 24 no'lu çatlaklar dallandı. S102 kolonu dış yüzünde plaka birleşimi

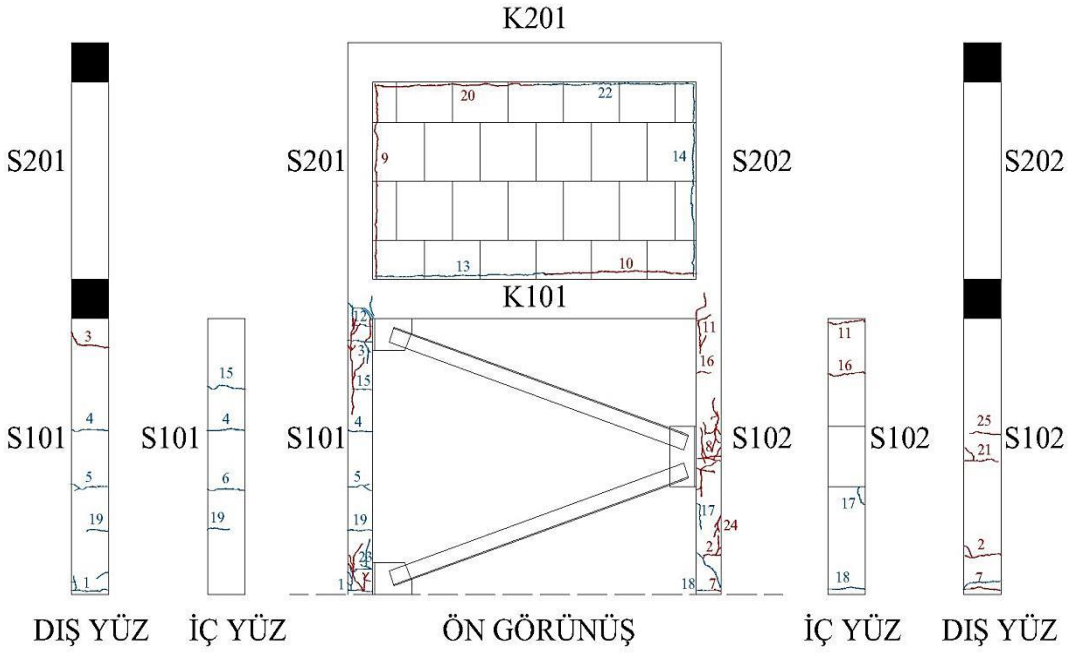
			hizasında 25 no'lu çatlak oluştu. S102 kolonu plaka birleşimindeki çatlaklar dallanarak yoğunlaştı.
+11	56.17	10.35	S102 kolonu ön yüzünde 17 no'lu çatlağın olduğu yerde kabuk betonu döküldü. 2 no'lu çatlak S102 kolonu iç yüzü boyunca uzadı ve genişledi. 1-23 ve 2-7 no'lu çatlaklar dallanarak birleşti. Genel olarak yapıdaki çatlaklar genişledi.
-11	-53.78	-16.74	Sistem aktı. Plaka birleşim yerleri ayrılmaya zorlandı. Plaka birleşimlerindeki çatlaklar ve S102-K101 kolon kiriş birleşimindeki 11 no'lu çatlak 2 mm genişliğine ulaştı. Kolonlardaki çatlaklar dallanarak genişledi.
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
+12	58.41	16.15	S101 kolonu alt plakası ayrılmaya çok yaklaştı. S101 kolonu temel birleşim bölgesindeki çatlaklar oldukça genişledi. S101 ve S102 kolonları dış yüzünde temel birleşim bölgelerinde ezilme oluşumu gerçekleşti.
-12	-49.01	-19.12	S101 kolonu üst plaka birleşimindeki ankrajlar sıyrıldı. S102-K101 kolon kiriş birleşiminde 11 no'lu çatlağın bulunduğu yerde mafsallaşma başladı. S101 kolonundaki ezilme arttı.
+13	46.25	18.70	S102 kolonunda kısa kolon oluşumu gözlemlendi. S101 kolonu alt plaka birleşimindeki ankrajlar sıyrıldı. S102 kolonundaki ezilme arttı.
-13	-35.40	-30.86	S102 kolonundaki kısa kolon oluşumu sebebiyle burkulmaya benzer emareler gözlemlendi. S101 kolonu plaka birleşimlerindeki ankrajların sıyrılması net bir şekilde arttı.
+14	26.02	35.11	Yapıda ağır hasarlar oluştu.
-14	-29.04	-35.98	S101 kolonundaki ankrajlar kolondan ayrıldı. S101 ve S102 kolonları temel birleşimlerinde betonda kesme kırılması oluştu ve beton parçalandı. Deney sonlandırıldı.

Yan V-tipi çelik çaprazlı numunede (YVÇÇ) ölçülen maksimum toplam yatay yük değeri +58.41 kN ve bu yük için oluşan deplasman miktarıysa +16.15 mm olarak kaydedilmiştir. Deneyde maksimum olarak -35.98 mm yanal yer değiştirme değerine erişilmiş ve bu değer sonrasında, yapıdaki ağır hasarlar ve sistemin artık yük almamasından dolayı deney sonlandırılmıştır. -35.98 mm maksimum deplasman miktarında ölçülen yük değeri de -29.04 kN olmuştur. Deney sonrası YVÇÇ numunesinin

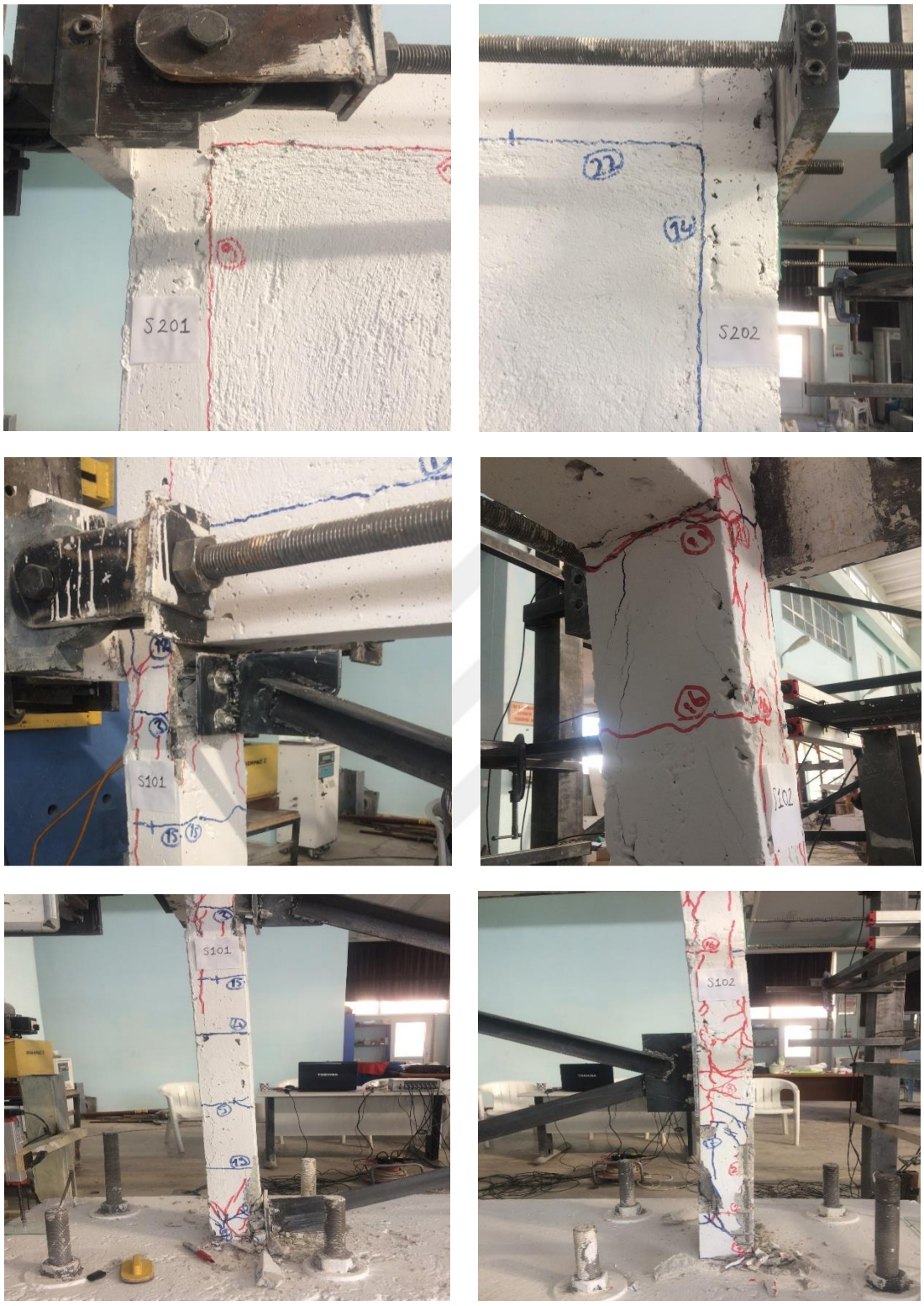
genel görünümü, numunede oluşan çatlaklar ve numunenin deney sonrası detaylı görünümü sırasıyla Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.26. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin deney sonrası genel görünümü



Şekil 4.27. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunede oluşan çatlaklar



Şekil 4.28. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin deney sonrası detay görünümü

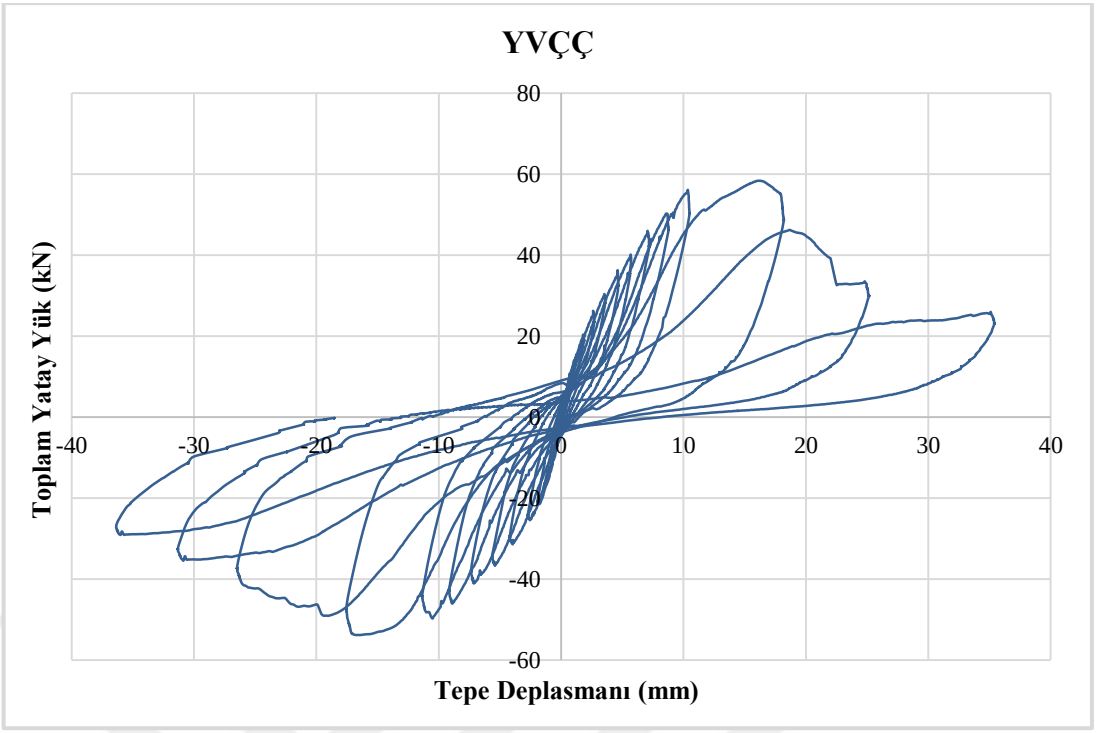
Diğer 2 numunede olduğu gibi YVÇÇ numunesinde de, güçlü kolon zayıf kiriş ilkesine uyulmayıp kirişler kolonlardan daha güçlü imal edildiğinden dolayı, deney sonunda kirişlerde neredeyse hiçbir hasar unsuru gözlemlenmezken, kolonlarda ağır hasarlar ve ciddi çatlaklar oluşmuştur. 11. çevrimin negatif yüklemesinde sistemde akma

durumu gerçekleşmiş, sonrasında deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deney sonlarına doğru S102 kolonunda net bir şekilde kısa kolon oluşumu gözlemlenmiştir. Deney kapsamında uygulanan son yük çevrimi olan 14. çevrimin negatif yüklemesine gelindiğinde ise, deneyin maksimum yanal deplasmanı, -35.98 mm, değerine ulaşılmış ve S101 kolonundaki plaka birleşimlerinde ankrajlar sıyrılarak kolondan ayrılmıştır. Yine bu çevrimin sonunda, alt kat kolonlarının temelle birleştiği bölgede kolonlarda kesme kırılması meydana gelmiş ve beton parçalanmıştır. YVÇÇ numunesinde deney sonrası görülen ağır hasarlar Şekil 4.29'da gösterildiği gibidir.

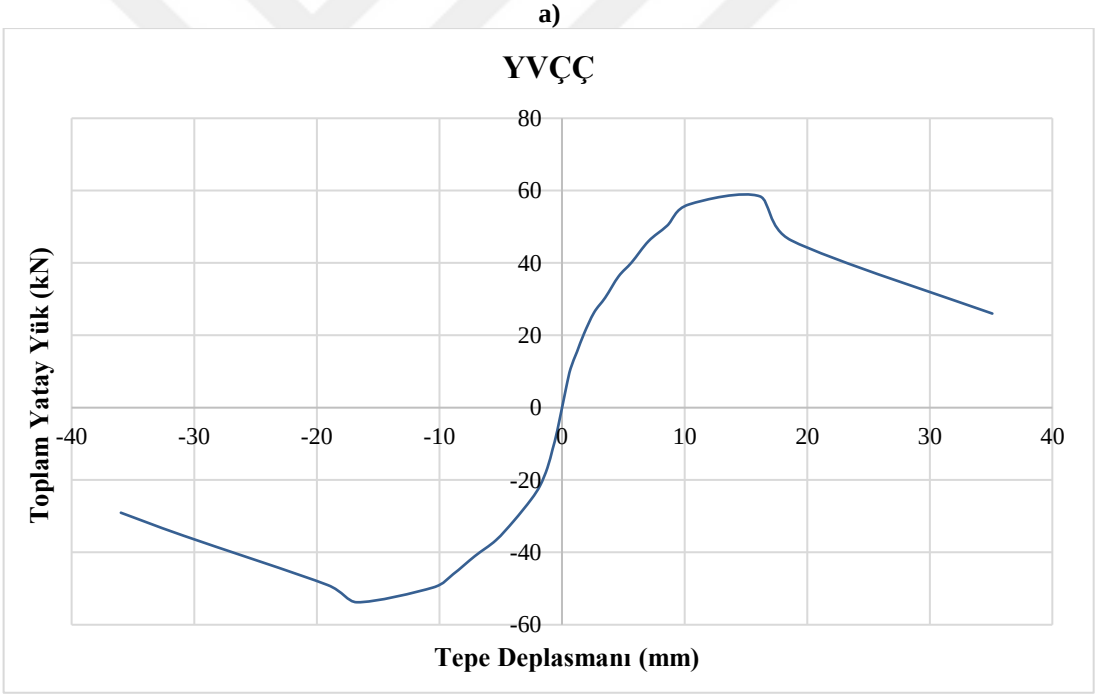


Şekil 4.29. Deney sonunda YVÇÇ numunesinde görülen ağır hasarlar

Yan V-tipi çelik çaprazlı numunenin (YVÇÇ) yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi grafiği ve bu grafiğe ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.30'da gösterildiği gibidir. YVÇÇ numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir.

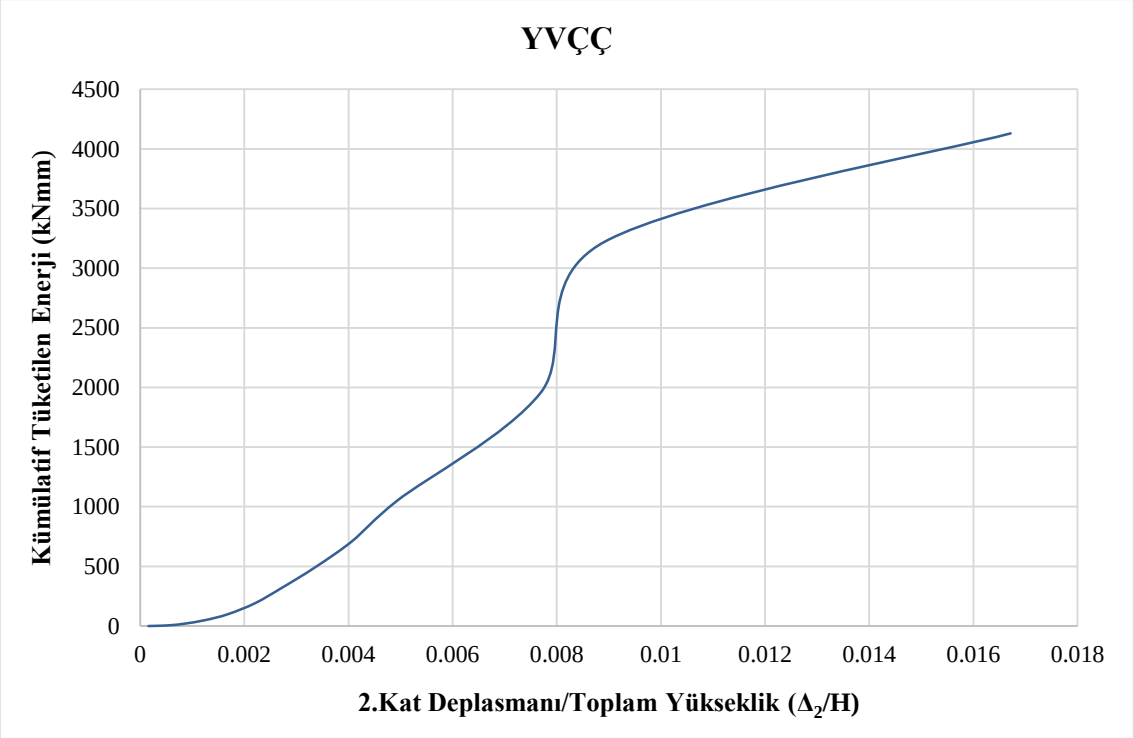


a)



b)

Şekil 4.30. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin a) Yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi b) Zarf eğrisi



Şekil 4.31. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji- 2.kat ötelenme oranı grafiği

4.2 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, diğer bölümlerde detayları verilmiş ve sonuçları değerlendirilmiş olan 3 deney numunesinin ve (Öğütçü, 2016) tarafından yapılmış çalışmadan alınan 2 numunenin, deney verilerine göre, numunelerin davranışları, dayanımları ve enerji tüketimleri açısından sözel kıyaslamalarda bulunulmuş ve bunun yanında çizelge ve grafikler üzerinde de karşılaştırmalar yapılmış ve sonuçlar yorumlanarak açıklanmıştır. Deney sonuçlarından alınan grafikler kıyaslanırken, karşılaştırmanın daha net anlaşılması amacıyla, 5 deney numunesinin de aynı tür grafikleri tek grafikte toplanmıştır.

Diğer çalışmadan alınan ilk deney numunesi olan Referans Çerçeve (RÇ) numunesinin deneyinde, pozitif basınç çevrimlerinde erişilen maksimum toplam yatay yük değeri +62.86 kN olup, bu yük anında ölçülen tepe deplasmanı miktarı +13.44 mm'dir. Negatif çekme çevrimlerindeyse elde edilen maksimum toplam yatay yük -67.67 kN olmuş ve bu yüke karşılık deplasman miktarı -13.10 mm olarak ölçülmüştür. Genel olarak karşılaştırmalar RÇ numunesine göre yapılmıştır. Çünkü yapılan güçlendirmelerin amacı, yumuşak kat düzensizliğine sahip betonarme çerçeve deney numunelerini RÇ numunesinin dayanımına yaklaştırabilmektir (Öğütçü, 2016).

Diğer çalışmadan alınan ikinci ve son deney numunesi olan Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) numunesinin deneyinde, pozitif basınç çevrimlerinde maksimum toplam yatay yük olarak +24.48 kN'luk yüke ulaşılmış, bu yük miktarında çerçeve +25.33 mm yanal deplasman yapmıştır. Negatif çekme çevrimlerinde de -22.50 kN yatay yüke erişilirken, sistemde -25.06 mm yanal deplasman ölçülmüştür (Öğütçü, 2016).

Güçlendirilmiş numunelerde yapılan deneylerde, ilk deney K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) çerçeve deney numunesi üzerinde olmuştur. KÇÇ numunesinin deney sonuçlarından elde edilen verilere göre, çerçeve, pozitif basınç çevrimlerinde +125.98 kN'luk yatay yüke dayanabilmiş ve bu yük değerinde +49.62 mm tepe deplasmanı miktarına ulaşmıştır. Çevrimlerin negatif çekme yüklemelerindeyse, çerçevede kaydedilen maksimum toplam yatay yük -95.51 kN ve tepe deplasmanı miktarı da -25.50 mm olmuştur.

Güçlendirilmiş numunelerde ikinci deney, Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) çerçeve deney numunesi üzerinde yapılmıştır. DVÇÇ numunesinin deneyinde, pozitif çevrim yüklemeleri esnasında, ulaşılan maksimum yatay yük değeri +80.89 kN olurken bu yüke karşılık kaydedilen yanal deplasman miktarı da +26.29 mm olmuştur. Negatif çevrim yüklemelerinde ise, çerçeve, -80.16 kN yatay yüke dayanmıştır. Bu yük değerinde çerçevenin tepe deplasmanı -22.31 mm olarak ölçülmüştür.

Güçlendirilmiş numunelerin deneylerinde üçüncü ve son deney, Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) çerçeve deney numunesi üzerinde yapılmıştır. YVÇÇ numunesinin deney sonuçlarına göre, pozitif çevrimlerde çerçevede ölçülen maksimum toplam yatay yük değeri +58.41 kN, bu yüke karşılık gelen tepe deplasmanı miktarı da +16.15 mm olmuştur. Negatif çevrimlerde, YVÇÇ çerçeve deney numunesi -53.78 kN maksimum yatay yüke dayanmış ve bu yüke karşılık -16.74 mm tepe deplasmanı yapmıştır.

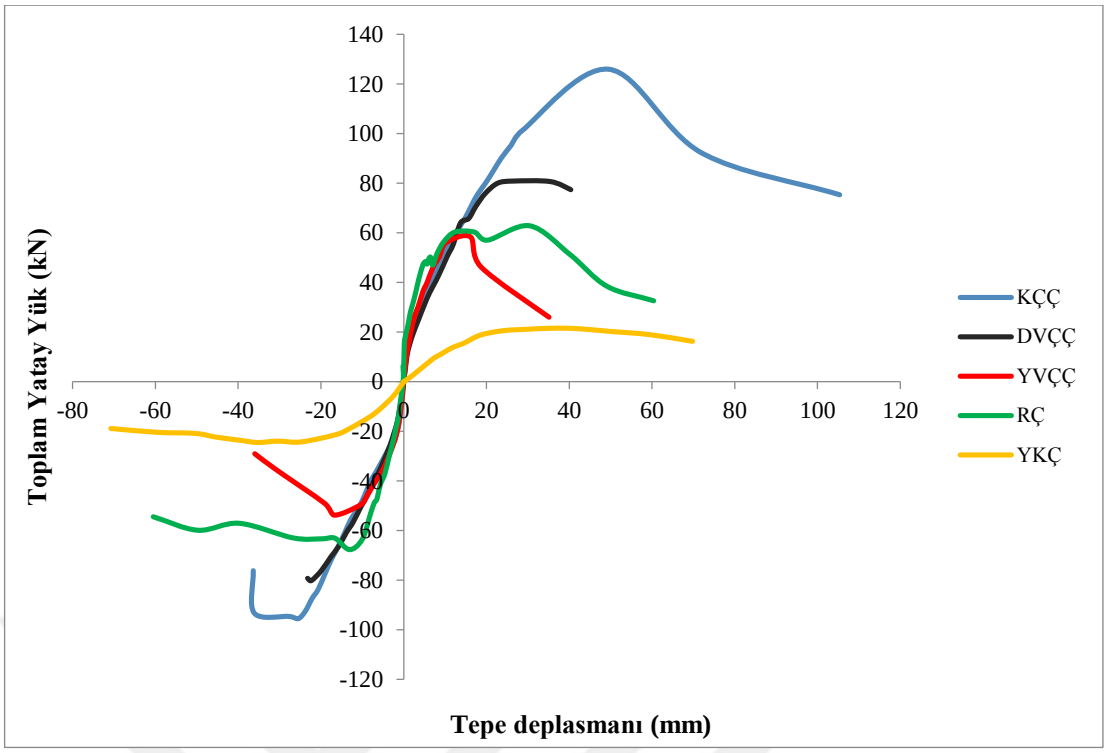
Bu veriler ışığında, numunelerin dayanabildiği yatay yük değerleri karşılaştırılıp, Referans Çerçeve (RÇ) numunesine göre değişim miktarları Çizelge 4.4'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması

Çerçeve Deney Numuneleri	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN)		Referans Çerçeve (RÇ) Numunesine Göre Yüzde Değişim Miktarı		Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) Numunesine Göre Yüzde Değişim Miktarı	
	Pozitif Basınç Çevrimi	Negatif Çekme Çevrimi	Pozitif Basınç Çevrimi	Negatif Çekme Çevrimi	Pozitif Basınç Çevrimi	Negatif Çekme Çevrimi
Referans Çerçeve (RÇ)	+62.86	-67.67	-	-	%156 artış	%200 artış
Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ)	+24.48	-22.50	%61 düşüş	%67 düşüş	-	-
K-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (KÇÇ)	+125.98	-95.51	%100 artış	%41 artış	%414 artış	%324 artış
Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (DVÇÇ)	+80.89	-80.16	%28 artış	%18 artış	%230 artış	%256 artış
Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (YVÇÇ)	+58.41	-53.78	%7 düşüş	%20 düşüş	%138 artış	%139 artış

Çizelgeden anlaşılacağı gibi, özellikle (<>) şeklinde K-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (KÇÇ) numunesinde, hem Referans Çerçeve (RÇ) hem de Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) numunesine göre yatay yük taşıma kapasitesi değerlerinde ciddi miktarda artış meydana gelmiştir. DVÇÇ numunesinde de taşıma kapasitesinde önemli artışlar gözlemlenirken, YVÇÇ numunesinde yatay yük taşıma kapasitesi Referans Çerçeve (RÇ) numunesine göre istenilen seviyenin altında kalmıştır. Ancak yine YVÇÇ numunesi de Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) numunesinden çok daha büyük yatay yüke dayanabilmiştir.

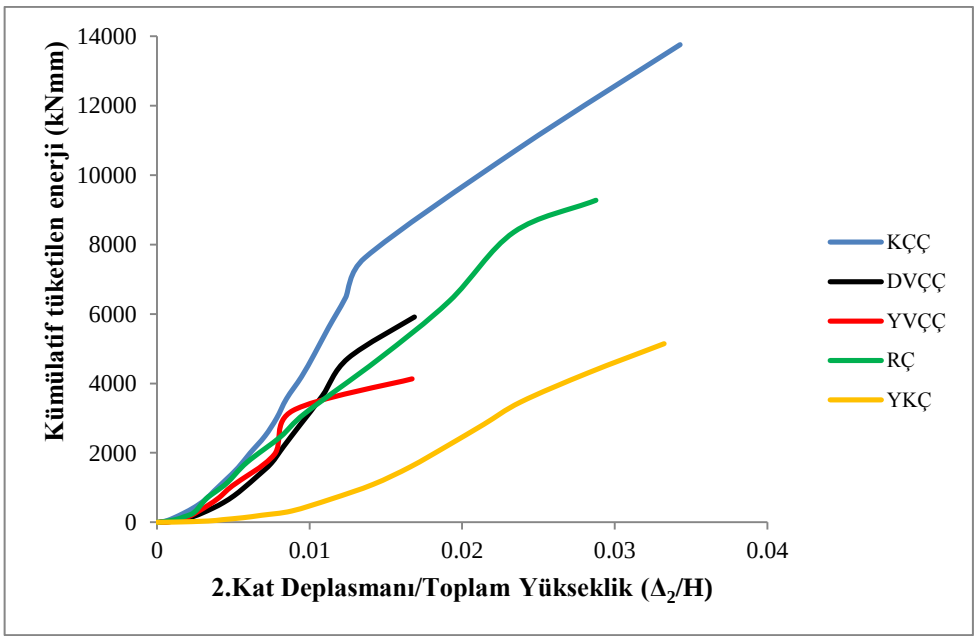
5 numune için ortak hazırlanmış olan toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği Şekil 4.32'de verilmiştir. Ortak grafik, her bir numuneye ait eğri farklı renkte olacak şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 4.32. Bütün numunelerin ortak toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği

Grafikte görüldüğü üzere, KÇÇ numunesi en yüksek dayanıma sahip olmuş, onu sırasıyla DVÇÇ, RÇ ve YVÇÇ numuneleri takip etmiştir. YKÇ numunesi beklenildiği üzere en düşük dayanıma sahip numunedir.

Tüm numunelerin deney sonuçlarından elde edilen verilere göre hazırlanan tüketilen enerji grafikleri ortak bir grafikte birleştirilmiş ve Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Bütün numunelerin ortak tüketilen enerji grafiği

Çizelge 4.5'te numunelerin maksimum yüke kadar ve deney sonunda oluşan kümülatif enerji tüketimleri yüzdesel olarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.5 Numunelerin enerji tüketimlerinin karşılaştırılması

Çerçeve Deney Numuneleri	**Tüketilen Enerji (kNmm)**		**Referans Çerçeve (RÇ) Numunesine Göre Yüzde Değişim Miktarı**		**Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) Numunesine Göre Yüzde Değişim Miktarı**	
	Maksimum Yükte	**Deney Sonunda**	**Maksimum Yükte**	**Deney Sonunda**	**Maksimum Yükte**	**Deney Sonunda**
Referans Çerçeve (RÇ)	1153.28	9275.60	-	-	%72 artış	%80 artış
Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ)	669.92	5143.69	%42 düşüş	%45 düşüş	-	-
K-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (KÇÇ)	10745.61	13757.15	%832 artış	%48 artış	%1505 artış	%167 artış
Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (DVÇÇ)	4724.59	5912.52	%310 artış	%36 düşüş	%605 artış	%15 artış
Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı Çerçeve (YVÇÇ)	1954.39	4130.43	%69 artış	%55 düşüş	%192 artış	%20 düşüş

Görüldüğü gibi, KÇÇ numunesi hem maksimum yüke kadar hem de deney sonunda, dayanımda olduğu gibi kümülatif enerji tüketimi açısından da diğer bütün numunelere göre çok daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Numunelerin maksimum yüke kadar tükettikleri kümülatif enerji miktarları düşünüldüğünde, sıralama büyükten küçüğe; KÇÇ, DVÇÇ, YVÇÇ, RÇ, YKÇ şeklinde olmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizdeki birçok binada karşılaştığımız yumuşak kat düzensizliği, 1999 depreminde çok fazla örneği olduğu gibi, deprem anında binayı ağır hasarlara götürebilmekte ve çoğu zamanda çökme durumuna getirebilmektedir. Genellikle bina zemin katında meydana gelen yumuşak kat oluşumunun ana sebepleri; çeşitli ticari ve mimari amaçlarla zemin kat yüksekliğinin diğer katlardan fazla tutulması ve/veya katta olması gereken dolgu duvarların yerine camekân tarzı duvarsız imalatlar yapılmasıdır.

Bu sebeplerin sonucunda, zemin katın yumuşak kat olmasıyla rijitliği büyük oranda azalmakta ve yatay yer değiştirmeye engel olacak perde duvar elemanları da mevcut değilse, deprem anında binada üst katlarda neredeyse hiç hasar oluşmazken bina zemin katın üzerine göçmektedir.

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, zemin katında yumuşak kat düzensizliğine sahip betonarme taşıyıcı sistemli çerçeveler K-Tipi (<>), düz V-Tipi (V), yan V-Tipi (>) çelik çapraz elemanlarla güçlendirilerek, güçlendirmeyle yumuşak kat oluşumunun olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Hazırlanan ve deneyleri yapılan 3 çerçeve numunesine, daha önceden (Öğütçü, 2016) tarafından yapılmış özdeş boyutlardaki güçlendirmesiz, iki katında dolgu duvarlı olduğu Referans Çerçeve (RÇ) ve zemin katı duvarsız ikinci katı dolgu duvarlı olan Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) numuneleri de eklenerek deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Amaç; yumuşak kat düzensizliğine sahip çerçevelerin, yumuşak katın olumsuz etkileri neticesinde kaybettiği dayanım, enerji tüketimi, rijitlik parametrelerini, iki katıda dolgu duvarlı olan düzenli çerçevenin seviyesine, duvar yerine güçlendirmeler yardımıyla çıkarabilmektir.

Deney programına göre, iki katlı tek açıklıklı özdeş boyut ve özelliklerdeki 3 çerçeve deney numunesi, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir.

Diğer çalışmadan alınan, her iki katında dolgu duvarların bulunduğu Referans Çerçeve (RÇ) numunesinin yatay yük taşıma kapasitesi, pozitif çevrimler için +62.86 kN, negatif çevrimler için -67.67 kN olmuştur.

Diğer çalışmadan alınan ikinci ve son numune olan, zemin katı duvarsız ikinci katı dolgu duvarlı Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) numunesi, pozitif çevrimlerde +22.60 kN'luk, negatif çevrimlerde de -22.00 kN'luk toplam yatay yüke dayanabilmiştir.

İkinci katı dolgu duvarlı ve zemin katında duvar yerine güçlendirme uygulaması yapılan betonarme çerçeve numunelerinin 1. deneyinde, K-Tipi (<>) çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş KÇÇ numunesi test edilmiş ve bu numunenin yatay yük taşıma kapasitesi, pozitif basınç çevrimlerinde +125.98 kN, negatif çekme çevrimlerinde -95.51 kN çıkmıştır.

Güçlendirilmiş çerçeve numunelerinde yapılan 2. deneyde, düz V-Tipi (V) çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş DVÇÇ numunesi teste tabi tutulmuş ve bu numune, pozitif çevrimlerde +80.89 kN, negatif çevrimlerdeyse -80.16 kN yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.

Güçlendirilmiş numunelerde 3. deney, yan V-Tipi(>) çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş YVÇÇ numunesi üzerinde yapılmış, bu numunede de +58.41 kN ve -53.78 kN maksimum yatay yük değerleri elde edilmiştir.

K-Tipi (<>) çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş KÇÇ numunesi, Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) numunesinin taşıdığı yükün neredeyse 6 katı kadar yüke dayanabilmiştir. Aynı karşılaştırmaya göre DVÇÇ numunesi 4 katı ve YVÇÇ numunesi de YKÇ numunesinin yaklaşık 2.5 katı kadar yatay yük taşıma kapasitesine erişmiştir.

Tüm numunelerin maksimum yüke kadarki toplam tükettikleri enerji miktarlarının 'kNmm' cinsinden küçükten büyüğe doğru sıralaması YKÇ 669.92, RÇ 1153.28, YVÇÇ 1954.39, DVÇÇ 4724.59, KÇÇ 10745.61 şeklinde olmuştur.

Tüm numunelerin başlangıç ve ilerleyen çevrimler için rijitlik durumları incelendiğinde, rijitlikler 'kN/mm' cinsinden küçükten büyüğe doğru YKÇ, YVÇÇ, RÇ, DVÇÇ, KÇÇ şeklinde sıralanmıştır.

Bütün bu sonuçlar ışığında, yumuşak kat düzensizliğinin oluşumuyla olumsuz yönde etkilenen yük taşıma kapasitesi, enerji tüketimi ve rijitlik parametrelerinin olumlu yönde düzeltilmesi konusunda, özellikle KÇÇ güçlendirilmiş numunesinin diğer bütün numunelere göre açık ara önde olduğu sabittir. Yine DVÇÇ güçlendirilmiş numunesinde de parametreler, istenilen seviyelerin oldukça üzerine çıkartılmıştır. Son olarak YVÇÇ numunesinde, güçlendirmenin etkisi diğer numunelere göre daha zayıf kalmışsa da yine istenilen seviyeye yakın değerler elde edilmiştir.

Diğer bir taraftan, ülke yapı stoğumuzun mevcut hali düşünülerek yönetmeliklerin belirlediği şartlara göre deprem dayanımı ve performansı yetersiz olarak hazırlanan numunelerde, kasten yapılan kolon kiriş birleşim yerlerinde etriyelerin bulunmaması hatası, numunelerin davranışlarını ve deneyleri beklenilenden daha fazla olumsuz yönde etkilemiştir. Bunun yanında deney düzeneğinin yük aktarma plakalarının da çerçevelere daha uygun olacak şekilde tekrardan gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çünkü özellikle KÇÇ numunesinde bu iki hususun etkisinden dolayı, sistemde akma yaşanmadan üst kat kolonunun kirişten ayrılmasıyla beklenmeyen gevrek göçme mekanizması oluşmuştur. Ayrıca bir diğer istenmeyen durum da, güçlendirmelerin birleşimi için uygulanan ankrajların sıyrılmaya zorlanması olmuştur.

5.2 Öneriler

Deney numunelerinin tasarımı yapılırken ele alınan ana konu olan yumuşak kat düzensizliği etkisinin yanında, ülke yapı stoğu düşünülerek kasten yapılan uygulama hatalarından bazıları sistemin beklenilen davranışını ve deneylerin verimliliğini olumsuz yönde etkilemiştir. Bu sebeple, ileride yapılacak benzer çalışmalarda daha hassas ön çalışma yapılması gerekmektedir.

Betonarme çerçevelere çelik profil elemanlarının eklenmesiyle yapılan güçlendirme uygulamalarında, yaygın olarak kullanılan mekanik ankrajlama yönteminden ziyade, epoksi veya başka kimyasalların kullanımıyla yapılacak kimyasal ankrajlama işleminin, betonarme ve çeliğin beraber uyumlu çalışması açısından daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Ayrıca yapılması planlanan benzer çalışmalarda, çerçevelere, depremi benzeştiren yatay tersinir-tekrarlanır yüklemenin yanında düşey yönde yük uygulamasının da yapılması daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Diğer bir yandan, deneysel olarak uygulanan yöntemlerin analitik çalışmalarla desteklenmesi de araştırmalara fayda sağlayacaktır.

Kentsel dönüşüm uygulamalarının hız kazandığı bu zamanlarda, ülkemizin mevcut bina durumu da göz önüne alındığında, özellikle betonarme binalar için, bu tür güçlendirme araştırmalarının daha fazla daha hassas şekilde üzerinde durulması gerekmektedir. Unutulmamalıdır ki yapılacak kaliteli bilimsel çalışmalar sayesinde, güçlendirme uygulamalarındaki hata ve eksikler minimuma indirilip, tehlike arz eden

yapıların doğru ve uygun şekilde güçlendirilmesiyle, hem can güvenliği üst seviyelere çıkarılacak hem de ülke ekonomisi olumlu yönde etkilenecektir.

KAYNAKLAR

AFAD, 1996, Deprem Bölgeleri HAritası, https://deprem.afad.gov.tr/deprem-bolgeleri-haritasi#:

American Geographical Society, 1935, Ana Deprem Kuşakları

Arnold, C., 2006, Designing for Earthquakes: A Manual for Architects, In: Mimari Tasarımda Deprem, Eds: 454, F., *U.S.A*, p.

ASCE-7, 2002, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Virginia, U.S.A., American Society of Civil Engineers.

Aydın, E., Boduroglu, M. H. ve Guney, D., 2007, Optimal Damper Distribution for Seismic Rehabilitation of Planar Building Structures, *Engineering Structures*, 29, 176-185.

Bayülke, N., 1999, Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, *İzmir*, İMO İzmir Şubesi, p.

Beigi, H. G., Christopoulos, C., Sullivan, T. ve Calvi, M., 2014, Seismic Response of a Case Study Soft Story Frame Retrofitted Using a GIB System, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 44, 997-1014.

Beşoğlu, 1997, https://www.besoglu.com/resimler/urunler/big/2406.jpg: [10.12.2017].

Briman, V. ve Ribakov, Y., 2008, Using Seismic Isolation Columns for Retrofitting Buildings with Soft Stories, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 18, 507-523.

Day, R. W., 2002, Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı, *Ankara*, Gazi Kitapevi, p.

Döndüren, M. S., Karaduman, A., Çöğürcü, M. T. ve Altın, M., 2007, Yapılarda Burulma Düzensizliği, *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 6 (1).

Dubey, S. K. D. ve Kute, S., 2014, An Experimental Investigation on the Ultimate Strength of Epoxy Repaired Braced Partial Infilled RC Frames, *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 6 (49).

El-Sokkary, H. ve Galal, K., 2009, Analytical Investigation of the Seismic Performance of RC Frames Rehabilitated Using Different Rehabilitation Techniques, *Engineering Structures*, 31, 1955-1966.

Eurocode 8, 2004, Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels, Belgium, European Comittee for Standardization.

Furtado, A., Rodrigues, H., Varum, H. ve Costa, A., 2015, Evaluation of Different Strengthening Techniques' Efficiency for a Soft Storey Building, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 28 December 2015, 1-18.

Gök, S. G., 2013, A3 Düzensizliği Olan Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Türk, Eurocode ve ACI318 Yönetmeliklerine Göre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.

Hisar, M., 2014, Deprem Bölgelerinde Yapilacak Binalar Hakkinda Yönetmelik Sonrasi Yapilarin Proje Ve Yapim Aşamalarinda Karşilaşilan Hatalar Üzerine İnceleme: İstanbul-Ümraniye Örneği Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi* İstanbul.

IS 1893-1, 2002, Bureau of Indian Standarts Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures – Part 1: General Provisions and Buildings (Fifth Revision). New Delhi, India.

Ishiyama, Y., 2011, Intorduction to Earthquake Engineering and Seismic Codes in the World, *Hokkaido University*, Hokkaido, Japan.

Işık, G., 2006, Betonarme Binaların Zemin Katında Oluşabilen Kısa Kolon ve Yumuşak Kat Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon.

Kamanlı, M., Korkmaz, H. H., Balık, F. S. ve Bahadır, F., 2011, Sünek Olmayan B/A Çerçevelerin, Çelik Çaprazlarla, B/A Dolgu Duvarlarla ve Çelik Levhalar ile Güçlendirilmesi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. ODTÜ, Ankara.

Kaplan, S. A., 2008, Dolgu Duvarların Betonarme Taşıyıcı Sistem Performansına Etkisi, *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 452 (6).

Karasu, T. O., Erdem, R. T., Demir, A. ve Bağcı, M., 2011, Yumuşak Kat Düzensizliği Bulunan Betonarme Bir Binanın Performansının İncelenmesi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 61-69.

Kaymak, F. ve Tuna, M. E., 2012, Bant Pencereli ve Tam Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Yanal Monotonik Yükleme Etkisi Altında Lineer Elastik Hesabı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 27 (No 3), 547-556.

Kılıç, A., 2012, Betonarme Çerçeveli Yapılarda Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Korkmaz, A. ve Uçar, T., 2006, Yumuşak Kat Düzensizliğinin Betonarme Binaların Deprem Davranışında Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11 (2).

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

Korkmaz, K. A., Demir, F. ve Sivri, M., 2007, Earthquake Assessment of R/C Structures with Masonry Infill Walls, *International Journal of Science & Technology*, 2 (2), 155-164.

Lee, H. S. ve Woo, S. W., 2002, Effect of Masonry Infills on Seismic Performance of a 3-Storey R/C Frame with Non-Seismic Detailing, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 31, 353–378.

M.T.A., 2012, Türkiye Diri Fay Haritası Serisi.

NZS-4203, 1992, Standards Association of New Zealand-General Structural Design and Design Loadings for Buildings. New Zealand.

Öğütçü, T. F., 2016, Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerde Yumuşak Kat Oluşumu Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Özmen, H. B., İnel, M. ve Bilgin, H., 2007, Yumuşak Kat Davranışının Duvar Etkisi Dikkate Alınarak İncelenmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. İstanbul.

Öztürk, T., 2013, Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi, *İMO Teknik Dergi*, 393, 6233-6256.

Özürün, A., 2014, Yüksek Yumuşak Kat üstüne, Yüksek Yapı Modellemesi Sonucu, Burulma ve Düzensizlikler, www.medeniyetmuhendisleri.com:

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

Quayyum, S., Nazmul, I. M. ve Iasmin, M. M., 2010, Effects of Randomly Distributed Infill on Columns of Reinforced Concrete Frames with Soft Ground Storey, *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 10 (3), 555-569.

Samanta, S. ve Nanda, R. P., 2012, Retrofitting of Soft-Storey Buildings Using Brick Infills and Steel Bracings, *The IUP Journal of Structural Engineering*, 5 (4), 61-73.

Sandıkçı, T., 2014, Bina Türü Betonarme Bir Yapıda Yumuşak Kat ve Burulma Düzensizliği İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon.

SI-413, 2004, The Standards Institution of Israel, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures. Tel Aviv, Israel.

Standart 2800, 2007, Permanent Committee of Revising the Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings. Tehran, Iran.

Tan, H., Huang, L., Yan, L., Yi, H., Lu, Y. ve Bai, W., 2015, Cyclic Loading Test of Three-Bay RC Space Frame Strengthened with X-Shape RC Braces, *Materials and Structures*, 49, 3509.

TDY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY). Ankara, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

Tezcan, S., Yazıcı, A., Özdemir, Z. ve Erkal, A., 2007, Zayıf Kat-Yumuşak Kat Düzensizliği. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. İstanbul.

Tezcan, T., Başaran, H., Demir, A. ve Bağcı, M., 2013, Yumuşak Kat Oluşumunda Duvar Etkisi ve Türk Deprem Yönetmeliğinin Konuya Yaklaşımı, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9 (1).

Topçu, A., 2008, Taşıyıcı Sistem Düzensizlikleri. Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Toptaş, G., 2012, Çok Katlı Yapılarda Geometrik Ve Yük Düzensizliklerinin Dinamik Analizi, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.

Ünal, A., 2012, TDY 2007'ye Göre Tasarlanmamış Betonarme Çerçevelerin Düzlem Dışı Perde Duvarla Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.

Yiğit, Y., 2002, Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri ve Bir Güçlendirme Uygulaması, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.

Yön, B. ve Sayın, E., 2011, Betonarme Perdeler ve Çelik Çaprazlarla Yapılan Güçlendirmelerin Karşılaştırılması. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11).

Yuen, Y. P. ve Kuang, J. S., 2015, Nonlinear Seismic Responses and Lateral Force Transfer Mechanisms of RC Frames with Different Infill Configurations, *Engineering Structures*, 91, 125-140.

EKLER

EK-1. ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1.1. Ana deprem kuşakları (American Geographical Society, 1935) 3
Şekil 1.2. Türkiye diri fay haritası serisi (M.T.A., 2012) 4
Şekil 1.3. Deprem bölgeleri haritası (AFAD, 1996) 5
Şekil 1.4. Uygun ve uygun olmayan bazı süreklilik ve düzgünlük durumları (Öğütçü, 2016) 7
Şekil 1.5. Dilatasyon boşluklarıyla yapının daha basit ve simetrik hale gelmesi (Toptaş, 2012) 8
Şekil 1.6. Burulma momentine maruz kalmış yapı 11
Şekil 1.7. Planda eksantrisite oluşumu ve deprem sonrası burulma düzensizliği hasarı (Arnold, 2006) 12
Şekil 1.8. Burulma düzensizliği hasarı (Topçu, 2008) 12
Şekil 1.9. Burulma düzensizliği durumu (TDY, 2007) 13
Şekil 1.10. Döşeme süreksizliği nedeniyle hasar görmüş yapılar (Sandıkçı, 2014) 15
Şekil 1.11. Döşeme boşluğu (Coşkun, 2009) 16
Şekil 1.12. Döşeme süreksizliği düzensizliği durumları (TDY, 2007) 17
Şekil 1.13. Planda çıkıntı yapmış bina (Sandıkçı, 2014) 18
Şekil 1.14. Planda çıkıntı yapmış l harfi şeklinde apartman, konya 19
Şekil 1.15. Planda çıkıntılar düzensizlik durumu (TDY, 2007) 19
Şekil 1.16. Planda çıkıntılar düzensizliği (IS 1893-1, 2002) 20
Şekil 1.17. Zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliği bulunan bir bina (Topçu, 2008) 21
Şekil 1.18. Imperial County belediye binası zayıf kat hasarı, 1979 Imperial County depremi, M = 6,4 (Tezcan ve ark., 2007) 22
Şekil 1.19. Casa Micasa binası zayıf kat hasarı, 1972 Nicaragua depremi, M = 6,2 (Tezcan ve ark., 2007) 22
Şekil 1.20. Zayıf kat hasarı görmüş bina (Sandıkçı, 2014) 23
Şekil 1.21. Giriş kat-yumuşak kat düzensizliği Örnek-1 (Topçu, 2008) 25
Şekil 1.22. Giriş kat yumuşak kat düzensizliği Örnek-2, 1999 (Tezcan ve ark., 2007) . 26
Şekil 1.23. Yumuşak kat durumundayken ve istenilen plastik mafsal oluşumu (Öğütçü, 2016) 27
Şekil 1.24. Giriş kat yumuşak kat düzensizliği Örnek-3 ve 4,1999 (Topçu, 2008) 27
Şekil 1.25. Giriş kat yumuşak kat düzensizliği Örnek-5 ve 6,1999 (Sandıkçı, 2014) 27
Şekil 1.26. Olive View hastanesi yumuşak kat ve zayıf kat hasarı, 1971 Kaliforniya Depremi, M = 6,5 (Tezcan ve ark., 2007) 28
Şekil 1.27. Ara katta yumuşak kat düzensizliği örneği (Özürün, 2014) 28
Şekil 1.28. Yumuşak kat düzensizliği durumu (IS 1893-1, 2002) 30
Şekil 1.29. Çakışmayan kolon aksı (Topçu, 2008) 32
Şekil 1.30. a) Konsola oturan kolon, b) Düşey doğrultuda taşıyıcı eleman süreksizliği (Topçu, 2008) 32
Şekil 1.31. Düşey taşıyıcı elemanların süreksizliği örnekleri (Topçu, 2008) 32
Şekil 1.32. Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının süreksizliği durumu (TDY, 2007) 33
Şekil 1.33. Düşey doğrultuda süreksizlik durumu (IS 1893-1, 2002) 34
Şekil 1.34. Betonarme mantolama yöntemiyle kiriş kolon kesitlerinin büyütülerek güçlendirilmesi (Beşoğlu, 1997) 36
Şekil 1.35. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde çelik şeritlerin sarılmasıyla güçlendirme uygulaması (Yiğit, 2002) 37
Şekil 1.36. Çelik çapraz elemanlarla güçlendirme tipleri (TDY, 2007) 39

Şekil 3.1. Boş çerçevenin boyutları ve görünümü (Tüm ölçüler mm cinsindendir.)..... 61
Şekil 3.2. Çerçeve donatı detayları 63
Şekil 3.3. Donatı montajı tamamlanmış çerçeve deney numunesi 64
Şekil 3.4. Çerçeve birleşim bölgelerinin detayları..... 64
Şekil 3.5. Küp beton numunelerinde eksenel basınç testi ile dayanımların belirlenmesi 65
Şekil 3.6. S.Ü. İnşaat Müh. Böl. Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılan çelik çekme deneyi..... 66
Şekil 3.7. Kalıpların hazırlanması..... 68
Şekil 3.8. Kalıp montajı tamamlanmış çerçeveler 68
Şekil 3.9. Donatıların hazırlanması..... 69
Şekil 3.10. Donatıların çerçeve kalıplarına yerleştirilmesi..... 69
Şekil 3.11. Beton döküm aşaması ve dökümü tamamlanmış çerçeveler 70
Şekil 3.12. Kalıpların sökülmesi ve numunelerin dikey konuma getirilmesi..... 70
Şekil 3.13. Çerçevelerde dolgu duvar örümü ve sıvanması aşamaları 71
Şekil 3.14. Güçlendirme uygulamasında kullanılan malzemeler a) Plakalar, b) Ankraj Bulonları ve..... 72
Şekil 3.15. a) Ankraj ve b) Kaynak işleri 72
Şekil 3.16. KÇÇ numunesinin güçlendirme detayı (Tüm ölçüler mm cinsindendir.) 73
Şekil 3.17. P-Tipi plaka detayı..... 73
Şekil 3.18. DVÇÇ numunesinin güçlendirme detayı (Tüm ölçüler mm cinsindendir.) . 75
Şekil 3.19. P1-Tipi plaka detayı..... 75
Şekil 3.20. YVÇÇ numunesinin güçlendirme detayı (Tüm ölçüler mm cinsindendir.) . 76
Şekil 3.21. P2-Tipi plaka detayı..... 77
Şekil 3.22. Yük dağıtma sistemi 79
Şekil 3.23. Yükleme düzeneğinin genel görünümü..... 79
Şekil 3.24. Veri toplama sistemi..... 80
Şekil 3.25. Yük hücresi..... 81
Şekil 3.26. Çerçevelerde kullanılan potansiyometrik cetveller ve bunların kalibrasyonu 82
Şekil 3.27. Deney çerçevelerinde potansiyometrik cetvel yerleşimi 82
Şekil 3.28. a) KÇÇ, b) DVÇÇ ve c) YVÇÇ betonarme çerçeve deney numunelerinin hazırlıklarının tamamlanmış, deney düzeneklerine yerleştirilmiş halleri..... 83
Şekil 3.29. a) Referans Çerçeve (RÇ)'nin deney öncesi görüntüsü, b) Yumuşak Katlı Çerçeve (YKÇ) 'nin deney öncesi görüntüsü (Öğütçü, 2016)..... 83
Şekil 4.1. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin deney öncesi görünümü 85
Şekil 4.2. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin yatay yük geçmişi 86
Şekil 4.3. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin tepe deplasman geçmişi 86
Şekil 4.4. Numunede oluşan ilk çatlak 87
Şekil 4.5. -4 çevriminde meydana gelen çatlaklar..... 87
Şekil 4.6. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin deney sonrası genel görünümü 93
Şekil 4.7. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunede oluşan çatlaklar 93
Şekil 4.8. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin deney sonrası detay görünümü 94
Şekil 4.9. Deney Sonunda KÇÇ Numunesinde Görülen Ağır Hasarlar 95
Şekil 4.10. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin a) Yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi b) Zarf eğrisi..... 96
Şekil 4.11. K-Tipi Çelik Çaprazlı (KÇÇ) numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji - 2.kat ötelenme oranı grafiği..... 97
Şekil 4.12. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin deney öncesi görünümü .. 97
Şekil 4.13. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin yatay yük geçmişi..... 98

Şekil 4.14. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin tepe deplasman geçmişi .. 98
Şekil 4.15. Numunede oluşan ilk çatlaklar (-4 Çevrimi) 99
Şekil 4.16. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin deney sonrası genel görünümü 104
Şekil 4.17. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunede oluşan çatlaklar..... 104
Şekil 4.18. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) Numunenin Deney Sonrası Detay Görünümü 105
Şekil 4.19. Deney Sonunda DVÇÇ Numunesinde Görülen Ağır Hasarlar 106
Şekil 4.20. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin a) Yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi b) Zarf eğrisi..... 107
Şekil 4.21. Düz V-Tipi Çelik Çaprazlı (DVÇÇ) numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji- 2.kat ötelenme oranı grafiği..... 108
Şekil 4.22. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin deney öncesi görünümü 109
Şekil 4.23. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin yatay yük geçmişi..... 109
Şekil 4.24. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin tepe deplasman geçmişi 110
Şekil 4.25. Numunede oluşan ilk çatlaklar (2. Çevrim)..... 110
Şekil 4.26. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin deney sonrası genel görünümü 114
Şekil 4.27. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunede oluşan çatlaklar..... 114
Şekil 4.28. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin deney sonrası detay görünümü 115
Şekil 4.29. Deney sonunda YVÇÇ numunesinde görülen ağır hasarlar..... 116
Şekil 4.30. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin a) Yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histerezis eğrisi b) Zarf eğrisi..... 117
Şekil 4.31. Yan V-Tipi Çelik Çaprazlı (YVÇÇ) numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji- 2.kat ötelenme oranı grafiği..... 118
Şekil 4.32. Bütün numunelerin ortak toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri grafiği..... 121
Şekil 4.33. Bütün numunelerin ortak tüketilen enerji grafiği 121

EK-2. ÇİZELGELER TABLOSU

Çizelge 1.1. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar..... 14
Çizelge 3.1. Deney numuneleri..... 60
Çizelge 3.2. Deney numunelerinin beton basınç dayanımları 66
Çizelge 3.3. Donatı dayanım değerleri 67
Çizelge 4.1. KÇÇ Numunesi İçin Deney Sırasında Oluşan Çatlaklar ve Gözlemlenen Davranışlar..... 88
Çizelge 4.2. DVÇÇ Numunesi İçin Deney Sırasında Oluşan Çatlaklar ve Gözlemlenen Davranışlar..... 99
Çizelge 4.3. YVÇÇ numunesi için deney sırasında oluşan çatlaklar ve gözlemlenen davranışlar..... 111
Çizelge 4.4 Numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması..... 120
Çizelge 4.5 Numunelerin enerji tüketimlerinin karşılaştırılması..... 122

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Abdulhamit Nakipoğlu
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Samsun/1990
Telefon	**:**	05068775830
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	anakipoglu@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Nermin Mehmet Çekiç A.L., Yenimahalle, Ankara	2008
Üniversite	:	Gaziantep Üniversitesi, Şahinbey, Gaziantep	2013
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	Devam ediyor
Doktora	:	-	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2013	Koray İnş. San. ve Tic. A.Ş.	Saha Mühendisi
2015-…	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR

Döndüren, M.S., Nakipoğlu, A., 2016, *"Farklı Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerine Göre Taşıyıcı Sistem Düzensizliklerinin Karşılaştırılması",* Selçuk-Teknik Dergisi, Cilt 15, Sayı:3.

Nakipoğlu, A., Döndüren, M.S., *"Experimental Study on Strengthening a Reinforced Concrete Structure with Soft Storey Irregularity",* International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'17)**,** 07-09 Aralık 2017, Konya, Türkiye.