

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME ÇERÇEVELERİN ÖZEL KÖŞE ÇAPRAZLARI İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Kıvanç TAŞKIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

MAYIS 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME ÇERÇEVELERİN ÖZEL KÖŞE ÇAPRAZLARI İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Kıvanç TAŞKIN
(501022002)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI
Eş Danışmanı: Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN**

Teslim Tarihi : 29 Eylül 2009

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501022002 numaralı Doktora Öğrencisi **Kıvanç TAŞKIN** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“BETONARME ÇERÇEVELERİN ÖZEL KÖŞE ÇAPRAZLARI İLE GÜÇLENDİRİLMESİ ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI**
Yeditepe Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof.Dr. H. Faruk KARADOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gülay ALTAY**
Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Tuncer ÇELİK
Beykent Üniversitesi

Prof. Dr. A. Zafer ÖZTÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. O. Cem ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ercan YÜKSEL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **29 Eylül 2009**
Savunma Tarihi : **06 Mayıs 2011**

Babama...

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince bana gerekli mesaiyi ayıran, yol gösteren, teşvik eden ve cesaretlendiren, her daim bilgi ve tecrübesine müracaat ettiğim, danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI ve Sayın Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN'a şükranlarımı sunarım. Çalışmamın altı aylık dönemlerinin sonunda toplanıp, yapılanları değerlendirdiğimiz tez izleme jürisindeki hocalarım Sayın Prof. Dr. Cavidan YORGUN'a, Sayın Prof. Dr. Gülay ALTAY'a ve Sayın Prof. Dr. Tuncer ÇELİK'e göstermiş oldukları ilgi, verdikleri destek ve yapıcı katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezin deneysel çalışmasının tamamlanmasında ve deneysel görgümün artırılmasında her zaman yanımda olan, bana tecrübelerini aktaran, deneylerde ortaya çıkan aksaklıkların giderilmesinde zamanını ve mesaisini harcayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ercan YÜKSEL'e üzerimdeki emekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Bununla birlikte, İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında bana yardımlarını esirgemeyen iyi ve kötü günlerde 3 sene boyunca beraber çalıştığım Dr. Hasan ÖZKAYNAK'a, laboratuvarında bulunduğum yedi sene boyunca deneysel çalışmanın yürütülmesinde yardımcı olan İnş. Yük. Müh. Hakan SARUHAN'a verdikleri desteklerden dolayı şükranlarımı sunarım.

Gerçekleştirilen bu çalışma TÜBİTAK -106M045 kapsamında İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında geliştirilmiştir. Bu projede yürütücüm olmayı kabul eden ve büyük bir sorumluluğun altında imzası olan Sayın Prof. Dr. Cavidan YORGUN'a tekrar teşekkür ederim.

Deneysel çalışmada malzeme, işçilik ve imalat olarak destek veren ALFAÇELİK, GALVAÇELİK, BORUSAN firmalarına ve İMSAN Proje Mimarlık Çelik İmalat Sanayii ve Ticaret Ltd.Şti.'ne teşekkür ederim.

Doktoramın zor zamanlarında bana evini, arkadaşlığını ve ailesini açan Kerem PEKER'e ve eşi İdil YURDAKUL PEKER'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Son ama en önemlisi, hayatım boyuca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, hatalarımı bağışlayan, kusurlarımı örten, biricik anneme en derin kalbi duygularla hürmetlerimi sunar ve yakın zamanda vefat eden babamı rahmet ve özlemlerle anarım. Birbirimize her zaman destek olduğumuz hayatımın her anında yanında hissettiğim kardeşime bilhassa teşekkür ederim.

Mayıs 2011

Kıvanç TAŞKIN

İnşaat Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Önceki Çalışmalar	2
1.2 Amaç	10
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	11
2.1 Numunelerin Belirlendiği Betonarme Yapı	11
2.2 Deney Düzenegi İmalatı.....	13
2.3 Deney Numunelerinin Üretilmesi	14
2.4 Malzeme Deneyleri	21
2.4.1 Beton basınç deneyleri	21
2.4.2 Donatı deneyleri	22
2.5 Deney Düzenegi	23
2.5.1 Yükleme düzenegi.....	23
2.5.2 Ölçüm düzenegi	25
2.6 Birinci Grup Deney Sonuçları.....	27
2.6.1 Yalın betonarme çerçeve deneyi (BF)	27
2.6.2 Tek köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (SKNEE).....	35
2.6.3 İki köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (DKNEE).....	43
2.6.4 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (FKNEE).....	51
2.6.5 Merkezi çelik çaprazlı numune deneyi (CONBRACE).....	59
2.7 İkinci Grup Deney Sonuçları.....	68
2.7.1 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (FKNEE-REV)	68
2.7.2 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (FKNEE-60.3)	77
2.7.3 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (KNEE-60.3).....	85
2.7.4 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (FKNEE-RING).....	93
3. ANALİTİK ÇALIŞMA.....	103
3.1 Kesitlerin XTRACT Programı ile Çözümü.....	103
3.2 Birinci Grup Deney Numunelerinin SAP2000 Programı ile Modellenmesi..	106
3.2.1 Yalın betonarme çerçeve modeli.....	106
3.2.2 Tek köşeden çelik çaprazlı numune (SKNEE) modeli	107
3.2.3 İki köşeden çelik çaprazlı numune (DKNEE) modeli	108
3.2.4 Dört köşeden çelik çaprazlı numune (FKNEE) modeli	110
3.2.5 Merkezi çelik çaprazlı numune (CONBRACE) modeli	112
3.3 İkinci Grup Deney Numunelerinin SAP2000 Programı ile Modellenmesi....	113
3.3.1 Dört köşeden çelik çaprazlı numune (FKNEE_REV) modeli	113
3.3.2 Dört köşeden çelik çaprazlı numune (FKNEE_H) modeli	115

3.3.3 Dört köşeden çelik çaprazlı numune(KNEE_60.3) modeli.....	116
3.3.4 Dört köşeden çelik çaprazlı ve ortasında küçük çelik çerçeve ile güçlendirilmiş (FKNEE_RING) modeli	118
3.4 Deneysel Çalışmanın Basitleştirilmiş Bir Yöntemle Yapılan Analitik Çevrimsel Yük Analizi	119
3.4.1 PHD_KT hesap kodu	120
3.4.2 PHD_KT analiz sonuçları	125
4. DENEYSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	129
4.1 Yatay Yük Taşıma Kapasitesi Ve Göçme Yüğü	129
4.2 Başlangıç Rijitliği, Etkin Rijitlik ve Tepe Noktaları Rijitliği.....	134
4.3 Önerilen Eşdeğer Yerdeğiştirme Sünekliği	137
4.4 Kuvvet Azaltma Çarpanı	140
4.5 Enerji Yutma Kapasitesi.....	143
4.6 Çevrimsel Sönüm Değerleri	145
4.7 Hasar durumu	146
5. MEVCUT YAPI STOĞUNU TEMSİL EDEN BETONARME TAŞIYICI SİSTEMİ.....	149
5.1 Sistem Boyutlandırılması	149
5.1.1 Yapı kat ve aks bilgisi	150
5.2 Yapının Lineer Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yöntemi Ile Analizi	152
5.2.1 Mevcut yapı stoğünü temsil eden binanın taşıyıcı sistemi.....	152
5.2.2 Etkin rijitlik kabulleri	153
5.2.3 Kesit davranış kabulleri.....	153
5.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi	154
5.3.1 Doğrusal elastik davranış	154
5.3.2 İtme analizi ve performans noktasının belirlenmesi	155
5.3.3 Bina performansının değerlendirilmesi	158
5.4 Güçlendirilmiş Yapının Yanal İtme Analizi.....	159
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	167
6.1 Sonuçlar	167
6.2 Öneriler.....	170
KAYNAKLAR.....	171
EKLER.....	175
ÖZGEÇMİŞ.....	213

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ölçek katsayıları.....	12
Çizelge 2.2 : BF numunesi yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.	29
Çizelge 2.3 : BF numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri(mm).	34
Çizelge 2.4 : BF numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri(mm).	34
Çizelge 2.5 : SKNEE yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.	37
Çizelge 2.6 : SKNEE numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm). .	42
Çizelge 2.7 : SKNEE numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).	42
Çizelge 2.8 : DKNEE yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.	45
Çizelge 2.9 : DKNEE numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm)..	50
Çizelge 2.10 : DKNEE numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).	50
Çizelge 2.11 : FKNEE yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.	53
Çizelge 2.12 : FKNEE numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).	58
Çizelge 2.13 : FKNEE numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).	59
Çizelge 2.14 : CONBRACE yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.	61
Çizelge 2.15 : CONBRACE numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	66
Çizelge 2.16 : CONBRACE numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	66
Çizelge 2.17 : FKNEE-REV yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.....	70
Çizelge 2.18 : FKNEE_REV numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	75
Çizelge 2.19 : FKNEE_REV numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	76
Çizelge 2.20 : FKNEE-H yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.....	79
Çizelge 2.21 : FKNEE_H numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	84
Çizelge 2.22 : FKNEE_H numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	84
Çizelge 2.23 : KNEE-60.3 yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.....	87
Çizelge 2.24 : KNEE_60.3 numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	91
Çizelge 2.25 : KNEE_60.3 numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	92
Çizelge 2.26 : FKNEE-RING yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.....	95
Çizelge 2.27 : FKNEE_RING numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	99
Çizelge 2.28 : FKNEE_RING numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).....	100

Çizelge 3.1 : XTRACT programında sargısız betona ait büyüklükler.	104
Çizelge 3.2 : XTRACT programında sargılı betona ait büyüklükler.	105
Çizelge 3.3 : Bozulmamış yüksek enerji sönümlü çevrim grafiği oluşturan eşitlikler.	121
Çizelge 3.4 : Azalan enerji sönümlü sıkışan çevrim grafiğini oluşturan eşitlikler. .	122
Çizelge 3.5 : Plastik yorulma hasarı çevrim bozulması grafiğini oluşturan eşitlikler.	123
Çizelge 3.6 : Çevrimsel pekleşme çevrim bozulması grafiğini oluşturan eşitlikler.	124
Çizelge 4.1 : Tüm deney numunelerine ait yatay kuvvet.	133
Çizelge 4.2 : Güçlendirilmiş çerçevelerin yalın çerçeveye göre rijitlik karşılaştırması.	135
Çizelge 4.3 : Deney numunelerine ait rijitlik değerleri	136
Çizelge 4.4 : Deney numunelerine kuvvet azaltma çarpanı-R değerleri.	143
Çizelge 4.5 : Numunelere ait enerji tüketim kapasiteleri.....	144
Çizelge 5.1 : Kolon normal kuvvetleri.....	151
Çizelge 5.2 : Birinci doğal titreşim periyoduna ait bilgiler.	154
Çizelge 5.3 : Modal yerdeğiştirme-modal ivme dönüşüm çizelgesi.....	155
Çizelge 5.4 : Katlara göre kolon boyutlarının hesaplanması	160
Çizelge A.1 : Katlara göre kolon boyutlarının hesaplanması	202
Çizelge A.2 : Kolon kesitlerinde toplam eğrilik istemleri ve hasar bölgeleri.....	210
Çizelge A.3 : Kiriş kesitlerinde toplam eğrilik istemleri ve hasar bölgeleri.....	211

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çelik köşe çaprazlı sistem (ÇKÇS) genel gösterimi.....	3
Şekil 1.2 : Genel şekil ve parametrelerin açıklaması.....	3
Şekil 1.3 : Değişik tipte ve yerleşimde kullanılan çelik çaprazlı yapı modelleri.	4
Şekil 1.4 : Güçlendirmede kullanılan kayma elemanı.	4
Şekil 1.5 : Betonarme deney numunesi çapraz bağlanma şekli.	5
Şekil 1.6 : Deney numuneleri sonlu eleman modeli.	6
Şekil 1.7 : Deneysel çalışma-teorik çalışma karşılaştırma grafiği.	7
Şekil 1.8 : Deney numuneleri geometrik özellikleri ve çelik çapraz bağlantı detayları.	7
Şekil 1.9 : Betonarme deney numunesi.	8
Şekil 1.10 : Betonarme numuneye çapraz bağlantı resmi.	9
Şekil 1.11 : Analizlerde kullanılan güçlendirme yöntemleri.	9
Şekil 2.1 : Deney numunelerinin seçildiği betonarme yapı.	12
Şekil 2.2 : Deney düzeneği ve laboratuvar ortamındaki konumu.	14
Şekil 2.3 : Deney numuneleri geometrik şekli ve donatı yerleşimi.	14
Şekil 2.4 : Numune Kalıplarının ve donatıları kalıp içine yerleştirilmesi.	15
Şekil 2.5 : Donatı üzerine şekil değiştirme ölçer yapıştırılması.	16
Şekil 2.6 : Çelik çaprazların imalatı.	17
Şekil 2.7 : Tek köşeden çelik çaprazlı numune (SKNEE).	17
Şekil 2.8 : İki köşeden çelik çaprazlı numune (DKNEE).	18
Şekil 2.9 : Dört köşeden çelik çaprazlı numune (FKNEE).	18
Şekil 2.10 : Merkezi çelik çaprazlı numune (CONBRACE).	19
Şekil 2.11 : Dört köşeden çelik çaprazla güçlendirilmiş numune (FKNEE_REV)...	19
Şekil 2.12 : Dört köşeden çelik çaprazla güçlendirilmiş hasarlı numune (FKNEE_H).	20
Şekil 2.13 : Dört köşeden çelik çaprazla güçlendirilmiş numune (KNEE_60.3).	20
Şekil 2.14 : Dört köşeden çelik çaprazla ve küçük bir çelikçerçeve ile güçlendirilmiş numune (FKNEE_RING).	21
Şekil 2.15 : Standart beton basınç deney sonuçları ve düzeneği.	22
Şekil 2.16 : Ø6 lık donatıya ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği.	22
Şekil 2.17 : Ø8 lık donatıya ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği.	23
Şekil 2.18 : Donatı çekme deneyi.	23
Şekil 2.19 : Deney düzeneği.	24
Şekil 2.20 : Yerdeğiştirme ölçüm düzeneği.	26
Şekil 2.21 : Şekildeğiştirme ölçüm düzeneği.	26
Şekil 2.22 : Şekil değiştirme, dönme ve eğrilik hesabı (Özkaynak (2010)).	27
Şekil 2.23 : BF numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.	28
Şekil 2.24 : BF numunesi yükleme protokolü.	29
Şekil 2.25 : BF numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.	30
Şekil 2.26 : BF numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	32

Şekil 2.27 : BF numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi. ..	32
Şekil 2.28 : BF numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.	33
Şekil 2.29 : BF numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	33
Şekil 2.30 : BF numunesi hasar durumları fotoğrafları.	35
Şekil 2.31 : SKNEE numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.	36
Şekil 2.32 : SKNEE numunesi yükleme protokolü.	36
Şekil 2.33 : SKNEE numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.	38
Şekil 2.34 : SKNEE numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	39
Şekil 2.35 : SKNEE numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	40
Şekil 2.36 : SKNEE numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.	40
Şekil 2.37 : SKNEE numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	41
Şekil 2.38 : SKNEE numunesi hasar durumları fotoğrafları.	43
Şekil 2.39 : DKNEE numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.	44
Şekil 2.40 : DKNEE numunesi yükleme protokolü.	44
Şekil 2.41 : DKNEE numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.	46
Şekil 2.42 : DKNEE numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	47
Şekil 2.43 : DKNEE numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	48
Şekil 2.44 : DKNEE numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.	48
Şekil 2.45 : DKNEE numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	49
Şekil 2.46 : DKNEE numunesi hasar durumları fotoğrafları.	51
Şekil 2.47 : FKNEE numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.	52
Şekil 2.48 : FKNEE numunesi yükleme protokolü.	52
Şekil 2.49 : FKNEE numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.	54
Şekil 2.50 : FKNEE numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	55
Şekil 2.51 : FKNEE numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	56
Şekil 2.52 : FKNEE numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.	56
Şekil 2.53 : FKNEE numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	57
Şekil 2.54 : FKNEE numunesi hasar durumları fotoğrafları.	58
Şekil 2.55 : CONBRACE numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.	60
Şekil 2.56 : CONBRACE numunesi yükleme protokolü.	60
Şekil 2.57 : CONBRACE numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.	62
Şekil 2.58 : CONBRACE numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	63
Şekil 2.59 : CONBRACE numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	64
Şekil 2.60 : CONBRACE numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.	64
Şekil 2.61 : CONBRACE numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	65
Şekil 2.62 : CONBRACE numunesi hasar durumları fotoğrafları.	67
Şekil 2.63 : FKNEE-REV numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.	69
Şekil 2.64 : FKNEE-REV numunesi yükleme protokolü.	69
Şekil 2.65 : FKNEE_REV numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.	71
Şekil 2.66 : FKNEE_REV numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	72
Şekil 2.67 : FKNEE_REV numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	73
Şekil 2.68 : FKNEE_REV numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.	73
Şekil 2.69 : FKNEE_REV numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	74
Şekil 2.70 : FKNEE_REV numunesi hasar durumları fotoğrafları.	77
Şekil 2.71 : FKNEE-H numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.	78

Şekil 2.72 : FKNEE-H numunesi yükleme protokolü.....	78
Şekil 2.73 : FKNEE_H numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.....	80
Şekil 2.74 : FKNEE_H numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	81
Şekil 2.75 : FKNEE_H numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.....	82
Şekil 2.76 : FKNEE_H numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.....	82
Şekil 2.77 : FKNEE_H numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	83
Şekil 2.78 : FKNEE_H numunesi hasar durumları fotoğrafları.	85
Şekil 2.79 : KNEE-60.3 numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.	86
Şekil 2.80 : FKNEE-H numunesi yükleme protokolü.	86
Şekil 2.81 : KNEE_60.3 numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.....	88
Şekil 2.82 : KNEE_60.3 numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	89
Şekil 2.83 : KNEE_60.3 numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.....	89
Şekil 2.84 : KNEE_60.3 numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.....	90
Şekil 2.85 : KNEE_60.3 numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	90
Şekil 2.86 : KNEE_60.3 numunesi hasar durumları fotoğrafları.	93
Şekil 2.87 : FKNEE-RING numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği. .	94
Şekil 2.88 : FKNEE-RING numunesi yükleme protokolü.....	94
Şekil 2.89 : FKNEE_RING numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.....	96
Şekil 2.90 : FKNEE_RING numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.	97
Şekil 2.91 : FKNEE_RING numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.....	97
Şekil 2.92 : FKNEE_RING numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.....	98
Şekil 2.93 : FKNEE_RING numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	98
Şekil 2.94 : FKNEE_RING numunesi hasar durumları fotoğrafları.	101
Şekil 3.1 : XTRACT programında sargısız ve sargılı beton için elde edilmiş olan gerilme-şekildeğiştirme grafikleri.....	104
Şekil 3.2 : XTRACT programında donatı için elde edilmiş olan gerilme-şekildeğiştirme grafikleri.	104
Şekil 3.3 : XTRACT programında kesit için elde edilmiş olan moment-eğrilik ilişkisi.	105
Şekil 3.4 : XTRACT programında oluşturulan kesit.....	105
Şekil 3.5 : Yalın çerçeve deneysel ve analitik analiz ilişkisi.	106
Şekil 3.6 : BF numunesine ait SAP2000 çözümü.....	107
Şekil 3.7 : Tek köşeden çaprazlı çelik çaprazlı numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.	108
Şekil 3.8 : SKNEE numunesine ait SAP2000 çözümü.....	108
Şekil 3.9 : İki köşeden çelik çaprazlı numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.	109
Şekil 3.10 : DKNEE numunesine ait SAP2000 çözümü.	110
Şekil 3.11 : Dört köşeden çelik çaprazlı numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.....	111
Şekil 3.12 : FKNEE numunesine ait SAP2000 çözümü.....	111
Şekil 3.13 : Merkezi çelik çaprazlı numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.	112
Şekil 3.14 : CONBRACE numunesine ait SAP2000 çözümü.	113
Şekil 3.15 : FKNEE_REV deneysel ve analitik analiz ilişkisi.	114
Şekil 3.16 : FKNEE_REV numunesine ait SAP2000 çözümü.....	114
Şekil 3.17 : FKNEE_H numunesi deneysel ve analitik yerdeğiştirme ilişkileri.....	115
Şekil 3.18 : FKNEE_H numunesine ait SAP2000 çözümü.....	116

Şekil 3.19 : KNEE_60.3 numunesi deneysel ve analitik analiz ilişkisi	117
Şekil 3.20 : KNEE_60.3 numunesine ait SAP2000 çözümü.	117
Şekil 3.21 : FKNEE_RING numunesinin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.	118
Şekil 3.22 : FKNEE_RING numunesine ait SAP2000 çözümü.	119
Şekil 3.23 : PHD_KT algoritması için kullanılan basitleştirilmiş grafik	119
Şekil 3.24 : PHD_KT hesap algoritması akış diyagramı.	120
Şekil 3.25 : Bozulmamış yüksek enerji sönümlü çevrim grafiği ve parametreleri.	121
Şekil 3.26 : Azalan enerji sönümlü sıkışan çevrim grafiği ve parametreleri.	122
Şekil 3.27 : Plastik yorulma hasarı çevrim bozulması grafiği ve parametreleri.	123
Şekil 3.28 : Çevrimsel pekleşme çevrim bozulması grafiği ve parametreleri.	124
Şekil 3.29 : BF-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.	125
Şekil 3.30 : SKNEE-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.	126
Şekil 3.31 : DKNEE-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.	126
Şekil 3.32 : FKNEE-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.	127
Şekil 3.33 : KNEE_60.3-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.	128
Şekil 3.34 : FKNEE_RING-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.	128
Şekil 4.1 : Deneylere ait yatay yük-tepe yer değiştirmesi zarf eğrileri.	130
Şekil 4.2 : Yatay yük-tepe yer değiştirmesi zarf eğrisinin iki doğrulu idealleştirilmesi.	134
Şekil 4.3 : Deneylere ait rijitlik-görelî kat ötelemeleri eğrileri.	137
Şekil 4.4 : Yatay yük-tepe yer değiştirmesi zarf eğrisinin iki doğrulu olarak idealleştirilmesi için farklı yaklaşımlar; (a) Priestley ve diğ., 2007, (b) Paulay ve Priestley, 1992, (c) Maheri ve Akbari, 2003.	139
Şekil 4.5 : Başlangıç rijitlikleri eşit lineer ve lineer olmayan sistemlerin yük-yerdeğiştirme eğrilerinde (a) eşit yer değiştirme durumu, (b) eşit enerji durumu ve kuvvet azaltma çarpanı, (R).	142
Şekil 4.6 : Tüm deney numunelerine ait yığılımlı çevrimsel enerji grafiği.	144
Şekil 4.7 : Çevrimsel sönüm değerleri.	145
Şekil 4.8 : Deney numunelerine ait sönüm oranları.	146
Şekil 5.1 : Betona ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.	149
Şekil 5.2 : Donatıya ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.	150
Şekil 5.3 : Oluşturulan sistem şekli.	150
Şekil 5.4 : Oluşturulan sistem planı.	151
Şekil 5.5 : SAP2000 Programında Yapının Üç Boyutlu Görünüşü	153
Şekil 5.6 : Taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi diyagramı.	155
Şekil 5.7 : Göçme anında A-D aksında oluşan plastik mafsallar.	156
Şekil 5.8 : Göçme anında B-C aksında oluşan plastik mafsallar.	156
Şekil 5.9 : Spektral ivme-spektral yer değiştirmesi diyagramı.	156
Şekil 5.10 : Performans noktasının belirlenmesi	157
Şekil 5.11 : Tepe yer değiştirme istemine ulaşıldığı anda A-D aksında oluşan plastik mafsallar.	157
Şekil 5.12 : Tepe yer değiştirme istemine ulaşıldığı anda B-C aksında oluşan plastik mafsallar.	158
Şekil 5.13 : Oluşturulan sistem şekli.	159

Şekil 5.14 : Model yapı kolon yerleşim düzeni.	160
Şekil 5.15 : Model bina ve analizi yapılan üç farklı basit çelik çaprazla güçlendirilmiş yapı modeli.	161
Şekil 5.16 : Çelik çapraz sistemlerin yapı üzerindeki yerleşimi.....	162
Şekil 5.17 : Şekil 5.15B durumu için oluşturulan yapı modeli.....	163
Şekil 5.18 : Şekil 5.66C durumu için oluşturulan yapı modeli.....	163
Şekil 5.19 : Şekil 5.66D durumu için oluşturulan yapı modeli	164
Şekil 5.20 : Şekil 5.26 için bulunan yanal itme analiz eğrileri.	164
Şekil 5.21 : Model ve güçlendirilmiş yapılara ait yanal itme analiz eğrileri.	165
Şekil 5.22 : Şekil 5.26D yapı modeli için bulunan yanal itme analiz eğrileri.	165
Şekil 5.23 : Üç ve altı kat çapa sahip çelik çaprazlarla Şekil 5.15C'ye göre oluşturulan yapı analiz eğrileri	166
Şekil 6.1 : Çelik çaprazlarla güçlendirilmiş numulere ait kritik sönüm grafiği.....	169
Şekil A.1 : Üç noktadan mesnetli deney düzeneği moment diyagramı.	177
Şekil A.2 : Üç noktadan mesnetli deney düzeneği normal kuvvet diyagramı.	177
Şekil A.3 : Üç noktadan mesnetli deney düzeneği kesme kuvveti diyagramı.	178
Şekil A.4 : İki uç noktadan mesnetli deney düzeneği moment diyagramı.	178
Şekil A.5 : İki uç noktadan mesnetli deney düzeneği normal kuvvet diyagramı. ...	178
Şekil A.6 : İki uç noktadan mesnetli deney düzeneği kesme kuvveti diyagramı. ...	178
Şekil A.7 : Elastik mesnetli deney düzeneği moment diyagramı.	179
Şekil A.8 : Elastik mesnetli deney düzeneği normal kuvvet diyagramı.	179
Şekil A.9 : Elastik mesnetli deney düzeneği kesme kuvveti diyagramı.	179
Şekil A.10 : KN1 ve KN2 elemanları imalat resimleri.....	181
Şekil A.11 : KN3 ve KN4 elemanları imalat resimleri.....	181
Şekil A.12 : KN5ve KN6 elemanları imalat resimleri.	182
Şekil A.13 : KN7ve KN8 elemanları imalat resimleri.....	182
Şekil A.14 : KN9 elemanı imalat resimleri.	182
Şekil A.15 : XTRACT programı sargısız beton veri giriş penceresi.	183
Şekil A.16 : XTRACT programı sargılı beton veri giriş penceresi.	183
Şekil A.17 : XTRACT programı sargılı beton veri giriş penceresi-b.....	184
Şekil A.18 : PHD_KT akış diyagramı	185
Şekil A.19 : Simetrik tablalı kesitler.....	203
Şekil A.20 : Simetrik olmayan tablalı kesitler.....	203
Şekil A.21 : Tipik kat planı.....	206
Şekil A.22 : 1-4 ve 2-3 aksları görünüşü.	206
Şekil A.23 : A-D ve B-C aksları görünüşü.	207
Şekil A.24 : 1. ve 2. kat kolon aplikasyon planı.	207
Şekil A.25 : 3. ve 4. kat kolon aplikasyon planı.	208
Şekil A.26 : 5. kat kolon aplikasyon planı.	208
Şekil A.27 : 1 aksı kiriş donatı aplikasyonu.	209
Şekil A.28 : 2 aksı kiriş donatı aplikasyonu.	209

SEMBOL LİSTESİ

a	: Basınç dayanımı numunesi uzunluğu
A_h	: Yük-yerdeğiştirme çevrimsel eğrisinde stabil bir tam çevrimin içinde kalan alan
b	: Basınç dayanımı numunesi genişliği
E_1	: İki doğrulu olarak idealleştirilmiş yük-yerdeğiştirme diyagramında ilk doğrunun eğimi
E_2	: İki doğrulu olarak idealleştirilmiş yük-yerdeğiştirme diyagramında ikinci doğrunun eğimi
E_c	: Çerçeve betonunun elastisite modülü
E_{per}	: Tuğlaların deliklerine dik doğrultudaki elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
f_{ck150}	: Standart silindir numune basınç dayanımı
$f_{ck(150 \times 150 \times 150)}$	: 150 mm boyutlarındaki küp numune basınç dayanımı
f_{ctk}	: Harç/sıva/beton çekme dayanımı
F_m	: Yük-yerdeğiştirme çevrimsel eğrisinde stabil bir tam çevrimdeki en büyük yük
f_{max}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{yk}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
G	: Kayma modülü
H	: Kat yüksekliği
h_k	: Kolon boyu
I_k	: Kolonun atalet momenti
k	: 70 mm boyutundaki küp numunelerin basınç dayanımlarını, 150 mm boyutundaki küp numunelerin basınç dayanımlarına çevirme katsayısı
K_{etk}^+, K_{etk}	: Sırasıyla, itme ve çekme adımlarındaki etkin rijitlikler
K_{int}	: Başlangıç rijitliği
K_{tn}	: Tepe noktalarına karşı gelen rijitlik
L	: Eğilme deneyi numunesi mesnetler arasındaki mesafe
M_{max}	: En büyük moment değeri
P	: Yük
P_{max}	: Eşdeğer basınç/çekme çubuğunun eksenel akma dayanımı
P_{ult}	: Dolgu duvar numunesi yük taşıma kapasitesi
R_{en}	: Kuvvet azaltma çarpanı
V_y	: Akma yükü
W	: Kesit mukavemet momenti
$\Delta_{0,05}$	: $0.05P_{G1}$ 'e karşı gelen yerdeğiştirme değeri
$\Delta_{0,35}$	: $0.35P_{G1}$ 'e karşı gelen yerdeğiştirme değeri
Δ_m	: Yük-yerdeğiştirme çevrimsel eğrisinde stabil bir tam çevrimdeki en büyük yerdeğiştirme
Δ_{max}	: Eşdeğer basınç çubuğunun yapacağı en büyük kısılma
Δ_u	: Göçme sınırındaki yerdeğiştirme değeri

Δ_{ult}	: Yük taşıma kapasitesinde olan düşey yerdeğiştirme
Δ_y	: Akma yerdeğiştirme
δ	: Kat yerdeğiştirme
δH	: Greli kat öteleme oranı
ϵ_{max}	: Dolgu duvar numunesinde en büyük gerilme değerine karşı gelen şekildeğiştirme
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma şekildeğiştirme
μ	: Süneklik
ξ_{el}	: Elastik sönüm
ξ_{eq}	: Eşdeğer viskoz sönüm
ξ_{hyst}	: Çevrimsel sönüm
σ	: Basınç gerilmesi
τ	: Kayma gerilmesi

BETONARME ÇERÇEVELERİN ÖZEL KÖŞE ÇAPRAZLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Yeni bulgulara dayanılarak geliştirilmiş bulunan depem yönetmelikleri yapılardan beklenen depreme karşı dayanımı yükseltmektedir. Yapılardan artık daha yüksek performans beklenmektedir. Buna göre önceki yönetmeliklere göre tasarlanmış ve inşa edilmiş yapıların dayanımının yeni yönetmelik ve şartnamelerdeki koşulları sağlayacak şekilde arttırılması gerekmektedir. Bu amaçla, mevcut güçlendirme yöntemleri kullanılabileceği gibi uygulanmakta olan güçlendirme yöntemlerinin herbirinde bulunan bazı olumsuz durumları karşılayacak yeni teknikler denenebilir. Son yıllarda mevcut güçlendirme yöntemlerine ek olarak yapının dinamik karakteristiklerini en az ölçüde değiştirecek yenilikçi güçlendirme yöntemleri üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır. Bu yöntemlerin geliştirilmesi, yeni malzeme ve düşüncelerle daha etkin hale getirilmeleri ve kolay uygulanabilir özelliklerin öne çıkartılması gerekmektedir. Bunlardan biri çelik çapraz elemanlarla yapıyı güçlendirmektir. Çaprazlarla yapılan güçlendirme, yapının içinde çerçeveler arasında olabileceği gibi yapının dışından yapıyı payandalamak şeklinde de yapılabilir.

Dıştan yapılan güçlendirmede, çelik çaprazlı sistem betonarme yapının dış akslarındaki kolon ve kirişlere bağlanarak gerçekleştirilmektedir. Yapı içinde çaprazlarla gerçekleştirilen güçlendirme sisteminde ise bağlantılar betonarme çerçevenin kolon-kirişlerine uygulanmaktadır. Başka türlü söylemek gerekirse, güçlendirme amacıyla kullanılacak çaprazlar doğrudan betonarme çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlanabildiği gibi bir başka çelik çerçeve içerisine yerleştirildikten sonra bu çerçeve ile birlikte betonarme çerçevenin içine uygun bir yolla, beraber çalışacak şekilde bağlanmaktadır. Bazı durumlarda, özellikle hasarlı betonarme çerçevelerde çelik çerçevenin kullanımı gerekli dayanımı sağlamak için yeterli olmakla beraber diğer durumlarda maliyeti yükselten bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada malzeme yönünden doğrusal olmayan davranıştan yararlanarak, köşelere yakın çaprazlarla kontrollü düzeyde kalıcı şekil değiştirme yapabilen, böylelikle enerji yutabilen bir güçlendirme yolu bu çalışmada deneysel ve teorik olarak ele alınmaktadır. Bu güçlendirme sisteminde, maliyeti yükseltmeden enerji yutma kapasitesini arttırmak amacıyla seçilen çeşitli çaprazlama şekilleri birbirleri ile karşılaştırılmaktadır. Bu güçlendirme yolu izlenirken eklenen köşe çaprazları ve birbirlerine bağlantıları yapının yatay rijitliği ve serbest titreşim karakteristikleri üzerinde sınırlı etkiler oluşturmaktadır.

1/3 ölçekli dokuz numune, Buckingham's Pi-teorisi göz önüne alınarak bir model yapı üzerinden ölçeklendirilerek üretilmişlerdir. Bu numuneler, yerdeğiştirme kontrollü verenler aracılığıyla laboratuvarında depremi andıran iki yönlü etkiler altında bırakılmışlardır. Yalın çerçeve ve düğüm noktalarından geçen çaprazlı sistemler karşılaştırma amaçlı deney numuneleri olarak üretilmişlerdir. Düğüm noktalarından

geçen çaprazlar zayıf olduğu bilinen uygulamada gözlenen hasarlar nedeniyle yetersizliği kanıtlanmış olan kritik bölgelere yük aktarmakta olduğu için uygulama açısından güçlendirmede uygun bulunmamaktadır. Amaç farklı çaprazlama düzenlerinin enerji yutma kapasitelerini karşılaştırmak, betonarme elemanlarla bağlantı detaylarının davranışını gözlemek sistemin sağladığı süneklik düzeyleri hakkında fikir edinmektir. Yalın çerçeve düğüm noktalarından geçen geleneksel çaprazlar, köşe çaprazları bağlayan değişik düzenlemeler bu çalışmada dikkate alınmış ve bunların yatay yük taşıma kapasitesini artırırken görelî kat ötelemelerini azaltmıştır. Düğüm noktalarından bağlı çelik çaprazlı sistem beklendiği üzere daha rijit ve gevrek bir davranış sergilerken köşe çaprazlı sistemler sünek ve esnek bir davranış göstermişlerdir.

Deneyisel olarak elde edilen sonuçlar ile kuramsal çalışmalardan elde edilen çözümlemeler karşılaştırılmıştır. Buradan elde edilen bilgiler kullanılarak beş katlı bir yapı üzerinde yukarıda bahsedilen farklı güçlendirme sistemleri uygulanmıştır. Uygulanan bütün basit çelik köşe çaprazlı sistemler görelî kat ötelemesini azaltırken serbest titreşim karakteristikleri fazla değişmediği için yapıya aktarılan deprem yüklerinde fazla artış olmadan yatay yük taşıma kapasitesini arttırmışlardır. Düğüm noktasından geçen çaprazlı sistem, iyi yapılmadıkları uygulamada bilinen kolon-kiriş birleşim bölgelerine doğrudan doğruya yük aktarmasının getireceği sakıncadan öte uygulamada donatıların yoğun geçtiği bölgelerde zorluk oluşacağından güçlendirme amacıyla kullanılması uygun düşmemektedir. Her bir numuneye ait enerji yutma kapasiteleri, sönüm oranları ve periyotları bulunmuş ve yalın çerçeve ile karşılaştırılmıştır. Büyük kesitli çelik çaprazlı sistemle daha büyük yatay yük taşıma kapasitesine erişilirken; küçük kesitli sistem de daha yüksek sönüm oranlarına ve enerji yutma kapasitesine ulaşıldığı gözlenmektedir.

Köşe çelik çaprazlı sistemler kullanılarak yapılan güçlendirmenin bulunan en önemli sonuçlardan biri, serbest titreşim, frekans ve mod şekilleri gibi dinamik karakteristikleri en az ölçüde değiştirdiğidir. Doğrusal olmayan yanal itme analizleri, yapıda kullanılan köşe çelik çaprazlı sistemlerin tek başına değil aynı zamanda komşu açıklıklardaki köşelerde de kullanıldığında kolonlarda oluşabilecek erken göçme durumlarını engellediğini göstermiştir. Bu uygulamaya yönelik bir uyarıdır. Bu önlem göz önünde bulundurularak daha büyük yerdeğiştirme sünekliklerine ulaşılabilirdiği sayısal olarak gözlenmiştir. Üç boyutlu bir yapının tercihen burulma düzensizlerini azaltmak üzere dört yanına konulan çaprazlı sistemin sadece üç kenarında bir çerçeve içerisine konularak da benzer sayısal sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

RETROFITTING REINFORCED CONCRETE FRAMES BY SPECIAL KNEE BRACES

SUMMARY

After the destructive earthquakes (1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan, 1999 Kocaeli and Duzce) as a consequence of poor reinforcement detailing, lack of transverse reinforcement in the joint region, as well as the absence of any capacity design principles, brittle failure mechanisms are expected either at local level(e.g. shear failure in the joints, columns or beams) or global level(e.g. soft storey mechanism). The complexity of the behavior of beam-column joints has been well recognized in the past as confirmed by the major effort, dedicated worldwide in the past thirty-forty years to the development of appropriate seismic design guidelines and criteria. Earthquake, research and administrative activities for the rehabilitation of existing buildings have been accelerated in Turkey in all aspects.

New assessment techniques, experimentally verified new retrofitting techniques, new re-design procedures have been developed (Karadogan, 2009). New Earthquake Resistant Design Code (1997) becomes effective first and it has been updated depending on new experimental and theoretical findings in 2007. Shear walls are commonly used in RC framed buildings to resist lateral earthquake loads, , whereas, steel bracing is the most often used in steel structures. In the past two decades, a number of reports have also indicated the effective use of steel bracing in RC frames. Steel bracing of RC buildings started as a retrofitting measure to strengthen earthquake-damaged buildings or to increase the load resisting capacity of existing buildings. The bracing methods adopted in the past fall into two main categories, namely (i) external bracing and (ii) internal bracing.

It is quite a long time known that steel bracing has important contribution to the lateral strength and ductility of both RC and steel frames. In addition to concentric bracings placed in between the beam and column connections there are several other bracing configurations found in literature. In Japanese practice another closed frame braced by diagonals are placed in an RC frame by shear studs and connected to peripheral elements in a continuous way. Most of the ordinary RC buildings have an important common deficiency which is the lack of proper detailing in the zones of beam-column connections. This future should be kept in mind if cost effective retrofitting technique is going to be proposed for ordinary RC buildings. Therefore knee bracing which are activating the sections where the strength has not been exploited yet either by vertical and horizontal loads becomes very interesting.

The assessment and rehabilitation works already carried out indicates that the low–cost, low–rise RC buildings have more or less similar deficiencies. Among the common structural deficiencies one can count the beam–column connections which have not been constructed very well and hence they are most critical regions of the structural systems, the lack of lateral rigidity and the structural alterations done in improper ways etc. Beam – column connections and their close vicinities which are

generally weak in unengineered buildings were not used but the sections which are not stressed both by vertical or lateral loads.

The basic philosophy behind the RC specimens strengthened by different configurations of steel diagonals is to create more sections with reserved capacity either on existing rc elements or in steel elements to dissipate more energy imparted to the structure by seismic excitation, (Taskin, 2010). The steel diagonals are not blocking totally the flexural behavior of individual RC elements in the inelastic excursions and they can be mounted or renewed very easily if they experience excessive plastic deformations during severe displacement reversals.

Sekiguchi, I.(1988), Badoux, M. and Jirsa, O. (1990), Bush ,T.D., Jones, E.A. and Jirsa, J.O.(1991) focussed on the retrofitting of steel bracing and studied the type of external bracing of buildings. They use internal indirect bracing to increase the lateral load capacity of RC buildings by configuring on individual bays of the RC frames . Maheri and Sahabi(1996), use of steel bracing in concrete-framed structures to determine the degree of effectiveness of different diagonal bracing arrangements to increase the in-plane shear strength of the concrete frame and to observe the relative behaviour of tension and compression braces. Mofid and Khosravi(1999), studied a new structural bracing system called the 'Disposable Knee Bracing'. They proposed a special form of diagonal brace connected to a knee element instead of beam-column joint. Maheri, Kousari and Razazan(2003) conducted pushover experiments on scaled models of ductile RC frames, directly braced by steel X and knee braces are tested . As a result, knee bracing system increases the lateral load capacity and the ductility of RC frame. It is concluded that both X-bracing and knee-bracing systems may be used to design or retrofit for a damage-level earthquake.

In the external bracing system, existing buildings are retrofitted by attaching a local or global steel bracing system to the exterior frames. In the internal bracing method, the buildings are retrofitted by incorporating a bracing system inside the individual bays of the RC frames. The bracing may be attached to the RC frame either indirectly or directly. In the indirect internal bracing, a braced steel frame is positioned inside the RC frame. As a result, the transfer of load between the steel bracing and the concrete frame is achieved indirectly through the steel frame. In some retrofitting cases, provision of the steel frame may be necessary to reduce the strength demand on an already damaged and weakened RC frame, in other instances the steel frame acts only as a costly connecting mechanism.

An alternative method is presented here in to utilize the non-linear behaviour of a new structural bracing system called the “Disposable Knee Bracing”. In this framing system, a special form of diagonal brace connected to a knee element instead of beam-column joint, is proposed. The diagonal elements provide effective lateral stiffness, sufficient ductility and small storey drift for moderate design earthquake. The knee elements are designed to have plastified regions for dissipation of the energy caused by strong earthquake.

The simple technique proposed has several important differences than the other traditional techniques such as adding shear walls or converting the non structural partitioning walls to structural walls etc. It does not cause severe changes in the lateral rigidity of the original building like shear wall intervention or modification to shear walls do. It is clear that the decrement in fundamental period of building will cause

generally increment in the earthquake forces to be imparted to the building. It means that the problem is being amplified first prior the solution.

It becomes a serious problem to transfer the shear forces and overturning moments attracted by shear walls to the soil through the foundation. One of the other difficulty inherently exist in the traditional techniques mentioned above is the substantial changes in the structural behavior of newly introduced dual system which will consist of existing frame elements and the integrated shear walls. As it is known it is hard to estimate the internal force distributions if there exist dual systems simply because of the interaction of flexural type deformation of shear walls and shear type deformation of frames. This may cause stress concentrations in some of the existing critical sections which may need improvements. In order to propose an alternative to overcome those expected difficulties light steel bracing configurations are proposed to activate the sections still have reserve flexural and shear capacities.

In this article the responses of nine 1:3 scaled specimens braced by six different type of bracing configurations have been subjected to displacement reversals together with a reference frame to see the effectiveness of the proposed bracing system. One of the specimens was corner to corner diagonally braced system and the rest of them were different kind of knee element combinations. They have been designed to consume energy in flexural deformations. Buckingham's pi- theorem was referred to scale down the specimens from prototype.

The experimentally achieved results were theoretically obtained through non-linear analysis and the proposed strengthening technique were used to retrofit a five storey RC structure which is also strengthened by means of other retrofitting techniques. All kinds of light steel bracing configurations are increasing the lateral load capacity and are decreasing the storey drift. Concentric bracing which are placed in between the most vulnerable zones of the structures is not preferred as much as the other knee braced configurations proposed. Energy dissipating capacities, damping ratios drift ratios and fundamental periods found for each specimen are all compared with the corresponding response of bare frame specimen. The thicker the bracing system the more the lateral load capacity has been reached. Also the more redundancy and more deformable elements the more energy consumption and more hysteretic damping ratios have been determined.

One of the important aspects of retrofitting by light steel bracing configurations is to minimize the changes on the structural characteristics of the existing systems. Pushover analysis indicates that if the knee braces are not only used in the strengthened span of the structure but partially in the adjacent spans also protects the early failure of the columns. Higher lateral load capacities and overall displacement ductilities are reached when this retrofitting technique is used. Similar equivalent responses have been obtained for three and four sided bracings systems in the plan and this is one of the advantages of this technique by doing that the others. No drastic changes should be expected in the vibrational characteristics of the original structure and hence in the amount of earthquake forces to be imparted to the structure.

1. GİRİŞ

Doğal afetlerin en önemlilerinden biri olan depremin, meydana getirdiği etkiler yönünden de dikkate değer pek çok özelliği vardır. Deprem, toprak kaymaları, yapılarda hasar ve göçmeler meydana getirerek can kaybına neden olur. Deprem etkisinin en önemli özelliği, meydana gelen can kayıplarının hemen hemen hepsinin, insanlar tarafından inşa edilen yapıların davranışıyla ilgili olmasıdır. Bu nedenle bu etkinin incelenmesi ve depreme dayanıklı bina tasarımı da, özel bir mühendislik yaklaşımı gerektirir.

Depremin diğer bir özelliği de önceden bir uyarı gelmeden meydana gelmesidir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilirse de, günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Gerçekte, depremin oluş zamanı yeter doğrulukta tahmin edilerek haber verilebilse ve böylece insanların hayatı kurtarılabilsen bile, yapılarda meydana gelen hasar ve göçmeler toplumun ekonomisinde önemli kayıplara neden olacağından, yapıların yine deprem etkisine dayanıklı inşa edilmesi gerekir.

Betonarme binalar, 1992 Erzincan, 1995 Afyon-Dinar, 1998 Adana-Ceyhan, 1999 İzmit, 1999 Bolu-Düzce, 2002 Afyon-Sultandağı ve son olarak 2003 Bingöl depreminde de çoğunlukla görüldüğü üzere yapısal özelliklerin yetersizliğinden kaynaklanan nedenlerden dolayı önemli derecede hasarlar almış ve can kaybına neden olmuştur. Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının artırılması genel olarak, sisteme perde veya çelik diyagonal elemanlar eklenerek binanın rijitliğinin ve dayanımının artırılması ya da belirli yapısal elemanların mantolanması (beton manto veya çelik sargı gibi) veya fiber takviyeli polimer (FRP) ile güçlendirilmesiyle sağlanmaktadır, (UNDP/UNIDO PROJECT 1983, Rodriguez and 1993).

Güçlendirmenin gerçekçi olduğu durumlarda uygulama alanı bulan bazı önceki çalışmalarda pratik bir çözüm olarak, mevcut yapıların dıştan çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilmesi önerilmiştir,(Sekiguchi (1988), Del Valle Calderon ve ark. (1988), Badoux and Jirsa (1990)). Bush ve ark (1991), ölçekli bazı numuneler

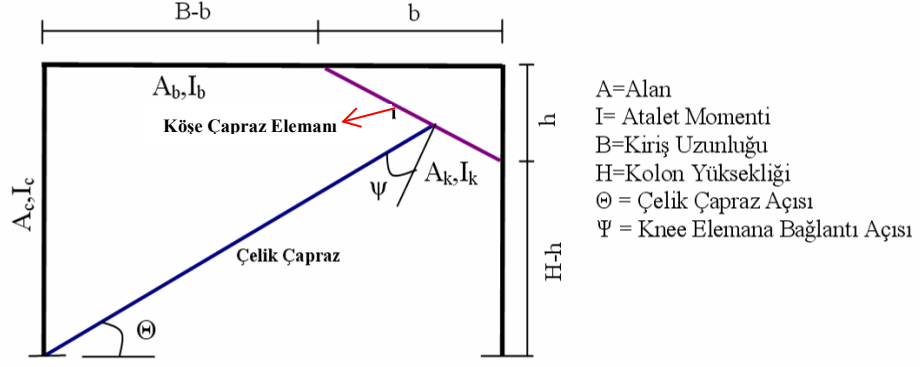
üzerinde yaptıkları çalışmalarda yapının taban kesme kuvvetinin arttırıldığını göstermişlerdir. Mimari gereksinimler ve uygulama zorlukları bu tip bir güçlendirmede çelik çaprazların betonarme elamanlara birleşim bölgelerinde daha dikkatli olunması gerektiğini göstermiştir.

Betonarme yapılarda diğer bir yöntem de çerçeve elemanlarının içlerine çelik çaprazlı siztemler yerleştirilmesidir. Burada ise uygulama doğrudan ya da dolaylı yoldan yapılmaktadır. Dolaylı bir şekilde yapılan güçlendirme de betonarme çerçevenin içine hazırlanan çelik çaprazlı çerçeve yerleştirilmektedir. Burada deprem kuvvetleri dolaylı yoldan çelik çerçeve ve çaprazlarla sönümlenmektedir. Bu tip bir güçlendirmenin iyi bir uygulama ile başarılı olabileceği gösterilmiştir, (Sugano ve Fujimura 1980, Higashi ve ark. 1981, Kawamata ve Ohnuma 1981, Usami ve ark. 1988, Ohishi ve ark. 1988, Wylli ve ark. 1991). Bu çalışmalar da X, V ve K şeklinde değişik geometrik formlarda çelik çapraz sistemleri kullanılmıştır.

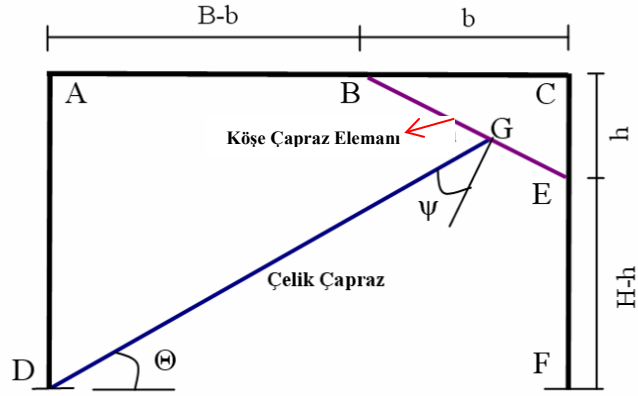
1.1 Önceki Çalışmalar

Onarım ve güçlendirme günümüz için yeni bir yaklaşım değildir. Özellikle son yıllarda ülkemizin yaşamış olduğu depremler bu kavramların hayatımıza hızla girmesini sağlamış ve inşaat mühendisleri tarafından sıkça kullanılmıştır. Bu bölümde güçlendirme yöntemlerinden biri olan “yapıların çelik çaprazlarla güçlendirilmesi” konusunda daha önceden yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

M.Mofid, P. Khasnani (1999) tarafından yapılan bu çalışmada, “Çelik Köşe Çaprazlı Sistem (ÇKÇS)” olarak adlandırılan bir güçlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak sistemin doğrusal olmayan davranışı incelenmiş ve bu davranışı tanımlamak için yaklaşık bir yöntem önerilmiştir. Burada, yapının genişlik (B) ve yükseklik (H) parametreleri baz alınarak $(B/H) < 1$ ve $(B/H) > 1$ olmak üzere iki farklı çerçeve sistemi ele alınmıştır, Şekil 1.1-2.



Şekil 1.1 : Çelik köşe çaprazlı sistem (ÇKÇS) genel gösterimi.



Şekil 1.2 : Genel şekil ve parametrelerin açıklaması.

$$\alpha = [\tan(\Theta) - [(H-h)/B]] / [[H/(B-b)] - [(H-h)/B]]$$

α , G noktası “köşe çapraz” elemanın ortasında ise sıfır

α , G noktası “köşe çapraz” elemanın ucunda ise bir değerini alacaktır.

Sonuç olarak, ÇKÇS’ nin tasarım algoritması şöyle özetlenmiştir:

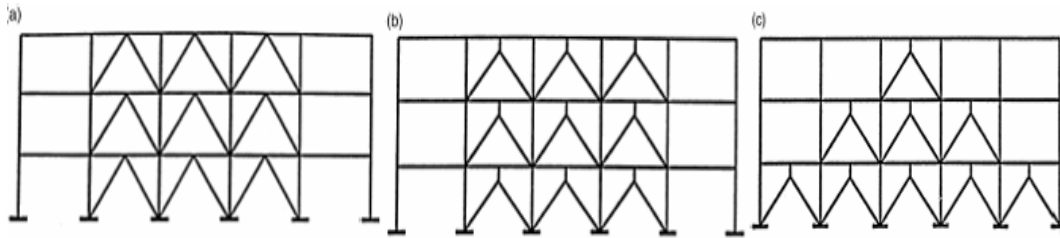
- ÇKÇS’ nin şekli ve formu için bilinmeyen parametreler tahmin edilir.
- Köşe çapraz ve diyagonal elemanların kesitleri ve özellikleri tahmin edilir.
- Köşe çapraz eleman kontrolü yapılır.
- Grafikler kullanılarak boyutsuz parametreler bulunur ve uygun eşdeğer iki doğrulu grafik olarak hesaplanır.

Çerçeve ve çapraz elamanlar her zaman elastik bölgede olmalıdır.

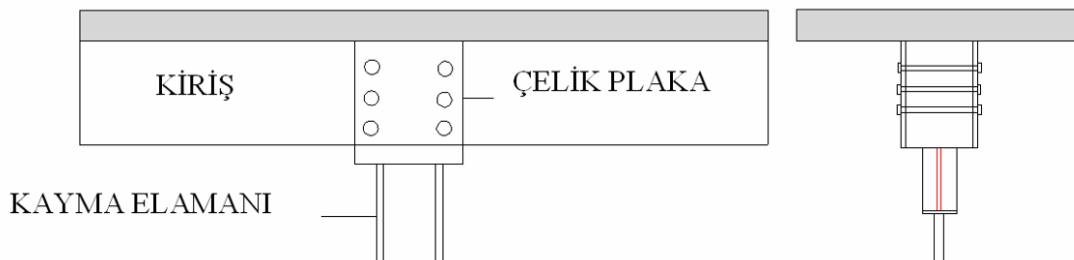
Bu çalışmada elde edilen sonuçlar:

- ÇKÇS' nin deprem sırasında genel çerçeve davranışı üzerinde etkisi vardır.
- Eğer ÇKÇS doğru ve tam olarak tasarlanırsa şiddetli depremlerde efektif olarak davranacaktır.
- Eğer köşe çapraz elaman çerçevenin diyagonaline paralel olarak konursa ve diyagonal eleman kolon-kiriş birleşimden geçecek şekilde köşe çapraz elemana bağlanırsa ÇKÇS optimum davranışını gösterecektir.
- Yaklaşık bilineer davranış modeli mükemmel sonuçlar vermiş ve gerçek tasarımda da kullanılabilir.

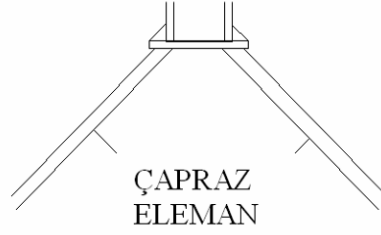
A.Ghoborah, H. Abou Elfath (2000) tarafından yapılan bu çalışmada, az katlı dışmerkez çelik çaprazlarla güçlendirilmiş bir betonarme yapının sismik performansı araştırılmıştır. Üç katlı bir yapının çeşitli deprem kayıtlarına göre analizleri yapılmıştır. Dışmerkez güçlendirilmiş çerçevenin yapı üzerindeki verimi araştırılmıştır. Bağlantı elemanı ise 3 ayrı lineer doğrudan oluşan moment ve kayma modeline göre tasarlanmıştır. Seçilen binada dış çerçevelerde “V” ve “Y” tipi çelik çapraz sistem kullanılarak güçlendirilmiştir, Şekil 1.3. Detaylar ise Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Düşey kayma bağlantı elemanı Şekil 1.5’de konsol gibi çalıştırılmış. Berkitme elemanları ise düşey bağlantı elemanına mafsallı, bağlantı kirişi de betonarme kirişe sabit mesnetli bağlanmışlardır.



Şekil 1.3 : Değişik tipte ve yerleşimde kullanılan çelik çaprazlı yapı modelleri.



Şekil 1.4 : Güçlendirmede kullanılan kayma elemanı.



Şekil 1.5 : Betonarme deney numunesi çapraz bağlanma şekli.

Sonuç olarak, dış merkez güçlendirilmiş çerçevedeki düşey kayma elemanı DRAIN-2DX programında tasarlanmıştır. Bir adet merkezi çaprazlarla güçlendirilmiş çerçeve ve iki tane dış merkez güçlendirilmiş çerçeve analiz edilmiştir. dış merkez güçlendirilmiş çerçeve analizleri bağlantı elemanının deformasyon açısının önemli bir parametre olduğunu göstermiştir.

Mahmoud R. Maheri, R. Akbari (2003) tarafından yapılan bu çalışmada, çaprazlı bir sistem ile köşelerinde çelik çaprazlı sistem kullanılarak oluşturulmuş betonarme yapıların bina davranış katsayısı (R) araştırılmıştır. Bu katsayının hesabı için değişik yükseklik ve farklı geometrik şekillere sahip çaprazlı sistemler ile oluşturulan model sistemler üzerinde doğrusal olmayan itme analizi uygulanmıştır, Şekil 1.6.

Davranış katsayısı parametreleri;

$$R = R_{\mu} \cdot R_s \cdot Y$$

$$R_{\mu} = V_e / V_y \quad R_s = V_y / V_s \quad Y = V_s / V_w \quad \text{buradan} \quad R = V_e / V_w$$

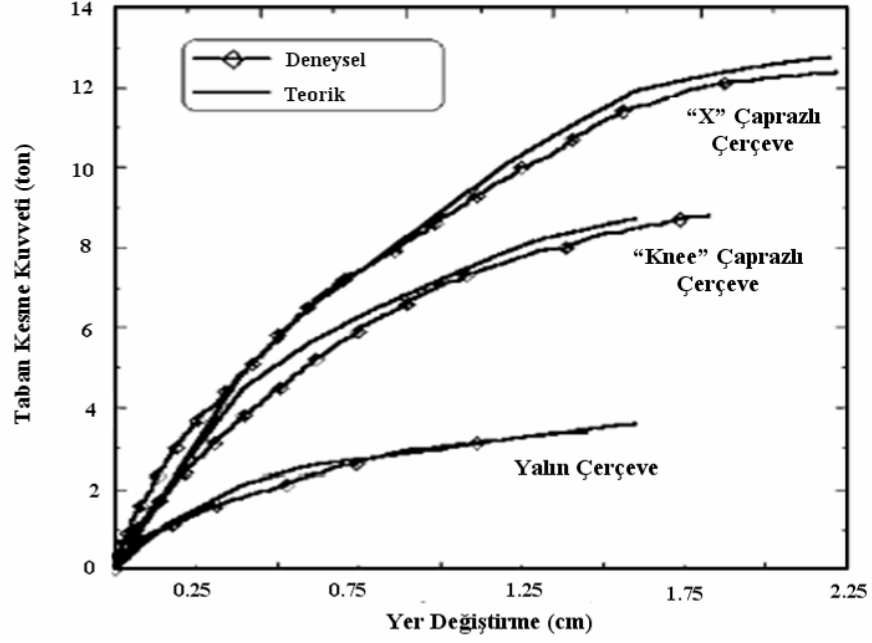
Yapı sünekliği $\mu = \Delta_{\max} / \Delta_y$ olarak alınmıştır.

R katsayısı belirlenirken göz önüne alınan parametreler;

Binadaki kat sayısı

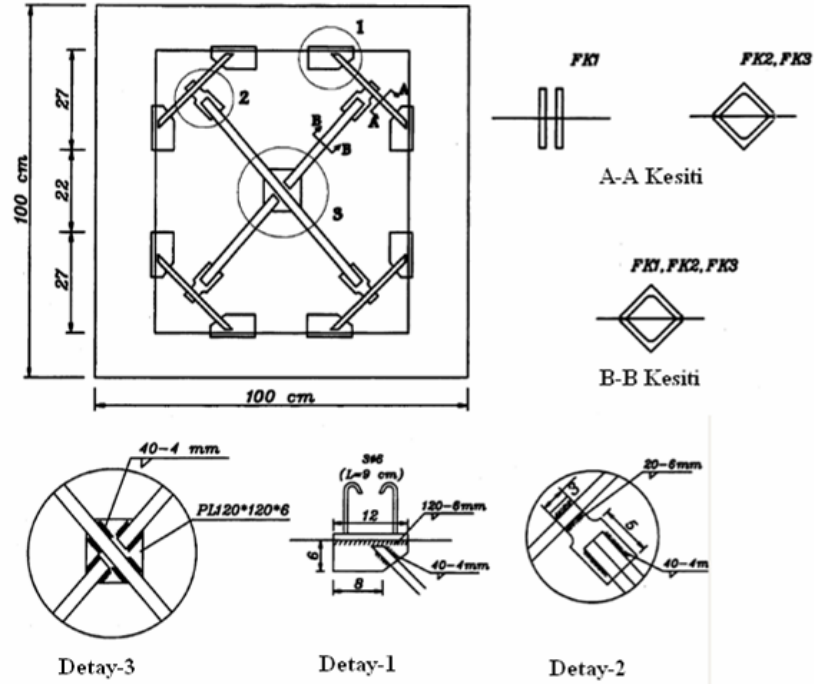
Çaprazlı sistem tipi

Taban kesme kuvvetinin çaprazlarla paylaşımı (% 0, 50, 100 olmak üzere 3 tip)



Şekil 1.7 : Deneysel çalışma-teorik çalışma karşılaştırma grafiği.

M. R. Maheri, R. Kousari, M. Razazan (2003) tarafından yapılan bu çalışmada, belirli ölçeklerde üretilmiş betonarme çerçeveler içine yerleştirilen “X” çaprazlı sistem ile “köşeden çelik çaprazlı sistem” sistemin deneyleri ve yanal itme analizleri yapılmıştır, Şekil 1.8.

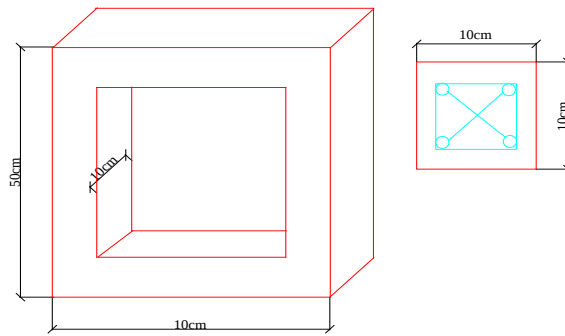


Şekil 1.8 : Deney numuneleri geometrik özellikleri ve çelik çapraz bağlantı detayları.

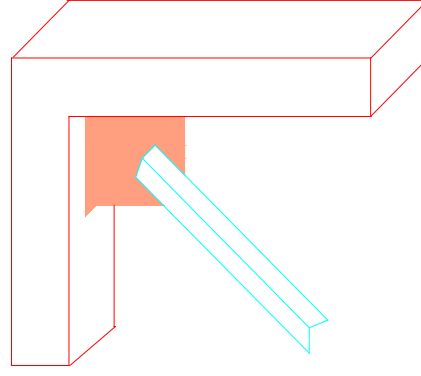
Sonuç olarak sünek betonarme çerçevenin dayanım kapasitesi merkezi aprazlı veya köşeden elik aprazlı sistemler kullanılarak arttırılabilir. Çaprazlar betonarme çerçevenin akma kapasitesini arttırırken ereve-köşe çapraz birleşimleri de çerçevenin yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Her iki aprazlı sistem tipi betonarme çerçevenin akma kapasitesini arttırmak için kullanılabilir. Sünek betonarme çerçevenin yerdeğıştirmesi istenen seviye aprazlı sistemlerden biri kullanılarak azaltılabilir fakat merkezi aprazlı (X-tipi) sistem çerçevenin yanal rijitliğini diğetine göre daha efektif şekilde arttırmaktadır. Merkezi aprazlı (X-tipi) sistem betonarme çerçevenin süneklik düzeyini azaltırken, köşeden elik aprazlı sistemler istenen süneklik seviyesinde davranışın elde edilmesini sağlamışlardır.

Bununla beraber, bina tipi yapı sistemlerinin tasarımında veya güçlendirilmesinde köşe elik aprazlı sistemlerin (knee-braced) yapının davranış üzerinde istenilen yönde etkili bir czm olduğu gözükmektedir. En önemli tasarım prensibi yapının göçmeden önce birleşim noktalarının göçme durumuna gelmemesidir. Bu nedenle birleşim bölgelerinin iyi hesabı gerekmektedir.

M.R. Maheri, A. Sahebi (2006) tarafından yapılan bu çalışmada elik çaprazlarla güçlendirilen betonarme ereve deneyleri yapılmıştış, şekil 1.9. Araştırma bir kaç modelden oluşan testler üzerinde yapılmıştış. Değişik tipteki çapraz elemanların ereve düzlemindeki kayma gerilmelerinin artışındaki verimliliği ve çekme ve basınc çubuklarında oluşan etkiler araştırılmıştış. Bunların yanı sıra çaprazlar ile betonarme elemanlar arasındaki bağlantı detayları da incelenmiştış, şekil 1.10. Dört adet deney numunesi üzerinde yapılan deneylerde aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.



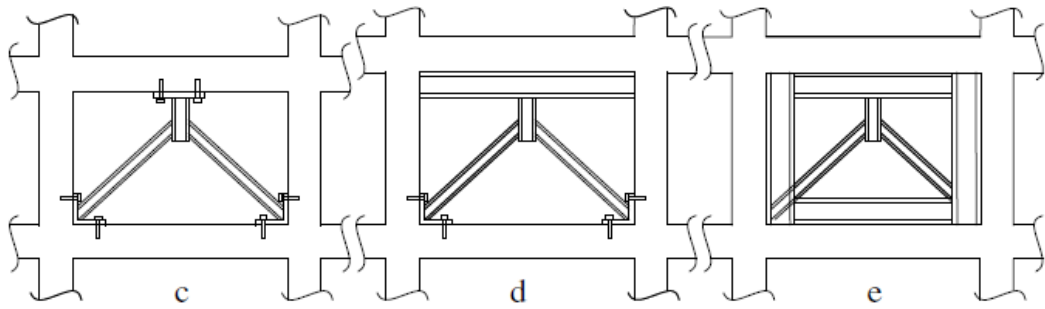
şekil 1.9 : Betonarme deney numunesi.



Şekil 1.10 : Betonarme numuneye çapraz bağlantı resmi.

Çerçeve düzlemindeki kayma dayanımı önemli ölçüde artmıştır. Bir çaprazlı sistemde beton çerçeve eğilmeden dolayı oluşan düzlem gerilmelerin büyük miktarını taşımıştır. “X” li deney numunesi göstermiştir ki çekme çubuğu yükün büyük bir bölümünü karşılamakta, göçme modu ise çekme çubuğu çekme gerilme değerini aştıktan sonra basınç çubuğunun burkulmasıyla oluşmaktadır. “X” li numunede çekme ve basınç çubukları farklı oranlarda yük taşımışlardır. Çaprazların çerçeve birleşim detaylarının iyi hesap edilmesi tam kapasiteden yararlanılması açısından önemli bir koşuldur.

Durucan C. ve Dicleli M. (2010), mevcut betonarme yapıların deprem davranışı altındaki performanslarını arttırmak üzere çelik çapraz elemanlar kullanarak üç farklı güçlendirme yöntemi üzerinde analizler yapmışlardır, Şekil 1.11.



Şekil 1.11 : Analizlerde kullanılan güçlendirme yöntemleri.

1.2 Amaç

Çalışmanın amacı, etkin ve ucuz güçlendirme sağlamak için mevcut yapıların yedek dayanım güçlerinden de yararlanarak ve malzeme dayanım sınırlarını göz önünde tutarak özgün yöntemler geliştirmek ve bu nedenle mevcut yapısal özellikleri göz önünde bulundurarak hiperstatik sistemlerin daha az zorlanmakta olan kesitlerini devreye sokmaktır. Yapı davranışını kontrol etmeye yönelik önce kuramsal sonra bu sonuçları doğrulamak için deneysel çalışmalar gerçekleştirmektedir.

Betonarme yapılarda yukarıdaki düşüncelerin geçerliliğini ortaya koymak ve mevcut yapıları güçlendirmek kadar yeni yapılacak bina veya endüstri yapılarında da bu sistem çözümünden yararlanmak önemlidir.

Mevcut betonarme yapılar için aşağıdaki yapısal özellikler gözönünde tutulmalıdır;

- Kolon – kiriş birleşim bölgelerinde mevcut yönetmeliklerin uygulanmamış olması nedeniyle hasar meydana gelme olasılığı yüksektir. Bu kesitlerin (bölgenin ve yakın çevresinin) güçlendirmeden sonra mevcut kapasitelerinin ötesinde zorlanmıyor olması gerekmektedir.
- Beton basınç dayanımı düşüktür. Betona yapılacak ankrajlarda bu özellikle göz önüne alınmalıdır. Kayma dayanımı ve çekme dayanımı küçük olduğundan aderansın az olacağı unutulmamalıdır. Kirişlerde genellikle çift sıra donatı kullanıldığı için çekme bölgelerinde donatı sıktır bu özellik ankraj bakımından göz önünde bulundurulmalıdır.
- Deprem sırasında yapıya aktarılan enerjinin yutulması için bazı kesitlerde ve onlara yakın bölgelerde sınırlı kalıcı şekildeğişimlere izin verilmesi gerektiği bilinmektedir. Bu kesitlerin hasar görme olasılığı yüksek bölgelerin dışında oluşmasını sağlayacak yolların geliştirilmesi hem daha gerçekçi hem de malzemeden bağımsız olarak yani çelik ve betonarme yapılar için ortak olmak üzere geçerlidir.

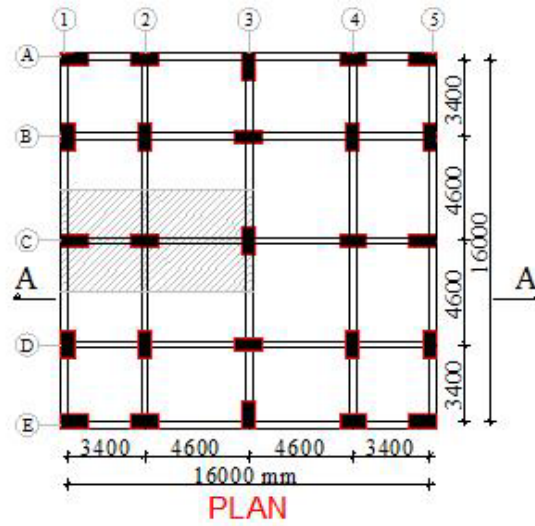
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Numunelerin Belirlendiği Betonarme Yapı

Deney numuneleri, tipik kat planı Şekil 2.1 de verilen betonarme yapının C aksı çerçevesinden çıkarılmıştır. Deneyde 3400 mm açıklık ve 3000 mm kat yüksekliğine sahip olan kenar aksın bir katı 1/3 geometrik ölçek ile küçültülmüştür. 1/3 geometrik ölçek kullanıldığında, diğer fiziksel büyüklükler için model ve prototip yapı arasındaki ölçek katsayıları Çizelge 2.1 de sıralanmıştır, (Noor, 1992). Böylelikle deney numunelerinin davranışlarının birbirleri ile karşılaştırılmasının yanında ulaşılan deneysel sonuçların prototip yapıya uyarlanarak yorum yapılabilmesi mümkün olacaktır.

Deneyle İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan rijit deney platformu üzerine monte edilmiş özel bir çelik çerçeve içerisinde gerçekleştirilmiştir. *Birinci Grup Deneyle* olarak adlandırılan deneysel çalışmanın sonuçları değerlendirilerek yatay yükler etkisinde en iyi davranış sergileyen güçlendirme biçimi seçilmiştir.

*İkinci Grup Deneyle*de ise seçilen bu güçlendirme biçimi statik deney tekniği kullanılarak belirlenen iyileştirmeler ve değişiklikler yapılarak ayrıntılı olarak incelenmiştir. Statik karakterli deneylede, deprem yüklerine benzeyen tersinir yatay yerdeğiştirme çevrimleri ile sabit düşey yükler kullanılmıştır. Uygulanan toplam düşey yük 80 kN olup, kolonlarda eksenel yük taşıma kapasitesinin yaklaşık % 10'u oranında eksenel basınç gerilmesi oluşmuştur.



Şekil 2.1 : Deney numunelerinin seçildiği betonarme yapı.

Çizelge 2.1 : Ölçek katsayıları.

Büyüklik	Sembol	İlişki	Ölçek Katsayısı
Geometrik Boyut	l	λ_l	3.00
Elastisite Modülü	E	λ_E	1.00
İvme	a	$\lambda_a = 1 / \lambda_l \cdot \lambda_E / \lambda_p$	1.00
Hız	v	$\lambda_v = (\lambda_l \cdot \lambda_a)^{1/2}$	1.73
Kuvvet	F	$\lambda_f = \lambda_E \cdot \lambda_l^2$	9.00
Gerilme	σ	$\lambda_\sigma = \lambda_E$	1.00
Şekildeğiştirme	ε	$\lambda_\varepsilon = 1.0$	1.00
Alan	A	$\lambda_A = \lambda_l^2$	9.00
Hacim	V	$\lambda_V = \lambda_l^3$	27.00
Atalet Momenti	I	$\lambda_I = \lambda_l^4$	81.00
Enerji	e	$\lambda_e = \lambda_E \cdot \lambda_l^3$	27.0
Zaman	t	$\lambda_t = (\lambda_l / \lambda_a)^{1/2}$	1.73
Frekans	ω	$\lambda_\omega = 1 / \lambda_l \cdot (\lambda_E / \lambda_p)^{1/2}$	0.58
Yerçekim İvmesi	g	$\lambda_g = 1.0$	1.0
Sönüm	ξ	$\lambda_\xi = 1.0$	1.0

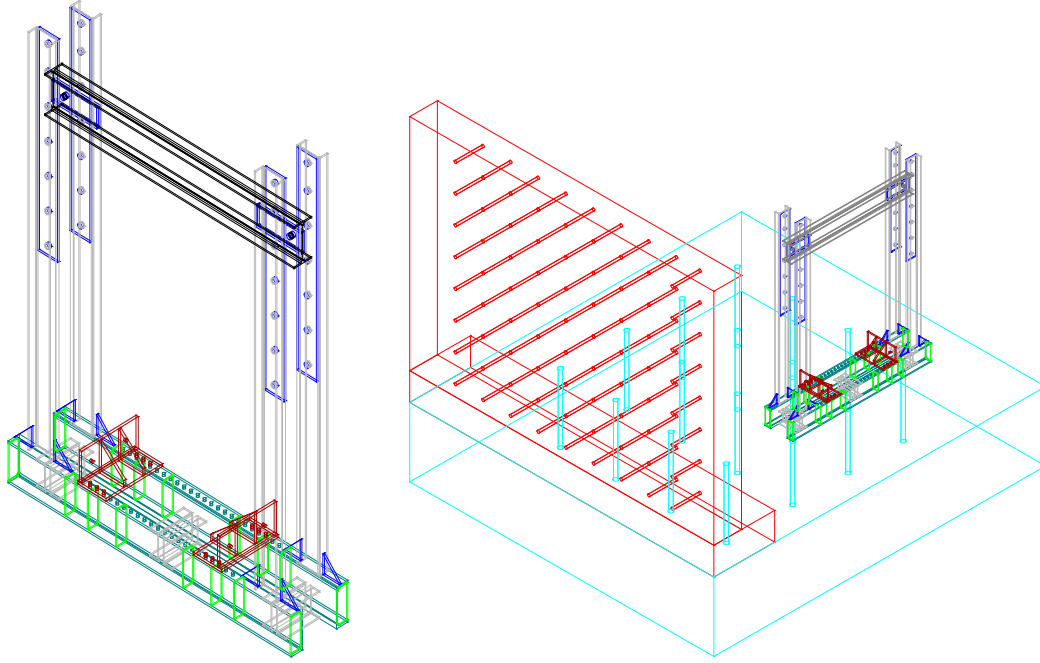
2.2 Deney Düzeneği İmalatı

Köşeden çaprazlı sistemler ile ilgili incelenen daha önceki çalışmalardan anlaşıldığı üzere tek katlı büyük ölçekli yapı sistemleri üzerinde yapılacak deneylerden önce amacımız olan deprem etkileri altında enerji sönümleyici yapı elemanları olarak kullanılacak sistemlerin davranışının araştırılması gerekmektedir. Burada kullanılacak enerji sönümleyici sistemin geometrik şeklinin belirlenmesi buna ilaveten de bu geometriye bağlı olarak da boyutsal analizlerinin ve yeter sayıda pilot deneylerin yapılması kararlaştırılmıştır.

Belirlenen geometrik şekiller daire, çember, dikdörtgen ve karedir. Böyle bir deney yapılabilmesi için yeni bir test düzeneğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu deney düzeneğini tasarlarken en önemli etken yatay yük kapasitesi ile elemanlar üzerine uygulanacak eksenel kuvvet düzeyidir. Ayrıca denenecek numunelerin boyutları da laboratuvar koşullarında insan gücünü en aza indiren ve yerine yerleştirilmesinde kolaylık sağlayacak bir sistem olmasıdır. Bununla beraber belli boyutlarda tezle ilgili gerekli olabilecek ve deneylere göre de revize edilebilecek bir düzenek olması göz önünde bulundurulmuştur.

Yeni yapılacak sistemde kullanılacak hidrolik veren (actuator) kapasitesinin 28 t olması ve eleman üzerinde uygulanacak eksenel kuvvet de 40 t olarak belirlenmiştir. Bu yükleme durumuna göre sistem SAP 2000 (2007) yapısal analiz programında çözülmüştür. Sistemin farklı mesnetlenme şartlarına göre analizleri yapılmıştır. Analizler üç noktadan mesnetli, iki uçtan mesnetli ve elastik mesnetli olarak çözülmüştür. Bu üç duruma ait moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet diyagramları EK A.1’de verilmiştir. Diyagramlardan da anlaşılabileceği gibi her üç durumda baz alınacak değerler birbirine çok yakındır.

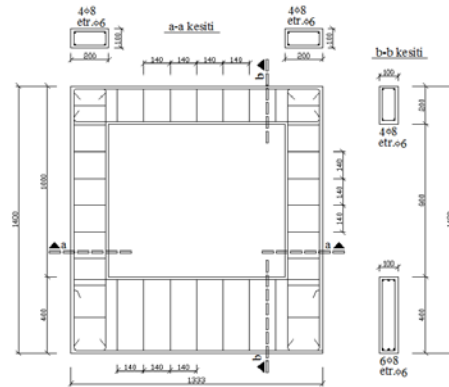
Boyutlandırmada en büyük yükleme kapasitesi analizlerde alınan 40 t luk yatay ve düşey yükleme değerlerinin % 75 alınarak yapılmıştır. Deney düzeneğine ait üç boyutlu şekil ve laboratuvar ortamındaki yerleşimini gösteren üç boyutlu şekilleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Deney düzeneği ve laboratuvar ortamındaki konumu.

2.3 Deney Numunelerinin Üretilmesi

1/3 ölçekli deney numunelerinin yüksekliği 1400 mm ve açıklığı 1333 mm dir. Kolon kesit boyutları 100 mm x 200 mm, kiriş kesit boyutları 100mmx200 mm ve temel kesit boyutları da 100 mm x400 mm olarak belirlenmiştir. Kolon ve kirişlerde 4 adet Ø8 mm çapında boyuna donatı, temelde ise 6 adet Ø8 mm çapında boyuna donatı kullanılmıştır. Enine donatı olarak kolon, kiriş ve temelde 140 mm arayla Ø6 mm çapında donatı kullanılmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde enine donatı sıklaştırması yapılmamıştır. Betonarme kesitlerde ortalama paspayı 15 mm dir. Tüm deney numunelerine ait donatı şeması ve geometrik özellikler Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.3 : Deney numuneleri geometrik şekli ve donatı yerleşimi.

Deney numunelerinin üretimine kalıpların hazırlanmasıyla başlanmıştır. Numunelerin donatı kafesleri oluşturulurken temel kirişi, kolon ve kiriş donatıları ayrı ayrı düzenlenmiştir. Kalıpların köşe açlarına dikkat edilerek üretimi tamamlandıktan sonra, hazırlanan donatı kafesi kalıp içerisine yerleştirilmiştir, Şekil 2.4.

Pas paylarına özen gösterilerek kalıp içerisine yerleştirilen donatılara, her numunede 12 adet şekil değiştirme ölçer yapıştırılmıştır. Numunelerin farklı kesitlerine yer değiştirme ölçer montajı için gerekli olan ankraj çubukları da bu aşamada yerleştirilmiştir. Üretim aşamaları Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.4 : Numune Kalıplarının ve donatıları kalıp içine yerleştirilmesi.

Donatılar üzerine deney sırasında donatılardaki şekil değişimleri ölçmek için şekil değiştirme ölçerler yapıştırılmıştır. Bu yapıştırma sırasında yapıştırılacak yüzeyler zımpara ile temizlenmiş daha sonra da aseton ile silinerek tozdan arındırılmıştır. Şekil değiştirme ölçerler daha sonra özel izole bantlar ile kaplanmıştır. Bu arada hem yapıştırıldıktan hem de izole bant ile kaplandıktan sonra avometre ile gerekli ölçümler yapılmıştır. Deney başlangıcından önce hazır olan numuneler üzerindeki şekil değiştirme ölçerler avometre ile tekrar kontrol edilmiştir.

Numune gerçek yapıya yakın kesit değerleri verecek şekilde 1/3 ölçekli olarak boyutlandırılmıştır. Kolon ve kirişte boyuna donatı olarak Ø8-BÇİ ve etriye olarak Ø4-BÇİ kullanılmıştır. Beton sınıfı BS16 olarak alınmıştır. Boyutları küçük olduğundan analizler sırasında, çaprazlarda boru profiller kullanılmışlardır. Analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi ve karşılaştırmaların oluşturulabilmesi için belirli parametreler göz önüne alınmıştır. Mofid ve Khosravi (1999) böyle bir yapının maksimum deprem kuvvetini karşılayabilmesi için kullanılacak çaprazların sistemin diyagonallerine paralel olması gerektiğini göstermiştir. Bu da $x=b/B=h/H$

olması durumunu ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada köşe çelik çaprazın hem kolonda hem de kirişte birleşim bölgesinden mesafesini belirten “x” parametresinin kiriş uzunluğu ve kolon yüksekliğine oranının 0.15-0.30 arasında alınmasının sistem davranışı üzerinde daha iyi bir davranış seviyesi göstermesine sebep olacaktır. Aristizabal-Ochoa (1986) özel köşe çapraz elemanın kesit özelliklerinin belirlenmesinde kolonun akma mukavemetinin %50 sine sahip bir çelik elemanın seçilmesinin sistem davranışına en büyük katkıyı yaptığını belirtmiştir. Fakat bu oran ile ilgili herhangi bir detay ve açıklama mevcut değildir. Bu nedenle yapılan analizlerde bu oran ele alınmıştır. Eğer Köşe Çelik Çaprazlı Sistem (KÇÇS) elemanın kesiti kolon kesitine yakın alınırsa plastik mafsallın ilk önce köşe elemanında mı yoksa kolonda mı oluştuğu tam olarak gözlenemeyeceğinden $IK/IC = \%20-\%40$ arasında olması gerektiği belirtilmiştir.



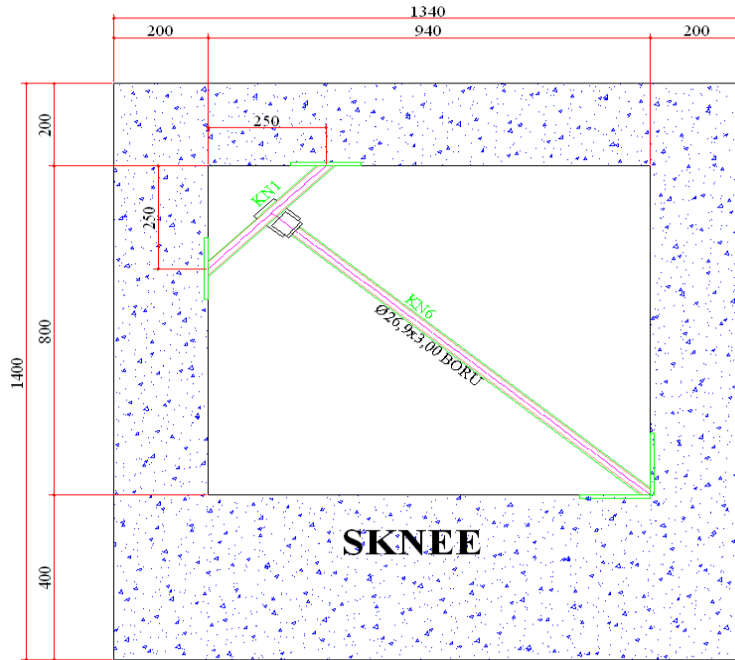
Şekil 2.5 : Donatı üzerine şekil değiştirme ölçer yapıştırılması.

Diğer bir hazırlık aşaması ise denenmesi öngörülen güçlendirme sistemlerinin imalatıdır. Bu imalatlarda gerekli kaynak dikişleri sertifikalı kaynakçılar tarafından yapılmıştır. Atölyede imalat resimlerine göre hazırlanan güçlendirme sisteminin betonarme çerçeveye birleşimi laboratuvarında yapılmıştır, Şekil 2.6.

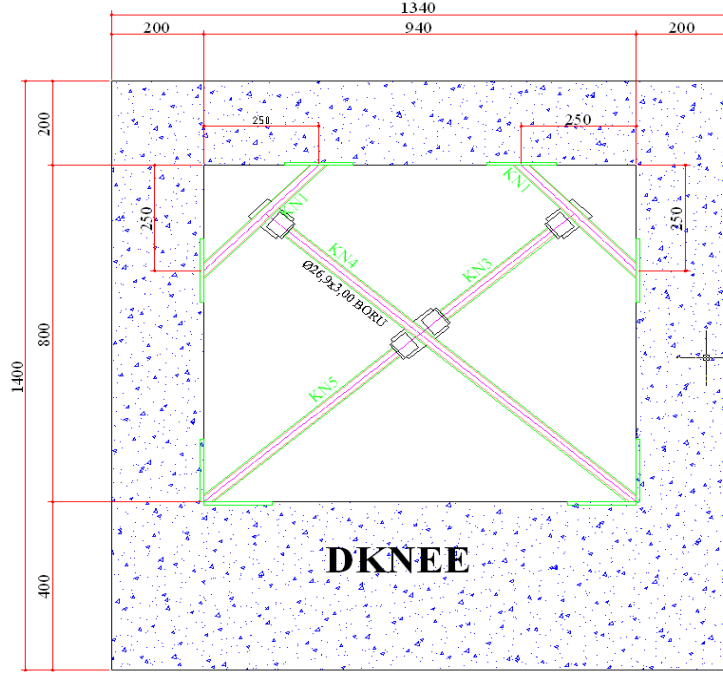


Şekil 2.6 : Çelik çaprazların imalatı.

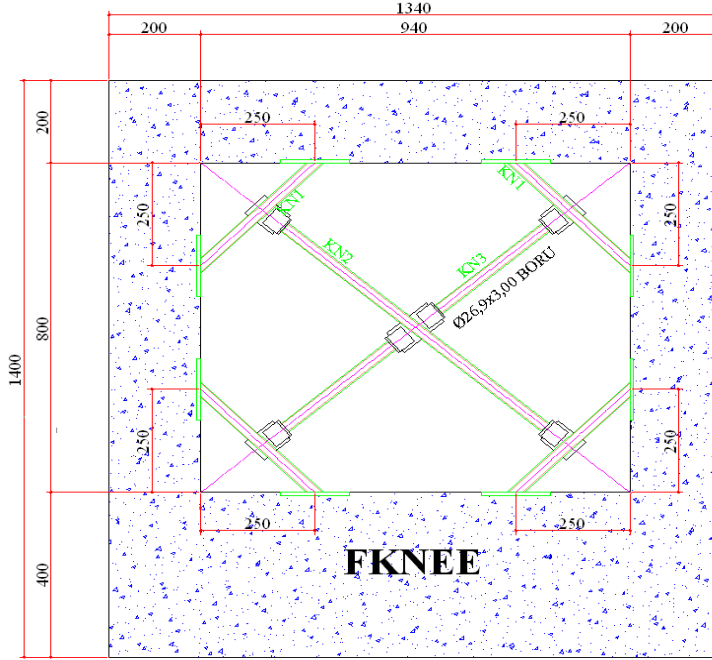
Laboratuvarda imalatı yapılan çelik çaprazlı sistemlerin Şekil 2.7-14'de verilmiştir. Numunede imalatı yapılan parçaların imalat resimleri de EK A.2'de verilmiştir.



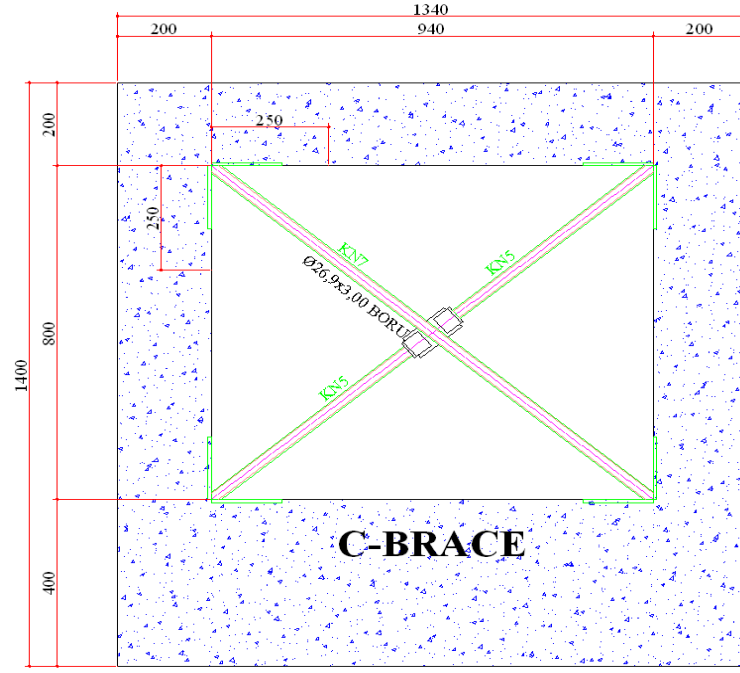
Şekil 2.7 : Tek köşeden çelik çaprazlı numune (SKNEE).



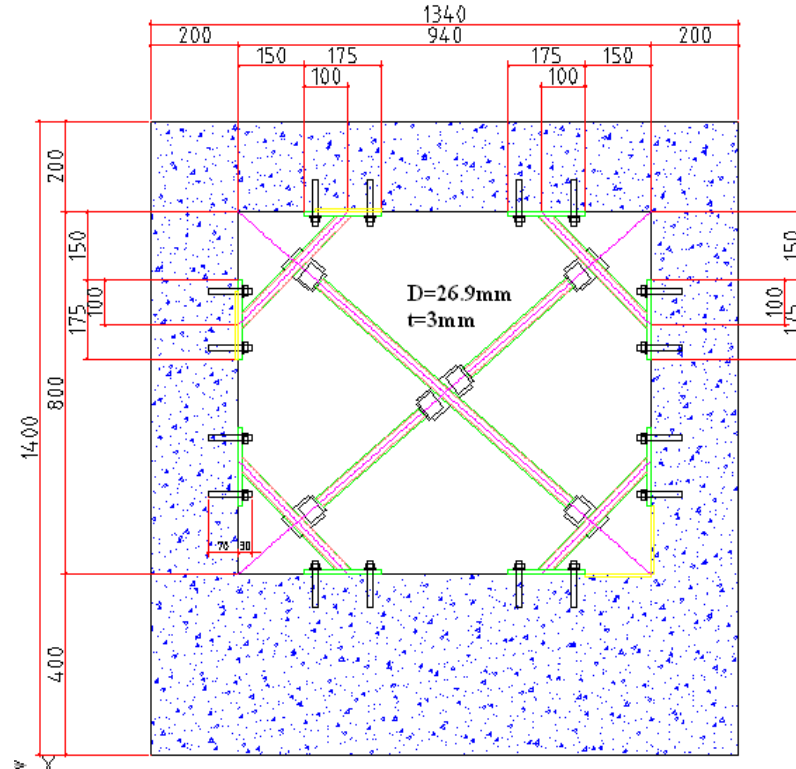
Şekil 2.8 : İki köşeden çelik çaprazlı numune (DKNEE).



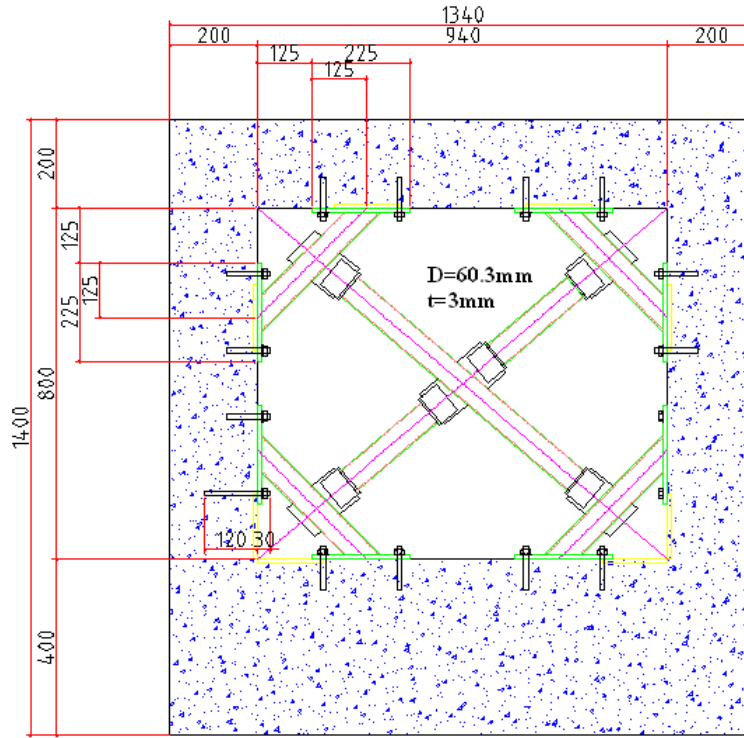
Şekil 2.9 : Dört köşeden çelik çaprazlı numune (FKNEE).



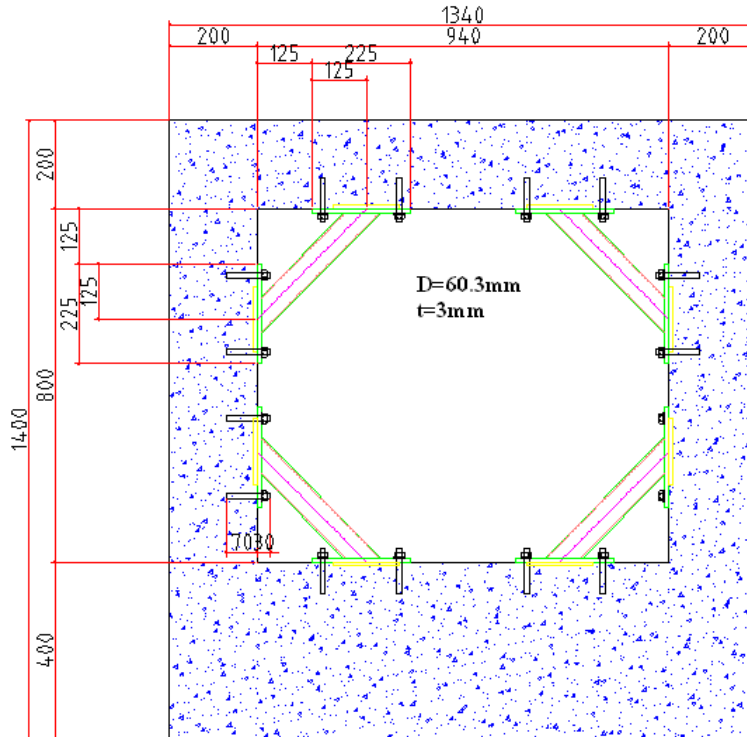
Şekil 2.10 : Merkezi çelik çaprazlı numune (CONBRACE).



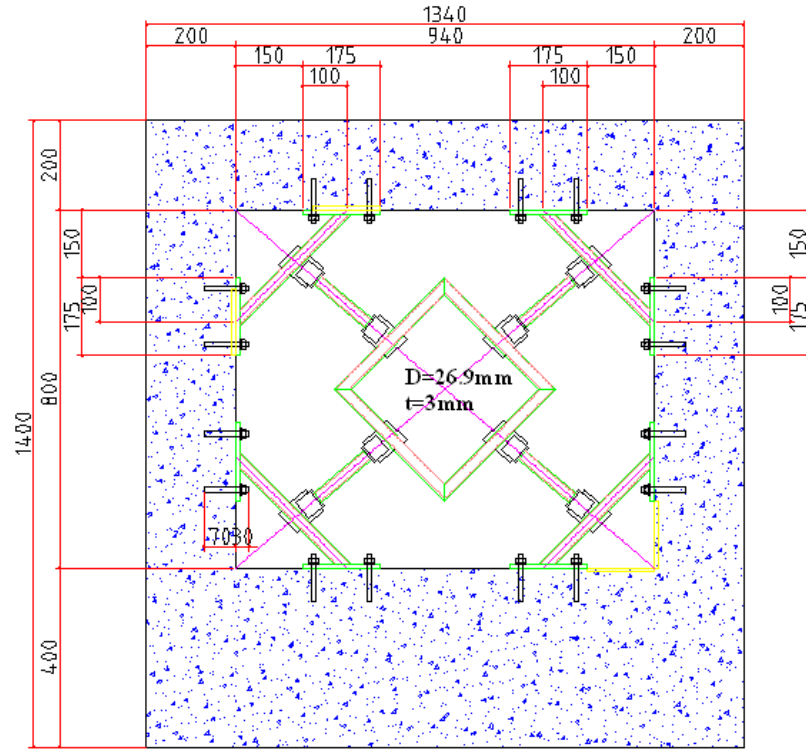
Şekil 2.11 : Dört köşeden çelik çaprazla güçlendirilmiş numune (FKNEE_REV).



Şekil 2.12 : Dört köşeden çelik çaprazla güçlendirilmiş hasarlı numune (FKNEE_H).



Şekil 2.13 : Dört köşeden çelik çaprazla güçlendirilmiş numune (KNEE_60.3).

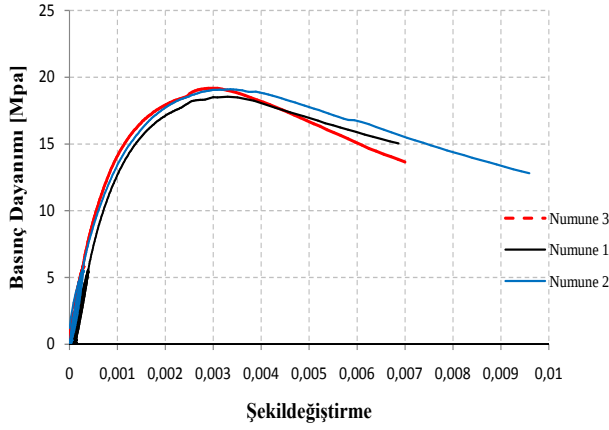


Şekil 2.14 : Dört köşeden çelik çaprazla ve küçük bir çelikçerçeve ile güçlendirilmiş numune (FKNEE_RING).

2.4 Malzeme Deneyleri

2.4.1 Beton basınç deneyleri

Üretimi gerçekleştirilen deney numunelerinden alınan 150×300 mm boyutlarındaki silindirler, 500 ton kapasiteli Amsler marka pres altında 28. günde standart basınç deneyine tabi tutulmuştur. Betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenmesi için TML CM-15 ölçüm çerçevesi kullanılmıştır. Standart silindirin 150 mm lik ölçüm boyunda gerçekleşen kısaltmaları ölçmek üzere, ölçüm çerçevesine bağlı konumdaki iki adet yerdeğiştirme ölçerden (TML CDP-5) veri alınmıştır. Ortalama kırılma yükü 334 kN standart sapması 6,08 kN ve basınç dayanımı 18,93 MPa ve standart sapması 0,34 Mpa olarak bulunmuştur. Gerilme şekildeğiştirme ilişkileri ve deney düzeneği Şekil 2.15’de verilmiştir.

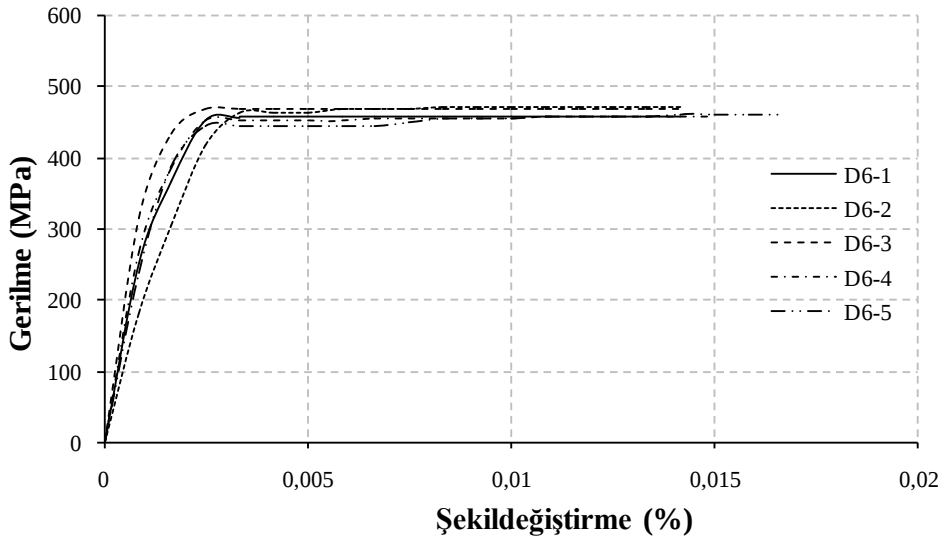


Şekil 2.15 : Standart beton basınç deney sonuçları ve düzeneği.

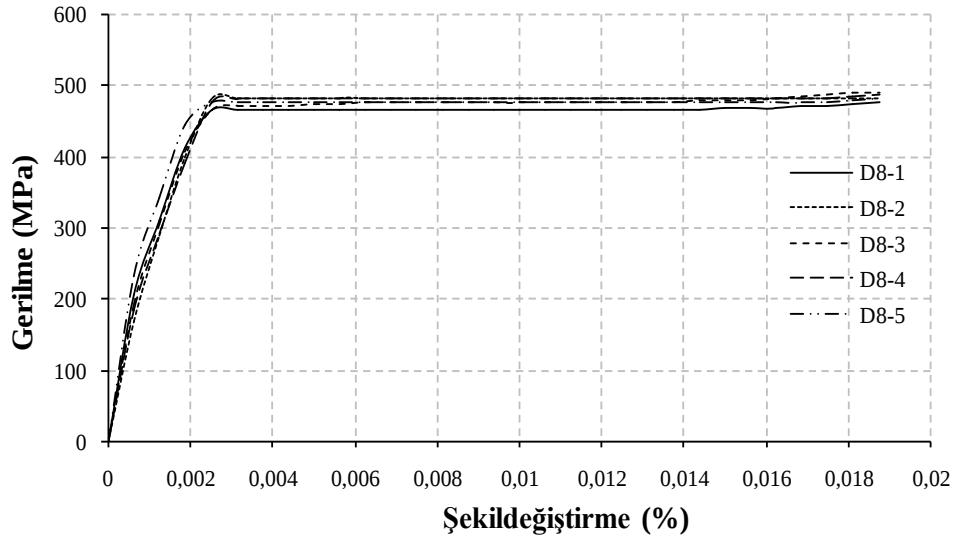
2.4.2 Donatı deneyleri

Numunede iki farklı çapta donatı kullanılmıştır. Boyuna donatı olarak düz yüzeyli Ø8, enine donatı olarak da düz yüzeyli Ø6 kullanılmıştır. Bunlara ait 5 adet numune İTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında denenmiştir. Donatı çekme deneyleri laboratuvarında bulunan 20 ton kapasiteli Amsler mekanik çekme aleti kullanılarak TS 708 standardına uygun olarak yapılmıştır, Şekil 2.18.

Her iki donatı için de akma, çekme ve kopma yükleri ve bunlara karşılık gelen gerilme-şekildeğiştirme grafikleri Şekil 2.16-17’de verilmiştir. Buna göre akma mukavemeti Ø6 için 465,8 MPa, Ø8 için 475.7 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 2.16 : Ø6 lık donatıya ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 2.17 : Ø8 lik donatıya ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

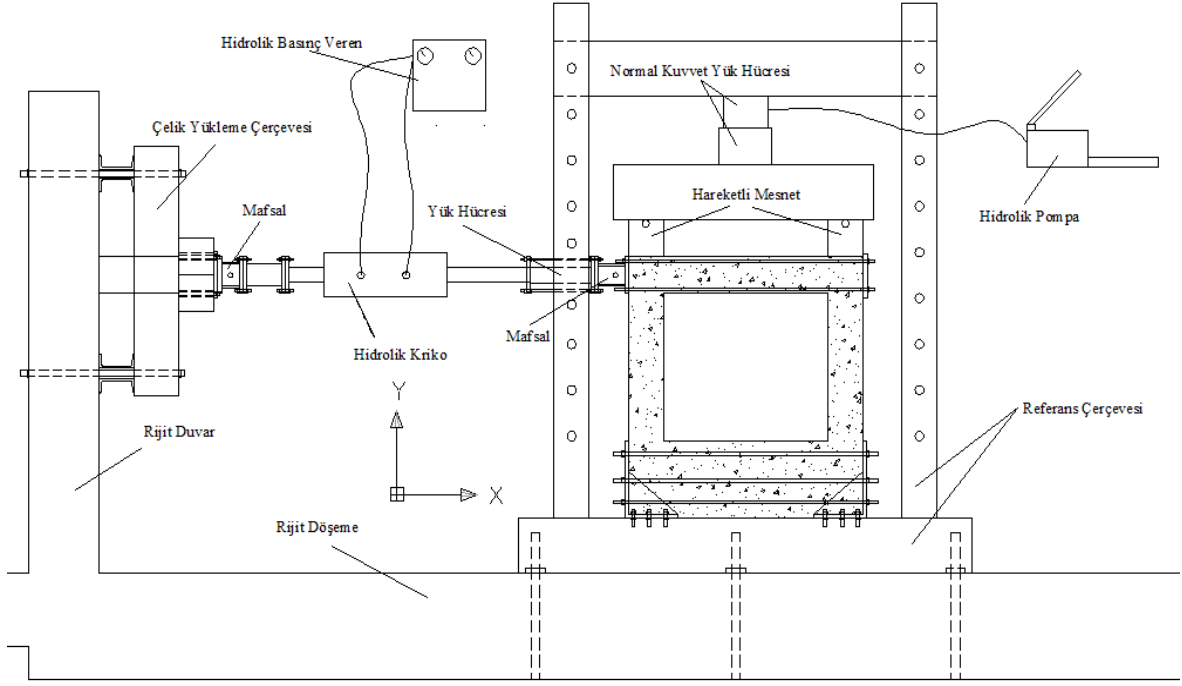


Şekil 2.18 : Donatı çekme deneyi.

2.5 Deney Düzenegi

2.5.1 Yükleme düzenegi

Deney ve yükleme düzenegi Şekil 2.19’da şematik olarak gösterilmiştir. Tersinir yatay yükleme ± 280 kN yükleme ve ± 94 mm yerdeğiştirme kapasiteli DARTEC hidrolik veren ile gerçekleştirilmiştir. DARTEC hidrolik verenin reaksiyon kuvveti betonarme reaksiyon duvarına aktarılmıştır. Hidrolik verenin her iki ucunda iki yönlü mafsallar bulunmaktadır, (Yorgun ve ark (2008), Taşkın ve ark (2010)).



Şekil 2.19 : Deney düzeneği.

Depremi benzeştiren tersinir yatay yükleme sabit düşey yükle birlikte uygulanmıştır.

Kolonlardaki sabit normal kuvvet her bir kolonun eksenel yük taşıma kapasitesinin

% 10'u olarak seçilmiştir. Her kolon için;

$$N=0.1 \times f_{ck} \times A_k = 0.1 \times 20 \times 200 \times 100 = 40000 = 40 \text{ kN}$$

değerinde normal kuvvet hesaplanmıştır. Normal kuvvetin numunelere etkitilmesi için özel mafsallı kayma kutuları, rijit yükleme kirişi ve 50 ton kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır.

İtme ve çekme çevrimlerinin uygulanabilmesi için, hidrolik veren iki adet yüksek mukavemetli $\phi 18$ mm çaplı bulon ile numuneye bağlanmıştır.

Yatay ve düşey yükler etkisinde temelde ankastrelik koşullarını sağlanabilmesi için özel çelik elemanlar kullanılmıştır. Bu çelik elemanlar birbirlerine ve çelik yükleme çerçevesine özel bulonlar ile bağlanmıştır. Deney süresince yapılan ölçümler ile ankastrelik koşulunun sağlanabildiği anlaşılmıştır.

Deney süresince düzlem dışına olan hareketin sınırlanması için, numunenin ön ve arka yüzünde kiriş seviyesinde iki adet çelik kiriş oluşturulmuştur. Çelik kirişlerin kesitindeki boşluktan geçirilen özel tekerlek mekanizması deney numunesini düzlemi içinde tutmaya çalışmaktadır.

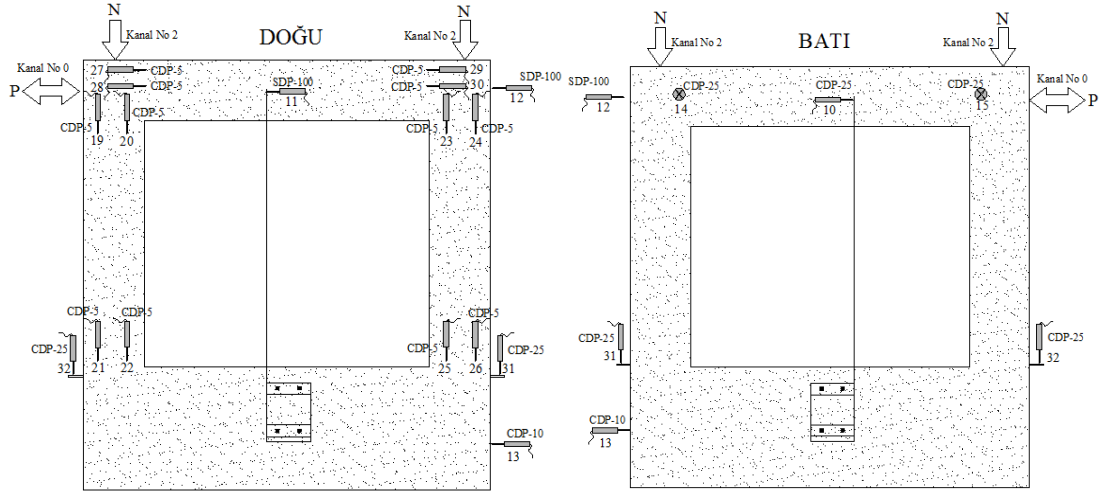
Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Her evrim için hedeflenen yerdeğiştirme büyüklüğü bilgisayar ve kontrol üniteli aracılığı ile DARTEC hidrolik verene komut olarak iletilmiş, oluşan numune tepki kuvveti de veren gövdesine bağlı yük ölçer ile llmştir.

2.5.2 lm düzeneği

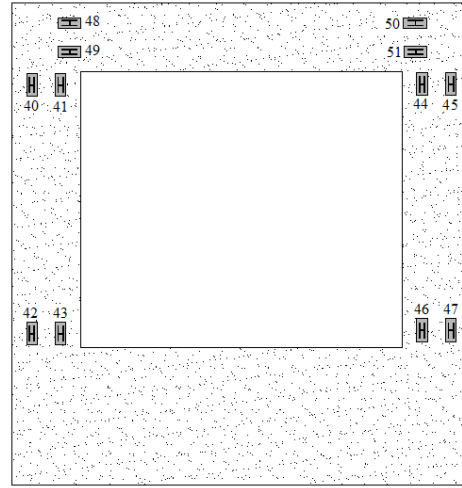
Deney numunelerinin farklı kesitlerinde ortaya çıkan yerdeğiştirmelerin ölçümü için TML Marka CDP-5, CDP-10, CDP-25 ve SDP-100 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yerdeğiştirme lm düzeneği ve kanal numaraları şekil 2.20’de verilmiştir. Yerdeğiştirme lerler numunelerin yapımı aşamasında yerleştirilen montaj çubuklarına monte edilmiştir. Toplam 12 adet yerdeğiştirme ölçer kolon ve kiriş uç bölgelerindeki kesitlere yerleştirilmiştir. Tepe yerdeğiştirmeli değerlerini kaydetmek üzere üç adet yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Kanal 12 numuneye uygulanan tersinir yükleme sonucu oluşan tepe yerdeğiştirmeli ölçmektedir. Kanal 10 bat yüzünde temel kirişine bağlı özel bir ereve üzerine mesnetlenmiş olup temele göre olan göreli hareketi okunmaktadır. Benzer biçimde, doğu yüzünde de temele bağlı elik eleman zerine Kanal 11 yerleştirilmiştir. Deney sırasında numunede oluşabilecek düzlem dış hareket, taban kayması ve bütünsel kalkma gibi durumları kontrol etmek üzere Kanal 13, 14, 15, 31, ve 32 ye yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler veri toplamaktadır. Tüm yerdeğiştirme ölçerler veri toplayıcı alete bağlanmıştır. Bilgisayarda bulunan özel bir yazılım ile her yerdeğiştirme adımında oluşan büyüklükler otomatik olarak toplanmakta ve saklanmaktadır.

Numune boyuna donatlarında gerçekleşen şekildeğiştirmeli ölçmek için, beton dökümü öncesinde donatıların kritik kesitlerine şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir, şekil 2.21.

şekildeğiştirme ölçerler de veri toplayıcıya bağlanarak, her yerdeğiştirme adımında otomatik veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan boyuna donatılar için akma şekildeğiştirmeli yaklaşık 2100- 2200 mikrostrain dir.

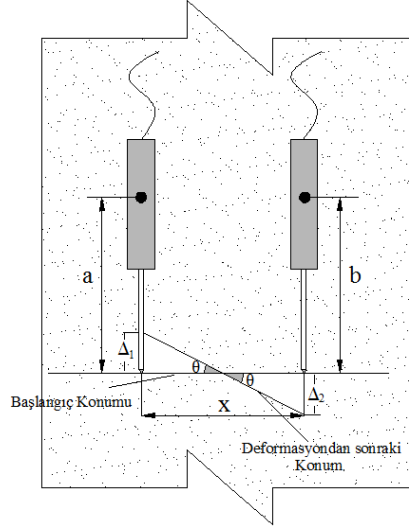


Şekil 2.20 : Yerdeğiştirme ölçüm düzeneği.



Şekil 2.21 : Şekildeğiştirme ölçüm düzeneği.

Kolon ve kiriş uç bölgelerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden alınan veriler kullanılarak ilgili kesitlerde oluşan şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik büyüklükleri hesaplanmıştır, Şekil 2.36. Ortalama şekildeğiştirme yerdeğiştirme ölçerlerden alınan büyüklüğün ölçüm boyuna bölünmesiyle elde edilmektedir, Denk. (2.1). Kesit dönmesi iki yerdeğiştirme ölçerden okunan büyüklüklerin farkının ara mesafeye bölünmesi ile elde edilmektedir, bkz. Denk. (2.2). Kesitte oluşan eğrilik de iki ortalama şekildeğiştirme büyüklüğünün ara mesafeye bölünmesi ile elde edilmektedir, Denk. (2.3).



Şekil 2.22 : Şekil değiştirme, dönme ve eğrilik hesabı, (Özkaynak (2010)).

$$\delta_1 = \frac{\Delta_1}{a}, \delta_2 = \frac{\Delta_2}{b} \quad (2.1)$$

$$\theta = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{x} \text{ (Radyan)} \quad (2.2)$$

$$\chi = \frac{\delta_1 - \delta_2}{x} \text{ (1/m)} \quad (2.3)$$

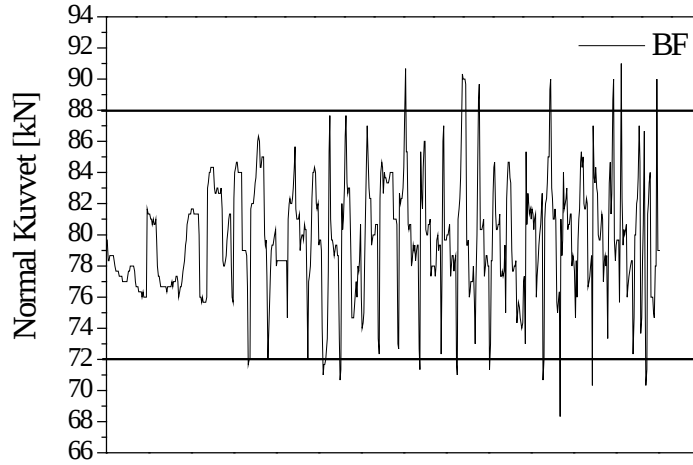
2.6 Birinci Grup Deney Sonuçları

Bu bölümde, incelenen numunelere ait deneysel sonuçlar ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Tüm grafiklerde itme yönü pozitif, çekme yönü ise negatif olarak dikkate alınmıştır. Kullanılan yükleme fonksiyonunun her pik yerdeğiştirme düzeyinde gerçekleşen hasar durumu kaydedilmiştir. Tüm numuneler için elde edilen davranış şekilleri karşılaştırılarak, en iyi davranış sergileyen güçlendirme biçimi belirlenmiştir.

2.6.1 Yalın betonarme çerçeve deneyi (BF)

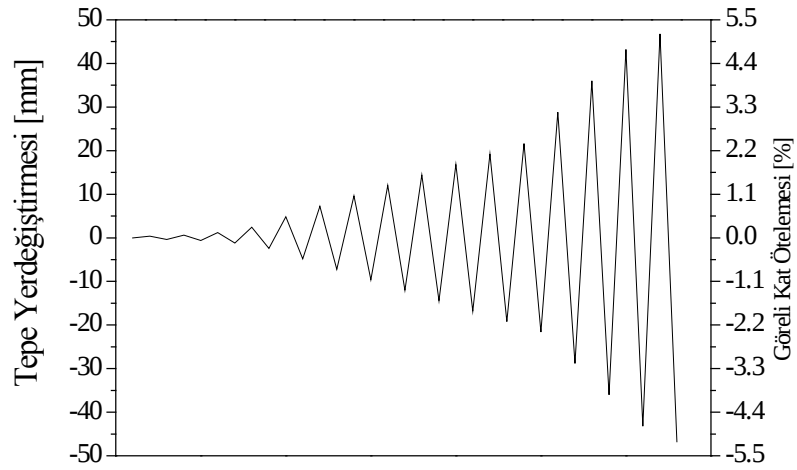
Güçlendirilmiş deney numuneleri ile karşılaştırılmak amacıyla üretilmiş Şekil 2.3’de verilen kontrol numunesidir. Numuneye 16 tam çevrim uygulanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi Şekil 2.23’de sunulmuştur. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme protokolü ve karşılık gelen yük değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. Şekil 2.24’de numuneye uygulanan yükleme fonksiyonunun adım sayısına göre değişimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı

3. çevrimin itme yüklemesinde 1.20 mm görelî yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen yatay kuvvet 32.7 kN olarak elde edilmiştir. 6. çevrimin itme yüklemesinde 7.2 mm görelî yerdeğiştirme değerinde donatılarda ilk akma gözlemlenmiştir. İlk akma değerine ulaşıldığında yatay kuvvet 58.6 kN olarak ölçölmüştür. Bu adımda en büyük çatlak genişliği 1.0 mm olarak ölçölmüştür.



Şekil 2.23 : BF numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.25’de sunulmuştur. Şekil 2.26’da yük- tepe yerdeğiştirme grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.27’de numunenin enerji tüketme kapasitesi- görelî kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.28’de Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.29’da doğu yüzü sağ kolon üst sol donatıdaki şekildeğiştirmelerin kat görelî ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.24 : BF numunesi yükleme protokolü.

Çizelge 2.2 : BF numunesi yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.

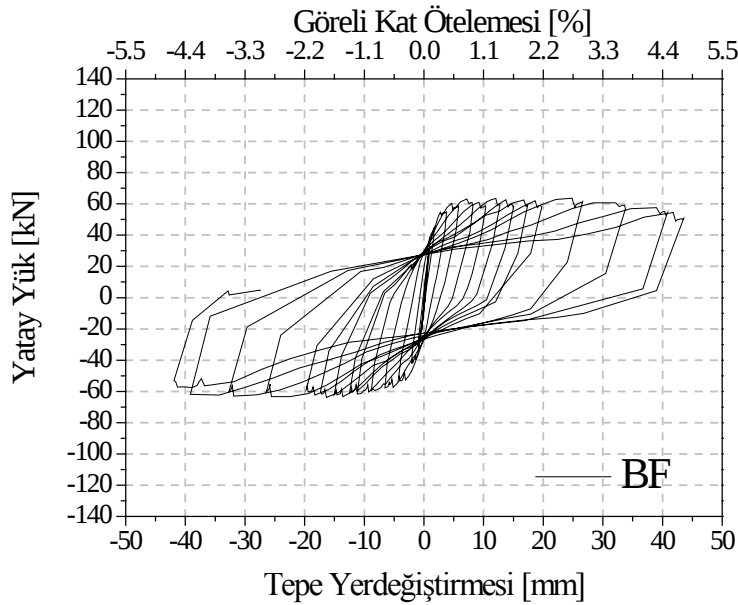
Yerdeğiştirme(mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	15.2	-16.2
0.6	19.5	-20.8
1.2	32.7	-32.3
2.4	44.5	-42.2
4.8	54.7	-51.6
7.2	58.6	-57.8
9.6	59	-59.3
12	57.8	-61.7
14.4	59	-60.9
16.8	58.7	-62.2
19.2	59.1	-60
21.6	57.8	-58.6
28.8	61.4	-60.3
36	56.8	-60.2
43.2	54.2	-61.8
46.8	50.8	-53

İlk çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 0.4 mm buna karşılık itme çevriminde oluşan yatay yük 15.3 kN, çekme çevriminde ise -16.2 kN olarak ölçülmüştür. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

İkinci çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 19.5 kN ve çekme durumunda 20.8 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir, Çizelge 2.3-2.4.

3. çevrimin itme yüklemesinde ilk çatlaklar (A ve B çatlakları) oluşmuştur. Bu çevrimin çekme yüklemesinde de bu çatlakların simetrikleri (A' ve B' çatlakları) oluşmuştur. Bu çevrimde donatılardan okunan en büyük şekil değıştirme değeri 230 μ düzeyindedir.

4. çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 44.5 kN, çekme durumunda ise -42.2 kN olarak ölçülmüştür. Bu çevrimde itme yüklemesinde c çatlağı oluşmuş, çekme yüklemesinde ise C' ve D' çatlakları oluşmuştur. Donatılardaki en büyük straingauge değeri 1045 μ düzeyindedir.



Şekil 2.25 : BF numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

5. çevrimde 4.8 mm görelî tepe yerdeğiştirmeyi değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 54.7 kN ve çekmede -51.6 olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde çatlak

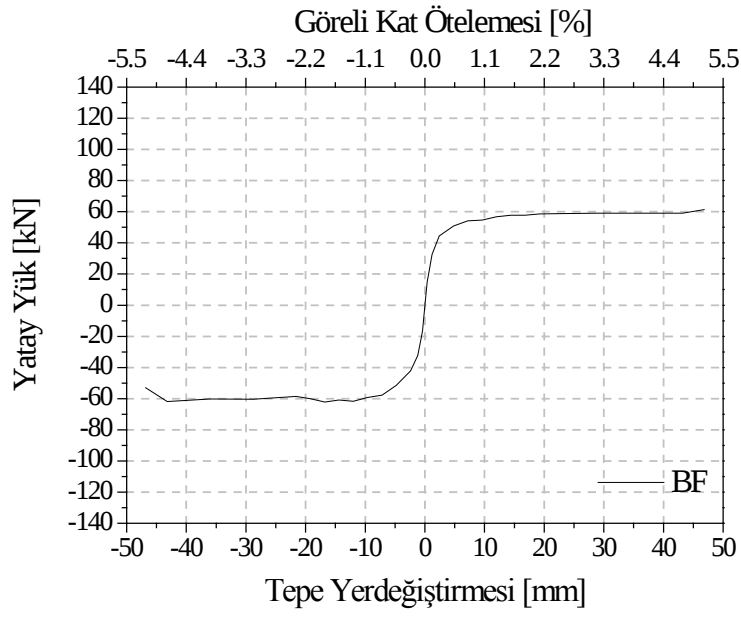
sayısında önemli bir artış olmuştur. İtme yüklemesinde D, E, F, G, H çatlakları, çekme yüklemesinde ise E', F', G', H', İ' çatlakları gözlemlenmiştir. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği 0.7 mm ile B çatlağıdır.

6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 58.6 kN, çekme yüklemesinde ise -57.8 kN yatay yük oluşmuştur. Bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir. İtme yüklemesinde İ çatlağı, çekme yüklemesinde ise J' ve K' çatlakları oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 1.0 mm ile B çatlağıdır.

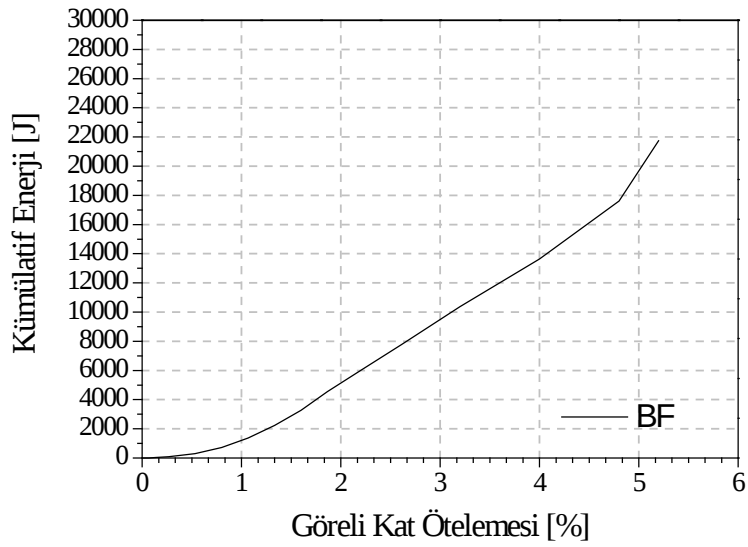
7. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay yük 59 kN, çekme yüklemesinde ise -59.3 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme durumunda J ve K çatlakları, çekme durumunda ise L', M' ve N' çatlakları oluşmuştur. En büyük çatlak genişliği 1.6 mm düzeyindedir.

8. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 57.8 kN, çekmede ise -61.7 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme yüklemesinde L ve M çatlakları, çekme yüklemesinde O' çatlağı oluşmuştur.

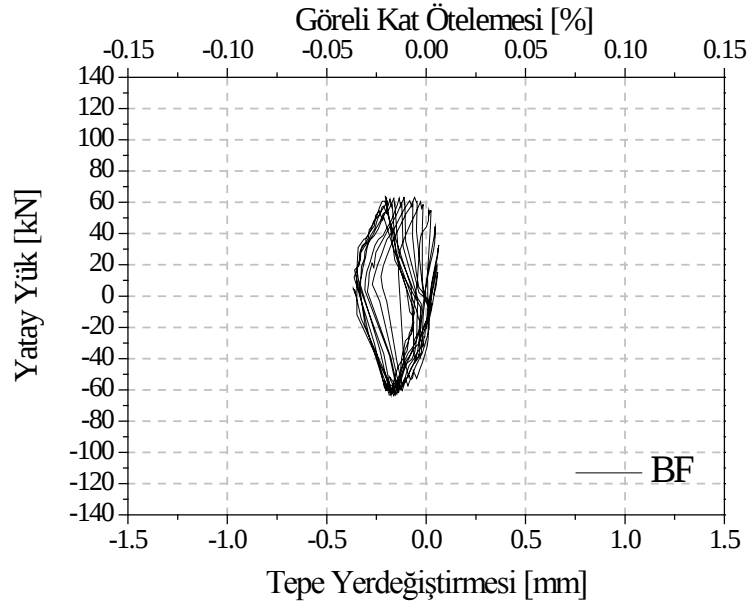
Bundan sonraki çevrimlerde numunede çok farklı bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. 13. çevrimin itme adımımda n çatlağı, 12. adımın çekme adımımda P' çatlağı oluşmuştur. Deneye 16. çevrimde 46.8 mm yerdeğiştirme değerinde son verilmiştir. Kolonların alt uç bölgelerinde beton ezilmiş ve bu bölgelerde plastik mafsallaşma oluşmuş fakat numunenin yatay yük taşıma kapasitesinde çok fazla düşüş meydana gelmemiştir, son çevrimin itme adımımda 50.8 kN çekme adımımda ise 53 kN yatay yük oluşmuştur. Numunede boyuna donatılarda meydana gelen akmadan sonra taşıdığı yükte son çevrime kadar bir düşüş yaşanmamış, son çevrimde yatay yük taşınan en büyük yük değerinin % 85'ine ulaşması ve kat öteleme değerlerinin çok büyük değerler alması sebebiyle deneye son verilmiştir. Deneyde bazı tepe yerdeğiştirmesi durumlarında meydana gelen hasar resimleri Şekil 2.30'da verilmiştir.



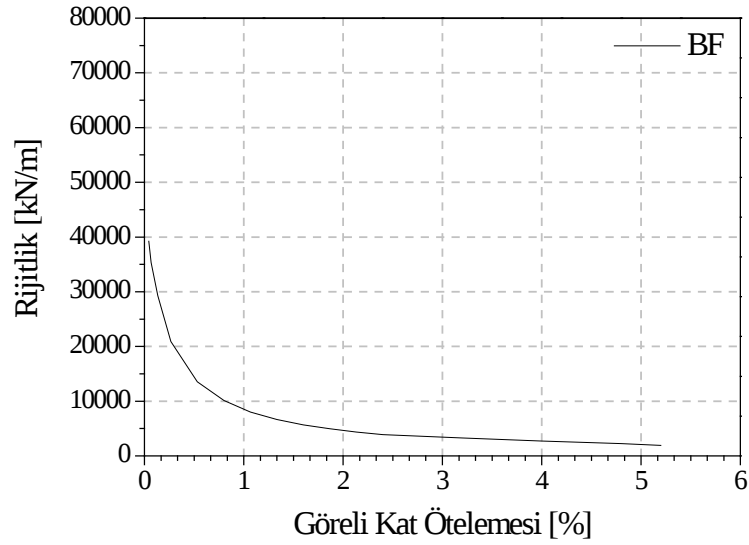
Şekil 2.26 : BF numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.27 : BF numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görel kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.28 : BF numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



Şekil 2.29 : BF numunesi rijitlik-görelle kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numune de oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A',B',C', ... gibi üslü harfler

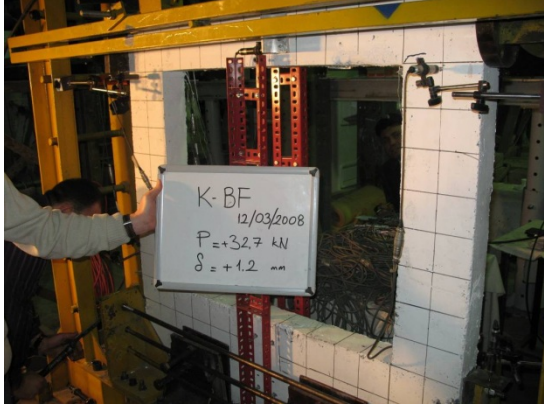
verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüzden yapılmıştır. Çizelge 2.3’de itme ve Çizelge 2.4’de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.3 : BF numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri(mm).

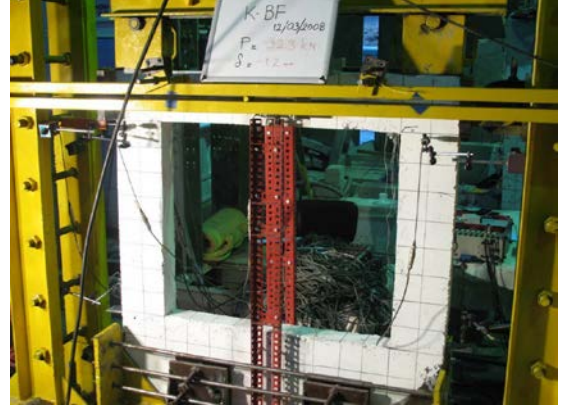
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)	<0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	1.4	1.8	2.0	2.5	3.0	>3.5	5.0	7.0	8.0
B(mm)	0.1	0.2	0.7	1.0	1.6	2.0	5.0	6.0	8.0	9.0	10.0	10.0	11.0	11.0
C(mm)		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
D(mm)			0.2	0.3	0.4	0.7	0.9	0.9	1.4	1.4	1.8	3.0	3.5	2.5
E(mm)			0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.4
F(mm)			0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
G(mm)			0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.9	0.9	1.4	1.6	1.8	2.5
H(mm)			<0.1	0.5	1.0	1.4	2.0	2.5	3.0	3.5	>3.5	-	-	-
I(mm)				0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.9	>3.5	-	-
J(mm)					0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
K(mm)					<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
L(mm)						<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
M(mm)						<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
N(mm)											0.1	0.2	0.3	0.5

Çizelge 2.4 : BF numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri(mm).

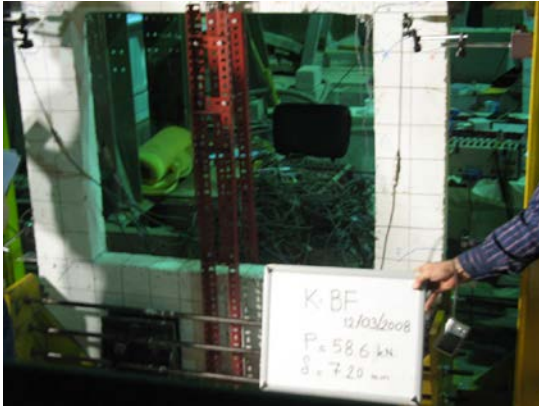
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A’(mm)	<0.1	0.2	0.5	0.8	1.0	1.6	1.8	2.0	>2.5	3.5	>3.5	4.0	7.0	12.0
B’(mm)	0.1	0.2	0.5	0.9	1.2	1.8	2.0	>2.0	3.0	>3.0	4.0	10.0	15.0	-
C’(mm)		0.1	0.1	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.4	1.6	3.0	>3.5	-
D’(mm)		0.2	0.4	0.8	1.2	1.8	2.0	>2.0	>3.5	6.0	8.0	-	-	-
E’(mm)			<0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	1.2	1.4	0.9
F’(mm)			0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
G’(mm)			0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	1.6	2.5	3.0	>3.5
H’(mm)			<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
I’(mm)			0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
J’(mm)				<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
K’(mm)				0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
L’(mm)					<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
M’(mm)					0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
N’(mm)					0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1
O’(mm)						<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
P’(mm)										0.2	0.5	0.6	0.7	0.8



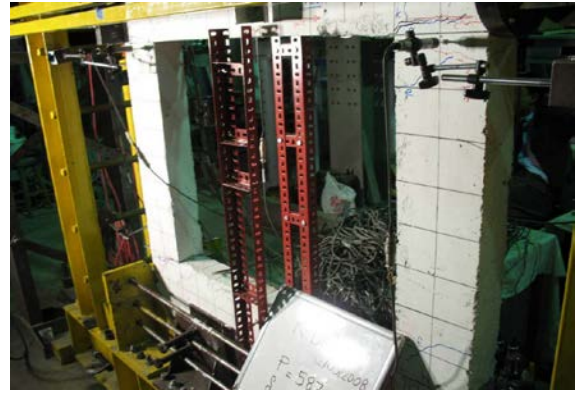
+1.2 mm tepe yer değıştirmesi



-1.2 mm tepe yer değıştirmesi



+7.2 mm tepe yer değıştirmesi

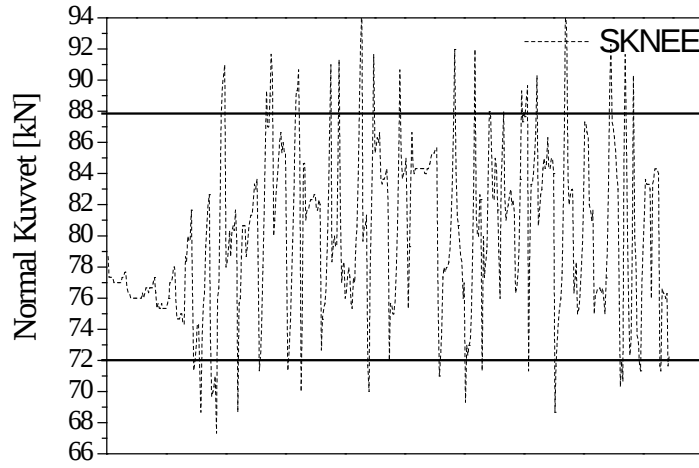


+16.8 mm tepe yer değıştirmesi

Şekil 2.30 : BF numunesi hasar durumları fotoğrafları.

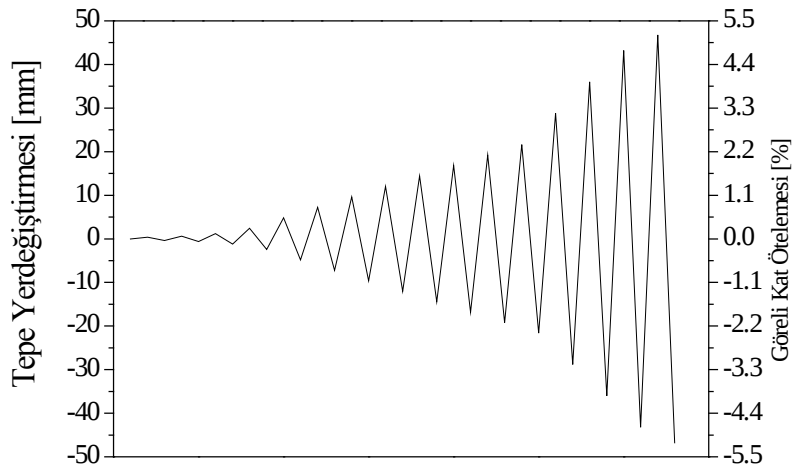
2.6.2 Tek köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (SKNEE)

Şekil 2.7’de verilen SKNEE numunesi güçlendirilmiş deney numunelerinin ilk numunesidir. Numuneye 16 tam çevrim uygulanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değışimi Şekil 2.31’de gösterilmiştir. Numuneye uygulanan yerdeğıştirme protokolü ve karşılık gelen yük değeri Çizelge 2.5’de verilmiştir. Şekil 2.32’de numuneye uygulanan yükleme fonksiyonun adım sayısına göre değışimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı 4. çevrimin itme yüklemesinde 2.40 mm görelî yerdeğıştirme değeriinde oluşmuştur. Bu yerdeğıştirme değeriine karşılık gelen yatay kuvvet 53.6 kN olarak elde edilmiştir. 6. çevrimin itme yüklemesinde 7.2 mm görelî yerdeğıştirme değeriinde ilk akma gözlemlenmiştir. İlk akma değeriine ulaşıldığında yatay kuvvet 76.6 kN olarak ölçülmüştür. Bu adımda en büyük çatlak genişliğı 0.5 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.31 : SKNEE numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.33’de sunulmuştur. Şekil 2.34’te yük- tepe yerdeğiştirme grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.35’de numunenin enerji tüketme kapasitesi- görelî kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.36’da Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.37’de doğu yüzü sağ kolon üst sol donatıdaki şekildeğiştirmelerin kat görelî ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.32 : SKNEE numunesi yükleme protokolü.

Çizelge 2.5 : SKNEE yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.

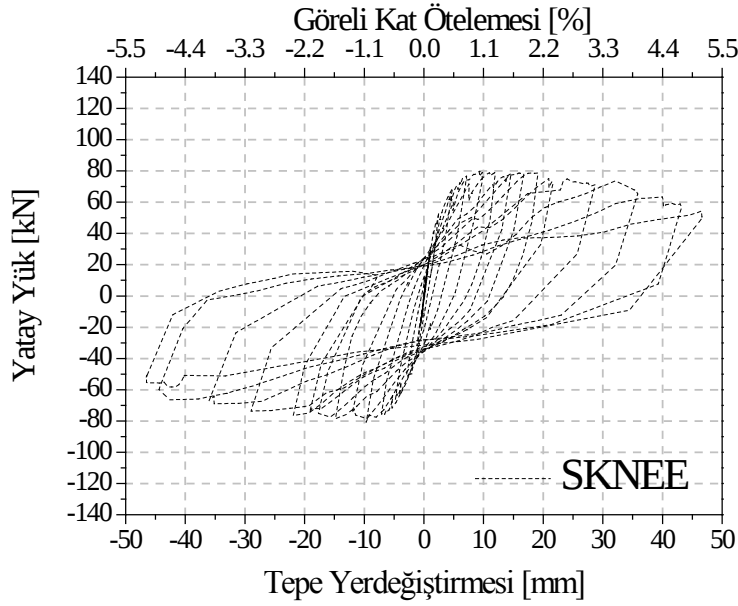
Yerdeğiştirme(mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	15.5	-17.6
0.6	19.4	-19.1
1.2	31.2	-31.8
2.4	53.6	-51.2
4.8	68.9	-66.1
7.2	76.6	-75.6
9.6	79.0	-80.8
12	76.8	-74.8
14.4	78.2	-78.7
16.8	77.9	-77.0
19.2	78.6	-74.8
21.6	71.6	-76.6
28.8	71.1	-73.9
36	65.2	-67.1
43.2	56.6	-59.9
46.8	50.4	-50.8

İlk çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 0.4 mm buna karşılık itme çevriminde oluşan yatay yük 15.5 kN, çekme çevriminde ise -17.6 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

İkinci çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirme ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 19.4 kN ve çekme durumunda -19.1 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimde 1.2 mm itme yüklemede yerdeğiştirme ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 31.2 kN ve çekme durumunda -31.8 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

4. çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 53.6 kN, çekme durumunda ise -51.2 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde itme yüklemede A,B,C ve D çatlakları oluşmuştur. Çekme durumunda ise A',B',C',D',E',F',G',H' ve İ' çatlakları oluşmuştur. Donatılardaki en büyük strain gauge değeri 331µ düzeyindedir.



Şekil 2.33 : SKNEE numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

5. çevrimde 4.8 mm görelü tepe yerdeğiştirmesi değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 68.9 kN ve çekmede -66.1 olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde çatlak sayısında önemli bir artış olmuştur. İtme yüklemesinde G, H, İ, J ve K çatlakları, çekme yüklemesinde ise J', K', L' ve M' çatlakları gözlemlenmiştir. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği 0.4 mm ile B çatlağıdır.

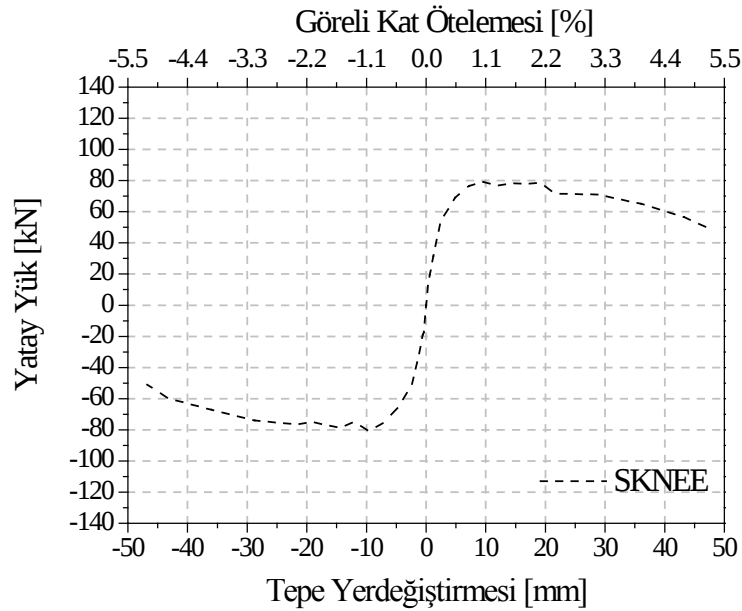
6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 76.6 kN, çekme yüklemesinde ise -75.6 kN yatay yük oluşmuştur. Bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir. İtme yüklemesinde L çatlağı, çekme yüklemesinde ise N' ve O' çatlakları oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 0.7 mm ile F' çatlağıdır.

7. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay yük 79 kN, çekme yüklemesinde ise -80.8 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme durumunda m çatlağı, çekme durumunda ise yeni bir çatlak oluşmamıştır. En büyük çatlak genişliği 1.2 mm ile F' çatlağıdır.

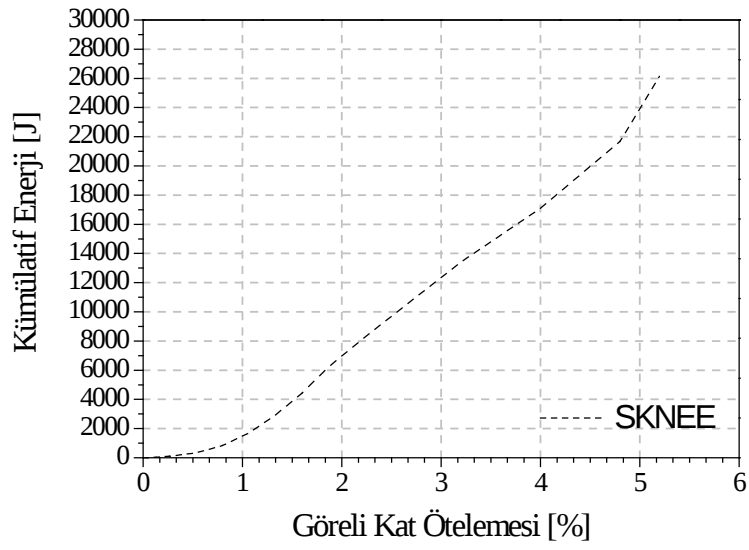
8. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 76.8 kN, çekmede ise -74.8 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme yüklemesinde N çatlağı, çekme yüklemesinde P' çatlağı oluşmuştur. Köşe çapraz elemanının kirişe bağlandığı plaka betondan sıyrılmaya başlamıştır.

13. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 28.8 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 71.1 kN, çekmede ise -73.9 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme yüklemesinde dirsek elemanı olarak yerleştirilen köşe çapraz elemanı yırtılarak kopmuştur.

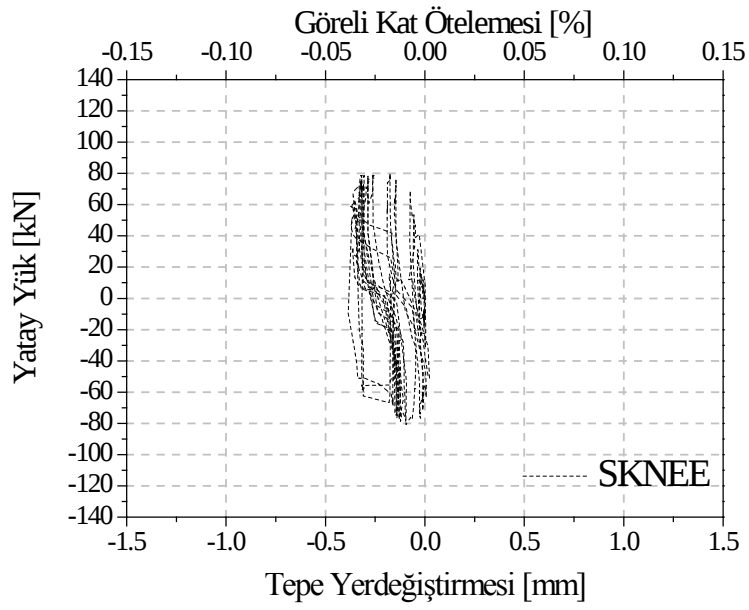
Bundan sonraki çevrimlerde numunede çok farklı bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Deneye 16. çevrimde 46.8 mm yerdeğiştirme değerinde son verilmiştir. Kolonların alt uç bölgelerinde beton ezilmiş ve bu bölgelerde plastik mafsallaşma oluşmuştur. Deney sonunda ileri düzeyde hasar oluşmasına rağmen numunenin yatay yük taşıma kapasitesi yalın çerçeve (BF_1) nin yatay yük taşıma kapasitesi kadar olduğu görülmüştür. Numunede boyuna donatılarda meydana gelen akmadan sonra taşıdığı yükte son çevrime kadar bir düşüş yaşanmamış, son çevrimde yatay yük taşınan en büyük yük değerinin % 85'ine ulaşması ve kat öteleme değerlerinin çok büyük değerler alması sebebiyle deneye son verilmiştir. Deneyde bazı tepe yerdeğiştirmesi durumlarında meydana gelen hasar resimleri Şekil 2.38'de verilmiştir.



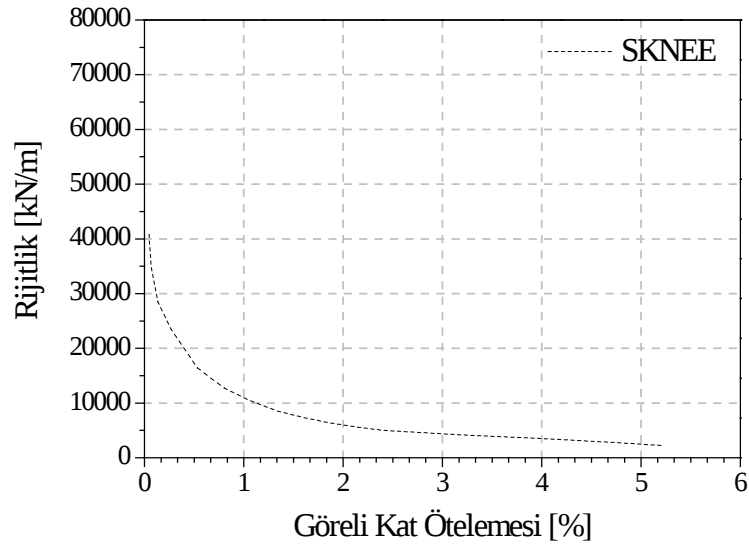
Şekil 2.34 : SKNEE numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.35 : SKNEE numunesi yığışımli çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.36 : SKNEE numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



Şekil 2.37 : SKNEE numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

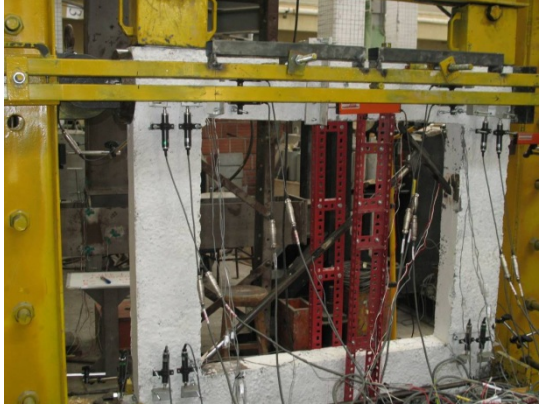
Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A', B', C', ... gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüzden yapılmıştır. Çizelge 2.6'de itme ve Çizelge 2.7'de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.6 : SKNEE numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)		0.1	0.2	0.5	0.9	1.4	1.8	1.8	2.5	3	>3.5	>3.5	6	6
B(mm)		<0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	.03	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	----
C(mm)		0.1	0.4	0.5	0.8	1.6	1.6	2	2	2.5	3.5	>3.5	4	4
D(mm)		<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
E(mm)		<0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
F(mm)		<0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
G(mm)			0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3
H(mm)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
I(mm)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
J(mm)			0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.6	1	1.4	2.5	2.5	2.5
K(mm)			<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1
L(mm)				0.4	0.6	0.6	1	1.2	1.5	1.6	2	>3.5	4	4
M(mm)				<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
N(mm)					<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
O(mm)						0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4

Çizelge 2.7 : SKNEE numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'(mm)		<0.1	0.2	0.4	0.7	1.2	1.4	1.4	1.8	1.9	3.5	5	5	6
B'(mm)		0.1	0.4	0.6	0.6	0.9	1.4	1.4	1.6	1.8	2.5	3	---	---
C'(mm)		0.1	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	1.4	1.6	2.5	3	---
D'(mm)		<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.1
E'(mm)		<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
F'(mm)		0.3	0.3	0.7	1.2	1.8	2.5	3	3.5	>3.5	4	5	---	---
G'(mm)		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
H'(mm)		<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
I'(mm)		<0.1	<0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
J'(mm)			<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
K'(mm)			<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	---
L'(mm)			<0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4
M'(mm)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
N'(mm)				<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
O'(mm)				<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
P'(mm)						<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
R'(mm)											0.2	0.3	0.3	0.3



+1.2 mm tepe yer değiştirmesi



-1.2 mm tepe yer değiştirmesi



+7.2 mm tepe yer değiştirmesi

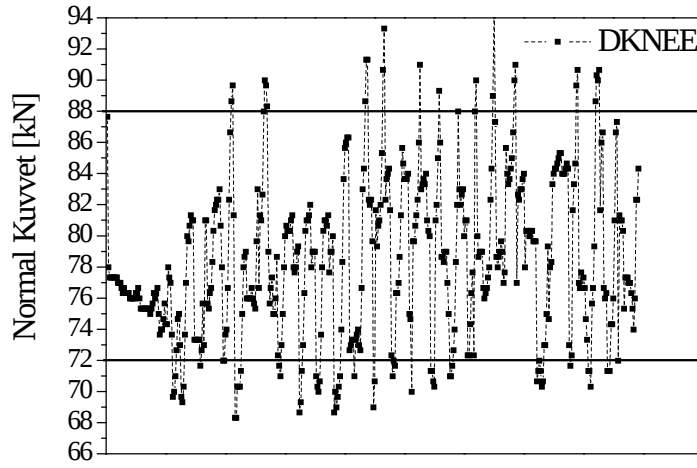


+28.8 mm tepe yer değiştirmesi

şekil 2.38 : SKNEE numunesi hasar durumları fotoğrafları.

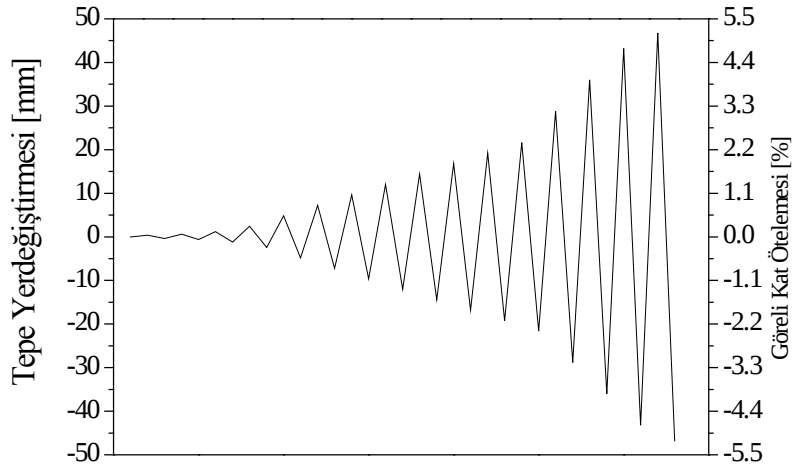
2.6.3 İki köşeden elik aprazlı numune deneyi (DKNEE)

şekil 2.8’de verilmiş olan DKNEE numunesi gőlendirilmiř deney numunelerinin ikinci numunesidir. Numuneye 16 tam çevrim uygulanmıştır. Eksenel yők başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi şekil 2.39’da gösterilmiştir. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme protokolő ve karşılık gelen yők değerleri izelge 2.8’de verilmiştir. şekil 2.40’da numuneye uygulanan yőkleme fonksiyonun adım sayısına göre değişimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı 4. evrimin itme yőklemesinde 2.40 mm görel yerdęiřtirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen yatay kuvvet 60.6 kN olarak elde edilmiştir. 6. evrimin itme yőklemesinde 7.2 mm görel yerdęiřtirme değerinde ilk akma gözlemlenmiştir. İlk akma değerine ulaşıldığında yatay kuvvet 94.5 kN olarak olőlmőřtir. Bu adımda en bőyők çatlak genişliği 0.5 mm olarak olőlmőřtir.



Şekil 2.39 : DKNEE numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.41’de sunulmuştur. Şekil 2.42’de yük- tepe yerdeğiştirme grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.43’de numunenin enerji tüketme kapasitesi-görelî kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.44’de Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.45’de doğu yüzü sağ kolon üst sol donatıdaki şekil değiştirmelerin kat görelî ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.40 : DKNEE numunesi yükleme protokolü.

Çizelge 2.8 : DKNEE yatay kuvvet-tepe yer değıştirmesi.

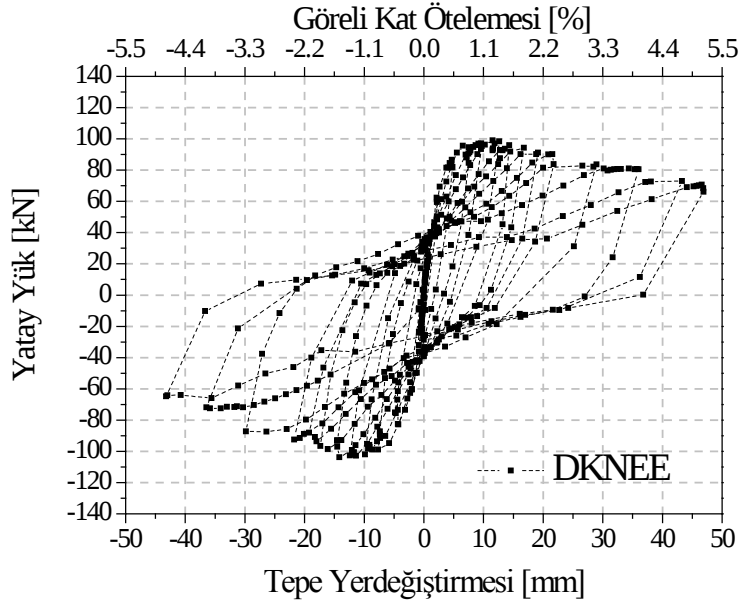
Yerdeğıştirme(mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	14.5	-17.5
0.6	26.0	-24.2
1.2	40.3	-41.7
2.4	60.6	-62.6
4.8	82.0	-75.1
7.2	94.5	-98.8
9.6	95.3	-102.2
12	98.5	-102.7
14.4	95.5	-97.1
16.8	94.3	-96.6
19.2	91.2	-92.0
21.6	90.2	-92.5
28.8	83.6	-87.3
36	80.0	-74.0
43.2	73.0	-65.0
46.8	68.3	----

İlk çevrimde ulaşılan yerdeğıştirme değeri 0.4 mm buna karşılık itme çevriminde oluşan yatay yük 14.5 kN, çekme çevriminde ise -17.5 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

İkinci çevrimde 0.6 mm yerdeğıştirmesine ulaşılmış, bu yerdeğıştirme değeri karşılık itme durumunda 26.0 kN ve çekme durumunda -24.2 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimde 1.2 mm yerdeğıştirme değeri ulaşılmış, bu yerdeğıştirme değeri karşılık itme durumunda 40.3 kN ve çekme durumunda -41.7 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

4. çevrimde ulaşılan yerdeğıştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 60.6 kN, çekme durumunda ise -62.6 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde itme yüklemede A ve B çatlakları oluşmuştur. Çekme durumunda ise A', B' ve C' çatlakları oluşmuştur.



Şekil 2.41 : DKNEE numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

5. evrimde 4.8 mm görelili tepe yerdeğiştirme değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 82.0 kN ve çekmede -75.1 olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde çatlak sayısında önemli bir artış olmamıştır. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği 0.35 mm ile B' atlağıdır. Bu adımda kısa köşe aprazları betona bağlayan plakalar ile beton arasında ayrılma gözlenmiştir.

6. evrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemede 94.5 kN, çekme yüklemede ise -98.8 kN yatay yük oluşmuştur. Bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 0.5 mm ile B' atlağıdır.

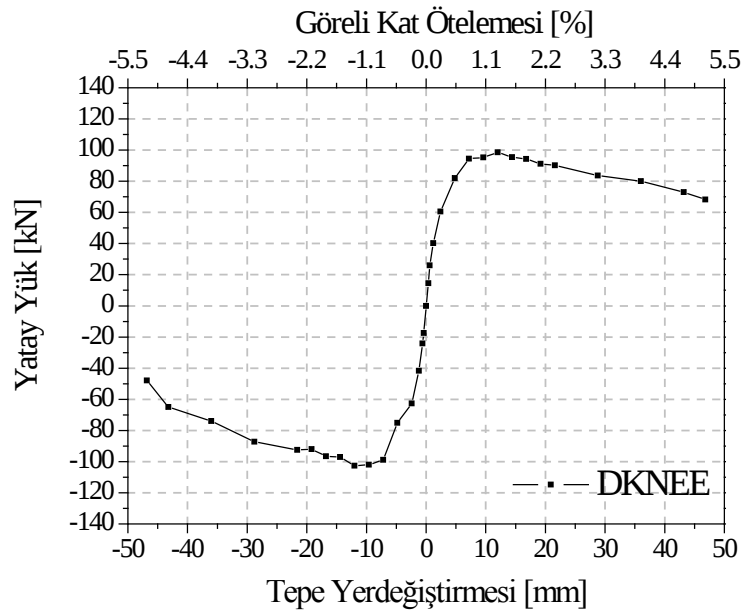
7. evrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemede oluşan yatay yük 95.3 kN, çekme yüklemede ise -102.0 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme durumunda m çatlağı, çekme durumunda ise yeni bir çatlak oluşmamıştır. En büyük çatlak genişliği 1.2 mm ile F' atlağıdır.

8. evrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşılı gelen yatay yük itmede 98.5 kN, çekmede ise -102.7 kN olarak kaydedilmiştir.

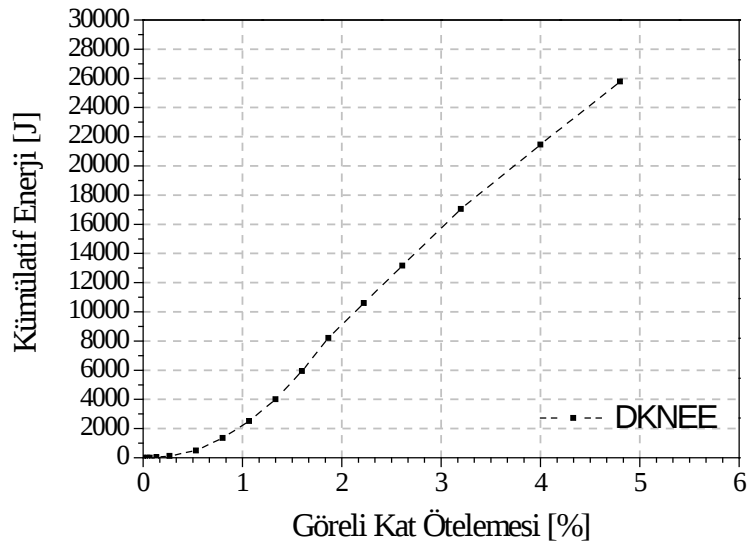
13. evrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 28.8 mm buna karşılı gelen yatay yük itmede 83.6 kN, çekmede ise -87.3 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde

itme yüklemesinde dirsek elemanı olarak yerleştirilen köşe çapraz elemanı yırtılarak kopmuştur.

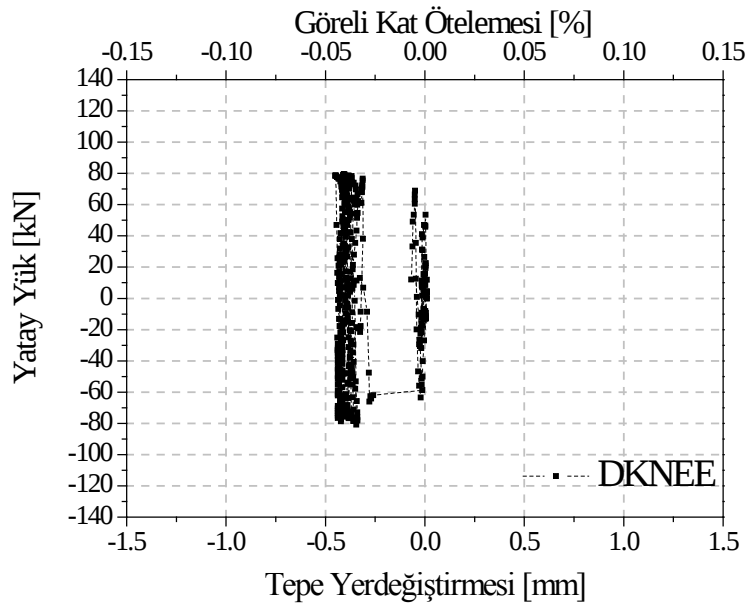
Bundan sonraki çevrimlerde numunede çok farklı bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Deneye 16. çevrimde 46.8 mm yerdeğiştirme değerinde son verilmiştir. Kolonların alt uç bölgelerinde beton ezilmiş ve bu bölgelerde plastik mafsallaşma oluşmuş fakat numunenin yatay yük taşıma kapasitesi BF_1 numunesinin yatay yük taşıma kapasitesine düşmüştür. Numunede boyuna donatılarda meydana gelen akmadan sonra taşıdığı yükte son çevrime kadar bir düşüş yaşanmamış, son çevrimde yatay yük taşınan en büyük yük değerinin % 85'ine ulaşması ve kat öteleme değerlerinin çok büyük değerler alması sebebiyle deneye son verilmiştir. Deneyde bazı tepe yerdeğiştirmesi durumlarında meydana gelen hasar resimleri Şekil 2.46'da verilmiştir.



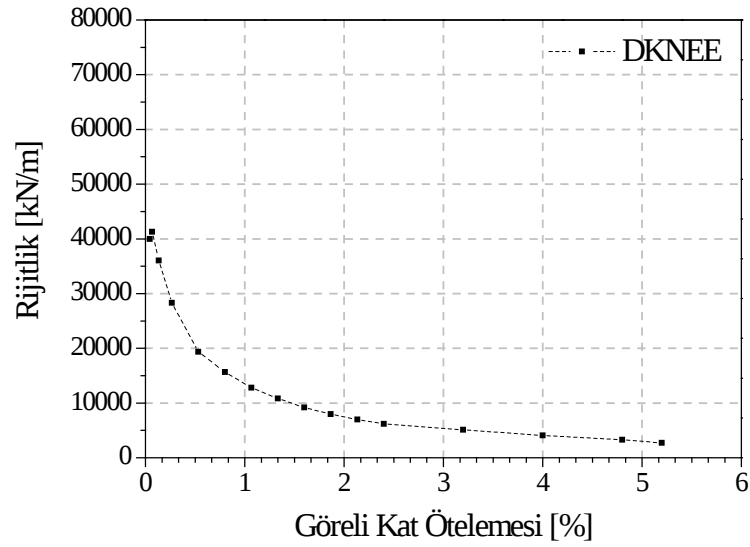
Şekil 2.42 : DKNEE numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.43 : DKNEE numunesi yığışımli çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.44 : DKNEE numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



Şekil 2.45 : DKNEE numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

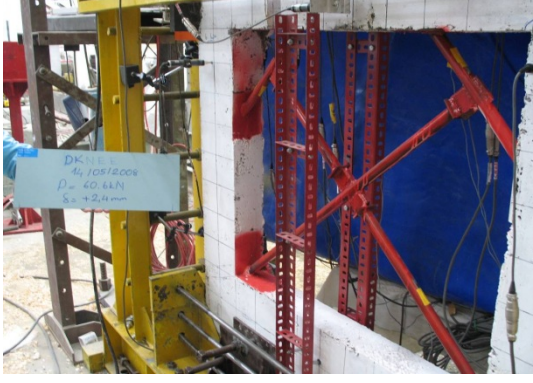
Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A', B', C', ... gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüz den yapılmıştır. Çizelge 2.9'da itme ve Çizelge 2.10'da çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.9 : DKNEE numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

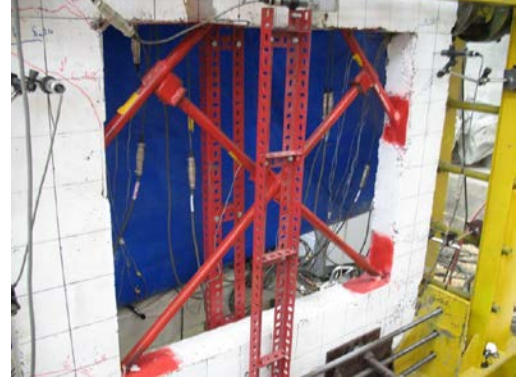
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)		0.1	0.2	0.5	0.9	1.4	1.8	1.8	2.5	3	>3.5	>3.5	6	6
B(mm)		<0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	.03	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	----
C(mm)		0.1	0.4	0.5	0.8	1.6	1.6	2	2	2.5	3.5	>3.5	4	4
D(mm)		<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
E(mm)		<0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
F(mm)		<0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
G(mm)			0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3
H(mm)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
I(mm)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
J(mm)			0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.6	1	1.4	2.5	2.5	2.5
K(mm)			<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1
L(mm)				0.4	0.6	0.6	1	1.2	1.5	1.6	2	>3.5	4	4
M(mm)				<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
N(mm)					<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
O(mm)						0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4

Çizelge 2.10 : DKNEE numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

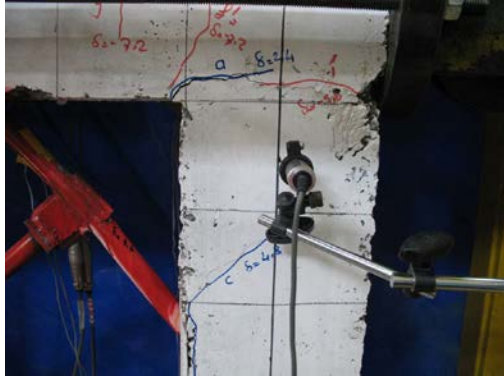
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'(mm)		<0.1	0.2	0.4	0.7	1.2	1.4	1.4	1.8	1.9	3.5	5.	5	6
B'(mm)		0.1	0.4	0.6	0.6	0.9	1.4	1.4	1.6	1.8	2.5	3	---	---
C'(mm)		0.1	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	1.4	1.6	2.5	3	---
D'(mm)		<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.1
E'(mm)		<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
F'(mm)		0.3	0.3	0.7	1.2	1.8	2.5	3	3.5	>3.5	4	5	---	---
G'(mm)		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
H'(mm)		<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
I'(mm)		<0.1	<0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
J'(mm)			<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
K'(mm)			<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	---
L'(mm)			<0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4
M'(mm)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
N'(mm)				<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
O'(mm)				<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
P'(mm)						<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
R'(mm)											0.2	0.3	0.3	0.3



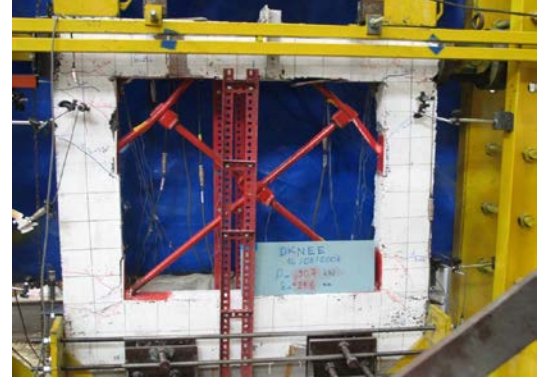
+2.4 mm tepe yer değiştirmesi



-4.8 mm tepe yer değiştirmesi



-16.8mm tepe yer değiştirmesi

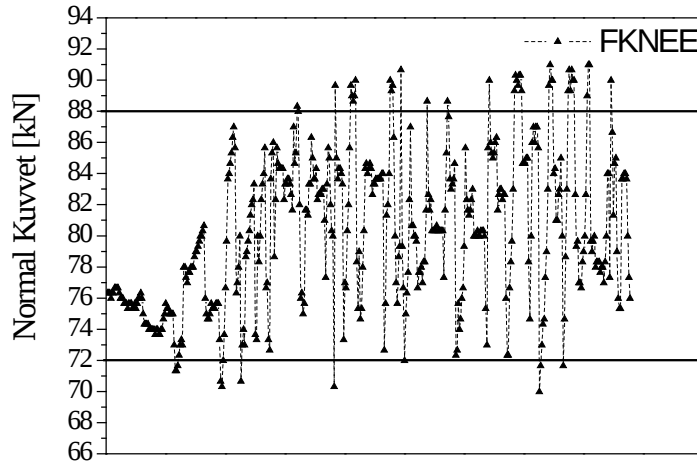


+21.6 mm tepe yer değiştirmesi

şekil 2.46 : DKNEE numunesi hasar durumları fotoğrafları

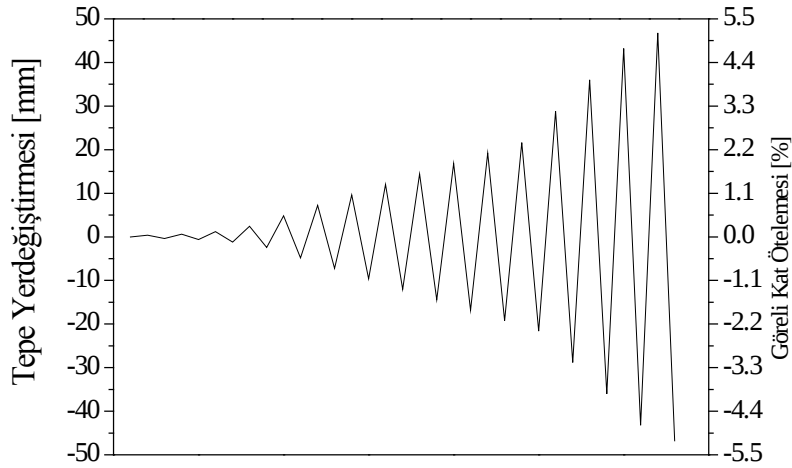
2.6.4 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (FKNEE)

şekil 2.9’da verilmiş olan FKNEE numunesi güçlendirilmiş deney numunelerinin üçüncüsüdür. Numuneye 16 tam çevrim uygulanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi şekil 2.47’de gösterilmiştir. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme protokolü ve karşılık gelen yük değerleri Çizelge 2.11’de verilmiştir. şekil 2.48’de numuneye uygulanan yükleme fonksiyonun adım sayısına göre değişimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı 4. çevrimin çekme yüklemesinde -2.40 mm görelî yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen yatay kuvvet -62.3 kN olarak elde edilmiştir. 7. çevrimin itme yüklemesinde 9.6 mm görelî yerdeğiştirme değerinde ilk akma gözlemlenmiştir. İlk akma değerine ulaşıldığında yatay kuvvet 103.3 kN olarak ölçölmüştür. Bu adımda en büyük çatlak genişliği 2 mm olarak ölçölmüştür.



Şekil 2.47 : FKNEE numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.49’da sunulmuştur. Şekil 2.50’de yük- tepe yerdeğiştirme grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.51’de numunenin enerji tüketme kapasitesi-görelî kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.52’de Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.53’de doğu-yüzü sağ kolon üst sol donatıdaki şekil değiştirmelerin kat görelî ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.48 : FKNEE numunesi yükleme protokolü.

Çizelge 2.11 : FKNEE yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.

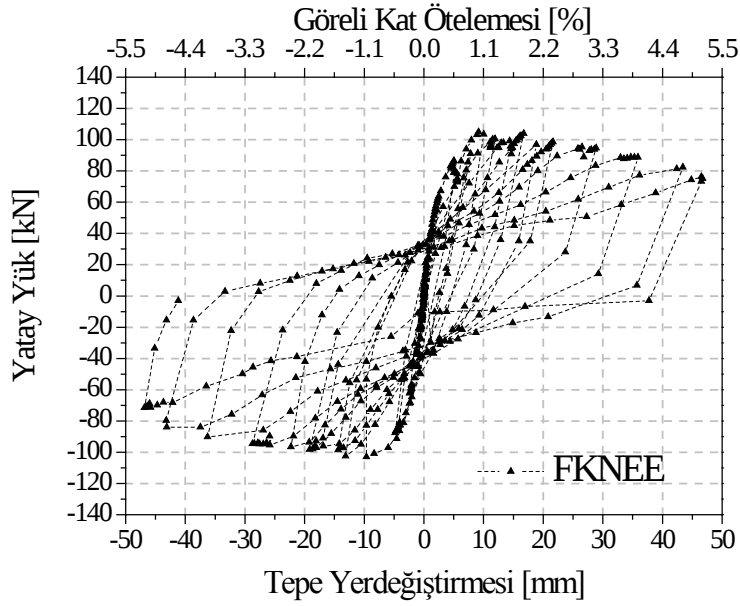
Yerdeğiştirme(mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	15.5	-15.3
0.6	22.9	-21.9
1.2	40.7	-37.4
2.4	63.7	-62.3
4.8	86.5	-87.8
7.2	90.9	-91.3
9.6	103.3	-103.1
12	100.4	-103.6
14.4	99	-98.7
16.8	103.8	-96.3
19.2	98.1	-98.4
21.6	98.3	-96.7
28.8	94.5	-95
36	88.6	-98.4
43.2	82.2	-79.8
46.8	73.8	-71.7

İlk çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 0.4 mm buna karşılık itme çevriminde oluşan yatay yük 15.5 kN, çekme çevriminde ise -15.3 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

İkinci çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirme ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 22.9 kN ve çekme durumunda -21.9 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimde 1.2 mm yerdeğiştirme durumunda, itme yüklemesinde 40.7 kN ve çekme durumunda -37.4 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

4. çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 63.7 kN, çekme durumunda ise -62.3 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde çekme durumunda ise A', B, 'C' ve D' çatlakları oluşmuştur.



Şekil 2.49 : FKNEE numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

5. çevrimde 4.8 mm görelü tepe yerdeğiştirmeyi değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 86.5 kN ve çekmede -87.8 olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde çatlak sayısında önemli bir artış olmamıştır. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği 0.5 mm ile C' çatlağıdır.

6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 90.9 kN, çekme yüklemesinde ise -91.3 kN yatay yük oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 0.5 mm ile B' çatlağıdır.

7. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay yük 103.3 kN, çekme yüklemesinde ise -103.1 kN olarak kaydedilmiştir. Bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir. En büyük çatlak genişliği 2.0 mm ile C' çatlağıdır.

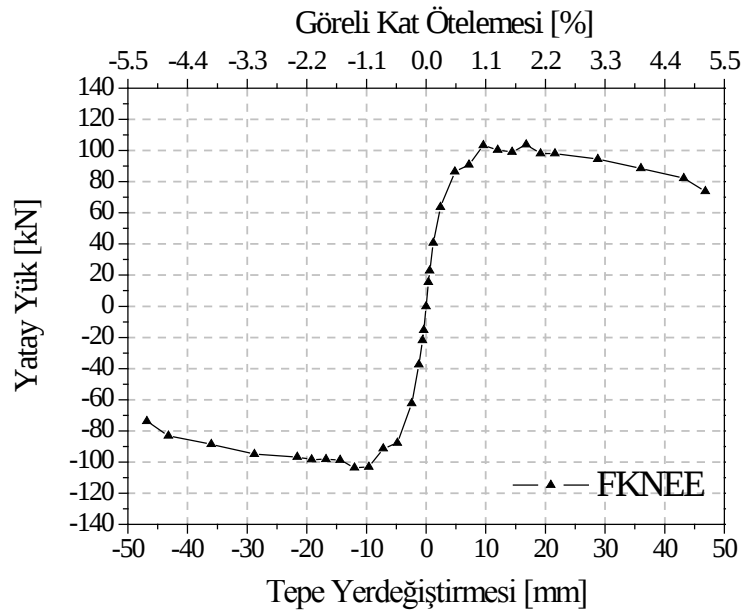
8. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 100.4 kN, çekmede ise -103.3 kN olarak kaydedilmiştir.

9. çevrimde numuneye uygulanan yer değiştirme değeri 14.4 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 99.0 kN çekme tarafında ise -98.7 kN dur. Bu adımda köşe çapraz elemanlarını betonarme kolon ve kirişe bağlayan plakalarda yapı elemanı arasında ayrılma başlamıştır.

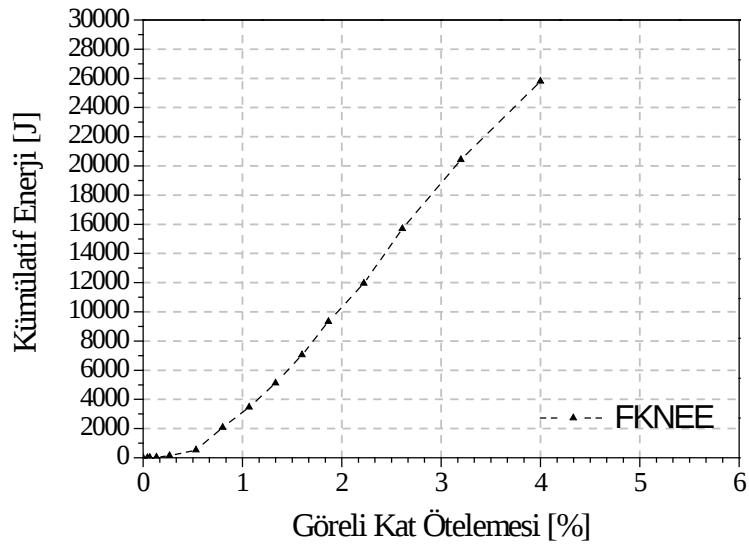
10. çevrimde numuneye uygulanan yer değıştirme değeri 16.8 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 103.8 kN çekme tarafında ise -96.3 kN olup, genel durum Şekil 3.82-3.83’de gösterilmiştir.

13. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğıştirme değeri 28.8 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 94.5 kN, çekmede ise -95.0 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme yüklemesinde dirsek elemanı olarak yerleştirilen köşe çapraz elemanı eğilme altında şekildeğıştirmeye başlamış olup artık kalıcı şekil değıştirmeler gözle görülür hale gelmiştir.

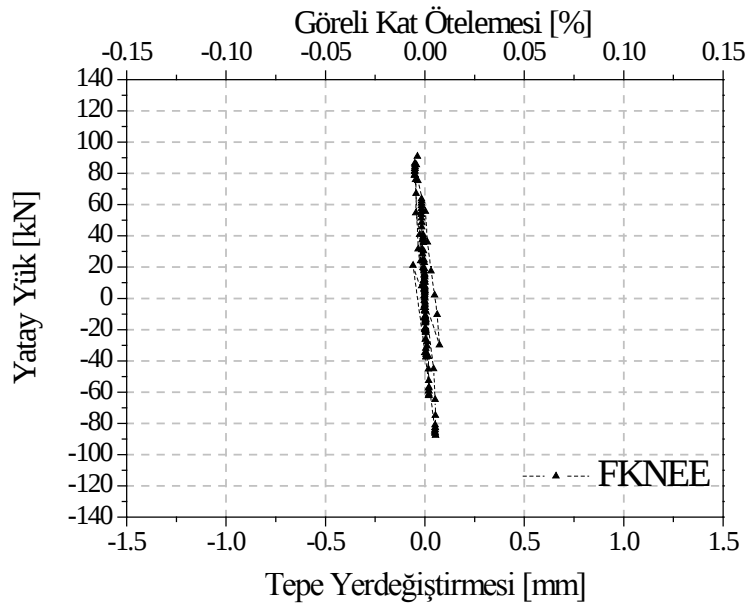
Bundan sonraki çevrimlerde numunede çok farklı bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. 14. çevrim olan 36.0 mm yer değıştirme adımının itmesinde Köşe çapraz elemanı ana çapraz elemanınla bağlandığı noktadan yırtılarak kopmuştur. Deneye 16. çevrimde 46.8 mm yerdeğıştirme değeri son verilmiştir. Numunenin 15. çevrimi olan 43.2 mm yer değıştirmesindeki genel durum ile deney sonrasındaki durum Şekil 3.86-3.87 ile gösterilmiştir. Numunede boyuna donatılarda meydana gelen akmadan sonra taşıdığı yükte son çevrime kadar bir düşüş yaşanmamış, son çevrimde yatay yük taşıyan maksimum yük değeri % 71’ine ulaşması ve kat öteleme değeri çok büyük değeri alması sebebiyle deneye son verilmiştir. Deneyde bazı tepe yerdeğıştirmesi durumlarında meydana gelen hasar resimleri Şekil 2.54’te verilmiştir.



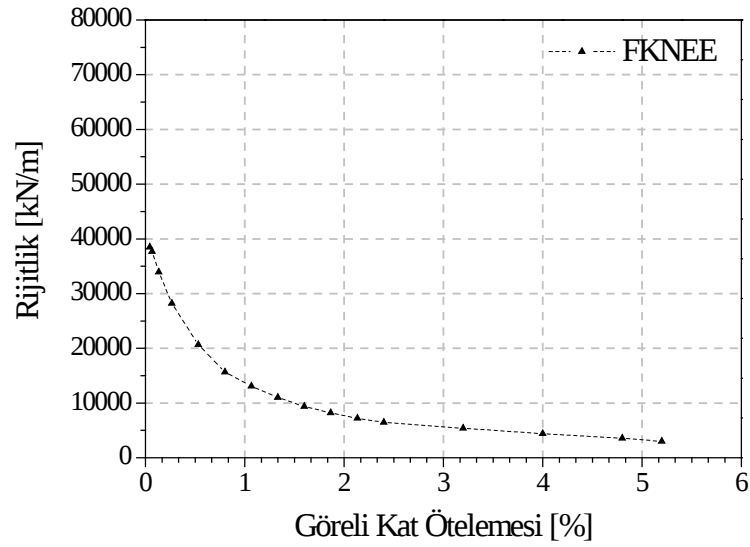
Şekil 2.50 : FKNEE numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.51 : FKNEE numunesi yığışımli çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.52 : FKNEE numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



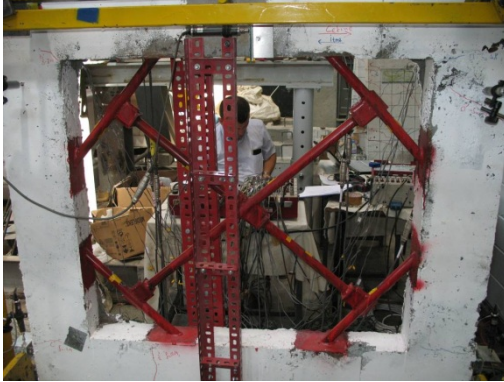
Şekil 2.53 : FKNEE numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A', B', C', ... gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüz den yapılmıştır. Çizelge 2.12'de itme ve Çizelge 2.13'de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.12 : FKNEE numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)			0.4	0.7	0.9	1.4	2.0	2.5	3.0	3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
B(mm)			0.4	0.6	1.2	2	2.0	3.0	3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
C(mm)				0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
D(mm)				0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
E(mm)					0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
F(mm)					0.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.2	1.2	1.4	1.4
G(mm)					0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6
H(mm)						0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
I(mm)						0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.7	0.7	2.5	3.0
J(mm)						0.5	0.7	0.7	0.7	0.9	2.0	2.0	2.0	>3.5
K(mm)						0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
L(mm)							0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8
M(mm)							0.2	0.7	0.7	0.9	1.2	1.2	1.4	1.4
N(mm)								0.1	0.3	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8
O(mm)										0.3	0.8	1.4	1.6	2.5



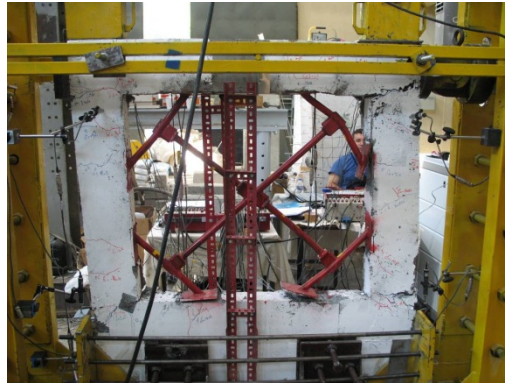
-4.8 mm tepe yer değıştirmesi



+14.4 mm tepe yer değıştirmesi



+28.8mm tepe yer değıştirmesi



+43.2 mm tepe yer değıştirmesi

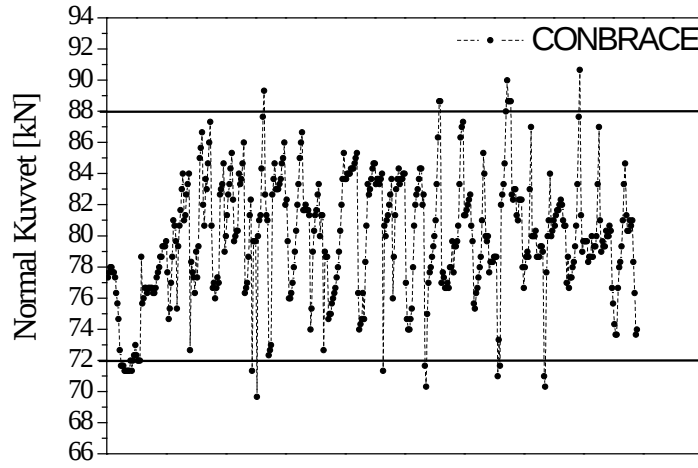
Şekil 2.54 : FKNEE numunesi hasar durumları fotoğrafları.

Çizelge 2.13 : FKNEE numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'(mm)		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
B'(mm)		0.1	0.3	0.4	1.8	2.0	2.5	3.0	3.0	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
C'(mm)		0.3	0.5	0.7	2.0	2.0	2.5	3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
D'(mm)		0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
E'(mm)			0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
F'(mm)			0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	1.4	>3.5	>3.5	>3.5
G'(mm)					0.6	0.7	0.7	0.8	1.2	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
H'(mm)					0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
I'(mm)					1.6	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	3.5	>3.5	>3.5	>3.5
J'(mm)					0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
K'(mm)					0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
L'(mm)					0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
M'(mm)						0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	2.0
N'(mm)							0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
O'(mm)									0.5	0.5	0.9	1.2	1.4	1.4
P'(mm)												0.1	0.1	0.3
R'(mm)												0.1	0.5	0.5

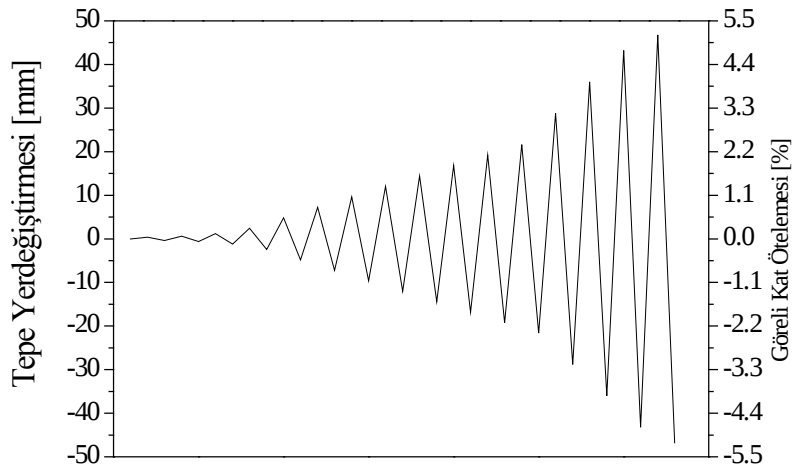
2.6.5 Merkezi çelik çaprazlı numune deneyi (CONBRACE)

Şekil 2.10'da verilen CONBRACE numunesi güçlendirilmiş deney numunelerinin dördüncü numunesidir. Numuneye 16 tam çevrim uygulanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi Şekil 2.55'de gösterilmiştir. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme protokolü ve karşılık gelen yük değerleri Çizelge 2.14'de verilmiştir. Şekil 2.56'da numuneye uygulanan yükleme fonksiyonunun adım sayısına göre değişimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı 4. çevrimin çekme yüklemesinde +2.40 mm görelî yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen yatay kuvvet 94 kN olarak elde edilmiştir. 6. çevrimin itme yüklemesinde 7.2 mm görelî yerdeğiştirme değerinde ilk akma gözlemlenmiştir. İlk akma değerine ulaşıldığında yatay kuvvet 124 kN olarak ölçülmüştür. Bu adımda en büyük çatlak genişliği 2 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.55 : CONBRACE numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.57’de sunulmuştur. Şekil 2.58’de yük- tepe yerdeğiştirme grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.59’da numunenin enerji tüketme kapasitesi-görelî kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.60’da Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.61’de doğu yüzü sağ kolon üst sol donatıdaki şekil değiştirmelerin kat görelî ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.56 : CONBRACE numunesi yükleme protokolü.

Çizelge 2.14 : CONBRACE yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.

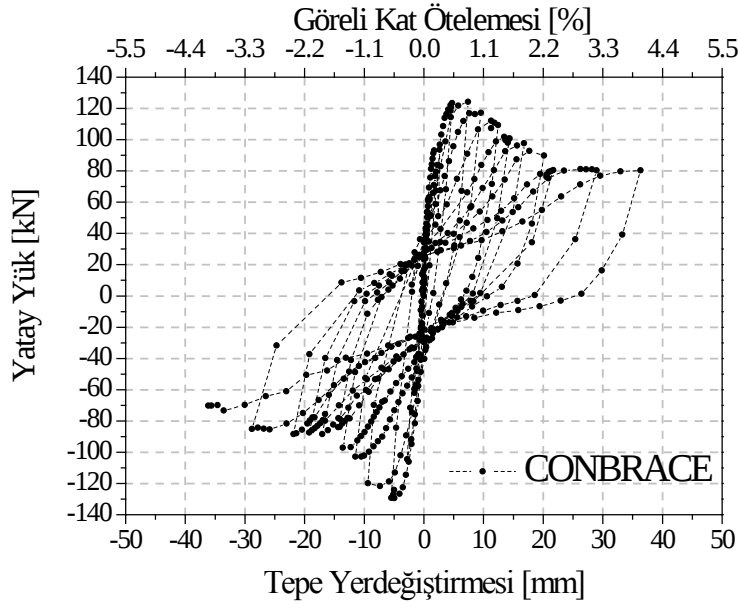
Yerdeğiştirme(mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	30.3	-24.5
0.6	42	-39
1.2	63	-62.3
2.4	93.5	-105
4.8	123	-129.3
7.2	124	-120
9.6	117.1	-102
12	109	-97.3
14.4	101	-84
16.8	97.5	-88.6
19.2	89.7	-87.6
21.6	80.4	-88.6
28.8	80.2	-85.3
36	80.1	-70.4
43.2	74.4	-70
46.8	66.6	-62.5

İlk çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 0.4 mm buna karşılık itme çevriminde oluşan yatay yük 30.3, çekme çevriminde ise -24 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

İkinci çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirmea ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 42 kN ve çekme durumunda -39 N yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimde 1.2 mm itme yüklemede yerdeğiştirme ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 63 kN ve çekme durumunda -62.3 atay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

4. çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 93.5 kN, çekme durumunda ise -105 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde itme yüklemede a b ve c çatlakları oluşmuştur. Çekme durumunda ise a' ve b' çatlakları oluşmuştur.



Şekil 2.57 : CONBRACE numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

5. çevrimde 4.8 mm görelü tepe yerdeğiştirmeyi değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 123.0 kN ve çekmede -129.3 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde çatlak sayısında önemli bir artış olmamıştır. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği 0.4 mm ile A çatlağıdır.

6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 124 kN, çekme yüklemesinde ise -120 kN yatay yük oluşmuştur. Bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir. Ölçülen en büyük çatlak genişliği >3.5 mm ile G' çatlağıdır.

7. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay yük 117.1 kN, çekme yüklemesinde ise -102.0 kN olarak kaydedilmiştir. Bu adımda kolon-kiriş bölgesine yerleştirilmiş plkalarda ayrılma başlamıştır.

8. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 109 kN, çekmede ise -97.3 kN olarak kaydedilmiştir. Çapraz elemanda burkulma ilk bu adımda meydana gelmiştir.

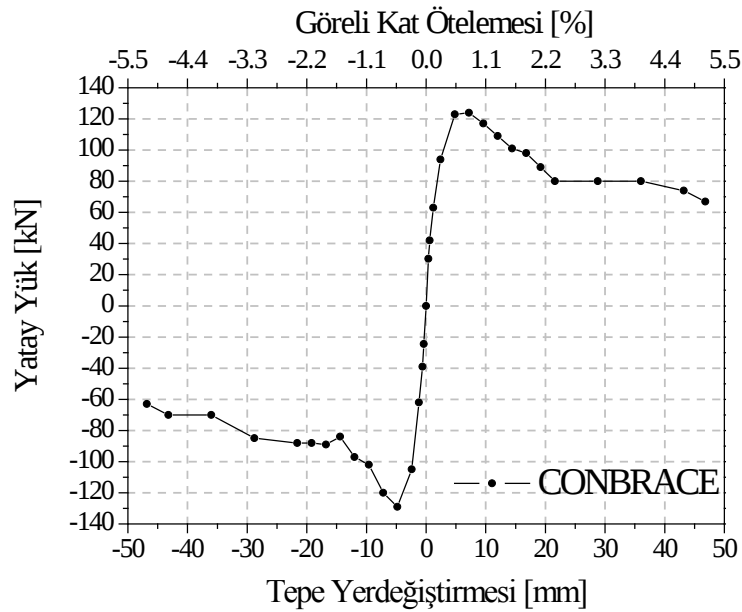
9. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 14.4 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 101 kN, çekmede ise -84 kN olarak kaydedilmiştir.

11. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 19.2 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 89.7 kN, çekmede ise -87.6 kN olarak kaydedilmiştir.

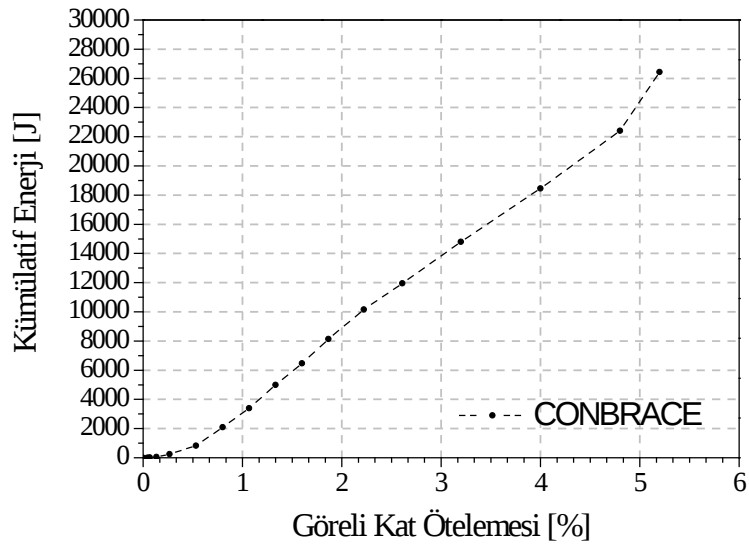
13. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 28.8 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 80.2 kN, çekmede ise -85.2 kN olarak kaydedilmiştir.

15. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 36.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 80.1 kN, çekmede ise -70 kN olarak kaydedilmiştir.

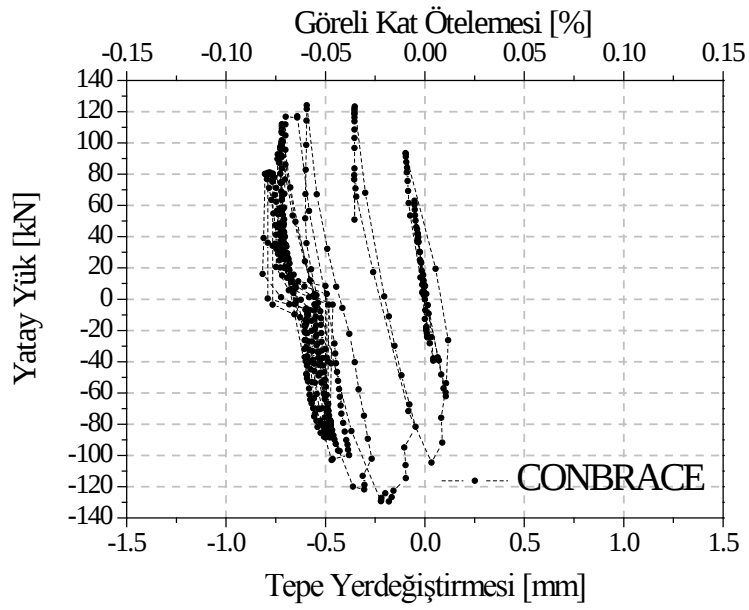
Bundan sonraki çevrimlerde numunede çok farklı bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Deneye 16. çevrimde 46.8 mm yerdeğiştirme değerinde son verilmiştir. Kolonların alt uç bölgelerinde beton ezilmiş ve bu bölgelerde plastik mafsallaşma oluşmuş fakat numunenin yatay yük taşıma kapasitesi BF_1 numunesinin yatay taşıma kapasitesine kadar düşmüştür. Deney sonunda çapraz elemanlar burkulmuş, çaprazları betonarme yapı elemanlarına bağlayan plakaların çoğu ayrılmıştır. Deneyde bazı tepe yerdeğiştirmesi durumlarında meydana gelen hasar resimleri Şekil 2.62`de verilmiştir.



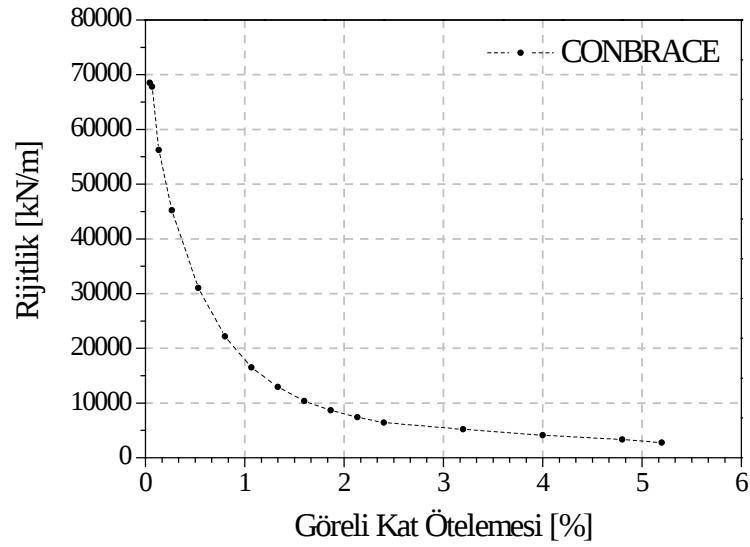
Şekil 2.58 : CONBRACE numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.59 : CONBRACE numunesi yığışımli çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.60 : CONBRACE numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



Şekil 2.61 : CONBRACE numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

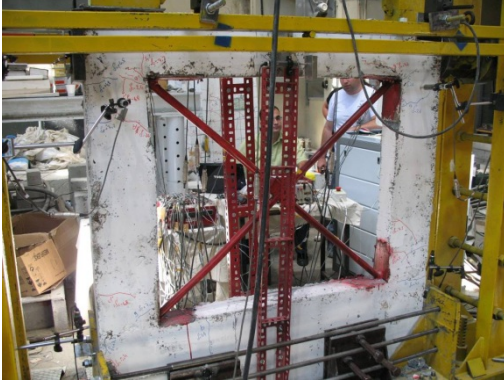
Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A', B', C', ... gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüz den yapılmıştır. Çizelge 2.15'de itme ve Çizelge 2.16'da çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.15 : CONBRACE numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

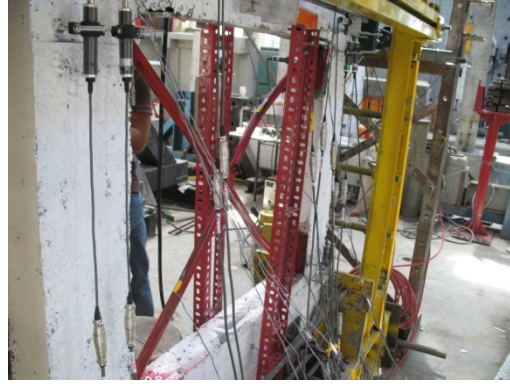
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)		0.1	0.4	0.7	1.0	1.2	1.8	2.0	2.0	2.0	2.5	>3.5	>3.5	>3.5
B(mm)		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
C(mm)		0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	1.0	1.4	2.5	>3.5	>3.5	>3.5
D(mm)			0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
E(mm)			0.1	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	1.8	2.5	>3.5	>3.5
F(mm)			0.2	0.5	0.9	1.6	1.8	2.5	3.0	2.0	2.5	2.5	2.5	>3.5
G(mm)				0.4	0.6	0.8	0.9	1.2	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
H(mm)				1.0	1.2	3.5	3.5	3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
I(mm)				0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5	0.8	>3.5	>3.5	>3.5
J(mm)				0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
K(mm)							0.3	0.3	0.3	0.4	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
L(mm)										0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
M(mm)										0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Çizelge 2.16 : CONBRACE numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'(mm)		0.1	0.2	0.5	0.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
B'(mm)		0.1	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
C'(mm)			0.1	0.3	0.3	0.4	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
D'(mm)			0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
E'(mm)			0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
F'(mm)			0.3	0.7	1.0	1.2	1.4	1.8	1.8	2.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
G'(mm)				>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
H'(mm)				0.4	0.5	0.9	0.9	1.0	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
I'(mm)				0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
J'(mm)					0.3	0.7	0.7	0.9	0.9	1.0	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
K'(mm)						2.5	3.0	3.0	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5
L'(mm)							0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
M'(mm)								0.9	2.5	2.5	>3.5	>3.5	>3.5	>3.5



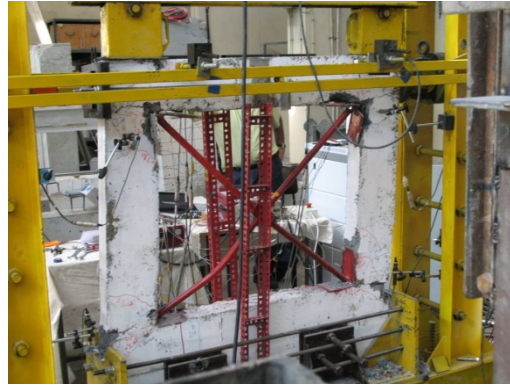
+4.8 mm tepe yer değiştirmesi



-12.0 mm tepe yer değiştirmesi



+19.2 mm tepe yer değiştirmesi



+36.0 mm tepe yer değiştirmesi

şekil 2.62 : CONBRACE numunesi hasar durumları fotoğrafları.

Birinci grup deneylerden elde edilen sonuçlar kısaca şöyle özetlenebilir:

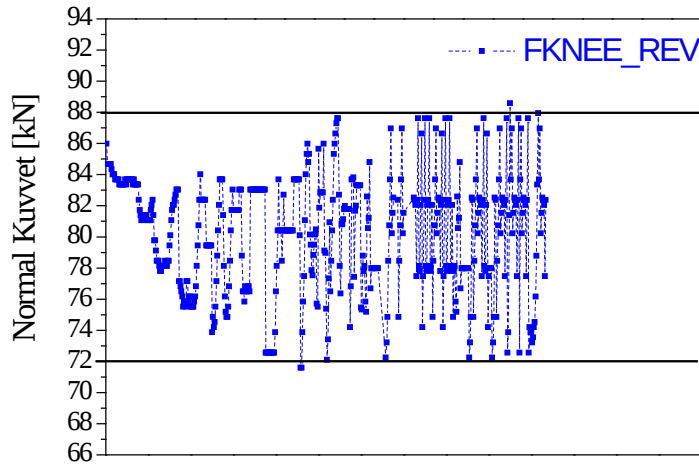
- Beklenildiği gibi en büyük yatay yük seviyesine merkezi çelik çaprazlı sistemde erişilmiş olmakla beraber en büyük başlangıç rijitliği de bu numunede bulunmuştur.
- Sisteme eklenen her bir köşe çelik çapraz eleman sistemin sünekliğini bir adım daha arttırmıştır.
- Asıl amaç olan sisteme eklenecek yeni enerji yutucu elemanlarla sistemin yatay yük kapasitesi artırılırken özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan çatlaklar önlenmiş ve burada oluşan hasarlar minimum seviyede tutulmuştur.
- Yukarıda deneyleri yapılmış olan numunelerden en etkili olanı dört köşeden çelik çaprazlı numune olan FKNEE numunesi olmuştur.

2.7 İkinci Grup Deney Sonuçları

Birinci grup deneylerden elde edilen sonuçlara göre güçlendirilen numunelerde en etkili olan geometrik şekil dört köşeden çelik çaprazlarla güçlendirilmiş olan numunedir. Bu numune referans olarak alındığında birinci deney gruplarında görülen yatay yük taşıma kapasitesini etkileyen ve sisteme daha sonra eklenen çelik çapraz elemanların betonarme elemanlardan sıyrılmasını önleyecek bir dizi önlemler alınarak dört farklı numune hazırlanmıştır. Bu dört numunede hem bu düzeltmeler yapılmış hem de çelik çapraz elemanların kesitsel özellikleri değiştirilmiştir. Özellikle son deney numunesi olan dört köşeden çelik çapraz ve ortasında yine döndürülmüş bir kare kesitten oluşturulmuş sistem bu tezde amaçlanan sonuçlara ulaştığımızı göstermektedir.

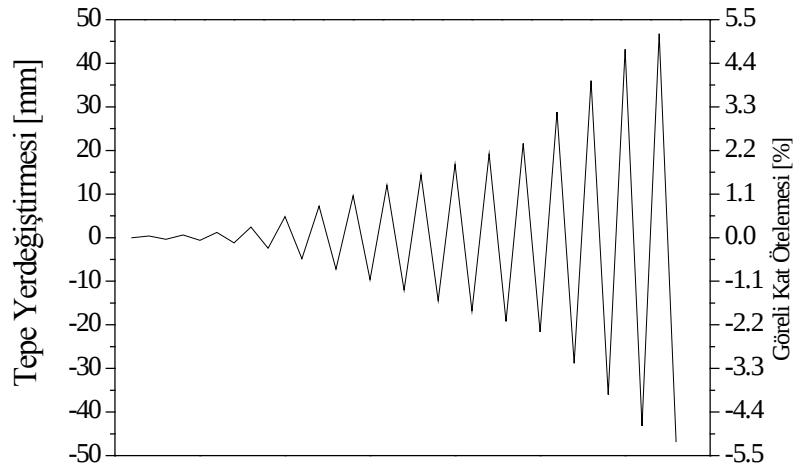
2.7.1 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (FKNEE-REV)

Şekil 2.11’de verilmiş olan FKNEE-REV numunesi revize edilerek güçlendirilen deney numunelerinin birinci numunesidir. Numuneye 16 tam çevrim uygulanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi Şekil 2.63’te gösterilmiştir. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme protokolü ve karşılık gelen yük değerleri Çizelge 2.17’de verilmiştir. Şekil 2.64’te numuneye uygulanan yükleme fonksiyonun adım sayısına göre değişimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı 5. çevrimin itme yüklemesinde 4.80 mm görelî yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen yatay kuvvet 80.0 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.63 : FKNEE-REV numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.65’de sunulmuştur. Şekil 2.66’da yük- tepe yerdeğiştirme grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.67’de numunenin enerji tüketme kapasitesi-görelî kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.68’de Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.69’da doğu yüzü sağ kolon üst taraf soldaki donatıdaki şekil değiştirmelerin kat görelî ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.64 : FKNEE-REV numunesi yükleme protokolü.

İlk çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 0.4 mm buna karşılık itme çevriminde oluşan yatay yük 17.6 kN, çekme çevriminde ise -16.1 kN olarak ölçülmüştür. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

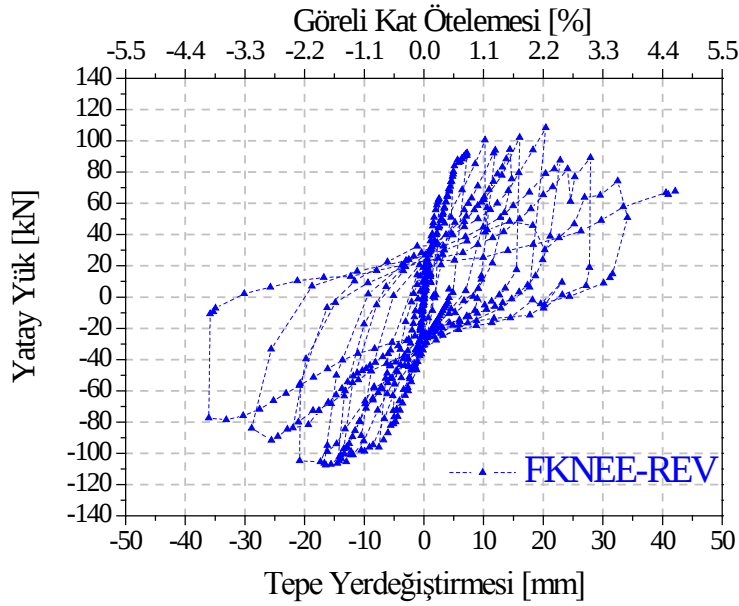
İkinci çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirme ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 28.7 kN ve çekme durumunda -19.8 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimde 1.2 mm yerdeğiştirme durumunda, itme yüklemesinde 40.4 kN ve çekme durumunda -33.6 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

4. çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 62.9 kN, çekme durumunda ise -60.0 kN olarak ölçülmüştür. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

Çizelge 2.17 : FKNEE-REV yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.

Yerdeğiştirme (mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	17.6	-16.1
0.6	28.7	-19.8
1.2	40.4	-33.6
2.4	62.9	-60.0
4.8	80.4	-81.2
7.2	90.7	-96.0
9.6	100.4	-98.1
12	100.0	-105.4
14.4	100.5	-106.5
16.8	102.2	-106.4
19.2	108.3	-104.8
21.6	97.6	-93.9
28.8	89.1	-84.0
36	50.8	-77.4
43.2	-	-
46.8	-	-



Şekil 2.65 : FKNEE_REV numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

5. çevrimde 4.8 mm görelî tepe yerdeğiştirmesi değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 80.4 kN ve çekmede -81.2 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme durumunda ise A, B, C, D, E, F, G, H ve İ çatlakları ile çekme durumunda A', B', C', D', E', F', G' ve H' çatlakları oluşmuştur. Bu çevrimde çatlak sayısında önemli bir artış olmamıştır. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği itmede 0.3 mm-A çatlağı ile çekmede 0.5 mm-A' çatlağıdır.

6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemede 90.7 kN, çekme yüklemede ise -96.0 kN yatay yük oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 0.5 mm ile B' çatlağıdır.

7. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemede oluşan yatay yük 100.4 kN, çekme yüklemede ise -98.1 kN olarak kaydedilmiştir. En büyük çatlak genişliği 1.4 mm ile A' çatlağıdır.

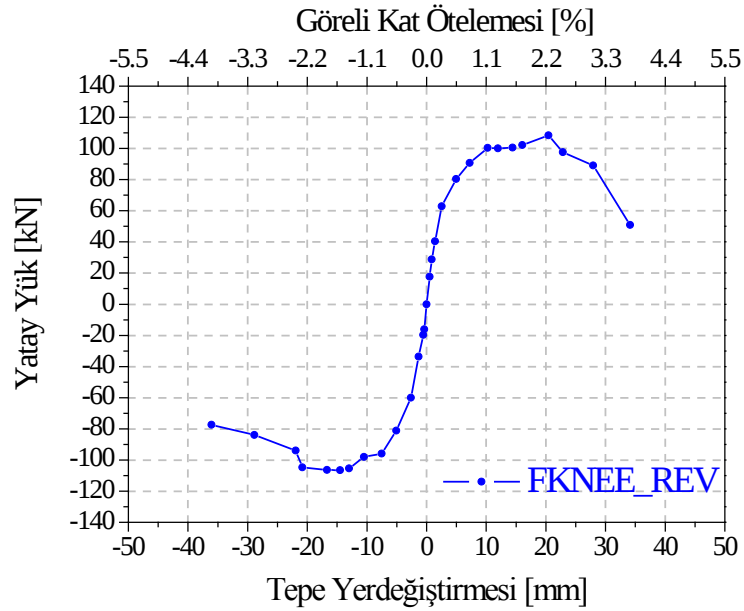
8. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 100.0 kN, çekmede ise -105.4 kN olarak kaydedilmiştir.

9. çevrimde numuneye uygulanan yer değiştirme değeri 14.4 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 100.5 kN çekme tarafında ise -106.5 kN dur. Bu adımda knee elemanlarında eğilme meydana gelmeye başlamıştır.

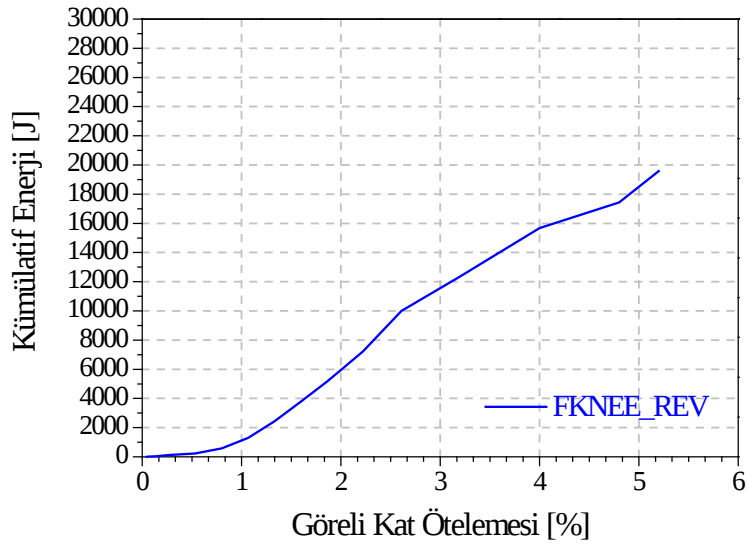
10. çevrimde numuneye uygulanan yer değıştirme değeri 16.8 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 102.2 kN çekme tarafında ise -106.4 kN olmuştur. Bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir.

13. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğıştirme değeri 28.8 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 89.1 kN, çekmede ise -84.0 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme yüklemesinde dirsek elemanı olarak yerleştirilen sağ alt köşedeki çapraz elemanı kaynak birleşim yerinden koptu.

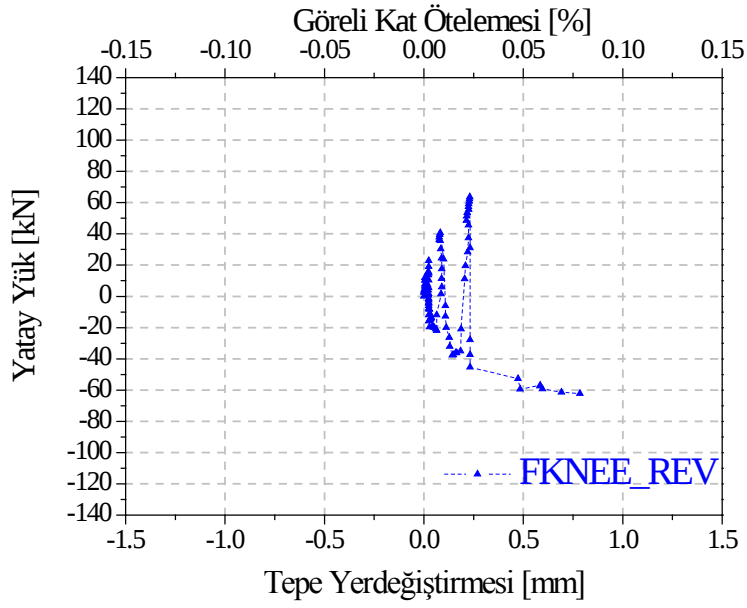
Deneye 15. çevrimde 43.2 mm itme çevrimi yapılırken sistemde yatay yük olarak taşınan en büyük değerin % 40'ına ulaşması sebebiyle deneye son verilmiştir. Deney sırasında bazı kritik durumlara ait deney fotoğrafları Şekil 2.70'te verilmiştir.



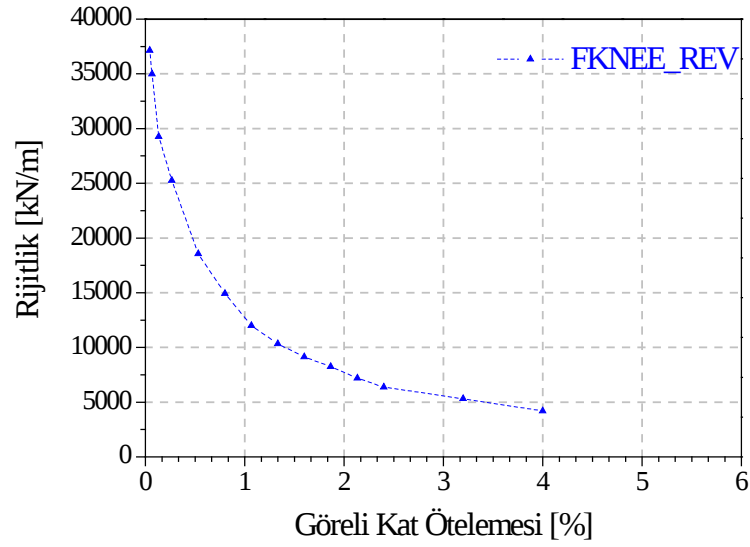
Şekil 2.66 : FKNEE_REV numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.67 : FKNEE_REV numunesi yığışımli çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.68 : FKNEE_REV numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



Şekil 2.69 : FKNEE_REV numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

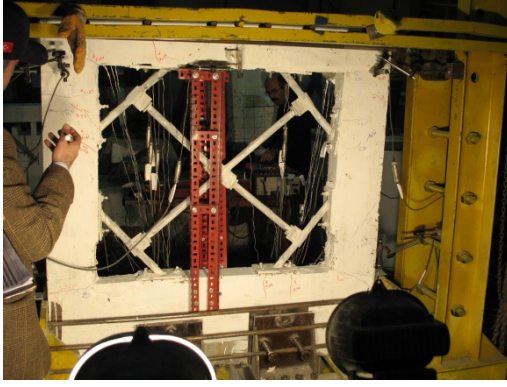
Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A', B', C', ... gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüzden yapılmıştır. Çizelge 2.18'de itme ve Çizelge 2.19'da çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.18 : FKNEE_REV numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

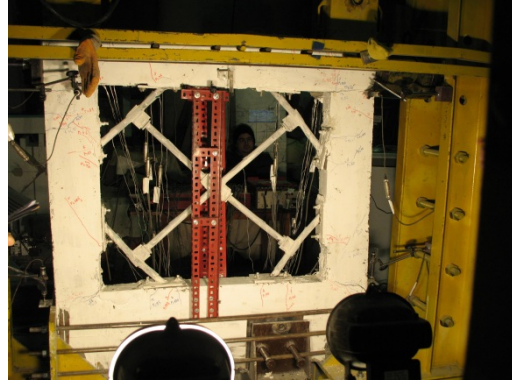
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)			0.3	0.3	1.2	1.5	2.0	2.3	3.0	>3.5	>3.5	>3.5		
B(mm)			0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3		
C(mm)			0.1	0.1	0.2	0.15	0.25	0.25	0.25	0.2	0.7	0.5		
D(mm)			0.1	0.15	0.25	0.2	0.25	0.25	0.3	0.3	0.5	0.4		
E(mm)			0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
F(mm)			0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
G(mm)			0.1	<0.1	0.2	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8	0.1		
H(mm)			<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3		
I(mm)			<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.3	0.3	1.2	1.2		
J(mm)					0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
K(mm)					0.1	<0.1	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1		
L(mm)					0.2	0.2	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3		
M(mm)							0.1	0.15	0.2	0.2	0.2	0.1		
N(mm)							0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
O(mm)									0.1	0.1	0.1	0.1		
P(mm)										0.1	0.1	0.1		
R(mm)										Kb.	Kb.	Kb.		
S(mm)										<0.1	<0.1	<0.1		
T(mm)											0.1	0.2		
U(mm)												0.5		

Çizelge 2.19 : FKNEE_REV numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

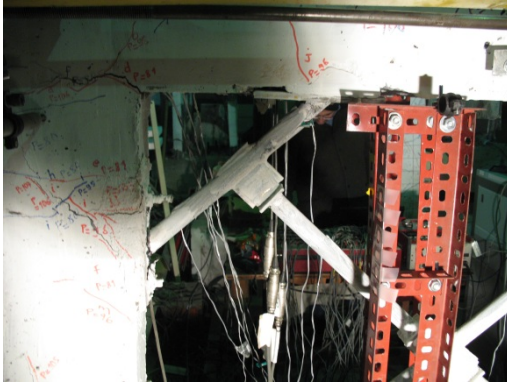
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'(mm)			0.5	1.0	1.4	1.8	1.8	2.2	3.2	2.7	3.0	>3.5		
B'(mm)			0.25	0.5	0.7	1.1	1.3	1.4	1.9	2.3	>3.5	>3.5		
C'(mm)			0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.4	0.8	0.9	1.2		
D'(mm)			0.1	0.25	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2	1.3	2.5	3.0		
E'(mm)			<0.1	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
F'(mm)			<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
G'(mm)			<0.1	0.1	0.1	0.25	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5		
H'(mm)				0.15	0.15	0.2	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
I'(mm)				0.1	0.2	0.45	0.6	0.9	0.3	1.3	2.5	>3.5		
J'(mm)				0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1		
K'(mm)				0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.1	0.1	0.2	0.2		
L'(mm)				0.1	0.1	0.15	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2		
M'(mm)				0.1	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
N'(mm)					0.1	0.2	0.25	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6		
O'(mm)					<0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1		
P'(mm)						0.1	0.2	0.25	0.2	0.1	0.1	0.1		
R'(mm)								0.1	0.2	0.25	0.8	1.0		
S'(mm)								0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
T'(mm)								0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
U'(mm)									1.1	1.2	1.8	2.0		
V'(mm)										0.3	0.3	0.4		
Y'(mm)										0.1	0.1	0.1		



-2.4 mm tepe yer değiştirmesi



+19.2 mm tepe yer değiştirmesi



-28.6mm tepe yer değiştirmesi

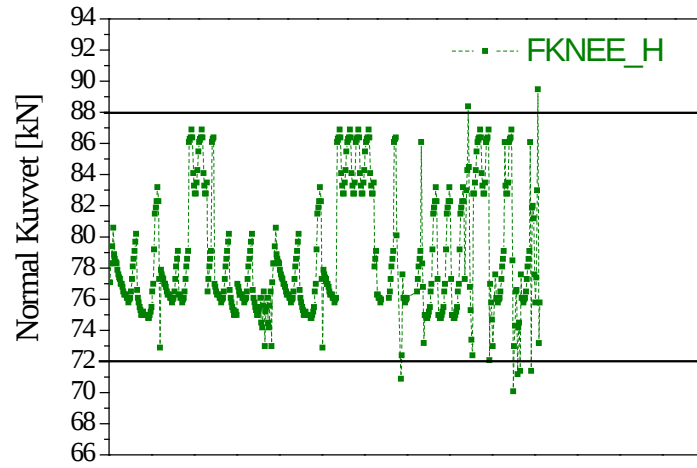


-43.2 mm tepe yer değiştirmesi

şekil 2.70 : FKNEE_REV numunesi hasar durumları fotoğrafları.

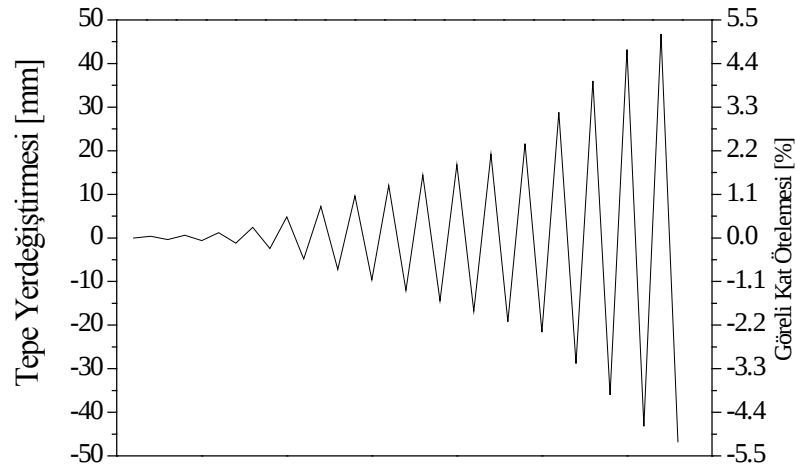
2.7.2 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (FKNEE-60.3)

şekil 2.12’de verilmiş olan FKNEE-H numunesi revize edilerek güçlendirilen deney numunelerinin ikinci numunesidir. Numuneye 15 tam çevrim uygulanmıştır. Sistemde uygulamada kullanılan ölçüm aletinin hassasiyeti nedeni ile 0.4mm adımında kuvvet değeri alınmamış olup deneye 0.6 mm adımından başlanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi şekil 2.71’de gösterilmiştir. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme protokolü ve karşılık gelen yük değerleri Çizelge 2.20’de verilmiştir. şekil 2.72’de numuneye uygulanan yükleme fonksiyonunun adım sayısına göre değişimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı 5. çevrimin itme yüklemesinde 4.80 mm görelî yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen yatay kuvvet 80.0 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.71 : FKNEE-H numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.73’de sunulmuştur. Şekil 2.74’te yük- tepe yerdeğiştirmesi grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.75’de numunenin enerji tüketme kapasitesi-görelî kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.76’da Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.77’de doğu yüzü sağ kolon üst sol donatıdaki şekil değiştirmelerin kat görelî ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.72 : FKNEE-H numunesi yükleme protokolü.

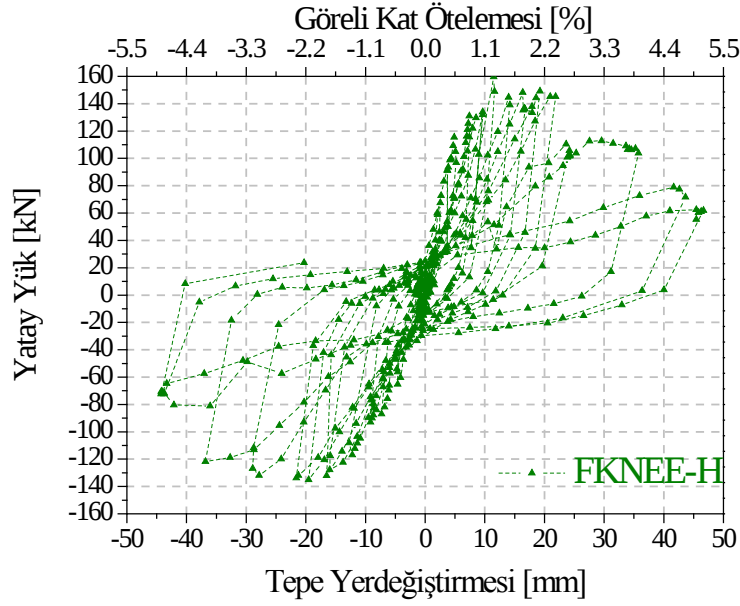
Çizelge 2.20 : FKNEE-H yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.

Yerdeğiştirme (mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4		-
0.6	21.5	-13.3
1.2	31.6	-20.1
2.4	67.6	-32.3
4.8	115.4	-65.2
7.2	122.6	-87.0
9.6	131.9	-93.0
12	159.7	-116.9
14.4	159.1	-127.8
16.8	156.1	-132.1
19.2	149.2	-135.1
21.6	145.2	-133.7
28.8	132.2	-131.9
36	103.8	-121.8
43.2	71.6	-71.6
46.8	61.8	-71.4

İlk çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirmea ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 21.5 kN ve çekme durumunda -13.3 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

2. çevrimde 1.2 mm yerdeğiştirme durumunda, itme yüklemesinde 31.6 kN ve çekme durumunda -20.1 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 67.6 kN, çekme durumunda ise -32.3 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde itme durumunda ise A, B ve C çatlakları oluşmuştur.



Şekil 2.73 : FKNEE_H numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

4. çevrimde 4.8 mm görelü tepe yerdeğiştirme değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 115.4kN ve çekmede -65.2kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme durumunda ise D, E, F, G ve H çatlakları ile çekme durumunda A', B', C' çatlakları oluşmuştur. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği itmede 0.4 mm-C çatlağı ile çekmede 0.3 mm-C' çatlağıdır.

5. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 122.6 kN, çekme yüklemesinde ise -87.0 kN yatay yük oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 0.7 mm ile C çatlağıdır.

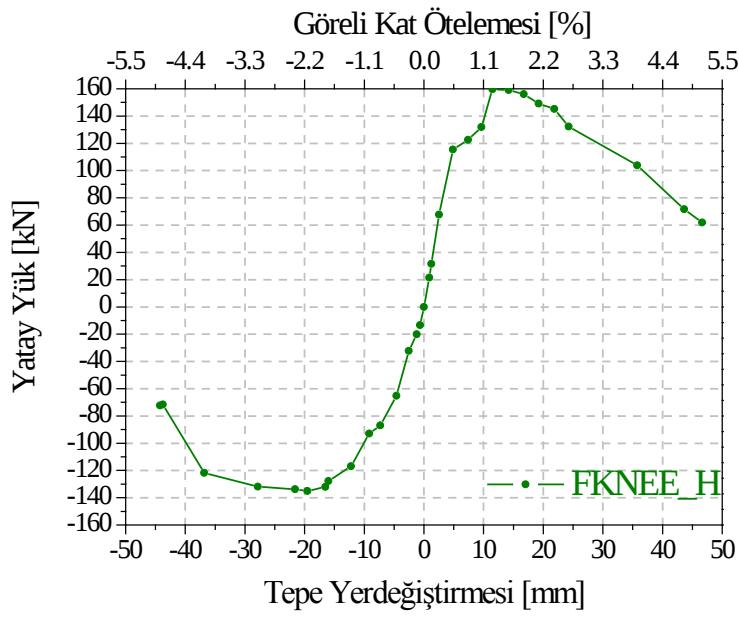
6. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay yük 131.9 kN, çekme yüklemesinde ise -93.0 kN olarak kaydedilmiştir. En büyük çatlak genişliği 1.0 mm ile C çatlağıdır.

7. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 159.7 kN, çekmede ise -116.9 kN olarak kaydedilmiştir.

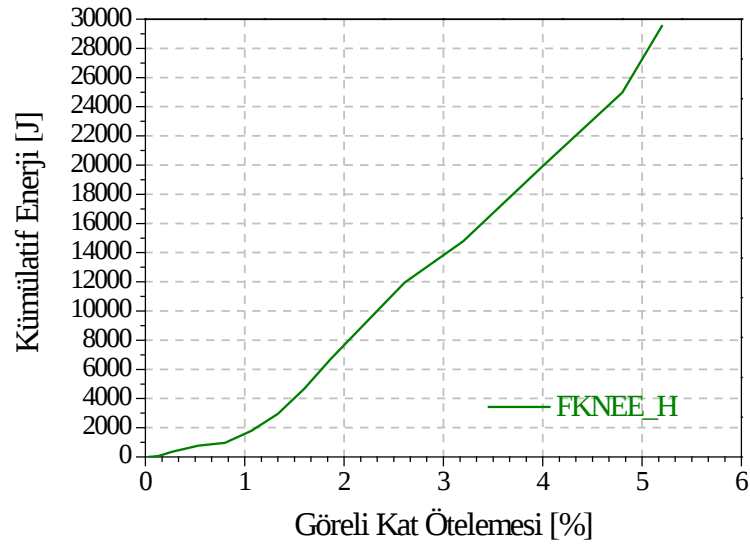
8. çevrimde numuneye uygulanan yer değiştirme değeri 14.4 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 159.1 kN, çekme tarafında ise -127.8 kN'dur. Bu adımda knee elemanlarında eğilme meydana gelmeye başlamıştır.

9. çevrimde numuneye uygulanan yer değıştirme değeri 16.8 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 156.1 kN, çekme tarafında ise -132.1 kN olmuştur. Bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir.

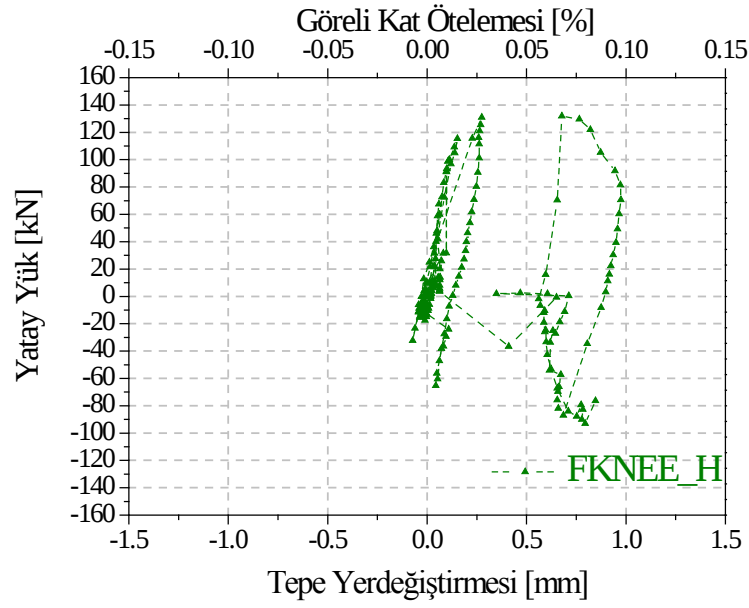
13. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğıştirme değeri 28.8 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 132.2 kN, çekmede ise -131.9 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme yüklemesinde dirsek elemanı olarak yerleştirilen sağı alt köşedeki çapraz elemanı kaynak birleşim yerinden kopmuştur. Deney sırasında bazı kritik durumlara ait deney fotoğrafları Şekil 2.78’de verilmiştir.



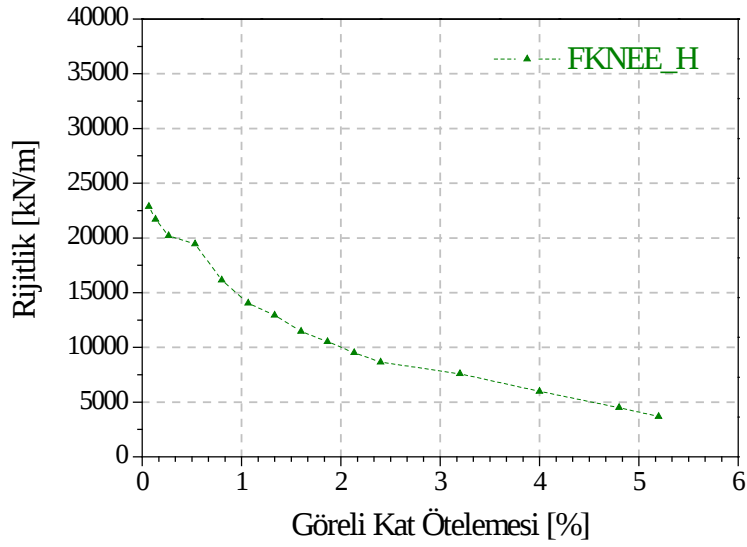
Şekil 2.74 : FKNEE_H numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.75 : FKNEE_H numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.76 : FKNEE_H numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



Şekil 2.77 : FKNEE_H numunesi rijitlik-görelî kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

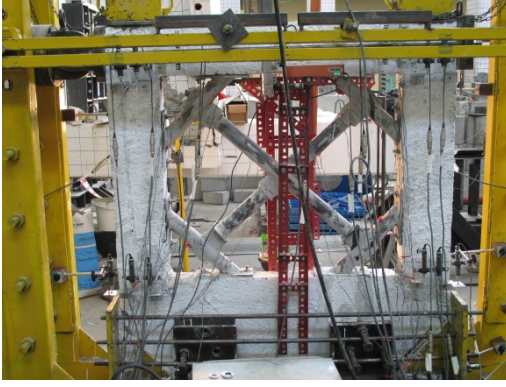
Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A', B', C', ... gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüzden yapılmıştır. Çizelge 2.21'de itme ve Çizelge 2.22'de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.21 : FKNEE_H numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)		0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	1.0				
B(mm)		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3				
C(mm)		0.2	0.6	0.7	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.4				
D(mm)			0.7	0.6	0.8	1.1	1.4	1.8	2.0	2.2				
E(mm)			0.6	0.6	1.0	1.2	1.4	1.8	2.0	2.2				
F(mm)			0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1				
G(mm)			0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4				
H(mm)			0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4				
I(mm)					0.4	0.7	1.0	1.2	1.4	1.4				
J(mm)					0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1				
K(mm)					0.2	0.4	0.5	0.6	0.5	0.7				
L(mm)					0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5				
M(mm)					0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5				
N(mm)						0.1	0.2	0.7	0.9	1.2				
O(mm)							0.1	0.2	0.2	0.2				
P(mm)							0.2	0.3	0.3	0.3				
R(mm)									0.2	0.2				
S(mm)										0.2				

Çizelge 2.22 : FKNEE_H numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

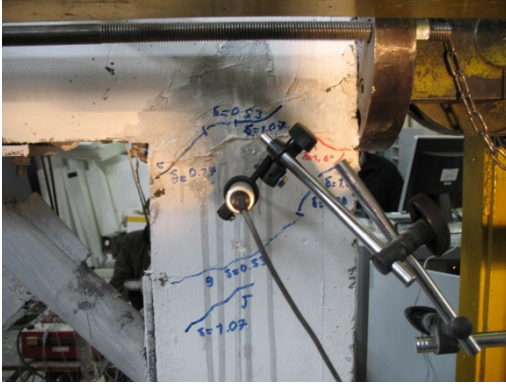
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'(mm)			0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1					
B'(mm)			0.2	0.2	0.4	0.9	1.0	1.1	1.4					
C'(mm)			0.3	0.4	0.4	0.7	0.8	0.9	0.9					
D'(mm)			0.2	0.5	0.6	0.9	1.0	1.1	1.2					
E'(mm)				0.2	0.2	0.3	0.4	0.7	0.5					
F'(mm)					<0.1	0.6	0.7	0.8	1.2					
G'(mm)					<0.1	0.1	0.1	0.2	0.2					
H'(mm)					0.2	0.2	0.2	0.2	0.3					
I'(mm)						0.2	K	K	0.3					
J'(mm)						0.3	0.4	0.5	0.5					
K'(mm)									0.7					
L'(mm)									0.2					
M'(mm)									0.2					



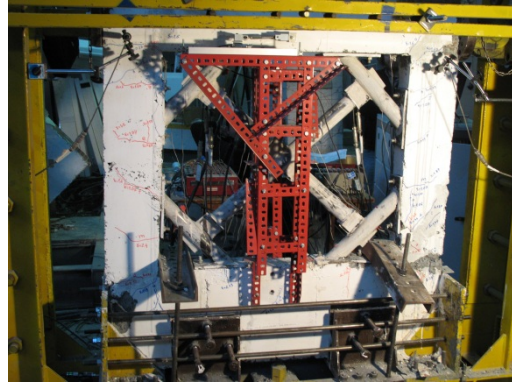
-2.4 mm tepe yer değiştirmesi



+14.4 mm tepe yer değiştirmesi



-28.6mm tepe yer değiştirmesi

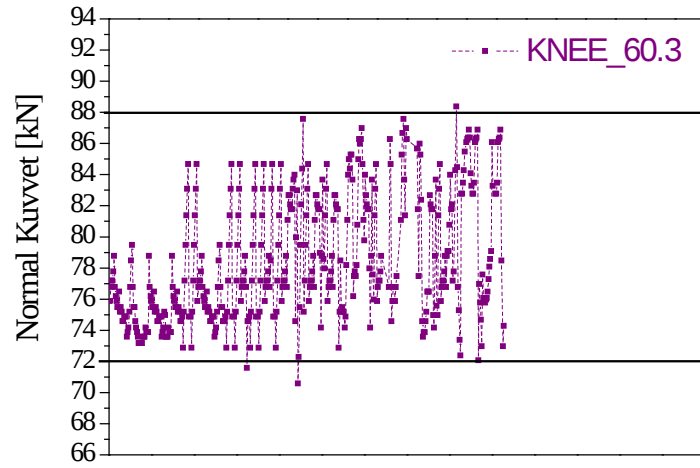


-43.2 mm tepe yer değiştirmesi

şekil 2.78 : FKNEE_H numunesi hasar durumları fotoğrafları.

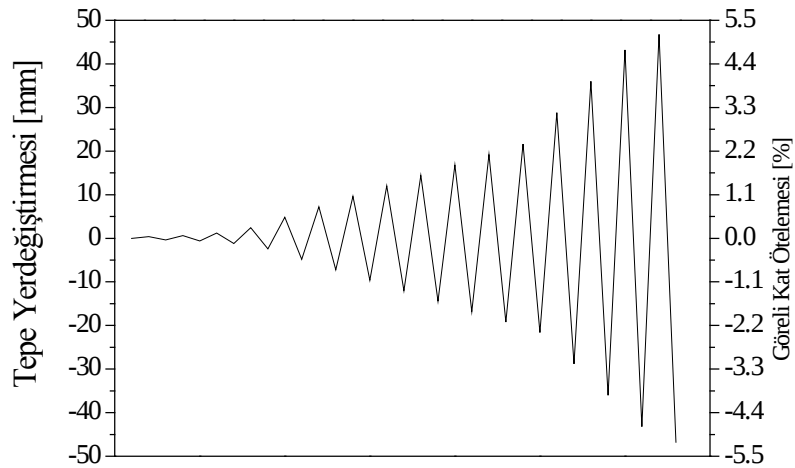
2.7.3 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (KNEE-60.3)

şekil 2.13’de verilmiş olan KNEE-60.3 numunesi revize edilerek güçlendirilen deney numunelerinin üçüncü numunesidir. Numuneye 12 tam yerdeğiştirme çevrimi uygulanmıştır. Sistemde uygulamada kullanılan ölçüm aletinin hassasiyeti nedeni ile 0.4 mm adımında kuvvet değeri alınmamış olup deneye 0.6 mm adımından başlanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi şekil 2.79’da gösterilmiştir. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme protokolü ve karşılık gelen yük değerleri Çizelge 2.23’de verilmiştir. şekil 2.80’de numuneye uygulanan yükleme fonksiyonun adım sayısına göre değişimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı 5. çevrimin itme yüklemesinde 4.80 mm görelî yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur.



Şekil 2.79 : KNEE-60.3 numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.81’de sunulmuştur. Şekil 2.82’de yük- tepe yerdeğiştirme grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.83’te numunenin enerji tüketme kapasitesi-görelü kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.84’te Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.85’de doğu yüzü sağ kolon üst sol donatıdaki şekil değiştirmelerin kat görelü ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.80 : FKNEE-H numunesi yükleme protokolü.

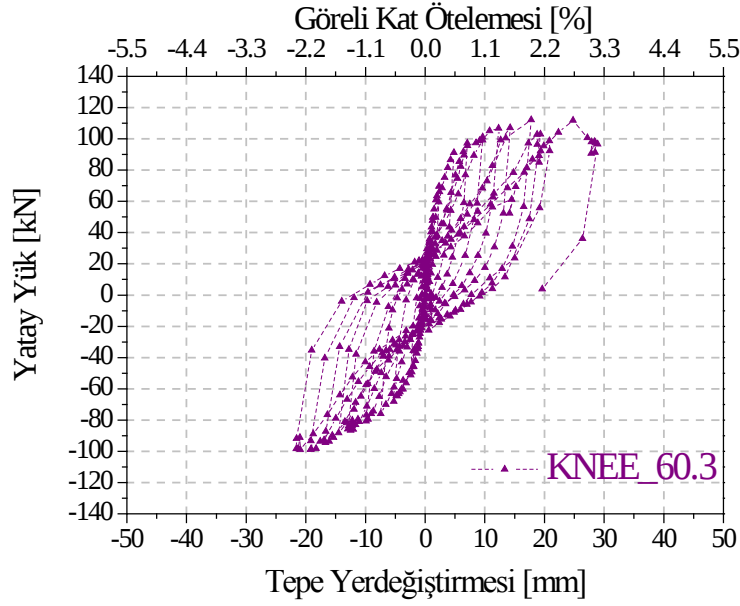
Çizelge 2.23 : KNEE-60.3 yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.

Yerdeğiştirme(mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	-	-
0.6	35.8	-22.5
1.2	49.7	-34.4
2.4	66.1	-51.3
4.8	91.2	-64.3
7.2	97.2	-76.0
9.6	101.2	-80.7
12	106.7	-86.6
14.4	107.0	-88.3
16.8	112.1	-94.5
19.2	103.0	-98.8
21.6	98.8	-98.4
28.8	98.3	-
36		
43.2		
46.8		

İlk çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirmeye ulaşılmış, bu noktaya karşılık itme durumunda 35.8 kN ve çekme durumunda -22.5 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

2. çevrimde 1.2 mm yerdeğiştirme durumunda, itme yüklemesinde 49.7 kN ve çekme durumunda -34.4 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 66.1 kN, çekme durumunda ise -51.3 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde itme durumunda ise A, B, C ve D çatlakları ile çekme durumunda A', B', C' ve D' çatlakları oluşmuştur.



Şekil 2.81 : KNEE_60.3 numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

4. çevrimde 4.8 mm görelı tepe yerdeğiştirme değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 91.2kN ve çekmede -64.3kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme durumunda ise E, F, G, H, İ, J ve K çatlakları ile çekme durumunda D', E' ve F' çatlakları oluşmuştur. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği itmede 0.4 mm-D çatlağı ile çekmede 0.4 mm-C' çatlağıdır.

5. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 97.2 kN, çekme yüklemesinde ise -76.0 kN yatay yük oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 0.75 mm ile D çatlağıdır.

6. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay yük 101.2 kN, çekme yüklemesinde ise -80.7 kN olarak kaydedilmiştir. En büyük çatlak genişliği 1.3 mm ile D çatlağıdır.

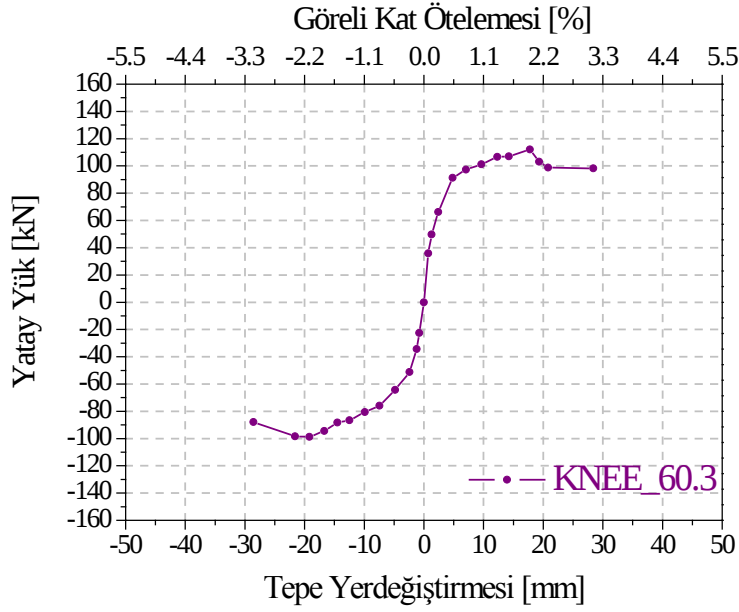
7. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 106.7 kN, çekmede ise -86.6 kN olarak kaydedilmiştir.

8. çevrimde numuneye uygulanan yer değiştirme değeri 14.4 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 107.0 kN çekme tarafında ise -88.3 kN'dur. Bu adımda knee elemanlarında eğilme meydana gelmeye başlamıştır.

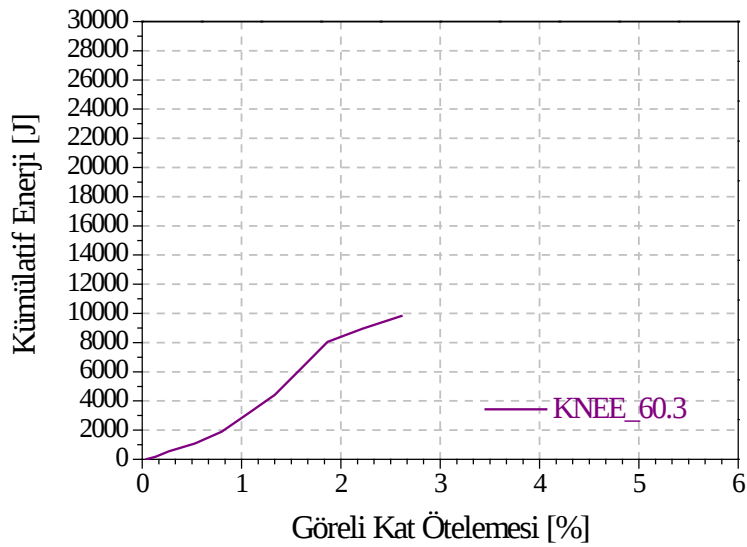
9. çevrimde numuneye uygulanan yer değiştirme değeri 16.8 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 112.1 kN çekme tarafında ise -94.5 kN olmuştur.

12. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 28.8 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 132.2 kN, çekmede ise -131.9 kN olarak kaydedilmiştir.

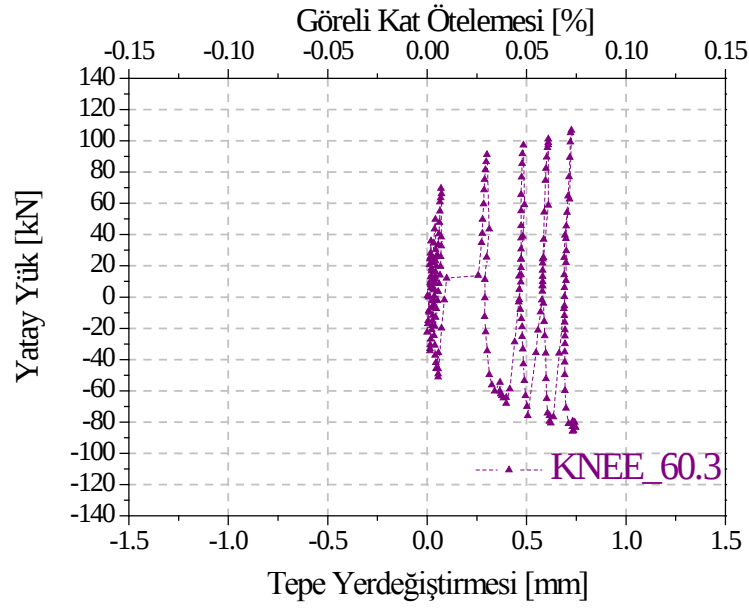
Deneye 36.0 mm itme çevrimi yapılırken sistemde kolonda oluşan kayma çatlağı sebebiyle deneye son verilmiştir. Deney sırasında bazı kritik durumlara ait deney fotoğrafları Şekil 2.86’da verilmiştir.



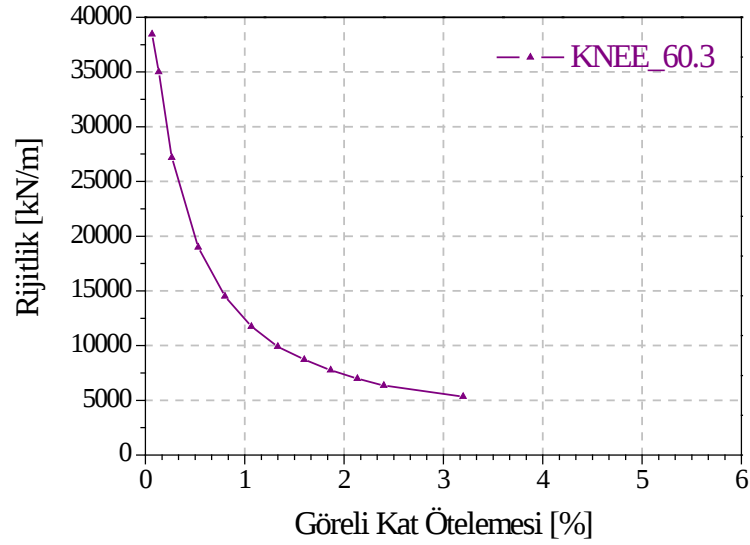
Şekil 2.82 : KNEE_60.3 numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.83 : KNEE_60.3 numunesi yığılmış çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.84 : KNEE_60.3 numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



Şekil 2.85 : KNEE_60.3 numunesi rijitlık-görelü kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A', B', C', ... gibi üslü harfler

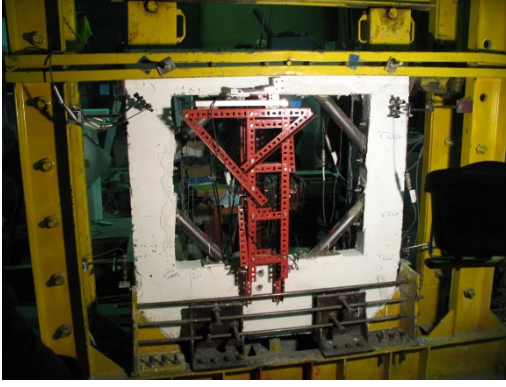
verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüz den yapılmıştır. Çizelge 2.24’de itme ve Çizelge 2.25’de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.24 : KNEE_60.3 numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm)

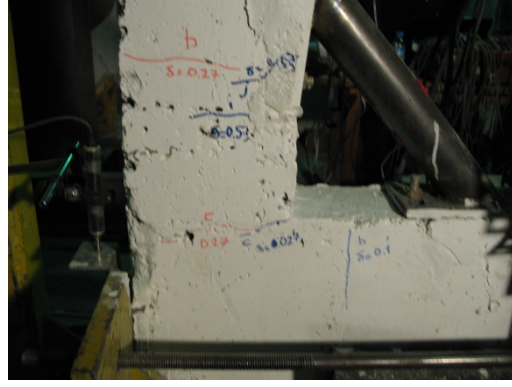
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)		0.1	0.15	0.5	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1		2.7			
B(mm)		<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1			
C(mm)		0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	1.0	0.9	0.9		1.3			
D(mm)		0.15	0.4	0.75	1.3	1.6	1.6	1.75	2.0		2.5			
E(mm)		0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		0.3			
F(mm)		<0.1	<0.1	0.1	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2		0.1			
G(mm)			0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1			
H(mm)			0.1	0.1	0.15	0.2	0.25	0.2	0.2		0.2			
I(mm)			0.1	0.1	0.3	0.3	0.6	0.5	0.4		0.5			
J(mm)			0.1	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5		0.3			
K(mm)			0.2	0.35	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5		0.5			
L(mm)				0.25	0.5	0.5	0.6	1.1	1.3		2.9			
M(mm)				0.1	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5		0.8			
N(mm)				<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1			
O(mm)					0.4	0.5	0.6	0.7	0.7		0.2			
P(mm)					0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.2			
R(mm)					0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1			
S(mm)						0.1	0.25	0.3	0.4		0.6			
T(mm)								0.3	0.5		0.6			
U(mm)									0.2		0.3			
V(mm)									0.2		0.4			
W(mm)											>3.5			
X(mm)									0.2		0.2			
Y(mm)									0.1		0.1			

Çizelge 2.25 : KNEE_60.3 numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

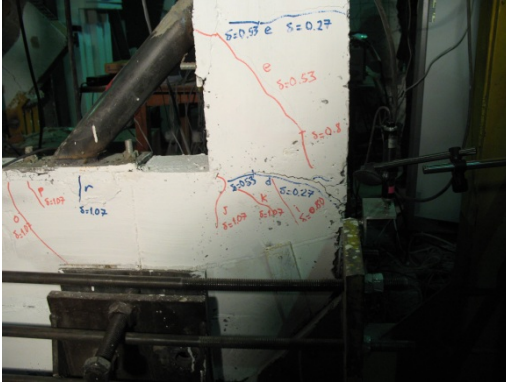
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'(mm)		0.1	0.2	0.25	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7				
B'(mm)		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1				
C'(mm)		0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.1	1.5	1.6	1.7				
D'(mm)		0.15	0.35	0.7	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	2.0				
E'(mm)			0.2	0.3	0.4	0.6	0.75	1.1	1.3	1.9				
F'(mm)			0.15	0.15	0.15	0.2	0.3	0.6	0.8	0.7				
G'(mm)			0.1	0.1	0.3	0.4	0.5	D	D	D				
H'(mm)				0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1				
I'(mm)				<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2				
J'(mm)					0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4				
K'(mm)					0.1	0.3	0.3	0.6	0.7	0.7				
L'(mm)					0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3				
M'(mm)					0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
N'(mm)					0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3				
O'(mm)					0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1				
P'(mm)					0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1				
R'(mm)						0.25	0.4	0.3	0.4	0.5				
S'(mm)						0.25	0.5	0.3	1.2	D				
T'(mm)						0.2	0.4	0.4	0.3	0.2				
U'(mm)							0.2	0.1	0.2	0.2				
V'(mm)							0.25	0.4	0.5	0.5				
W'(mm)									0.1	0.2				



-2.4 mm tepe yer değiştirmesi



+7.2 mm tepe yer değiştirmesi



-21.6mm tepe yer değiştirmesi

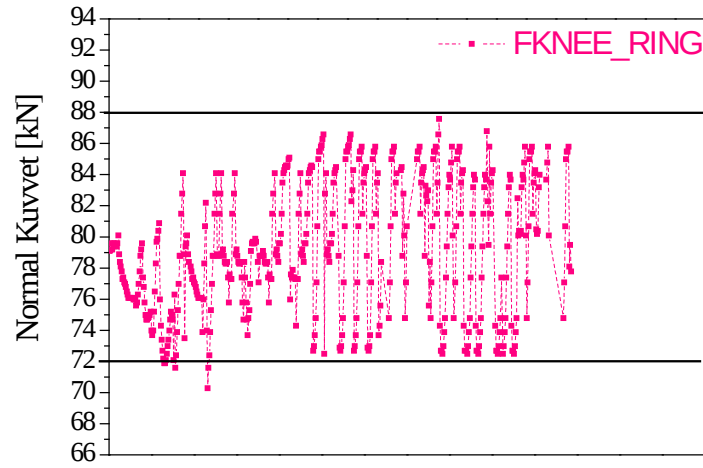


+28.8 mm tepe yer değiştirmesi

şekil 2.86 : KNEE_60.3 numunesi hasar durumları fotoğrafları.

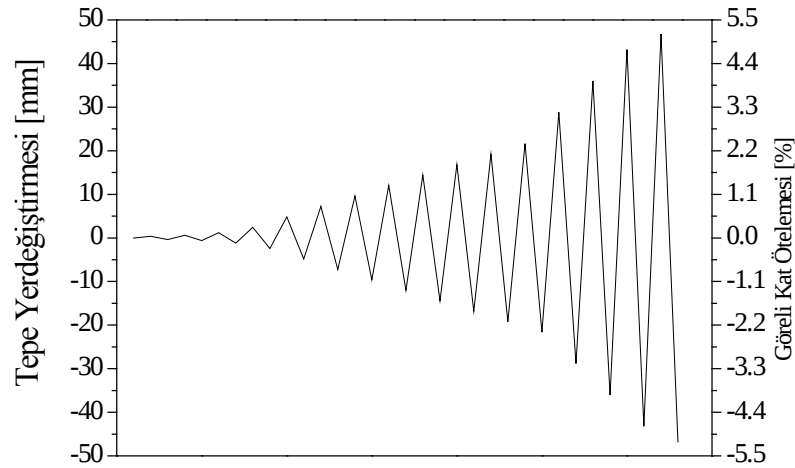
2.7.4 Dört köşeden çelik çaprazlı numune deneyi (FKNEE-RING)

şekil 2.14’de verilmiş olan FKNEE-RING numunesi revize edilerek güçlendirilen deney numunelerinin dördüncü ve son numunesidir. Numuneye 15 tam çevrim uygulanmıştır. Sistemde uygulamada kullanılan ölçüm aletinin hassasiyeti nedeni ile 0.4mm adımımda kuvvet değeri alınmamış olup deneye 0.6 mm adımımdan başlanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi şekil 2.87’de gösterilmiştir. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme protokolü ve karşılık gelen yük değerleri Çizelge 2.26’da verilmiştir. şekil 2.88’ de numuneye uygulanan yükleme fonksiyonun adım sayısına göre değişimi sunulmuştur. Numunede ilk eğilme çatlağı 5. çevrimin itme yüklemesinde 4.80 mm görelî yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen yatay kuvvet 80.0 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.87 : FKNEE-RING numunesi normal kuvvet-adım sayısı değişim grafiği.

Numuneye ait yük-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.89’de sunulmuştur. Şekil 2.90’de yük- tepe yerdeğiştirme grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 2.91’de numunenin enerji tüketme kapasitesi-görelî kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 2.92’de Yatay yük – taban yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 2.93’te doğu yüzü sağ kolon üst sol donatıdaki şekil değiştirmelerin kat görelî ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 2.88 : FKNEE-RING numunesi yükleme protokolü

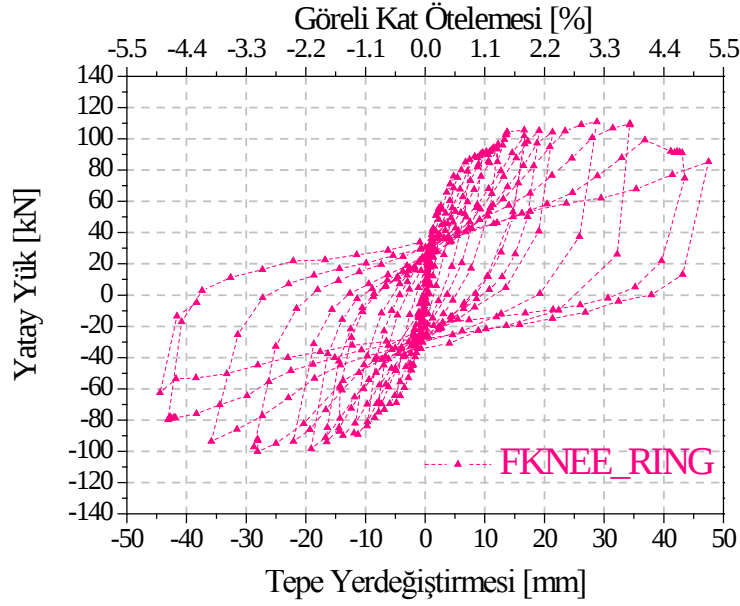
Çizelge 2.26 : FKNEE-RING yatay kuvvet-tepe yer değiştirmesi.

Yerdeğiştirme (mm)	Yük (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	-	-
0.6	29.2	-17.6
1.2	42.3	-29.6
2.4	56.9	-44.1
4.8	76.2	-68.9
7.2	86.8	-74.9
9.6	91.2	-83.9
12	96.6	-88.4
14.4	104.4	-87.2
16.8	101.9	-94.0
19.2	105.3	-98.4
21.6	104.3	-93.6
28.8	110.9	-97.3
36	109.5	-93.6
43.2	74.8	-79.7
46.8	72.0	-62.6

İlk çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmış, bu yerdeğiştirme değerine karşılık itme durumunda 29.2 kN ve çekme durumunda -17.6 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

2. çevrimde 1.2 mm yerdeğiştirme durumunda, itme yüklemesinde 42.3 kN ve çekme durumunda -29.6 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 2.40 mm buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 56.9 kN, çekme durumunda ise -44.1 kN olarak ölçölmüştür. Bu çevrimde itme durumunda ise A, B, C ve D çatlakları ile çekme durumunda A', B', C', D' ve E' çatlakları oluşmuştur.



Şekil 2.89 : FKNEE_RING numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

4. çevrimde 4.8 mm görelü tepe yerdeğiştirme değerine karşılık elde edilen yük değeri itmede 76.2kN ve çekmede -68.9kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme durumunda ise E, F, G, H ve İ çatlakları ile çekme durumunda F' çatlağı oluşmuştur. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği itmede 0.3 mm-c çatlağı ile çekmede 0.5 mm-b' çatlağıdır.

5. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 86.8 kN, çekme yüklemesinde ise -74.9 kN yatay yük oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 0.9 mm ile B çatlağıdır.

6. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay yük 91.2 kN, çekme yüklemesinde ise -83.9 kN olarak kaydedilmiştir.

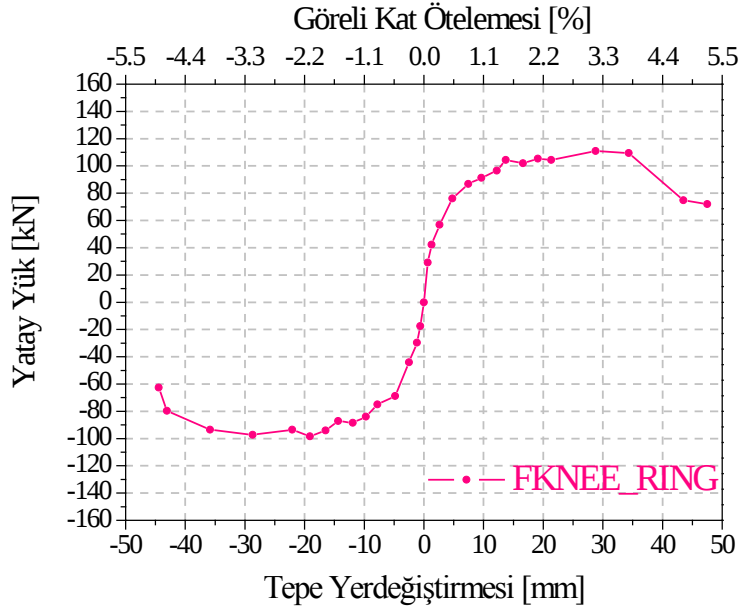
7. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 96.6 kN, çekmede ise -88.4 kN olarak kaydedilmiştir.

8. çevrimde numuneye uygulanan yer değiştirme değeri 14.4 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 104.4 kN çekme tarafında ise -87.2 kN'dur.

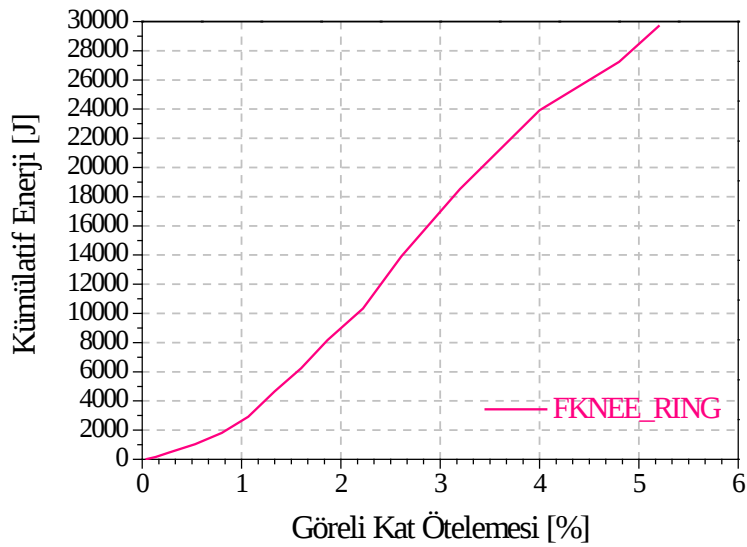
9. çevrimde numuneye uygulanan yer değiştirme değeri 16.8 mm olup buna karşı gelen yatay yük , itmede 101.9 kN çekme tarafında ise -94.0 kN olup; bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir.

12. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 28.8 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 110.9 kN, çekmede ise -97.3 kN olarak kaydedilmiştir.

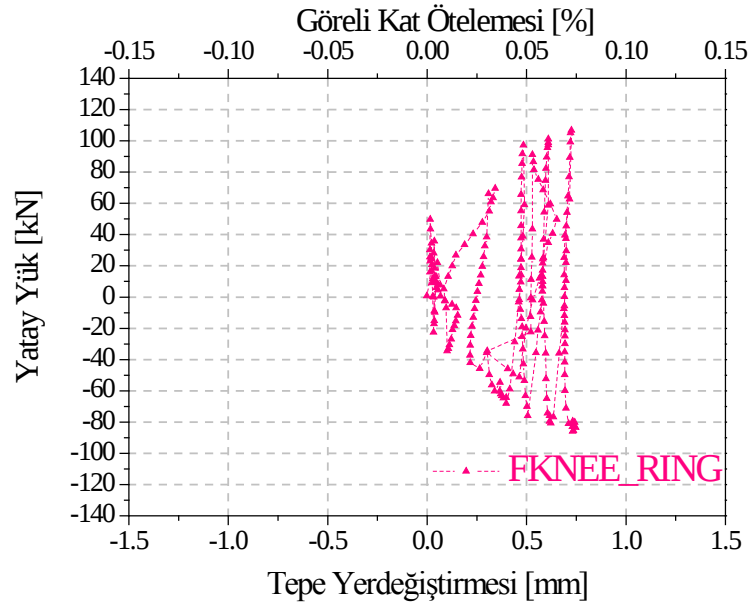
Deney yükleme protokolüne göre son adım olan 46.8 mm çevrimi yapıldıktan sonra sonlandırılmıştır. Deney sırasında bazı kritik durumlara ait deney fotoğrafları Şekil 2.94'te verilmiştir.



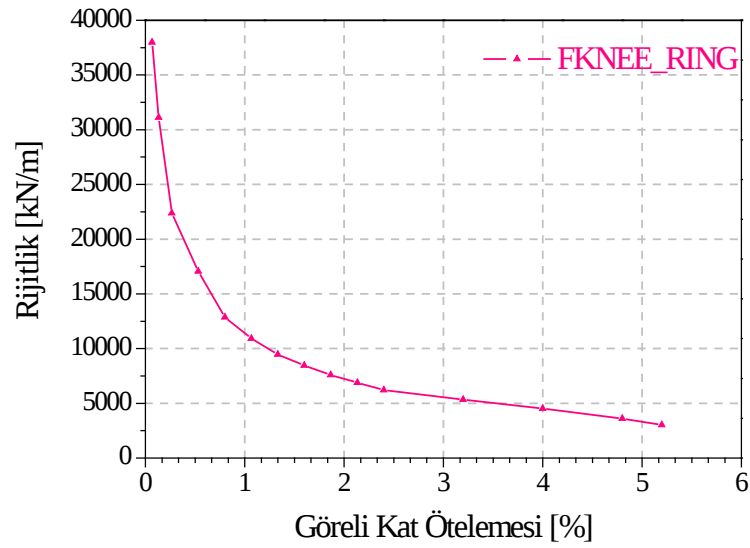
Şekil 2.90 : FKNEE_RING numunesi deney sonucu elde edilen zarf eğrisi.



Şekil 2.91 : FKNEE_RING numunesi yığışımlı çevrimsel enerji-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 2.92 : FKNEE_RING numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi ilişkisi.



Şekil 2.93 : FKNEE_RING numunesi rijitlik-görelü kat ötelemesi ilişkisi.

Hasar dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde A, B, C, ... gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise A', B', C', ... gibi üslü

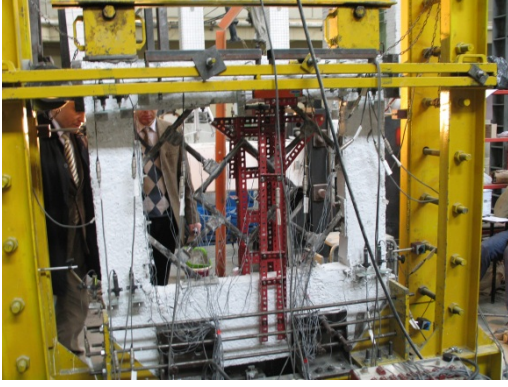
harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Numunede çatlak ölçümü batı-arka yüz den yapılmıştır. Çizelge 2.27’de itme ve Çizelge 2.28’de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin görelî kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur.

Çizelge 2.27 : FKNEE_RING numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri (mm).

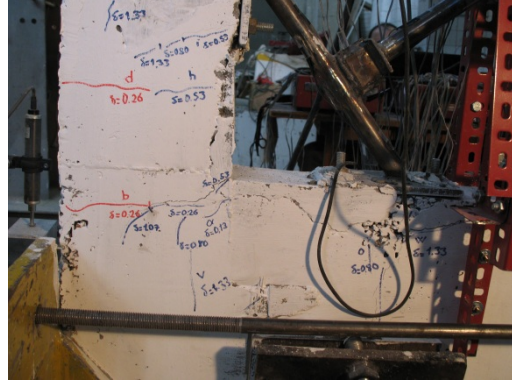
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A(mm)		0.1	0.2	0.2	0.5	0.9	1.0	1.2	1.6	2.0	2.2	2.8		
B(mm)		0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.7	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1		
C(mm)		0.1	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	0.9	1.0	D	D	D		
D(mm)		0.1	0.2	0.4	0.7	0.5	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	3.5		
E(mm)		0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1		
F(mm)			0.1	0.5	0.6	1.2	1.4	1.5	1.8	2.0	2.8	>3.5		
G(mm)			0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2		
H(mm)			0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
I(mm)			<0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1		
J(mm)				0.1	0.1	0.5	0.25	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2		
K(mm)				<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1		
L(mm)				0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
M(mm)				0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5		
N(mm)				0.2	0.15	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
O(mm)				0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
P(mm)					<0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1		
R(mm)					0.3	0.5	0.6	0.6	0.8	0.3	0.4	0.7		
S(mm)						<0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2		
T(mm)						0.3	0.7	0.9	1.0	1.6	1.8	3.0		
U(mm)						0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0		
V(mm)						0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.5	0.7		
W(mm)						1.0	2.5	2.5	D	D	D	D		
X(mm)							0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1		
Y(mm)													0.2	
Z(mm)													0.2	

Çizelge 2.28 : FKNEE_RING numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri(mm).

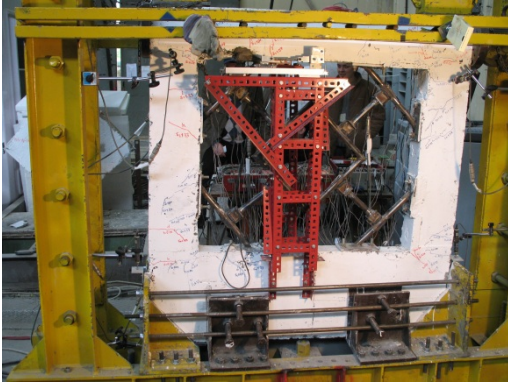
Görelî Kat Ötelemesi(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'(mm)		0.1	0.4	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0		
B'(mm)		0.25	0.5	0.9	1.2	1.5	1.6	2.5	2.6	2.6	>3.5	>3.5		
C'(mm)		0.1	0.2	0.5	0.6	0.9	1.0	1.3	2.0	2.0	2.5	2.5		
D'(mm)		<0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
E'(mm)				0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4		
F'(mm)				0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.7	0.7	0.8	0.9		
G'(mm)					0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4		
H'(mm)					0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4		
I'(mm)					0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1		
J'(mm)					0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3		
K'(mm)						0.1	0.2	0.5	0.5	0.6	2.0	2.5		
L'(mm)						0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1		
M'(mm)							0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
N'(mm)							0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1		
O'(mm)								0.2	0.8	1.3	2.0	2.7		
P'(mm)									0.1	0.2	0.2	0.2		
R'(mm)									0.2	0.3	0.3	0.5		
S'(mm)											0.2	0.4		
T'(mm)											0.2	0.2		
U'(mm)											0.5	1.0		
V'(mm)														
W'(mm)														



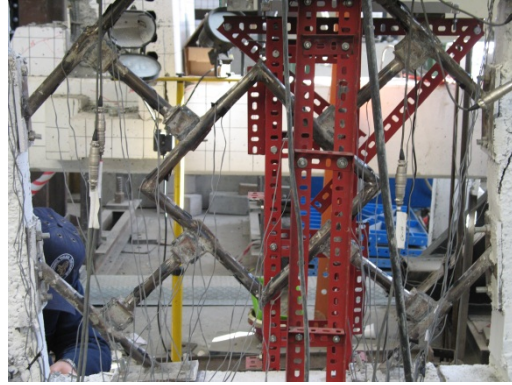
-2.4 mm tepe yer değiştirmesi



+7.2 mm tepe yer değiştirmesi



-28.8mm tepe yer değiştirmesi



+46.8 mm tepe yer değiştirmesi

şekil 2.94 : FKNEE_RING numunesi hasar durumları fotoğrafları.

3. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu projede analitik çalışmanın farklı adımları için iki program kullanılmıştır. Betonarme çerçeveye ait kesitlerin moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi için XTRACT (Cross Section Analysis Software for Structural Engineering) programı kullanılmıştır. SAP2000 (Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures) programı ile de deney numunelerinin yük artımı yöntemi (pushover) ile analizleri yapılmıştır.

3.1 Kesitlerin XTRACT Programı ile Çözümü

Deney numunesinde kolonların üzerinde normal kuvvet ve kiriş üzerinde yük veren (actuator) kafasının sıkıştırılması ile verilmiş olan bir eksenel kuvvet mevcuttur. Kolon ve kiriş boyutları aynı olmasına rağmen ve tek bir kesit programa girilerek üzerlerindeki eksenel kuvvetler dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Kesit boyutları küçük olduğundan programa ait şablonlar kullanılmamıştır, EK A.3.

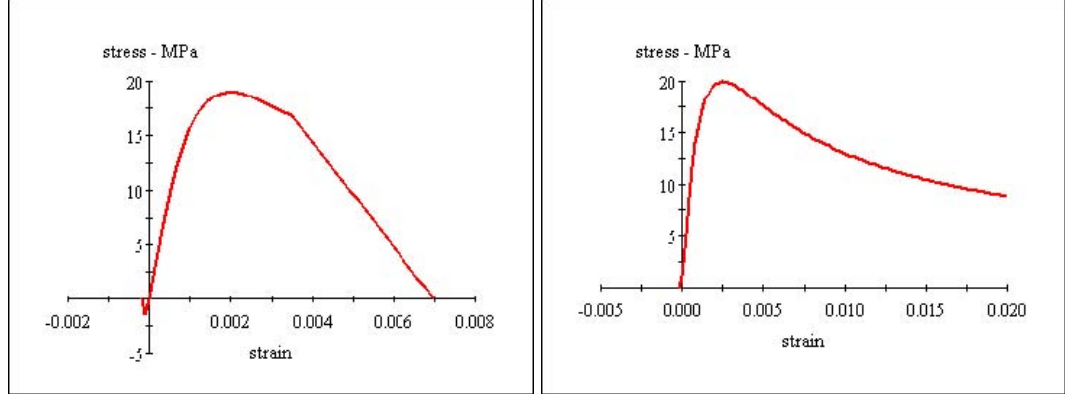
Kesit oluşturulurken sargısız ve sargılı betona ait özellikler tek tek girilmiştir. Programda kullanılan beton modeli Mander Beton modeli'dir. Betonun standart basınç dayanımı, çekme dayanımı, betonun ezilme birim şekil değiştirme değeri (ϵ_{cu} =0.004), betonun parçalanma birim şekil değiştirme sınır değeri (ϵ_{sp} =0.006), göçme birim şekil değiştirme değeri ile betonun elastisite modülü (E_C) girilmiştir, Şekil 3.1 ve Çizelge 3.1.

Sargılı betonun basınç değerinin doğru hesaplanabilmesi için enine donatının akma dayanımı(f_{yh}), kesitin x-eksenindeki enine donatı oranı(ρ_x), y-eksenindeki enine donatı oranı(ρ_y), boyuna donatılar arasındaki ortalama uzaklık, boyuna donatı sayısı, sargılı beton alanı, etriye aralığı ve 28-günlük standart basınç dayanımı değerleri girilmiştir, Şekil 3.1 ve Çizelge 3.2.

En büyük şekil değiştirme değerinin hesaplanabilmesi için, enine donatının akma dayanımı (f_{yh}), enine donatının akma birim şekil değiştirme değeri (ϵ_{su}), enine donatı yüzdesi (ρ_v) ve sargılı beton için hesaplanan basınç değerleri girilmiştir, Şekil 3.2.

Kesit içindeki donatıya ait akma dayanımı (f_y), kopma gerilme değeri (f_{su}), pekleşme birim şekil değiştirme değeri (ϵ_{sh}), kopma birim şekil değiştirme değeri (ϵ_{su}) ve çeliğin elastik modülü (E) girilmiştir, EK C ve Çizelge 3.4.

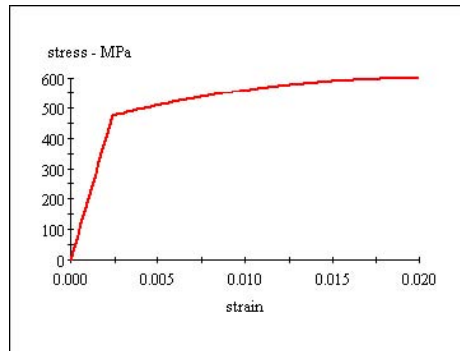
Yukarıdaki veri girişleri takip edilerek Şekil 3.4'teki kesit oluşturulmuştur.



Şekil 3.1 : XTRACT programında sargısız ve sargılı beton için elde edilmiş olan gerilme-şekildeğiştirme grafikleri.

Çizelge 3.1 : XTRACT programında sargısız betona ait büyüklükler.

Tension Strength (Çekme Mukavemeti)	-1.520 MPa
28 Day Strength (28 Günlük Basınç Mukavemeti)	18.93 MPa
Tension Strain Capacity (Çekme Şekil Değ. Değeri)	73.82E-6
Comp Spalling Strain (Basınçta Beton Ezilme Şekil Değ)	7.000E-3
Crushing Strain	7.000E-3
Comp Elastic Modulus (Elastisite Modülü)	20.59E+3 MPa
Secant Modulus (Sekant modül)	1373 MPa
Secant Modulus (Sekant modül)	1142 MPa

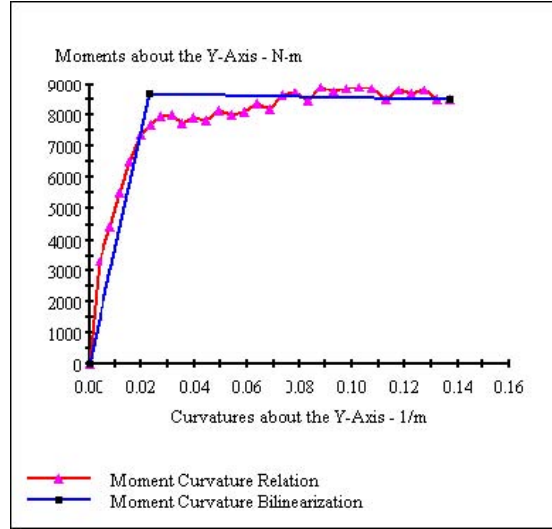


Şekil 3.2 : XTRACT programında donatı için elde edilmiş olan gerilme-şekildeğiştirme grafikleri.

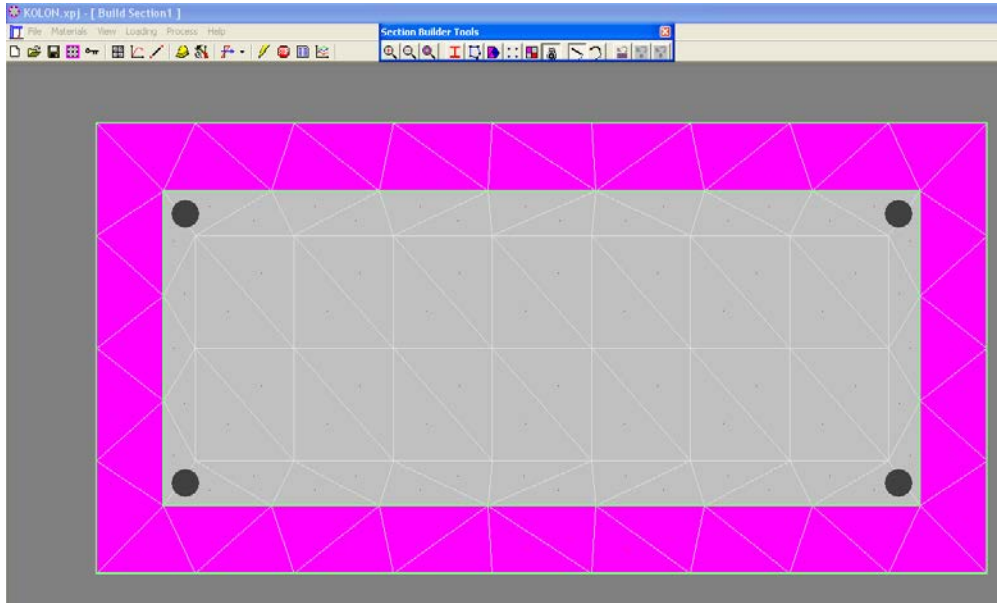
Çizelge 3.2 : XTRACT programında sargılı betona ait büyüklükler.

Tension Strength (Çekme Mukavemeti)	-1.520 MPa
28 Day Strength (28 Günlük Basınç Mukavemeti)	18.93 MPa
Confined Concrete Strength (Sargılı beton Basınç Muk.)	19.94 MPa
Tension Strain Capacity (Çekme Şekil Değ. Değeri)	73.82E-6
Comp Strain at Peak Stress (Pik değerde basınç şekil değış.)	2.534E-3
Crushing Strain	20.00E-3
Comp Elastic Modulus (Elastisite Modülü)	20.59E+3 MPa

Yukarıdaki veri girişinden sonra kesitin moment-eğrilik grafiğı Şekil 3.3'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.3 : XTRACT programında kesit için elde edilmiş olan moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 3.4 : XTRACT programında oluşturulan kesit

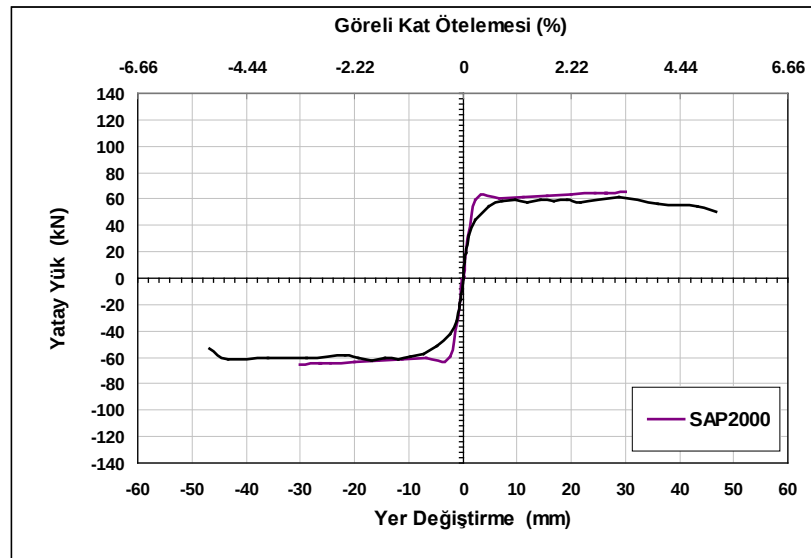
3.2 Birinci Grup Deney Numunelerinin SAP2000 Programı ile Modellenmesi

Deney numuneleri Sap2000 programı kullanılarak modellenmiş ve yanal itme analizleri yapılmıştır. Numuneler çubuk eleman olarak modellenmişlerdir. Modelde numune kolon, temel, kiriş ve çapraz olmak üzere dört ayrı eleman oluşturulmuştur. Numunenin boyutları 140 cmx130 cm dir. Kolon ve kiriş elemanları 20 cmx10 cm kesite, temel elemanı 40 cmx10 cm kesite ve çelik çapraz elemanlar 26.9 mm çapında 3 mm et kalınlığına sahip boru kesitine sahiptir. Malzeme modeli olarak numune üretilirken alınan numuneler üzerinde yapılan standart basınç deney sonucu elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği donatı için de hem boyuna donatı da hem de enine donatı üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçları kullanılmıştır.

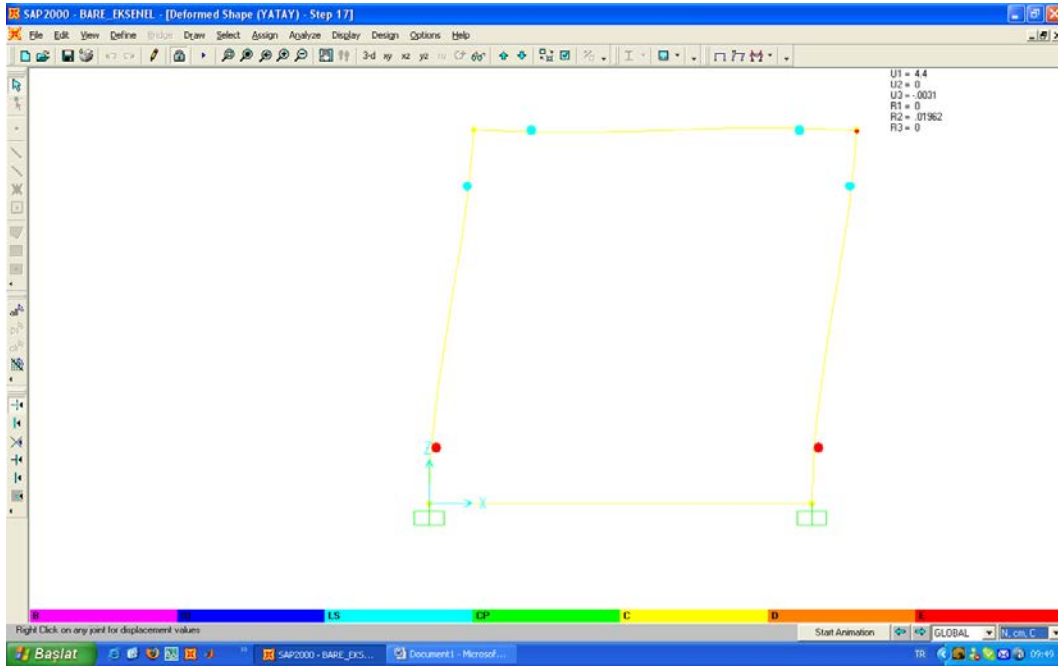
3.2.1 Yalın betonarme çerçeve modeli

Yalın çerçeve (BF) nin SAP 2000 programı ile yapılan yatay yük analizi grafiği ile deneysel grafiğin karşılaştırılması Şekil 3.5'te verilmektedir. Görüldüğü üzere kurulan model ile deneysel çalışma birbirleri ile örtüşmektedir. Başlangıç rijitlikleri aynı olmakla beraber yatay yük taşıma kapasiteleri deneysel çalışmada 60 kN iken modelde 62 kN olarak bulunmuştur.

Modelde belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallık noktaları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Modelde mafsalların oluştuğu yerdeğiştirme değerleri ile deneysel çalışmadaki yerdeğiştirme değerleri birbirine yakındır.



Şekil 3.5 : Yalın çerçeve deneysel ve analitik analiz ilişkisi.

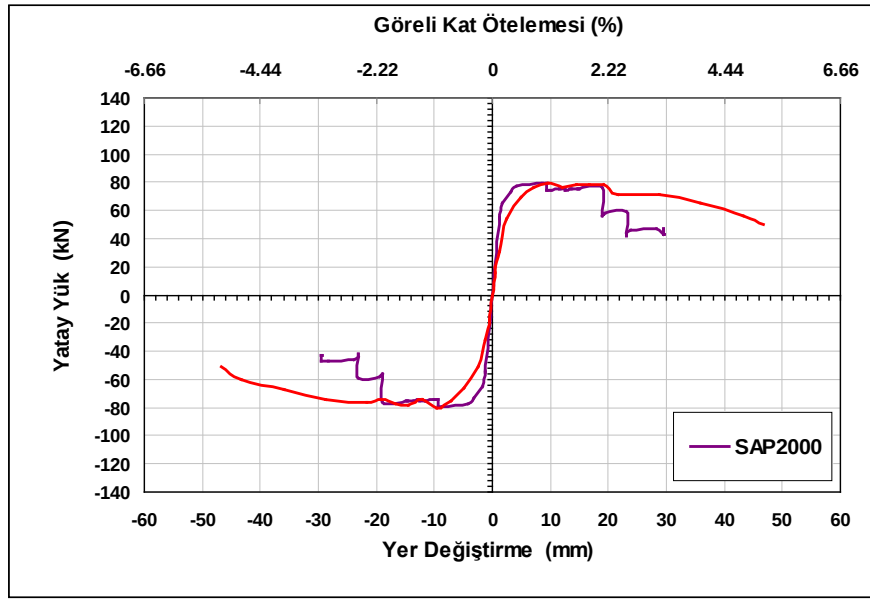


Şekil 3.6 : BF numunesine ait SAP2000 çözümü.

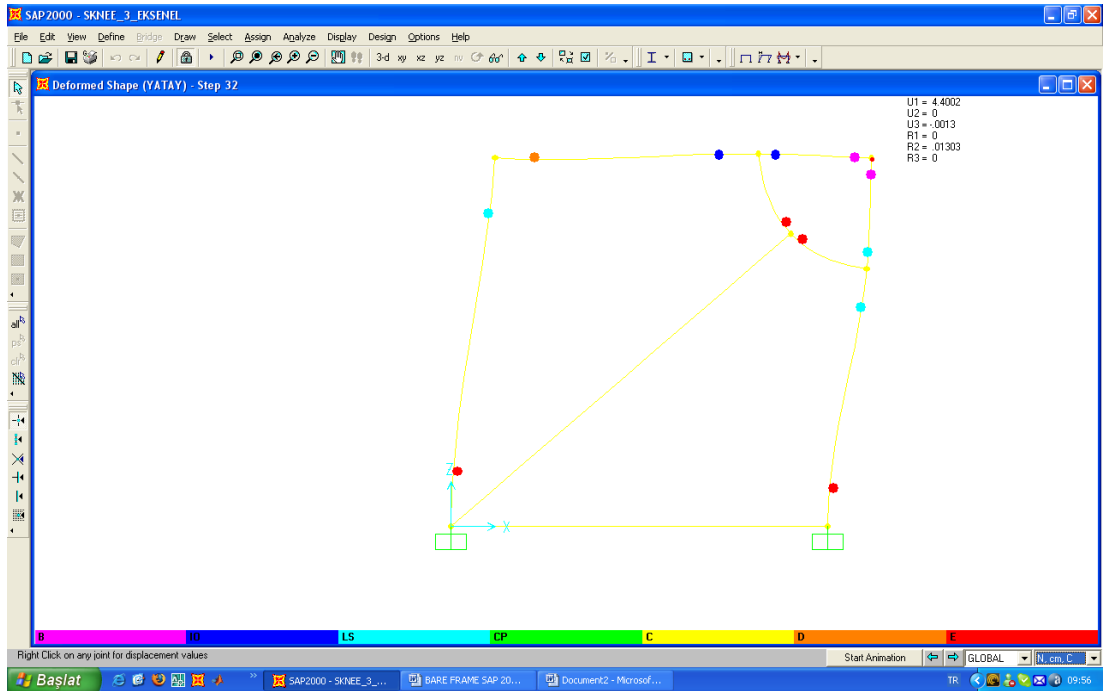
3.2.2 Tek köşeden çelik çaprazlı numune (SKNEE) modeli

Tek köşeden çaprazlı çerçeve (SKNEE) SAP2000 programı ile yapılan yatay yük analizi grafiği ile deneysel grafiğin karşılaştırılması Şekil 3.7’de verilmektedir. Görüldüğü üzere kurulan model ile deneysel çalışma birbirleri ile örtüşmektedir. Başlangıç rijitlikleri aynı olmakla beraber yatay yük taşıma kapasiteleri de deneysel çalışmada 80 kN iken modelde 81 kN olarak bulunmuştur. Burada deneysel çalışmada taşıdığı en büyük yatay yüke 12 mm düzeyinde erişirken, modelde bu yerdeğiştirme 7 mm olarak gerçekleşmiştir.

Modelde belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallık noktaları Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Modelde mafsalların oluştuğu yerdeğiştirme değerleri ile deneysel çalışmada alınan yerdeğiştirme protokolü arasında çok az farklılıklar vardır. Grafikten de anlaşılacağı üzere aynı yerdeğiştirme adımlarında yük kaybı meydana gelmiştir. Bunun nedeni de çapraz elemanın devre dışı kalması sonucudur. Modelde bunun etkisi olarak 20 kN luk bir düşüş gözlenirken, deneysel çalışmada bu 8 kN mertebesinde gerçekleşmiştir.



Şekil 3.7 : Tek köşeden çaprazlı çelik çaprazlı numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.



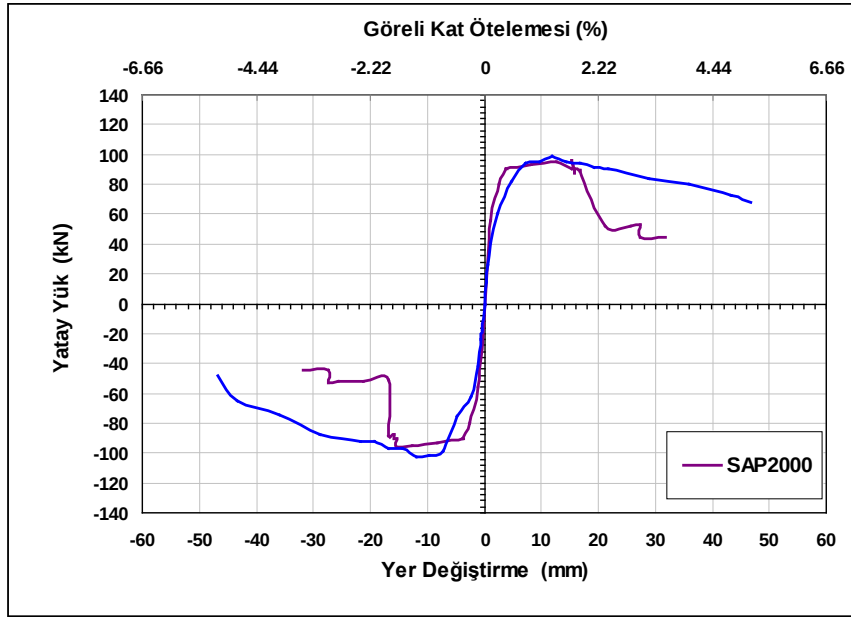
Şekil 3.8 : SKNEE numunesine ait SAP2000 çözümü.

3.2.3 İki köşeden çelik çaprazlı numune (DKNEE) modeli

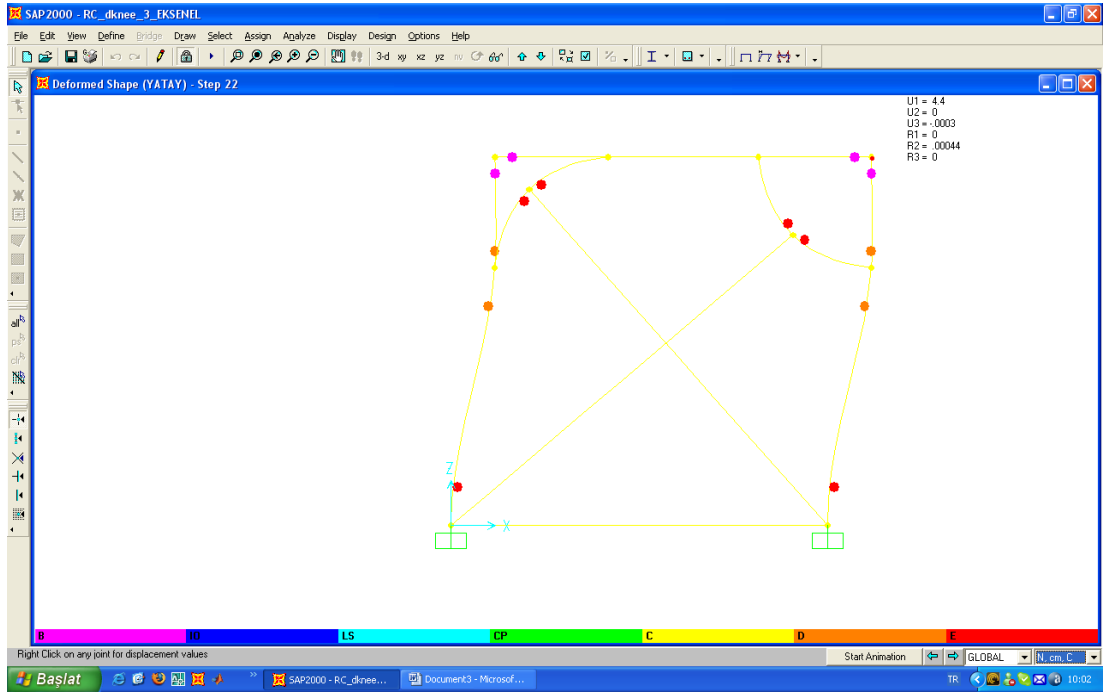
İki köşeden çelik çaprazlı çerçeve (DKNEE) SAP2000 programı ile yapılan yatay yük analizi grafiği ile deneysel grafiğin karşılaştırılması Şekil 3.9'da verilmektedir. Görüldüğü üzere kurulan model ile deneysel çalışma birbirleri ile örtüşmektedir. Başlangıç rijitlikleri aynı olmakla beraber yatay yük taşıma kapasiteleri de deneysel

çalışmada 100 kN iken modelde 97 kN olarak bulunmuştur. Burada deneysel çalışmada taşıdığı en büyük yatay yüke 12 mm düzeyinde erişirken, modelde bu yerdeğiştirme 6 mm olarak gerçekleşmiştir.

Modelde belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallı noktaları Şekil 3.10'da gösterilmiştir.. Modelde mafsalların oluştuğu yerdeğiştirme değerleri ile deneysel çalışmada alınan yerdeğiştirme protokolü arasında çok az farklılıklar vardır. Grafikten de anlaşılacağı üzere aynı yerdeğiştirme adımlarında yük kaybı meydana gelmiştir. Bunun nedeni de çapraz elemanın devre dışı kalması sonucudur. Modelde bunun etkisi olarak 45 kN luk bir düşüş gözlenirken, deneysel çalışmada bu 12 kN mertebesinde gerçekleşmiştir. Bunun en önemli nedeni güçlendirmede çelik çaprazların daha sünek bir davranış sergilemesidir.



Şekil 3.9 : İki köşeden çelik çaprazlı numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.



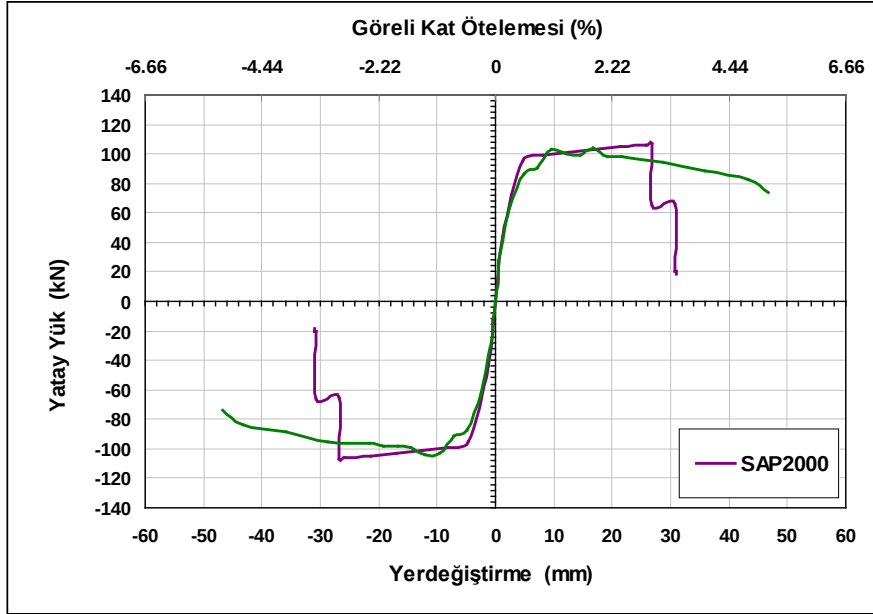
Şekil 3.10 : DKNEE numunesine ait SAP2000 çözümü.

3.2.4 Dört köşeden çelik çaprazlı numune (FKNEE) modeli

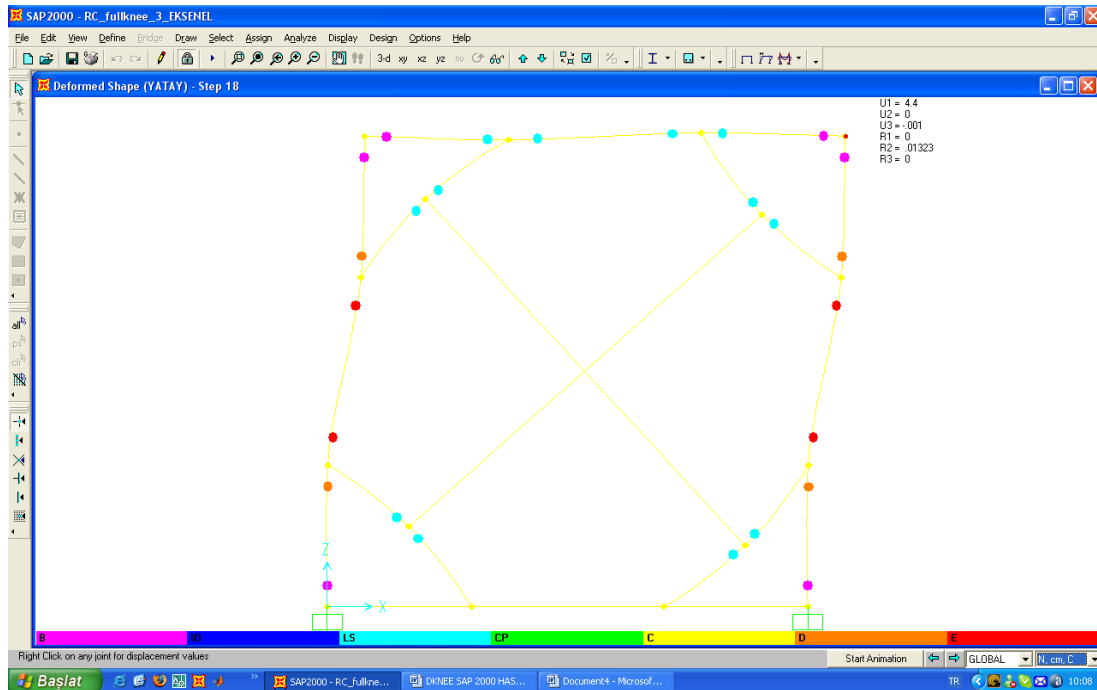
Dört köşeden çelik çaprazlı numune (FKNEE) SAP2000 programı ile yapılan yatay yük analizi grafiği ile deneysel grafiğin karşılaştırılması Şekil 3.11’de verilmektedir. Görüldüğü üzere kurulan model ile deneysel çalışma birbirleri ile örtüşmektedir. Başlangıç rijitlikleri aynı olmakla beraber yatay yük taşıma kapasiteleri de deneysel çalışmada 104 kN iken modelde 110 kN olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmada taşınan en büyük yatay yüke 12 mm düzeyinde erişilirken, modelde bu yerdeğiştirme 6 mm olarak gerçekleşmiştir. Modelde sistem deneysel çalışmadaki yatay yük taşıma kapasitesine erişmiş olmasına rağmen 30 mm yerdeğiştirmesine kadar biraz daha yük fazla yük taşıma kapasitesini arttırmıştır. Deneysel çalışmada 20 mm yerdeğiştirme seviyesinde yavaş yavaş yük kapasitesinde düşüş meydana gelmiştir.

Modelde belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallık noktaları Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Modelde mafsalların oluştuğu yerdeğiştirme değerleri ile deneysel çalışmada alınan yerdeğiştirme protokolü arasında çok az farklılıklar vardır. Grafikten de görüldüğü üzere deneysel çalışmada yük kapasitesindeki düşüş az bir miktarda ve lineer bir şekilde olurken modelde bu düşüş bir anda olduğu gözükmektedir. Bunun sonucu olarak model 30 mm yer değiştirme düzeyinde tüm

taşıma gücünü kaybederken deneysel çalışmada numune 46.8 mm yer değiştirme değerine kadar devam ettirilmiştir.



Şekil 3.11 : Dört köşeden çelik çaprazlı numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.

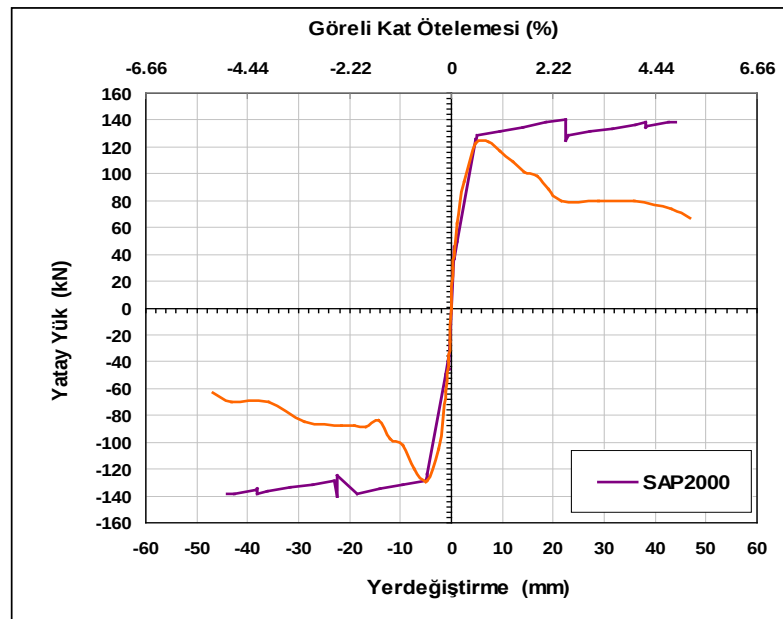


Şekil 3.12 : FKNEE numunesine ait SAP2000 çözümü.

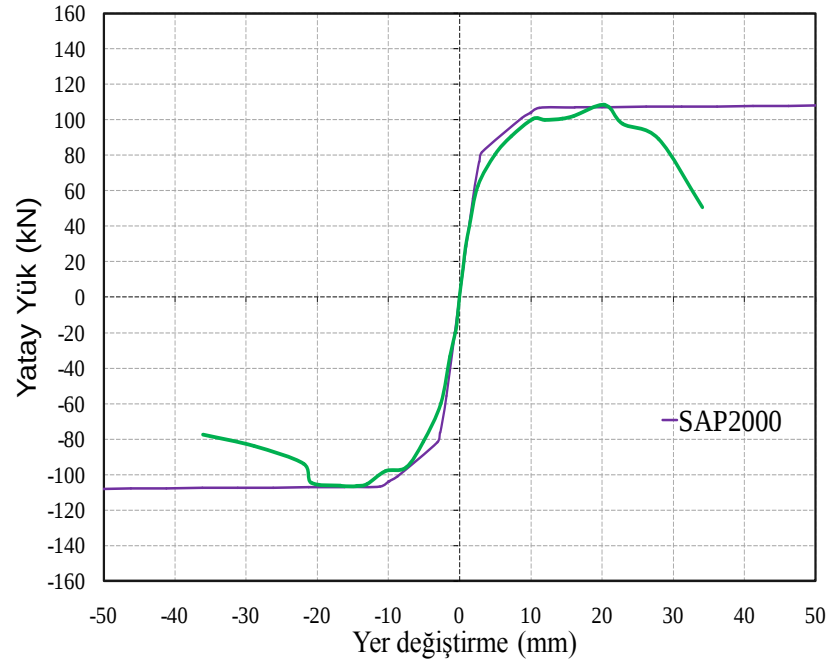
3.2.5 Merkezi çelik çaprazlı numune (CONBRACE) modeli

Merkezi çelik çaprazlı çerçeve (CONBRACE) SAP2000 programı ile yapılan yatay yük analizi grafiği ile deneysel grafiğin karşılaştırılması Şekil 3.13’Te verilmektedir. Görüldüğü üzere kurulan model ile deneysel çalışma birbirleri ile bir noktaya kadar aynı davranış sergilemektedir. Başlangıç rijitlikleri aynı olmakla beraber yatay yük taşıma kapasiteleri de deneysel çalışmada 120 kN iken modelde 123 kN olarak bulunmuştur. Burada deneysel çalışmada taşıdığı en büyük yatay yüke 5 mm düzeyinde erişirken, modelde de bu yerdeğiştirme 5 mm olarak gerçekleşmiştir. Modelde sistem deneysel çalışmadaki yatay yük taşıma kapasitesine erişmiş olmasına rağmen 20 mm yerdeğiştirmesine kadar yatay yük taşıma kapasitesini arttırmıştır. Deneysel çalışmada en büyük yatay yüke eriştikten sonra sistem diğer güçlendirme yöntemlerine göre daha hızlı bir şekilde yük kaybetmiştir.

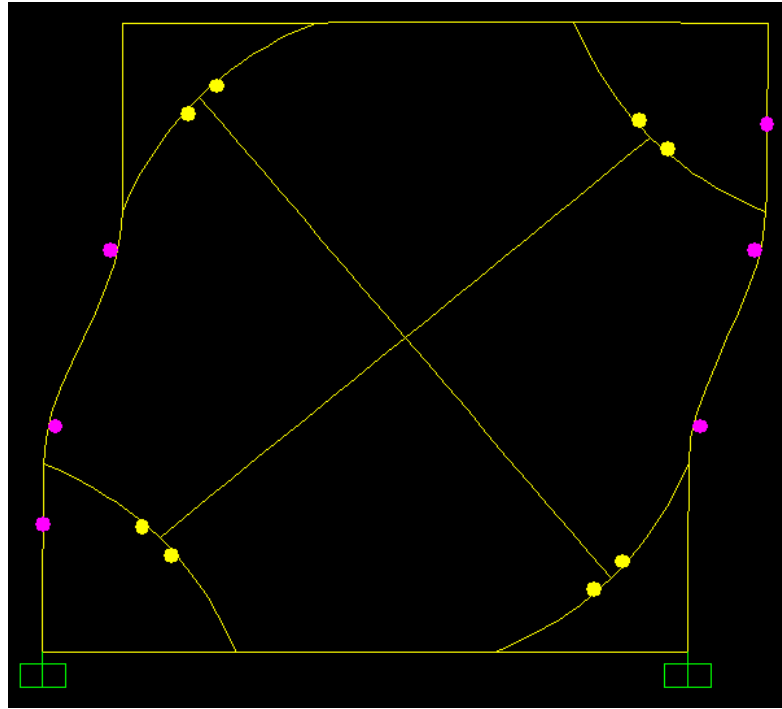
Modelde belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallık noktaları Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Modelde mafsalların oluştuğu yerdeğiştirme değerleri ile deneysel çalışmada alınan yerdeğiştirme protokolü arasında çok az farklılıklar vardır. Grafikten deneysel çalışmada yük kapasitesindeki düşüşün az bir miktarda ve lineer bir şekilde olduğu, modelde ise bu düşüşün bir anda olduğu gözükmemektedir. Bunun sonucu olarak deneysel çalışmada 30 mm yer değiştirme düzeyinde taşıma gücünde büyük bir düşüş meydana gelirken oluşturulan modelde bu davranış gözlenmemiştir.



Şekil 3.13 : Merkezi çelik çaprazlı numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.



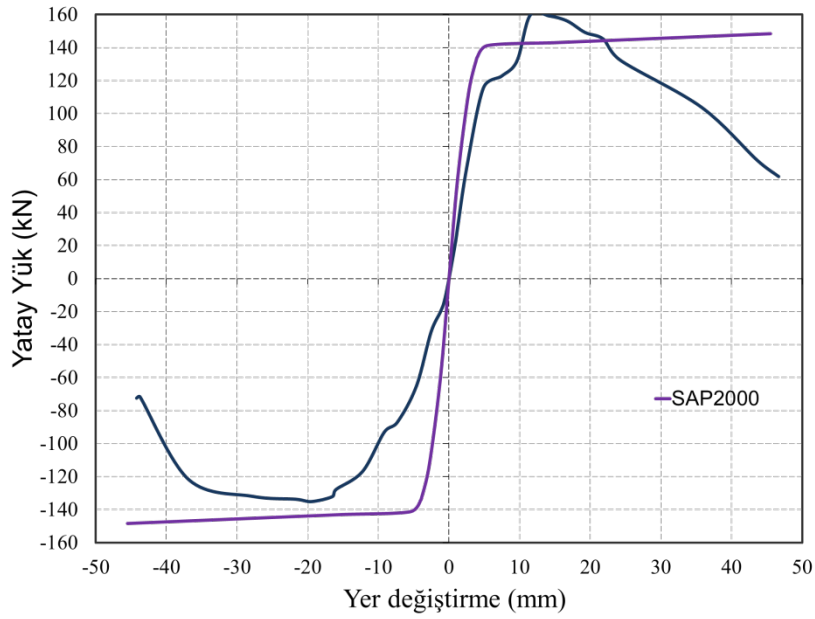
şekil 3.15 : FKNEE_REV deneysel ve analitik analiz ilişkisi.



şekil 3.16 : FKNEE_REV numunesine ait SAP2000 zm.

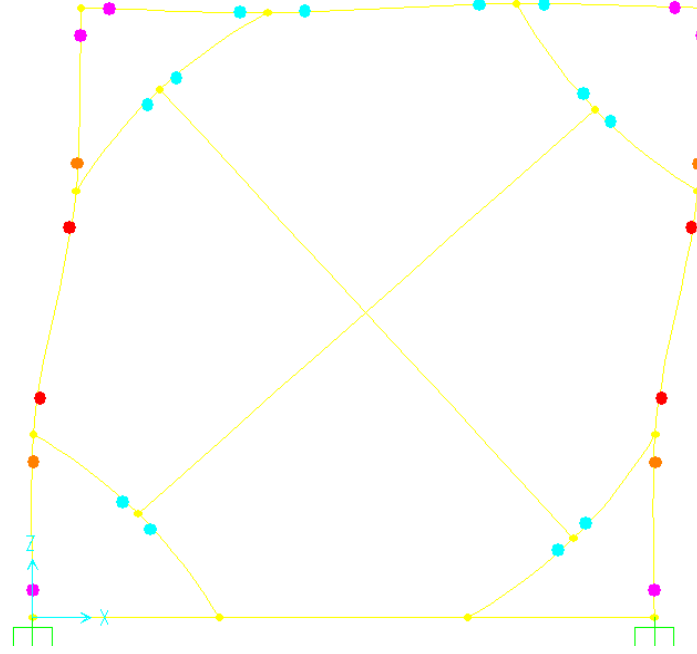
3.3.2 Dört köşeden çelik çaprazlı numune (FKNEE_H) modeli

FKNEE_H SAP2000 programı ile yapılan yatay yük analizi grafiği ile deneysel grafiğin karşılaştırılması Şekil 3.17’de verilmektedir. Görüldüğü üzere kurulan model ile deneysel çalışma birbirleri ile örtüşmektedir. Başlangıç rijitlikleri aynı olmakla beraber yatay yük taşıma kapasiteleri de deneysel çalışmada 80 kN iken modelde 81 kN olarak bulunmuştur. Burada deneysel çalışmada taşıdığı en büyük yatay yüke 12 mm düzeyinde erişirken, modelde bu yerdeğiştirme 7 mm olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.17 : FKNEE_H numunesi deneysel ve analitik yerdeğiştirme ilişkileri.

Modelde belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallık noktaları Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Modelde mafsalların oluştuğu yerdeğiştirme değerleri ile deneysel çalışmada alınan yerdeğiştirme adımları arasında çok az farklılıklar vardır. Grafikten de anlaşılacağı üzere aynı yerdeğiştirme adımlarında yük kaybı meydana gelmiştir. Bunun nedeni de çapraz elemanın devre dışı kalması sonucudur. Modelde bunun etkisi olarak 20 kN luk bir düşüş gözlenirken, deneysel çalışmada bu 8 kN mertebesinde gerçekleşmiştir.

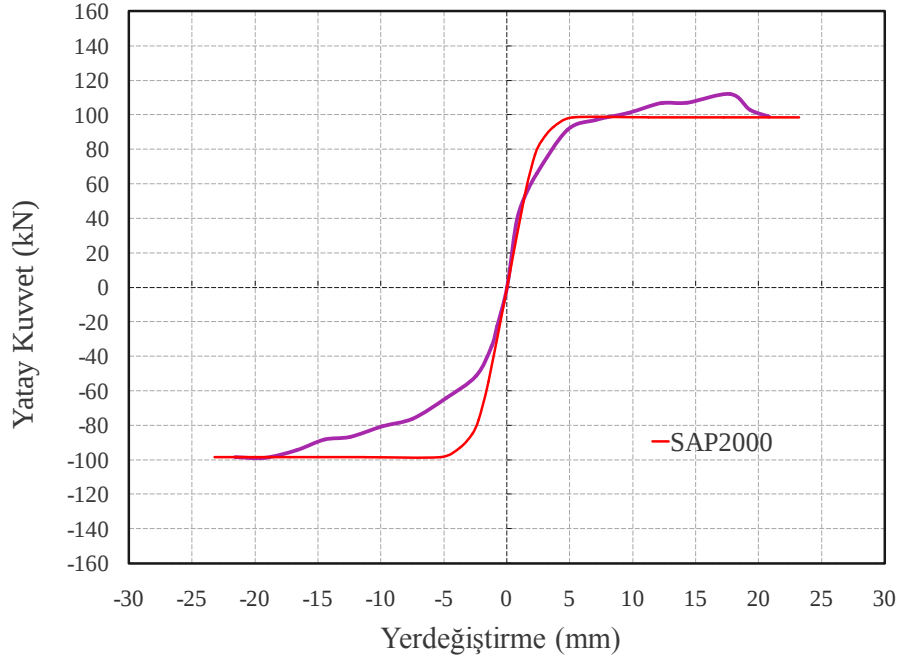


Şekil 3.18 : FKNEE_H numunesine ait SAP2000 çözümü.

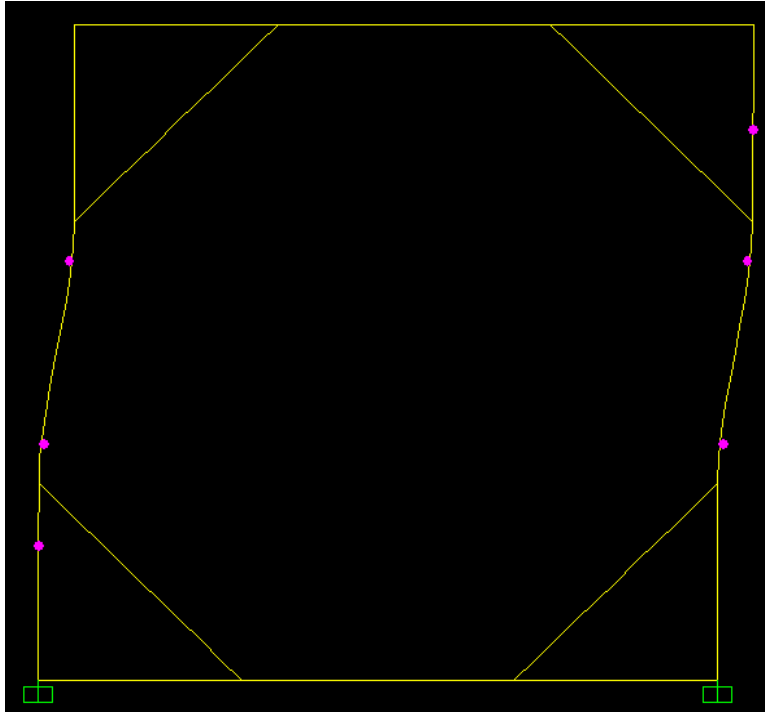
3.3.3 Dört köşeden çelik çaprazlı numune(KNEE_60.3) modeli

KNEE_60.3 SAP2000 programı ile yapılan yatay yük analizi grafiği ile deneysel grafiğin karşılaştırılması Şekil 3.19’da verilmektedir. Görüldüğü üzere kurulan model ile deneysel çalışma birbirleri ile örtüşmektedir. Başlangıç rijitlikleri aynı olmakla beraber yatay yük taşıma kapasiteleri de deneysel çalışmada 110 kN iken modelde 100 kN olarak bulunmuştur. Burada deneysel çalışmada taşıdığı en büyük yatay yüke 15 mm düzeyinde erişirken, modelde bu yerdeğiştirme 6 mm olarak gerçekleşmiştir.

Modelde belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallık noktaları Şekil 3.20’de gösterilmiştir.. Modelde mafsalların oluştuğu yerdeğiştirme değerleri ile deneysel çalışmada alınan yerdeğiştirme protokolü arasında çok az farklılıklar vardır.



Şekil 3.19 : KNEE_60.3 numunesi deneysel ve analitik analiz ilişkisi.

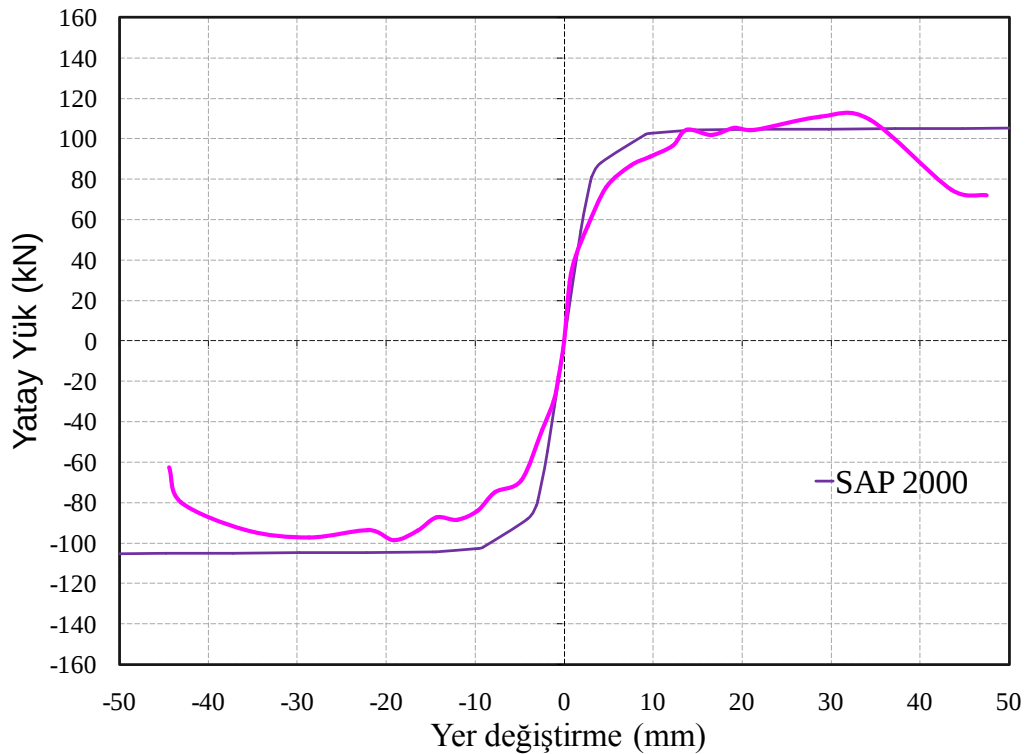


Şekil 3.20 : KNEE_60.3 numunesine ait SAP2000 çözümü.

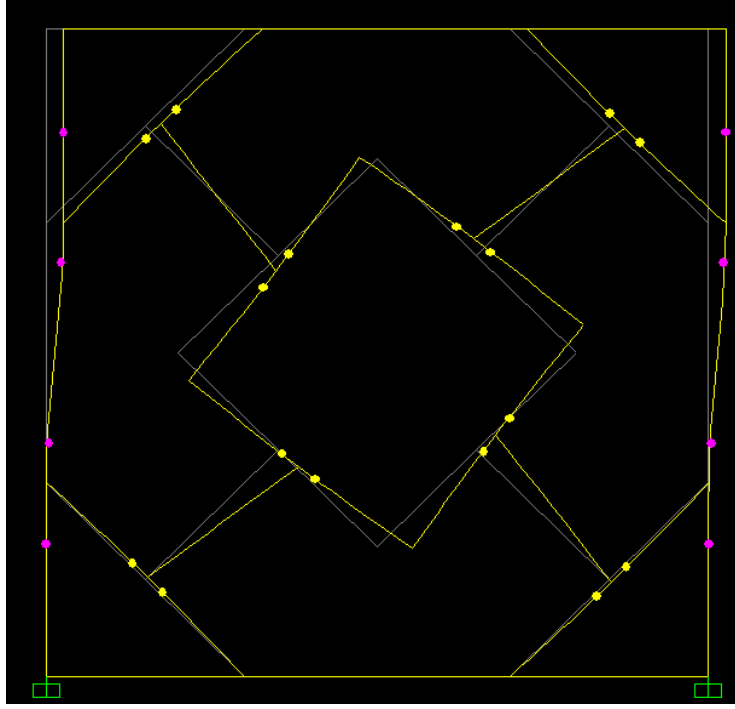
3.3.4 Dört köşeden çelik çaprazlı ve ortasında küçük çelik çerçeve ile güçlendirilmiş (FKNEE_RING) modeli

Dört köşesinden çelik çaprazlı çerçeve (FKNEE) SAP2000 programı ile yapılan yatay yük analizi grafiği ile deneysel grafiğin karşılaştırılması Şekil 3.21’de verilmektedir. Görüldüğü üzere kurulan model ile deneysel çalışma birbirleri ile örtüşmektedir. Başlangıç rijitlikleri aynı olmakla beraber yatay yük taşıma kapasiteleri de deneysel çalışmada 104 kN iken modelde 110 kN olarak bulunmuştur. Burada deneysel çalışmada taşıdığı en büyük yatay yüke 16 mm düzeyinde erişirken, modelde bu yerdeğiştirme 12 mm olarak gerçekleşmiştir. Deneysel çalışmada 35 mm yer değiştirme seviyesinde yavaş yavaş yük kapasitesinde düşüş meydana gelmiştir.

Modelde belirli hasar düzeylerine ait oluşan mafsallık noktaları Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Modelde mafsalların oluştuğu yerdeğiştirme değerleri ile deneysel çalışmada alınan yerdeğiştirme adımları arasında çok az farklılıklar vardır.



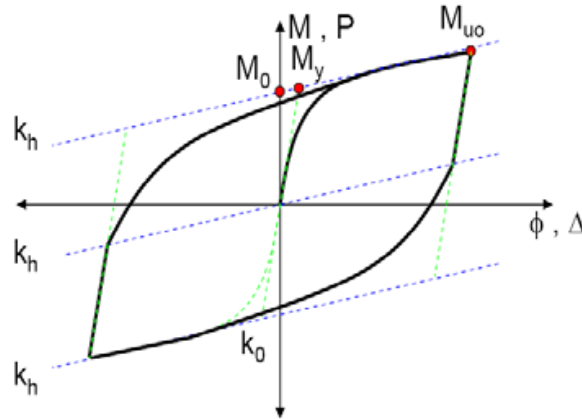
Şekil 3.21 : FKNEE_RING numunenin deneysel ve analitik analiz ilişkisi.



Şekil 3.22 : FKNEE_RING numunesine ait SAP2000 çözümü.

3.4 Deneysel Çalışmanın Basitleştirilmiş Bir Yöntemle Yapılan Analitik Çevrimsel Yük Analizi

Yapısal eleman deneylerinin davranışının belirlenmesinde ikinci adım tasarımcı tarafından ileri derecede lineer davranış sonrası şekildeğiştirme yapmış hasar durumunu dikkate alan veya farklı adette ve maksimum genlikte çevrimsel tesire maruz kalması beklenen elemanların yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi iki yönlü çevrimsel eğrilerinin oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 3.23 : PHD_KT algoritması için kullanılan basitleştirilmiş grafik.

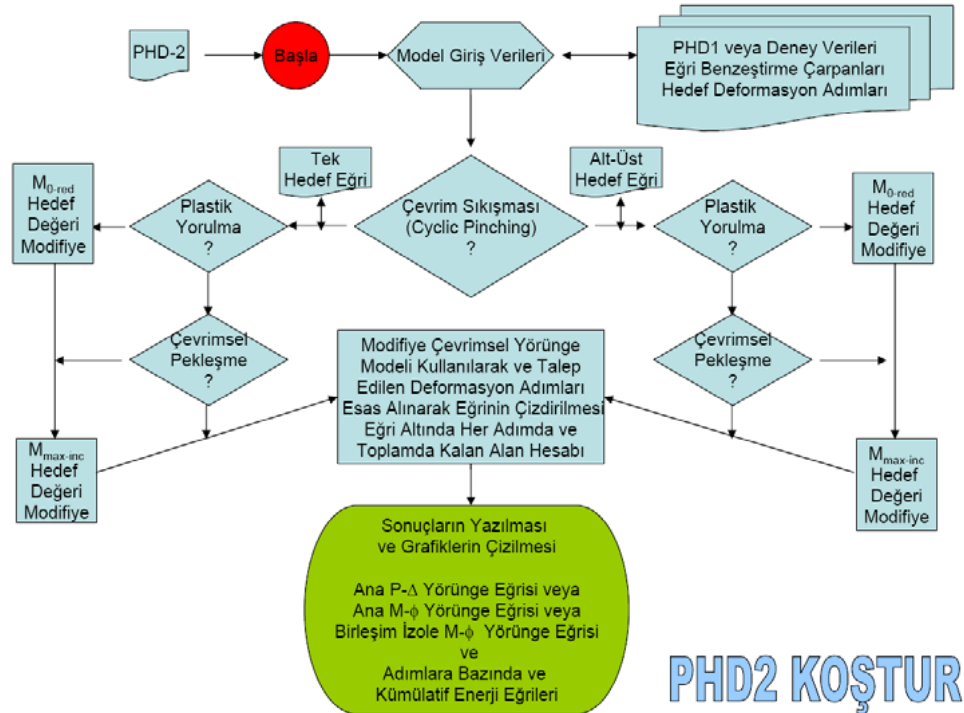
PHD_KT adı verilen bir hesap algoritması aracılığı ile kullanıcı tarafından tanımlanan genliklerde ve çevrim sayılarında tekrarlı olarak zorlanan deneysel elemanın yatay yük-tepe yer değiştirmesi grafiği analitik olarak elde edilebilecektir. Yukarıda Şekil 3.23'te hesap algoritması sonucu elde edilen eğrilerin bir karşılaştırması tek bir çevrimi ifade edecek şekilde yatay yük-tepe yer değiştirmesi için verilmiştir.

3.4.1 PHD_KT hesap kodu

PHD-KT adı verilen bu hesap algoritması aracılığı ile, yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi özellikleri ile tanımlı hale getirilmiş bir elemanın çeşitli yerdeğiştirme hedeflerinde oluşması muhtemel çevrim sıkışması, plastik yorulma hasarı ve çevrimlerde ileri adım pekleşmesi gibi bozulma etkilerini dikkate alarak yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi çizdirilmektedir, Peker (2010).

Her adım için eğri altında kalan alan hesaplanmakta bu şekilde birleşimin her adımında veya istenen bir çevrimsel yörünge sonrasında lineer ötesi şekil değiştirmeleri ile enerjinin ilişkisi kurulmaktadır.

Aşağıda Şekil 3.24'te ilgili hesap algoritması bir akış şeması halinde verilmiştir. Hesap kodunun tam dökümü ve detayları ayrıca eklerde EK A.4'te verilmiştir.

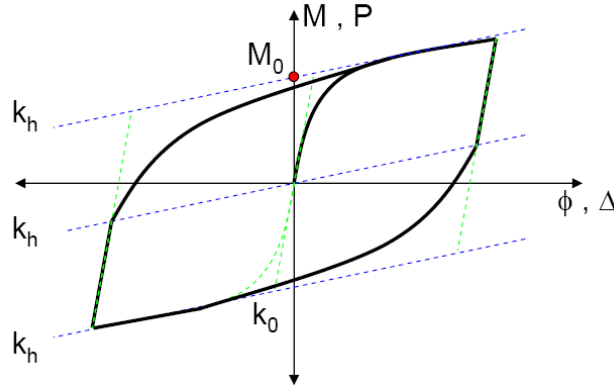


Şekil 3.24 : PHD_KT hesap algoritması akış diyagramı.

Hesap algoritmasında kullanılmak üzere literatürden derlenen ve çeşitli araştırmacıların benzer amaçlar için kullandığı matematiksel ifadeler birleşim davranışını ifade edecek şekilde derlenip tek bir çatı altında toparlanmış ve çeşitli değişkenlere bağlı olarak elde edilen verinin sayısal olarak benzeştirilmesinde kullanılan bir hesap kodu haline getirilmiştir.

Algoritma, giriş bilgisi olarak yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi çevrimsel eğrilerin benzeştirilmesi için gerekli veriyi deneysel sonuçlardan alır. Eğri benzeştirme katsayıları benzer durumlar için yapılan deneylerden alınarak sistem yatay yük-tepe yer değiştirme eğrisi hazırlanır.

Ana eğri benzeştirme denklemleri *Bozulmamış Yüksek Enerji Sönümlü Çevrim* için yük artışı kolunun (loading branch) sayısal olarak tanımlanması Richard ve Abbot (1975), tarafından önerilen model ile yapılmıştır. Yük boşaltma kolunun (unloading branch) başlangıç rijitliğine paralel olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda ortaya çıkan bir çevrime ait eğrinin aldığı şekil aşağıda Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25 : Bozulmamış yüksek enerji sönümlü çevrim grafiği ve parametreleri.

Eğriyi oluşturan eşitlikler aşağıda Çizelge 3.3 olarak verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Bozulmamış yüksek enerji sönümlü çevrim grafiği oluşturan eşitlikler.

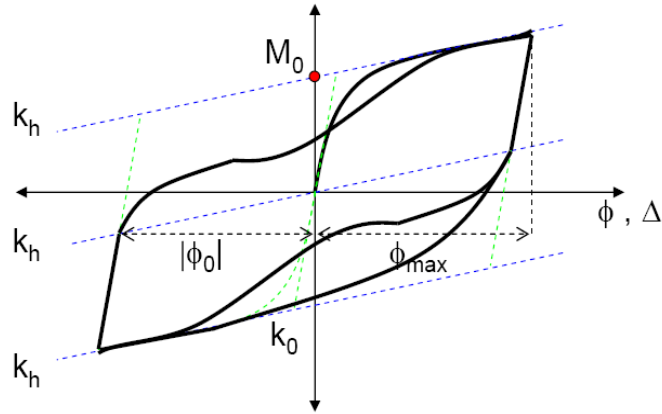
Artış kolu sayısal eşitliği

$$M = \frac{(k_0 - k_h)\phi}{\left[1 + \left|\frac{(k_0 - k_h)}{M_0}\right|^n\right]^{1/n}} + k_h\phi$$

Boşalma kolu sayısal eşitliği

$$M = k_0 * \phi$$

Çeşitli hasarlar sebebi ile eğrilerin bozulması ve Azalan Enerji Sönümlü Sıkışan Çevrim için yük artışı kolunun (loading branch) sayısal olarak tanımlanması aynı model kullanılarak, sadece alt-üst sınır eğri arası geçişler için Della Corte (1999), tarafından önerilen sayısal model uyarlamaları kullanılarak yapılmıştır. Yük boşaltma kolunun (unloading branch) başlangıç rijitliğine paralel olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda ortaya çıkan bir çevrime ait eğrinin aldığı şekil aşağıda Şekil 3.26’ da verilmiştir.



Şekil 3.26 : Azalan enerji sönümlü sıkışan çevrim grafiği ve parametreleri.

Eğriyi oluşturan eşitlikler aşağıda Çizelge 3.4 olarak verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Azalan enerji sönümlü sıkışan çevrim grafiğini oluşturan eşitlikler.

Artış kolu sayısal eşitliği

$$M = \frac{(k_{ot} - k_{ht})\phi}{\left[1 + \left|\frac{(k_{ot} - k_{ht})}{M_{ot}}\right|^{nt}\right]^{1/nt}} + k_{ht}\phi$$

$$t = \left[\frac{\left(\frac{\phi}{\phi_{lim}}\right)^{t_1}}{\left(\frac{\phi}{\phi_{lim}}\right)^{t_1} + 1} \right]^{t_2} \rightarrow \phi_{lim} = \lambda(|\phi_0| + |\phi_{max}|)$$

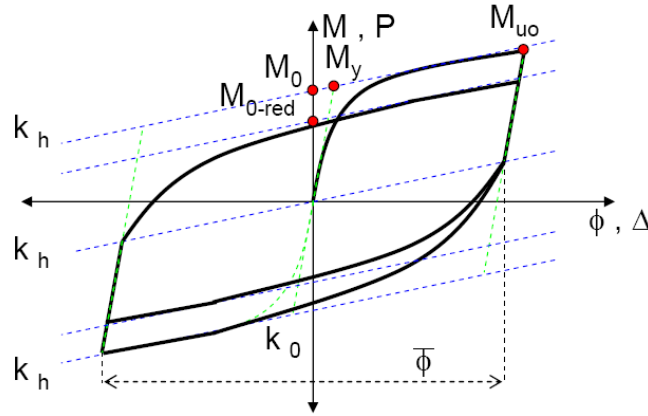
$$k_{ot} = k_{op} + (k_o - k_{op})t \rightarrow M_{ot} = M_{op} + (M_o - M_{op})t$$

$$k_{ht} = k_{hp} + (k_h - k_{hp})t \rightarrow n_{pt} = n_p + (n - n_p)t$$

Boşalma kolu sayısal eşitliği

$$M = k_0 * \phi$$

Elastik olmayan bölgede gerçekleşen çevrimsel şekil değiştirmeler sırasında kalıcı şekil değiştirmelerin belirli bir bölgede yığılması kopma oluşana dek devam eder. Bu tesir Plastik Yorulma (Plastic Fatigue) Hasarı Çevrim Bozulması olarak tanımlanmıştır. Çoğu zaman bu yığılma söz konusu bölgenin malzeme özelliklerini değiştirdiğinden sabit maksimum genlikli şekildeğiştirme altında çevrimlerde dayanım azalması oluşur. Yük kolunun hedef maksimum genliği hesaplanırken bu tesir Della Corte (1999), tarafından yapılan araştırmada yeniden düzenlenen “Park-Ang Göçme İndeksi” modeli ile dikkate alınabilir. Yük boşaltma kolunun (unloading branch) başlangıç rijitliğine paralel olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda ortaya çıkan bir çevrime ait eğrinin aldığı şekil aşağıda Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27 : Plastik yorulma hasarı çevrim bozulması grafiği ve parametreleri.

Herhangi bir diğer bozulma için verilen eşitliklerde her adım için verilen eşitlikte gösterilen hedef “ M_o ” değeri aynı adım için hesaplanan hasar indeksi kullanılarak değiştirilecektir. Her adımda eğriyi değiştirmek için kullanılacak eşitlikler aşağıda Çizelge 3.5 olarak verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Plastik yorulma hasarı çevrim bozulması grafiğini oluşturan eşitlikler.

Hasar indeksi eşitliği

$$IC = \frac{\bar{\phi}}{\bar{\phi}_{uo}} + \beta \frac{E_h}{M_y \bar{\phi}_{uo}}$$

Her adımda azaltılmış hedef M_o değeri

$$M_{o-red} = M_o \left(1 - \beta \frac{E_h}{M_y \bar{\phi}_{uo}} \right)$$

Her hangi bir diğer bozulma için verilen eşitliklerde her adım için verilen eşitlikte gösterilen hedef “ M_o ” değeri aynı adıma ait noktalar hesaplanırken karşılık gelen maksimum genliğin pekleşme sınır değeri için durumu dikkate alınarak değiştirilecektir. Hedef genlik için eğriyi değiştirmek amacıyla kullanılacak eşitlikler, sınır genlik öncesi ve sonrası için aşağıda Çizelge 3.6 olarak verilmiştir.

Sınır genlik limiti öncesi her noktada
 hedef M_o eşitliği

$$\phi_{max} \leq \phi_y \rightarrow M_{o-inc} = M_o$$

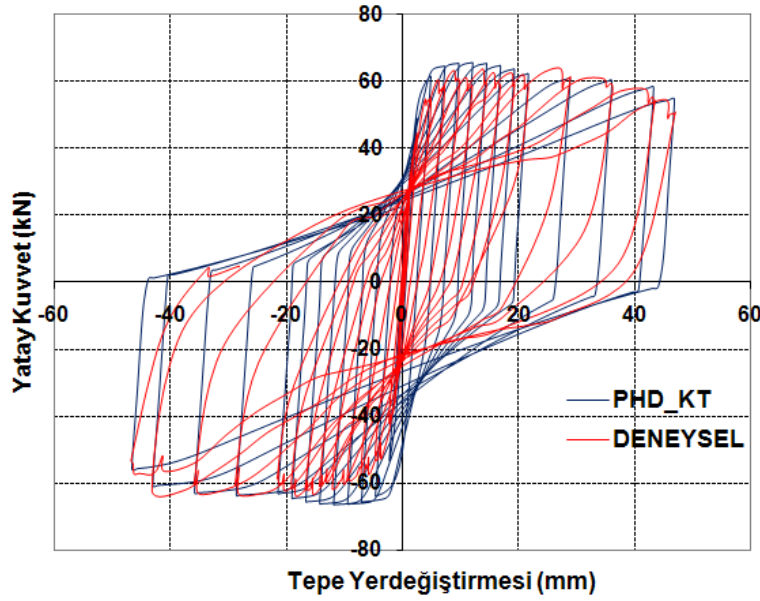
Sınır genlik limiti sonrası her noktada
 hedef M_o eşitliği

$$\phi_{max} > \phi_y \rightarrow M_{o-inc} = M_o \left(1 + H_h \frac{\phi_{max} - \phi_y}{\phi_y} \right)$$

3.4.2 PHD_KT analiz sonuçları

BF-PHD_KT analiz sonuçları

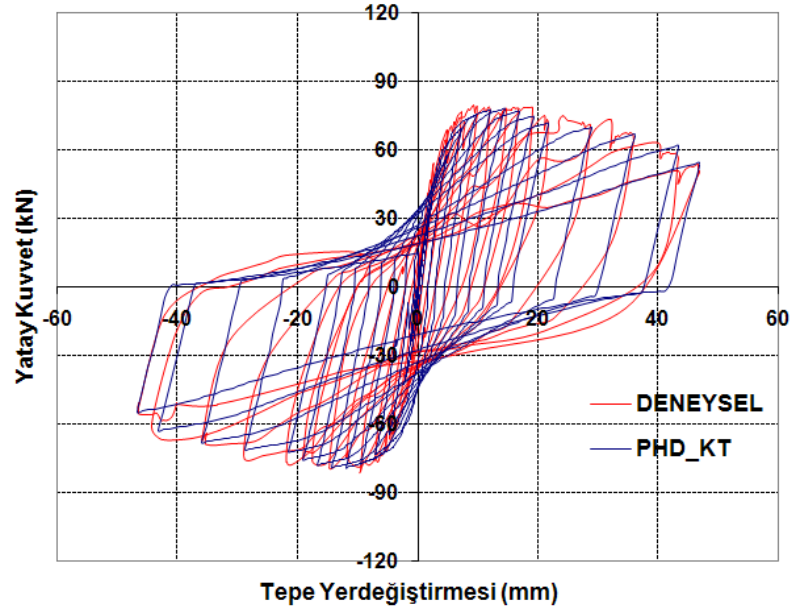
Hazırlanan BF modeli PHD_KT yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, aşağıda Şekil 3.29 olarak verilmiştir.



Şekil 3.29 : BF-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.

SKNEE-PHD_KT analiz sonuçları

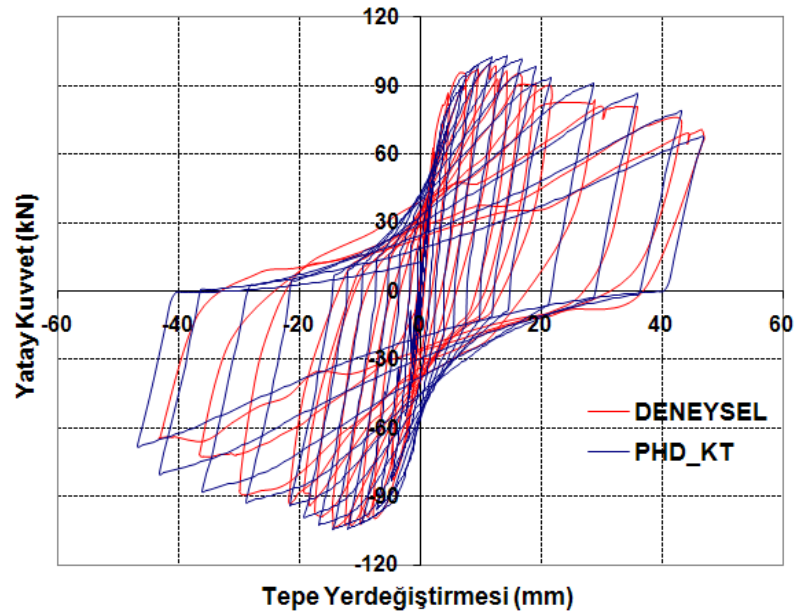
Hazırlanan SKNEE modeli PHD_KT yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, aşağıda Şekil 3.30 olarak verilmiştir.



Şekil 3.30 : SKNEE-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.

DKNEE-PHD_KT analiz sonuçları

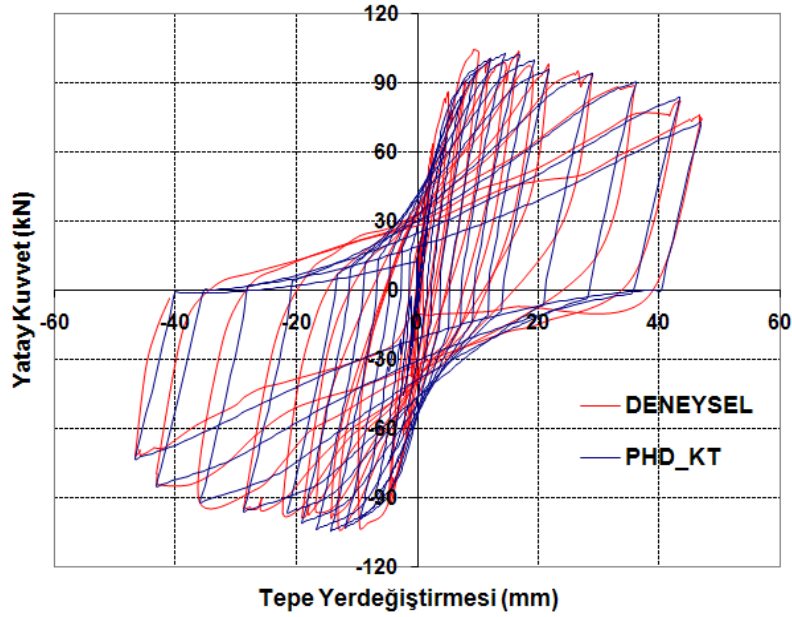
Hazırlanan DKNEE modeli PHD_KT yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, aşağıda Şekil 3.31 olarak verilmiştir.



Şekil 3.31 : DKNEE-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.

FKNEE-PHD KT analiz sonuçları

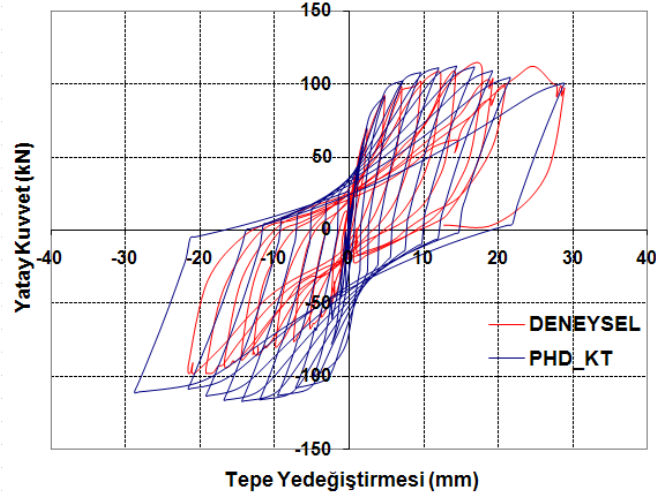
Hazırlanan FKNEE modeli PHD_KT yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, aşağıda Şekil 3.32 olarak verilmiştir.



Şekil 3.32 : FKNEE-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği.

KNEE 60.3- PHD_KT analiz sonuçları

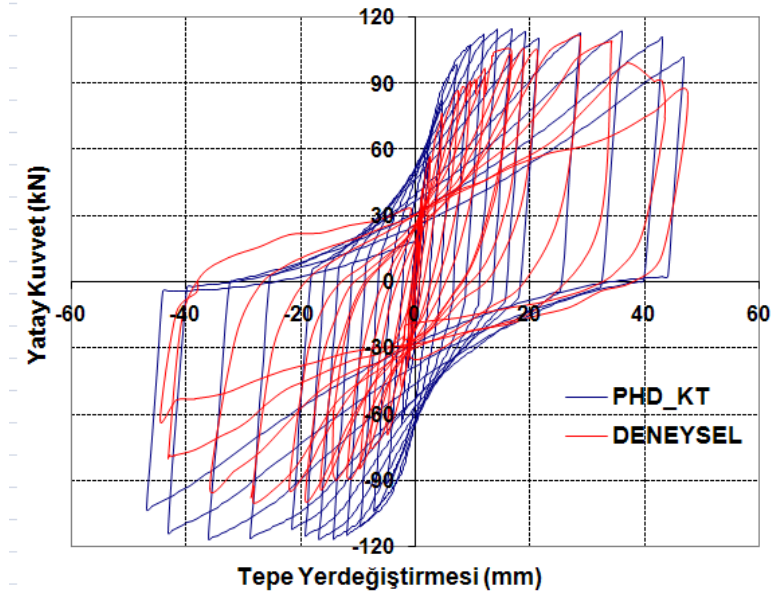
Hazırlanan FKNEE_REV modeli PHD_KT yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, aşağıda Şekil 3.33 olarak verilmiştir.



Şekil 3.33 : KNEE_60.3-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği

FKNEE_RING - PHD_KT analiz sonuçları

Hazırlanan FKNEE_RING modeli PHD_KT yazılımı ile sayısal olarak incelenmiş ve karakteristik davranış eğrileri olan her adım ve toplam çevrimler boyunca ortaya çıkan enerji, yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi, aşağıda Şekil 3.34 olarak verilmiştir.



Şekil 3.34 : FKNEE_RING-PHD_KT analiz sonucu elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafiği

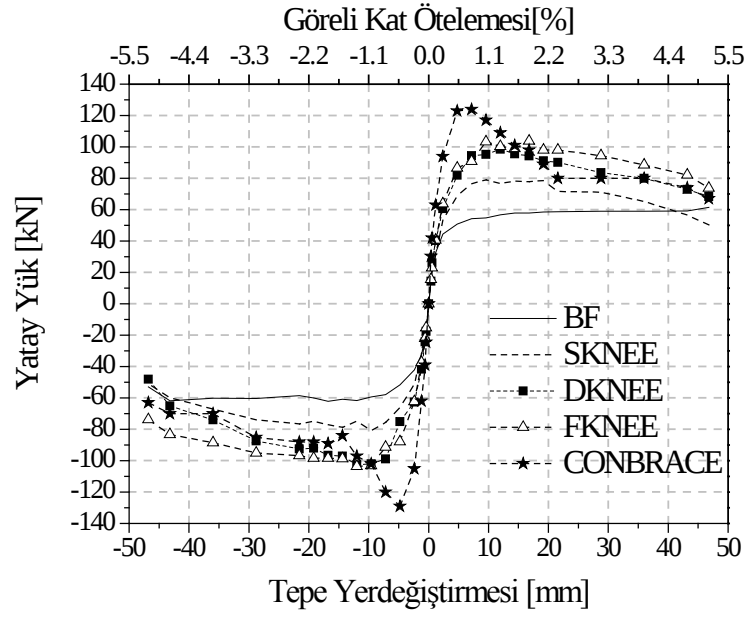
4. DENEYSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma kapsamında kolon-kiriş bölgesinde etriye sıklaştırması olmayan, düz demir donatı kullanılmış betonarme yapıların güçlendirilmesinde farklı geometriye sahip çelik çapraz güçlendirme sistemlerinin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Tek katlı-tek açıklıklı betonarme çerçevelerin basit çelik çaprazlar ile güçlendirilmesinin sistem davranışına etkisini araştırmak için yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi eğrileri ve deney sırasında alınan ölçümler ile numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri, önerilen göçme yükleri, rijitlik değerleri, eşdeğer süneklik değerleri, kuvvet azaltma çarpanları, enerji yutma kapasiteleri ve eşdeğer sönüm oranları hesaplanmış ve karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu bölümde, farklı çelik çapraz sistemlerle güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi verilmektedir.

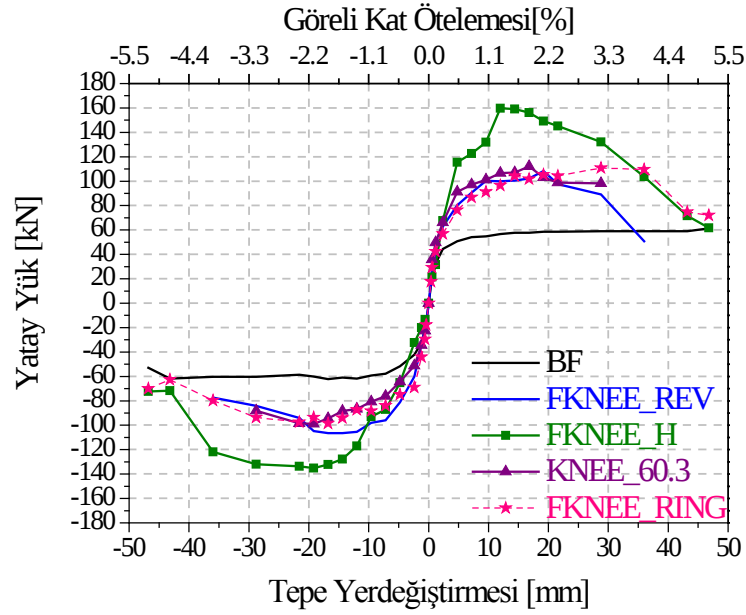
4.1 Yatay Yük Taşıma Kapasitesi Ve Göçme Yüğü

Çalışmada incelenen her bir numune için, deneylerden elde edilen önemli büyüklüklerin karşılaştırıldığı numunelerin sergilediğı davranışı genel olarak özetleyen sonuçlar Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Deney numunelerinin dayanımları ve gösterdikleri genel davranış yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinin zarfları karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Zarf eğrileri her numune için yük – yerdeğiştirme grafiklerinden yararlanarak her çevrimin en büyük yük değerindeki noktaların birleştirilmesiyle, önceki bölümde sunulmuştur. Deneyler arasında karşılaştırmanın daha gerçekçi yapılabilmesi için her numuneye aynı yerdeğiştirme çevrim protokolü uygulanmıştır. Yalın betonarme çerçeve ve güçlendirilen numunelerde maksimum görelî kat ötelemesi değeri % 5.2 olmuştur. Tüm deney numunelerine ait karşılaştırmalı zarf eğrisi grafiğı Şekil 4.1’de sunulmuştur. Numunelere ait tüm zarf eğrileri deney sonuna kadar uygulanan tüm yerdeğiştirme çevrimlerine göre çizilmiştir.



(a) birinci grup deneyler



(b) ikinci grup deneyler

Şekil 4.1 : Deneylere ait yatay yük-tepe yer değiştirmesi zarf eğrileri.

Zarf eğrilerinden de görüldüğü üzere yalın çerçeve 60 kN, SKNEE güçlendirilmiş çerçeve 80 kN, DKNEE güçlendirilmiş çerçeve 103 kN, FKNEE güçlendirilmiş çerçeve 104 kN, merkezi çaprazlı güçlendirilmiş-CONBRACE çerçeve 129 kN yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Buna göre SKNEE numunesine % 33, DKNEE ve

FKNEE numunelerinde % 67 ve CONBRACE numunesinde % 108 lik bir artış meydana gelmiştir.

Deneylerde yalın çerçeve, SKNEE, DKNEE, FKNEE, ve CONBRACE güçlendirilmiş çerçevelerde hem itme hem de çekme yönlerinde elde edilen yatay yük taşıma kapasitelerinin birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Betonarme yalın çerçeve sünek bir davranış göstermiş 60 kN yatay yük taşıma kapasitesine erişmiş ve 46.8 mm görelî tepe yerdeğiştirmesi değeri ne ulaşmıştır. Bu aşamada yatay dayanımı 51 kN'a düşmüş, en büyük dayanımının % 85'ine ulaştığından deney sonlandırılmıştır.

SKNEE güçlendirilmiş çerçeve 12.0 mm çevriminde 81 kN yatay yük taşıma kapasitesine kadar ulaşmış, bu çevrimde çelik çaprazın betonarme yapı elemanına bağlandığı plakada ayrılma meydana gelmiş olup taşıma gücünde ani bir düşüş meydana gelmemiştir. 28.8 mm çevriminde köşe çapraz eleman yırtılarak devreden çıkmıştır. Deney 46.8 mm tepe yerdeğiştirmesine kadar devam ettirilmiş tir. Deney sonunda güçlendirilen numune yalın çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini yakalamıştır.

DKNEE güçlendirilmiş çerçeve 9.6 mm çevriminde 103 kN yatay yük taşıma kapasitesine kadar ulaşmıştır. çapraz elemanını betonarme yapıya bağlayan çelik plakada 4.8 mm tepe yerdeğiştirmesinde ayrılma başlamıştır. Bu ayrılma yatay yük taşıma kapasitesinde herhangi bir düşüşe sebep olmamıştır. 28.8 mm çevriminde köşe çapraz eleman yırtılarak devreden çıkmıştır. Deney 46.8 mm tepe yerdeğiştirmesine kadar devam ettirilmiş tir. Deney sonunda güçlendirilen numune yalın çerçeve yatay yük taşıma kapasitesinin üzerinde bir yatay yük kapasitesini yakalamıştır.

FKNEE güçlendirilmiş çerçeve 9.6 mm çevriminde 104 kN yatay yük taşıma kapasitesine kadar ulaşmıştır. Köşe çapraz elemanını betonarme yapıya bağlayan çelik plakada 14.4 mm tepe yerdeğiştirmesinde ayrılma başlamıştır. 36.0 mm çevriminde köşe çapraz eleman yırtılarak devreden çıkmıştır. Deney 46.8 mm tepe yerdeğiştirmesine kadar devam ettirilmiş tir. Deney sonunda güçlendirilen numune yalın çerçeve yatay yük taşıma kapasitesinin % 12 fazlası bir kapasitede kalmıştır.

CONBRACE güçlendirilmiş çerçeve 4.8 mm çevriminde 129 kN yatay yük taşıma kapasitesine kadar ulaşmıştır. 9.6 mm çaprazları betonarme yapıya bağlayan çelik

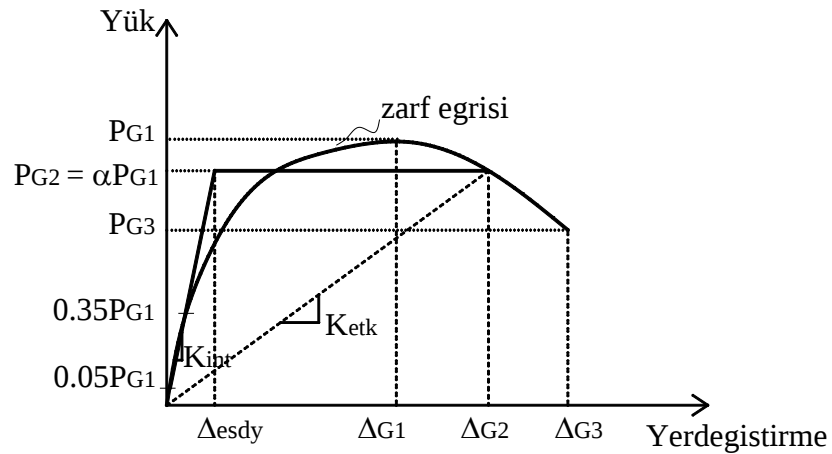
plakada ayrılma başlamıştır. 12 mm çevriminde çapraz elemanlarda burkulma meydana gelmiştir. Deney 46.8 mm tepe yerdeğiştirmesine kadar devam ettirilmiştir. Deney sonunda güçlendirilen numune yalın çerçeve yatay yük taşıma kapasitesine kadar düşmüştür.

Çizelge 4.1 : Tüm deney numunelerine ait yatay kuvvet.

Deney Numunesi Adı	İlk Eğilme Çatlağının Oluştugu Yük ve Yerdeğiştirme		Betonarme Çerçeve Donatıda Görülen İlk Akma Yerdeğiştirme	En Büyük Yatay Dayanım (kN)		En Büyük Yatay Dayanım Karşı Gelen Tepe Yerdeğiştirme (mm)		Görelî Kat Ötelemesi (%)
	P (kN)	Δ (mm)	Δ (mm)	İtme Çevrimi	Çekme Çevrimi	İtme Çevrimi	Çekme Çevrimi	En Büyük Yükte
BF	32.7	1.2	7.2	61.4	-62.2	14.4	-12.0	1.6
SKNEE	53.6	2.4	7.2	79.0	-80.8	9.6	-9.6	1.1
DKNEE	60.6	2.4	9.6	98.5	-102.7	12.0	-12.0	1.3
FKNEE	63.7	2.4	12.0	103.8	-103.6	16.8	-12.0	1.9
CONBRACE	93.5	2.4	4.8	124.0	-129	7.2	4.8	0.8
FKNEE_REV	80.4	4.8	12.0	108.3	-104.8	19.2	-19.2	2.1
FKNEE_H	67.6	2.4	9.6	159.1	-135.1	14.4	-19.2	2.1
KNEE_60.3	66.1	2.4	9.6	112.1	-98.8	16.8	-19.2	2.1
FKNEE_RING	56.9	4.8	16.8	110.9	-97.3	28.8	-28.8	3.2

4.2 Başlangıç Rijitliği, Etkin Rijitlik ve Tepe Noktaları Rijitliği

Tek katlı-tek açıklıklı betonarme çerçeve numunelerinin başlangıç rijitlikleri itme ve çekme bölgeleri için ayrı olarak hesaplanmıştır. Her iki bölgede de, yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrilerinde en büyük yükün %35 ve %5’lik değerleri arasında kalan bölümünün rijitliği başlangıç rijitliği olarak kabul edilmiştir, Şekil 4.2.



Şekil 4.2 : Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisinin iki doğrulu idealleştirilmesi.

$$K_{\text{int}} = \frac{0.35P_{G1} - 0.05P_{G1}}{\Delta_{0.35} - \Delta_{0.05}} \quad (4.1)$$

Burada K_{int} başlangıç rijitliğini, P_{G1} en büyük yatay yük değerini, $\Delta_{0.35}$ $0.35P_{G1}$ 'e karşı gelen yerdeğiştirme değerini, $\Delta_{0.05}$ ise $0.05P_{G1}$ 'e karşı gelen yerdeğiştirme değerini ifade etmektedir. Tüm numunelerin hesaplanan başlangıç rijitliği değerleri Tablo 4.2'te verilmiştir. Yapılan karşılaştırmalara göre ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Burada K_{int} başlangıç rijitliğini, P_{G1} en büyük yatay yük değerini, $\Delta_{0.35}$ $0.35P_{G1}$ 'e karşı gelen yerdeğiştirme değerini, $\Delta_{0.05}$ ise $0.05P_{G1}$ 'e karşı gelen yerdeğiştirme değerini ifade etmektedir.

Numunelerin rijitlik değerleri deney sonucu elde edilen yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi grafikleri kullanılarak 4 tipik bölge için hesaplanmıştır. Bunlar deprem yönetmeliğinde belirlenmiş olan göreceli kat ötelemesi değerleri % 2 ve % 3 değerleri ile başlangıç rijitliği ve yine deney ortasındaki değerlerdir.

Görüldüğü üzere güçlendirilen numunelerden CONBRACE numunesinin rijitliği yalın betonarme çerçeveye göre oldukça artmakla beraber, SKNEE, DKNEE ve FKNEE güçlendirilmiş numunelerde bu artış çok az olmuştur. SKNEE, DKNEE ve FKNEE güçlendirilmiş numunelerinde sırasıyla % 17, % 13 ve % 10 luk bir artış olmakla beraber CONBRACE güçlendirilmiş numunede % 92 lik bir artış olmuştur. Rijitlik değerlerinin hesaplandığı dört bölgede güçlendirilmiş numuneleri ile yalın çerçeve arasındaki rijitlik farkı Çizelge 4.2’de görülmektedir. Şekil 4.3’de görelî kat yerdeğiştirmesine göre rijitlik değışimleri sunulmuştur.

Rijitlik değeri, çevrimlerin itme ve çekme yönlerindeki en büyük noktaları birbirine birleştiren doğrunun eğimi hesaplanarak elde edilmiştir. Deney numunelerine ait hesaplanan rijitlik değeri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Başlangıç rijitlik değeri numunelere uygulanan 1. Çevrim olarak seçilmiştir. Orta rijitlik değeri % 1.1 ile % 2.1 görelî kat ötelemesi değeri karşılık gelen rijitlikler olarak hesaplanmıştır. Deney sonu rijitlik ise % 3.2 görelî kat ötelemesi değeri karşılık gelen itme ve çekme durumunda oluşan en büyük yük düzeyindeki noktaların birleştirilmesi sonucu elde edilen doğrunun eğimi olarak hesaplanmıştır.

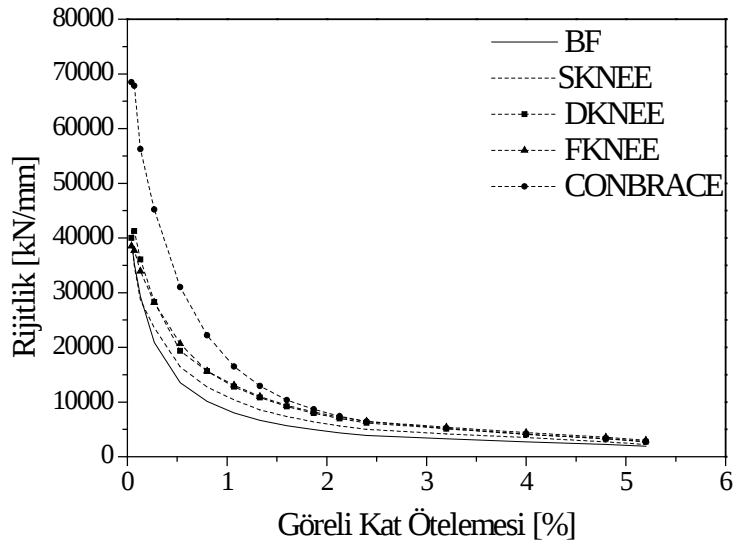
Çizelge 4.2 : Güçlendirilmiş çerçevelerin yalın çerçeveye göre rijitlik karşılaştırması.

Deney Numune Kodları	K/K _{Yalın}			
	Başlangıç $\delta = \% 0.04$	Deney Ortası-1 $\delta = \% 1.1$	Deney Ortası-2 $\delta = \% 2.1$	Deney Sonu $\delta = \% 3.2$
BF	1.0	1.0	1.0	1.0
SKNEE	1.17	1.3	1.29	1.27
DKNEE	1.13	1.6	1.59	1.55
FKNEE	1.10	1.63	1.66	1.64
CONBRACE	1.92	2.05	1.69	1.58
FKNEE_REV	1.05	1.50	1.65	1.62
FKNEE_H	0.64	1.75	2.18	2.30
KNEE_60.3	1.10	1.46	1.60	1.62
FKNEE_RING	1.08	1.60	1.58	1.62

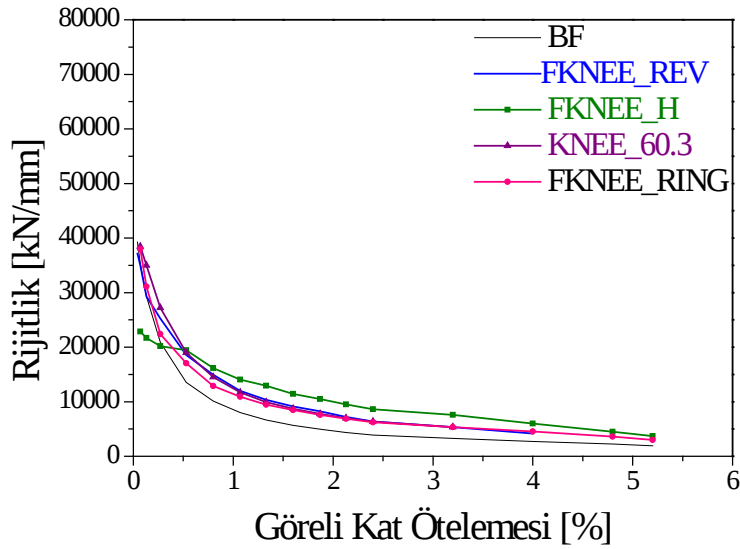
Tablolar incelendiğinde güçlendirilmiş çerçevelerin rijitlik değeriindeki artış görülmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi yapılan köşeden çapraz sistem güçlendirilmesinde rijitlik artış değeri birbirine çok yakinken, merkezi güçlendirilmiş sistemde bu yaklaşık 2 katı kadardır.

Çizelge 4.3 : Deney numunelerine ait rijitlik değerleri

Deney Numune Kodları ve Düzenleri		K başl. (kN/m) $\delta = \% 0.04$	K orta (kN/m) $\delta = \% 1.1$	K son (kN/m) $\delta = \% 2.1$	K son (kN/m) $\delta = \% 3.2$
BF	Yalın Betonarme Çerçeve	35327	8031	4370	3297
SKNEE	Tek Köşeden Çelik Çaprazlı Numune	41375	10418	5636	4174
DKNEE	İki Köşeden Çelik Çaprazlı Numune	40000	12809	6962	5107
FKNEE	Dört Köşeden Çelik Çaprazlı Numune	38500	13061	7234	5400
CONBRACE	Merkezi Çelik Çaprazlı Numune	67808	16500	7401	5221
FKNEE_REV	Dört Köşeden Çelik Çaprazlı Numune	37140	12000	7202	5321
FKNEE_H	Dört Köşeden Çelik Çaprazlı Numune(60.3)	22860	14040	9515	7594
KNEE_60.3	Dört Köşeden Çelik Çaprazlı Numune	38450	11730	6983	5336
FKNEE_RING	Dört Köşeden Çelik Çaprazlı Numune Orta Bölgede Halka	37990	12870	6889	5346



a) birinci grup deneyler



b) ikinci grup deneyler

Şekil 4.3 : Deneylere ait rijitlik-görel kat ötelemeleri eğrileri.

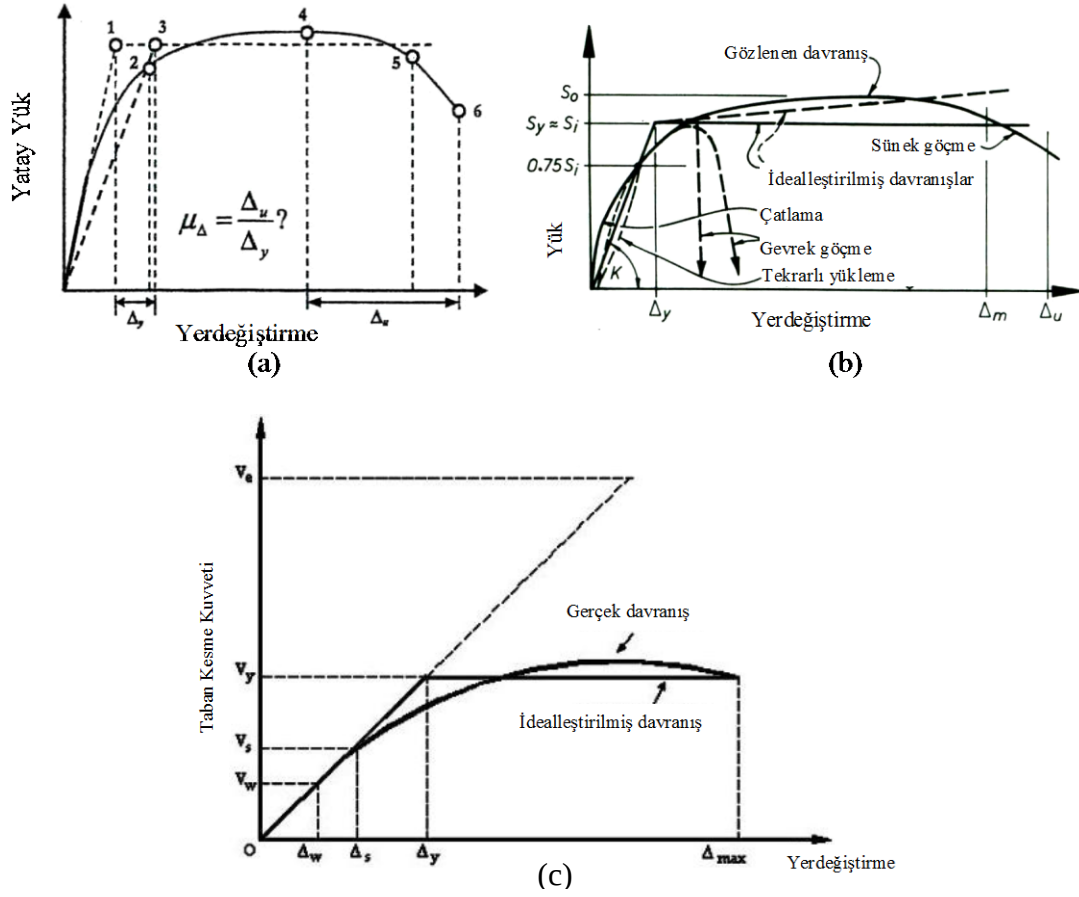
4.3 Önerilen Eşdeğer Yerdeğiştirme Sünekliği

Süneklik (μ), bir kesitin, bir elemanın veya bir taşıyıcı sistemin, dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik ötesinde şekildeğiştirme, dolayısıyla yerdeğiştirme yapma yeteneği olarak tanımlanabilir, Celep, 2007. Sayısal tanımı, göçme sınırı ile elastik sınır şekildeğiştirmesi veya yerdeğiştirmesinin oranı olarak yapılmaktadır,

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (4.2)$$

Burada μ sünekliği, Δ_u göçme sınırındaki yerdeğiştirme değerini ve Δ_y önemli elemanlarda ilk kalıcı şekildeğiştirmelerin sınırındaki yerdeğiştirme değerini ifade etmektedir, Şekil 4.4a. Çeşitli açılardan tartışmalı olan bu tanımı, deney numunelerinin yük-yerdeğiştirme eğrilerini yorumlamak için, çok serbestlik dereceli sistemlerdeki teorik çalışmalar yerine, basite indirgeyerek hareket etmekte yarar vardır. Süneklik değerlerinin hesabı için öncelikle numunelerin yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrilerin iki doğrulu olarak idealize edilmesi ve Δ_y , Δ_u yerdeğiştirme değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır.

İki doğrulu yük-yerdeğiştirme diyagramının tanımlanması için belirlenmesi gereken ilk nokta olan “akma yerdeğiştirmesi” (Δ_y) değeri farklı çalışmalarda, (a) eğrinin başlangıç rijitliği eğiminde bir doğru ile yine yapılan kabullere göre belirlenmiş “akma yükünden” (V_y) geçen bir yatay doğrunun kesiştirilmesi ile (Şekil 4.4a’da 1 noktası), (b) akmanın olduğu ilk yerdeğiştirme değeri olarak (Şekil 4.4a’da 2 noktası), (c) başlangıç noktasından ve akmanın olduğu ilk yerdeğiştirme değerinden geçen doğrunun V_y ’den geçen yatay doğru ile kesiştirilmesi ile (Şekil 4.4a’da 3 noktası) ve buna benzer başka kabullerle belirlenmektedir, Priestley ve diğ., (2007). En büyük yerdeğiştirme (Δ_u) değeri de aynı şekilde (a) en büyük yatay yüke karşı gelen yerdeğiştirme (Şekil 4.4a’da 4 noktası), (b) en büyük yükün veya V_y ’nin değerinin % 70-50’sine iniş kolunda karşı gelen yükün yerdeğiştirme değerleri (Şekil 4.4a’da 5 noktası) ve buna benzer başka kabullerle seçilmektedir. Akma yerdeğiştirmesinin (V_y) seçimi için de çeşitli yaklaşımlar vardır. Bu yaklaşımlar uygulanırken, yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alan ile iki doğrulu olarak idealize edilen eğrinin altında kalan alanın yaklaşık olarak aynı olmasına dikkat edilmelidir. Alanların bu şekilde kullanılması, yerdeğiştirme çevrimleri sırasında tüketilen enerjilerin esas sistemde eşitliğini ifade eden enerji eşitliği anlamına gelmektedir. Bahsedildiği gibi yapılan farklı yaklaşımlarla iki doğrulu olarak idealleştirilen eğrilerden belirlenen Δ_y , Δ_{max} ve Δ_u değerleri ile hesaplanan süneklik değerleri birbirinden farklı olacaktır.



Şekil 4.4 : Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisinin iki doğru olarak idealleştirilmesi için farklı yaklaşımlar; (a) Priestley ve diğ., 2007, (b) Paulay ve Priestley, 1992, (c) Maheri ve Akbari, 2003.

Bu çalışmada numunelerin yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrilerinin iki doğru olarak idealleştirmesinde eğriyi tanımlayan noktalar, numunelerin yük-yerdeğiştirme eğrilerinin özellikleri gözönüne alınarak belirlenmiştir. Δ_y belirlenirken Priestley ve diğ., (2007)'de açıklandığı gibi başlangıç rijitliğinin esas alınmış olduğu 1 noktasına karşı gelen tanım benimsenmiştir ve bu yerdeğiştirme değerine “Eşdeğer akma yerdeğiştirmesi”, ($\Delta_{eşdy}$) denilmiştir. Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrilerinde en büyük yükün % 35 ve % 5’lik değerleri arasında kalan bölümünün rijitliği başlangıç rijitliği olarak kabul edilmiştir. İki doğru idealleştirilmiş eğride yatay yük “Önerilen göçme yükü”, (P_{G2}), olarak isimlendirilmiştir. Önerilen göçme yükü, her bir numune için yük-yerdeğiştirme zarf eğrisinden enerji eşitliği esas alınarak, zarf eğrisi ve idealleştirilmiş eğrinin altında kalan alanların yaklaşık olarak eşitliğinden hesaplanmış ve en büyük yükünün (P_{G1}) α katı olarak ifade edilmiştir, ($P_{G2}=\alpha P_{G1}$). α katsayılarının bütün numuneler için 0.90-0.85 civarında değıştiğı görülmektedir.

P_{G2} değerinin yatay yük-tepe yerdeğiştirme zarf eğrisinin iniş kolunda bulunduğu noktaya karşı gelen yerdeğiştirme değeri sonuç yerdeğiştirme, Δ_{G2} , olarak kabul edilmiştir. Bu yerdeğiştirme değelerinde numunelerin hala kararlılığını korumakta olduğu gözlemlenmiştir. P_{G2} değerinden çizilen yatay doğru ile başlangıçtan geçen ve eğimi zarf eğrisinin başlangıç rijitliği kadar olan doğrunun keşiştiği noktanın yerdeğiştirme koordinatı Δ_{esdy} olarak belirlenmiştir. Numunenin bu şekilde tanımlanan yerdeğiştirmelere göre “eşdeğer yerdeğiştirme sünekliği” değeri, (μ_{esd});

$$\mu_{esd} = \frac{\Delta_{G2}}{\Delta_{esdy}} \quad (4.3)$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Bir fikir edinebilmek ve karşılaştırma yapabilmek amacı ile numunelerin yukarıda açıklandığı gibi farklı esaslara dayalı olarak ortaya çıkan süneklik oranları da hesaplanmış ve Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Sonuç yerdeğiştirmenin, en büyük yatay yüke karşı gelen yerdeğiştirme değeri (Δ_{G1}) olarak belirlenmesiyle hesaplanan süneklik (μ_{G1});

$$\mu_{G1} = \frac{\Delta_{G1}}{\Delta_{esdy}} \quad (4.4)$$

ve akma yerdeğiştirmesi olarak şekil 4.4a’da tanımlanan 2 noktasının seçildiği (Δ_{y2}) süneklik (μ_2);

$$\mu_2 = \frac{\Delta_{G2}}{\Delta_{y2}} \quad (4.5)$$

formülleri ile hesaplanmıştır. Δ_{y2} yerdeğiştirme değelerinin yük-yerdeğiştirme eğrilerinden ve deneysel gözlemlerden saptanmasında çeşitli zorluklar vardır.

4.4 Kuvvet Azaltma Çarpanı

Numunelerin iki doğru ile idealleştirilmiş yatay yük-tepe yerdeğiştirme zarf eğrileri kullanılarak kuvvet azaltma çarpanları (R) hesaplanmıştır. Yaklaşık olarak elastik ivme spektrumunun en büyük olduğu ivme değeri karşı gelen periyottan daha büyük serbest titreşim periyoduna sahip sistemlerde lineer ve lineer olmayan ve

zaman artımı yöntemi ile hesaplanmış yerdeğiştirmelerin eşit olması, bundan küçük periyotlarda enerji eşitliği, periyotların sıfıra yakın bölgelerde olması halinde de ivmelerin eşitliği söz konusudur, (Paulay ve Priestley, 1992). Ancak bu alanlar kesin olarak belirtilememektedir ve pek çok parametreye bağlı olduğu için kabaca uzun periyotlarda yerdeğiştirme eşitliği, çok kısa periyotlarda ivme eşitliği, arada kalan durumlarda ise enerji eşitliğinden söz edilebilir. Buna göre kuvvet azaltma arpanı (R);

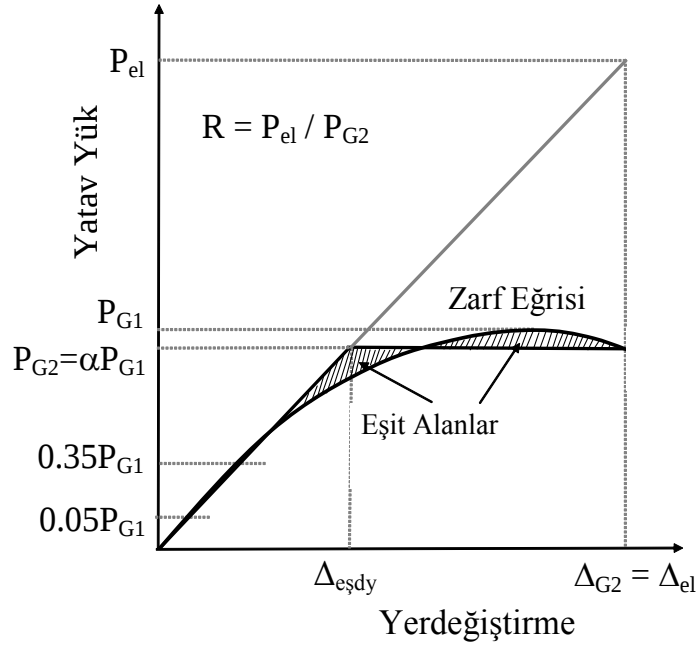
$$\text{Uzun periyotlu yapılar için : } R = \mu \quad (4.6)$$

$$\text{Kısa periyotlu yapılar için } R = \sqrt{2\mu - 1} \quad (4.7)$$

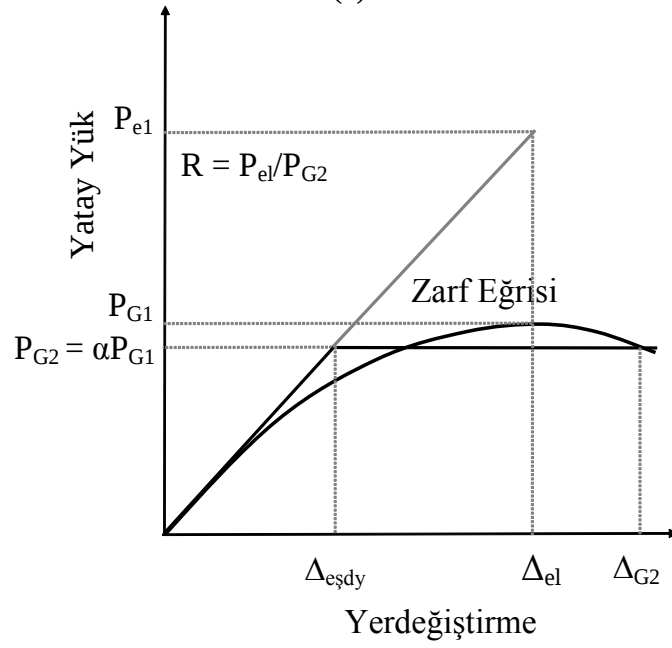
$$\text{Periyodu sıfıra yakın olan yapılar için : } R = 1 \quad (4.8)$$

olmaktadır. Başlangıç rijitlikleri eşit lineer ve lineer olmayan iki sistemin yük-yerdeğiştirme eğrilerinin eşit yerdeğiştirme ve eşit enerji durumları ve kuvvet azaltma arpanı (R) şekil 4.5’de gösterilmiştir. Deney numunlerinden elde edilen R katsayıları ve şekil 4.5’deki yöntemlere göre bulunan değerler izelge 4.4 de verilmiştir.

Kuvvet azaltma çarpanı değerleri için, sınırlı sayıda deneyden elde edilen sonuçların genelleştirilebilmesi, bu konuda yeni deneylerin gerçekleştirilmesi ve kullanılacak yeni ölçüm düzeneklerinin artması beklenen duyarlılıkları ile ilgili olacaktır.



(a)



(b)

Şekil 4.5 : Başlangıç rijitlikleri eşit lineer ve lineer olmayan sistemlerin yük-yerdeğiştirme eğrilerinde (a) eşit yerdeğiştirme durumu, (b) eşit enerji durumu ve kuvvet azaltma çarpanı, (R).

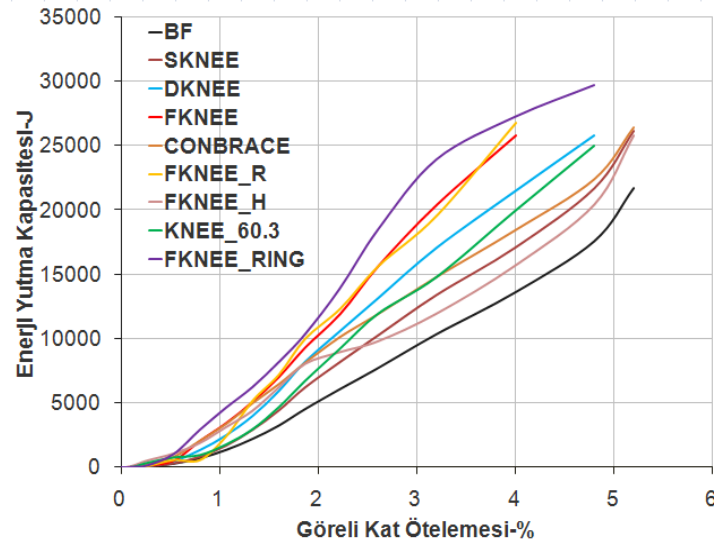
Çizelge 4.4 : Deney numunelerine kuvvet azaltma çarpanı-R değerleri.

Numuneler	δ_y^*	δ_{u1}	μ	P_s	P_{e1}^*	R_μ	R_s	R_a	P_u	βP_u	δ_y	δ_{u2}	R_b
BF	1.6	9.6	6	35	338	6	1.6	9.6	61.4	52	2.1	22	10.5
DKNEE	2.4	12	5	42	432	5	2.2	10.4	102.7	87	2.7	26.2	9.7
FKNEE	2.2	17.5	8	37	494	5	2.5	13.2	103.6	88	3	36	12.0
CONBRACE	1.5	6.2	4	56	384	3	2.0	6.9	129	110	2	12	6.0
FKNEE_RV	2.54	20.4	8	35	468	5	2.5	13.4	108	92	2.4	28.5	12
FKNEE_H	4.86	14.2	3	50	326	2	2.7	6.5	160	136	4.1	24.5	6
KNEE_60.3	2.4	16.8	7	42	365	4	2.1	8.7	112	95	2.8	20.5	7
FKNEE_RI	2.62	26	10	32	533	6	2.6	16.4	110	94	2.4	38	15.8

4.5 Enerji Yutma Kapasitesi

Numunelerin enerji tüketimleri yatay yük-yerdeğiştirme grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Her çevrim için yatay yük-yerdeğiştirme grafiklerinin altındaki alan tüm deney numuneleri için hesaplanmıştır. Her numunenin tükettiği enerji uygulanan yükleme patronuyla doğrudan ilişkilidir. Deney numuneleri arasında sağlıklı karşılaştırma yapabilmek için numunelerin yerdeğiştirme patronu aynı veya çok benzer olması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı tüm deney numunelerinde aynı yerdeğiştirme protokolü kullanılmıştır. Tüm deney numunelerine ait karşılaştırmalı enerji tüketim kapasite grafiği Şekil 4.6 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Betonarme yalın çerçeveye göre güçlendirilen numunelerin enerji tüketim kapasitelerindeki artış kayda değer bulunmuştur. SKNEE numunesi için deney sırasındaki değişik kat ötelemelerine bakıldığında yaklaşık olarak yalın çerçeveden ilk adımlarda 3 kat daha fazla enerji yuttarken deney sonunda yaklaşık 4 kat daha fazla enerji tüketim kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. DKNEE numunesi de aynı şekilde yalın çerçeveden 4.2 ile 5.6 kat arasında daha fazla enerji tüketim kapasitesine sahiptir. FKNEE numunesinde ise bu oran 5.9 ile 6.4 kat arasında değişmektedir. CONBRACE numunesinde FKNEE numunesine yakın bir değer söz konusudur.



Şekil 4.6 : Tüm deney numunelerine ait yığışımli çevrimsel enerji grafiği.

Çizelge 4.5 : Numunelere ait enerji tüketim kapasiteleri.

Numune Kodları	Enerji Tüketim Kapasiteleri (kN-mm)					E/E _{yalın}			
	%1.1	%1.6	%2.1	%3.2	%4.0	%1.1	%1.6	%2.1	%3.2
BF	585	1172	1882	2926	4166	1.00	1.0	1.0	1.0
SKNEE	1706	4435	8202	13406	17093	2.92	3.78	4.36	4.6
DKNEE	2506	5940	10598	17054	21465	4.28	5.07	5.63	5.8
FKNEE	3464	7043	11954	20423	25792	6.1	6.00	6.35	7.0
CONBRACE	3397	6471	10152	14806	18450	5.81	5.52	5.40	5.1
FKNEE_REV	2437	7224	12349	19571	26758	4.16	6.16	6.56	5.36
FKNEE_H	3141	6214	8971	11954	15693	5.37	5.30	4.77	3.36
KNEE_60.3	1786	4667	9225	14777	19929	3.05	3.98	4.90	4.09
FKNEE_RING	4650	8178	13914	23914	27234	7.95	6.98	7.39	6.03

İkinci grup deneyler sonunca beklendiği üzere FKNEE_RING li olan sistem daha fazla enerji yutma kapasitesine ulaşmıştır. Birinci grup deney sonuçlarına göre yapılan iyileştirme sonucunda FKNEE numunesinin eşdeğeri olan FKNEE_REV numunesi enerji yutma kapasitesi ilk deneyle çok yakın bulunmuştur. FKNEE_H numunesinde ise numunenin daha önceden hasarlanması sonucu deneyden önce eopksi ile onarımı yapıldıktan sonra denenmiş olup enerji yutma kapasitesi yalın çerçeveye oranla 5 kat daha fazla olmuştur.

4.6 Çevrimsel Sönüm Değerleri

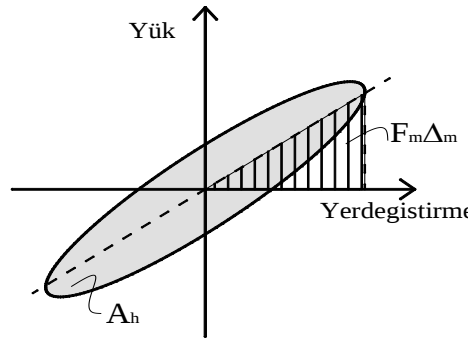
Eşdeğer viskoz sönüm değeri, ξ_{eq} , elastik sönüm, ξ_{el} , ve çevrimsel sönüm, ξ_{hyst} , değerlerinin toplamı olarak, Priestley ve ark., (2007);

$$\xi_{eq} = \xi_{el} + \xi_{hyst} \quad (4.9)$$

olarak hesaplanabilir. Çevrimsel sönüm, ξ_{hyst} , sistemin başlangıç koşullarından yeteri kadar uzak kalındığı durumun çevrimsel tepkisinde absorbe ettiği enerjiyi, eşdeğer bir sistemin belli bir yerdeğiştirme değerindeki viskoz sönüm değerine eşitleyerek bulunabilir. Yapılan bu kabul doğrultusunda;

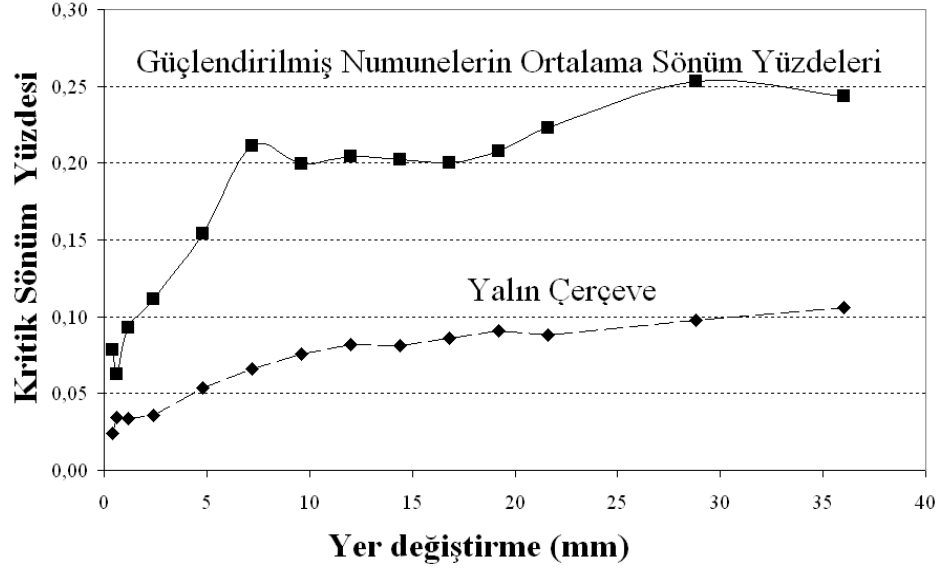
$$\xi_{hyst} = \frac{A_h}{2\pi F_m \Delta_m} \quad (4.10)$$

Burada A_h sistemin yük-yerdeğiştirme çevrimsel eğrisinde stabil her bir tam çevrimin içinde kalan alan, F_m ve Δ_m ise stabil bir çevrimdeki en büyük yük ve yerdeğiştirme değerleridir, Şekil 4.7.



Şekil 4.7 : Çevrimsel sönüm değerleri.

Tek katlı-tek açıklıklı betonarme çerçeve numunelerin herbir yerdeğiştirme adımında stabil olan çevrimleri seçilmiş, o çevrime ait ξ_{hyst} değerleri hesaplanmıştır ve karşı gelen kat ötelenme değerleri ile bir diyagramda gösterilmiştir, Şekil 4.8, Karadogan ve ark.(2009).



Şekil 4.8 : Deney numunelerine ait sönüm oranları.

Yatay yük taşıma kapasitesinin kararlı hale geldiği çevrimler dikkate alındığında, az katlı mevcut yapıların düşük maliyetli güçlendirme projelerinde ortalama viskoz sönüm oranının alınabileceği ve bu çalışmada bu tip yapılar için Türk Deprem yönetmeliği ve gerekli standartlarda verilen % 5 lik sönüm oranından daha büyük bir sönüm oranı alınabileceği söylenebilir, Şekil 4.8.

4.7 Hasar durumu

Burada deney sonuçlarından elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafikleri 4 bölgeye ayrılmıştır. Bunun için DBYBHY(2007) bölüm 7.7.6 da verilen görel kat ötelemelerinin sınırlandırılması için verilen tablodaki değerler kritik noktalar olarak seçilmiştir. Buna göre “1” nolu nokta hemen kullanım durumuna karşılık gelmekte ve görel kat ötelemesi oranı 0.008 ve buna karşılık gelen yerdeğiştirme değeri 7.2 mm dir. “2” nolu nokta ise çerçevede can güvenliği durumuna karşılık gelmekte ve görel kat ötelemesi oranı 0.02 ve buna karşılık gelen yerdeğiştirme değeri 18.0 mm dir. “3” noktası çerçevede göçmenin önlenmesi sınırı olup görel kat ötelemesi oranı

0.03 ve buna karşılık gelen yerdeğiştirme değeri 27 mm dir. “4” nolu durum ise deney sonunu belirtmekte olup göreceli kat ötelemesi oranı 0.05 ve buna karşılık gelen yerdeğiştirme değeri 45 mm dir. Yukarıdaki değerlendirme göz önüne alınarak BF, SKNEE, DKNEE, FKNEE ve CONBRACE deney sonuçları grafikler ve yukarıda belirtilen kritik noktalardaki hasar fotoğrafları ile birlikte karşılaştırılmıştır.

BF deneyinde $P_{max}=58.6$ kN/-57.8 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=1.0$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=59.1$ kN/-60.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=3.0$ mm olarak ölçülmüştür. 3- nolu durumda ise $P_{max}=61.4$ kN/-60.3 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=10.0$ mm olarak ölçülmüştür. Deney sonunda ise $P_{max}=50.8$ kN/-53.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max} \geq 10.0$ mm olarak ölçülmüştür.

SKNEE deneyinde $P_{max}=76.6$ kN/-75.6 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.6$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=78.6$ kN /-74.8 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=1.6$ mm olarak ölçülmüştür. 3- nolu durumda ise $P_{max}=71.1$ kN/-73.9 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=2.5$ mm olarak ölçülmüştür. Deney sonunda ise $P_{max}=50.4$ kN/-50.8 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max} \geq 3.5$ mm olarak ölçülmüştür.

DKNEE deneyinde $P_{max}=94.5$ kN/-98.8 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.3$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=91.2$ kN/-92.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.9$ mm olarak ölçülmüştür. 3- nolu durumda ise $P_{max}=83.6$ kN/-87.3 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=3.0$ mm olarak ölçülmüştür. Deney sonunda ise $P_{max}=68.3$ kN/-kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max} \geq 3.5$ mm olarak ölçülmüştür.

FKNEE deneyinde $P_{max}=90.9$ kN/-91.3 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.4$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=98.1$ kN/-98.4 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=3.0$ mm olarak ölçülmüştür. 3- nolu durumda ise $P_{max}=94.5$ kN/-95.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max} \geq 3.5$ mm olarak ölçülmüştür. Deney sonunda ise $P_{max}=73.8$ kN/-71.7 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max} \geq 3.5$ mm olarak ölçülmüştür.

CONBRACE deneyinde $P_{max}=124.0$ kN/-120.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.7$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=89.7$ kN/-87.6 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=2.0$ mm olarak ölçülmüştür. 3- nolu durumda ise

$P_{max}=80.2$ kN/-85.3 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=2.5$ mm olarak ölçülmüştür. Deney sonunda ise $P_{max}=66.6$ kN/-62.5 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=3.5$ mm olarak ölçülmüştür.

FKNEE_REV deneyinde $P_{max}=90.7$ kN/-96.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.5$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=108.3$ kN/-104.8 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=1.0$ mm olarak ölçülmüştür. 3-nolu durumda ise $P_{max}=89.1$ kN/-84.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=1.2$ mm olarak ölçülmüş olup eksenel kuvvet probleminden dolayı deney burada bitirilmiştir.

FKNEE_H deneyinde $P_{max}=122.6$ kN/-87.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.5$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=149.2$ kN/-135.1 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=2.0$ mm olarak ölçülmüştür. 3-nolu durumda ise $P_{max}=132.2$ kN/-131.9 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=2.2$ mm olarak ölçülmüştür. Deney sonunda ise $P_{max}=61.8$ kN/-71.4 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=3.5$ mm olarak ölçülmüştür.

KNEE_60.3 deneyinde $P_{max}=97.2$ kN/-76.0 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.5$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=103.0$ kN/-98.8 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=2.1$ mm olarak ölçülmüştür. 3-nolu durumda ise $P_{max}=98.3$ kN/---kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=2.7$ mm olarak ölçülmüştür.

FKNEE_RING deneyinde $P_{max}=86.8.0$ kN/-74.9 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=0.5$ mm olarak ölçülmüştür. 2-nolu durumda ise $P_{max}=105.3$ kN/-98.4 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=1.0$ mm olarak ölçülmüştür. 3-nolu durumda ise $P_{max}=110.9$ kN/-97.3 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=1.8$ mm olarak ölçülmüştür. Deney sonunda ise $P_{max}=72.0$ kN/-63.6 kN iken en büyük çatlak genişliği $\Delta_{max}=3.5$ mm olarak ölçülmüştür.

5. MEVCUT YAPI STOĞUNU TEMSİL EDEN BETONARME TAŞIYICI SİSTEMİ

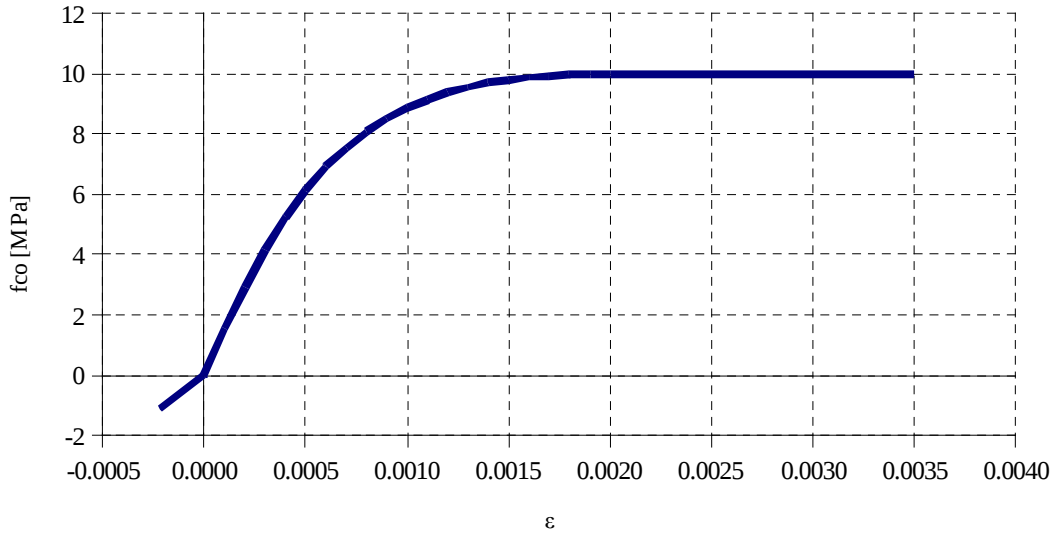
5.1 Sistem Boyutlandırılması

Mevcut yapı stoğu düşünüldüğünde, yapılan araştırmalar beton kalitesinin çok düşük değerlerde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çalışmada göz önüne alınan örnek yapıda beton dayanımı yaklaşık olarak 10 MPa'dır.

Hesaplarda kullanılan beton mekanik özellikleri aşağıda, gerilme-şekildeğiştirme diyagramı ise Şekil 5.1'de verilmiştir.

$$f_{co} = 10 \text{ MPa}$$

$$E_c = 15811.39 \text{ MPa (Cömlek, 2008)}$$

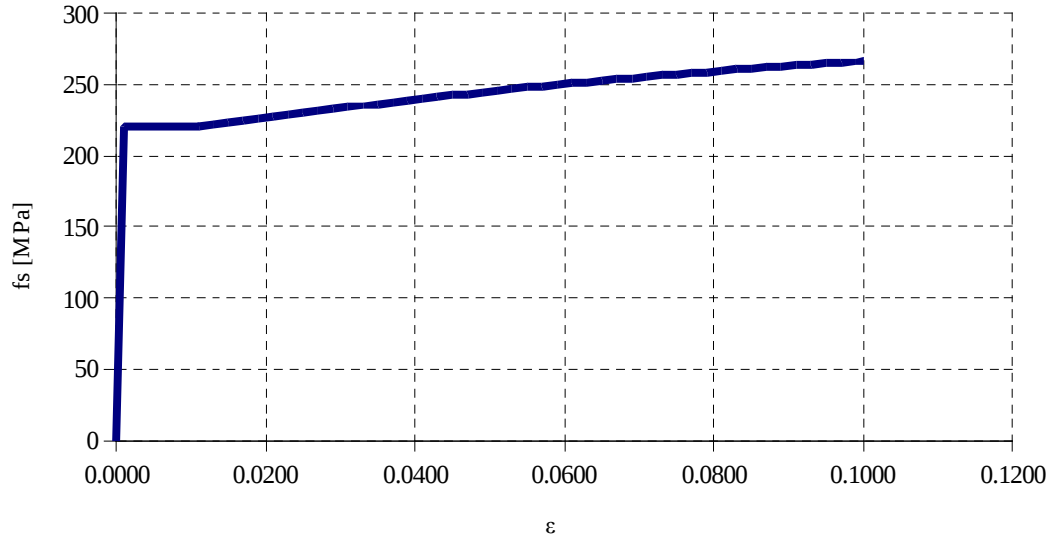


Şekil 5.1 : Betona ait gerilme-şekil değıştirme grafiği.

Mevcut yapılarda kullanılan donatıların büyük bir kısmının çelik sınıfı da BÇI (S220) olduğu bilinmektedir. Bu doğrultu da seçilen donatı çeliği mekanik özellikleri aşağıda, gerilme-şekildeğiştirme diyagramı ise Şekil 5.2'de verilmiştir.

$$f_s = 220 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

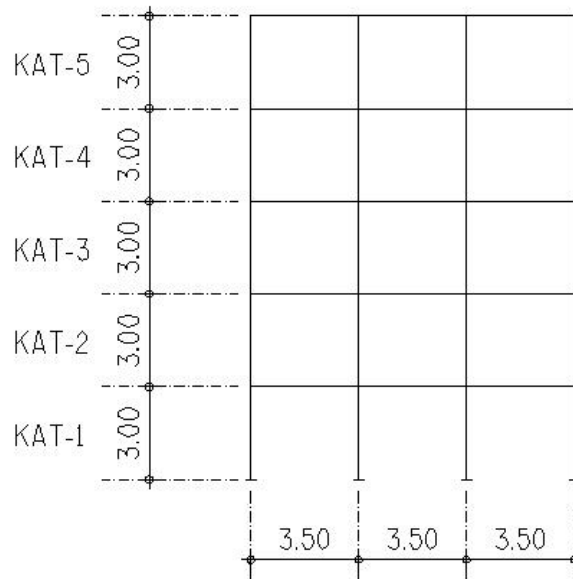


Şekil 5.2 : Donatıya ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.

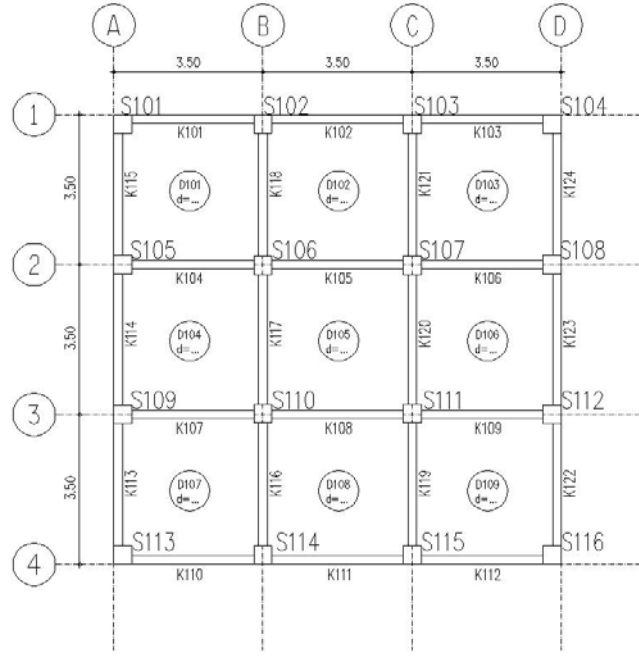
5.1.1 Yapı kat ve aks bilgisi

Çalışmanın amacının az katlı mevcut betonarme yapılarda toptan göçmenin önlenmesi olduğu düşünülürse mevcut yapı stoğundaki binalar genellikle 4-6 kat arasında değişmektedir. Buradan hareketle çalışmada kullanılan model yapı, 3.00 m kat yüksekliğinde ve 5 katlı olarak seçilmiştir, Comlek (2008).

Yapı sistem kesiti ve sistem planı Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Yapıya ait tüm hesaplar ve çizimler EK A.5'de verilmiştir



Şekil 5.3 : Oluşturulan sistem şekli.



Şekil 5.4 : Oluşturulan sistem planı.

Çizelge 5.1 : Kolon normal kuvvetleri.

KOLON	KAT	bxh	N(kN)	N _M
S101 S104 S113 S116	5	25 x 25	27.9	27.9
	4	25 x 25	69.8	91.0
	3	25 x 25	112.2	
	2	25 x 25	154.3	
	1	25 x 25	195.9	175.1
S102 S103 S114 S115	5	25 x 25	45.6	45.6
	4	30 x 25	118.7	155.0
	3	30 x 25	191.2	
	2	35 x 25	265.1	
	1	35 x 25	339.4	302.3
S105 S108 S109 S112	5	25 x 25	45.6	45.6
	4	25 x 30	118.7	155.0
	3	25 x 30	191.2	
	2	25 x 35	265.1	
	1	25 x 35	339.4	302.3
S106 S107 S110 S111	5	30 x 30	84.6	84.6
	4	35 x 35	200.6	264.2
	3	35 x 35	327.8	
	2	40 x 40	457.3	
	1	40 x 40	586.4	521.9

5.2 Yapının Lineer Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yöntemi İle Analizi

2007 Yılında yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY'07)” kapsamında, yapıların deprem etkileri karşısındaki davranışları ile tanımlanan yapı performanslarının belirlenmesi için çeşitli yöntemler verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında; yapıların performans düzeylerinin belirlenmesinde artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntemde yapı, düşey yük analizinden sonra başlayan doğrusal olmayan itme analizinde, birinci doğal titreşim mod şekli ile orantılı olarak arttırılan eşdeğer deprem yükleri ile yüklenir. Monotonik olarak arttırılan her yükleme adımından sonra yapıda meydana gelen yerdeğiştirmeler, plastik şekil değiştirmeler ve iç kuvvetler kaydedilir. En son adımda bu değerler kümülatif olarak toplanır ve deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

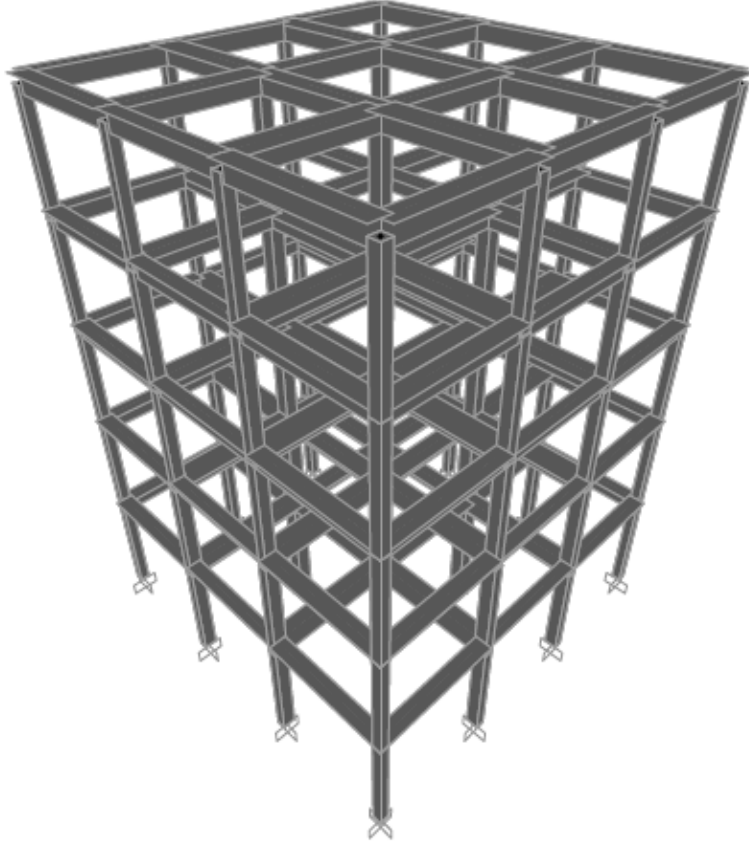
Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için DBYBHY(2007)'de aşağıdaki bazı kısıtlamalar tanımlanmıştır;

- a) Yapı kat sayısı (bodrum hariç) sekiz kattan fazla olmamalıdır.
- b) Herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.40$ koşulu sağlanmalıdır.
- c) Doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci hakim titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlelerine oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Bu çalışmada göz önüne alınan yapı yukarıda verilen koşulları sağlamaktadır.

5.2.1 Mevcut yapı stoğunu temsil eden binanın taşıyıcı sistemi

Yapının artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi için SAP2000 programı kullanılmıştır. Bölüm 5.1 hesaplanan taşıyıcı sisteme ait özellikler doğrultusunda SAP2000 veri giriş datası oluşturulmuştur. Sistemin üç boyutlu görünüşü Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5 : SAP2000 Programında Yapının Üç Boyutlu Görünüşü

5.2.2 Etkin rijitlik kabulleri

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacağından aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- a) Kirişlerde : $(EI)_e = 0.40(EI)_0$
- b) 1. ve 2. Kat Kolonlarında : $(EI)_e = 0.80(EI)_0$
- c) 3. ve 4. Kat Kolonlarında : $(EI)_e = 0.60(EI)_0$
- d) 5. Kat Kolonlarında : $(EI)_e = 0.40(EI)_0$

5.2.3 Kesit davranış kabulleri

Hesaplarda, kesit moment-eğrilik diyagramları plastik mafsallık boyu olan $L_p = 0.5h$ ile çarpılarak moment-dönme diyagramları elde edilmiştir. Bu diyagramlar plastik mafsallık özellikleri olarak itme analizinde kiriş ve kolonların uç noktalarına atanmıştır.

5.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi ile itme analizinde, eşdeğer deprem yüğü dağılımının sabit kaldığı varsayımı yapılmıştır. Dolayısıyla yük dağılımı, birinci doğal titreşim modu genliğinin ilgili kütle ile çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanmıştır.

Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilmiştir. Dolayısıyla mod şekli genliklerinde, her katın kütle merkezinde birbirine dik iki yatay ötelemesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönmeler de göz önüne alınmıştır.

5.3.1 Doğrusal elastik davranış

İtme analizi öncesinde yapının doğrusal elastik çözümü yapılmış ve birinci doğal titreşim periyodu ve bu periyoda ait mod genliği hesaplanmıştır.

Hesap sonucu ; $T_1 = 1.18$ sn

Bu moda ilişkin etkin kütle oranı 0.79 olarak hesaplanmıştır.

Bu işlemin sonucunda itme analizinin başlangıç koşulları oluşmuştur. Birinci doğal titreşim periyoduna ait veriler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Birinci doğal titreşim periyoduna ait bilgiler.

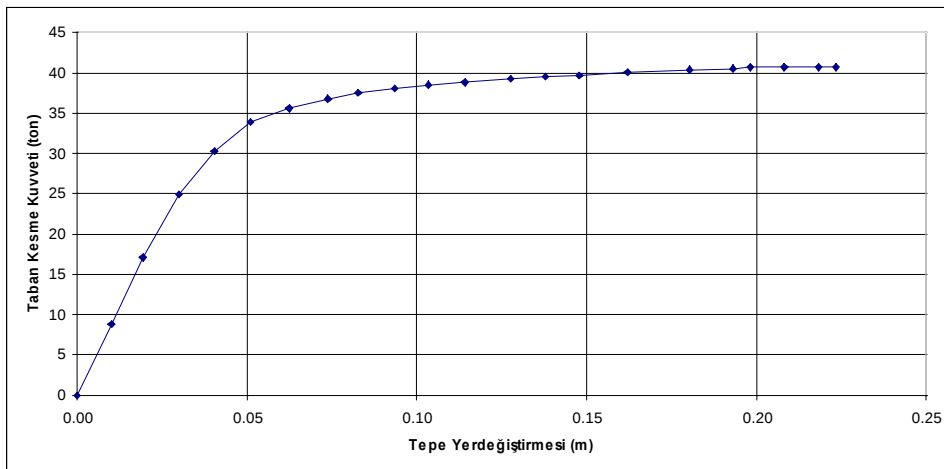
Kat	ϕ_{i1}	m_i	$m_i \phi_{i1}$	$m_i \phi_{i1}^2$
5	0,18164	7,8712	1,4297	0,2597
4	0,15376	12,7467	1,9600	0,3014
3	0,11924	12,8347	1,5304	0,1825
2	0,06991	12,9303	0,9039	0,0632
1	0,03070	13,0259	0,3999	0,0123
Σ		59,41	6,22	0,82

5.3.2 İtme analizi ve performans noktasının belirlenmesi

İtme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi eğrisi Şekil 5.6’da modal yerdeğiştirme-modal ivme diyagramına dönüştürölmüş yeni durum Çizelge 5.3’de verilmiştir.

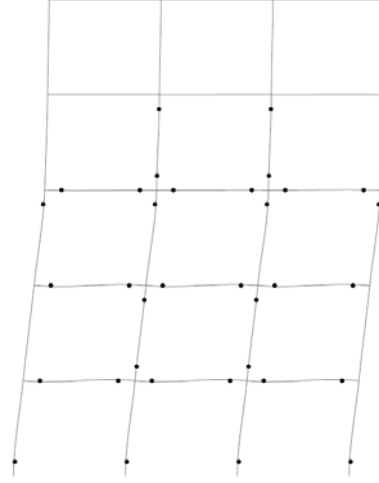
Çizelge 5.3 : Modal yerdeğiştirme-modal ivme dönüşüm çizelgesi.

Adım	u_{xi} m	V_{xi} kN	d_i m	a_i m/sn ²
0	0.0000	0.000	0.0000	0.0000
1	0.0100	88.392	0.0073	0.1873
2	0.0194	171.425	0.0141	0.3633
3	0.0299	249.166	0.0217	0.5281
4	0.0403	302.579	0.0292	0.6413
5	0.0510	337.986	0.0370	0.7164
6	0.0622	356.201	0.0452	0.7550
7	0.0739	367.935	0.0537	0.7798
8	0.0828	375.217	0.0601	0.7953
9	0.0936	379.939	0.0679	0.8053
10	0.1036	384.304	0.0752	0.8145
11	0.1143	388.215	0.0829	0.8228
12	0.1276	392.089	0.0926	0.8310
13	0.1381	394.656	0.1002	0.8365
14	0.1481	396.952	0.1075	0.8413
15	0.1620	400.138	0.1176	0.8481
16	0.1803	404.062	0.1309	0.8564
17	0.1931	405.422	0.1401	0.8593
18	0.1983	405.925	0.1439	0.8604
19	0.2083	406.412	0.1512	0.8614
20	0.2183	406.893	0.1584	0.8624
21	0.2233	407.132	0.1621	0.8629

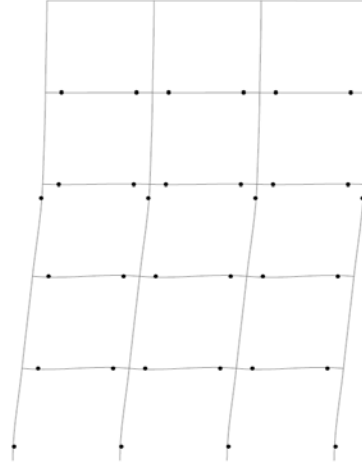


Şekil 5.6 : Taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi diyagramı.

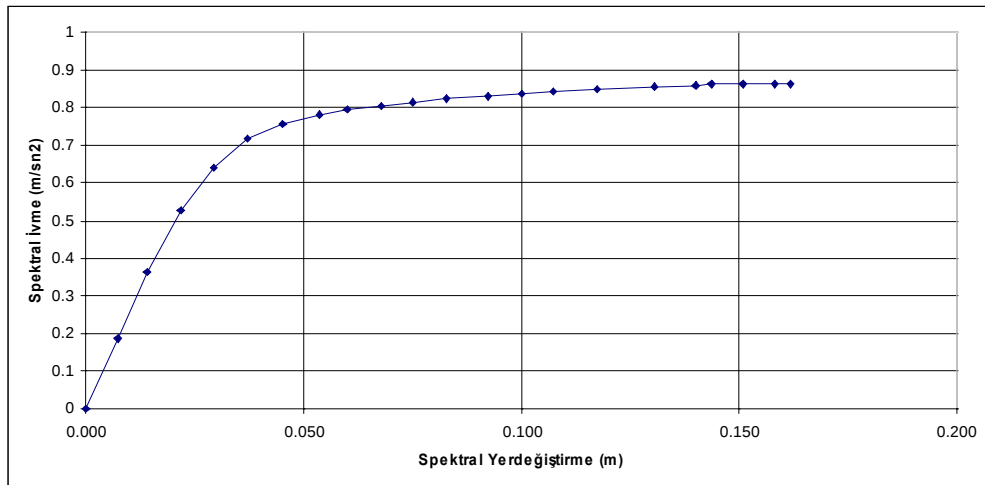
Ayrıca göçme anında oluşan plastik mafsallar Şekil 5.7 ve 5.8'de gösterilmektedir.



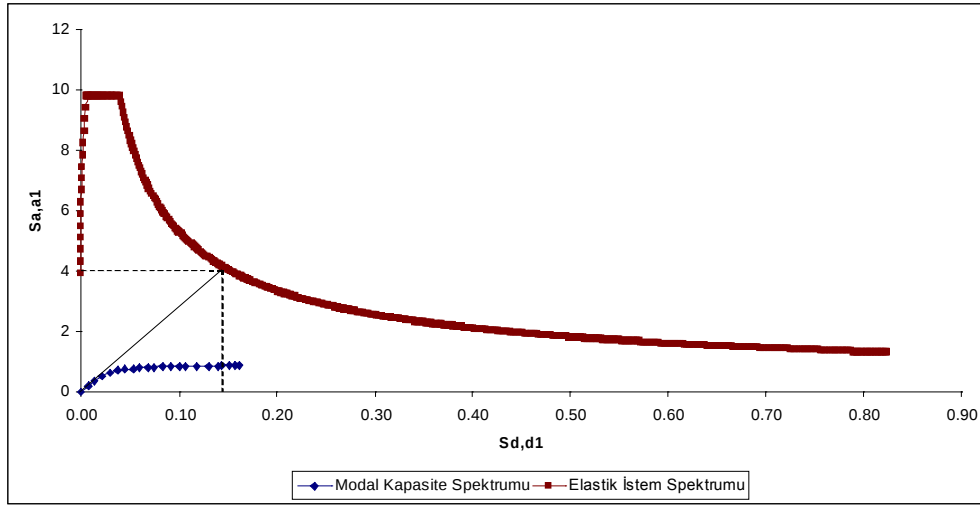
Şekil 5.7 : Göçme anında A-D aksında oluşan plastik mafsallar.



Şekil 5.8 : Göçme anında B-C aksında oluşan plastik mafsallar.



Şekil 5.9 : Spektral ivme-spektral yerdeğiştirmesi diyagramı.

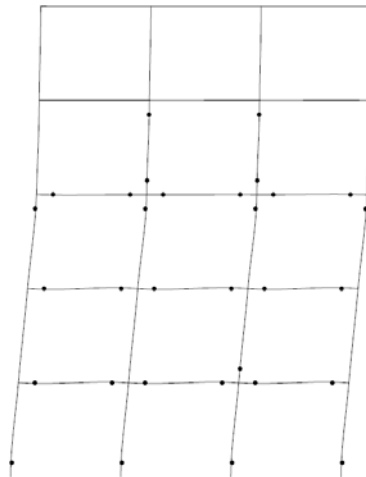


Şekil 5.10 : Performans noktasının belirlenmesi

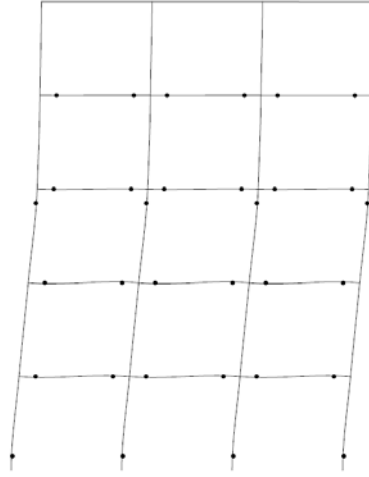
İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik istem spektrumu Şekil 5.9'da üst üste çakıştırılmış ve birinci moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, yani modal yerdeğiştirme istemi hesaplanmıştır.

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, binanın birinci doğal titreşim periyodu, karakteristik periyod T_B 'den büyük olduğu için, eşit yerdeğiştirme kuralına göre, doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye eşit kabul edilmiş ve bu diyagramın başlangıç eğiminin elastik spektrum eğrisini kestiği nokta modal yerdeğiştirme istemi olarak belirlenmiştir. İtme analizinin belirlenen yerdeğiştirme istemi ile tekrar analizi yapılmıştır.

Hesaplanan yerdeğiştirme istemine kadar tekrar itilen yapıda isteme ulaşıldığı anda oluşan plastik mafsallar Şekil 5.11 ve 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Tepe yerdeğiştirme istemine ulaşıldığı anda A-D aksında oluşan plastik mafsallar.



Şekil 5.12 : Tepe yerdeğiştirme istemine ulaşıldığı anda B-C aksında oluşan plastik mafsallar.

5.3.3 Bina performansının değerlendirilmesi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan hesapların sonucunda; kat bazında incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Birinci Katta; a) Tüm kolonlar göçmüştür.

b) Tüm kirişler belirgin hasar bölgesindedir.

İkinci Katta; a) S203 ve S215 kolonları minimum hasar bölgesindedir.

b) Tüm kirişler belirgin hasar bölgesindedir.

Üçüncü Katta; a) S305,S309,S308,S312 kolonları ileri hasar, diğerleri göçme bölgesindedir.

b)Tüm kirişler minimum ve belirgin hasar bölgesindedir.

Dördüncü Katta; a) Tüm kolonlar minimum hasar bölgesindedir.

b) Tüm kirişler minimum hasar bölgesindedir.

Beşinci Katta; a) Tüm kolonlar minimum hasar bölgesindedir.

b) Tüm kirişler minimum hasar bölgesindedir.

Sonuçlar tüm yapı için değerlendirilecek olursa, sistemin göçme bölgesinde olduğu görülmüştür.

5.4 Güçlendirilmiş Yapının Yanal İtme Analizi

Mevcut yapı stoğu düşünüldüğünde, yapılan araştırmalar beton kalitesinin çok düşük değerlerde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çalışmada göz önüne alınan örnek yapıda beton dayanımı yaklaşık olarak 10 MPa'dır.

$$f_{co} = 10 \text{ MPa}$$

$$E_c = 15811.39 \text{ MPa} \text{ (Cömlek, 2008)}$$

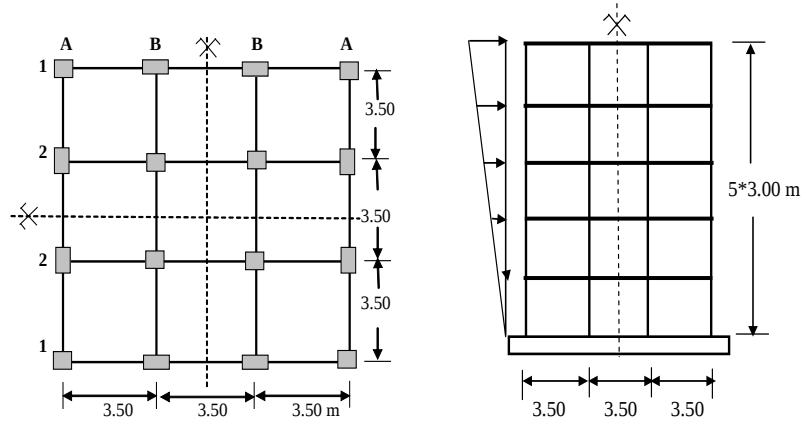
Mevcut yapılarda kullanılan donatıların büyük bir kısmının çelik sınıfı da BÇI (S220) olduğu bilinmektedir.

$$f_s = 220 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

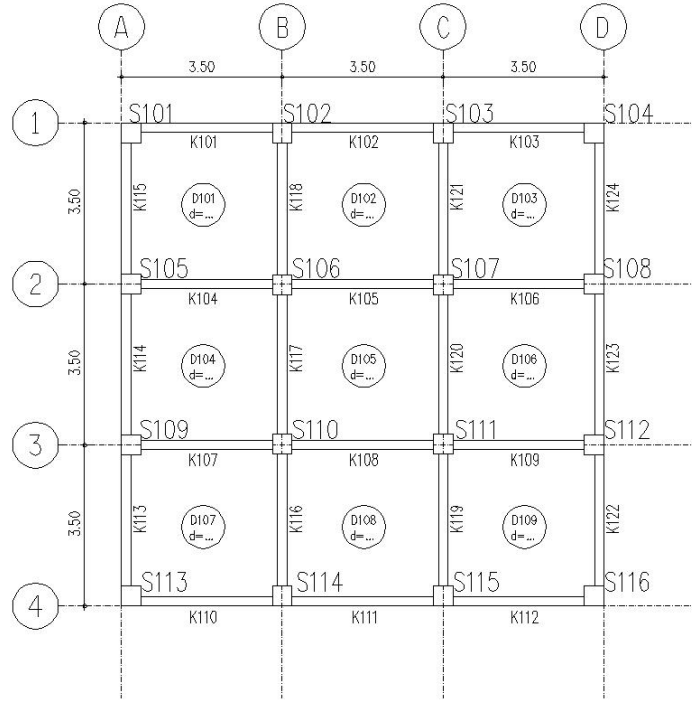
Çalışmanın amacının az katlı mevcut betonarme yapılarda toptan göçmenin önlenmesi olduğu düşünülürse mevcut yapı stoğundaki binalar genellikle 4-6 kat arasında değişmektedir. Buradan hareketle çalışmada kullanılan model yapı, 3.00 m kat yüksekliğinde ve 5 katlı olarak seçilmiştir.

Yapı sistem kesiti ve sistem planı ve Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : Oluşturulan sistem şekli.

Şekil 5.14 te yapıdaki kolon yerleşim planı gösterilirken Çizelge 5.4'te katlara göre kolon boyutları verilmiştir.

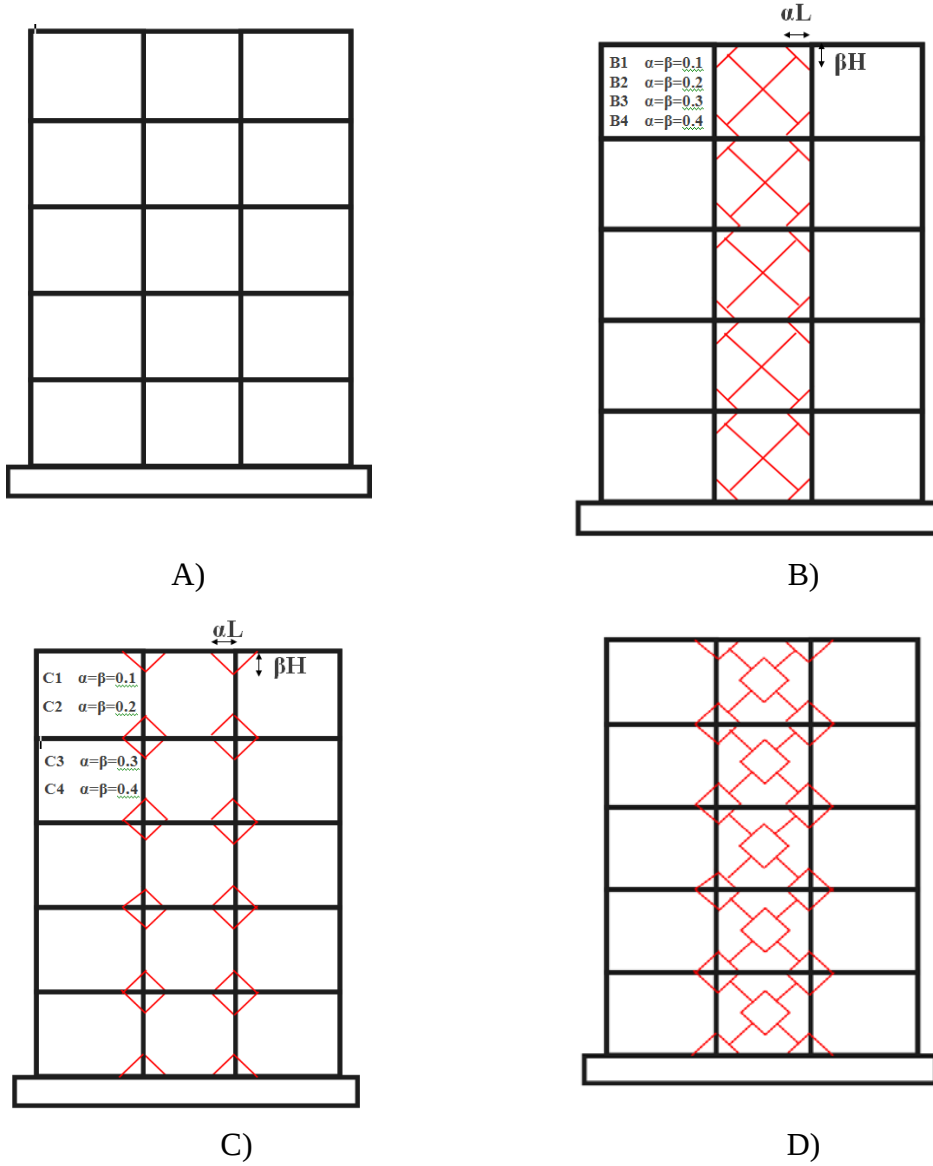


Şekil 5.14 : Model yapı kolon yerleşim düzeni.

Çizelge 5.4 : Katlara göre kolon boyutlarının hesaplanması

KOLON ADI	KAT NO	P (kN/m ²)	P _{KAT} (kN)	f _{co} (Mpa)	0.6 f _{co}	A _{KOL} (cm ²)	SEÇİLEN BOYUT (cm x cm)
S101	5	15.00	91.875	10.0	6.0	153.1	25x25
S104	4	15.00	91.875	10.0	6.0	306.3	25x25
S113	3	15.00	91.875	10.0	6.0	459.4	25x25
S116	2	15.00	91.875	10.0	6.0	612.5	25x25
	1	15.00	91.875	10.0	6.0	765.6	25x25
S102	5	15.00	45.938	10.0	6.0	76.6	25x25
S103	4	15.00	45.938	10.0	6.0	153.1	25x30
S105	3	15.00	45.938	10.0	6.0	229.7	25x30
S108	2	15.00	45.938	10.0	6.0	306.3	25x35
	1	15.00	45.938	10.0	6.0	382.8	25x35
S106	5	15.00	183.75	10.0	6.0	306.3	30x30
S107	4	15.00	183.75	10.0	6.0	612.5	30x35
S110	3	15.00	183.75	10.0	6.0	918.8	30x35
S111	2	15.00	183.75	10.0	6.0	1225.0	40x40
	1	15.00	183.75	10.0	6.0	1531.3	40x40

Bu çalışmada deneysel verilerden elde edilen bilgiler ışığında betonarme yapılarda çelik çapraz sistemler için kullanılabilecek geometrik yerleşim Şekil 5.15B-C-D’de verilmiştir. Bu yapılarda Şekil 5.15B’de dört köşeden çelik çaprazlı sistem (FKNEE), Şekil 5.15C’de dört köşeden çelik çaprazlı sistem (KNEE_60.3) ve Şekil 5.15D dört köşeden çelik çaprazlı sistem (FKNEE_RING) kullanılmıştır.

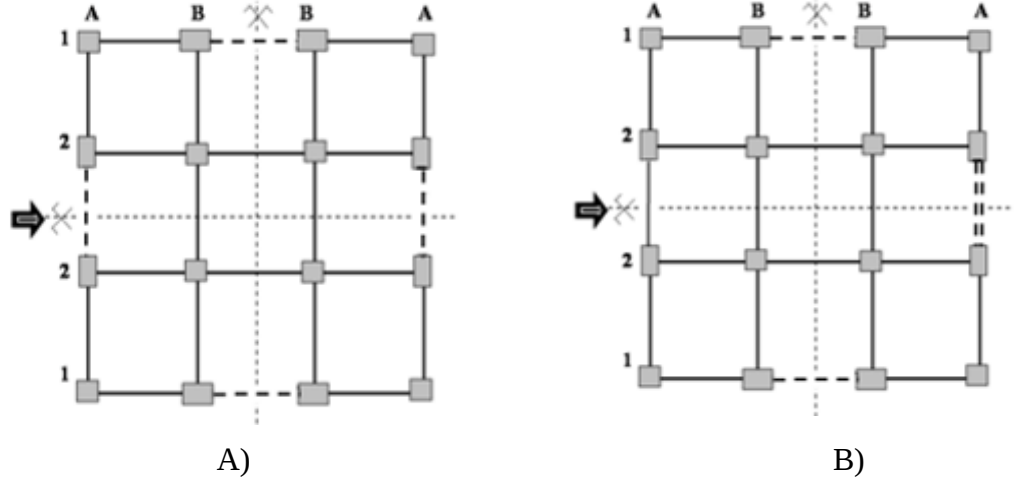


Şekil 5.15 : Model bina ve analizi yapılan farklı basit çelik çaprazla güçlendirilmiş yapı modelleri.

Öncelikle model yapının tüm kesitleri Bölüm 2.7.1.'de detayları verilen XTRACT programı kullanılarak her bir katta o kolona gelen eksenel kuvvet göz önüne alınarak moment-eğrilik durumları ve eksenel kuvvet-moment etkileşim grafikleri çizdirilmiştir. Bu grafikler kullanılarak SAP2000 Yapısal Analiz Programı'na yapı ile ilgili gerekli her bir kesite ait veriler girilmiş ve daha sonra her bir durum için yanal itme analizi uygulanarak yatay kuvvet- yer değiştirme grafikleri bulunmuştur. Her bir kesitte o kesite uygun plastik mafsalları tanımlanmış olup bu mafsalları özellikleri her bir kolon ve kirişin yapısal özelliklerine ve mafsalları oluşum mekanizmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bina kolon ve kirişlerine belirlenen özellikteki plastik mafsallar yerleştirildikten sonra, lineer olmayan statik

analizin yükleme durumları belirlenmiştir. İlk olarak binaya düşey yükler etki ettirildikten sonra yatay yükler adım adım artırılarak binanın analizi yapılmıştır. Binaya etki eden deprem yükleri bina tepe yerdeğiştirmeyi belirli bir noktaya ulaşıncaya kadar artırılmıştır.

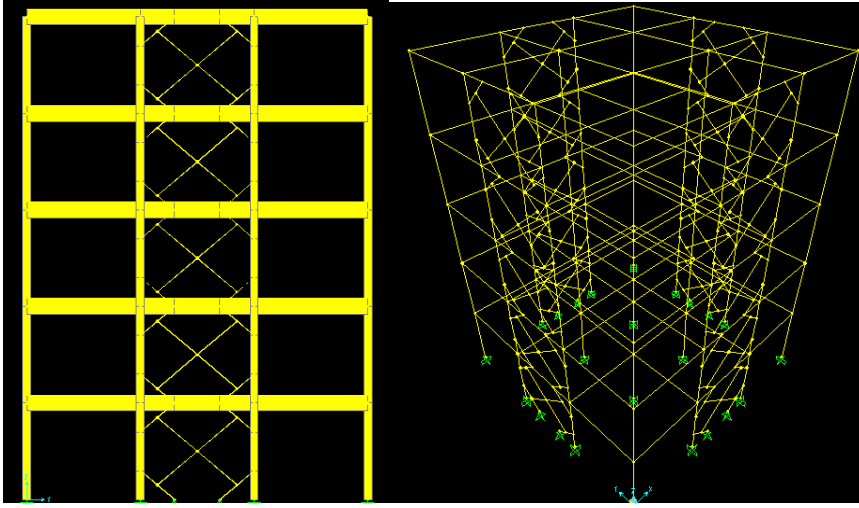
Şekil 5.15'te verilen güçlendirme durumları çelik çaprazların yapı üzerinde yerleşimi bakımından iki farklı durum göz önüne alınarak analizleri yapılmıştır, Şekil 5.16. ilk durumda çelik çaprazlar yapının dört kenarındaki orta akslara yerleştirilmişlerdir. İkinci durumda ise bir kenardaki çelik çapraz sistemi iptal edilip diğer tarafa o ekseninde aynı rijitliği sağlayacak şekilde boyutlandırılmış bir çelik çapraz kullanılarak analizler tamamlanmıştır.



Şekil 5.16 : Çelik çapraz sistemlerin yapı üzerindeki yerleşimi.

Güçlendirilmiş yapılarda kolon-kiriş bölgesine koyulan köşe çelik çaprazın yerleşim yeri kiriş ve kolon boylarının belirli oranları seçilerek (α ve β parametreleri) dört farklı yerleşim durumu için yanal itme analizleri yapılmıştır. Bu oranlar α ve β için 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4'tür.

Deneysel çalışmadan elde edilen ilk sonuca göre dört köşeden çelik çaprazlı sistem (FKNEE) güçlendirme olarak en etkin geometrik durumdur Şekil 5.17.

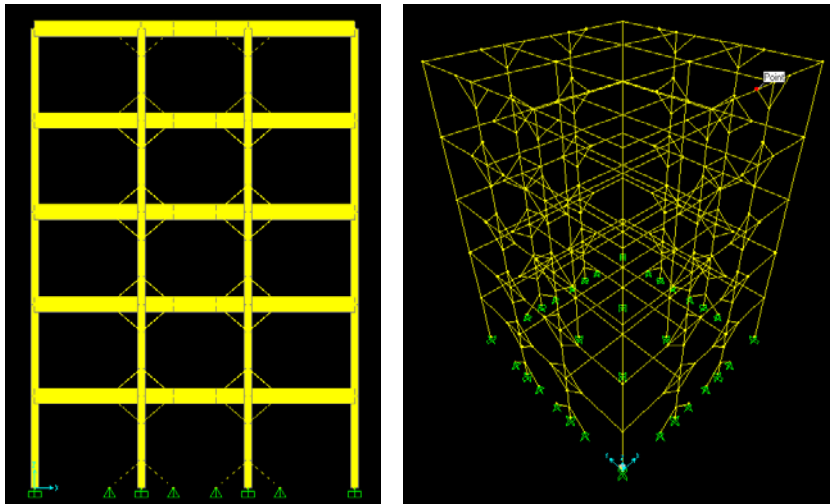


Şekil 5.17 : Şekil 5.15B durumu için oluşturulan yapı modeli.

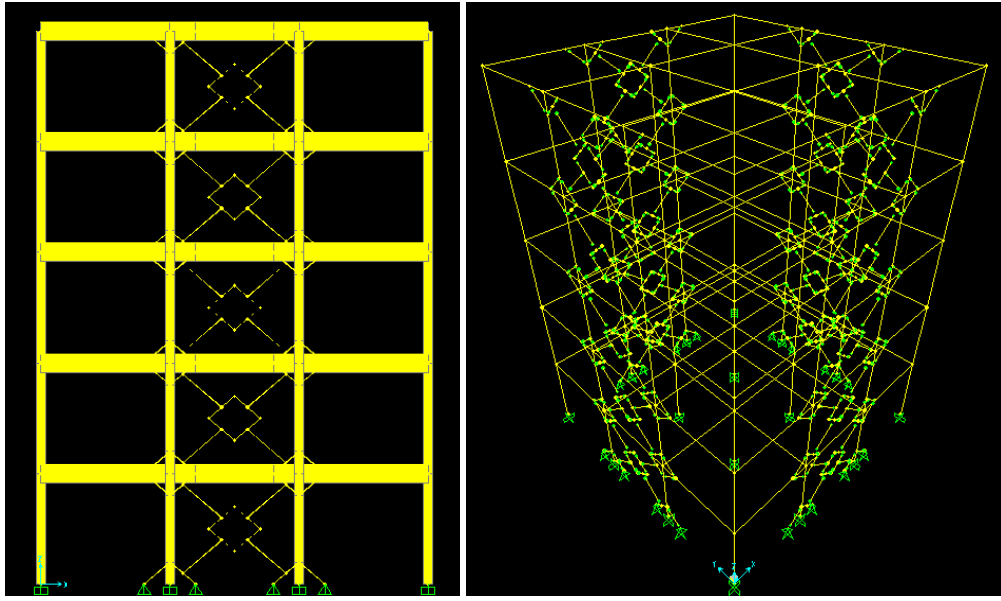
Bu analizler sonucunda köşeden çaprazların kolona bağlandığı yerlerde başlangıç yer değiştirme adımlarında plastik mafsall oluşumları gözlenmiştir. Bu da yapının daha ileri yerdeğiştirme adımlarına gitmesine engel olmuştur.

İkinci durumda Şekil 5.15C, sadece dört köşesinden çelik çapraz sistemi kullanılarak oluşturulan yapı modeli için gene aynı α ve β parametrelili göz önüne alınarak analizler yapılmıştır, Şekil 5.18.

Son olarak bu çalışmada deneysel olarak en etkin geomerik güçlendirme sistemi dört köşesinden çelik çapraz ve ortasında bir halka olan sistem olarak bulunmuştur. Bu durum göz önüne alınarak Şekil 5.15D'deki yapı modeli oluşturulmuştur, Şekil 5.19.



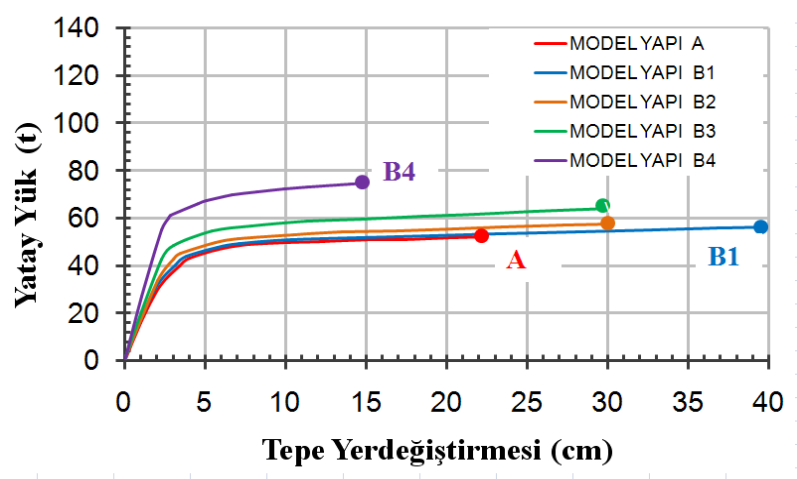
Şekil 5.18 : Şekil 5.66C durumu için oluşturulan yapı modeli



Şekil 5.19 : Şekil 5.66D durumu için oluşturulan yapı modeli

Yukarıdaki üç farklı güçlendirme sistemine göre elde edilen analiz sonuçlarına göre α ve β parametreleri için en etkin durum 0.2-0.3 aralığı olduğu söylenebilir.

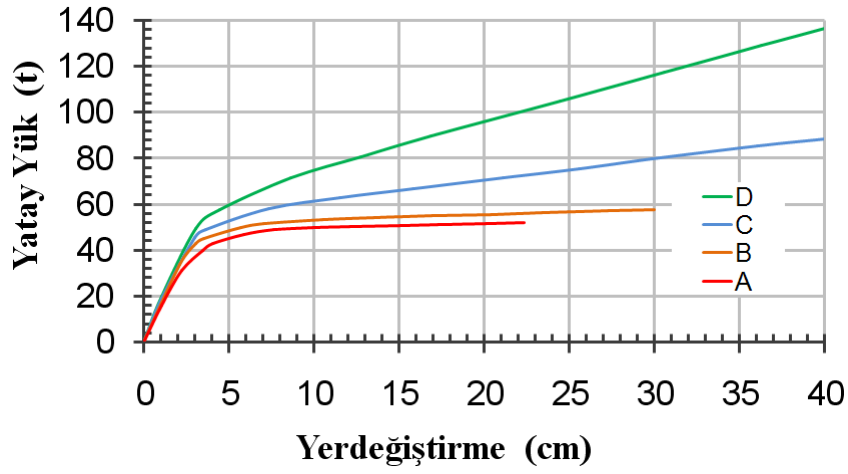
Yukarıda Şekil 5.15B’de verilen alternatif güçlendirme yöntemi uygulanarak yapılan analiz sonuçları Şekil 5.20’de verilmiştir. Bu eğrilerden de anlaşılabacağı gibi model yapının $\alpha = \beta = 0.3$ için en hem yatay yük artışı hem de ona karşılık gelen yer değiştirme durumu için en etkin yerleşim yeri olduğu söylenebilir.



Şekil 5.20 : Şekil 5.26 için bulunan yanal itme analiz eğrileri.

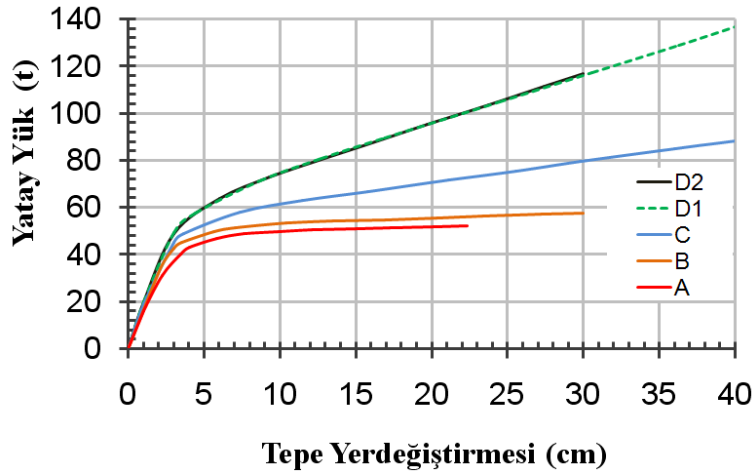
Şekil 5.15B-C-D’de verilen model yapı ve güçlendirilmiş yapılara ait yanal itme analizleri Şekil 5.21’de verilmiştir. Buna göre deneysel çalışmayla paralel olarak en

etkin geometrik şekil dörtköşesinden ekliimliçelik çapraz ve ortasında halka olan sistem olduğu söylenebilir.



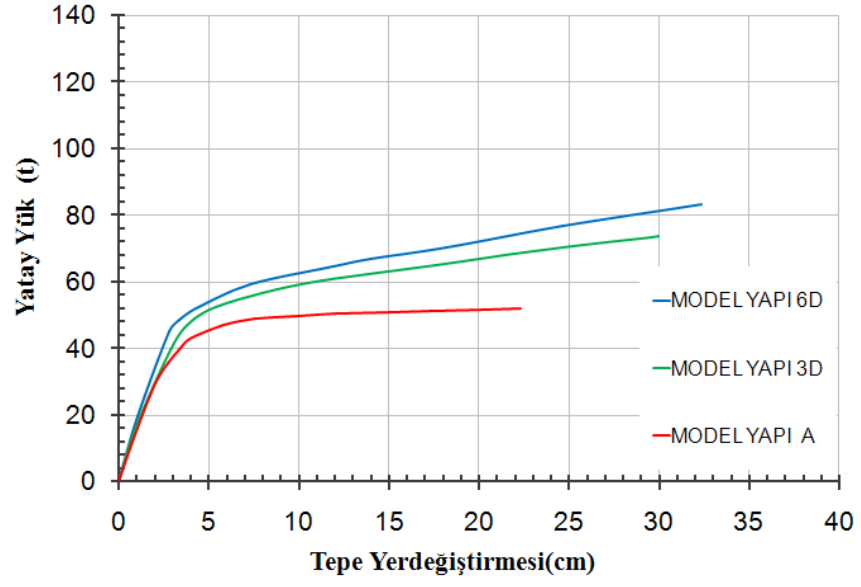
Şekil 5.21 : Model ve güçlendirilmiş yapılara ait yanal itme analiz eğrileri.

Şekil 5.15D'deki güçlendirilmiş yapı modeli Şekil 5.16B'ye göre analiz edilirse yani dört kenarından değil üç kenarında orta akslarda çelik çapraz sistemi kullanılarak yapılan yanal itme analiz eğrileri Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.22 : Şekil 5.15D yapı modeli için bulunan yanal itme analiz eğrileri.

Deneylerde normal yapının 1:3 oranlı numuneleri kullanılmıştır. Normal yapıya geçerken deneyde kullanılan boru çapının üç katı ve altı katı olacak şekilde seçilen çelik çaprazlar için yapılan analizler sonucunda bulunan yanal itme analizleri Şekil 5.23'te verilmiştir.



Şekil 5.23 : Üç ve altı kat çapa sahip çelik çaprazlarla Şekil 5.15C'ye göre oluşturulan yapı analiz eğrileri.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, deneysel ve kuramsal çalışmaların sonuçları özetlenmiş ve ileride yapılabilecek bütünler nitelikteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

6.1 Sonuçlar

Sunulan bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak kullanılan güçlendirme yöntemlerine ek uygulaması kolay, ekonomik ve etkin bir güçlendirme yöntemi üzerinde durulmuştur. Depreme karşı güçlendirme yöntemlerinin birbirlerine göre bazı üstünlükleriyle beraber uygulamada yarattığı güçlükler bulunmaktadır. Bunlar içerisinde genel olarak konuşmak gerekirse yapı dinamik karakteristiklerini önemli ölçüde değiştiren ve bu değişiklikler nedeniyle yapıya aktarılacak deprem kuvvetlerinin artmasına sebep olacak etkiler ile içinde yaşanmakta olan bir yapının güçlendirilmesi söz konusu olduğunda ortaya çıkacak uygulama güçlükleri bulunmaktadır. Bunları ortadan kaldıracak yöntemlerin deneysel ve kuramsal açıdan sınanmaları önemlidir. Bu çalışma bu mantık düzeni içinde gerçekleştirilmiştir.

İstanbul ve çevresinde önümüzdeki 30 yıl boyunca 7 veya daha büyük bir depremin olabilme olasılığı yüksektir, (% 41 ±14). Bu durumda İstanbul ve çevresinde yıkıcı bir depreme karşı güçlendirilmeyi bekleyen çok sayıda yapı bulunmaktadır. Bu yapıların tamamının kısa bir sürede ve yönetmeliklerde yapı için öngörülen dayanım düzeyine ulaşırken görelî kat ötelemesi değerlerinin sınırlandırılması gibi koşulların yerine getirilmesi kolay değildir.

Burada betonarme yapılarda zorlanmayan kesitlerdeki kullanılmayan mevcut dayanımdan yararlanmayı öngören ve doğrusal olmayan şekildeğiştirme kapasitesini arttırmaya yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

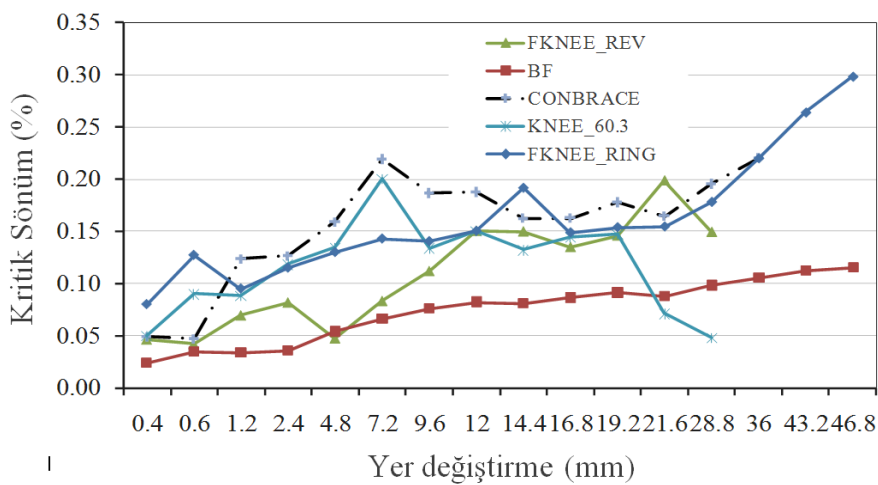
Deneysel çalışma iki bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde bir adet yalın ve farklı çelik çapraz düzenlemeleriyle oluşturulan sahip dört adet güçlendirilmiş numune denenmiştir. İkinci bölümde birinci deney grubunda elde edilen sonuçlara göre daha etkin bulunan çapraz düzenekleri üzerinde durulmuş, detayları değiştirilerek

geliştirilmiş ankraj plakaları ile yük aktarımı deneysel olarak irdelenmiştir Bölüm 2 Şekil 2.7-14.

İlk deney sonuçlarına göre en etkin Bölüm 2 Şekil 2.9 bulunmuştur. İkinci grup bu geometrik form kullanılarak ilk deneyde kullanılan boru kesiti büyütülerek Bölüm 2 Şekil 2.11-14 numuneleri üretilmiş ve denenmiştir.

- Yukarıda belirtilen güçlendirme yöntemleri ile yatay yük taşıma kapasitesi çelik yapı elemanları kullanılarak arttırılmıştır. Bölüm 2 Şekil 2.3 numunesinde en büyük yatay yük taşıma kapasitesi 60 kN iken dört köşesinden basit çelik çaprazlı sistemlerde Bölüm 2 Şekil 2.9, Şekil 2.11 ve Şekil 2.13.de verilen numuneler için 100-105 kN a çıkarken ve dört köşesinden basit çelik çapraz ve ortasında küçük bir çelik çerçeve bulunan (Bölüm 2 Şekil 2.14) sistemde yaklaşık 115 kN çıkmıştır.
- Bölüm 2 Şekil 2.12 numunenin yatay yük taşıma kapasitesi yalın çerçevenin 2.6 katı olarak gerçekleşmiştir. Bu, çalışmada bulunan en büyük yatay kuvvettir. Çaprazların rijitleşmesi, düşük dayanımlı kolonlarda kayma dayanım sınırına gelmesine sebep olmuştur. Uygulamada bu sorunun çözümü üzerinde durulması gerekliliğini ortaya konmuştur.
- Yalın çerçevede betonarme kesitte oluşan ilk çatlak 1.2 mm tepe yerdeğiştirmesi durumunda çıkmış olup özellikle Bölüm 2 Şekil 2.10'daki numunede 2.4 mm Bölüm 2 Şekil 2.12 ve Şekil 2.14'te ise 4.8 mm de gerçekleşmiştir.
- Yalın çerçevede donatıda görülen ilk akma adımı 7.2 mm tepe yerdeğiştirmesinde olmuştur. Güçlendirilen diğer numunelerde Bölüm 2 Şekil 2.11 hariç donatıdaki akma adımının görüldüğü tepe yerdeğiştirmesi ötelenmiş olup bu değer Bölüm 2 Şekil 2.14'te 16.8 mm olarak gerçekleşmiştir.
- Güçlendirilmiş numunelerden Bölüm 2 Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9 ve Şekil 2.14 numuneleri deney sonundaki taşıma kapasiteleri yalın çerçevenin taşıma kapasitesi olan 60 kN seviyelerinde gerçekleşmiştir. Deprem yönetmeliğinde verilen göçmenin önlenmesi için gerekli olan görelî kat ötelemesi % 3 iken denenilen numunelerde bu değer aşılmış ve numune % 5 görelî kat ötelemesi değerine kadar kararlılığını gösterdiğini gözlenmiştir. Bu sınır aşılmış olmasına rağmen deney sonunda en az yalın çerçevenin taşıma kapasitesi kadar bir yük değeri sistemin üzerinde kalmıştır.

- Seçilen güçlendirme tipine göre numunelerde gerçekleşen başlangıç rijitlikleri yalın çerçeveye oranla 1.05-1.12 arasında değişirken bu değer hasarlı numunede Bölüm 2 Şekil 2.12’de 0.64 ve Bölüm 2 Şekil 2.10’da 1.92 olmuştur. Betonarme sistem içine yerleştirilen basit köşe çelik çaprazlı sistemler yapının rijitliğini önemli derecede değiştirmemektedir. Yapının davranışını iyileştirirken bir yandan da yatay yük taşıma kapasitesini arttırmıştır.
- Sisteme eklenecek yeni çelik çapraz elemanlarla numunelerin yerdeğiştirme süneklikleri artırılmıştır.
- Deney numunelerine ait kuvvet azaltma çarpanı-R kısa periyotlu yapılar için hesaplandığında yalın çerçevede bu değer yaklaşık olarak R=4 iken Bölüm 2 Şekil 2.9-11’de R=5 ve Bölüm 2 Şekil 2.14’te R=6 olabileceği gözlenmektedir.
- Deneylerden elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme grafikleri kullanılarak hesaplanan yığışimli çevrimsel enerji yutma kapasitelerine bakıldığında sisteme eklenecek olan yeter sayıdaki çelik çapraz elemanın bu değeri arttırdığı görülmüştür. Hesaplanan bu değerler yalın çerçeveye oranlandığında Bölüm 2 Şekil 2.9-11’de bu oran 5 kat Bölüm 2 Şekil 2.14’te ise 7 kat olarak gerçekleşmektedir.
- Numunelere ait çevrimsel sönüm, (ξ_{hyst}), değerleri hesaplandığında bu sönüm değerinin yönetmeliklerde alınması öngörülen viskoz sönüm değeri olan % 5 değerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değer in yükseltilebileceği söylenebilir, Şekil 6.1.



Şekil 6.1 : Çelik çaprazlarla güçlendirilmiş numulere ait kritik sönüm grafiği.

- Çaprazların, sistemin kalıcı şekil değiştirmeleri dolayısıyla etkisiz hale gelmesinden sonra sistemin dayanımı çıplak çerçve dayanımına inmektedir. Bunun uygulama açısından önemi olası bir depremde sonra çaprazlara yenileme şansı bırakmasıdır.
- Betonarme ve çelik elemanlardan oluşan güçlendirme sistemini birleştirerek tek elemana indirgemeye yönelik yapılan kuramsal çalışmalar tersinir yükler için ümit verici sonuçlar bulundurmaktadır. Seçilen Richard ve Abbot (1975) ve Della Corte (1999) modellerinin birbirlerine uyarlanması ile gerçekleştirilen çalışmalarla deneysel bulgular pek çok yerde dayanım azalımı, rijitlik azalımı, aderans kaybı sonucu kayma özelliklerinin değişmesi gibi önemli bulguların göz önüne alınabileceğini göstermektedir.

6.2 Öneriler

Güçlendirme açısından en etkili sonuçları sunan dört köşeden çaprazlı ve ortasında küçük çelik çerçve bulunan(Bölüm 2 Şekil 2.14) düzeni başka bazı numunelerde daha denenerek ve sürtünmeli ya da benzer bir yolla enerji yutma kapasitesini arttıran basit düzeneklerin çapraz elemanların birleşim yerlerinde kullanılmasıyla daha etkin hale geleceği düşünülmekte ve bu çalışmalarla uygulamaya aktarılabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aristizabal-Ochoa, J. D.** (1986). Disposable knee bracing: improvement in seismic design of steel frames. *J. Structure. Engineering, ASCE*, 1986,112, (7), 1544-1552.
- Abou-Elfath H, Ghobarah A.** (2000). Behaviour of reinforced concrete frames rehabilitated with concentric steel bracing. *Canadian J Civ Eng*, 27:433-44.
- Badoux M, Jirsa O.** (1990). Steel bracing of RC frames for seismic retrofitting. *J Struct Eng ASCE* 116(1):55-74.
- Bush TD, Jones EA, Jirsa JO.** (1991). Behaviour of RC frame strengthened using structural steel bracing. *Proc ASCE, J Struct Eng*;117(4):1115-26.
- Celep, Z.** (2007). Betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış: plastik mafsallı kabulü ve çözümleme. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim*, İstanbul, Türkiye.
- Comlek, R.** (2008). The Prevention of Total Collapse of Low-Rise Existing Reinforced Concrete Structures. *M.Sc.Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology*, İstanbul, Turkey.
- CSI. SAP2000 V-11** (2007). Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA, USA.
- Del Valle Calderon E, Foutch A, Hjelmstad KD, Figueroa-Gutierrez E, Tena-Colunga A.** (1988). Seismic retrofit of a RC building: a case study. *Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Japan, VII. 1988. p. 451-6.
- Della Corte,G., De Matteis,G. and Landolfo,R.,** (1999). A mathematical model interpreting the cyclic behavior of steel beam to column joints, *Proceedings of XVII CTA Congress*, Napoli, pp179.
- Durucan, C., Dicleli, M.** (2010). Seismic Retrofitting of Reinforced Concrete Buildings using Steel Braces with Shear Link. *Engineering Structures*, 32, p.2995-3010.
- Filippou,F.C., Popov,E.P. and Bertero,V.V.,** (1983). Effects of Bond Deterioration on Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Joints. *Report No. UCB/EERC-83/19, Earthquake Engineering Research Center*, University of California Berkeley.
- Higashi Y, Endo T, Shimizu Y.** (1981). Experimental studies on retrofitting of reinforced concrete structural members. *Proceedings of the Second Seminar on Repair and Retrofit of Structures*. Ann Arbor, MI: National Science Foundation; 1981. p. 126-55.

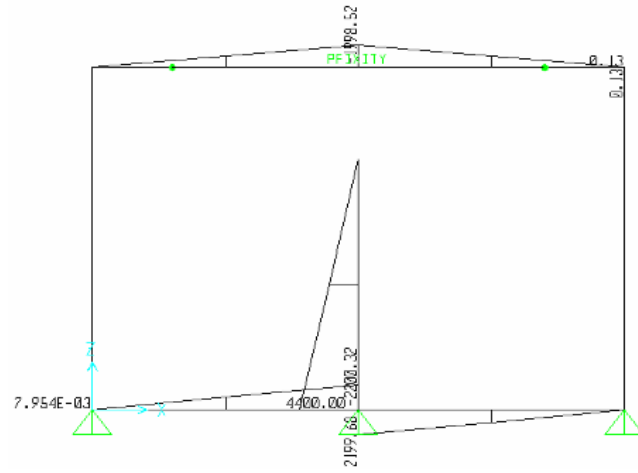
- Karadogan H.F., Pala S., Ilki A., Yuksel E., Mowrtage W., Teymur P., Erol G., Taskin K. and Comlek R.,** (2009). Improved Infill Walls and Rehabilitation of Existing Low Rise Buildings. *Seismic Risk Assessment and Retrofitting with Special Emphasis on Existing Low Rise Structures*. pp. 387-426, Springer, ISBN:978-90-481-2680-4.
- Karadogan H.F., Pala S, Yuksel E, Erol G, Taskin K, Yuce, S.Z., Teymur P, Mowrtage W.** (2010). Make the People a Part of the Solution and Prevent Total Collapse. *UNESCO-IPRED-ITU*
- Kawamata S, Ohnuma M.** (1981). Strengthening effect of eccentric steel braces to existing reinforced concrete frames. *In: Proceedings of the Second Seminar on Repair and Retrofit of Structures*. Ann Arbor, MI: National Science Foundation; 1981. p. 262–9.
- Moffid, M. ve Khosravi, P.** (1999). Non-linear analysis of disposable knee bracing *Computers and structures*;75:65-72
- Maheri M R, Akbari R,** (2003). Seismic behaviour factor, R, for steel X-braced and knee-braced RC buildings. *J Construction Steel Research*, 25:1505-1513
- Maheri M R, Kousari R, Razazan M.** (2003). Pushover tests on steel X-braced and knee-braced RC frames. *Engineering Structures*, 25:1697-1705
- Maheri MR, Sahebi A.** (1997). Use of steel bracing in reinforced concrete frames. *Engineering Structures*, 19(12):1018–24.
- Ohishi H, Takahashi M, Yamazaki Y.** (1988). A seismic strengthening design and practice of an existing reinforced concrete school building in Shizuoka city. *In: Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Japan, VII. 1988. p.415–20.
- Özkaynak, H.** (2010). Dolgu duvarları lifli polimerler ile sargılanmış betonarme çerçeve sistemlerin deprem davranışı ve yapısal sönüm özellikleri. *Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Peker, K.** (2010) . Zayıf eksen kolon-kiriş birleşimlerinin çevrimsel yükler etkisinde davranışı. *Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Richard, R.M., and Abbott, B.J.** (1975). Versatile Elastic Plastic Stress-Strain Formula. *J. of Engineering Mechanics, ASCE*, v.101, n. 4, pp. 511-515
- Paulay T., Priestley M. J. N.** (1992). Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. ISBN: 978-0-471-54915-4
- Priestley, M.J.N, Calvi, G.M., and Kowalsky, M.J.** (2007). Displacement-Based Seismic Design of Structures. *IUSS Press, Pavia*, 721pp.
- Rodriguez, M., and Park, R.** (1991). Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Resistance. *Earthquake Spectra*, Vol. 7, No. 3, 1991, pp. 439-459.

- Sekiguchi I.** (1988). Seismic strengthening of an existing steel reinforced concrete city office building in Shizuoka, Japan. *In: Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Japan, III.
- UNDP/UNIDO PROJECT RER/79/015**, Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick-Masonry Buildings. *United Nations Industrial Development Organization, United Nations Development Programme*, Vol. 5, Vienna, 1983, 229 p.
- Sugano S, Fujimura M.** (1980). Seismic strengthening of existing reinforced concrete buildings. *In: Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering*, Turkey, 4(1).1980. p. 449–56.
- Türk Deprem Yönetmeliği** (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. *İMO İzmir Şubesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı* Ankara.
- Usami H, Azuchi T, Kamiya Y, Ban H.** (1988). Seismic strengthening of existing reinforced concrete buildings in Shizuoka prefecture, Japan. *In: Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Japan, VII. p. 421–6.
- Wylli LA, Dal Pino JA, Cohen J.** (1991). Seismic upgrade preserves architecture. *Modern Steel Const.* 4:20–23.
- Yorgun, C., Yardimci, N., Karadogan H.F., Yuksel E. and Taskin K.,** (2008), Special Knee Bracing Systems for Retrofitting RC Buildings, *TUBITAK Project*, 106 M 045.
- Taskin K., Karadogan H.F.,Yardimci N. Yorgun C., Yuksel E.** (2010). Experimental Work on Retrofitting of 1/3 Scale RC Frames with Simple Steel Braces. *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Republic of Macedonia, August30-September03.
- Taskin K., Karadogan H.F.,Yardimci N. Yorgun C.** (2010). Retrofitting Technique of RC Buildings with Simple Steel Dissipating Knee-Braces. *International Symposium of ECCS-Culture and Sustainability*,21-24 September, Istanbul, Turkey.

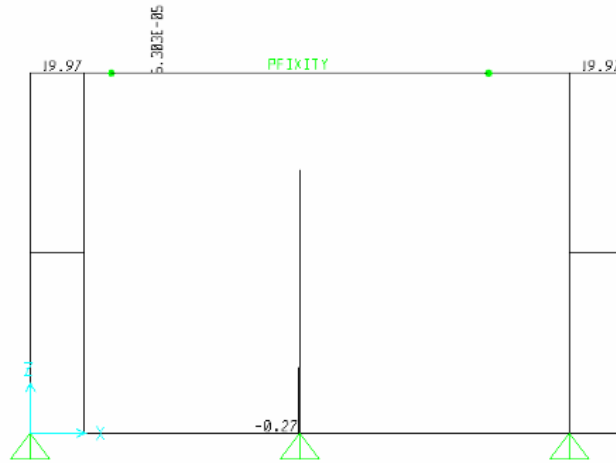
EKLER

EK A Deney Düzenegi Hesap Sonuclari

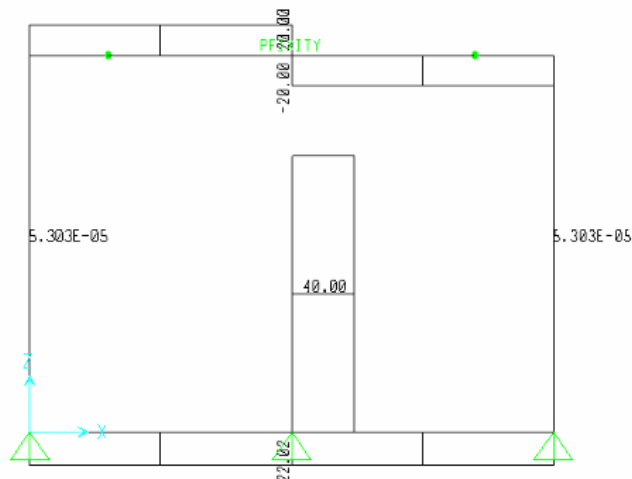
EK A



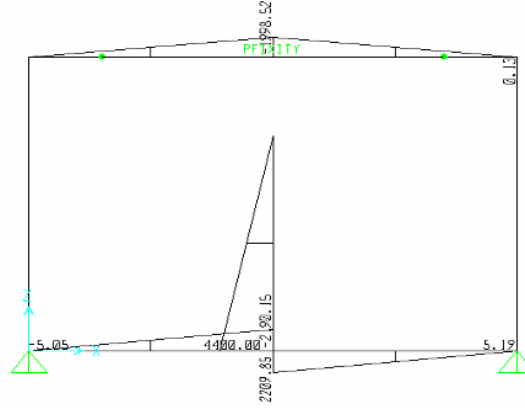
Şekil A.1 : Üç noktadan mesnetli deney düzeneği moment diyagramı.



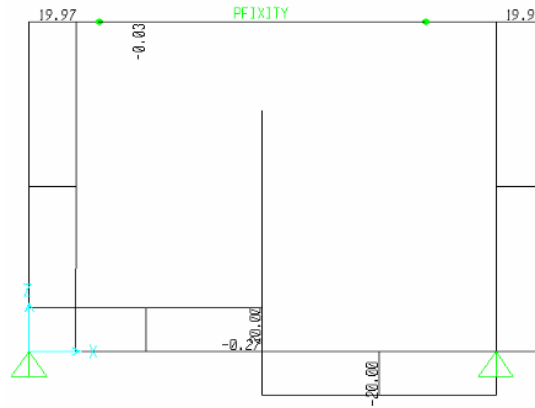
Şekil A.2 : Üç noktadan mesnetli deney düzeneği normal kuvvet diyagramı.



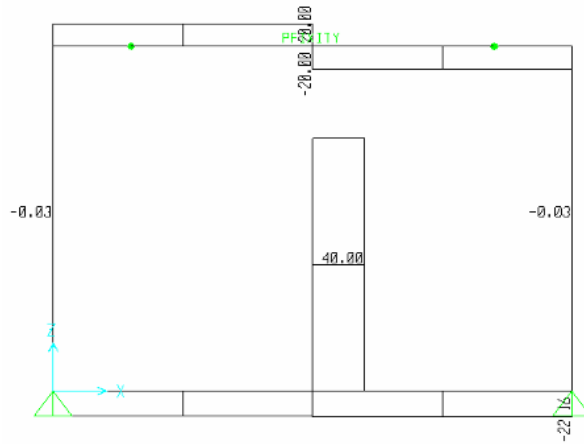
Şekil A.3 : Üç noktadan mesnetli deney düzeneği kesme kuvveti diyagramı.



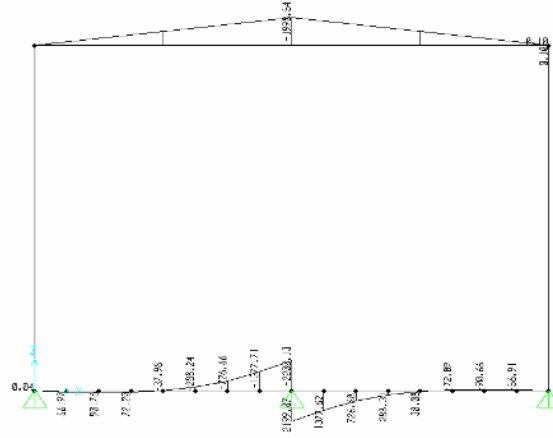
Şekil A.4 : İki uç noktadan mesnetli deney düzeneği moment diyagramı.



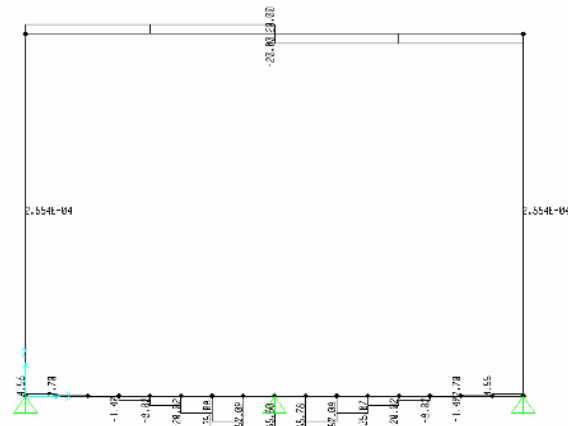
Şekil A.5 : İki uç noktadan mesnetli deney düzeneği normal kuvvet diyagramı.



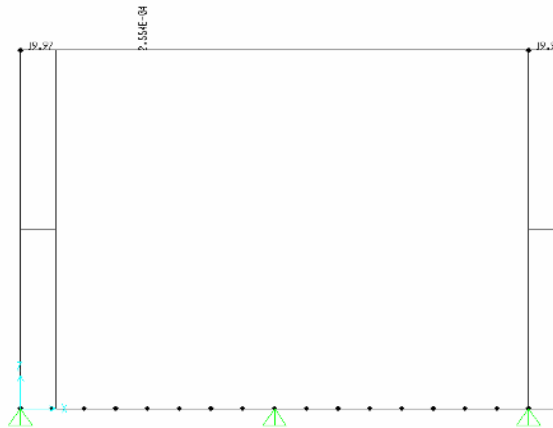
Şekil A.6 : İki uç noktadan mesnetli deney düzeneği kesme kuvveti diyagramı.



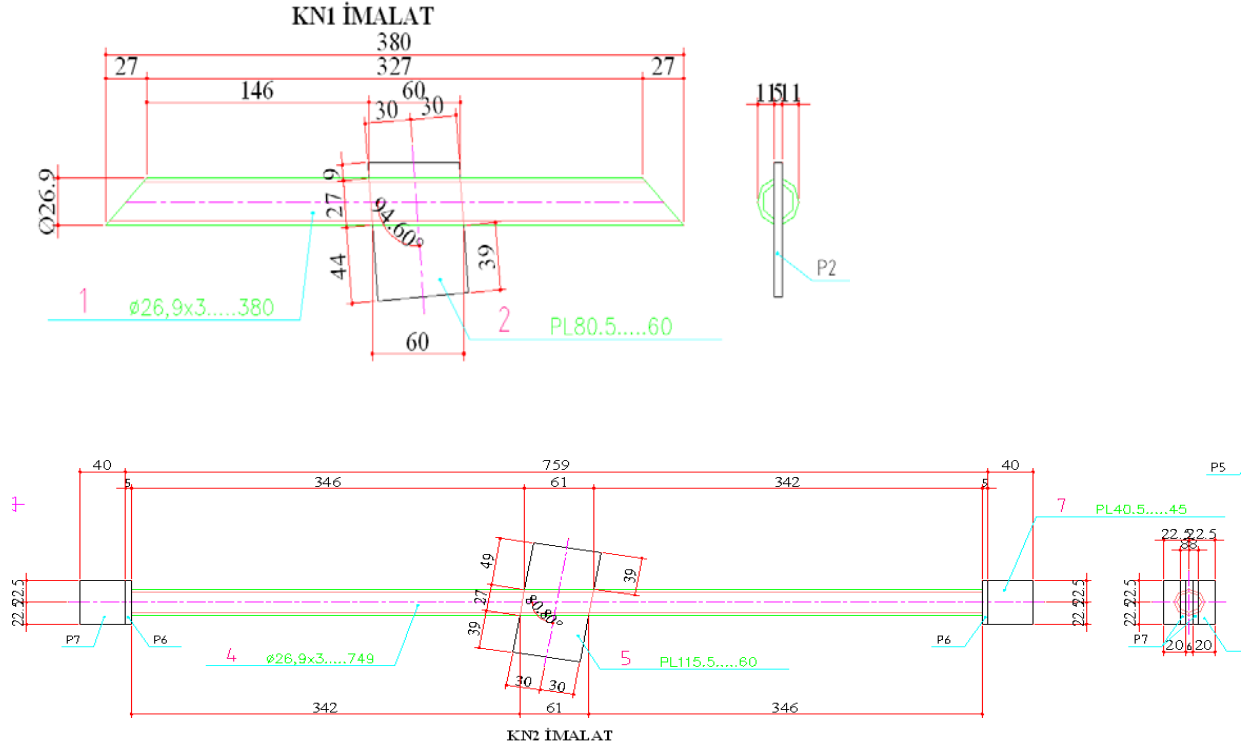
Şekil A.7 : Elastik mesnetli deney düzeneği moment diyagramı.



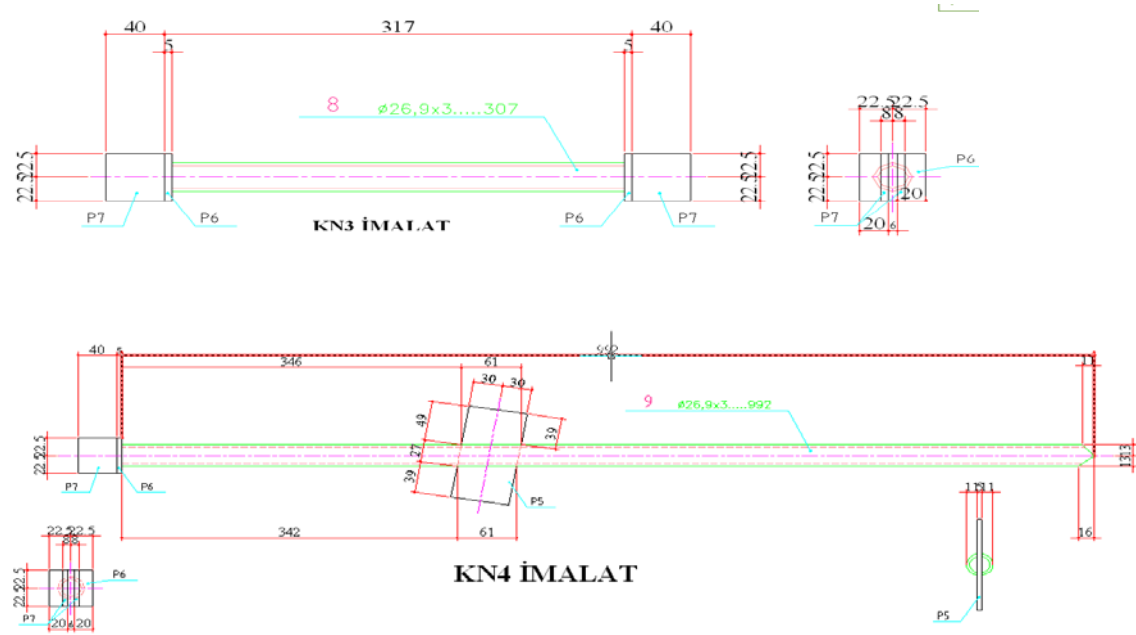
Şekil A.8 : Elastik mesnetli deney düzeneği normal kuvvet diyagramı.



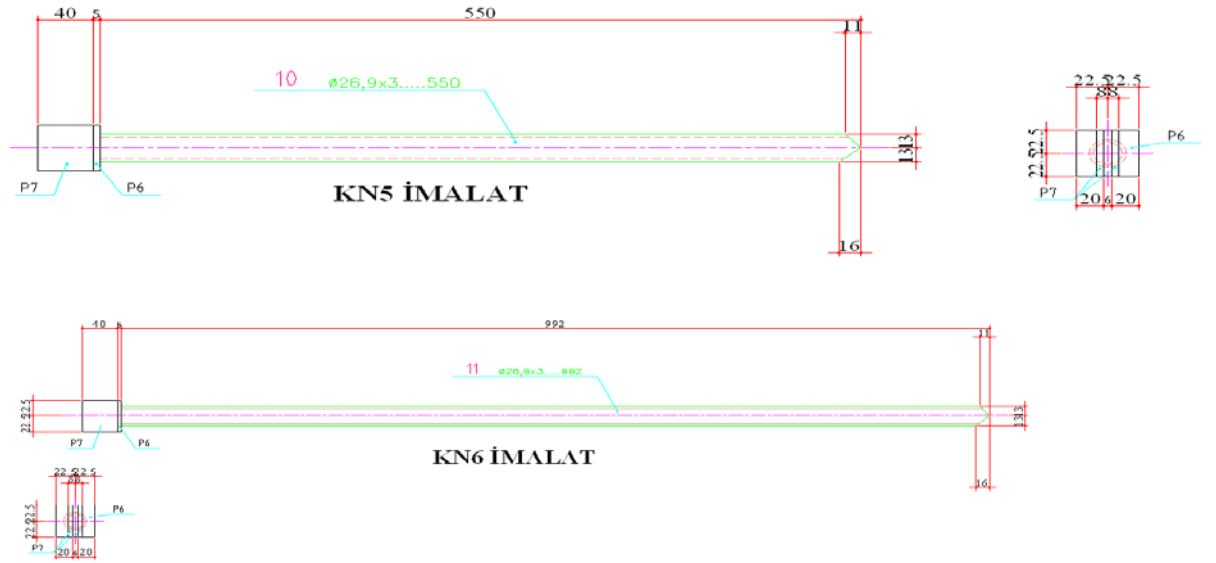
Şekil A.9 : Elastik mesnetli deney düzeneği kesme kuvveti diyagramı.



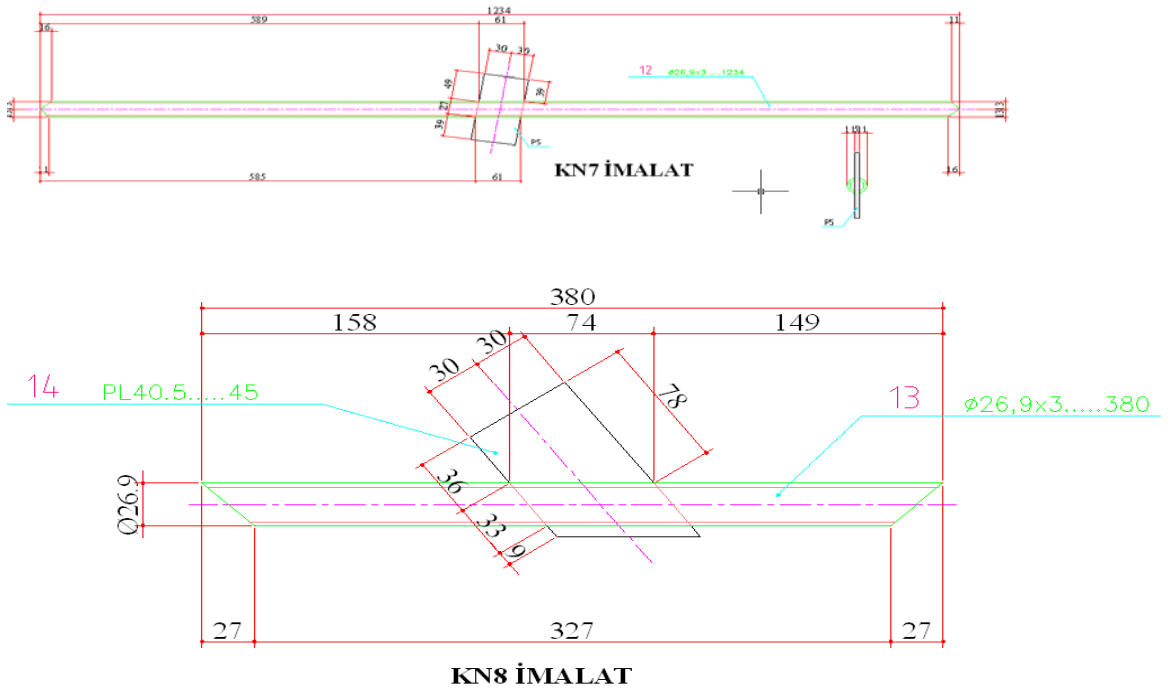
Şekil A.10 : KN1 ve KN2 elemanları imalat resimleri.



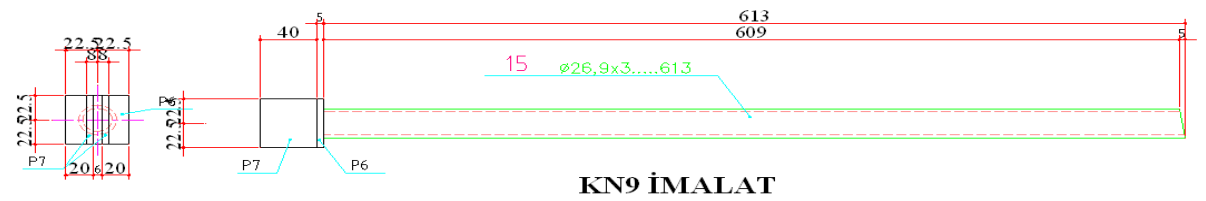
Şekil A.11 : KN3 ve KN4 elemanları imalat resimleri.



Şekil A.12 : KN5ve KN6 elemanları imalat resimleri.



Şekil A.13 : KN7ve KN8 elemanları imalat resimleri.



Şekil A.14 : KN9 elemanı imalat resimleri.

Şekil A.15 : XTRACT programı sargısız beton veri giriş penceresi.

Şekil A.16 : XTRACT programı sargılı beton veri giriş penceresi.

Calculate the Crushing Strain

Transverse reinforcing bar yield stress: 0 GPa

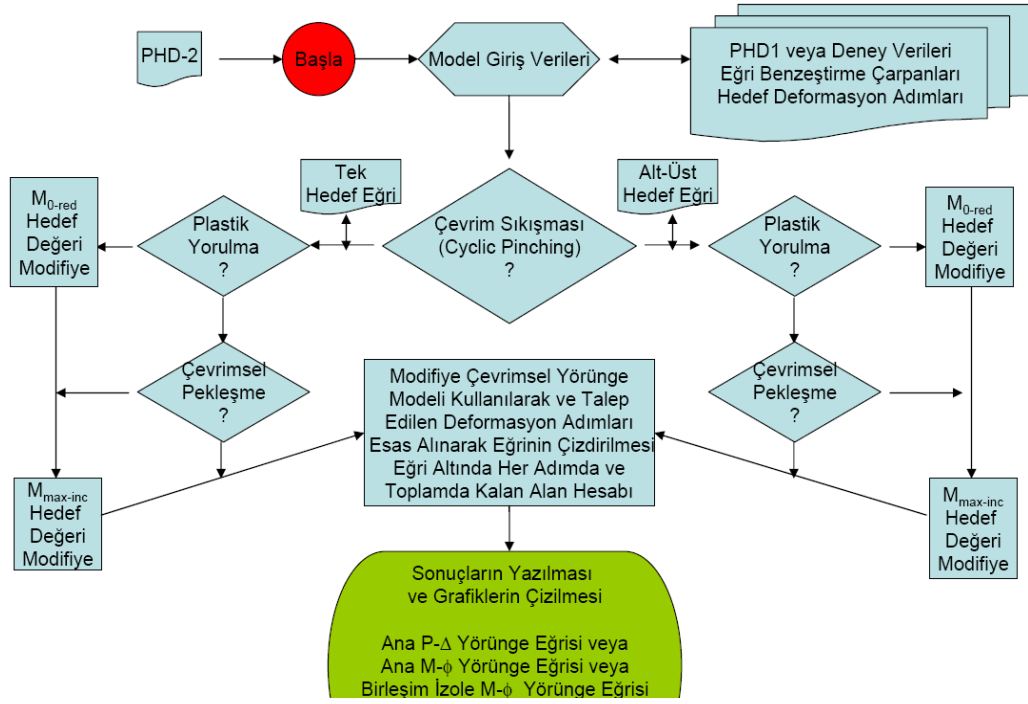
Transverse reinforcing steel strain at fracture: 0

Transverse (Volumetric) reinforcing steel ratio: 0

Confined Concrete Strength: 0 GPa

Crushing Strain = Help kN-mm

Şekil A.17 : XTRACT programı sargılı beton veri giriş penceresi-b.



Şekil A.18 : PHD_KT akış diyagramı

Public Alanlar() As Single

Public MyTetaTut1() As Single, MyTetaTut2() As Single, MyTetaTut3() As Single, MyTetaTut4() As Single

Function mFunction(Teta As Single, Kh As Single, Ko As Single, n As Single, Mo As Single) As Single

Dim M As Single

M = (Ko - Kh) * Teta

M = M / (1 + Abs((Ko - Kh) * Teta / Mo) ^ n) ^ (1 / n)

M = M + Kh * Teta

mFunction = M 'as result

End Function

Function Alan(x1 As Single, y1 As Single, x2 As Single, y2 As Single) As Single

Alan = Abs(y2 + y1) * Abs(x2 - x1) / 2

End Function

Sub ClearLoopTable()

Dim t As Integer

t = 6

Do

'DoEvents

If Range("I" & t) = "" Then Exit Do

```

    If Range("F" & t) <> "" Then Range("F" & t) = ""
    If Range("G" & t) <> "" Then Range("G" & t) = ""
    If Range("H" & t) <> "" Then Range("H" & t) = ""
    If Range("I" & t) <> "" Then Range("I" & t) = ""
    t = t + 1
Loop
End Sub

Sub MainRoutin()
Dim Sikisma As Integer
Dim Hasar As Integer
Sikisma = Range("G2")
Hasar = Range("H2")

If Sikisma = 0 And Hasar = 0 Then
    Call SubMBasit
ElseIf Sikisma = 1 And Hasar = 0 Then
    Call SubMSikismali
ElseIf Sikisma = 1 And Hasar = 1 Then
    Call SubMSikismaliHasarli
ElseIf Sikisma = 0 And Hasar = 1 Then
    Call SubSikismasizHasarli
End If

MsgBox "JOB DONE", vbOKOnly, "WORKOUT"
End Sub

Sub SubMSikismaliHasarli()
'önce eksilerini yaz
Dim t As Integer, tt As Integer, ttt As Integer
Dim MyTeta As Single, MyKo As Single, MyKh As Single
Dim MyKhp As Single, MyKoP As Single
Dim Myn As Single, MyMo As Single, MyM As Single
Dim Mynp As Single, MyMop As Single
Dim t1 As Single, t2 As Single, Lambda As Single, FiLim As Single, FiUo As Single

Dim FiMax(1) As Single, FiMin(1) As Single
Dim AdimSayisi As Integer
Dim Satirim As Integer
Dim Xkes As Single, Ykes As Single
Dim KacaBöl As Integer
Dim MyX1 As Single, MyX2 As Single, MyY2 As Single, MyY1 As Single
Dim MyKot As Single, MyMot As Single, MyKht As Single, MyNpt As Single

Dim MyT As Single

ClearLoopTable 'tabloyu temizler

'tanımları çağır

```

```
MyKo = Range("A2").Value
MyKoP = Range("A3").Value
```

```
MyKh = Range("B2").Value
MyKhp = Range("B3").Value
```

```
Myn = Range("C2").Value
Mynp = Range("C3").Value
```

```
MyMo = Range("D2").Value
MyMop = Range("D3").Value
```

```
KacaBöl = Range("F2").Value
```

```
'hasarvalues
```

```
Myy = Range("Q2").Value
BetaM = Range("N2").Value
BetaK = Range("O2").Value
BetaFi = Range("M2").Value
Hh = Range("P2").Value
FiUo = Range("L2").Value
FiY = Range("R2").Value
```

```
t1 = Range("I2").Value
t2 = Range("J2").Value
Lambda = Range("K2").Value
'FiUo = Range("L2").Value
```

```
'oları koy
```

```
Range("G6") = 0
Range("H6") = 0
Range("I6") = 0
AdimSayisi = Range("E2").Value
```

```
Satirim = 1
```

```
ReDim Alanlar(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut1(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut2(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut3(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut4(AdimSayisi) As Single
```

```
For tt = 1 To AdimSayisi 'herbir adım
    FiMax(0) = Range("B" & (tt + 4)) 'girilen fi değeri
    FiMin(0) = Range("C" & (tt + 4))
```

```
'hasar hesabi
```

```
If tt > 1 Then
    Eh = Range("E" & (tt + 3))
    Dm = BetaM * Eh / (Myy * FiUo)
```

```

Dmm = Hh * (MyTetaTut1(tt - 1) - FiY) / FiY
If MyTetaTut1(tt - 1) < FiY Then
    MyMo = MyMo * (1 - Dmm)
Else
    MyMo = MyMo * (1 - Dm) * (1 + Dmm)
End If
End If

'çıkışpoz
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    DoEvents
    Range("G" & (6 + t)) = t
    Range("F" & (6 + t)) = tt
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
    ((Xkes - FiMax(0)) / KacaBöl) 'fi kolonu

    Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4) 'fi kolonunu yuvarlar

    MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

    'alanhesapla
    MyX2 = Range("H" & (6 + t))
    MyX1 = Range("H" & (5 + t))
    MyY2 = Range("I" & (6 + t))
    MyY1 = Range("I" & (5 + t))
    Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

    'sikisma hesapları
    If tt > 1 Then
        FiLim = Lambda * Abs(MyTetaTut4(tt - 1)) + MyTetaTut1(tt - 1)
        MyT = ((MyTeta / FiLim) ^ t1 / ((MyTeta / FiLim) ^ t1 + 1)) ^ t2
        MyKot = MyKoP + (MyKo - MyKoP) * MyT
        MyMot = MyMop + (MyMo - MyMop) * MyT
        MyKht = MyKhp + (MyKh - MyKhp) * MyT
        MyNpt = Mynp + (Myn - Mynp) * MyT
        'If tt > 3 Then sto = sto / 0
    Else
        MyKot = MyKo
        MyMot = MyMo
        MyKht = MyKh
        MyNpt = Myn
    End If

    MyM = mFunction(MyTeta, MyKht, MyKot, MyNpt, MyMot)
    MyM = Round(MyM, 2)

    Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM
Next t

'inişpoz

```

```

Satirim = t
Dim TepeNokY As Single, TepeNokX As Single
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))

Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

MyTetaTut1(tt) = MyX1
MyTetaTut2(tt) = MyX2

'çıkışneg
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    DoEvents
    Range("G" & (6 + t)) = t
    Range("F" & (6 + t)) = tt
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
        ((Xkes - FiMin(0)) / KacaBöl)

    Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4)
    MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

'sikisma hesapları
If tt > 1 Then
    FiLim = Lambda * Abs(MyTetaTut4(tt - 1)) + MyTetaTut1(tt - 1)
    MyT = ((MyTeta / FiLim) ^ t1 / ((MyTeta / FiLim) ^ t1 + 1)) ^ t2
    MyKot = MyKoP + (MyKo - MyKoP) * MyT
    MyMot = MyMop + (MyMo - MyMop) * MyT
    MyKht = MyKhp + (MyKh - MyKhp) * MyT
    MyNpt = Mynp + (Myn - Mynp) * MyT
Else

```

```

MyKot = MyKo
MyMot = MyMo
MyKht = MyKh
MyNpt = Myn
End If

```

```

MyM = mFunction(MyTeta, MyKht, MyKot, MyNpt, MyMot)
MyM = Round(MyM, 2)

```

```

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM
Next t

```

```

'inişneg
Satirim = t
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

```

```

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

```

```

MyTetaTut3(tt) = MyX1
MyTetaTut4(tt) = MyX2

```

```

Range("D" & (tt + 4)) = Alanlar(tt) 'alanını ekrana yazdır
DoEvents
Next tt
End Sub

```

```

Sub SubSikismasizHasarli()
'önce eksilerini yaz
Dim t As Integer, tt As Integer, ttt As Integer
Dim MyTeta As Single, MyKo As Single, MyKh As Single
Dim Myn As Single, MyMo As Single, MyM As Single
Dim FiMax(1) As Single, FiMin(1) As Single
Dim AdimSayisi As Integer
Dim Satirim As Integer
Dim Xkes As Single, Ykes As Single
Dim KacaBöl As Integer
Dim MyX1 As Single, MyX2 As Single, MyY2 As Single, MyY1 As Single

```

```

Dim BetaM As Single, BetaK As Single, BetaFi As Single
Dim Dm As Single, Dk As Single, Dfi As Single
Dim Eh As Single
Dim Myy As Single, Hh As Single
Dim FiUo As Single
Dim FiY As Single

```

```

ClearLoopTable 'tabloyu temizler

```

```

'tanımları çağır

```

```

MyKo = Range("A2").Value
MyKh = Range("B2").Value
Myn = Range("C2").Value
MyMo = Range("D2").Value
KacaBöl = Range("F2").Value

```

```

'hasarvalues

```

```

Myy = Range("Q2").Value
BetaM = Range("N2").Value
BetaK = Range("O2").Value
BetaFi = Range("M2").Value
Hh = Range("P2").Value
FiUo = Range("L2").Value
FiY = Range("R2").Value

```

```

'0ları koy

```

```

Range("G6") = 0
Range("H6") = 0
Range("I6") = 0
AdimSayisi = Range("E2").Value

```

```

Satirim = 1

```

```

ReDim Alanlar(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut1(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut2(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut3(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut4(AdimSayisi) As Single

```

```

For tt = 1 To AdimSayisi 'herbir adım

```

```

    DoEvents

```

```

    FiMax(0) = Range("B" & (tt + 4)) 'girilen fi değerim

```

```

    FiMin(0) = Range("C" & (tt + 4))

```

```

'hasar hesabi

```

```

If tt > 1 Then

```

```

    Eh = Range("E" & (tt + 3))

```

```

    Dm = BetaM * Eh / (Myy * FiUo)

```

```

    Dmm = Hh * (MyTetaTut1(tt - 1) - FiY) / FiY

```

```

If MyTetaTut1(tt - 1) < FiY Then
    MyMo = MyMo * (1 - Dmm)
Else
    MyMo = MyMo * (1 - Dm) * (1 + Dmm)
End If
End If

'çıkışpoz
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    Range("G" & (6 + t)) = t
    Range("F" & (6 + t)) = tt
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
        ((Xkes - FiMax(0)) / KacaBöl) 'fi kolonu

    Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4) 'fi kolonunu yuvarlar

    MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

    MyM = mFunction(MyTeta, MyKh, MyKo, Myn, MyMo)
    MyM = Round(MyM, 2)
    Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM

    'alanhesapla
    MyX2 = Range("H" & (6 + t))
    MyX1 = Range("H" & (5 + t))
    MyY2 = Range("I" & (6 + t))
    MyY1 = Range("I" & (5 + t))
    Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Next t

'inişpoz
Satirim = t
Dim TepeNokY As Single, TepeNokX As Single
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

MyTetaTut1(tt) = MyX1

```

MyTetaTut2(tt) = MyX2

Satirim = Satirim + 1

'çıkışneg

For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1

DoEvents

Range("G" & (6 + t)) = t

Range("F" & (6 + t)) = tt

Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
((Xkes - FiMin(0)) / KacaBöl)

Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4)

MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

MyM = mFunction(MyTeta, MyKh, MyKo, Myn, MyMo)

MyM = Round(MyM, 2)

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM

'alan hesapla

MyX2 = Range("H" & (6 + t))

MyX1 = Range("H" & (5 + t))

MyY2 = Range("I" & (6 + t))

MyY1 = Range("I" & (5 + t))

Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

Next t

'inişneg

Satirim = t

TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))

TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))

Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)

Ykes = (MyKh * Xkes)

Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes

Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes

Range("F" & (Satirim + 6)) = tt

Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla

MyX2 = Range("H" & (6 + t))

MyX1 = Range("H" & (5 + t))

MyY2 = Range("I" & (6 + t))

MyY1 = Range("I" & (5 + t))

Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

Satirim = Satirim + 1

MyTetaTut3(tt) = MyX1

MyTetaTut4(tt) = MyX2

Range("D" & (tt + 4)) = Alanlar(tt) 'alanını ekrana yazdır

DoEvents

Next tt
End Sub

Sub SubMSikismali()
'önce eksilerini yaz
Dim t As Integer, tt As Integer, ttt As Integer
Dim MyTeta As Single, MyKo As Single, MyKh As Single
Dim MyKhp As Single, MyKoP As Single
Dim Myn As Single, MyMo As Single, MyM As Single
Dim Mynp As Single, MyMop As Single
Dim t1 As Single, t2 As Single, Lambda As Single, FiLim As Single, FiUo As Single

Dim FiMax(1) As Single, FiMin(1) As Single
Dim AdimSayisi As Integer
Dim Satirim As Integer
Dim Xkes As Single, Ykes As Single
Dim KacaBöl As Integer
Dim MyX1 As Single, MyX2 As Single, MyY2 As Single, MyY1 As Single
Dim MyKot As Single, MyMot As Single, MyKht As Single, MyNpt As Single

Dim MyT As Single

ClearLoopTable 'tabloyu temizler

'tanımları çağır
MyKo = Range("A2").Value
MyKoP = Range("A3").Value

MyKh = Range("B2").Value
MyKhp = Range("B3").Value

Myn = Range("C2").Value
Mynp = Range("C3").Value

MyMo = Range("D2").Value
MyMop = Range("D3").Value

KacaBöl = Range("F2").Value

t1 = Range("I2").Value
t2 = Range("J2").Value
Lambda = Range("K2").Value
'FiUo = Range("L2").Value

'0ları koy
Range("G6") = 0
Range("H6") = 0
Range("I6") = 0
AdimSayisi = Range("E2").Value

Satirim = 1

ReDim Alanlar(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut1(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut2(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut3(AdimSayisi) As Single
ReDim MyTetaTut4(AdimSayisi) As Single

For tt = 1 To AdimSayisi 'herbir adım
 FiMax(0) = Range("B" & (tt + 4)) 'girilen fi değeri
 FiMin(0) = Range("C" & (tt + 4))

'çıkışpoz

For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1

 DoEvents

 Range("G" & (6 + t)) = t

 Range("F" & (6 + t)) = tt

 Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
 ((Xkes - FiMax(0)) / KacaBöl) 'fi kolonu

 Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4) 'fi kolonunu yuvarlar

 MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

 'alanhesapla

 MyX2 = Range("H" & (6 + t))

 MyX1 = Range("H" & (5 + t))

 MyY2 = Range("I" & (6 + t))

 MyY1 = Range("I" & (5 + t))

 Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

 'sikisma hesapları

 If tt > 1 Then

 FiLim = Lambda * Abs(MyTetaTut4(tt - 1)) + MyTetaTut1(tt - 1)

 MyT = ((MyTeta / FiLim) ^ t1 / ((MyTeta / FiLim) ^ t1 + 1)) ^ t2

 MyKot = MyKoP + (MyKo - MyKoP) * MyT

 MyMot = MyMop + (MyMo - MyMop) * MyT

 MyKht = MyKhp + (MyKh - MyKhp) * MyT

 MyNpt = Mynp + (Myn - Mynp) * MyT

 'If tt > 3 Then sto = sto / 0

 Else

 MyKot = MyKo

 MyMot = MyMo

 MyKht = MyKh

 MyNpt = Myn

 End If

MyM = mFunction(MyTeta, MyKht, MyKot, MyNpt, MyMot)

MyM = Round(MyM, 2)

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM
Next t

'inişpoz
Satirim = t
Dim TepeNokY As Single, TepeNokX As Single
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))

Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

MyTetaTut1(tt) = MyX1
MyTetaTut2(tt) = MyX2

'çıkışneg
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1

DoEvents
Range("G" & (6 + t)) = t
Range("F" & (6 + t)) = tt
Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
((Xkes - FiMin(0)) / KacaBöl)

Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4)
MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)

'sikisma hesapları
If tt > 1 Then
FiLim = Lambda * Abs(MyTetaTut4(tt - 1)) + MyTetaTut1(tt - 1)
MyT = ((MyTeta / FiLim) ^ t1 / ((MyTeta / FiLim) ^ t1 + 1)) ^ t2

```

MyKot = MyKoP + (MyKo - MyKoP) * MyT
MyMot = MyMop + (MyMo - MyMop) * MyT
MyKht = MyKhp + (MyKh - MyKhp) * MyT
MyNpt = Mynp + (Myn - Mynp) * MyT
Else
    MyKot = MyKo
    MyMot = MyMo
    MyKht = MyKh
    MyNpt = Myn
End If

MyM = mFunction(MyTeta, MyKht, MyKot, MyNpt, MyMot)
MyM = Round(MyM, 2)

Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM
Next t

'inişneg
Satirim = t
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

MyTetaTut3(tt) = MyX1
MyTetaTut4(tt) = MyX2

Range("D" & (tt + 4)) = Alanlar(tt) 'alanını ekrana yazdır
DoEvents
Next tt
End Sub

Sub SubMBasit()

'önce eksilerini yaz
Dim t As Integer, tt As Integer, ttt As Integer
Dim MyTeta As Single, MyKo As Single, MyKh As Single
Dim Myn As Single, MyMo As Single, MyM As Single

```

```

Dim FiMax(1) As Single, FiMin(1) As Single
Dim AdimSayisi As Integer
Dim Satirim As Integer
Dim Xkes As Single, Ykes As Single
Dim KacaBöl As Integer
Dim MyX1 As Single, MyX2 As Single, MyY2 As Single, MyY1 As Single

```

ClearLoopTable 'tabloyu temizler

```

'tanımları çağır
MyKo = Range("A2").Value
MyKh = Range("B2").Value
Myn = Range("C2").Value
MyMo = Range("D2").Value
KacaBöl = Range("F2").Value

```

```

'Ölari koy
Range("G6") = 0
Range("H6") = 0
Range("I6") = 0
AdimSayisi = Range("E2").Value

```

Satirim = 1

```

ReDim Alanlar(AdimSayisi) As Single
For tt = 1 To AdimSayisi 'herbir adım
    FiMax(0) = Range("B" & (tt + 4)) 'girilen fi değeri
    FiMin(0) = Range("C" & (tt + 4))

```

```

'çıkışpoz
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    DoEvents
    Range("G" & (6 + t)) = t
    Range("F" & (6 + t)) = tt
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
        ((Xkes - FiMax(0)) / KacaBöl) 'fi kolonu

```

Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4) 'fi kolonunu yuvarlar

```

MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))
MyM = mFunction(MyTeta, MyKh, MyKo, Myn, MyMo)
MyM = Round(MyM, 2)
Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM

```

```

'alanhesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))

```

```

Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Next t

```

```

'inişpoz
Satirim = t
Dim TepeNokY As Single, TepeNokX As Single
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)
Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

```

```

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

```

```

'çıkışneg
For t = Satirim To Satirim + KacaBöl - 1 Step 1
    DoEvents
    Range("G" & (6 + t)) = t
    Range("F" & (6 + t)) = tt
    Range("H" & (6 + t)) = Range("H" & (5 + t)) - _
        ((Xkes - FiMin(0)) / KacaBöl)

```

```

    Range("H" & (6 + t)) = Round(Range("H" & (6 + t)), 4)
    MyTeta = Xkes - Range("H" & (6 + t))
    MyM = mFunction(MyTeta, MyKh, MyKo, Myn, MyMo)
    MyM = Round(MyM, 2)
    Range("I" & (6 + t)) = Ykes - MyM

```

```

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Next t

```

```

'inişneg
Satirim = t
TepeNokY = Range("I" & (Satirim + 6 - 1))
TepeNokX = Range("H" & (Satirim + 6 - 1))
Xkes = (TepeNokY - MyKo * TepeNokX) / (MyKh - MyKo)

```

```

Ykes = (MyKh * Xkes)
Range("H" & (Satirim + 6)) = Xkes
Range("I" & (Satirim + 6)) = Ykes
Range("F" & (Satirim + 6)) = tt
Range("G" & (Satirim + 6)) = t

'alan hesapla
MyX2 = Range("H" & (6 + t))
MyX1 = Range("H" & (5 + t))
MyY2 = Range("I" & (6 + t))
MyY1 = Range("I" & (5 + t))
Alanlar(tt) = Alanlar(tt) + Alan(MyX1, MyY1, MyX2, MyY2)
Satirim = Satirim + 1

Range("D" & (tt + 4)) = Alanlar(tt) 'alanını ekrana yazdır
DoEvents
Next tt
End Sub

```

Yapı döşemelerinin boyutlandırılması

Döşeme kalınlığı hesabında A.1 ifadesi kullanılmıştır.

$$h_{dos} \geq \frac{L_{sn}}{15 \sqrt{\frac{20}{m}}} \left[1 - \frac{\alpha_s}{4} \right] \quad (A.1)$$

$$L_1 = 350 \text{ cm} \quad L_s = 350 \text{ cmm} = \frac{L_1}{L_s} = \frac{350}{350} = 1.00$$

Kiriş genişliği 20 cm olarak düşünülmüştür.

$$L_{sn} = 350 - 20 = 330 \text{ cm}$$

$$\text{Orta Döşemede; } \alpha_s = \frac{4.350}{4.350} = 1.00$$

$$\text{Kenar Döşemede; } \alpha_s = \frac{3.350}{4.350} = 0.75$$

$$\text{Köşe Döşemede; } \alpha_s = \frac{2.350}{4.350} = 0.50$$

En gayrı müsait sonucun $\alpha_s = 0.50$ durumunda olacağı açıktır.

$$h_{dos} \geq \frac{3300}{15 \sqrt{\frac{20}{1.00}}} \left[1 - \frac{0.50}{4} \right] = 82.50 \text{ mm}$$

Bunun sonucunda seçilen döşeme kalınlığı ; $h_{dos} = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$ 'dir.

Kolonların boyutlandırılması

Yaklaşık üniform yayılı düşey yük $p = 10.0 \text{ kN} / \text{m}^2$ olarak seçilmiştir. Öz ağırlık yük kombinasyon katsayısı 1.40 ve hareketli yük kombinasyon katsayısı da 1.60 olarak dikkate alınarak $P = 15 \text{ kN} / \text{m}^2$ değeri hesaplanmıştır. Bu yük değeri esas alınarak, kolonlar A.2 ifadesine göre Çizelge A.1'de boyutlandırılmıştır.

$$A_c \geq \frac{N}{0.6f_{co}} \quad (A.2)$$

Çizelge A.1 : Katlara göre kolon boyutlarının hesaplanması

KOLON ADI	KAT NO	A _{PK} (m ²)	P (kN/m ²)	P _{KAT} (kN)	Σ P _{KAT} (kN)	f _{co} (Mpa)	0.6 f _{co}	A _{KOL} (cm ²)	SEÇİLEN BOYUT (cm xcm)
S101	5	6.125	15.00	91.875	91.875	10.0	6.0	153.1	25x25
S104	4	6.125	15.00	91.875	183.75	10.0	6.0	306.3	25x25
S113	3	6.125	15.00	91.875	275.625	10.0	6.0	459.4	25x25
S116	2	6.125	15.00	91.875	367.50	10.0	6.0	612.5	25x25
	1	6.125	15.00	91.875	459.375	10.0	6.0	765.6	25x25
S102	5	3.0625	15.00	45.938	45.938	10.0	6.0	76.6	25x25
S103	4	3.0625	15.00	45.938	91.875	10.0	6.0	153.1	25x30
S105	3	3.0625	15.00	45.938	137.813	10.0	6.0	229.7	25x30
S108	2	3.0625	15.00	45.938	183.75	10.0	6.0	306.3	25x35
	1	3.0625	15.00	45.938	229.688	10.0	6.0	382.8	25x35
S106	5	12.50	15.00	183.75	183.75	10.0	6.0	306.3	30x30
S107	4	12.50	15.00	183.75	367.50	10.0	6.0	612.5	30x35
S110	3	12.50	15.00	183.75	551.25	10.0	6.0	918.8	30x35
S111	2	12.50	15.00	183.75	735.00	10.0	6.0	1225.0	40x40
	1	12.50	15.00	183.75	918.75	10.0	6.0	1531.3	40x40

Kolon boyutlarının belirlenmesinde $A_c \geq \frac{N}{0.6f_{co}}$ bağıntısının yanında pratikte sıkça karşılaşılan kolon boyutları da dikkate alınarak seçim yapılmıştır.

Kirişlerin boyutlandırılması

Mevcut yapıların pek çoğu ABYYHY(1975)'e göre boyutlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre minimum kiriş boyutları 20x30 cm olarak sınırlandırılmıştır. Dolayısıyla kiriş boyutları, pratikte de çoğunlukla karşılaşılan 20x50 cm boyutlarında tablalı kiriş seçilmiştir.

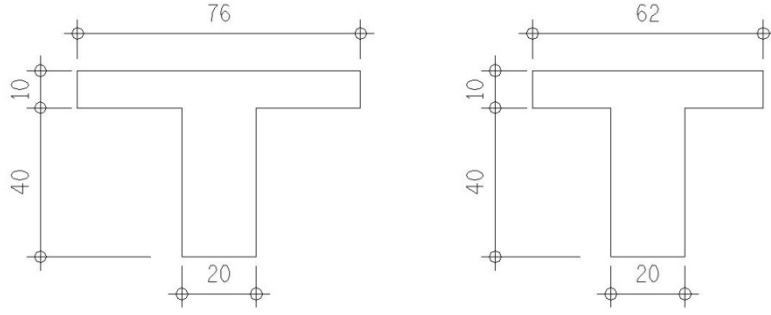
Simetrik kesitlerde etkili tabla genişliği A.3 ifadesi yardımıyla hesaplanmıştır, . Simetrik kesitli tablalı kirişlere ait geometrik büyüklükler Şekil A.19'da verilmiştir.

$$b = b_w + \frac{l_p}{5} \quad (A.3)$$

$$l_p = \alpha.L$$

$$\text{Kenar Açıklıkta } \alpha = 0.8b = 20 + \frac{0.8 \cdot 350}{5} = 76 \text{ cm}$$

$$\text{Orta Açıklıkta } \alpha = 0.6b = 20 + \frac{0.6 \cdot 350}{5} = 62 \text{ cm}$$



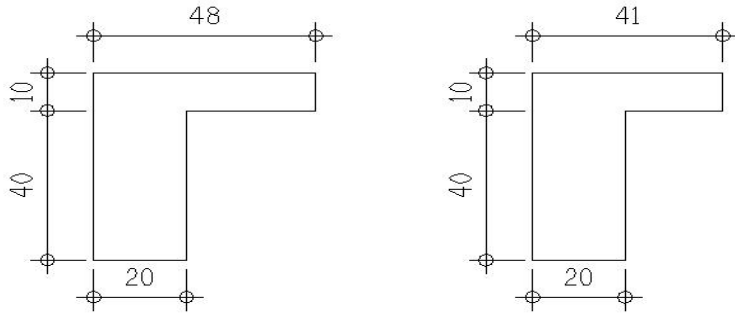
Şekil A.19 : Simetrik tablalı kesitler.

Simetrik olmayan kesitlerde etkili tabla genişliği A.4 ifadesi yardımıyla hesaplanmıştır. Simetrik kesitli olmayan tablalı kirişlere ait geometrik büyüklükler Şekil A.20'de verilmiştir.

$$b = b_w + \frac{l_p}{10} \quad (\text{A.4})$$

$$\text{Kenar Açıklıkta } \alpha = 0.8b = 20 + \frac{0.8 \cdot 350}{10} = 48 \text{ cm}$$

$$\text{Orta Açıklıkta } \alpha = 0.6b = 20 + \frac{0.6 \cdot 350}{10} = 41 \text{ cm}$$



Şekil A.20 : Simetrik olmayan tablalı kesitler.

Belirlenen Boyutlara Göre Kesin Yapı Yüklerinin Hesaplanması

Kesin Yapı yüklerinin belirlenmesi ve ayrıntılı yük analizi aşağıda verilmiştir.

$$\text{Döşeme Ağırlığı; } G_D = \dots\dots\dots = 0.10 \times 25.0 = 2.50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kaplama; } G_{KAP} = \dots\dots\dots = 1.50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kiriş Ağırlığı; } G_{KİR} = 0.20 \times 0.50 \times 25.0 \times 10.50 \times 8 / (10.50 \times 10.50) \dots\dots = 1.91 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kolon Ağırlığı; } G_{KOL} = 0.30 \times 0.30 \times 25.0 \times 3 \times 16 / (10.50 \times 10.50) \dots\dots\dots = 0.98 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Dış Duvar Ağırlığı; } G_{DD} = 5.25 \times 10.50 \times 4 / (10.50 \times 10.50) \dots\dots\dots = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{İç Duvar Ağırlığı; } G_{DI} = 6.25 \times 10.50 \times 4 / (10.50 \times 10.50) \dots\dots\dots = 2.38 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma G = 2.50+1.50+1.91+0.98+2.00+2.381 = 11.27 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 11.27 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{\text{HESAP}} = 1.40 \times 11.27 + 1.60 \times 2.00 = 18.98 \text{ kN/m}^2$$

Fakat çatıda duvar ağırlıkları yerine oturtma çatı yükü olacaktır.(0.5 kN/m²)

$$\text{Döşeme Ağırlığı; } G_D = \dots\dots\dots = 0.10 \times 250 = 2.50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kaplama; } G_{\text{KAP}} = \dots\dots\dots = 1.50 + 0.50(\text{Oturtma Çatı}) = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kiriş Ağırlığı ; } G_{\text{KİR}} = 0.20 \times 0.50 \times 25.0 \times 10.50 \times 8 / (10.50 \times 10.50) \dots\dots = 1.91 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kolon Ağırlığı; } G_{\text{KOL}} = 0.30 \times 0.30 \times 25.0 \times 3 \times 16 / (10.50 \times 10.50) \dots\dots\dots = 0.98 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma G = 2.50+2.00+1.91+0.98 = 7.39 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 7.39 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{\text{HESAP}} = 1.40 \times 7.39 + 1.60 \times 2.00 = 1.36 \text{ kN/m}^2$$

Düşey Yüklere Göre Betonarme Kesit Hesabı

Kolonların betonarme kesit hesabı

Yapının 3 boyutlu matematik modeli kurulmuş, düşey yüklere göre hesap yapılarak kolon donatıları belirlenmiştir.

Pratikte kolonlarda boyuna donatı oranı %0.8~%1.0 civarlarında olduğu için, kolonlar aşağıdaki gibi donatılmıştır.

Orta Kolonlar :40x40.....%1.0 boyuna donatı ile 16.00 cm² donatı : 8Ø16

35x35.....%1.0 boyuna donatı ile 12.25 cm² donatı : 8Ø14

30x30.....%1.0 boyuna donatı ile 9.00 cm² donatı : 6Ø14

Kenar Kolonlar :25x35.....%1.0 boyuna donatı ile 8.75 cm² donatı : 6Ø14

25x30.....%1.0 boyuna donatı ile 7.50 cm² donatı : 6Ø12

25x25.....%1.0 boyuna donatı ile 6.25 cm² donatı : 6Ø12

Köşe Kolonlar :25x25.....%1.0 boyuna donatı ile 6.25cm² donatı : 6Ø12

Kirişlerin betonarme kesit hesabı

Yapının 3 boyutlu matematik modeli kurulmuş, düşey yüklere göre hesap yapılarak kiriş donatıları belirlenmiştir.

Pratikteki uygulamalar da göz önüne alınarak kiriş donatıları aşağıdaki kurallara uygun biçimde seçilmiştir.

- Pratikteki yaygın uygulamalarda ; Montaj Donatısı : 2Ø12

- Alt Donatı : Pratikteki uygulamalarda kirişlerde açıklık kesitinde eğilmeden dolayı güç tükenmesine rastlanmamıştır. Dolayısıyla alt donatı, seçilen enkesitlerine uygun kiriş olarak belirlenmiştir.

Bu hesap sonuçları aşağıdadır.

Kenar Kirişlerde : Kenar Açıklıkta $M_{\max} = 1.73 \text{ tonm}$ $A_S = 1.88 \text{ cm}^2$

Orta Açıklıkta $M_{\max} = 1.17 \text{ tonm}$ $A_S = 1.27 \text{ cm}^2$

Orta Kirişlerde : Kenar Açıklıkta $M_{\max} = 2.72 \text{ tonm}$ $A_S = 2.96 \text{ cm}^2$

Orta Açıklıkta $M_{\max} = 1.21 \text{ tonm}$ $A_S = 1.32 \text{ cm}^2$

Tüm kirişlerde seçilen alt donatı : 3Ø14 olmuştur.

-Mesnet Donatısı : Alt Donatının 1/3'ü pilye yapılarak mesnete uzatılmıştır.

Ayrıca ABYYHY'75'e göre kirişlerde minimum donatı koşulu %0.50'dir.

Dolayısıyla;

$$A_{s\min} = 20 \times 50 \times 0.005 = 5 \text{ cm}^2.$$

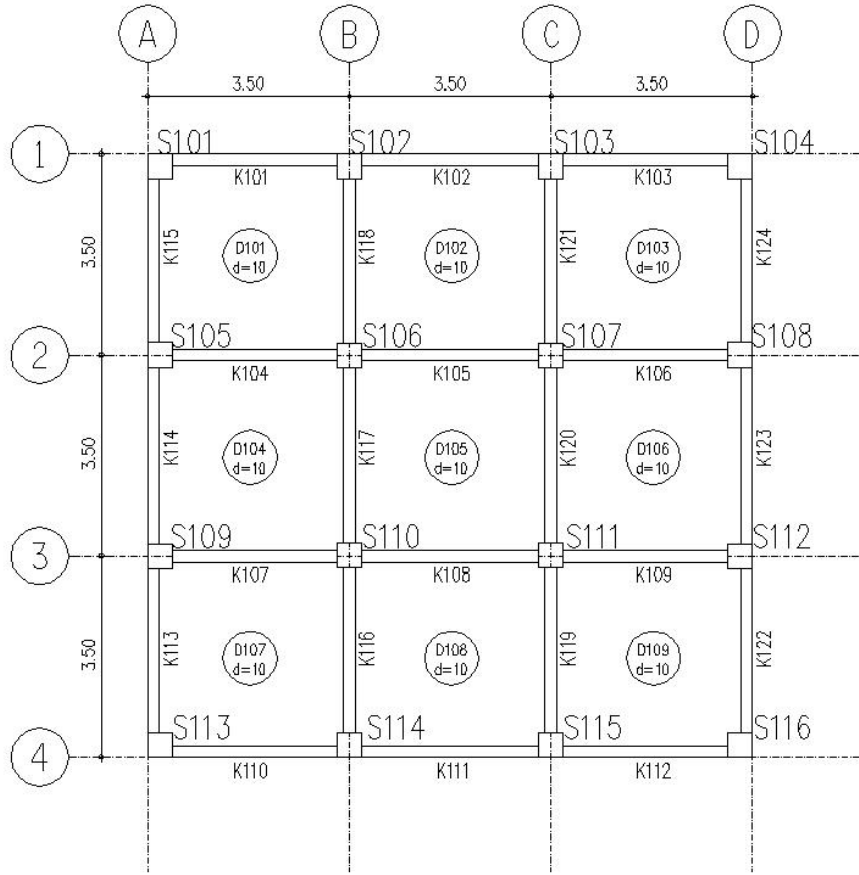
Fakat bu değer fazla olduğundan dikkate alınmamıştır.

Sonuç olarak seçilen kiriş donatıları aşağıdaki verilmiştir.

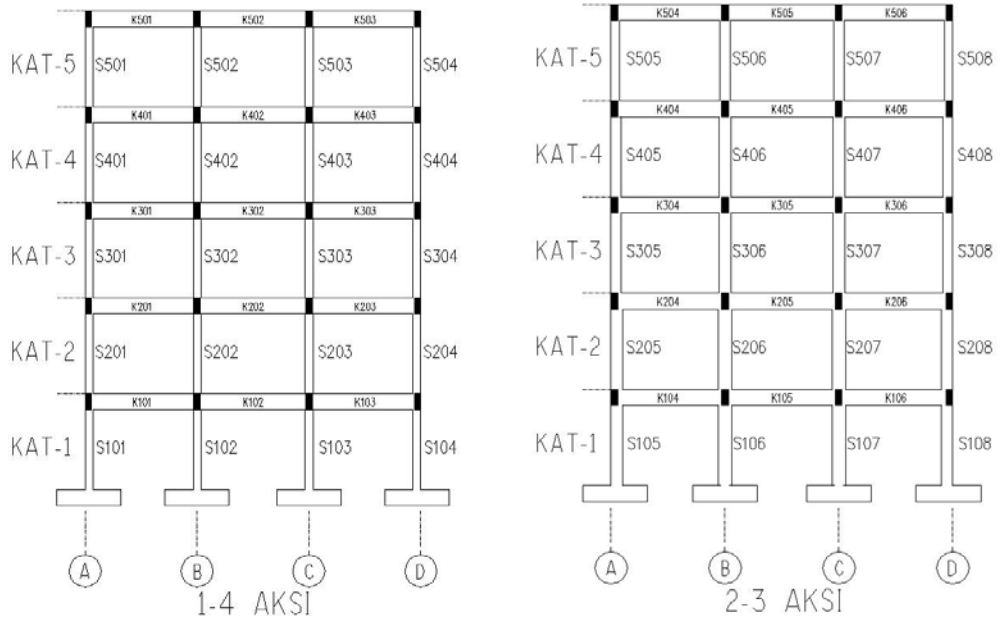
Açıklıkta ; Alt Donatı 3Ø14, Üst Donatı 2Ø12

Mesnette ; Alt Donatı 2Ø14, Üst Donatı 2Ø12+ 1Ø14

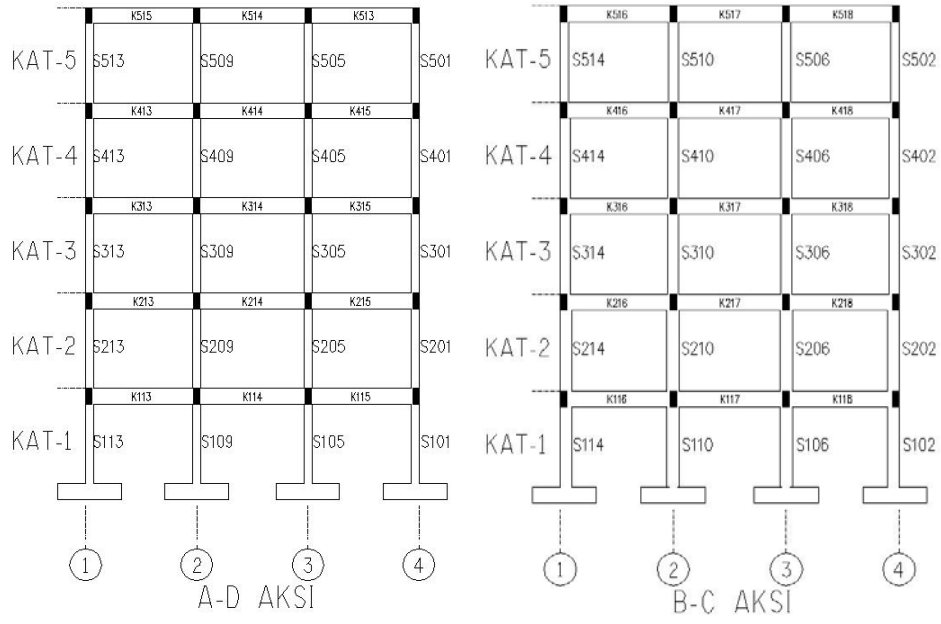
Sistem planları ve donatılar



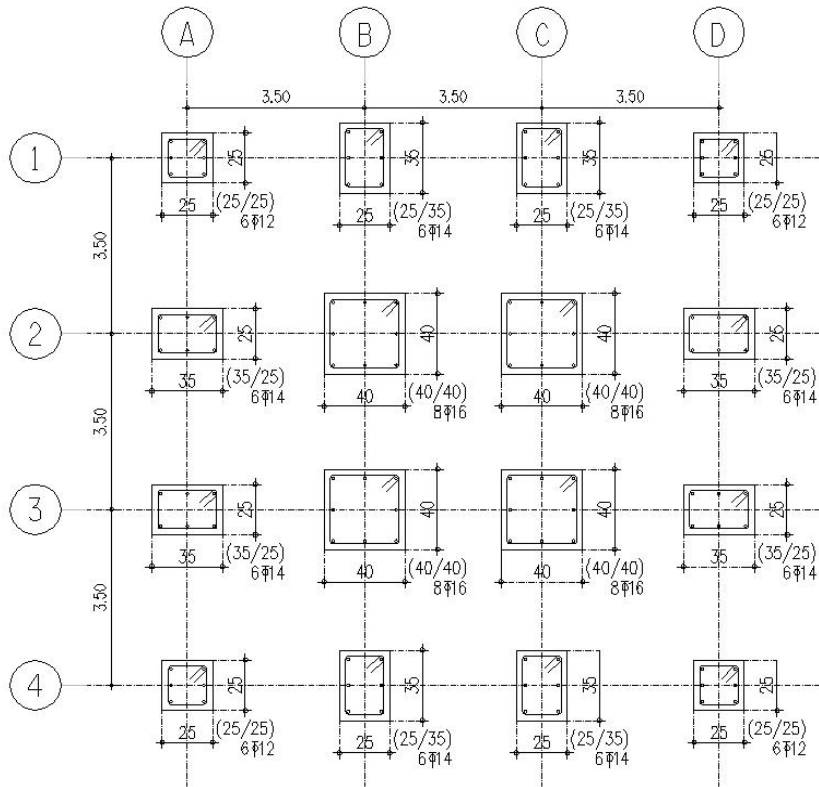
Şekil A.21 : Tipik kat planı.



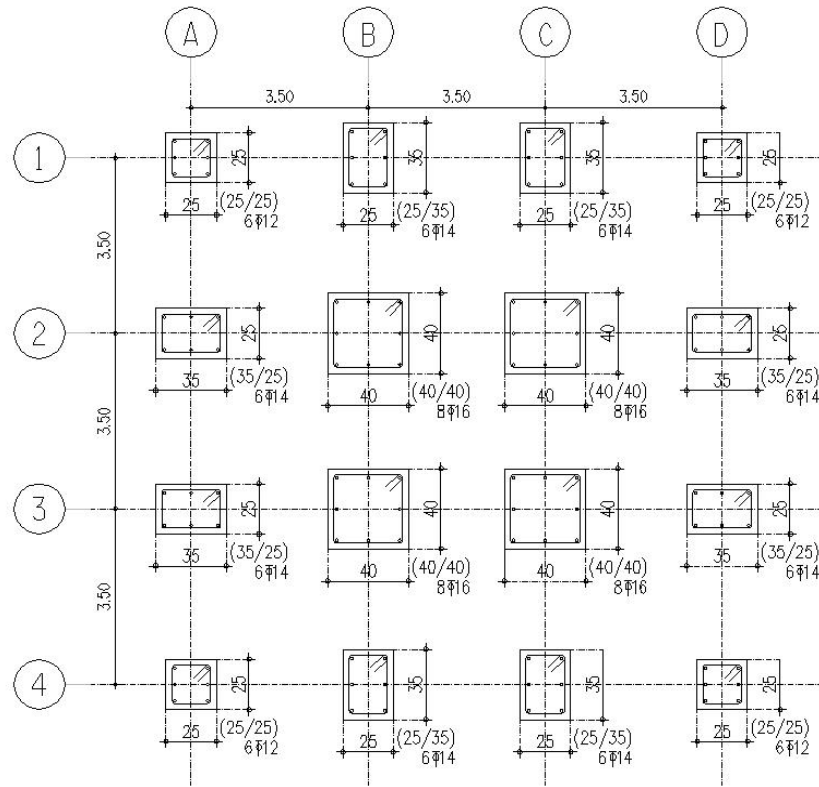
Şekil A.22 : 1-4 ve 2-3 aksları görünüşü.



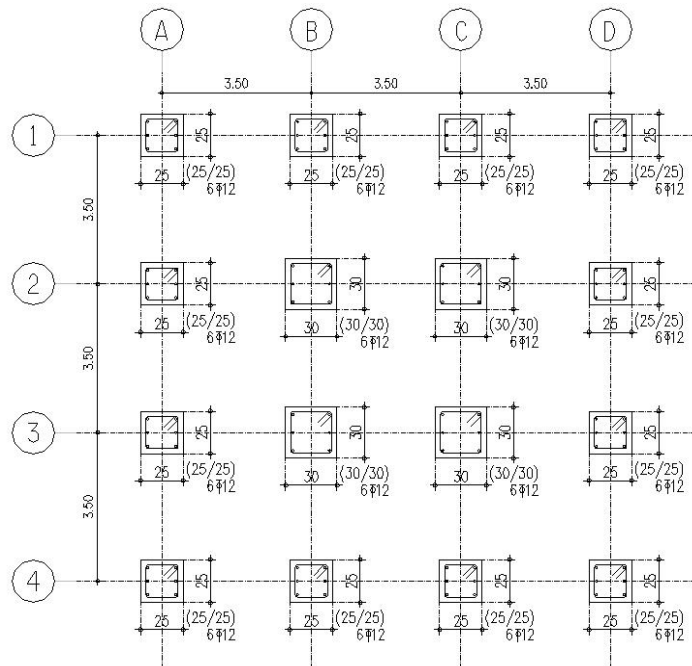
Şekil A.23 : A-D ve B-C aksları görünüşü.



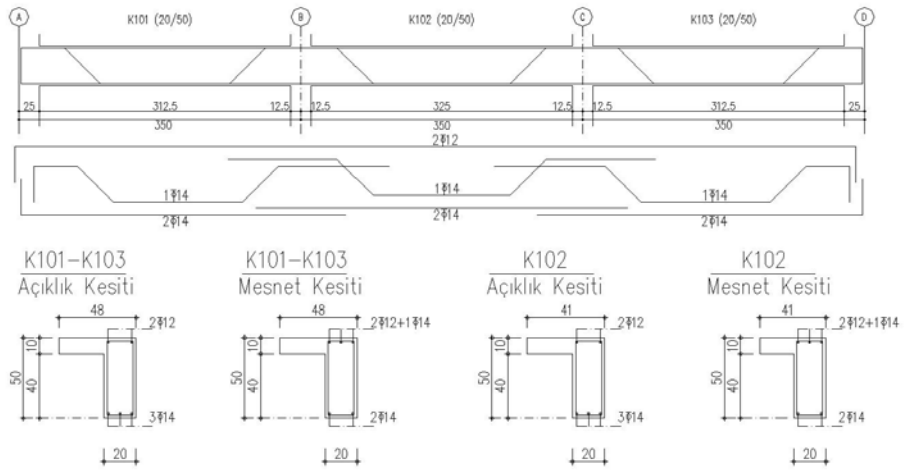
Şekil A.24 : 1. ve 2. kat kolon aplikasyon planı.



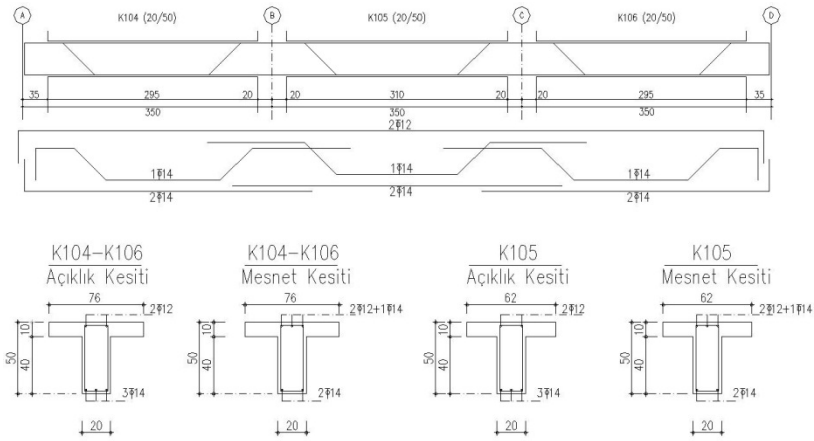
Şekil A.25 : 3. ve 4. kat kolon aplikasyon planı.



Şekil A.26 : 5. kat kolon aplikasyon planı.



Şekil A.27 : 1 aksı kiriş donatı uygulaması.



Şekil A.28 : 2 aksı kiriş donatı uygulaması.

Çizelge A.2 : Kolon kesitlerinde toplam eğrilik istemleri ve hasar bölgeleri.

Kolon	Uç	θ_p (Radyan)	L_p (m) (0.5h)	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)	N (kN)	ε_c	ε_s	Hasar Bölgesi
S402	Alt	0.00072	0.125	0.00576	0.00400	0.00976	200.6	0.00115	0.00095	Minimum
S414	Üst	0.00166	0.125	0.01331	0.00400	0.01731	200.6	0.00160	0.00214	
S403	Alt	0.00070	0.125	0.00559	0.00400	0.00959	200.6	0.00115	0.00095	Minimum
S415	Üst	0.00168	0.125	0.01343	0.00400	0.01743	200.6	0.00160	0.00214	
S301	Alt	0.00000	0.125	0.00000	0.00384	0.00384	112.2	0.00055	0.00041	Göçme
S313	Üst	0.00818	0.125	0.06545	0.00384	0.06929	112.2	>0,01	>0,044	
S302	Alt	0.00000	0.125	0.00000	0.00400	0.00400	191.2	0.00065	0.00051	Göçme
S314	Üst	0.01340	0.125	0.10720	0.00400	0.11120	191.2	0.00640	0.01743	
S303	Alt	0.00000	0.125	0.00000	0.00400	0.00400	191.2	0.00065	0.00051	Göçme
S315	Üst	0.01340	0.125	0.10720	0.00400	0.11120	191.2	0.00640	0.01743	
S304	Alt	0.00000	0.125	0.00000	0.00384	0.00384	112.2	0.00055	0.00041	Göçme
S316	Üst	0.08466	0.125	0.67728	0.00384	0.68112	112.2	>0,01	>0,044	
S305	Alt	0.00000	0.150	0.00000	0.00342	0.00342	191.2	0.00065	0.00065	İleri Hasar
S309	Üst	0.00708	0.150	0.04721	0.00342	0.05063	191.2	0.00380	0.00957	
S306	Alt	0.00000	0.175	0.00000	0.00294	0.00294	327.8	0.00065	0.00055	Göçme
S310	Üst	0.00759	0.175	0.04335	0.00294	0.04630	327.8	0.00505	0.00952	
S307	Alt	0.00000	0.175	0.00000	0.00294	0.00294	327.8	0.00065	0.00055	Göçme
S311	Üst	0.00765	0.175	0.04373	0.00294	0.04668	327.8	0.00505	0.00952	
S308	Alt	0.00000	0.150	0.00000	0.00342	0.00342	191.2	0.00065	0.00065	İleri Hasar
S312	Üst	0.00678	0.150	0.04523	0.00342	0.04865	191.2	0.00370	0.00927	
S203	Alt	0.00010	0.125	0.00081	0.00488	0.00569	265.1	0.00100	0.00090	Minimum
S215	Üst	0.00000	0.125	0.00000	0.00488	0.00488	265.1	0.00090	0.00090	
S101	Alt	0.01170	0.125	0.09360	0.00502	0.09862	195.9	0.00755	0.01360	Göçme
S113	Üst	0.00000	0.125	0.00000	0.00502	0.00502	195.9	0.00085	0.00085	
S102	Alt	0.01150	0.125	0.09200	0.00488	0.09688	339.4	0.00900	0.01175	Göçme
S114	Üst	0.00000	0.125	0.00000	0.00488	0.00488	339.4	0.00900	0.00090	
S103	Alt	0.01150	0.125	0.09200	0.00488	0.09688	339.4	0.00900	0.01175	Göçme
S115	Üst	0.00000	0.125	0.00000	0.00488	0.00488	339.4	0.00900	0.00090	
S104	Alt	0.01170	0.125	0.09360	0.00502	0.09862	195.9	0.00755	0.01360	Göçme
S116	Üst	0.00000	0.125	0.00000	0.00502	0.00502	195.9	0.00085	0.00085	
S105	Alt	0.01240	0.175	0.07086	0.00295	0.07381	339.4	>0,01	>0,01	Göçme
S109	Üst	0.00000	0.175	0.00000	0.00295	0.00295	339.4	0.00080	0.00070	
S106	Alt	0.01270	0.200	0.06350	0.00268	0.06618	586.4	>0,01	>0,012	Göçme
S110	Üst	0.00000	0.200	0.00000	0.00268	0.00268	586.4	0.00080	0.00071	
S107	Alt	0.01280	0.200	0.06400	0.00268	0.06668	586.4	>0,01	>0,012	Göçme
S111	Üst	0.00000	0.200	0.00000	0.00268	0.00268	586.4	0.00080	0.00071	
S108	Alt	0.01240	0.175	0.07086	0.00295	0.07381	339.4	>0,01	>0,01	Göçme
S112	Üst	0.00000	0.175	0.00000	0.00295	0.00295	339.4	0.00080	0.00070	

Çizelge A.3 : Kiriş kesitlerinde toplam eğrilik istemleri ve hasar bölgeleri.

Kiriş	Uç	θ_p (Radyan)	L_p (m) (0.5h)	Φ_p (1/m)	Φ_y (1/m)	Φ_t (1/m)	ϵ_c	ϵ_s	Hasar Bölgesi
K101	Sol	0.01480	0.250	0.05920	0.00105	0.06025	0.00250	0.02585	Belirgin
K110	Sağ	0.01530	0.250	0.06120	0.00061	0.06181	0.00185	0.02683	
K102	Sol	0.01400	0.250	0.05600	0.00105	0.05705	0.00240	0.02449	Belirgin
K111	Sağ	0.01530	0.250	0.06120	0.00065	0.06185	0.00195	0.02684	
K103	Sol	0.01400	0.250	0.05600	0.00105	0.05705	0.00240	0.02449	Belirgin
K112	Sağ	0.01620	0.250	0.06480	0.00061	0.06541	0.00195	0.02879	
K104	Sol	0.01580	0.250	0.06320	0.00105	0.06425	0.00265	0.02778	Belirgin
K107	Sağ	0.01780	0.250	0.07120	0.00052	0.07172	0.00180	0.03168	
K105	Sol	0.01600	0.250	0.06400	0.00105	0.06505	0.00265	0.02778	Belirgin
K108	Sağ	0.01770	0.250	0.07080	0.00056	0.07136	0.00195	0.03163	
K106	Sol	0.01600	0.250	0.06400	0.00105	0.06505	0.00265	0.02778	Belirgin
K109	Sağ	0.01770	0.250	0.07080	0.00052	0.07132	0.00180	0.03168	
K201	Sol	0.01540	0.250	0.06160	0.00105	0.06265	0.00255	0.02637	Belirgin
K210	Sağ	0.01540	0.250	0.06160	0.00061	0.06221	0.00185	0.02683	
K202	Sol	0.01420	0.250	0.05680	0.00105	0.05785	0.00240	0.02449	Belirgin
K211	Sağ	0.01350	0.250	0.05400	0.00065	0.05465	0.00175	0.02368	
K203	Sol	0.01410	0.250	0.05640	0.00105	0.05745	0.00240	0.02449	Belirgin
K212	Sağ	0.01700	0.250	0.06800	0.00061	0.06861	0.00205	0.03026	
K204	Sol	0.01660	0.250	0.06640	0.00105	0.06745	0.00275	0.02882	Belirgin
K207	Sağ	0.01860	0.250	0.07440	0.00052	0.07492	0.00185	0.03256	
K205	Sol	0.01680	0.250	0.06720	0.00105	0.06825	0.00275	0.02882	Belirgin
K208	Sağ	0.01860	0.250	0.07440	0.00056	0.07496	0.00200	0.03244	
K206	Sol	0.01670	0.250	0.06680	0.00105	0.06785	0.00275	0.02882	Belirgin
K209	Sağ	0.01850	0.250	0.07400	0.00052	0.07452	0.00185	0.03256	
K301	Sol	0.00452	0.250	0.01806	0.00105	0.01911	0.00115	0.00791	Minimum
K310	Sağ	0.00072	0.250	0.00288	0.00061	0.00349	0.00030	0.00143	
K302	Sol	0.00022	0.250	0.00088	0.00105	0.00193	0.00025	0.00059	Minimum
K311	Sağ	0.00090	0.250	0.00359	0.00065	0.00424	0.00035	0.00172	
K303	Sol	0.00021	0.250	0.00085	0.00105	0.00189	0.00025	0.00059	Minimum
K312	Sağ	0.00520	0.250	0.02081	0.00061	0.02142	0.00080	0.00899	
K304	Sol	0.00562	0.250	0.02246	0.00105	0.02351	0.00130	0.00989	Belirgin
K307	Sağ	0.00661	0.250	0.02646	0.00052	0.02697	0.00080	0.01160	
K305	Sol	0.00533	0.250	0.02130	0.00105	0.02235	0.00125	0.00922	Belirgin
K308	Sağ	0.00665	0.250	0.02660	0.00056	0.02715	0.00090	0.01239	
K306	Sol	0.00528	0.250	0.02111	0.00105	0.02216	0.00125	0.00922	Belirgin
K309	Sağ	0.00702	0.250	0.02807	0.00052	0.02858	0.00085	0.01278	
K404	Sol	0.00028	0.250	0.00112	0.00105	0.00217	0.00120	0.00859	Minimum
K407	Sağ	0.00131	0.250	0.00525	0.00052	0.00576	0.00030	0.00224	
K405	Sol	0.00045	0.250	0.00178	0.00105	0.00283	0.00040	0.00093	Minimum
K408	Sağ	0.00136	0.250	0.00544	0.00056	0.00599	0.00035	0.00253	
K406	Sol	0.00033	0.250	0.00134	0.00105	0.00238	0.00035	0.00082	Minimum
K409	Sağ	0.00064	0.250	0.00257	0.00052	0.00309	0.00025	0.00154	

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Kivanç TAŞKIN

Doğum Yeri ve Tarihi: ESKİŞEHİR-25/06/1977

Adres: Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Bölümü İki Eylül Kampüsü 26555 Eskişehir

E-Posta: kivanct@anadolu.edu.tr

Lisans: Osmangazi Üniversitesi-İnşaat Müh. Bölümü

Yüksek Lisans : Anadolu Üniversitesi-İnşaat Müh. Bölümü

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

A. Uluslararası Hakemli Dergiler:

▪ Yuce S., Yuksel E., Bingol Y., **Taskin K.**, Karadogan H.F. 2007:Local Thin Jacketing for The Retrofitting of Reinforced Concrete Columns. *Structural Engineering and Mechanics*, Vol.27, No.5, pp.589-607.

B. Uluslararası Kitap İçinde Bölüm:

▪ Karadogan H.F., Pala S., Ilki A., Yuksel E., Mowrtage W, Teymur P, Erol G, **Taskin, K.**, Comlek R. 2008: Improved Infill Walls and Rehabilitation of Existing Low Rise Buildings, In: Seismic Risk Assessment and Retrofitting, With Special Emphasis on Existing Low Rise Structures. , Vol. 10, ISBN: 978-90-481-2680-4, Netherlands: Springer

▪ Karadogan H.F., Pala S., Yuksel E., Erol G, **Taskin K.**, Yuce, S.Z., Teymur P., Mowrtage W. 2010: Make the People a Part of the Solution and Prevent Total Collapse.UNESCO-IPRED-ITU

C. Uluslararası Konferanslar:

▪ **Taskin K.**, Karadogan H.F., Yardimci N., Yorgun C., Yuksel E. 2010: Experimental Work on Retrofitting of 1/3 Scale RC Frames with Simple Steel Braces. *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Repeublic of Macedonia, August30-September03,.

- **Taskin K.**, Karadogan H.F., Yardimci N., Yorgun C. 2010: Retrofitting Technique of RC Buildings with Simple Steel Dissipating Knee-Braces. *International Symposium of ECCS-Culture and Sustainability*, 21-24 September, Istanbul, Turkey.

D. Bilimsel Projeler:

- DEPREME KARŞI GÜÇLENDİRMEDE DIŞMERKEZ ÇAPRAZLAR(2006-2008)-106M045 TÜBİTAK PROJESİ-Yardımcı Araştırmacı