

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME YAPILARIN DİNAMİK
ÖZELLİKLERİNİN YAPISAL TANIMLAMA YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Burak YAVAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2017

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME YAPILARIN DİNAMİK
ÖZELLİKLERİNİN YAPISAL TANIMLAMA YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Burak YAVAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2017

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME YAPILARIN DİNAMİK
ÖZELLİKLERİNİN YAPISAL TANIMLAMA YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Burak YAVAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 06/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK
Yrd. Doç. Dr. Engin EMSEN
Yrd. Doç. Dr. Barış ERDİL

ÖZET

BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME YAPILARIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN YAPISAL TANIML YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Burak YAVAŞ

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Şubat 2017, 57 sayfa

Türkiye, bulunduğu coğrafik konum göz önüne alındığında sismik hareketliliğin oldukça fazla yaşandığı bir ülkedir. Deprem kuşağı üzerinde olan ülkemizde geçmişte meydana gelen depremlerden dolayı can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Ülkemizde meydana gelen depremlerde son 50 yıl içerisinde yılda ortalama 1000 kişi yaşamını yitirmiştir. Bu depremler, Türk yapı stoğunun depreme karşı oldukça yetersiz olduğunu göstermiştir. Özellikle 1999 yılından önce yapılan yapıların can ve mal kaybı açısından ciddi risk oluşturdukları ülkemiz araştırmacıları tarafından bilinmektedir. Bu yapılarda gerek mühendislik açısından ve gerekse yapım aşamasındaki yetersiz kontrollerden kaynaklanan ciddi yapısal kusurlar bulunmaktadır. Dolayısı ile mevcut ve kusurlu yapılar için iki farklı çözüm yolu mevcuttur; yapıların yıkılıp yeniden yapılması veya yapıların güçlendirilmesidir. Çerçeve tipi betonarme binaların öngörülen deprem etkileri altında güçlendirilmesinde pratik yöntemlerden biri çelik çaprazlardır. Çelik çaprazların (ÇÇ'lerin) aksel rijitliklerinin fazla olmasından dolayı kusurlu betonarme çerçevelerde yatay yük taşıyıcı elemanlar olarak kullanılmaktadır. Yeni nesil ÇÇ'lerden olan Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar (BEÇÇ'lerin) çekme ve basınç istemleri altında benzer davranış göstermektedir. BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş yapılarda yapısal tanımlama, BEÇÇ ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin güçlendirme öncesi, güçlendirme sonrası ve deprem yüklerine maruz kaldıktan sonraki yapısal ve dinamik özelliklerinin çıkartılmasına, hasar durum tespitine olanak sağlamaktadır.

Bu tezde, Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK tarafından yürütülen TÜBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında dinamik benzeri deney yöntemi ile test edilen ve ülkemizdeki yapı stoğunda görülen yapısal kusurları içeren 3 katlı ve 3 açıklıklı BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş betonarme bir çerçevenin farklı aşamalarda yapısal durumu ve hasar tespiti Dr. Tuba EROĞLU AZAK tarafından yürütülen FBA-2016-1620 nolu projede belirtilen yapısal tanımlama yöntemi ile incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Yapısal tanımlama, hasar tespiti, burkulması engellenmiş çelik çapraz, betonarme çerçeve, sismik güçlendirme

JÜRİ: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Engin EMSEN

Yrd. Doç. Dr. Barış ERDİL

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF RC STRUCTURES RETROFITTED WITH BUCKLING RESTRAINED BRACES BY USING HEALT MONITORING PROCEDURES

Burak YAVAŞ

**MSc Thesis in Department of Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK
February 2017, 57 pages**

Our country is located in the high seismic zone and this resulted in catastrophic earthquakes in the last two decades. Many of the existing reinforced concrete (RC) structures in the seismic zones are vulnerable to earthquakes in our country. It is known by researchers that the existing RC structures, especially the structures constructed before 1999, pose a serious risk in terms of life and property. There are serious deficiencies in the existing RC structures due to insufficient controls and engineering applications. Furthermore, these structures are weak against the lateral demands. There are two alternatives for the deficient existing structures; the RC structures can be destroyed and then reconstructed or they can be retrofitted. One of the well-known seismic retrofitting techniques is adding steel braces to the RC frames. The main reason of using steel brace for the purpose of retrofitting is axial rigidity which is very high. Hence, the steel braces are used as a lateral load carrying members to improve the seismic performance of deficient RC frames. These new generation steel braces are named as buckling restrained braces (BRBs). They have approximately the same capacity under both compressive and tensile demands and their hysteretic behaviour are quite stable. The health monitoring of the braced frames with BRBs enables to provide characteristic of the retrofitted braced frames before and after retrofit and after lateral demands imposed by earthquake.

In this theses, A three story-three bay deficient RC frame after retrofitted with BRBs tested in scope of TUBİTAK project (112M820) which is managed by Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK is used for health monitoring. The techniques used in this theses for the health monitoring is defined in the scope of FBA-2016-1620 which is managed by Dr. Tuba EROĞLU AZAK. Consequently, this theses studies the health monitoring of a deficient RC frame retrofitted with BRBs.

KEYWORDS: Health monitoring, structural damage, buckling restrained braces, RC frames, seismic retrofit.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK (Supervisor)
Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN
Asst. Prof. Dr. Barış ERDİL

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında geçmişte yaşanan depremlerdeki kayıpların bir daha yaşanmaması adına ülkemizdeki mevcut yapıların deprem güvenliğinin tespit edilmesi çalışmalarına katkıda bulunabilmek amaçlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından bitimine kadar geçen süreçte benden yardımlarını esirgemeyen, bildiklerini paylaşan ve özgün bir çalışma ortaya çıkarma konusunda her zaman ilham kaynağım olan, tezimin tamamlanmasında emeğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e teşekkür ederim.

Tez konumun belirlenmesindeki emekleri ve araştırmama verdiği desteğiyle Sayın Dr. Tuba EROĞLU AZAK'a ayırdığı değerli zamanı ve güveni için teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalar konusunda tecrübelerinden faydalandığım, yardımlarını esirgemeyen Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuvarı Uzmanı Sayın Salim AZAK'a teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Sayın Sedat ALCAN ve Sayın Ekrem BAKIR'a teşekkür ederim.

Canım kardeşlerim Alperen YAVAŞ ve Elif YAVAŞ'a, yüksek lisans eğitimim boyunca yardımları ve sınırsız sevgileri için çok teşekkür ederim. Sevgili annem Hayriye YAVAŞ ve babam Erol YAVAŞ'a koşulsuz sevgileri, bugüne gelmemdeki emekleri ve her daim yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. BEÇÇ'lerin Geliştirilmesi ve Çeşitleri	6
2.2.1. BEÇÇ'lerin eleman ve çerçeve benzeri sistem bazında davranışı.....	7
2.2.2. BEÇÇ'lerin çerçeve sistemi içerisindeki deneyleri	16
2.3. Yapısal Tanımlama ile İlgili Çalışmalar	20
3. MATERYAL VE METOT	22
3.1. Giriş.....	22
3.2. Katlı 3 Açıklıklı Betonarme Çerçevenin Tasarımı	22
3.3. Yapısal Tanımlama İçin Yapılan Çalışmalar	25
3.4. Betonarme Çerçevenin BEÇÇ'ler İle Güçlendirilmesi ve Deneylerin Yapım.....	32
Aşamaları	32
4. BULGULAR.....	41
4.1. Deneyler Esnasında Betonarme Çerçeve Meydana Gelen Hasarlar	41
5. TARTIŞMA	49
6. SONUÇ	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Alan
I	Atalet Momenti
σ	Gerilme
σ_y	Akma Gerilmesi
i	Atalet Yarıçapı
E	Elastisite Modülü
P_e	Euler Yük Kapasitesi
P_y	Akma Kapasitesi
l	Eleman Boyu

Kısaltmalar

BEÇÇ	Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
ÇE	Çekirdek Eleman
BEM	Burkulmayı Engelleyen Mekanizma
SPÇ	Sargılı Plastik Çapraz
FFT	Fast Fourier Transformation
AISC	American Institute of Steel Construction
PSD	Pseudo Dynamic Test
FTF	Frekans Tepki Fonksiyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 2.1. a): Çelik çaprazlı çerçeve,
b): Çelik çaprazın histeretik davranışı(Black 1980),
c): BEÇÇ'nin histeretik davranışı (Black 2002). 4
- Şekil 2.2. BEÇÇ boyutları ve en kesitleri (López 2001)(Wada 1998). 5
- Şekil 2.3. a): BEÇÇ (NISEE 2015),
b): Prekast BEÇÇ (Uang 2004) için çizim ve fotoğraf 6
- Şekil 2.4. BEÇÇ'lerin enkesit gösterimleri (Qiang 2005)(Tsai 2004)..... 6
- Şekil 2.5. (Iwata 2000) tarafından test edilen BEÇÇ'lerin deney düzeneği, kesit
görünüşleri ve histeretik (Eksenel yük-birim uzama) davranışları 8
- Şekil 2.6. a)Deney düzeneği, Eksenel yük-eksenel deformasyon grafiği,
b) Deney elemanı T-1,
c) Deney elemanı specimen 00-12. (Black 2002), (Clark 1999) 9
- Şekil 2.7. a) Deney düzeneği, b) BEÇÇ'nin boyutları, ÇE ve ek plakalar,
c) A-A enkesit gösterimi, d) B-B en kesit gösterimi,
e) BEÇÇ'nin uç detayı,
f) Deney elemanı BIB-L1'nin histeretik davranışı (Chen 2001). 10
- Şekil 2.8. a) SPÇ test elemanı Tip 1, b) SPÇ test elemanı Tip 2,
c) SPÇ kesit görünümü,
d) Test elemanı Tip 2'nin histeretik davranışı (Higgins ve Newell 2004)..... 11
- Şekil 2.9 a) BEÇÇ, b) BEÇÇ'nin enkesit gösterimi,
c) Deney elemanı Specimen B7-R5B-L3'e ait histeretik davranış
(Young 2009) 11
- Şekil 2.10 a) BEÇÇ'nin kısımları,
b) Deney elemanın (T2_420SN_A) histeretik davranışı,
c) BEÇÇ'nin enkesitleri, d) Test çerçevesi,
e) BEÇÇ'nin bağlantı detayı,
f) Deprem kaydı altında histeretik davranışı,
g) Statik yük protokolü,
h) Statik yük altında histeretik davranış, ı) BEÇÇ'de burkulma
(Tsai 2002) 12
- Şekil 2.11. a) Test çerçevesi, b) BEÇÇ ve
c)BEÇÇ enkesit gösterimi,
d) Normalize edilmiş yatay yük-yatay deplasman grafiği,
e) Boru profil üzerinde ölçülen yük ve deplasman (Tremblay 1999) 13

Şekil 2.12. a) Beton-boru profilden oluşan BEM'li BEÇÇ'lar, b) Plaka-kutu profilden oluşan BEM'li BEÇÇ, c) BEÇÇ'lerin ÇE boyutları (Tremblay 2006) d) BEÇÇ'lerin ÇE detayları (Tremblay vd 2006)	14
Şekil 2.13. a) C1-1'in histeretik davranışları, b) C1-1 boru profildeki aksenal yük değişimi, c) S1-1'in histeretik davranışı d) S2-1'in histeretik davranışı (Tremblay vd 2006)	15
Şekil 2.14. a) Test çerçevesi, b) Test 1 fotoğraf, c) Test 2 ve 3 fotoğraf, d) Test 1 için histeretik davranış, e) Test 2 için histeretik davranış f) Test 1, bayrak levhası ve sol kolon üst birleşiminde yırtılma, g) Test 2, Üst sol bayrak levhasında burkulma, h) Test 3, sol-üst düğüm noktasında kiriş alt başlığında yırtılma, i) Test 3, Üst-sol düğüm noktasında dönme (Uriz 2005), (Lopez 2004),(Aiken 2002).....	15
Şekil 2.15. a) Deney düzeneği ve BEÇÇ enkesitleri, b) Deney 1 ve c) Deney 3 için histeretik davranış (Meritt 2003)	16
Şekil 2.16. a) Çerçevenin analitik gösterimi, b) BEÇÇ'nin testten önceki durumu, c) Reference BRB'nin histeretik davranışı, d) ve e) Test esnasında BEÇÇ'nin belirtilen uçlarda kayması, f) BEÇÇ'nin uç kısmında plastikleşme ve dönme (Christopulos 2005)	17
Şekil 2.17. a)Deney çerçevesinin plan görünümü, b)Deney çerçevesinin fotoğrafı, c)Deneyde kullanılan BEÇÇ'ler, d-k)Deney esnasında gözlenen deformasyonlar ve bayrak levhasına eklenen plakalar (Tsai 2008),(Tasi 2008(2)).....	18
Şekil 2.18. Bayrak levhasındaki kuvvetler (Tsai 2208)	19
Şekil 2.19. a) Bayrak levhası ve ek plakalar, b) Deney çerçevesi çizimi, c) Deney çerçevesi yükleme yönleri (Tsai 2006).....	20
Şekil 2.20. a) Deney çerçevesi çizimi, b) Bağlantı detayı 1, c) Bağlantı detayı 2 (Fahnestock 2007).....	20
Şekil 2.21. Yapısal Tanımlamanın temel adımları.....	21
Şekil 3.1. Test edilen betonarme çerçeve ve eleman detayları	22
Şekil 3.2. TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanının yapım aşaması	23

Şekil 3.3.	TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanı	24
Şekil 3.4.	TÜBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanına ait deney düzeneği	25
Şekil 3.5.	Betonarme çerçeve üzerinde yapılan yapısal tanımlama deneylerinin şematik gösterimi	26
Şekil 3.6.	Kablosuz ivmeölçerlerin yerleşimi a) genel yerleşim, b) ivmeölçer bağlantı detayı	26
Şekil 3.7.	Deplasman ölçerlerin yerleşimi a) genel görünüş, b) kat seviyesindeki bağlantı detayı	27
Şekil 3.8.	Yapısal tanımlama testlerinde kullanılan darbe çekici (Hammer).....	28
Şekil 3.9.	Deney elemanının kolon-kiriş birleşim bölgesine darbe çekici ile vurularak tahrik edilmesi.....	29
Şekil 3.10.	3. Kat hizasında 3 kez darbe çekici ile vurulması ile 3. kat ivmeölçerinden elde edilen a) ivme kaydının tümü, b) seçili zaman dilimi için ivme kaydı, c) tüm ivme kaydı için FFT grafiği, d) seçilen veri için FFT grafiği.....	29
Şekil 3.11.	CMG-5U model tek eksenli ivmeölçerlerin deney elemanı üzerinde sabitlenmesi.....	30
Şekil 3.12.	Yapısal tanımlama deneyi sırasında kullanılan veri toplama sistemleri a) Vishay Micro-Measurements System 6000 b) Güralp Systems veri toplama sistemi c) Microstrain veri toplama sistemi d) PSD deneyleri gerçekleştirecek kontrol bilgisayarının veri toplama sistemi	31
Şekil 3.13.	3. kat kablolu ivmeölçerden elde edilen a) ivme kaydının tümü, b) seçili zaman dilimi için ivme kaydı, c) tüm ivme kaydı için FFT grafiği, d) seçilen veri için FFT grafiği.....	32
Şekil 3.14.	BEÇÇ ile güçlendirilen betonarme çerçevede 1. kat kablolu ivmeölçerlerin yerleşimi.....	32
Şekil 3.15.	TÜBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında BEÇÇ'ler ile güçlendirilen betonarme çerçevenin görünüşü.....	33
Şekil 3.16.	Kolon-temel birleşim noktasındaki bağlantı detayı	34
Şekil 3.17.	Kiriş orta açıklığındaki bağlantı detayı.....	35

Şekil 3.18. Kolon-kiriş düğüm noktasındaki bağlantı detayı.....	36
Şekil 3.19. BEÇÇ'lerin bayrak levhalarına montajı.....	37
Şekil 3.20. Güçlendirme İşlemi Uygulanan Orta Akstaki Genel Bağlantı detayları	37
Şekil 3.21. Dinamik benzerli deney test düzeneği ve deneye tabi tutulan güçlendirilmiş betonarme çerçeve.....	38
Şekil 3.22. Dinamik benzeri deneylerde kullanılan ivme-zaman dizisi.....	39
Şekil 3.23. Dinamik benzeri deneylerde kullanılan ve Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) ivme spektrumları.....	39
Şekil 3.24. Reaksiyon duvarına monte edilmiş deprem kayıtlarının uygulanmasında kullanılan yük hücreleri(hidrolik pistonlar)	40
Şekil 4.1. 72_Z1 Depremi(D1) esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar	41
Şekil 4.2. 475_Z1(D2) Depremi esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar	42
Şekil 4.3. 475_Z3(D3) Depremi esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar	42
Şekil 4.4. 2475_Z1(D4) Depremi esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar	43
Şekil 4.5. Mevcut çerçevenin FTF-Frekans grafiği	44
Şekil 4.6. BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş çerçevenin FTF-Frekans grafiği	44
Şekil 4.7. 475_Z1(D2) Depremi sonrası çerçevenin FTF-Frekans grafiği	45
Şekil 4.8. 475_Z3(D3) Depremi sonrası çerçevenin FTF-Frekans grafiği	46
Şekil 4.9. 2475_Z1(D4) Depremi sonrası çerçevenin FTF-Frekans grafiği	46
Şekil 4.10. Dinamik benzeri deneyler esnasında meydana gelen hasarlar.....	47
Şekil 4.11. Yapılan deneysel çalışmaların özet bilgileri	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Pe/Py oranları (Watanabe vd 1988)	7
Çizelge 3.1. Max. yer ivmeleri.....	38
Çizelge 4.1. BEÇÇ’li çerçeve deney sonucu	41
Çizelge 4.2. Mevcut çerçevenin frekans ve periyot değerleri.....	44
Çizelge 4.3. BEÇÇ’ler ile güçlendirilmiş çerçevenin frekans ve periyot değerleri	45
Çizelge 4.4. 475_Z1(D2) Depremi sonrası çerçevenin frekans ve periyot değerleri	45
Çizelge 4.5. 475_Z3(D3) Depremi sonrası çerçevenin frekans ve periyot değerleri	46
Çizelge 4.6. 2475_Z1(D4) Depremi sonrası çerçevenin frekans ve periyot değerleri	47

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasının temel amacı, sismik güçlendirmede alternatif yöntemlerden biri olup ülkemizde henüz yeni kullanılmaya başlanılan ve 112M820 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında üretilmiş olan burkulması engellenmiş çelik çaprazlar (BEÇÇ) ile güçlendirilmiş 3 katlı ve 3 açıklıklı betonarme bir çerçevenin güçlendirme öncesi, sonrası yapısal parametrelerinin ve yapısal durumunun yapısal tanımlama yöntemi ile elde edilmesidir. Tez çalışmasının ana amacı doğrultusunda elde edilecek kazanımlar şöyledir:

- 1) Yapısal tanımlama kullanılarak ülkemiz şartlarına uygun geliştirilmiş yeni tip BEÇÇ'nin etkinliğinin yapı ile birlikte davranışını dikkate alarak ortaya koyulması.
- 2) Yapısal tanımlama yöntemi sayesinde BEÇÇ ile güçlendirilmiş bir betonarme çerçevenin gerekli yapısal parametrelerin sunulması (temel periyot, modal şekil, sönümleme) ve hasar tespitinin yapılması.
- 3) Yeni tip üretilen BEÇÇ'lerin uluslararası akademik camiada etkisinin ve tanınırlığının artırılması.

Deprem kuşağı üzerinde olan ülkemizde mevcut şartname ve yapım teknikleri ile birlikte depreme karşı dayanıklı yapıların yapılması mümkün hale gelmiştir. Ancak özellikle 1999 yılından önce yapılan yapıların can ve mal kaybı açısından ciddi risk oluşturdukları ülkemiz araştırmacıları tarafından bilinmektedir. Bu yapılarda gerek mühendislik açısından ve gerekse yapım aşamasındaki yetersiz kontrollerden kaynaklanan ciddi yapısal kusurlar bulunmaktadır. Dolayısı ile mevcut ve kusurlu yapılar için iki farklı çözüm yolu mevcuttur; yapıların yıkılıp yeniden yapılması veya yapıların güçlendirilmesidir. Bilindiği gibi ülkemizde birçok kentsel dönüşüm projesi uygulanmaya başlanmıştır. Ancak kentsel dönüşüm projeleri ile yeniden yapılan yapıların sayısı mevcut kusurlu yapı stokunun küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Dolayısı ile güçlendirme alternatifi ekonomik açıdan hala en çok tercih edilen yöntem olarak görülmektedir.

Güçlendirme yöntemleri ile ilgili olarak ülkemizde son 15 yıldır ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda ülkemizde kullanılan ve yürürlükteki deprem şartnamesine farklı güçlendirme yöntemleri eklenmiştir. Şartnamemizde de mevcut olan ve mühendisler tarafından en fazla kullanılan güçlendirme yöntemi betonarme perde duvar ve kolon mantolanması ile yapılan güçlendirmelerdir. Her iki yöntemin de güvenilirliği yapılan birçok akademik çalışma ile ispatlanmıştır ve bu iki yöntem ile güçlendirme projeleri piyasada ticari olarak mevcut olan statik çözüm yapan paket programlarla kolaylıkla yapılabilmektedir. Ancak her iki yöntemin uygulama aşamasında güçlendirme yapılan yapının kullanılması imkânsızdır ve yapının boşaltılması gerekmektedir. Özellikle kamu binalarında yapının boşaltılması kamu hizmetinin de durması anlamına gelmektedir. Bunun yanında betonarme perde duvar uygulaması ciddi temel istemlerine yol açmaktadır ve genellikle temel güçlendirmesi de gerekli hale gelmektedir Jirsa (1991).

Bu güçlendirme yöntemlerine ek olarak en yenilikçi yöntemlerden biri, uluslararası camiada kabul görmüş çelik çaprazlar ile güçlendirme yöntemidir. Ayrıca çelik çaprazların dış akslara uygulanabilme ve hızlı imalat imkanından dolayı mevcut yapının içerisine en az müdahalede bulunarak işletmenin güçlendirme işleminden

minimum seviyede etkilenmesi kamu kurumları, hastane vb. kritik yapılarda ciddi önem arz etmektedir. Çelik çaprazların en önemli özelliği, yüksek eksenel rijitliğe sahip olmalarından dolayı, deprem kuvvetlerin emniyetli bir biçimde taşınmasına ve yanal deformasyonların sınırlandırılması olanak vermesidir. Çelik malzemesinin basınç kuvvetleri altında burkulma davranışı göstermesi ise, araştırmacıları burkulması engellenmiş çelik çapraz (BEÇÇ) üzerinde çalışmaya sevk etmiştir. Literatürde, çeşitli araştırmacılar tarafından tasarlanmış farklı tiplerde BEÇÇ modelleri bulunmaktadır. Ancak ülkemizde çok yeni bir konu olan BEÇÇ'ler ile güçlendirme konusunda gerek tasarıma yönelik gerekse uygulamada fazlaca bilgi bulunmamaktadır. Halen yürürlükte olan standart ve yönetmelikler (TS648, TS500, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY(2007))) betonarme perde duvar uygulaması ve karbon fiber lifli polimer ile güçlendirme yöntemleri ile sınırlandırılmış olup BEÇÇ ile güçlendirme konusuna değinmemektedirler. Bu sebeple, etkin ve ekonomik bir güçlendirme yöntemi olan BEÇÇ ile güçlendirme yönteminin tasarım ve uygulanması aşamasında önemli bir boşluk olduğu düşünülmektedir. Literatürde yer alan BEÇÇ modelleri, çoğunlukla yurtdışında yapılmış olan çalışmalara dayanmaktadır. Bununla beraber, Türk yapı stoğunun genel karakteristiklerine ve kusurlarına uygun olarak geliştirilmiş BEÇÇ tiplerinin geliştirilmesi ve etkinliklerinin test edilmesi oldukça önemlidir.

BEÇÇ'lerin çalışma prensibi, çelik çaprazların çekme ve basınç kuvvetleri altında benzer histeretik davranış göstererek yüklerin emniyetle taşınması ve plastikleşerek enerji sönmelenmesine katkı sağlamaları esasına dayanmaktadır. Bu nedenle ülkemizde mevcut kusurlu yapıların düşük akma dayanımına sahip BEÇÇ'ler ile güçlendirilmesi deprem kuvvetleri altında yatay öteleme istemlerinin sınırlandırılmasını ve deprem yüklerinin emniyetle taşınmasını sağlayacaktır. BEÇÇ ile güçlendirilmiş bir binada, kazanılan ek rijitlikler ve artan enerji sönmleme kapasitesi nedeniyle güçlendirme öncesi (orijinal) duruma kıyasla yapısal parametreler değişim gösterir. Ancak bu iyileşmenin güçlendirilmiş binanın yapısal parametreleri cinsinden (rijitlik, modal değerler, periyot, sönmleme) nicel olarak belirlenmesi yine deneysel çalışmalar ile ortaya konabilir. Bu aşamada yapısal tanımlama yöntemleri, yapısal parametrelerin çıkarılmasına ve yapıdaki iyileşmenin ölçülmesine olanak sağlar. Bununla beraber, BEÇÇ ile güçlendirilmiş bir binada, deprem sonrası hasarlı durumun tespiti yine yapısal tanımlama yöntemleri ile durumunun belirlenmesiyle mümkündür. Bu bağlamda, Türkiye'ye özgü yapı kusurlarına uygun olarak geliştiren BEÇÇ'lerin hem güçlendirme öncesi, hem güçlendirme sonrası (hasarsız) hem de deprem sonrası (hasarlı) performanslarının ve yapıya kazandırdıkları ek iyileştirmenin tayini büyük önem taşır. Böyle bir çalışma ise çok sayıda BEÇÇ'nin tasarımını, üretimini ve kusurlu yapıya uygulanarak test edilmesini gerektirdiği için yüksek bütçeli ve zaman isteyen bir çalışmadır.

BEÇÇ ile mevcut hasarlı betonarme çerçeve tipi binaların güçlendirilmesi konusunda TÜBİTAK tarafından desteklenen ve Akdeniz Üniversitesi yürütücülüğünde tamamlanmış olan Akdeniz Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı ortak çalışması olan 112M820 kodlu projedir. Bu projede, yeni BEÇÇ tipleri geliştirildiği gibi, literatürde mevcut düşük performanslı BEÇÇ'lerin de iyileştirilmesi üzerine çalışılmaktadır. Bu çalışmanın birinci aşaması olan farklı tipte BEÇÇ'lerin eleman bazında test edilmesi Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında tamamlanmıştır (Özçelik vd 2014, 2016).

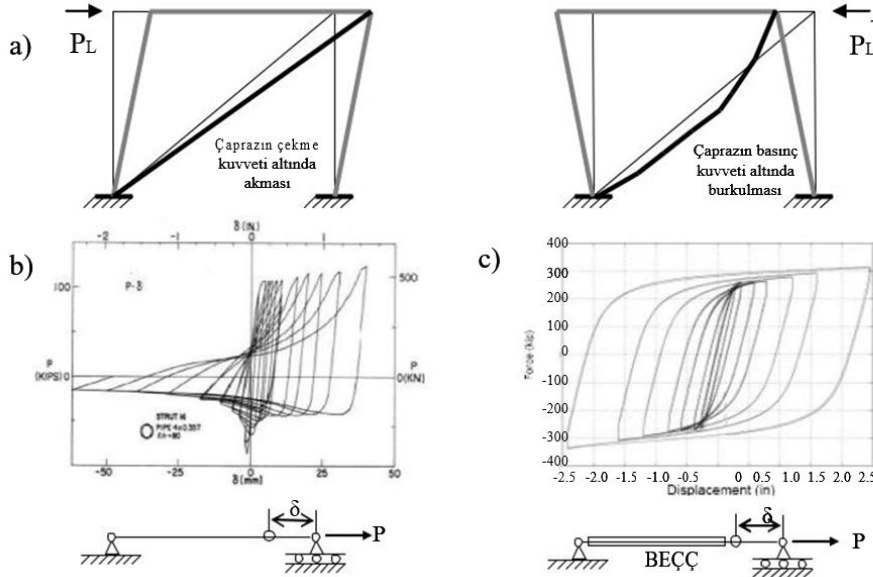
112M820 nolu projenin ikinci aşaması olan ve eleman bazında en iyi performans gösteren BEÇÇ'nin betonarme çerçeve içinde test edilmesi Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Mekanik Laboratuvarında tamamlanmıştır. Söz konusu tez çalışması kapsamında BEÇÇ ile güçlendirilmiş 3 katlı ve 3 açıklıklı 2 boyutlu ölçekli betonarme bir çerçevenin güçlendirme öncesi, güçlendirme sonrası ve farklı performans seviyelerine tekabül eden deprem yükleri altında test edildikten sonraki durumunun yapısal tanımlama yöntemleri ile elde edilmesi ve hasar tespiti yapılması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Bu tezin literatür özeti iki ana başlık altında sunulacaktır. Bunlardan ilki BEÇÇ'ler ve BEÇÇ ile güçlendirilmiş çerçeveler ile ilgili çalışmalar olup ikincisi yapısal tanımlama konusundadır. BEÇÇ'ler ile ilgili literatür çalışması Özçelik vd (2016) çalışmasında kapsamlı olarak ele alınmakla birlikte genel özeti aşağıda verilmiştir.

2.1. Giriş

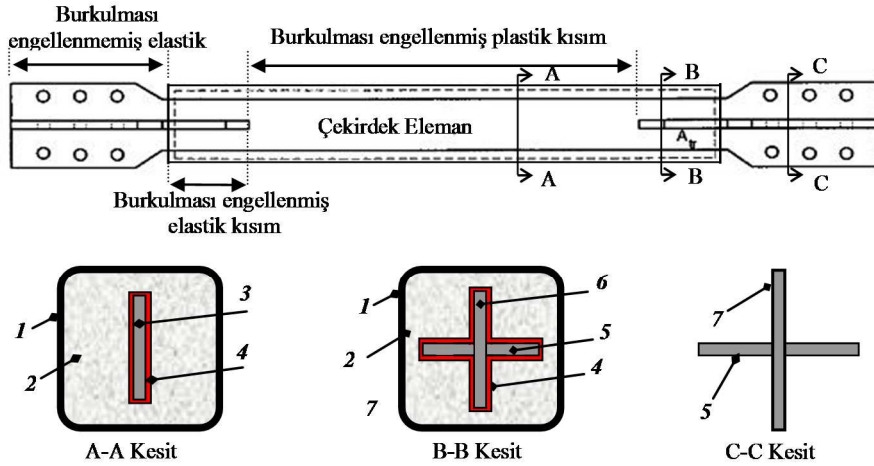
Çelik çaprazlar yapılara etkiyen rüzgar ve deprem kuvvetlerine karşı kullanılan yatay yük taşıyıcı elemanlardır. Bu çaprazların dizaynı esnasında karşılaşılan en büyük sorunlardan bir tanesi, kullanılan çelik çaprazların yüksek deformasyon istemleri esnasında çekme ve basınç kapasitelerinin eşit olmamasıdır. Yapılarda kullanılan çelik çaprazlar genel olarak çekme deformasyonu etkisi altında plastikleşmekle (çeliğin akması) beraber, basınç deformasyonu esnasında burkulmaktadır. Çaprazların burkulmasından sonra eksenel yük taşıma kapasitelerinde büyük azalma meydana gelmektedir. Şekil 2.1.(a, b)'de görüldüğü gibi çelik çaprazlı çerçeveye yatay kuvvet (PL) uygulandığı zaman, çelik çapraz, uygulanan yatay deplasmana bağlı olarak eksenel çekme ve basınç yüklerine maruz kalmaktadır (Black vd 1980). Çelik çapraz eksenel çekme deformasyonu altında plastikleşmekte; ancak eksenel basınç deformasyonu altında burkulmakta ve çaprazın eksenel basınç kapasitesi büyük oranda azalmaktadır. Çelik çaprazların burkulmasının önlenmesi ile birlikte eksenel basınç kapasitesinin değişeceği gerçeği araştırmacıları bu konu üzerine yönlendirmiştir (Şekil 2.1c, Black vd 2002). Bu şekilde de görüldüğü gibi Burkulması engellenmiş çelik çaprazların (BEÇÇ) eksenel çekme ve basınç deformasyonları altındaki davranışları hemen hemen eşit olmasının yanında enerji sönümleme kapasiteleri de diğer çelik çaprazlara göre oldukça stabil ve yüksektir.



Şekil 2.1. a): Çelik çaprazlı çerçeve,
 b): Çelik çaprazın histeretik davranışı (Black vd 1980),
 c): BEÇÇ'nin histeretik davranışı (Black vd 2002).

BEÇÇ'ler genel olarak Şekil 2.2'de görüldüğü gibi beş kısma ayrılmaktadır.

- Burkulması engellenmiş plastik kısım: Bu kısım BEÇÇ'de aksenal yükün taşındığı çekirdek elamandır (ÇE). Aksenal basınç ve çekme deformasyonları esnasında plastikleşmesi beklenmektedir.
- Burkulması engellenmemiş elastik kısım: Bu kısım çaprazın çerçeve elemanına (bayrak levhası) bağlantısını sağlayacak şekilde tasarlanır. ÇE'nin aksenal çekme ve basınç deformasyonları altında plastikleşmesi ve pekleşmesi sırasında elastik davranış göstermektedir.
- Burkulması engellenmiş elastik kısım: Bu kısım, çerçeveye bağlantı yapan "b"deki kısım ile plastikleşmenin olduğu ÇE arasında bir geçiş bölgesidir.
- Burkulmayı engelleyen kısım (mekanizma): Bu kısım ÇE'nin burkulmasını engelleyen kısımdır. Burkulmayı engelleyen mekanizma (BEM) için birçok araştırmacı tarafından farklı teknikler kullanılmıştır.
- Genişlemeyi sağlayan boşluk ve izolasyon malzemesi: Bu kısım için ÇE'nin yüzeyi ince bir malzeme ile kaplanabileceği gibi BEÇÇ'lerin yapımı aşamasında BEM ile ÇE'nin arasında belli bir mesafede boşluk bırakılarak da oluşturulabilir. Bu kısım hangi malzemeden olursa olsun, önemli olan BEM ile ÇE arasında sürtünmeden kaynaklanan kuvvet aktarımının engellenmesidir. Bu kuvvetin kısmen dahi olsa engellenmemesi durumunda BEÇÇ'lerin basınç kapasitesi çekme kapasitesinden büyük olacaktır. Ayrıca basınç deformasyonu altında poizon etkisi ile ÇE'de meydana gelecek hacimsel değişim de dikkate alınmalıdır ve ÇE'nin elastik durumu için 0.3, plastikleşme durumu için 0.5 alınabilir (Uang vd 2004).



1=çelik kutu profil, 2=beton (1 ve 2 burkulmayı önleyen mekanizma), 3=çekirdek eleman (plastik), 4=genişlemeyi sağlayan malzeme veya izolasyon malzemesi, 5=ek plaka, 6 ve 7=en kesiti arttırılmış çekirdek eleman (elastik)

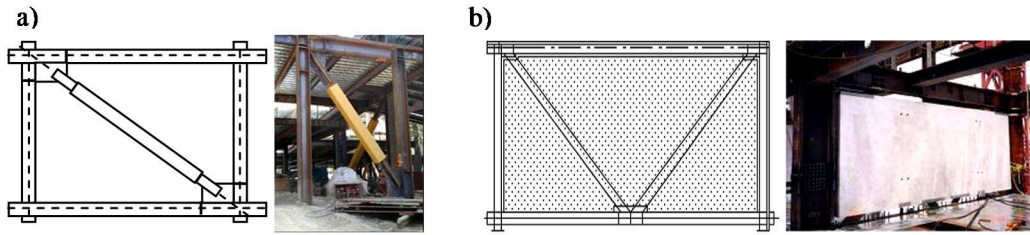
Şekil 2.2. BEÇÇ boyutları ve en kesitleri (Lopez 2001, Wada vd 1998).

BEÇÇ'lerin geliştirilmesi ve uygulama alanları günümüz mühendisleri tarafından geniş şekilde araştırılmaktadır. BEÇÇ'ler ile ilgili çalışmalar ilk olarak eleman bazında (sadece aksenal deformasyonlar uygulanarak) ve çerçeve benzeri sistem bazında (hem

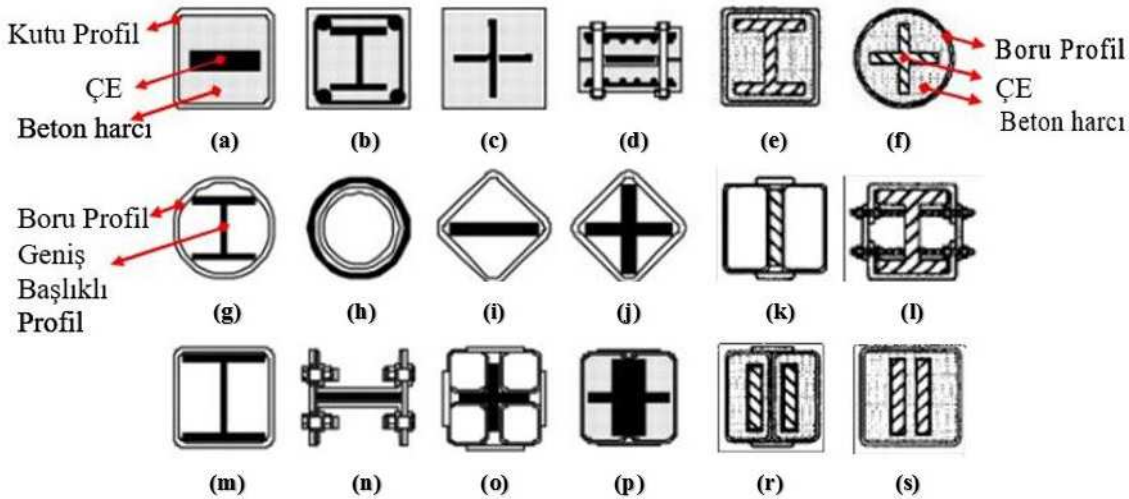
eksenel deformasyon hem de uç dönmeler uygulanarak) yapılan deneylerle başlamıştır. Bu çalışmaları BEÇÇ'lerin çerçeve sistemi içerisinde yapılan deneyler izlemiştir. Bu tezin literatür araştırması kısmında BEÇÇ'lerin geliştirilmesine yönelik eleman bazında, çerçeve benzeri sistem bazında ve çerçeve sistemi içerisinde yapılan bazı test sonuçlarını özetlemektedir (Özçelik vd 2016).

2.2. BEÇÇ'lerin Geliştirilmesi ve Çeşitleri

BEÇÇ'lerin geliştirilmesi ile ilgili ilk çalışmalar 1970'li yıllarda Japonya'da başlamıştır (Uang vd 2004). Diğer çalışmalar ise Tayvan (Tsai vd 2004) ve ABD'de yapılan kapsamlı araştırmalarla devam etmiştir (Özçelik vd 2016). BEÇÇ'ler genel olarak iki kısma ayrılmaktadır (Şekil 2.3). İlk kısımdaki BEÇÇ'ler: genel olarak ÇE'nin BEM ile arasında sürtünmeyi engelleyici malzeme ve hava boşluğu kullanılarak oluşturulmaktadır (Şekil 2.3a). Diğer BEÇÇ tipi ise: ÇE'nin prekast beton paneller arasına yerleştirilmesi ile elde edilmektedir (Şekil 2.3b). Bu tez kapsamında ilk kısımdaki BEÇÇ'ler incelenecektir.



Şekil 2.3. a): BEÇÇ (NISEE 2015),
b): Prekast BEÇÇ (Uang vd 2004) için çizim ve fotoğraf



Şekil 2.4. BEÇÇ'lerin enkesit gösterimleri (Qiang 2005, Tsai vd 2004).

Qiang (2005) ve Tsai vd (2004) tarafından yapılan çalışmalarda incelenmiş bazı BEÇÇ'lerin enkesitlerini Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Şekil 2.4a ve f'de görülen BEÇÇ tipinde: ilk olarak ÇE'nin yüzeyi sürtünmeyi engelleyici malzemeler ile kaplanır ve daha

sonra kutu veya boru profil içerisine yerleştirilir ve beton harcı profilin içine dökülür. Burada ÇE Şekil 2.4a'da görüldüğü gibi dikdörtgen kesitli bir eleman olabileceği gibi bu kesit "+" şeklinde de olabilir. Şekil 2.4p'de gösterildiği gibi ÇE yatık "T" şeklinde iki ayrı BEÇÇ'nin birleştirilmesiyle oluşturulabilir ve bu tip BEÇÇ'ler bayrak levhasına bağlantılarının daha kolay olmasından dolayı da tercih edilmektedir. Bunların yanında BEM tamamen çelik yapı elemanları kullanılarak da elde edilebilir (Şekil 2.4(k, l, n ve o). Ayrıca, kutu veya boru profil içerisine (beton harcı koymadan) ÇE olarak, geniş başlıklı profil, kutu veya boru profil yerleştirilerek de BEÇÇ elde edilebilir (Şekil 2.4g, h, i, j, m). Bu enkesitlere ek olarak, tasarımcı mühendis tarafından da BEÇÇ tasarlanabilir. BEÇÇ tasarımında önemli olan enkesit koşulları değil, elde edilen BEÇÇ'lerin belirli standartlarda göstermiş olduğu histeretik davranıştır.

2.2.1. BEÇÇ'lerin eleman ve çerçeve benzeri sistem bazında davranışı

Özçelik vd (2016) çalışmasında da detaylı şekilde verildiği üzere kare ve dikdörtgen kutu profil içerisine beton doldurulmasıyla (Profil-beton) oluşan BEM'e sahip BEÇÇ'lerin global burkulmasını önlemek için Watanabe vd (1988) beş adet test yapmışlardır ve Denklem 1'i önermişlerdir.

$$\frac{P_e}{P_y} \geq 1 \quad (1)$$

$$P_e = \frac{\pi^2 \times E \times I_{sc}}{(l_{sc})^2} \quad (2)$$

$$P_y = \sigma_y \times A_c \quad (3)$$

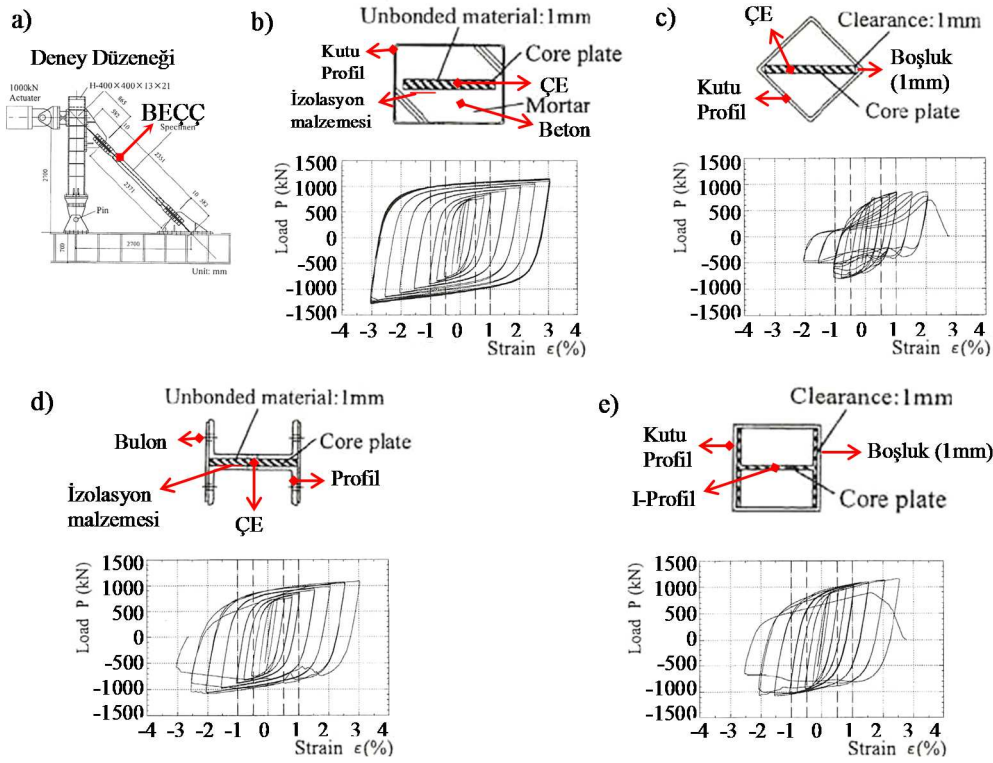
Burada P_e BEM'in (Kutu profil) Euler yük kapasitesi (Denklem 2), P_y ise ÇE'nin akma kapasitesidir (Denklem 3). Bu denklemlerde: çeliğin elastisite modülü, I_{sc} BEM'nin atalet momenti, l_{sc} çapraz uzunluğu, σ_y ÇE'nin akma gerilmesi, A_c ÇE'nin plastik bölgedeki enkesit alanıdır. Bu test elemanlarının kesit özellikleri Şekil 4a'dakine benzemekle beraber farklı P_e/P_y oranlarına sahiptirler (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi bu oran test elemanları 4 ve 5 için birden küçüktür. Bunun sonucu olarak bu iki test elemanında deney esnasında global burkulma meydana gelmesine rağmen diğer ilk üç elemanda basınç ve çekme deformasyonları altında kararlı ve simetrik histeretik davranış elde edilmiştir. Watanabe vd (1988) deney çalışmalarına ek olarak yapmış olduğu analitik çalışmalarda P_e/P_y oranının birden büyük olmasına rağmen ÇE'deki geometrik kusur gibi etkilerden dolayı bu değerlerin yeterli olmadığını belirtmişler ve pratik olarak P_e/P_y oranının 1.5'ten büyük olmasını önermişlerdir.

Çizelge 2.1. P_e/P_y oranları (Watanabe vd 1988)

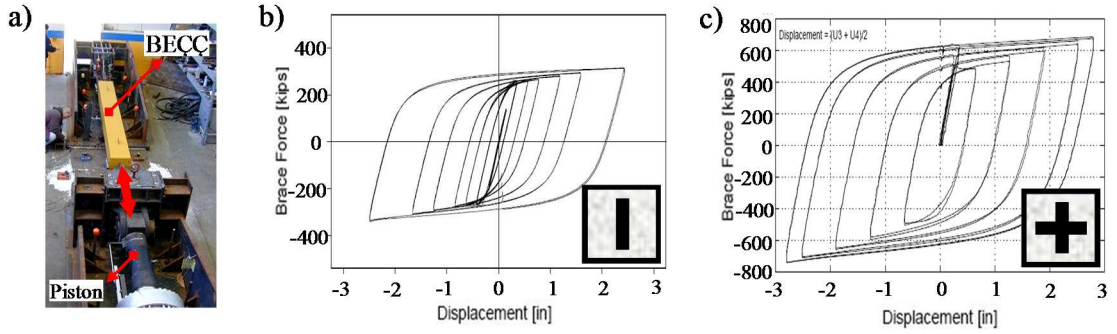
Model No	P_e/P_y
1	3.53
2	1.39
3	1.03
4	0.72
5	0.55

Iwata vd (2000) ticari olarak Japonya’da bulunan dört farklı tipdeki BEÇÇ’leri Şekil 2.5a’daki deney düzeneğinde test etmişlerdir. Burada test edilen BEÇÇ’lerin enkesitleri ve histeretik davranışları Şekil 2.5’te gösterilmektedir. Şekil 2.5b’deki BEÇÇ daha önce Watanabe vd (1988) tarafından test edilen BEÇÇ ile aynı kesit özelliğine sahiptir. Şekil 2.5b’de görüldüğü gibi test elemanı kararlı histeretik davranışa sahiptir. Bu test elemanı ÇE’nin her iki ucunda lokal burkulmadan dolayı kapasitesine ulaşmıştır. Şekil 2.5c ve e’deki test elemanları lokal burkulmalardan dolayı diğerlerine göre performansları daha düşüktür. Şekil 2.5d’de verilen test elemanı yüksek mukavemetli bulonların kopması ile kapasiteye ulaşmıştır (Iwata vd 2000).



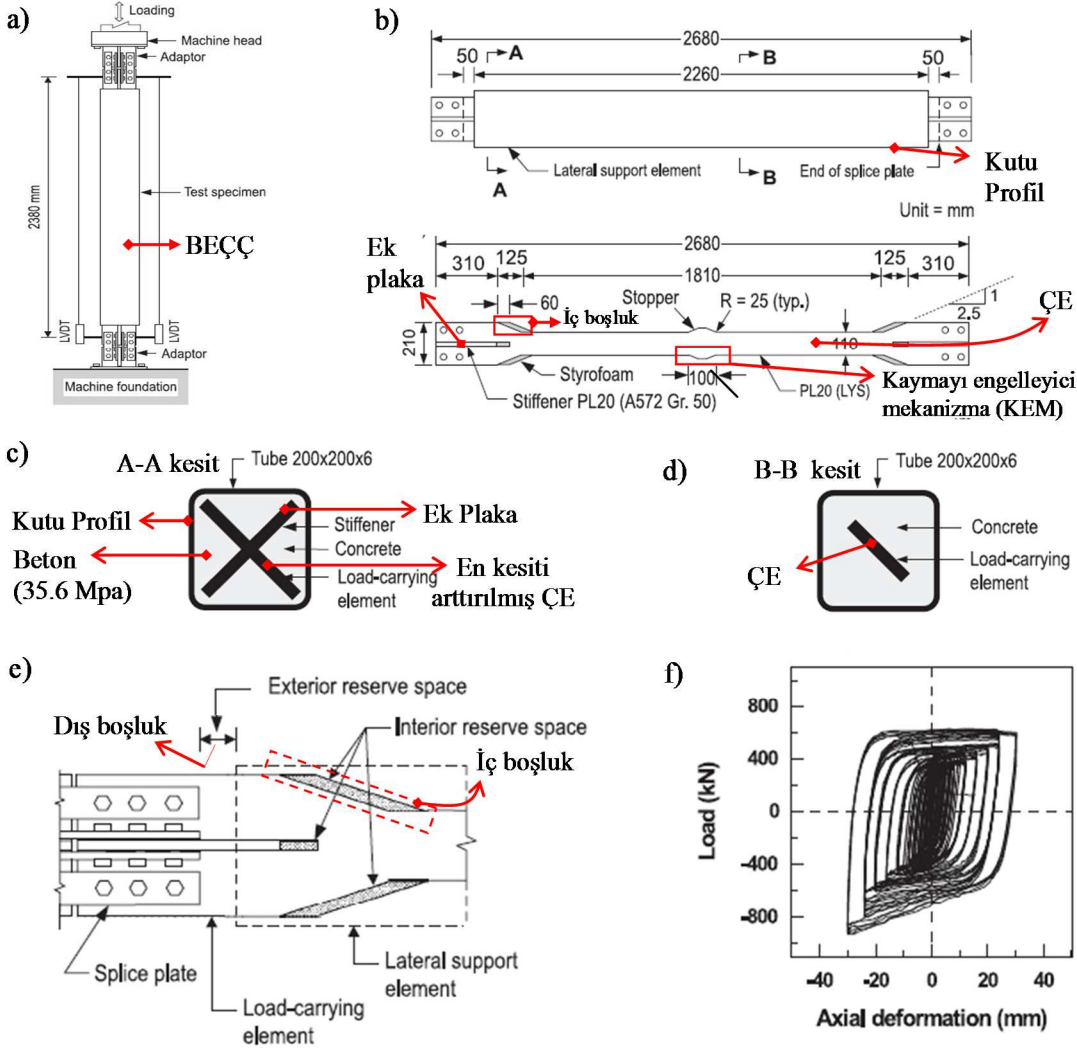
Şekil 2.5. Iwata vd (2000) tarafından test edilen BEÇÇ’lerin deney düzeneği, kesit görünüşleri ve histeretik (Eksenel yük-birim uzama) davranışları.

Amerika Birleşik Devletleri’nde BEÇÇ deneyleri ilk olarak 1999 yılında Kalifornia Üniversitesi’nde Clark vd (1999) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada profil-beton birleşiminden oluşan BEM’e sahip üç adet BEÇÇ test edilmiştir. Bu BEÇÇ’ler dikdörtgen ve “+” şeklinde ÇE’lere sahiptirler. Black vd (2002) tarafından yapılan çalışmada ayrıca BEÇÇ’lerin stabilite alanizleri geniş olarak ele alınmıştır. Kalifornia Üniversitesinde yapılan deneyler Şekil 2.6a’daki deney düzeneğinde görüldüğü gibi zemine paralel olarak yapılmıştır ve iki test elemanın histeretik davranışı Şekil 2.6b ve c’de gösterilmiştir.



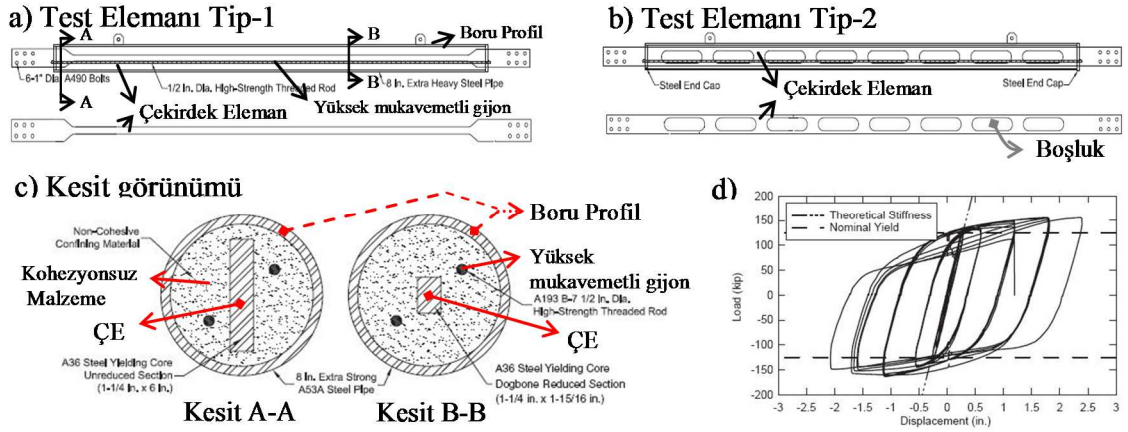
Şekil 2.6. a)Deney düzeneği, Eksenel yük-eksenel deformasyon grafiği,
 b) Deney elemanı T-1,
 c) Deney elemanı specimen 00-12. (Black vd 2002, Clark vd 1999)

Chen vd (2001) yaptığı çalışmada ÇE'nin akma gerilmesinin (100 MPa) düşük ve sünek çelikden (%50 birim uzama kapasitesi) oluşan BEÇÇ'leri Şekil 2.7(a)'da görülen düşey eksendeki deney düzeneğinde test etmiştir. Bu tip malzeme kullanılarak elde edilen BEÇÇ'li çerçeveler düşük kat ötelemelerinde BEÇÇ'lerin plastikleşmeye başlaması ve ÇE'nin sünek olmasından dolayı yüksek enerji sönümleme özelliğinde olduğu belirtilmiştir (Chen vd 2001). BEÇÇ'lerdeki ÇE, çerçeve davranışına bağlı olarak maruz kaldığı eksenel basınç ve çekme deformasyonları ile kısalmakta ve uzamaktadır. Bunun yanında BEM'de herhangi bir yük istemi bulunmağı için eksenel deformasyon söz konusu değildir. Bu durumda, BEÇÇ'lerin iç kısmında, ÇE'nin kesitinin artırıldığı burkulması engellenmiş elastik kısım (Şekil 2.7(c), (d) ve (e), BEM'e (Beton) temas etmesine izin vermemek için Şekil 2.7b ve e'deki iç boşluk ve çelik kutu profil ile bağlantı elemanlarının temasını engellemek için dış boşluk bırakılmıştır. ÇE'nin ve BEM'in orta açıklıklarındaki göreceli olarak hareketine izin verilmemesi için ÇE'nin orta açıklığında enkesit alanı artırılarak kaymayı engelleyici mekanizma (KEM) oluşturulmuştur (Şekil 2.7b). Şekil 2.7f'de görüldüğü gibi BEÇÇ'nin histeretik davranışı -20 mm'den sonra simetrik değildir.



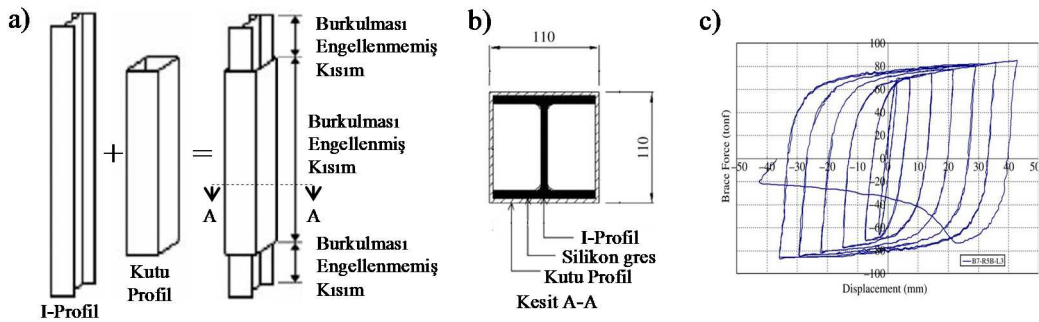
Şekil 2.7. a) Deney düzeneği,
 b) BEÇÇ'nin boyutları, ÇE ve ek plakalar,
 c) A-A enkesit gösterimi,
 d) B-B en kesit gösterimi,
 e) BEÇÇ'nin uç detayı,
 f) Deney elemanı BIB-L1'nin histeretik davranışı (Chen vd 2001)

Higgins ve Newell (2002) yukarıda bahsedilen profil-beton'dan oluşan BEM'den farklı olarak, ÇE'nin kohezyonsuz malzeme içerisine yerleştirilerek elde ettikleri sargılı plastik çaprazları (SPÇ) geliştirip test etmişlerdir. Higgins ve Newell (2002) ilk olarak ölçeklendirilmiş ve daha sonra tam ölçekli SPÇ'leri test etmişlerdir (Higgins ve Newell 2004). İki farklı ÇE geometrisine (Şekil 2.8a ve b) sahip toplam 14 adet SPÇ, Şekil 2.6a'dakine benzer bir deney düzeneğinde test edilmiştir (Higgins ve Newell 2004). Yapılan testlerde SPÇ'lerin performanslarının büyük oranda kullanılan kohezyonsuz malzemenin dane boyutuna ve şekline bağlı olduğu görülmüştür.



Şekil 2.8. a) SPÇ test elemanı Tip 1,
 b) SPÇ test elemanı Tip 2,
 c) SPÇ kesit görünümü,
 d) Test elemanı Tip 2'nin histeretik davranışı (Higgins ve Newell 2004)

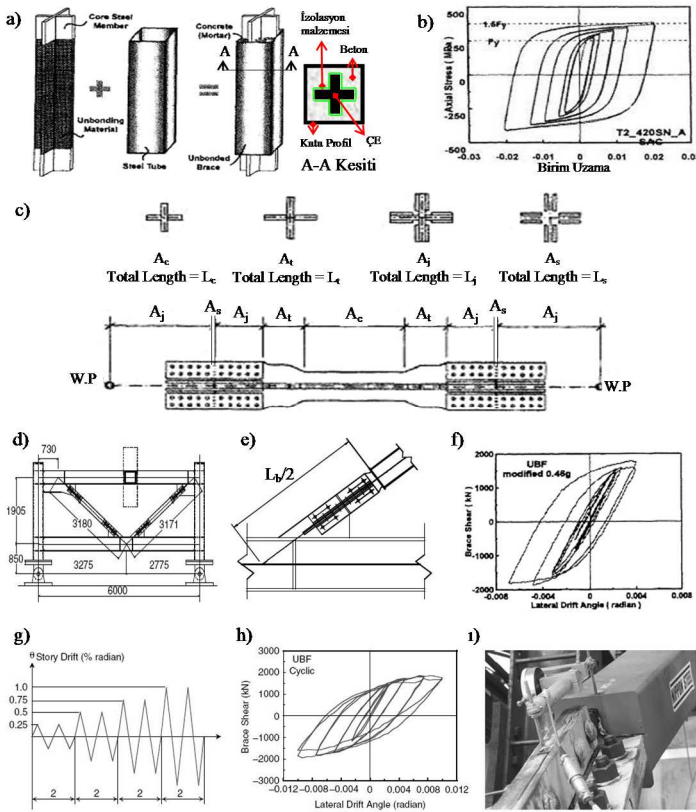
Geniş başlıklı I-profilin betonsuz kutu profilden oluşan BEM içine, sürtünmeyi engellemek için silikon gres kullanılarak oluşturulan ve bir örneği Şekil 2.9a ve b'de gösterilen BEÇÇ'ler Young vd (2009) tarafından test edilmiştir. Şekil 2.9c'de görüldüğü gibi söz konusu elemanın histeretik davranışı oldukça karardır. Bunun en önemli sebebi, bu eleman için kullanılan kutu profilin et kalınlığı diğerlerine göre daha büyüktür ve BEÇÇ uçları ek plakalarla güçlendirilmiştir. Kutu profilin et kalınlığı daha ince olan diğer elemanlarda lokal ve global burkulmalar görülmüştür ve bu BEÇÇ'lerin histeretik davranışları oldukça düşüktür.



Şekil 2.9. a) BEÇÇ,
 b) BEÇÇ'nin enkesit gösterimi,
 c) Deney elemanı Specimen B7- R5B-L3'e ait histeretik davranış (Young vd 2009)

Tsai vd (2002) Taipei'de bulunan 33 katlı çelik binayı güçlendirmek için kullanılan 562 BEÇÇ'den rastgele seçilen 27 adet BEÇÇ'yi hem eleman bazında hem de 1/2 ölçekli sistem bazında test etmiştir (Şekil 2.10). BEÇÇ'lerin elastik rijitliğini belirlemek için BEÇÇ'ler, ÇE'nin akma kapasitesinin %40 kadar aksel olarak

yüklenmiştir (deneyden sonra bu BEÇÇ'ler binaya monte edilmiştir) ve uygulanan kuvvetin çaprazda meydana gelen uzamaya oranı deneysel aksel rijitlik olarak kabul edilmiştir. Teorik olarak BEÇÇ'lerin aksel rijitliği Şekil 2.10c'de gösterilen uzunluklar ve alanlar dikkate alınarak Denklem 4'den hesaplanmıştır. Bu denklemde, K_{eff} teorik rijitlik, A_c , A_t , A_j ve A_s sırasıyla BEÇÇ'nin plastik bölgesi, geçiş bölgesi, burkulması engellenmiş ve engellenmemiş elastik bölgesi, BEÇÇ'nin bayrak levhasına bağlandığı noktadaki geçiş bölgesi olmak üzere Şekil 2.10c'de gösterilen bölgelerdeki alanlar ve bu bölgelerdeki uzunluklarda L_c , L_t , L_j ve L_s 'dir. Bu çalışmada deneysel ve teorik rijitlikler arasındaki hata %5'den daha azdır. Elastik deneylere ek olarak, Şekil 2.10b'de %85 civarında ölçeklendirilmiş BEÇÇ'nin histeretik davranışı, ÇE'nin aksel gerilme aksel birim uzama cinsinden grafiği görülmektedir. Tek ÇE'li (Şekil 2.4a) BEÇÇ'lere ek olarak çift ÇE'li (Şekil 2.4i) BEÇÇ'ler bayrak levhasına bağlantısının kolay olmasından dolayı özellikle Taiwan Üniversitesi ve Taiwan Deprem Araştırma Enstitüsünde kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Bu araştırmalar Tsai vd (2004) tarafından özetlenmiştir.

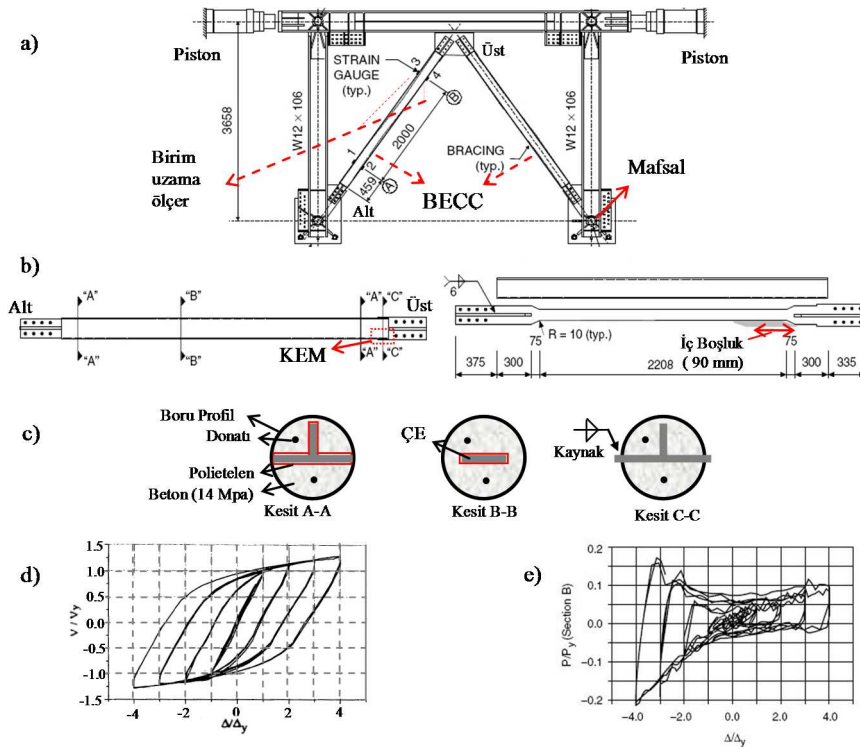


Şekil 2.10. a) BEÇÇ'nin kısımları, b) Deney elemanının (T2_420SN_A) histeretik davranışı, c) BEÇÇ'nin enkesitleri, d) Test çerçevesi, e) BEÇÇ'nin bağlantı detayı, f) Deprem kaydı altında histeretik davranışı, g) Statik yük protokolü, h) Statik yük altında histeretik davranış, i) BEÇÇ'de burkulma (Tsai vd 2002)

$$K_{eff} = \frac{1}{\frac{L_c}{EA_c} + \frac{L_t}{EA_t} + \frac{L_j}{EA_j} + \frac{L_s}{EA_s}} \quad (4)$$

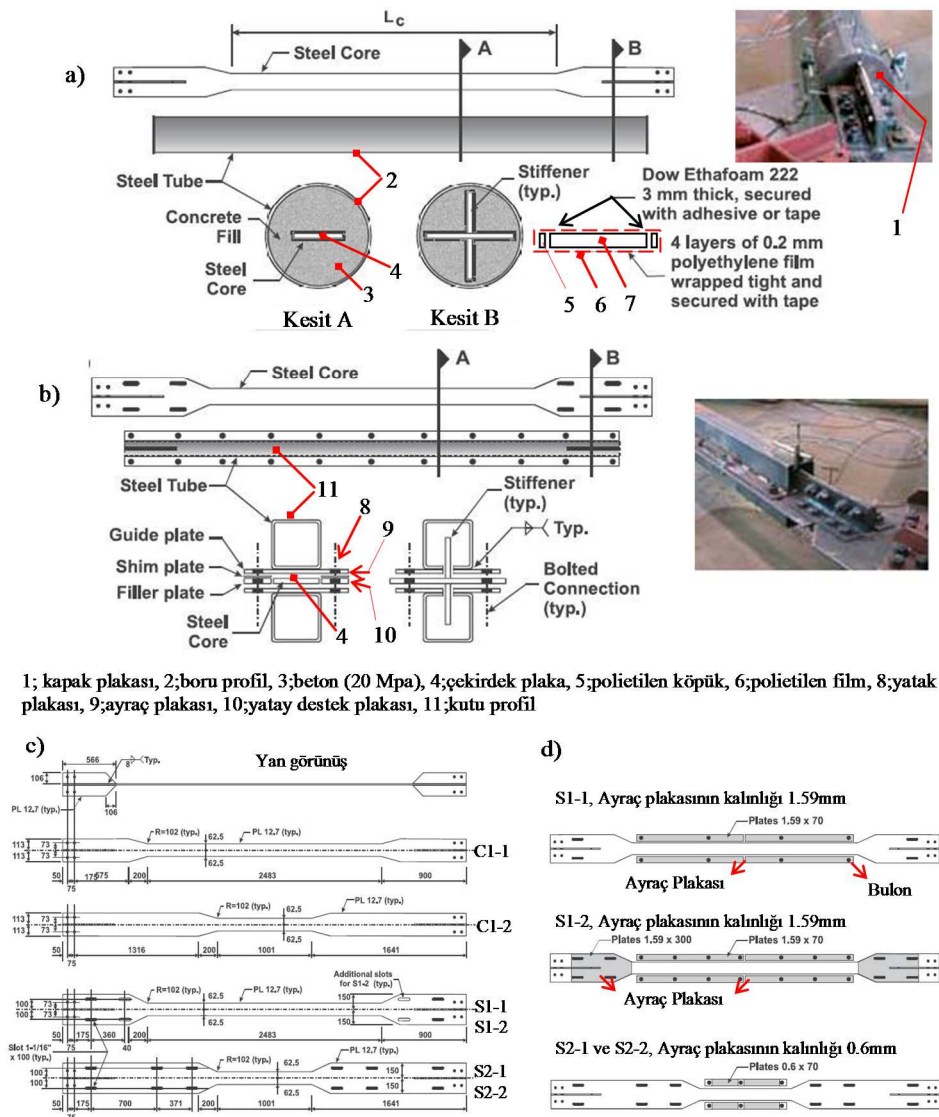
$$P_{e-trans} = \frac{\pi^2 EI_{trans}}{(kL_b)^2} \geq P_{C \max} \quad (5)$$

Tremblay vd (1999) dört katlı çelik bir binayı güçlendirmek için tasarladığı BEÇÇ'leri tek açıklıklı ve tek katlı, dört düğüm noktasında mafsallı olan çelik çerçeve benzeri sistem içerisinde test etmiştir (Şekil 2.11a). Şekil 2.11b ve c'de test edilen BEÇÇ'lerin boyutları ve kesitleri görülmektedir. Burada kullanılan BEÇÇ'lerin, deney esnasında boru profil üzerine yapılandırılan birim uzma ölçerlerden (Şekil 2.11a) elde edilen bilgiler doğrultusunda, çelik boru profilde ÇE'nin akma kapasitesinin % 20'si kadar aksel yük taşıdığı görülmüştür (Şekil 2.11e).

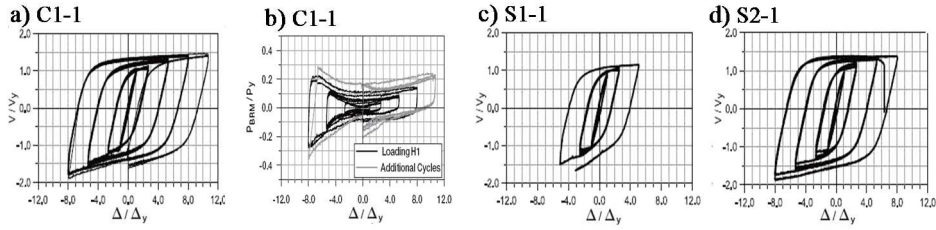


Şekil 2.11. a) Test çerçevesi,
b) BEÇÇ,
c) BEÇÇ enkesit gösterimi,
d) Normalize edilmiş yatay yük-yatay deplasman grafiği,
e) Boru profil üzerinde ölçülen yük ve deplasman (Tremblay vd 1999)

Tremblay vd (2006) tarafından yapılan başka bir deneysel çalışmada altı adet BEÇÇ Şekil 2.11'de gösterilen çerçeve benzeri sistem içerisinde test edilmiştir. Ancak bu çalışmada ters V çelik çapraz yerine diyagonal merkezi çapraz olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmanın genel amacı, BEÇÇ'lere etkileyen eğilme momentleri ve bunların BEÇÇ'ler üzerinde etkileri, ÇE'nin plastik bölge uzunluğu ve bu uzunluğun aksel rijitliğe ve yorulma kapasitesine etkisi ve değişik BEM'lerin incelenmesidir (Şekil 2.12 ve 2.13). Bu çalışmada kullanılan beton-kutu profilden oluşan BEM ve beton-ÇE arasındaki sürtünmeyi engellemek için kullanılan malzemelerin BEÇÇ'ler için kabul edilebilir oranda çalıştığı görülmüştür. Plaka ve kutu profilden oluşan BEM'li BEÇÇ'lerde ÇE'nin lokal burkulmasının ve dolayısı ile sürtünmenin engellenmesi ve plastikleşmenin ÇE'nin plastik kısmı boyunca yayılması gerektiği ortaya çıkmıştır (Tremblay vd 2006).

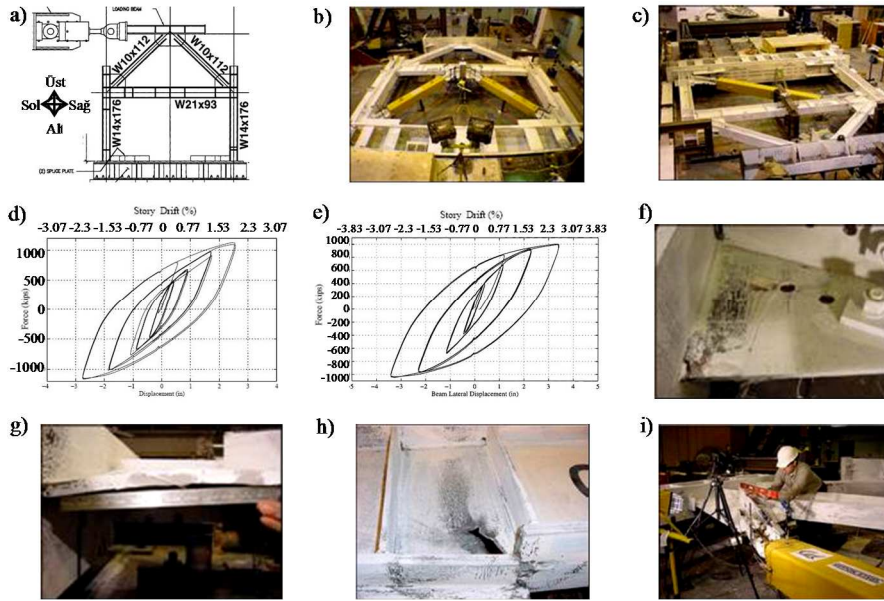


Şekil 2.12. a) Beton-boru profilden oluşan BEM'li BEÇÇ'ler,
b) Plaka-kutu profilden oluşan BEM'li BEÇÇ,
c) BEÇÇ'lerin ÇE boyutları
d) BEÇÇ'lerin ÇE detayları (Tremblay vd 2006)



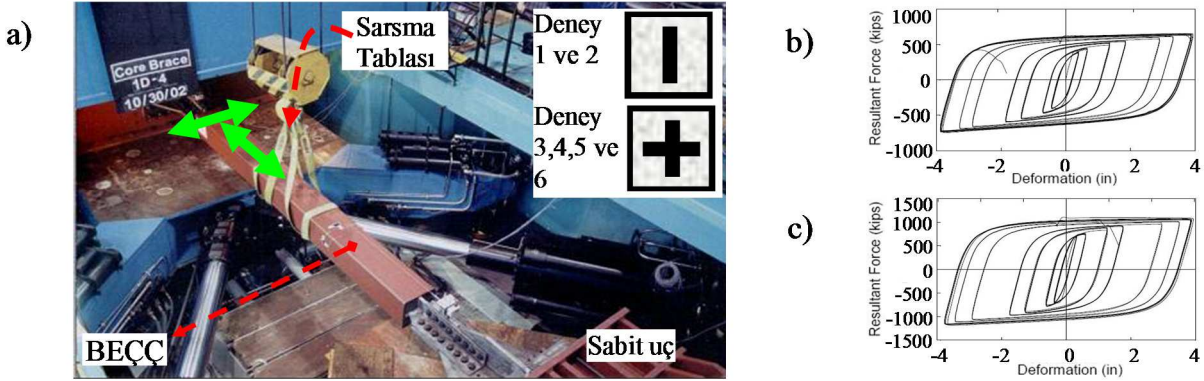
Şekil 2.13 a) C1-1'in histeretik davranışları,
 b) C1-1 boru profildeki eksenel yük değişimi,
 c) S1-1'in histeretik davranışı
 d) S2-1'in histeretik davranışı (Tremblay vd 2006)

Kalifornia Üniversitesi'nde, Şekil 2.14a'daki çerçeve sistemi kullanılarak, Şekil 2.14b ve c'de gösterilen bir adet ters V çelik çapraz (dikdörtgen şeklinde ÇE'ye sahip) ve iki adet diagonal çelik çaprazlı (dikdörtgen ve "+" şeklinde ÇE'ye sahip) çerçeve deneyi yapılmıştır (Uriz 2005, Lopez vd 2004, Aiken vd 2002).



Şekil 2.14. a) Test çerçevesi,
 b) Test 1 fotoğraf,
 c) Test 2 ve 3 fotoğraf,
 d) Test 1 için histeretik davranış,
 e) Test 2 için histeretik davranış
 f) Test 1, bayrak levhası ve sol kolon üst birleşiminde yırtılma,
 g) Test 2, Üst sol bayrak levhasında burkulma, h) Test 3, sol-üst düğüm noktasında kiriş alt başlığında yırtılma,
 i) Test 3, Üst-sol düğüm noktasında dönme (Uriz 2005, Lopez vd 2004, Aiken vd 2002)

Meritt vd (2003) BEÇÇ'nin aksel deformasyona ve uç dönmeye maruz kalacak şekilde hazırladığı deney düzeneğinde iki adet dikdörtgen ve dört adet "+" şeklinde ÇE'ye ve beton-kutu profilden oluşan BEM'e sahip toplam altı adet test yapmıştır (Şekil 2.15).

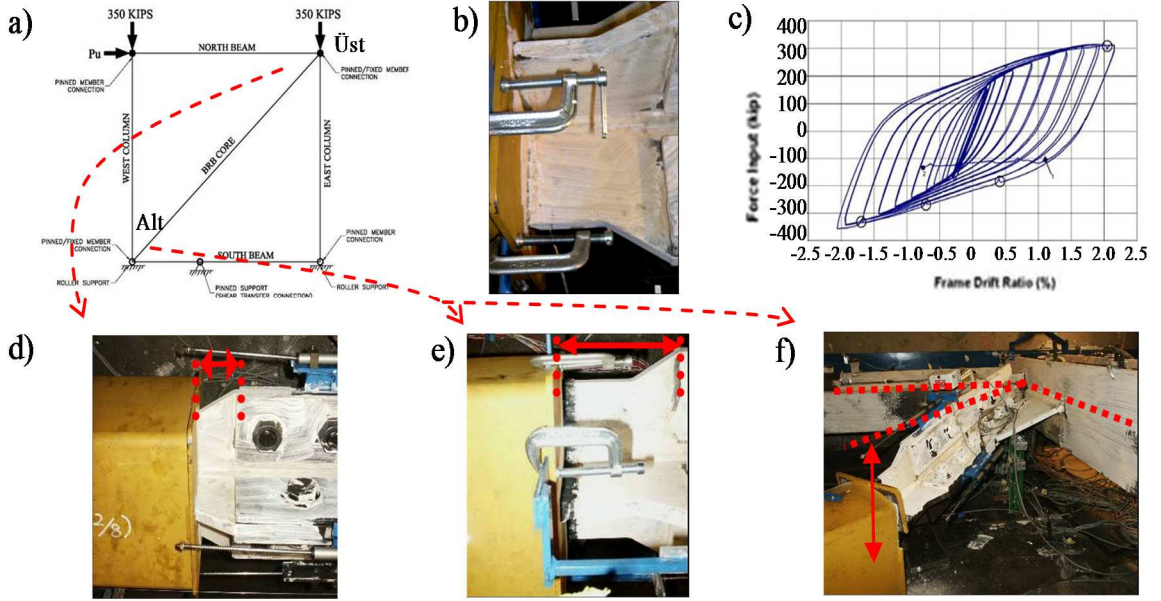


Şekil 2.15. a) Deney düzeneği ve BEÇÇ enkesitleri,
 b) Deney 1 ve
 c) Deney 3 için histeretik davranış (Meritt vd 2003)

Elde edilen herhangi bir BEÇÇ dizaynının BEÇÇ olarak kabul edilebilmesi için American Institute of Steel Construction (AISC) tarafından belirlenen minimum performans kriterlerini sağlaması gerekmektedir. (AISC)'de hem eleman bazında hem de çerçeve benzeri sistem bazında yapılacak olan deneylerde izlenecek yükleme protokolü, deney elemanın boyutları, elde edilen histeretik davranışın hangi şartlarda kabul edilebilirliği gibi düzenlemeler bulunmaktadır. Buna göre BEÇÇ'lerin herhangi bir çelik çaprazlı yapı içerisine konulması durumunda BEÇÇ'lerin bayrak levhasına bağlantısı, eleman boyu, ÇE en kesit alanı, çaprazlı çelik yapının yapacağı maksimum yatay ötelenme anında çaprazda meydana gelecek aksel uzama/kısalma, çapraz uç bağlantı bölgelerinde meydana gelen dönme istemlerinin tamamen görülebileceği çerçeve benzeri sistem içerisinde en az bir test yapılmalıdır.

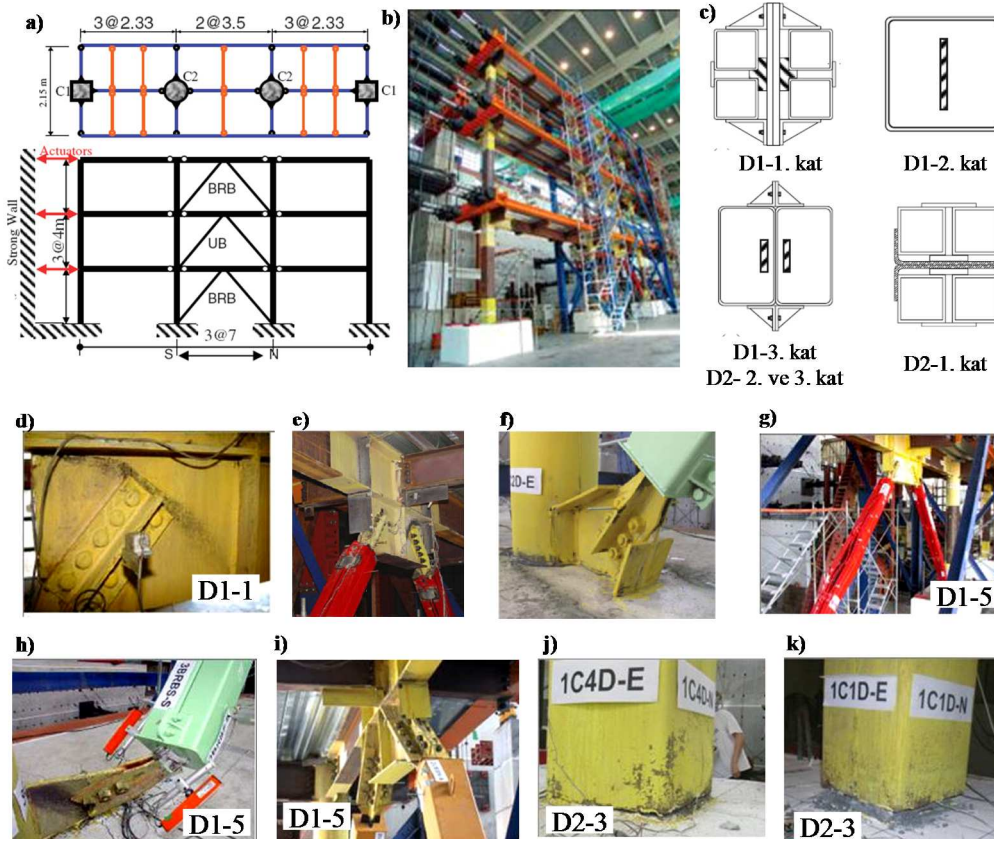
2.2.2. BEÇÇ'lerin çerçeve sistemi içerisindeki deneyleri

BEÇÇ'lerin eleman ve çerçeve benzeri sistem bazında davranışlarının yukarıda da görüldüğü gibi genel olarak kararlı olmasına karşın, BEÇÇ'lerin çerçeve içinde davranışlarında aynı kararlı histeretik davranış tam olarak görülememiştir. Bu konu ile ilgili olarak Özçelik 2016'da detaylı bilgiler bulunmakla beraber kısaca özeti aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.16. a) Çerçevenin analitik gösterimi,
 b) BEÇÇ'nin testten önceki durumu,
 c) Reference BRB'nin histeretik davranışı,
 d) ve e) Test esnasında BEÇÇ'nin belirtilen uçlarda kayması,
 f) BEÇÇ'nin uç kısmında plastikleşme ve dönme (Christopoulos 2005)

Christopoulos (2005) beş adet diagonal BEÇÇ'li çerçeveyi, zemine paralel olarak hazırladığı deney düzeneğinde test etmiştir (Şekil 2.16a ve f). Çerçeve sisteminin zemine paralel olmasına karşın beton-kutu profilden oluşan BEM, ÇE üzerinde yeterli KEM'nin olmamasından dolayı alt düğüm noktasından üst düğüm noktasına doğru hareket etmiştir. Şekil 2.16b deney başında, Şekil 2.16d ve e deney sonundaki BEM ve ÇE arasındaki mesafeleri göstermektedir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi BEÇÇ'nin alt uçundaki iç boşluk diğer uca göre artmıştır. Buna ek olarak Christopoulos (2005)'de de belirtildiği gibi alt kirişin düğüm noktasına sağladığı stabilitenin de yetersiz olmasının da etkisiyle BEÇÇ'nin uç kısmında plastik mafsallaşma oluşmuş ve %1.5 kat ötelemesinden sonra düzlem dışı burkulma meydana gelmiştir (Şekil 2.16f).



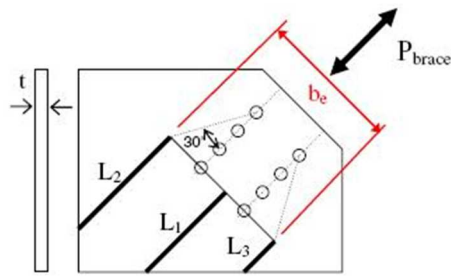
Şekil 2.17. a)Deney çerçevesinin plan görünümü, b)Deney çerçevesinin fotoğrafı, c)Deneyde kullanılan BEÇÇ'ler, d-k)Deney esnasında gözlenen deformasyonlar ve bayrak levhasına eklenen plakalar (Tsai vd 2008, Tsai ve Hsiao 2008)

Tam ölçekli, üç açıklı üç katlı BEÇÇ'li çerçeve, dinamik benzerli yükleme yapılarak Tsai vd (2008) tarafından test edilmiştir (Şekil 2.17a ve b) (Tsai vd 2008, Tasi ve Hsiao 2008). Bu çalışmadaki çelik çerçeve, beton döşeme, çelik kiriş ve kompozit kolonlardan oluşmaktadır. Dinamik benzerli yüklemelerde 1999 Chi-Chi (CC) ve 1989 Loma Prieta (LP) deprem kayıtları kullanılmıştır. 1. kısımdaki 1. deney CC deprem kaydının 50 yılda %50 aşılma olasılığı olacak şekilde ölçeklendirilerek yapılmıştır. Bu deneyin hemen başında 1. katta BEÇÇ'nin kiriş ile birleştiği bayrak levhasında burkulma (Şekil 2.17d) ve ayrıca 1. kat sağ kolon dibinde BEÇÇ-bayrak levhasının birleşimde düzlem dışı burkulma meydana gelmiştir. Bu testten sonra her katta kiriş orta noktasında bulunan bayrak levhalara ek plakalar kaynatılarak bayrak levhalarının burkulma kapasiteleri artırılmıştır (Şekil 2.17e) ve BEÇÇ ısıtılarak onarılmıştır. Bu işlemlerden sonra bu test tekrarlanmıştır. Deney D1-2-LP-10/50: Bu deneyde kolon-BEÇÇ birleşim bölgesindeki döşemede çatlaklar meydana gelmiştir. Deney D1-3-CC-2/50: Bu deneyde yine 1. kat sol kolon-BEÇÇ'nin birleştiği noktada BEÇÇ'de eğilme gözlenmiştir ve deney durdurularak 1. kat kolon dibindeki bayrak levhaları ek plakalar ile güçlendirilmiştir (Şekil 2.17f). Daha sonra test devam etmiştir. Deney D1-4-LP-10/50: Bu deney esnasında 1. kat sol BEÇÇ'de hafif de olsa yüksek modda burkulma görülmüştür. Oldukça düşük yatay yük istemlerine sahip deney D1-1-CC-50/50'nin hemen başında meydana gelen bayrak levhasındaki burkulma, kullanılan dizayn metodlarında soru işareti oluşturmuştur.

Bayrak levhasının tasarımı yapılırken, BEÇÇ'nin çekme kuvveti altında Whitmore (1952) kesiti dikkate alınmıştır. Bu kesit Şekil 2.18'de gösterildiği gibi b_e ve t ile sınırlanan kesittir. Denklem 6 sağlanarak, bayrak levhasının bu sınırlanan Whitmore kesiti boyunca plastikleşmesine izin verilmez. BEÇÇ'nin basınç kuvveti etkisi altında bayrak levhasının hesaplarında (Thornton 1984) tarafından önerilen ve Şekil 2.18'de bayrak levhası üzerinde gösterilen L_1 , L_2 ve L_3 uzunluklarından en büyük olanı kritik boy (L_{gc}) olarak alınır (Thornton 1984). Bu kritik boy kullanılarak, Denklem 7 BEÇÇ'nin basınç durumu için sağlanmalıdır. Denklem 7'deki etkili boy katsayısı (k), Thornton (1984) tarafından önerilen 0.65 olarak alınması durumunda hesaplanan değerler, deneyde kullanılan BEÇÇ'lerin aksenal basınç yüklerinden daha büyük olmasına rağmen Tsai vd (2008) ve Tsai ve Hsiao (2008)'de bahsedilen burkulmalar meydana gelmiştir. Bu çalışma sonunda 0.65 olan etkili boy katsayısının bayrak levhasına ek plakalar eklenmesi ile kullanılabilceği, eğer ek plaka kullanılmazsa bu katsayının 2 olarak kullanılabilceği belirtilmiştir (Tsai vd 2008).

$$P_{yGusset} = F_y \times b_e \times t \geq P_{Tmax} (= \Omega \times \Omega_h \times P_y) \quad (6)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E}{(kL_{gc}/r)^2} \times b_e \times t \geq P_{Cmax} (= \beta \times \Omega \times \Omega_h \times P_y) \quad (7)$$

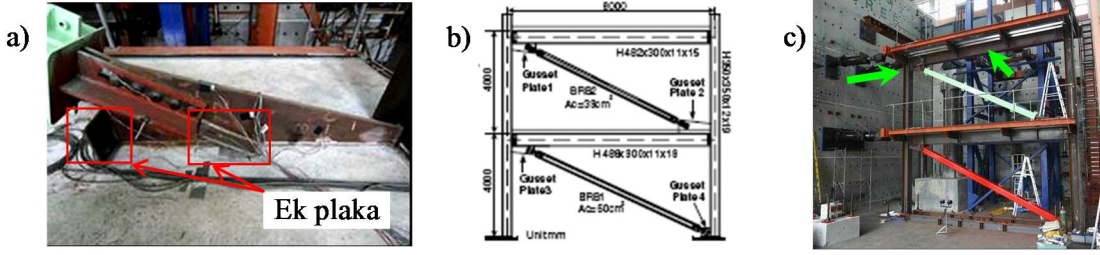


$P_{brace} = P_{Tmax}$ (BEÇÇ'nin çekme kuvvetine maruz kaldığı durumda)

$P_{brace} = P_{Cmax}$ (BEÇÇ'nin basınç kuvvetine maruz kaldığı durumda)

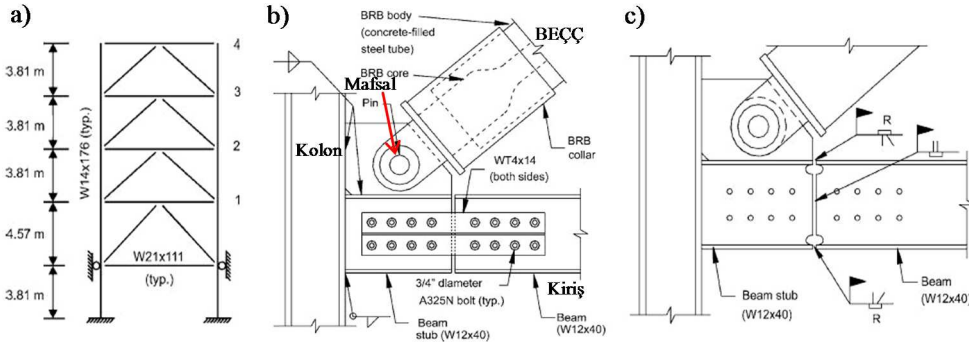
Şekil 2.18. Bayrak levhasındaki kuvvetler (Tsai vd 2008).

Tsai vd (2008) ve Tsai ve Hsiao (2008) tarafından yapılan deneylerde ilk yükleme esnasında bayrak levhasında meydana gelen burkulmadan sonra BEÇÇ'li çerçevelerde bağlantı detayını incelemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak Lin vd (2005 ve 2006) tarafından analitik çalışmalar yapılmıştır. Bu analitik çalışmada bayrak levhasının ek plakalarla burkulmaya karşı güçlendirilebileceği belirtilmiştir. Ek plaka kullanılması durumunda (Şekil 2.19a), etkili boy katsayısı için 0.65 katsayısı önerilmiş olup, bu analitik çalışma dikkate alınarak Şekil 2.19b'de gösterilen çerçeve, hem çerçeve ekseninde hem de çerçeve eksenine dik yönde yatay istemlerin uygulandığı (Şekil 2.19c) dinamik benzeri yükleme altında Tsai vd (2006) tarafından test edilmiştir. Bu deneylerde kolon-bayrak levhasındaki kaynakta çatlama meydana gelmesine rağmen, çerçeve yeterli performans göstermiştir.



Şekil 2.19. a) Bayrak levhası ve ek plakalar,
b) Deney çerçevesi çizimi,
c) Deney çerçevesi yükleme yönleri (Tsai vd 2006)

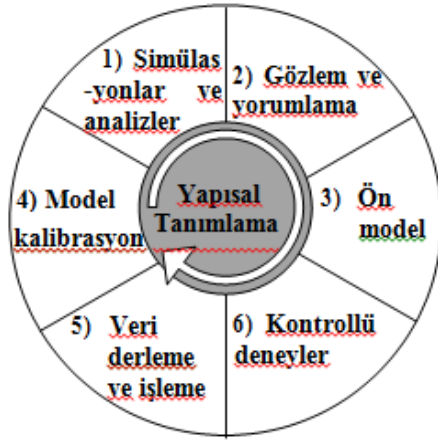
Çerçeve benzeri sistem bazında ve çerçeve düzeyindeki deneysel çalışmalarda genel olarak bayrak levhası-BEÇÇ arasındaki bağlantı bulonlar yapılmaktadır ve benzer özellik taşımaktadır (Şekil 2.10ı, Şekil 2.11a, Şekil 2.12a, Şekil 2.14i, Şekil 2.15a, Şekil 2.16f, Şekil 2.17h, Şekil 2.19a). (Fahnestock vd 2007), Şekil 2.20a’da görülen, 0.6 ölçekli dört katlı ve tek açıklıklı çerçeveyi test etmiştir.



Şekil 2.20. a) Deney çerçevesi çizimi,
b) Bağlantı detayı 1,
c) Bağlantı detayı 2 (Fahnestock vd 2007)

2.3. Yapısal Tanımlama ile İlgili Çalışmalar

Yapısal tanımlama, bir yapıya ait analitik model ile tahmin edilen davranım karakteristikler ile deneysel ölçümlerden elde edilen değerlerin korelasyonunun sağlanmasıdır. Yapısal tanımlama tipik olarak yapıların durumunu ve yapısal performansın, yapısal parametrelerin, hasar nedenli işletim anormalliklerini ve hasar yerlerinin, yapıların ekstrem yükler öncesi ve sonrası durumlarının tespiti için kullanılan bir yöntemdir. Bu bağlamda, yapısal tanımlama yapıların analitik modellerinin kalibre edilmesi ve gerçekçi bir şekilde modellenmesine olanak sağlar. Yapısal tanımlama, genel olarak 6 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar Şekil 2.21’de gösterildiği gibi gözlem ve yorumlama, ön modelin oluşturulması, kontrollü deneylerin yapılması, deneysel verinin derlenmesi ve yorumlanması, analitik modelin kalibrasyonu, modelin simülasyonlarda kullanılması şeklinde özetlenebilir. Buradan da anlaşılacağı gibi, yapısal tanımlamanın en önemli aşamalarından biri, yapının doğru bir biçimde instrümente edilerek yapısal verilerin toplanmasıdır.



Şekil 2.21. Yapısal Tanımlamanın temel adımları

Yapısal tanımlama ile ilgili çalışmalar yaklaşımlarına göre 5 ana gruba ayrılabilir. Bu çalışmada geleneksel yöntem olarak kabul edilen model bazlı yaklaşım kullanılacaktır. Model bazlı yaklaşımın 2 boyutlu çerçeve tipi yapılara uygulanması konusunda çalışmalardan biri Liu tarafından 2 boyutlu 21 elemanlı alüminyum kafes sistem üzerinde yapılmıştır. Liu (1995), çalışmasında yapının doğal frekanslarını ve mod şekillerini belirlemiş ve hasar tespiti yapmıştır. Yapının doğal frekansında ve mod şeklindeki değişimlerden yola çıkılarak eksenel rijitliğin azalması nedeniyle hasarın oluştuğu kanaatine varılmıştır. Kosmatka ve Ricles (1999) modal titreşimleri kullanarak 10 açıklıklı uzay kafes sistemdeki rijitlik değişimlerini tespit etmiştir. Betonarme kirişlerde üzerinde Ndambi vd (2002) tarafından yapılan çalışma doğal titreşim periyotlarının hesaplanması ve mod şeklinin türevlerinin kullanılarak çatlakların tespit edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Ren ve De Roeck (2002a, 2002b) ve Unger vd (2005) betonarme ve öngerilmeli betonarme kirişlerde hasarın yerini ve büyüklüğünü modal verileri kullanarak elde etmişlerdir. Pavlenko ve Loh (2004) tam ölçekli 3 katlı betonarme çerçevenin lineer olmayan sistem tanımlamasını dinamik benzeri test verilerini kullanarak yapmıştır. Moaveni vd (2011) sarsma tablasında ve dinamik yükler altında test edilen 2/3 oranında ölçeklendirilmiş tuğla duvarlı 3 katlı betonarme çerçevedeki rijitlik değişimlerini sonlu eleman modelini güncelleme metodunu kullanarak elde etmişlerdir. Literatürde, 3 boyutlu çerçeve tipi çelik ve betonarme binalarda yapılan diğer bazı çalışmalar şöyledir: Koh vd (1995), Zhu ve Xu (2005), Fritzen ve Bohle (2001), Görl ve Link (2001), Kunnath (2004), Haralampidis vd (2005), Liu vd (2005), Zhao vd (2006), Moaveni vd (2011), Saito ve Beck (2010), Kim ve Lynch (2012) ve Figueiredo vd (2011).

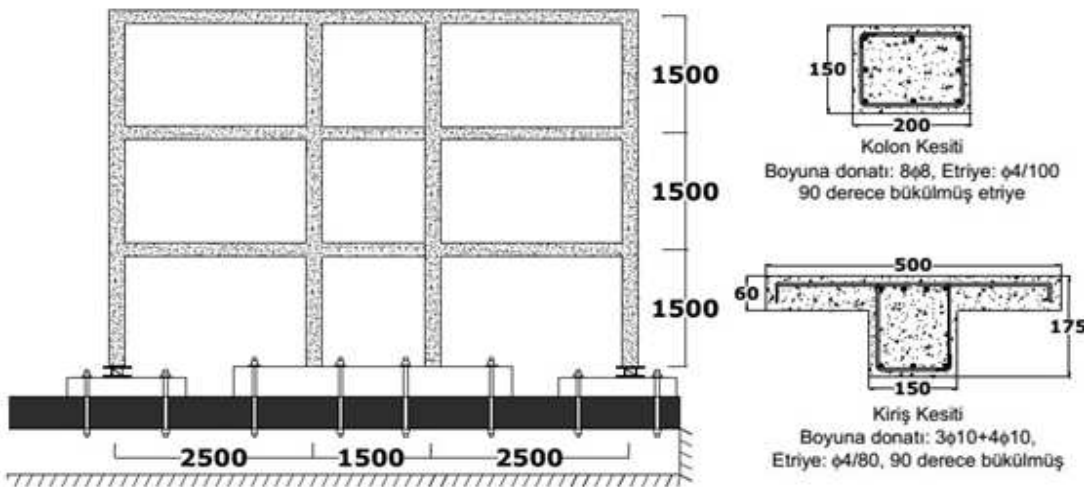
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Bu tez kapsamında test edilen betonarme çerçeve TÜBİTAK 112M820 nolu ve "Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazların Geliştirilmesi ve Betonarme Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesinde Kullanımının Araştırılması" başlıklı proje kapsamında imal edilmiştir (Şekil 3.3). TÜBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında bir adet 3 açıklık ve 3 katlı kusurlu betonarme çerçeve dinamik benzeri deney (pseudo dynamic test) yöntemi ile test edilmiştir. Bu tez konusu ise TÜBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında gerçekleştirilen dinamik benzeri deney öncesi ve sonrası yapılan ara testlerden meydana gelmektedir. Dolayısı ile bu tez kapsamında kullanılan bütün veriler TÜBİTAK 112M820 projesi kapsamında elde edilen verilerden alınmıştır.

3.2. Katlı 3 Açıklıklı Betonarme Çerçevenin Tasarımı

Bu tez kapsamında, ülkemizdeki binalarının genel karakteristiklerine göre tasarlanmış 3 katlı 3 açıklıklı ölçeklendirilmiş betonarme bir çerçeveye ait dinamik özelliklerin yapısal tanımlama ile elde edilmesi amaçlanmaktadır. Betonarme çerçeve 3 aşamalı yapısal tanımlama testlerine tabi tutulmuştur. Birinci aşamada, Şekil 3.1'de verilmekte olan betonarme boş çerçeve herhangi bir güçlendirme olmaksızın test edilmiştir. Deneylerde kullanılacak olan çerçeve, ölçeklendirilmiş boyutlara sahip olmakla beraber ülkemizde görülen ve aşağıda belirtilen başlıca yapı kusurlarını içerecek şekilde detaylandırılmıştır. Kolon ve kiriş kesitleri sırasıyla 150x200mm ve 150x175mm'dir. Kolonlarda 8φ8 ve kirişlerde 3φ8+4φ10 düz donatı kullanılmıştır. Boyuna donatı detayı ile birlikte güçlü kiriş zayıf kolon uygulaması yapılmıştır. Kolonlar ve kirişler için kullanılan etriye 4mm çapında düz donatı olup etriye aralıkları kolon ve kirişler için sırasıyla 100 ve 80 mm'dir. Etriye bacakları 90 derece bükülmüştür. Beton dayanımı yaklaşık olarak 8 MPa civarındadır (en büyük agrega dane çapı 12 mm civarındadır). Kolon-kiriş birleşiminde etriye konulmamıştır. Betonarme çerçevenin yapım aşamaları Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Test edilen betonarme çerçeve ve eleman detayları (TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanı)

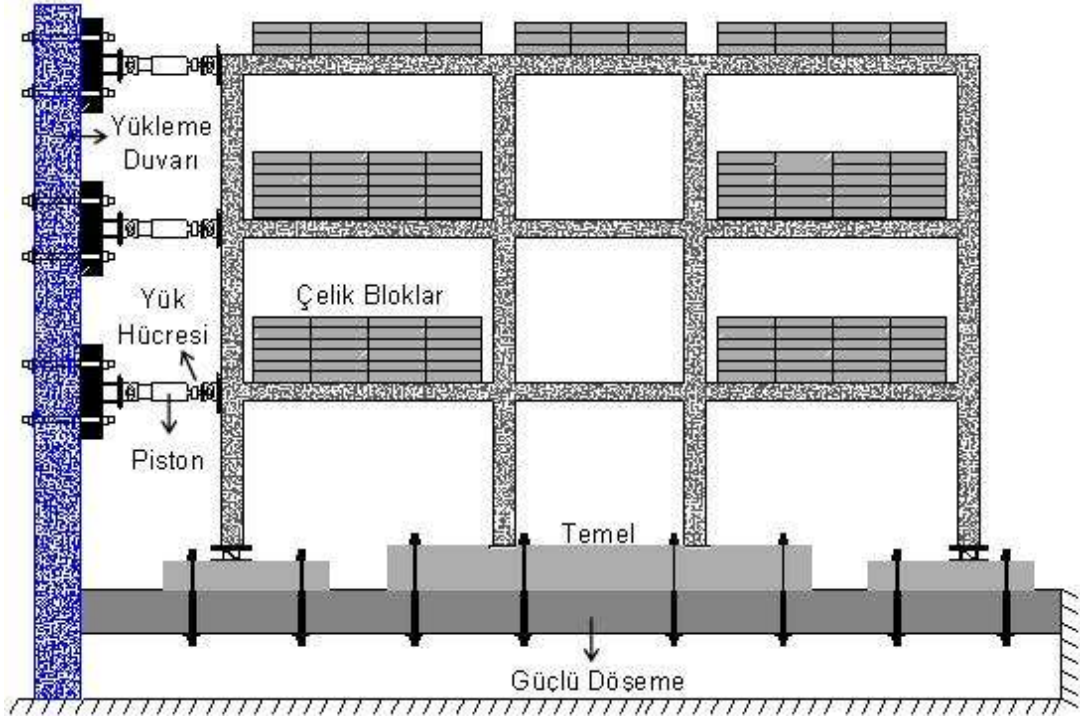


Şekil 3.2. TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanın yapım aşaması

a) kalıp kurulumundan önce, b) kenar kolon dibinde donatı detayı, c) kenar kolon dibinde donatı detayı d) boyuna donatı e) kalıp içerisine yerleştirilmiş donatı, f) kiriş donatısının yerleşimden önce, g) kolon kiriş birleşimi, h) kiriş donatısının yerleştirilmiş hali, i) 1. Kat kat beton dökümünden önce, j) 1. Kat beton dökümü, k) 1. kat bet. Dökülmüş hali, m) çelik blokların yerleştirilmesinden önce, n) 2. Kat kalıp, o) 1. Kat çelik blok yerleşimi, p) 1. Kat yükleri, r) 2. Kat beton dökümünden sonra, s) 3. Kat kalıp, t) 3. Kat beton dökümünden sonra, v) 2. Kat yük yerleşimi



Şekil 3.3. TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanı



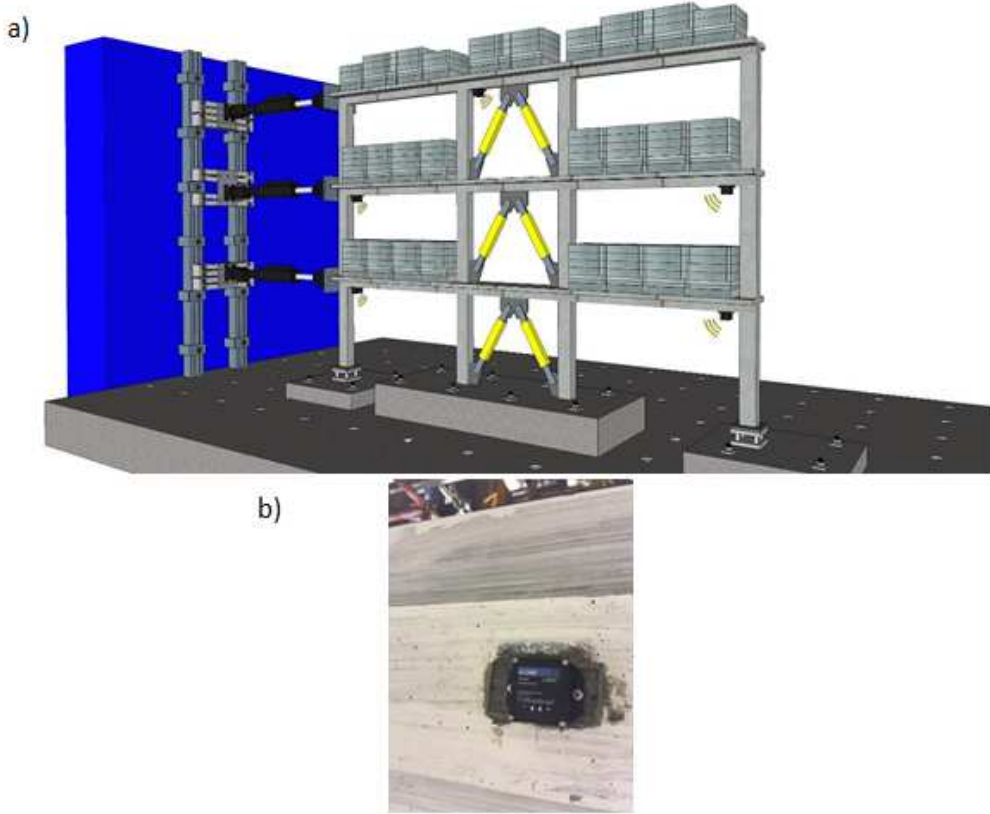
Şekil 3.4. TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanına ait deney düzeneği

3.3. Yapısal Tanımlama İçin Yapılan Çalışmalar

TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanının her katında 1 ya da 2 adet 3 yönlü ivmeölçerler yerleştirilmiştir. İvmeölçerlerin yerleşim noktaları Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmektedir. Kablosuz haberleşme özelliğine sahip ivmeölçerler deney bilgisayarına bağlanan baz istasyon ve deney bilgisayarındaki yazılım sayesinde ölçtükları ivme datasını anlık olarak bilgisayara göndermektedirler. Yapılan deneylerde, çözünürlük kayıplarını minimuma indirmek amacı ile tüm ivmeölçerlerin en az 128 hz hızda veri kaydetmeleri için programlanmıştır. Deney sırasında bir adet darbe çekici ile betonarme çerçevenin doğal titreşim periyotlarında salınım sağlanmıştır. Darbe çekici ile uygulanan kuvvet de anlık olarak yine kaydedilmiş ve deney bilgisayarında yüklenmiştir. Deney sonrasında, deneyden elde edilen kuvvet verisi kullanılarak eşzamanlı ivme verisi normalize edilmiştir. Normalize edilen ivme kayıtlarına, zaman uzayından frekans uzayına geçilebilmesi için Fast Fourier Transformation (FFT) uygulanmış ve doğal titreşim frekansları elde edilmiştir. Deneyde öncelikli olarak temel periyotun elde edilmesi amaçlanmıştır. Mümkün olduğu takdirde diğer doğal periyotların da belirlenmesine çalışılmıştır. Ayrıca elde edilen veriler ışığında betonarme çerçevenin sönümleme katsayısı da hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Betonarme çerçeve üzerinde yapılan yapısal tanımlama deneylerinin şematik gösterimi



Şekil 3.6. TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanına

Kablosuz ivmeölçerlerin yerleşimi

a) genel yerleşim

b) ivmeölçer bağlantı detayı

Deney sırasında elde edilmek istenen bir diğer ölçüm de yatay yer değiştirmedir. Buna uygun olarak çerçevenin yükleme yapılmadığı kenarında, her kat hizasında yatay yer değiştirmeyi ölçmek amacı ile deplasman ölçer yerleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen deney elemanına
Deplasman ölçerlerin yerleşimi
a) genel görünüş
b) kat seviyesindeki bağlantı detayı

Yapısal tanımlama deneylerinde kullanılan bir diğer cihaz ise darbe çekicidir. Deney elemanının doğal titreşim periyotlarında titreşmesini sağlamak amacı ile tahrik

edilmesini sağlayan darbe çekici, etki ettirilen kuvvetin kayıt edilmesine de olanak vermektedir. Bu sayede, yapısal tanımlama yöntemlerinin bir kısmında gerekli olan etki kuvvetinin bilinmesi mümkün olacaktır (Şekil 3.8).

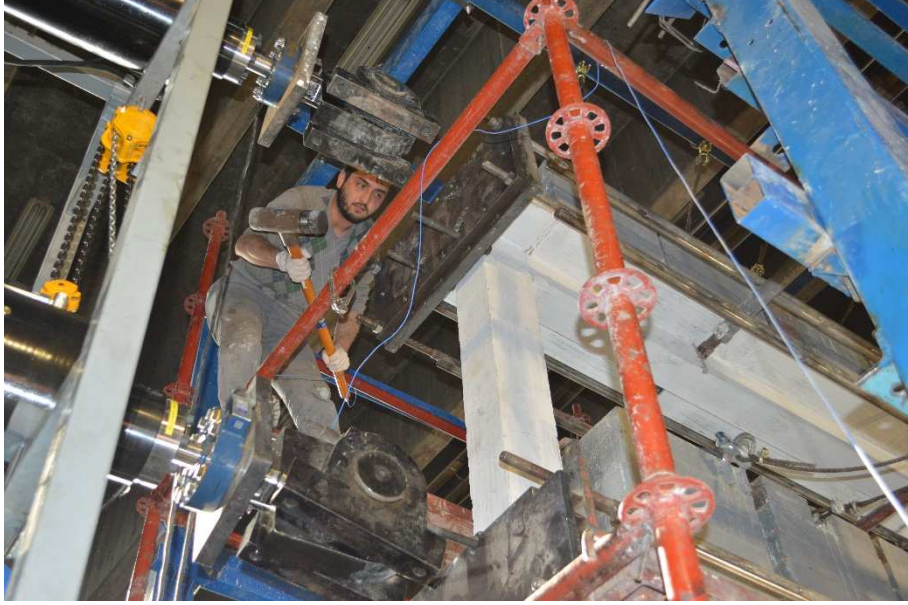


Şekil 3.8. Yapısal tanımlama testlerinde kullanılan darbe çekici (Hammer)

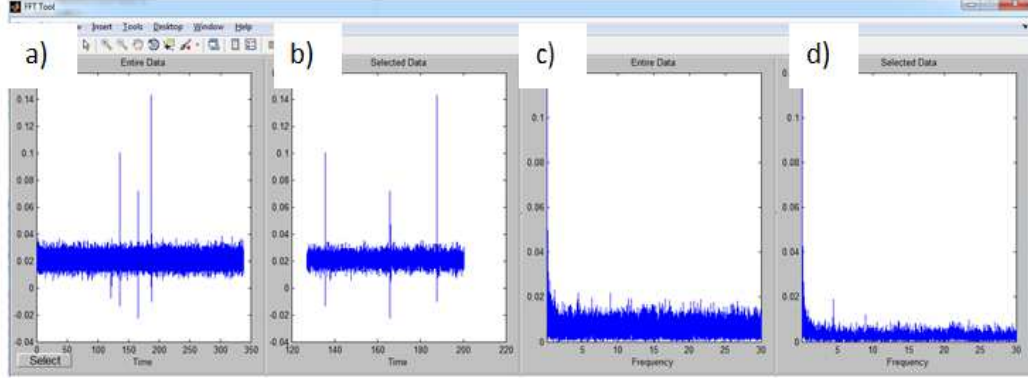
Yapılan deneylerde kullanılan cihazlardan elde edilen verilerin toplanması aşamasında ise 3 farklı cihaz kullanılmıştır. Bunlardan ilki, kablosuz ivme ölçerlerin haberleşmesini sağlayan baz istasyon ve bu baz istasyonun bağlı olduğu diz üstü bilgisayardır. Yapılacak deneylerde, elde edilen verinin boyutları da düşünülerek her bir ivmeölçer saniyede 64 data kaydedecek şekilde programlanmıştır. İkinci sistem, darbe çekicinin bağlı olduğu ve saniyede 100 data okunmasına olanak sağlayan Vishay Micro-Measurements System 6000 veri toplama sistemidir. Üçüncü sistem ise her kat hizasında elde edilen yatay yer değiştirmeyi kaydeden dinamik benzeri (PSD) deneyleri de gerçekleştirecek olan kontrol bilgisayarına bağlı olan veri toplama sistemidir. Yapılan deneyler her 3 sistemin de aynı anda kontrol edilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle yapılacak çok sayıda deney olduğu düşünülürse, alınan kayıtların eşzamanlı ve dikkatli alınması büyük önem arz etmektedir.

Yapısal tanımlama deneylerinde, 3 katlı deney elemanı kat hizalarına darbe çekici ile vurularak tahrik edilmiştir. Darbe çekicinin tatbik edildiği noktalar, Şekil 3.7’de görüldüğü gibi deplasmanın ölçülmediği ve çerçevenin reaksiyon duvarına yakın olan kenarın kolon kiriş birleşim noktalarıdır. Şekil 3.9’da görüldüğü gibi yapısal tanımlama testleri sırasında deney elemanının pistonlarla bağlantısı kesilmiştir. Yapılan yapısal tanımlama deneylerinde, her bir kat hizasında en az 10 kez darbe çekici vurularak yapı tahrik edilmiştir (Şekil 3.9). Her bir darbe sonrası, yapının sönümlenmesine olanak

sağlayacak şekilde bir süre ara verilmiştir. Yapılan ilk yapısal tanımlama deneylerine ait 3. kattan alınan ivme verisi Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.9. Deney elemanının kolon-kiriş birleşim bölgesine darbe çekici ile vurularak tahrik edilmesi



Şekil 3.10. 3.kat hizasında 3 kez darbe çekici ile vurulması ile 3. kat ivmeölçerinden elde edilen
a) ivme kaydının tümü,
b) seçili zaman dilimi için ivme kaydı,
c) tüm ivme kaydı için FFT grafiği,
d) seçilen veri için FFT grafiği

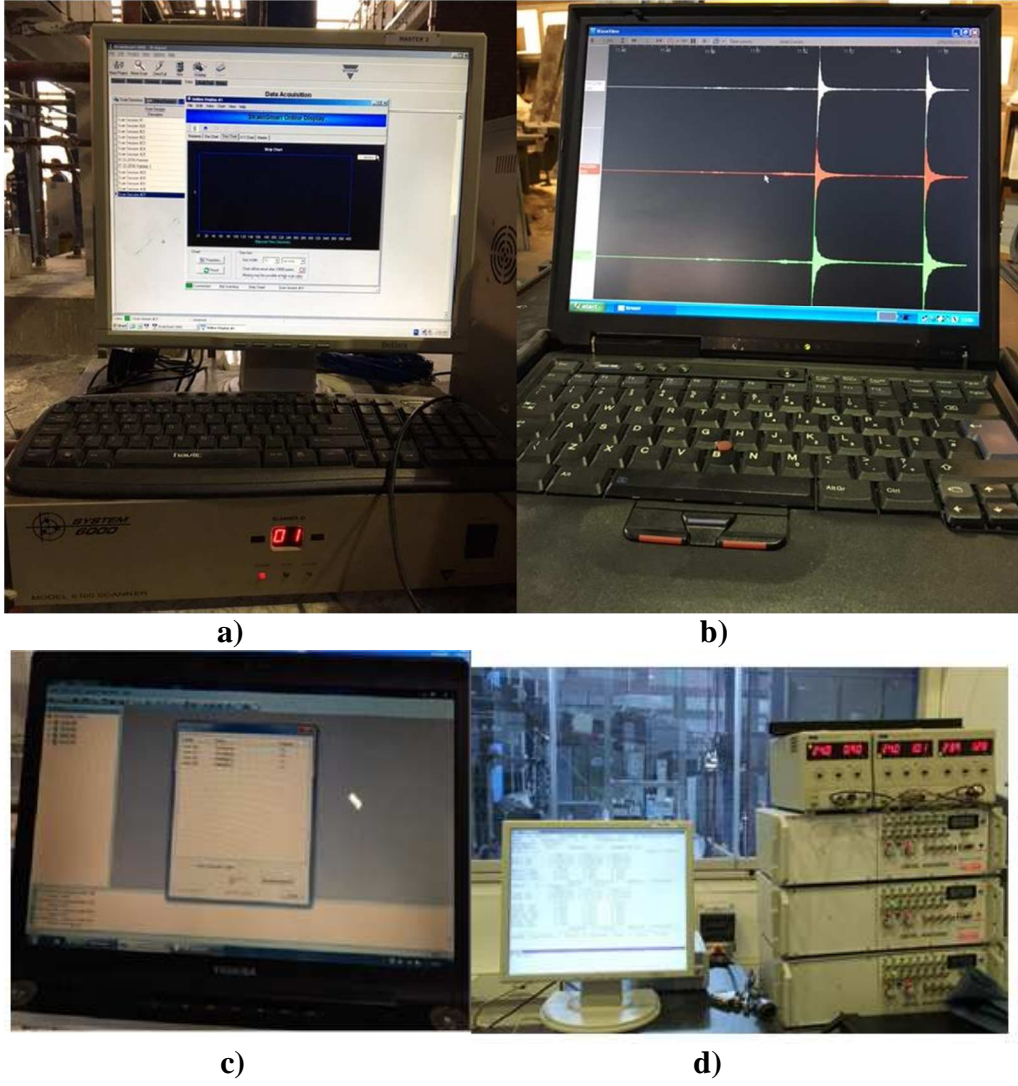
Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, elde edilen frekans içeriği yapının doğal titreşim periyotlarını sağlıklı bir şekilde vermemektedir. Bu nedenle yapılan deneyler darbe çekicinin başlıkları değiştirilerek ve etki ettirilen darbenin şiddeti artırılarak birçok kez tekrarlanmıştır. Tüm ivmeölçerlerden elde edilen ivme verisi her bir deney sonrasında yorumlanarak deneyin sağlıklı sonuç verip vermediği değerlendirilmiştir. Her bir etken

faktör denenip sağlıklı sonuç alınmadığına karar verilmesinin ardından ivmeölçerlerin yerleştirildiği kiriş altlarından (Şekil 3.10(b)) alınarak kolon kiriş birleşim bölgesine yakın olacak şekilde yükleme yapılan kenarda yer alan kolonların iç yüzeylerine takılmasına karar verilmiştir.

İvmeölçerlerin yerlerinin değiştirilmesinin ardından, yapısal tanımlama deneylerinin tamamı tekrarlanmıştır. Ancak elde edilen tüm verilerin incelenmesinin ardından sağlıklı sonucu alınamadığına karar verilmiş ve sorunun ivmeölçerlerin hassasiyetinin yeterli olmamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bunun akabinde, yine ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümüne ait CMG-5U model 3 adet tek yönlü ivmeölçer kullanılmak üzere deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Her bir ivmeölçerin yapıya zarar vermeden yerleştirilmesi ve kolaylıkla tekrar çıkarılabilmesi için ivmeölçerlerin boyutlarına ve birleşim noktalarına uygun kesilen plakaların kiriş üzerine epoksi ile yapıştırılması uygun görülmüştür (Şekil 3.11). Yeni kullanılan ivmeölçerler ise diğer kullanılan veri toplama sistemlerinden bağımsız başka bir veri toplama sistemine bağlanmıştır. Bu nedenle, yapısal tanımlama deneylerinde kullanılan veri toplama sistemi sayısı 4'e çıkmıştır. Deney esnasında kullanılan veri toplama sistemlerinin görüntüsü Şekil 3.12'de gösterilmektedir.

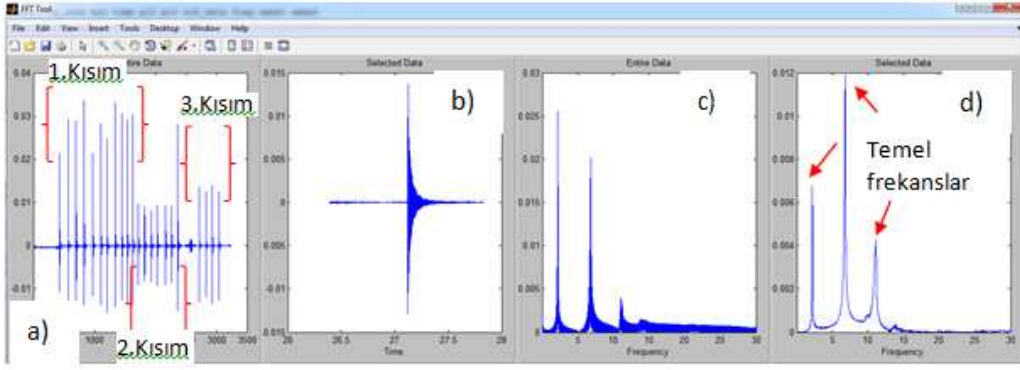


Şekil 3.11. CMG-5U model tek eksenli ivmeölçerlerin deney elemanı üzerinde sabitlenmesi



Şekil 3.12. Yapısal tanımlama deneyi sırasında kullanılan veri toplama sistemleri
 a) Vishay Micro-Measurements System 6000
 b) Güralp Systems veri toplama sistemi
 c) Microstrain veri toplama sistemi
 d) PSD deneyleri gerçekleştirecek kontrol bilgisayarının veri toplama sistemi

Deney sistemine eklenen yeni ölçüm aletleri ile tüm deneyler tekrarlanmıştır. Bu deneyler sırasında kablosuz ivmeölçerlerin de veri toplamasına devam edilmiş ve her bir katta ve değişik açıklıklarda ivme kaydının olması sağlanmıştır. Deneyler sırasında darbe çekicinin her vuruşta veri aktaramadığı görülmüştür bu nedenle darbe çekicinin kablosu ve bağlantıları değiştirilerek deney sayısı artırılmış ve deneylerin büyük bir kısmı tekrarlanmıştır. Şekil 3.13.'te yapısal tanımlama testleri sırasında 3. Kata yerleştirilmiş kablolu ivmeölçerden alınan ivme kaydı ve FFT grafikleri sunulmaktadır. Şekilde işaretlenen kısımlardan ilki, darbe çekicinin 3. kat hizasından vurulduğu, ikincisi darbe çekicinin 2. Kat hizasından vurulduğu ve üçüncüsü ise darbe çekicinin 1. Kat hizasından vurulduğu deneyleri göstermektedir.



Şekil 3.13. 3. kat kablolu ivmeölçerden elde edilen
 a) ivme kaydının tümü,
 b) seçili zaman dilimi için ivme kaydı,
 c) tüm ivme kaydı için FFT grafiği,
 d) seçilen veri için FFT grafiği

Şekil 3.13.'te görüldüğü gibi yapısal tanımlama deneylerinde ilk 3 temel periyodun elde edilmesi mümkün olmuştur. Bu sonuçlar ışığında yapılan deneylerin başarılı oluşuna karar verilmiş ve bir sonraki aşamaya geçilmesi uygun bulunmuştur.

3.4. Betonarme Çerçevenin BEÇÇ'ler İle Güçlendirilmesi ve Deneylerin Yapım Aşamaları

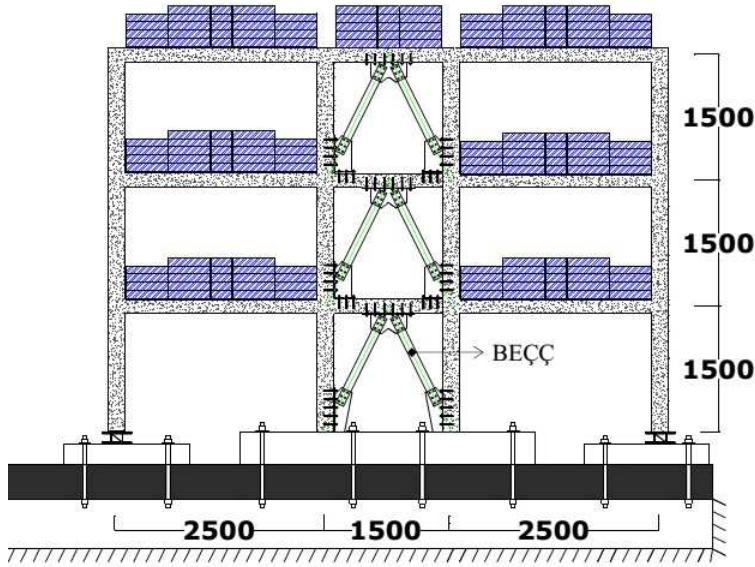
Yapısal tanımlama deneylerinin bir sonraki aşaması, daha önce de belirtildiği gibi BEÇÇ ile güçlendirilmiş deney elemanının yapısal tanımlama testlerine tabi tutulmasıdır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle betonarme çerçeve BEÇÇ ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme sırasında, güçlendirme elemanlarının bağlanacağı kiriş açıklıklarında bulunan ivmeölçerler yerlerinden sökülmüş ve güçlendirme sonrasında eski yerlerine uygun olarak tekrar yerleştirilmiştir (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. BEÇÇ ile güçlendirilen betonarme çerçevede 1. kat kablolu ivmeölçerlerin yerleşimi

Deney elemanının hazırlanmasının ve ölçüm aletlerinin yerleştirilmesinin ardından ön yapısal tanımlama testlerine başlanmıştır.

İkinci aşamada, Şekil 3.15'te gösterildiği gibi BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş olan betonarme çerçevenin yapısal karakteristikleri ilk aşamada olduğu gibi yine yapısal tanımlama yöntemi ile elde edilmiştir. Bu aşamada diğer aşamada olduğu gibi, çerçeve düşey yükler yüklenmiş hali ile test edilmiştir.

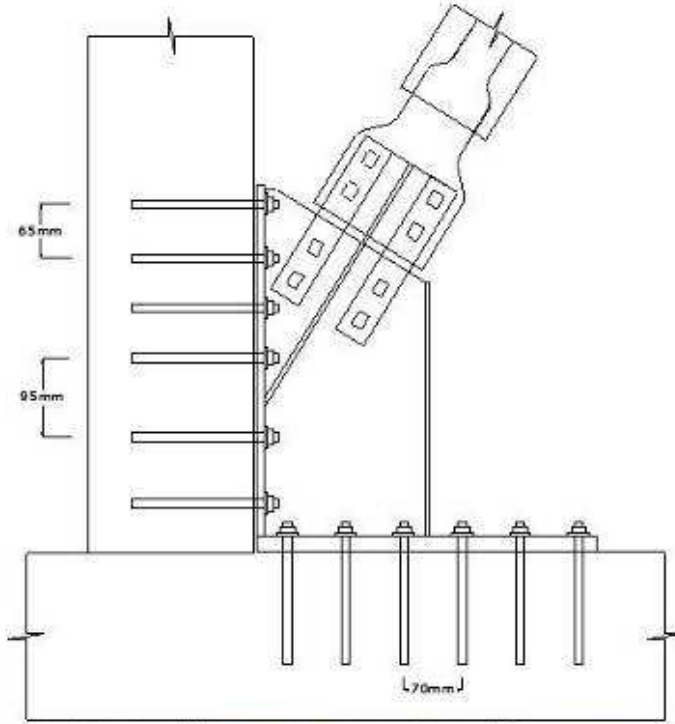


Şekil 3.15. TÜBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında BEÇÇ'ler ile güçlendirilen betonarme çerçevenin görünüşü

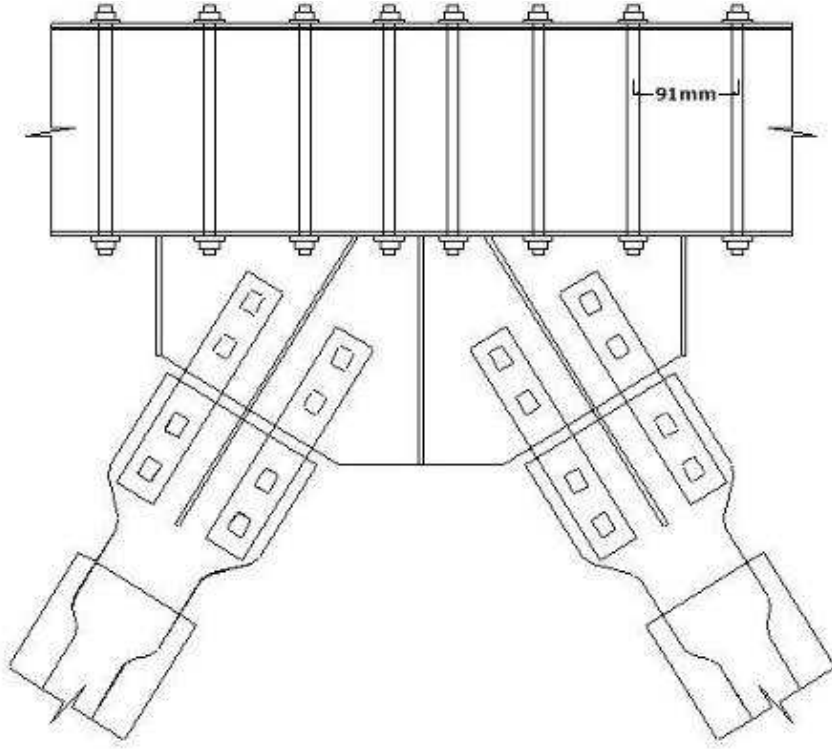
Güçlendirilen betonarme çerçeveye ait detaylı bilgi TUBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporunda mevcut olmakla beraber genel özellikleri şu şekildedir.

Betonarme çerçevenin güçlendirilmesi için BEÇÇ'ler orta aksta ve bütün katlarda ters V (chevron brace) şeklinde monte edilmiştir. BEÇÇ ve betonarme elemanlar arasındaki bağlantı; kolon-temel birleşim noktasındaki bağlantı (Şekil 3.16), kiriş orta açıklığındaki bağlantı (Şekil 3.17), ve kolon-kiriş düğüm noktasındaki bağlantı (Şekil 3.18) olmak üzere üç farklı şekilde oluşmaktadır.

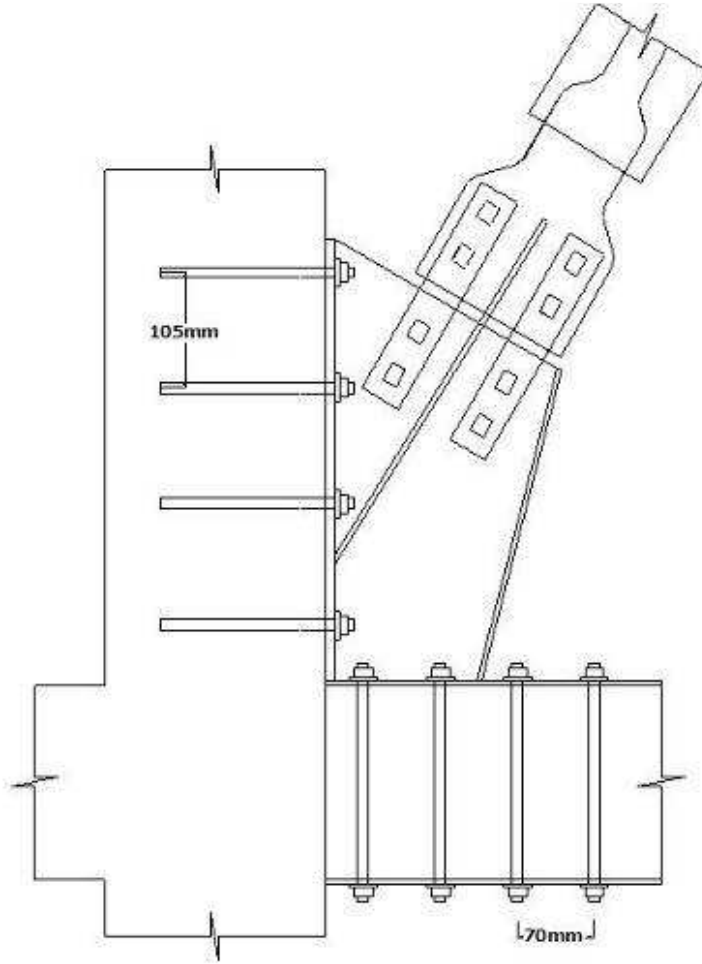
Güçlendirme çalışmalarında önemli olan bir husus ise mevcut betonarme çerçeve ile bu çerçevelere eklenen yeni yatay yük taşıyıcı sistemin birlikte çalışmasıdır. Bunun sağlanabilmesi için mevcut ve eklenecek olan yapısal elemanların uygun şekilde ankrajlanması gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen ankraj detayları daha önce yapılan deneysel çalışmalarda (Özçelik 2012, 2013) kullanılmış olup herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Bağlantı işlemi, Şekil 3.20'deki bağlantı planına uygun şekilde söz konusu bayrak levhalarına, BEÇÇ'lerin tork anahtarları kullanılarak yüksek mukavemetli bulonlar (HV bulon) ile montajı yapılarak tamamlanmıştır (Şekil 3.19 ve 3.20).



Şekil 3.16. Kolon-temel birleşim noktasındaki bağlantı detayı (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)



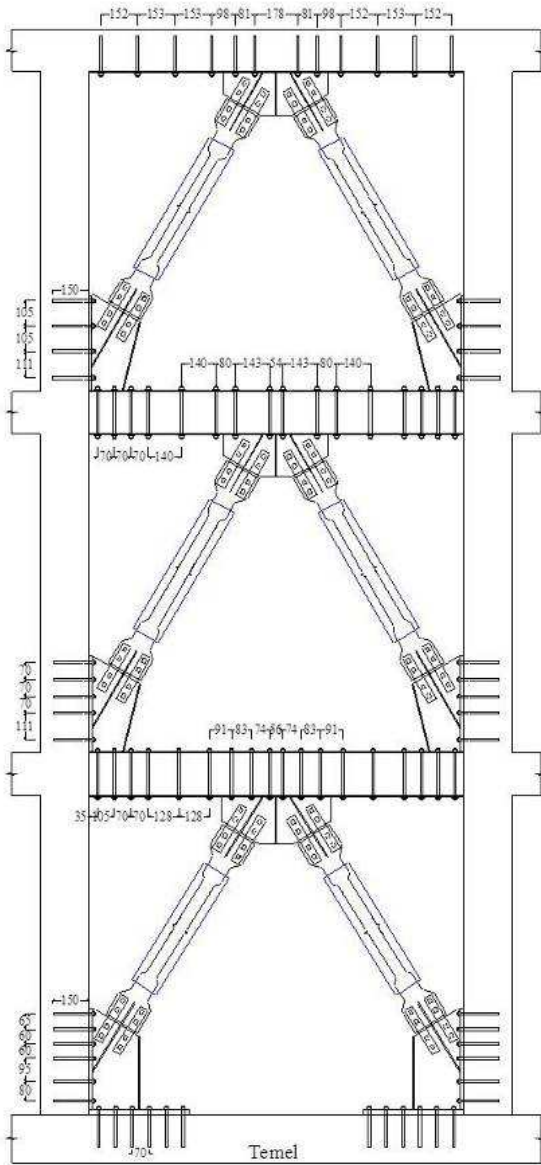
Şekil 3.17. Kiriş orta açıklığındaki bağlantı detayı (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)



Şekil 3.18. Kolon-kiriş düğüm noktasındaki bağlantı detayı (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)

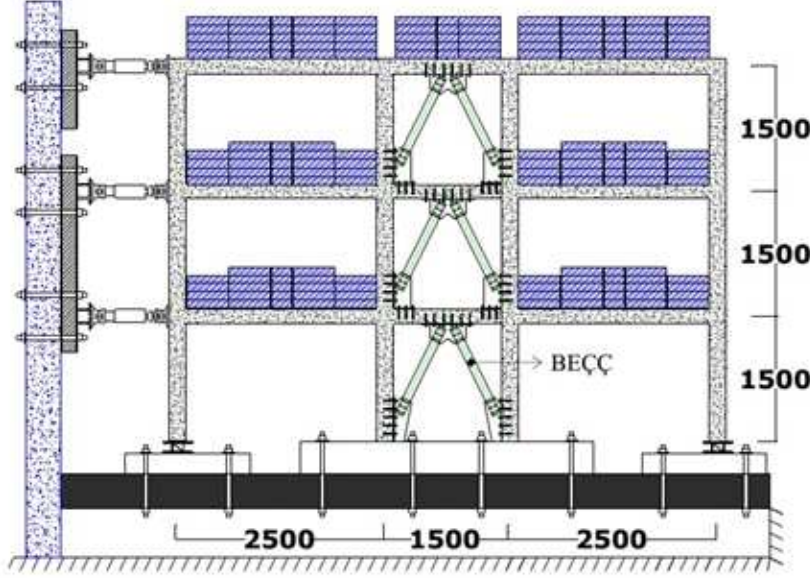


Şekil 3.19. BEÇÇ'lerin bayrak levhalarına montajı (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)



Şekil 3.20. Güçlendirme İşlemi Uygulanan Orta Akstaki Genel Bağlantı detayları (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)

Deneyin sonraki aşamasında güçlendirilmiş betonarme çerçeve 3 farklı deprem performans seviyesine tekabül eden deprem kayıtları altında dinamik benzeri deney (pseudo dynamic test) yöntemi ile test edilmiştir. Dinamik benzeri test düzeneği ve betonarme çerçevenin öngörülen düşey yükler altında yüklenmiş hali Şekil 3.21’de verilmektedir.



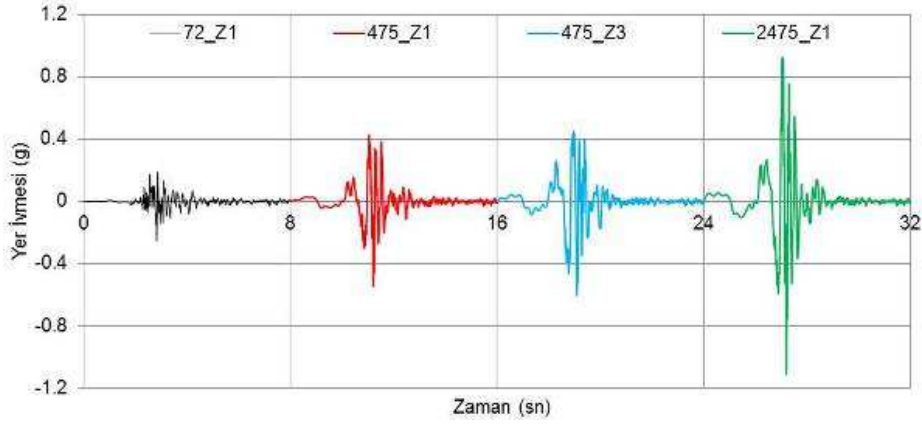
Şekil 3.21. Dinamik benzerli deney test düzeneği ve deneye tabi tutulan güçlendirilmiş betonarme çerçeve (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)

Çizelge 3.1. Max. yer ivmeleri

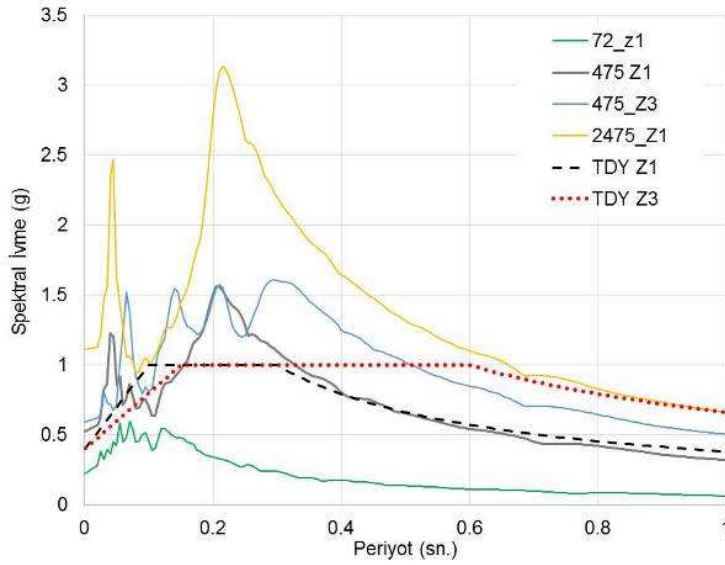
Deprem	Zemin Sınıfı	Max. Yer İvmesi (g)
D1= 72_Z1	Z1	0.254
D2= 475_Z1	Z1	0.545
D3= 475_Z3	Z3	0.604
D4= 2475_Z1	Z1	1.111

Mevcut ve BEÇÇ’ler ile güçlendirilmiş çerçevelerin dinamik benzeri deneylerinde kullanılan deprem yer hareketleri ve spektrumları Şekil 3.22 ve 23’te görülmektedir. Kullanılan kayıtların maksimum yer ivmeleri ise Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Çizelge 3.1 ve Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’ten görüldüğü gibi D1-D4 depremlerine doğru gidildiğinde uygulanan deprem ivmesi artmaktadır. Böylece deney elemanındaki hasar seviyeleri her bir deprem için rahatlıkla belirlenebilecektir. Deneylerde, yukarıda bahsedilen ivme kayıtları kullanılmış ve her bir deprem sonrasında yapısal tanımlama yöntemi ile betonarme çerçevenin mevcut durumunun tahkiki yapılmıştır. Çalışmanın 1. aşamasında uygulanan yapısal tanımlama tekniği bu aşama da aynen uygulanmıştır. Tüm deney aşamalarında elde edilen veriler, çerçevenin her bir durumda yapısal özelliklerinin çıkartılmasında, BEÇÇ’lerin yapıya kazandırdıkları ek rijitliklerin ve sönümlemenin hesabında kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, yüksek hızda

kaydedilen verilerin depolanması deney bilgisayarında yapılmıştır. Derlenen verilerin işlenmesi ve FFT analizleri de deney bilgisayarı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.22. Dinamik benzeri deneylerde kullanılan ivme-zaman dizisi (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)



Şekil 3.23. Dinamik benzeri deneylerde kullanılan ve Türk Deprem Yönetmeliği (TDY 2007) ivme spektrumları (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)

Üçüncü aşamada, BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş olan betonarme çerçeveye 72_Z1 isimli deprem kaydı (D1) uygulanmıştır. Deprem sonrasında pistonlar ile çerçevenin bağlantısı, yapısal tanımlama testlerinde yapının periyodunun etkilenmesini engellemek için piston başlıkları çerçeveden sökülüştür. Çerçevenin yapısal karakteristikleri diğer aşamalarda olduğu gibi yine yapısal tanımlama yöntemi ile elde edilmiştir. Bu aşamada diğer aşamalarda olduğu gibi, çerçeve düşey yükler yüklenmiş hali ile test edilmiştir.



Şekil 3.24. Reaksiyon duvarına monte edilmiş deprem kayıtlarının uygulanmasında kullanılan yük hücreleri (hidrolik pistonlar)

Dördüncü aşamada, BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş olan betonarme çerçeveye 475_Z1 isimli deprem kaydı (D2) uygulanmıştır. Çerçevenin yapısal karakteristikleri diğer aşamalarda olduğu gibi yine yapısal tanımlama yöntemi ile elde edilmiştir. Bu aşamada diğer aşamalarda olduğu gibi, çerçeve düşey yükler yüklenmiş hali ile test edilmiştir.

Beşinci aşamada, BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş olan betonarme çerçeveye 475_Z3 isimli deprem kaydı (D3) uygulanmıştır. Çerçevenin yapısal karakteristikleri diğer aşamalarda olduğu gibi yine yapısal tanımlama yöntemi ile elde edilmiştir. Bu aşamada diğer aşamalarda olduğu gibi, çerçeve düşey yükler yüklenmiş hali ile test edilmiştir.

Altıncı aşamada, BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş olan betonarme çerçeveye 2475_Z1 isimli deprem kaydı (D4) uygulanmıştır. Çerçevenin yapısal karakteristikleri diğer aşamalarda olduğu gibi yine yapısal tanımlama yöntemi ile elde edilmiştir. Bu aşamada diğer aşamalarda olduğu gibi, çerçeve düşey yükler yüklenmiş hali ile test edilmiştir.

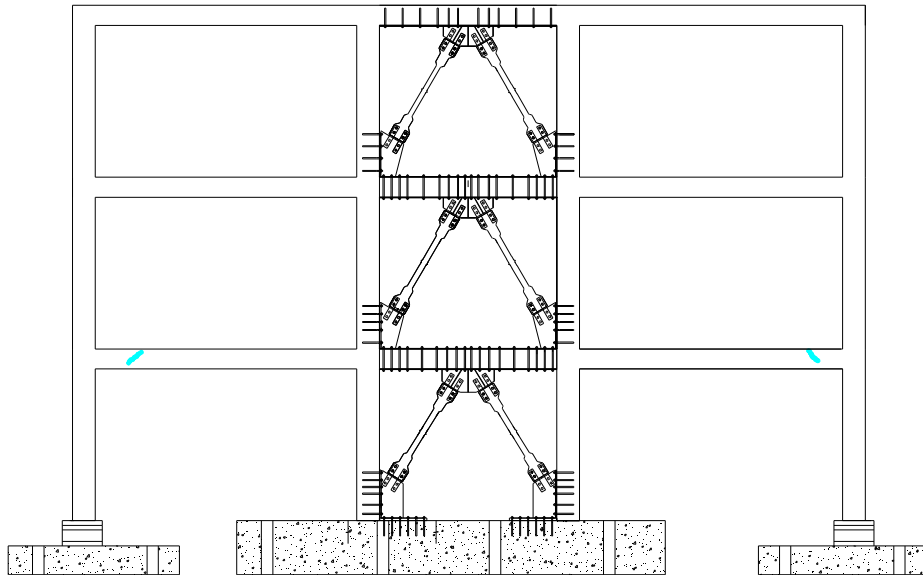
4. BULGULAR

BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş 3 açıklık-3 katlı betonarme çerçeve deneylerinde toplam 4 deney (D1-D4) yapılmıştır. Dinamik benzeri deney yöntemi ile test edilen BEÇÇ'li çerçevenin deney sonuçları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir ayrıca D1-D4 deneyleri esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarların çizimleri Şekil 4.1-4'te görülmektedir. Söz konusu veriler TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporunda mevcut olup bu tez kapsamında direk olarak sonuç raporundan alınmıştır.

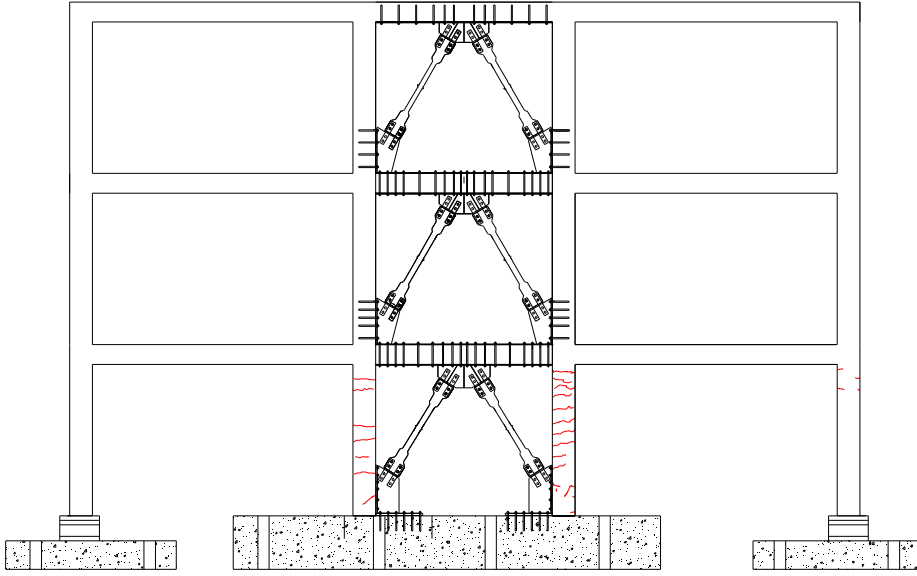
Çizelge 4.1. BEÇÇ'li çerçeve deney sonucu (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)

Deprem	Kat	Maks. Kat Kesme Kuvveti (kN)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Maks. GKÖ (%)	Maks. Tepe Deplesman (mm)
D1= 72_Z1	1.kat	41.6		0.12	
	2.kat	38.9	67.8	0.16	6.1
	3.kat	37.6		0.17	
D2= 475_Z1	1.kat	53.7		0.84	
	2.kat	77.8	135.8	0.54	25.2
	3.kat	56.6		0.31	
D3= 475_Z3	1.kat	73.4		1.68	
	2.kat	71.5	171.9	0.95	44.5
	3.kat	73.9		0.39	
D4= 2475_Z	1.kat	83.8		2.86	
	2.kat	104.1	177.6	1.71	76.4
	3.kat	77.4		1.06	

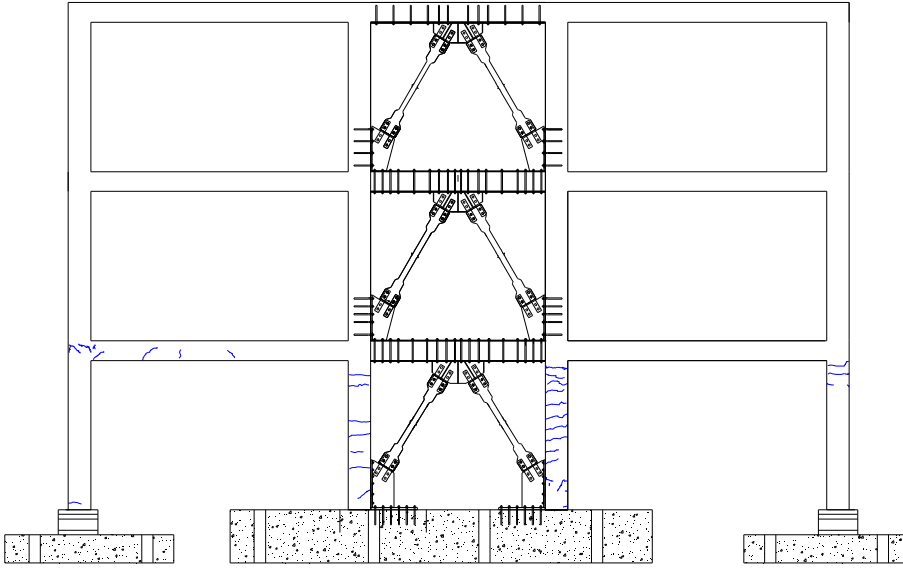
4.1. Deneyler Esnasında Betonarme Çerçeve Meydana Gelen Hasarlar



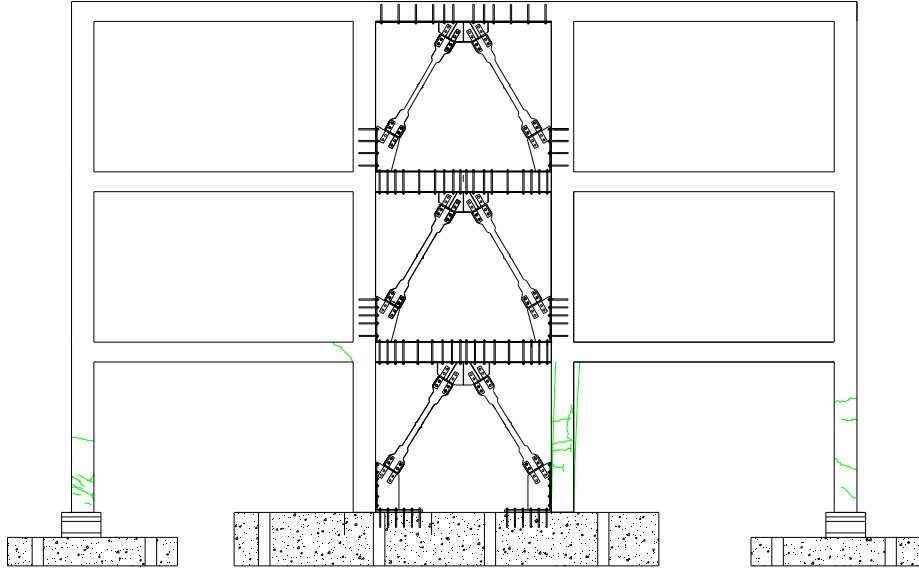
Şekil 4.1. 72_Z1 Depremi(D1) esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar



Şekil 4.2. 475_Z1(D2) Depremi esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar



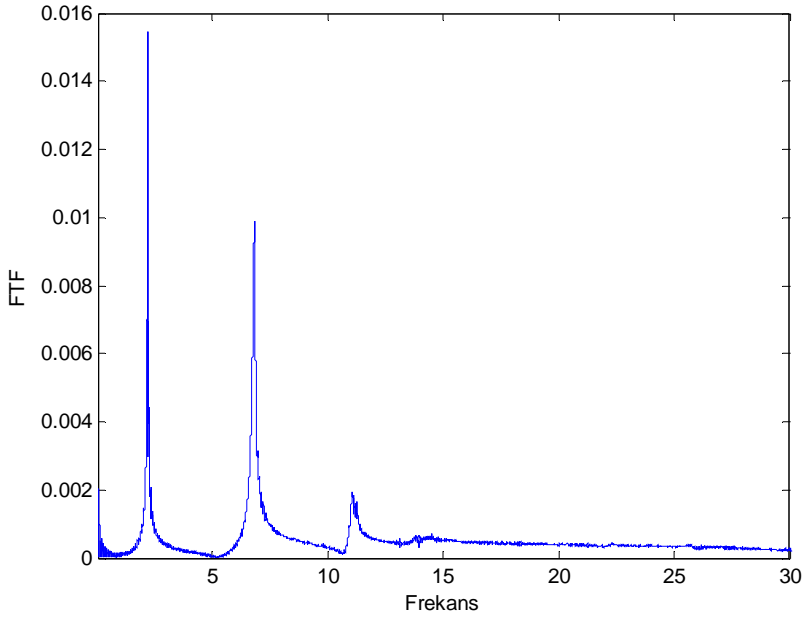
Şekil 4.3. 475_Z3(D3) Depremi esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar



Şekil 4.4. 2475_Z1(D4) Depremi esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar

Söz konusu deneylerin ardından test elemanında yapılan incelemeler sonucu, gözlemlenen hasarlar (Şekil 4.1-4.) maksimum kat kesme kuvvetleri, taban kesme kuvvetleri, maksimum görelî kat ötelenmeleri ve maksimum tepe deplasmanlarında artışlar olmuştur. Bu verilere göre maksimum taban kesme kuvveti bütün deneyler (D1-D4) için sırayla 67.8 kN, 135.8 kN, 171.9 kN ve 177.6 kN'dur. 1. kat maksimum GKÖÖ sırasıyla %0.12, 0.84, 1.68 ve 2.86'dır.

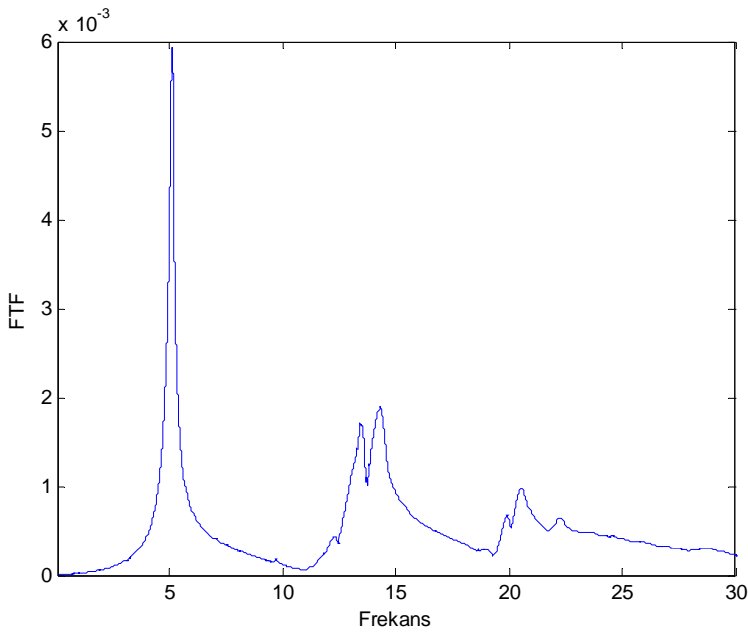
Mevcut çerçeve, BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş çerçeve ve D1-D4 deneyleri sonrası durumlarda yapılan yapısal tanımlama testleri sonuçlarına göre deney elemanının FTF(Frekans tepki fonksiyonu)-Frekans grafikleri Şekil 4.5-9'da görülmektedir. Grafiklerden elde edilen modlara göre frekans ve periyot değerleri ise Çizelge 4.2-6'da özetlenmiştir. Yapısal tanımlama deneyleri sonucunda elde edilen verilere göre çerçevenin periyotları sırayla mevcut çerçeve 0.447 s, BEÇÇ ile güçlendirilmiş çerçeve 0.194 s, D2 depremi sonrası 0.227 s, D3 depremi sonrası 0.24 s ve D4 depremi sonrası 0.242 s şeklindedir.



Şekil 4.5. Mevcut çerçevenin FTF-Frekans grafiği

Çizelge 4.2. Mevcut çerçevenin frekans ve periyot değerleri

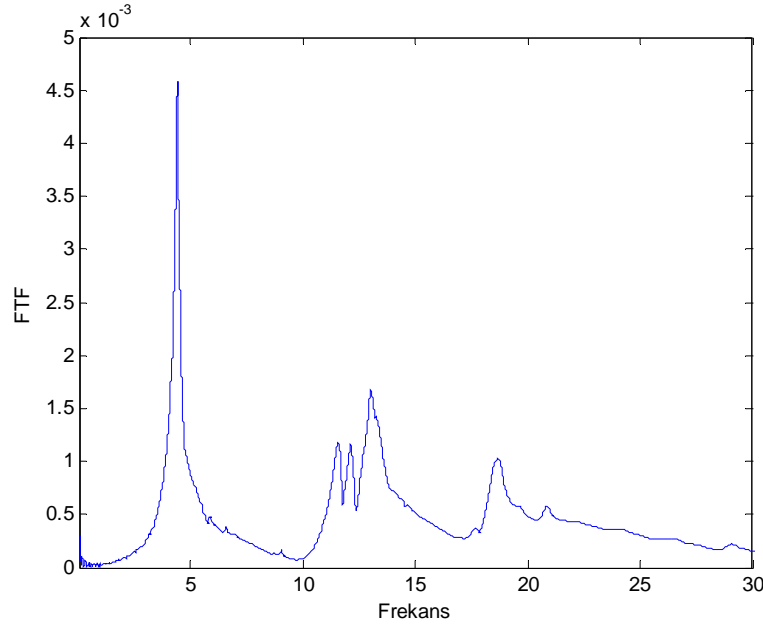
Mod	Frekans	Periyot (sn)
1	2.234	0.447
2	6.835	0.146
3	11.08	0.09



Şekil 4.6. BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş çerçevenin FTF-Frekans grafiği

Çizelge 4.3. BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş çerçevenin frekans ve periyot değerleri

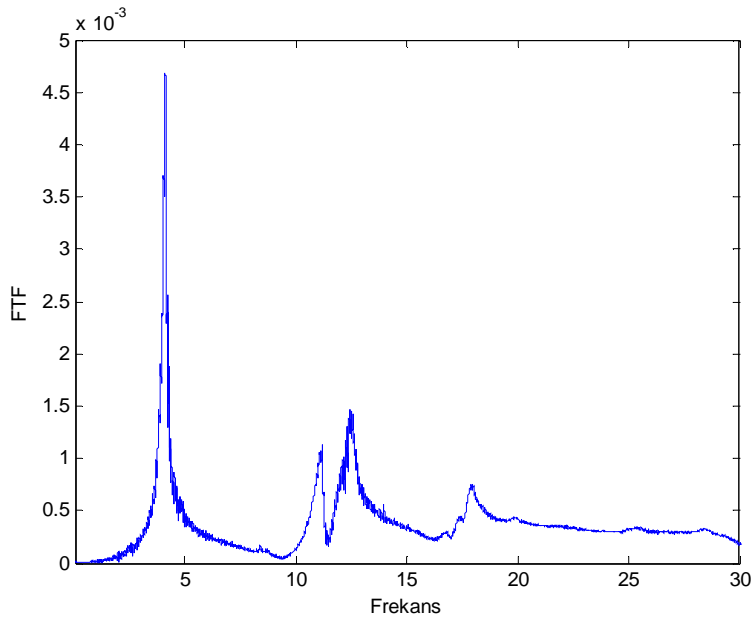
Mod	Frekans	Periyot (sn)
1	5.15	0.194
2	13.47	0.074
3	14.35	0.07



Şekil 4.7. 475_Z1(D2) Depremi sonrası çerçevenin FTF-Frekans grafiği

Çizelge 4.4. 475_Z1(D2) Depremi sonrası çerçevenin frekans ve periyot değerleri

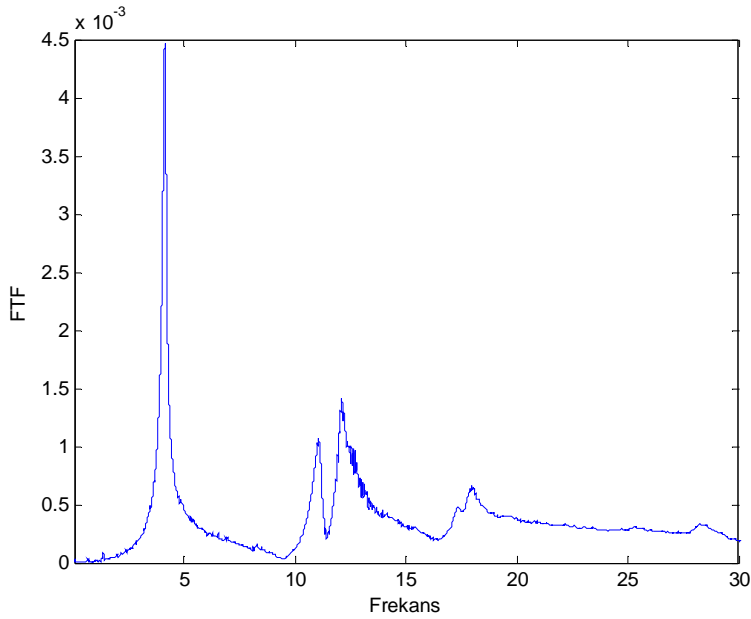
Mod	Frekans	Periyot (sn)
1	4.4	0.227
2	11.9	0.084
3	13.05	0.077



Şekil 4.8. 475_Z3(D3) Depremi sonrası çerçevenin FTF-Frekans grafiği

Çizelge 4.5. 475_Z3(D3) Depremi sonrası çerçevenin frekans ve periyot değerleri

Mod	Frekans	Periyot (sn)
1	4.13	0.24
2	11.135	0.09
3	12.45	0.08



Şekil 4.9. 2475_Z1(D4) Depremi sonrası çerçevenin FTF-Frekans grafiği

Çizelge 4.6. 2475_Z1(D4) Depremi sonrası çerçevenin frekans ve periyot değerleri

Mod	Frekans	Periyot (sn)
1	4.13	0.242
2	11.08	0.09
3	12.1	0.083

D2-D4 deneyleri esnasında betonarme çerçevede meydana gelen hasarlar Şekil 4.10'da görülmektedir.



D2 deneyi

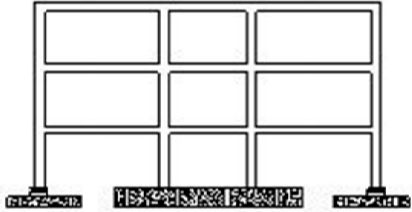

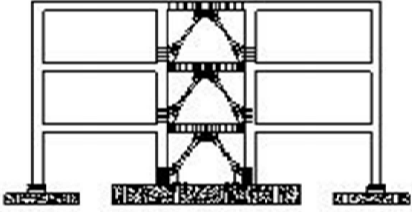

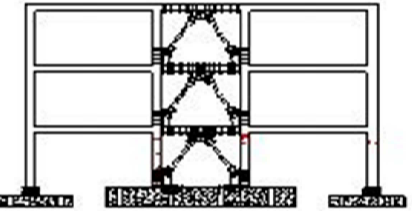

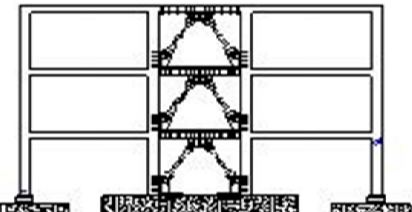

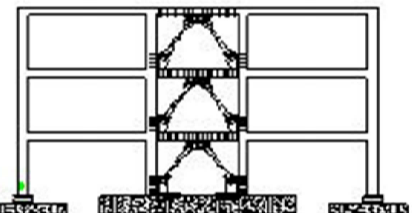



D3 deneyi



D4 deneyi

Şekil 4.10. Dinamik benzeri deneyler esnasında meydana gelen hasarlar (TÜBİTAK 112M820 nolu projenin sonuç raporundan alınmıştır.)

<u>Denev Adı</u>	<u>Perivot Değeri</u>	<u>Cizimler</u>	<u>Denev Sonrası Fotoğraflar</u>
1- Mevcut ereve	$T= 0.447$		
2- Guclendirilmiş ereve	$T= 0.194$		
3- 475_Z1(D2) Depremi Sonrası	$T= 0.227$		
4- 475_Z3(D3) Depremi Sonrası	$T= 0.24$		
5- 2475_Z1(D4) Depremi Sonrası	$T= 0.242$		

48

şekil 4.11. Yapılan deneysel çalışmaların zet bilgileri

5. TARTIŞMA

Söz konusu 3 katlı 3 açıklıklı betonarme çerçeveye 5 adet yapısal tanımlama testi yapılmıştır.

İlk olarak çerçevenin mevcut hali yapısal tanımlama ile test edilerek periyot değerinin 0.447 s olduğu, BEÇÇ'ler ile güçlendirildikten sonra yapılan yapısal tanımlama testleri sonucunda ise çerçevenin periyodunun 0.194 s'ye düştüğü görülmüştür.

Güçlendirilmiş çerçeveye 72_Z1(D1) depremi uygulandıktan sonra tüm elemanların elastik bölgede kaldığı görüldüğünden ve bu nedenle periyodunun değişmeyeceğinden dolayı bu depremden sonra yapısal tanımlama testi yapılmamıştır.

Betonarme çerçeveye 475_Z1(D2) depremi uygulandıktan sonra yapılan yapısal tanımlama testine göre hasarlı yapının periyot değerinin 0.227 s'ye çıktığı görülmüştür. Burada deprem kaydının uygulanması esnasında oluşan hasarlar çerçevenin rijitliğini azaltmasından dolayı yapı periyodunun arttığı görülmüştür. Kolon ve kirişlerin plastik mafsal bölgelerinde meydana gelen kılcal çatlaklar BEÇÇ'li çerçevenin rijitliğinde azalma meydana gelmesine sebep olmuştur. Dolayısı ile BEÇÇ'li çerçevenin periyodunda ilk periyoda (0.194) göre %17'lik uzama meydana gelmiştir. Söz konusu periyot artışının sınırlı kalması yapısal hasarın sınırlı seviyede olmasından ve yatay rijitliğin BEÇÇ'ler tarafından kontrol edilmesinden kaynaklanmaktadır.

BEÇÇ'li çerçeveye 475_Z3(D3) depremi uygulandıktan sonra yapılan yapısal tanımlama testine göre hasarlı yapının periyot değerinin 0.24 s'ye çıktığı görülmüştür. Burada deprem kaydının uygulanması esnasında bir önceki deprem testine göre oluşan hasarların artması, özellikle kolon kiriş birleşim bölgelerindeki mevcut çatlakların derinleşmesi ve yeni çatlakların oluşmasının çerçevenin rijitliğini azaltmalarından dolayı yapı periyodunun arttığı görülmüştür. Söz konusu periyot artışı ilk değere (0.194) göre yaklaşık %23.7 olup çatlakların sayısal ve genişlik olarak artmasından kaynaklanmaktadır.

Son olarak betonarme çerçeveye 2475_Z1(D4) depremi uygulandıktan sonra yapılan yapısal tanımlama testine göre hasarlı yapının periyot değerinin 0.242 s'ye çıktığı görülmüştür. Burada deprem kaydının uygulanması esnasında bir önceki deprem testine göre oluşan hasarların çok fazla artması, kolon kiriş birleşim bölgelerindeki mevcut çatlakların derinleşmesi, bazı taşıyıcı elemanlarda paspaylarının tamamen dökülmesi ve göçme bölgesine gelmesinin çerçevenin rijitliğini azaltmalarından dolayı yapı periyodunun arttığı görülmüştür. Bu hasarlar göz önünde bulundurulduğunda söz konusu yapının periyodunun tamamen BEÇÇ'ler ile kontrol edildiği görülmüştür. BEÇÇ'lerde meydana gelen plastikleşme ile birlikte periyot değeri ilk değere (0.194) göre %24.7 artmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda;

- Güçlendirilen betonarme çerçevenin, BEÇÇ'lerin yapıya kattığı ek rijitlik sayesinde periyodunun azaldığı,

- Sırasıyla yapılan deprem testlerinden sonra yapının hasar almasına bağlı olarak periyodunun arttığı,
- Ağır hasar alan betonarme çerçevenin yatay rijitliği ve dolayısı ile periyodu BEÇÇ'ler tarafından kontrol edildiği,
- Meydana gelen hasar ve BEÇÇ'lerdeki plastikleşmenin yapıda %24.7'lik periyot artışına sebep olduğu

gözlenmiştir.

6. SONUÇ

Çalışma kapsamında yapılan araştırmalar ve deneysel çalışmalar sonucunda, bir yapının hasar seviyesi arttıkça periyodunun arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak periyodu bilinen bir yapının mevcut deprem kayıtlarından herhangi birine maruz kaldığı düşünöldüğünde yapının deprem sonrası hasar seviyesinin tahmin edilmesi mümkündür. Tez kapsamında incelenen yapının güçlendirildikten sonra yapının rijitliğinde meydana gelen artışa paralel olarak periyodunun azaldığı görölmüştür. Periyotta meydana gelen azalma genel itibari ile daha fazla yatay istemlerin yapıya gelmesine sebep olacaktır. İncelenen yapıda periyot değerinin yapıya eklenen BEÇÇ'ler ile kontrol edildiği görölmüştür. BEÇÇ'lerin plastikleşmesi yapı periyodunda bir miktar uzamaya sebep olmuştur. Ancak betonarme çerçeve de meydana gelen hasarın periyot üzerindeki etkisi BEÇÇ'ler sayesinde sınırlı seviyede kalmıştır. Yapının ilk hali ile yapıda meydana gelen ağır hasarların sonucunda meydana gelen periyot değişimleri her bir deprem kaydı için sırasıyla %17, 23.7, 24.7'dir. Periyot değerlerindeki bu yüzdellik değişim ile yapının hangi hasar seviyesinde olacağı basit olarak tahmin edilebilir hale gelmiştir. Bu değerlerin daha genel hale gelmesi ancak deneysel çalışmaların artırılması ile sağlanabilir.

Bu tez çalışmasına konu olan ve TUBİTAK 112M820 nolu proje kapsamında test edilen 3 katlı 3 açıklıklı betonarme çerçevenin, ölkemizdeki mevcut yapılara benzer şekilde düşük dayanımlı beton, nervürsüz donatı ve etriye kancaları 90° bükölmüş olarak tasarlanması göz önüne alındığında, mevcut yapılarımızın yapısal tanımlama yöntemi ile periyotlarının belirlenerek olası depremlerde oluşacak hasarların önceden tahmini ve gerekli önlemlerin alınmasıyla can ve mal kayıplarının önlenmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- AISC (American Institute of Steel Construction). 2005. Seismic Provisions for Structural Steel Building. AISC, Chicago, IL.
- AİKEN, ID., MAHİN, SA. and URİZ, P. 2002. Large-Scale Testing of Buckling-Restrained Braced Frames. Proc. Japan Passive Control Symposium, Tokyo Institute of Technology, Japan, 35-44.
- AMERICAN Society of Civil Engineers. 2007. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Report No. ASCE/SEI 41-06, Reston, Virginia, United States.
- BLACK, CJ., MAKRİS, N. and AİKE, ID., 2002. Component Testing, Stability Analysis and Haracterization of Buckling Restrained Braces. Rep. No. PEER 2002/08, Univ. of California, Berkeley, Calif.
- BLACK, GR., WENGER, BA. and POPOV, EP. 1980. Inelastic Buckling of Steel Struts Under Cyclic Load Reversals. Tech. Rep. UCB/EERC-80/40, EERC, Berkeley, CA, October.
- BOSCO, M., GHERSİ, A. and MARİNO, E.M., 2008. A Design Method For The Seismic Upgrade Of Existing R.C. Frames By Buckling Restrained Braces, Proc. of 14th World Conference on *Earthquake Engineering*, Beijing-China.
- BROWN, A.P., AİKEN, D. and JAFARZADEH, F. J. 2001. Buckling Restrained Braces Provide the Key to the Seismic Retrofit of the Wallace F. Bennett Federal Building, *Modern Steel Construction*, August, 1-9 s.
- CHEN, CC., CHEN, SY. and LİAW, JJ. 2001. Application of Low Yield Strength Steel on Controlled Plastification Ductile Concentrically Braced Frames. *Can. J. Civ. Eng.*, 28, 823–836 s.
- CHRİSTOPULOS, AS. 2005. Improved Seismic Performance of Buckling Restrained Braced Frames. Master of Science in Civil Engineering University of Washington.
- CLARK, P., AİKEN, I., KASAİ, K., KO, E. and KİMURA, I. 1999. Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damping Devices. Proc. 69th Annual Convention of SEAOC, Sacramento, CA. 1-17 s.
- ERYAŞAR, M. E. and TOPKAYA, C. 2010. An experimental study on steel-encased buckling-restrained brace hysteretic dampers, *Earthquake Engng Struct Dyn.*, 39, 561–581 s.
- FAHNESTOCK, LA., RİCLES, JM. and SAUSE, R. 2007. Experimental Evaluation of a Large-Scale Buckling-Restrained Braced Frame. *Journal of Structural Engineering*, 133, 1205-1214.

- FÍGUEIREDO, E., PARK, G., FÍGUEIRAS, J., FARRAR, C. and WORDEN, K. 2011. Influence of the autoregressive model order on damage detection'', *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26(3), 225–238 s.
- FRITZEN, C. and BOHLE, K. 2001. Application of model-based damage identification to a seismically loaded structure'', *Smart Materials and Structures*, 10(3), 452–458 s.
- GÖRL, E. and LÍNK, M. 2001. Identification of damage parameters of a fullscale steel structure damaged by seismic loading, *Smart Materials and Structures*, 10(3), 459–465 s.
- HARALAMPÍDÍΣ, Y., PAPADÍMÍTRÍOU, C. and PAVLÍDOU, M. 2005. Multi-objective framework for structural model identification'', *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34(6), 665–685 s.
- HÍGGÍNS, C. and Newell, J. 2002. Development of Two New Hysteretic Dampers. Proc. 7th U.S. National Conference on *Earthquake Engineering*, Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- HÍGGÍNS, C. and NEWELL, J. 2004. Confined Steel Brace for Earthquake Resistance Design. *AISC Engineering Journal*, Fourth Quarter, 41(4), 187-202, 187-202 s.
- IWATA, M. KATO, T. and WADA, A. 2000. Buckling-Restrained Braces as Hysteretic Dampers. Proc. STESSA, Quebec, PQ, pp. 33–38 s.
- KENT, D. C. and PARK, R. 1971. Flexural Members with Confined Concrete, *Journal of Structures Division*, ASCE, 97(ST7), 1969–1990 s.
- KÍM, J. and LYNCH, J. 2012. Subspace system identification of supportexcited structures – art I: theory and black-box system identification, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.2184>.
- KOH, C., SEE, L. and BALENDRA, T. 1995. Damage detection of buildings: numerical and experimental studies'', *Journal of Structural Engineering*, 121(8), 1155–1160 s.
- KOSMATKA, J. and RÍCLES, M. 1999. Damage detection in structures by modal vibration characterization, *Journal of Structural Engineering*, 125(12), 1384–1392 s.
- KUNNATH, S. 2004. Identification of modal combinations for nonlinear static analysis of building structures, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19(4), 246–259 s.
- LÍN, ML., TSAÍ, KC., HSÍAO, PC. and TSAÍ, CY. 2005. Compressive Behavior of Buckling-Restrained Brace Gusset Connections. The First Conference on *Advanced in Experimental Structural Engineering*, Nagoya, Japan.

- LİN, ML., TSAI, KC. and TSAI, CY. 2006. Bi-Directional Sub-Structural Pseudo-Dynamic Testing of a Full-Scale 2-Story BRBF, Part 2: Compressive Behavior of Gusset Plates”. Proc. of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, CA, USA, 1642 s.
- LIU, P. 1995. Identification and damage detection of trusses using modal data, *Journal of Structural Engineering*, 121(4), 599–608 s.
- LIU, H., YANG, Z. and GAULKE, M. 2005. Structural identification and finite element modeling of a 14-story office building using recorded data, *Engineering Structures*, 27(3), 463–473 s.
- LOPEZ, WA. 2001. Design Of Unbonded Braced Frames. Proceedings 70th Annual Convention, Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.
- LOPEZ, WA. DS., LAUCK, TW. and SAUNDERS, M. 2004. Structural Design and Experimental Verification of a Buckling Restrained Braced Frame System. *AISC Engineering Journal*, 4. Quarter, 177-186.
- MAZZOLONI, F. M. 2008. Innovative metal systems for seismic upgrading of RC structures, *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 882–895 s.
- MERITT, S., UANG, CM. and BENZONI, G. 2003. Subassemblage Testing of Star Seismic Buckling Restrained Braces”. Repor no TR-2003/04, University of California, San Diego, La Jolla, CA.
- MOAVENI, B., HE, X., CONTE, J., RESTREPO, J. and PANAGIOTOU, M. 2011. System identification of a 7-story full-scale building slice tested on the UCSDNEES shake table, *Journal of Structural Engineering*, 137(6), 705–717 s.
- MOLINA, FJ., VERZELETTI, G., MAGONETTE, G., BUCHET, PH. and GERADIN, M. 1999. Bi-Directional pseudodynamic test of a full-size three-storey building. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28(12):1541-1566 s.
- MOLINA, FJ., PEGON, P. and VERZELETTI, G. 1999. Time-domain identification from seismic Pseudo dynamic test results on civil engineering specimens. 2nd International Conference on Identification in Engineering Systems, University of Wales, Swansea.
- NDAMBI, J., VANTOMME, J. and HARRI, K. 2002. Damage assessment in reinforced concrete beams using eigenfrequencies and mode shape derivatives, *Engineering Structures*, 24(4), 501–515 s.
- NATIONAL Information Service for Earthquake Engineering. The Earthquake Engineering Online Archive | Nisee e-library. <http://nisee.berkeley.edu/elibrary/Image/CR0310> (02.03.2015).
- OPENSEES, MAZZONI, S., MCKENNA, H., SCOTT, M. H. and FENVES, G.L. 2010.

- OpenSees Manual, Pacific Earthquake Engineering Research Center, <http://opensees.berkeley.edu>.
- PAVLENKO, O. and LOH, C. 2004. Nonlinear system identification of reinforced concrete steel structure: using pseudodynamic testing data, *Journal of Engineering Mechanics*, 130(7), 836–847 s.
- QIANG, X. 2005. State of the Art of Buckling-Restrained Braces in Asia. *Journal of Constructional Steel Research*, 61, 2005. 727–748 s.
- REN, W. and DE ROECK, G. 2002. Structural damage identification using modal data. I: simulation verification', *Journal of Structural Engineering*, 128(1), 87–95 s.
- REN, W. and DE ROECK, G. 2002. Structural damage identification using modal data. II: test verification, *Journal of Structural Engineering*, 128(1), 96–104 s.
- OZCELİK, R., BİNİCİ, B. and KURC O. 2012. Pseudo Dynamic Testing of an RC Frame Retrofitted with Chevron Braces, *Journal of Earthquake Engineering*, 16:4, 515-539 s.
- OZCELİK, R., BİNİCİ, B. and KURC, O. 2013. Pseudo dynamic test of a deficient reinforced concrete frame upgraded with internal steel frames. *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 2013; 42:763–778.
- OZÇELİK, R. and DIKİCİAŞIK, Y. 2015c. Buckling Restrained Braces with Different Casing Systems. International Conference on *Civil and Environmental Engineering (ICOCEE)*. Nevşehir, TURKEY, May 20-23 s.
- ÖZÇELİK, R. (2015). Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. doi: 10.5505/pajes.2015.92668
- R. ÖZÇELİK, Y. DİKİCİAŞIK, KB CİVELEK 2015a. Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazların Uç Stabiliteilerinin Arttırılması. XIX. Ulusal Mekanik Kongresi. 24-28 Ağustos 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- R. ÖZÇELİK, Y. DİKİCİAŞIK, KB CİVELEK 2015b. Farklı Burkulmayı Engelleyen Mekanizmaya Sahip Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. 14-16 Ekim 2015 – DEÜ – İZMİR.
- R. ÖZÇELİK, Y. DİKİCİAŞIK, KB CİVELEK 2015d. Yeni Nesil Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazların Histeretik Davranışları. 6. Çelik Yapılar Sempozyumu. 15-16-17 Ekim, Eskişehir.
- SAİTO, T. and BECK, J. 2010. Bayesian model selection for ARX models and its applications to structural health monitoring'', *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39(15), 1737–1759 s.

- SARNO, L.D. and MANFREDÌ, G. 2009. Seismic Retrofitting of Existing RC Frames With Buckling Restrained Braces, ATC & SEI 2009 Conference on Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures, San Francisco-USA, 741-752 s.
- THORNTON, W.A. 1984. Bracing Connections for Heavy Construction, *Engineering Journal of AISC*, Vol.21.
- TREMBLAY, R., DEGRANGE, G. and BLOUÏN, J. 1999. Seismic Rehabilitation of a Four-Story Building with a Stiffened Bracing System. Proceedings of the 8th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, 549–554 s.
- TREMBLAY, R., BOLDUC, P., NEVILLE, R. and DEVALL, R. 2006. Seismic Testing and Performance of Buckling Restrained Bracing Systems. *Can. J. Civ. Eng.*, 33, 183–198 s.
- TSAI, KC., HWANG, YC., WENG, CS., SHIRAI, T. and NAKAMURA, H. 2002. Experimental Tests of Large Scale Buckling Restrained Braces and Frames. Proc., Passive Control Symposium, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 69-74 s.
- TSAI, KC., LAI, JWYC., LIN, SL. and WENG, CH. 2004. Research and Application of Double-Core Buckling Restrained Braces in Taiwan”. Proc., 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 2179 s.
- TSAI, KC., WENG, YT., WANG, KJ., TSAI, CY. and LAI, JW. 2006. Bi-Directional Sub-Structural Pseudo- Dynamic Testing of a Full Scale 2-Story BRBF, Part 1: Seismic Design, Analytical and Experimental Performance Assessments. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, CA, USA, 1097 s.
- TSAI, KC., HSIAO, PC., WANG, KJ., WENG, YT., LIN, ML., LIN, KC., CHEN, CH., LAI, JW. and LIN, SL. 2008. Pseudo-Dynamic Tests of a Full-Scale CFT/BRB Frame—Part I: Specimen Design Experiment and Analysis, *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 37, 1081–1098 s.
- TSAI, KC. and HSIAO, PC. 2008. Pseudo-Dynamic Test of a Full-Scale CFT/BRB Frame—Part II: Seismic Performance of Buckling-Restrained Braces and Connections, *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 37, 1099–1115 s.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.
- UANG, CM. and NAKASHIMA, M. 2004. Earthquake Engineering from Engineering Seismology to Performance-Based Engineering. Editors: Bozorgnia Y, Bertero VV. CRC Press.
- UANG, CM., NAKASHIMA, M. and TSAI, KC. 2004. Research and Application of Buckling Restrained Brace Frames. *Steel Structures*, 4, 301-313 s.

- UANG, C. M. and NAKASHIMA, M. 2004. Steel Buckling-Restrained Braced Frames, chapter of the book *Earthquake Engineering from Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*, ed: Bozorgnia Y., Bertero V. V., CRC Press LLC. ABD 1-36 s.
- UNGER, J., TEUGHEL, A. and DE ROECK, G. (2005). Damage detection of a prestressed concrete beam using model strains, *Journal of Structural Engineering*, 131(9), 1456–1463 s.
- URÍZ, P. 2005. Towards Earthquake Resistance Design of Concentrically Braced Steel Structures. Theses Doctor of Philosophy, University of California, Berkeley.
- WADA, A., SAEKI, E., TAKEUCHI, T. and WATANABE, AC. 1998. Development of Unbonded Brace, Nippon Steel's Unbonded Braces. Nippon Steel Corporation Building Construction and Urban Development Division, Tokyo, Japan, 1-16 s.
- WATANABE, A., HITOMI, Y., YAEKI, E., WADA, A. and FUJIMOTO, M. 1988. Properties of Brace Encased in Buckling-Restraining Concrete and Steel Tube. Proc. 9th World Conference on *Earthquake Engineering*, Tokyo-Kyoto, Japan, IV, 19–724s.
- WHITMORE, RE. 1952. Experimental Investigation of Stresses in Gusset Plates. Bulletin No.16, Engineering Experiment Station, University of Tennessee.
- DIKICIASIK, Y., BINICI, B., TOPKAYA, C. and OZCELIK, R. 2014. The Development Of The Buckling Restrained Braces With New End Restraints. 11. International Congress on *Advances in Civil Engineering*. İstanbul.
- YOOPRASERTCHAI, E. And WARNITCHAI, P. 2008. Seismic Retrofitting of Low-Rise Nonductile Reinforced Concrete Buildings By Buckling-Restrained Braces, Proc. of 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing-China.
- YOUNG, KJ., KIM, MH., KIM, J. and KIM, SD. 2009. Component Tests of Buckling-Restrained Braces with Unconstrained Length. *Engineering Structures*, 31, 507-516 s.
- ZHAO, X., XU, Y., LI, J. and CHEN, J. 2006. Hybrid identification method for multistory buildings with unknown ground motion: theory'', *Journal of Sound and Vibration*, 291(1–2), 215–239 s.
- ZHU, H. and XU, Y. 2005. Damage detection of mono-coupled periodic structures based on sensitivity analysis of modal parameters, *Journal of Sound and Vibration*, 285(1–2), 365–390 s.

ÖZGEÇMİŞ



Burak YAVAŞ 1991 yılında Ankara'da doğdu. İlk öğrenimini Ankara'da, orta ve lise öğrenimini Kahramanmaraş'ta tamamladı. 2009 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2014 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2014 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2014 yılından beri özel sektörde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.