

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**HASARLI BETONARME KOLONLARIN
MANTOLAMA YÖNTEMİYLE GÜÇLENDİRİLMESİ
VE AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİYLE
DENEYSEL ANALİZİ**

Anıl ÖZDEMİR

Tez Danışmanı : Öğr. Gör. Dr. Emre ERCAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 23.12.2015

Bornova-İZMİR

2015

Anıl ÖZDEMİR tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Hasarlı Betonarme Kolonların Mantolama Yöntemiyle Güçlendirilmesi ve Akustik Emisyon Yöntemiyle Deneysel Analizi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 23.12.2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oy birliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

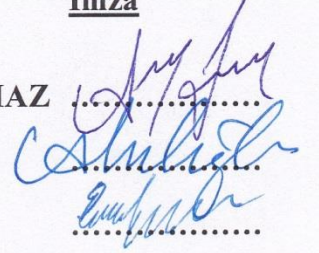
: Doç. Dr. Kasım Armağan KORKMAZ

Raportör Üye

: Yrd. Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU

Üye

: Öğr. Gör. Dr. Emre ERCAN



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hasarlı Betonarme Kolonların Mantolama Yöntemiyle Güçlendirilmesi ve Akustik Emisyon Yöntemiyle Deneysel Analizi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

23 / 12 / 2015

Anıl ÖZDEMİR

ÖZET**HASARLI BETONARME KOLONLARIN MANTOLAMA
YÖNTEMİYLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE AKUSTİK EMİSYON
YÖNTEMİYLE DENEYSEL ANALİZİ**

ÖZDEMİR, Anıl

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Emre ERCAN

Aralık 2015, 118 sayfa

Bu çalışmada, yük taşıyamaz halde olan 25x25x195 cm boyutlarında 5 betonarme kolona betonarme mantolama yöntemiyle güçlendirme uygulanmış ve kolonlar 40x40x200 cm olarak tasarlanmıştır. Kolonların tümünde süper akışkanlaştırıcı katkılı beton kullanılmıştır. Standart etriye aralığı; kolon tabanından itibaren ilk 60 cm’de 10’ar cm, 60-180 cm arasında 20’şer cm ve 180-200 cm arasında 5’er cm olarak belirlenmiştir. Referans kolon; ankrajsız, boyuna donatıları süreksiz, standart etriye aralıklıdır. Referans kolondan farklı olarak; birinci kolonda ankrajlı, ikinci kolonda ankrajlı ve boyuna donatılar sürekli, üçüncü kolonun etriyeleri sıklaştırılmış ($\emptyset 8/7,5$) ve ankrajlı, dördüncü kolon ise ankrajlı ve boyuna donatıları sürekli tutulup çelik lifli beton kullanılarak tasarlanmıştır.

Deney sonuçlarının birinci aşamasında kolonların güçlendirilmeden önceki ve güçlendirme sonrası dayanımları karşılaştırılmıştır. İkinci aşamasında, akustik emisyonun (AE) tanımı, incelenmesi ve kullanım alanlarından, AE analiz tekniklerinden bahsedilmiştir. Derinlemesine bir literatür taramasıyla bu teknikler pekiştirilmiştir. Bu çalışmanın son aşamasında da betonarme mantolama yöntemiyle güçlendirilmiş kolonların analizi akustik emisyon ile araştırılmıştır.

Anahtar sözcükler: Güçlendirme, Betonarme Mantolama, AE Yöntemi.

ABSTRACT**STRENGTHENING OF DAMAGED R.C.
COLUMNS BY JACKETING METHOD AND EXPERIMENTAL
ANALYSIS WITH ACOUSTIC EMISSION METHOD**

ÖZDEMİR, Anıl

MSc in Civil Eng.

Supervisor: Instr. Dr. Emre ERCAN

December 2015, 118 pages

In this thesis, 5 damaged RC column dimensioned 25x25x195 cm are strengthened with RC jacketing method and become 40x40x200 cm dimension. Superplasticiser admixture is used on each columns. The standard stirrup distance is determined as 10 cm distance for 60 cm from sub of column, 20 cm distance between 60-180 cm and 5 cm distance between 180-200 cm. Reference column is designed as no anchors, impermanent vertical reinforcement, standard stirrup distance. As a difference from the reference column in the first column has anchors, in the second column has anchors and vertical reinforcements are permanent, the stirrup distance of the third member is closer ($\varnothing 8/7,5$) and has anchors, in the fourth column has anchors, vertical reinforcements are permanent and steel fibered concrete is used.

As a result of experimental work, in the first stage the strength comparison of columns between before and after strengthening. In the second stage strengthening methods applied on structures, definition, investigation and usage of acoustic emission and AE analysis technics are investigated. These technics are consolidated with a deep literature review. The final stage of this study analysis of reinforced concrete columns jacketing method was investigated by acoustic emission.

Keywords: Strengthening, RC Jacketing, AE Method.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında engin bilgisini ve enerjisini paylaşarak her zaman hedefimi yüksek tutmama yardımcı olan, çok zorlu olan bu çalışmanın yürütülmesi sırasında maddi manevi her türlü desteği sağlayan danışman hocam Öğr. Gör. Dr. Emre ERCAN ve Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Ninel ALVER'e, beton karışımlarının hazırlanmasında yol gösteren Arş. Gör. Murat TUYAN'a, tezin pratik kısmının başından sonuna her aşamasında yanımda olan Arş. Gör. Fethi ŞERMET, İnş. Müh. Mehmet Bahadır TUTAN ve İnş. Müh. Edip YAĞIZ'a, tüm bu süreç boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen eşim Oya ÖZDEMİR'e ve eğitim-öğretim hayatım boyunca beni hep destekleyen, üzerimde büyük emekleri olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	..vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. GÜÇLENDİRME	2
2.1 Sistem Bazında Güçlendirme	3
2.1.1 Yapı içi güçlendirme yöntemleri	3
2.1.2 Yapı dışından gerçekleştirilen güçlendirme yöntemleri	9
2.2 Eleman Bazında Güçlendirme	12
2.2.1 Kolonların güçlendirilmesi	12
2.2.2 Kirişlerin güçlendirilmesi	17
2.2.3 Kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesi	21
2.2.4 Perdelerin güçlendirilmesi	23
2.2.5 Döşemelerin güçlendirilmesi	24

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.2.6 Temellerin güçlendirilmesi	26
3. AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİ (AE)	28
3.1 Akustik Emisyon Yönteminin Tarihsel Gelişimi	29
3.2 Akustik Emisyon Yönteminin Temel Uygulama Alanları	30
3.3 Akustik Emisyon Tekniğinin Esasları	31
3.4 Akustik Emisyon Veri Analizi	40
3.4.1 Parametre tabanlı AE tekniğinin kullanımının artıları ve eksileri	41
3.4.2 Sinyal tabanlı AE tekniğinin kullanımının artıları ve eksileri	42
3.4.3 Parametre tabanlı AE tekniğinin özelliklerine örnekler	45
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	48
4.1 Deneylerin Adlandırılması ve Deney Elemanları	48
4.2 Deney Düzenegi	57
4.2.1 Yükleme düzenegi	58
4.2.2 Ölçüm düzenegi	59
4.3 Malzeme	64
4.3.1 Beton	64
4.3.2 Çelik donatı	70

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.3 Epoksi yapıştırıcı	71
4.4 Deneyler	72
4.4.1 KDFVB deneyi	72
4.4.2 KDSVB deneyi	75
4.4.3 FVB deneyi	79
4.4.4 KDSVB-1 deneyi	82
4.4.5 CLAS deneyi	86
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	90
5.1 Deney Elemanlarının Teorik Dayanım Hesapları ve SectionBuilder Programı ile Modelleme ve Analiz Sonuçları	90
5.1.1 Deney elemanlarının teorik dayanım hesapları	90
5.1.2 SectionBuilder programı ile modelleme ve analiz sonuçları	92
5.2 Deney Sonuçlarının Dayanım, Süneklik, Enerji Tüketimi ve Rijitlik Açısından Değerlendirilmesi	96
5.2.1 Dayanım ve Süneklik	96
5.2.2 Enerji Tüketimi	99
5.2.3 Rijitlik	100
5.3 Deney Sonuçlarının AE Yöntemine Göre Değerlendirilmesi	101

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.3.1 KDFVB elemanının AE deney sonuçları	102
5.3.2 KDSVB elemanının AE deney sonuçları	103
5.3.3 FVB elemanının AE deney sonuçları	104
5.3.4 KDFVB-1 elemanının AE deney sonuçları	105
5.3.5 CLAS elemanının AE deney sonuçları	106
5.3.6 Deney sonuçlarının AE yöntemine göre değerlendirilmesi	107
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	109
6.1 Sonuçlar	110
6.2 Öneriler	111
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	113
ÖZGEÇMİŞ.....	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Yapıların sismik performanslarının geliştirilmesi (Gürol, 2007)	3
2.2 Bölme duvarların donatılı harç tabakası ile güçlendirilmesine ait bağlantı detayı	6
2.3 Çerçeve açıklığının çelik elemanlarla güçlendirilmesine dair örnek	7
2.4 Çelik diyagonal elemanlar yerleştirilmesi (Ergin, 1998)	7
2.5 Çelik elemanlarla yapılan güçlendirme yöntemlerinin etkinliği (Gürol, 2007)	8
2.6 Yapı içi güçlendirme yöntemlerinin etkinliği (Gürol, 2007)	8
2.7 Yapı dışına uzaysal çerçeve ekleyerek yapılan güçlendirme	10
2.8 Payandalar ile güçlendirme	11
2.9 Betonarme kolon mantosu detayı	14
2.10 Betonarme kiriş mantosu detayı	18
2.11 Çelik levhalar ile kiriş güçlendirmesine ait detay örnekleri	20
2.12 Kolon kiriş birleşim bölgesinin çelik şeritler ile güçlendirilmesi (Kuşan, 2002)	22
2.13 Deprem perdelerinin mantolama ile güçlendirilme yöntemi (Ceritli, 2006)	24
2.14 Döşemenin FRP malzemesiyle güçlendirilmesi	25
2.15 Sürekli temelde kullanılabilecek güçlendirme yöntemi	26

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.16 Kazıklı temeler de kullanılabilecek güçlendirme yöntemleri	27
3.1 AE ekipman ve işlem sırası (Euro Physical Acoustic)	32
3.2 Dört ayrı alıcıdan gelen AE izleme sisteminin blok şeması (NDT Source Center)	32
3.3 Kaiser etkisinin gösterimi (Yılmaz, 2012)	33
3.4 Yük altında oluşan AE sinyalleri (Yılmaz, 2012)	34
3.5 AE tekniğinin parametreleri (Shah and Kishen, 2012)	34
3.6 Çatlak sınıflandırmada RA değeri ve ortalama frekans ilişkisi (Nor et al., 2013)	37
3.7 AE kaynağının oluşum yerinin dik planı (Goszczynska, 2014)	38
3.8 Kaynak mekanizmasının çeşitli gösterimleri	40
3.9 Tekrarlı yükleme altında beton numunede oluşan Kaiser Etkisine örnek (Grosse and Ohtsu, 2008)	45
3.10 AE aktivitesinin istatistiksel yorumu, bir küp numune sekiz sensör ile ölçülmüştür (Balázs et al., 1996)	46
4.1 Güçlendirme öncesi kolonların resimleri	49
4.2 Güçlendirme öncesi kolon donatı yerleşimi ve kolon açılımı (Şen, 2012)	50
4.3 Güçlendirme öncesi temel donatı yerleşimi ve temel açılımı (Şen, 2012)	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.4 KDFVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı	51
4.5 KDSVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı	52
4.6 FVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı	53
4.7 KDSVB-1 deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı	54
4.8 CLAS deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı	55
4.9 Elemanların donatılandırılması	56
4.10 Filizlerin ekimi ve yerleştirilmesi	56
4.11 Kayma donatısının yerleştirilmesi	57
4.12 Deney platformu	58
4.13 Deneyde kullanılan cihazlar	59
4.14 AE izleme sisteminin blok şeması	60
4.15 AE sensörlerinin düzeni ve koordinatları	60
4.16 AE sisteminin kurulumu ve kalibrasyonu	62
4.17 Deplasman ölçerler	63
4.18 Deneylerde kullanılan yükleme düzeneği	64
4.19 Küp numuneler ve beton presi	66
4.20 Deneyde kullanılan agregalar	68

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.21 Deneyde kullanılan çelik lifler	70
4.22 Epoksi yapıştırıcı (HILTI)	71
4.23 Yükleme öncesi KDFVB deney elemanı	73
4.24 Yükleme sonrası KDFVB deney elemanı	74
4.25 KDFVB deney elemanı kesme kuvveti-yatay deplasman grafiği	74
4.26 KDFVB deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği	75
4.27 Yükleme öncesi KDSVB deney elemanı	77
4.28 Yükleme sonrası KDSVB deney elemanı	77
4.29 KDSVB deney elemanı kesme kuvveti- yatay deplasman grafiği	78
4.30 KDSVB deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği	78
4.31 Yükleme öncesi FVB deney elemanı	80
4.32 Yükleme sonrası FVB deney elemanı	81
4.33 FVB deney elemanı kesme kuvveti- yatay deplasman grafiği	81
4.34 FVB deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği	82
4.35 Yükleme öncesi KDSVB-1 deney elemanı	84
4.36 Yükleme sonrası KDSVB-1 deney elemanı	84
4.37 KDSVB-1 deney elemanı kesme kuvveti- yatay deplasman grafiği	85

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.38 KDSVB-1 deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği	85
4.39 Yükleme öncesi CLAS deney elemanı	87
4.40 Yükleme sonrası CLAS deney elemanı	88
4.41 CLAS deney elemanı kesme kuvveti- yatay deplasman grafiği	88
4.42 CLAS deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği	89
5.1 Elemanın 2 boyutlu matematik modeli	93
5.2 P-M etkileşim diyagramı	95
5.3 Moment-eğrilik diyagramı	96
5.4 KDFVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği	102
5.5 KDSVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği	103
5.6 FVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği	104
5.7 KDSVB-1 deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği	105
5.8 CLAS deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 İki AE tekniğinin karşılaştırılması	44
4.1 Kullanılan malzemelerin 1m ³ betondaki değerleri	65
4.2 Deney elemanlarının beton basınç dayanımları	66
4.3 Beton üretiminde kullanılan suyun kimyasal analiz sonuçları (İZSU) ..	67
4.4 Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri	68
4.5 Glenium SKY 608'in teknik özellikleri (BASF)	69
4.6 Çelik lifin boyutları ve fiziksel özellikleri (Bekaert)	70
4.7 Çelik donatıların akma ve çekme dayanımları	70
5.1 Kesit özellikleri	92
5.2 Kutu kesitin malzeme özellikleri	93
5.3 Kutu kesitin boyutları	93
5.4 Kutu kesit deki boyuna donatıların koordinatları	94
5.5 Çekirdek kesitin malzeme özellikleri	94
5.6 Çekirdek kesitin boyutları	94
5.7 Çekirdek kesit deki boyuna donatıların koordinatları	94
5.8 Kesitlerin temel özellikleri	95
5.9 Deney sonuçlarının özeti	97

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)ÇizelgeSayfa

5.10 Deney elemanlarının birikimli enerji tüketimleri 99

5.11 Deney elemanlarının rijitlik değerleri 100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Akustik emisyon genliği
A_s	Çekme donatısı kesit alanı
A_{sw}	Kesme donatısı toplam kesit alanı
b	Kolon kesit boyutu
c	Tarafsız eksen derinliği
d	Kolon kesitinin faydalı yüksekliği
D	Akustik emisyon uçuş süresi
f_{cd}	Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ctd}	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
f_{yd}	Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
f_{ywd}	Enine donatı tasarım akma dayanımı
h	Eleman yüksekliği
k_1	Basınç bloğu katsayısı
l_o	Bindirme boyu
M_d	Tasarım eğilme momenti
R	Akustik emisyon yükselme süresi
RA	Yüzey pürüzlülüğü değeri

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
s	Etriye aralığı
V_c	Kesme dayanımına beton katkısı
V_{cr}	Kesitin kesmede çatlama dayanımı
V_r	Kesme dayanımı
V_w	Kesme dayanımına kesme donatısı katkısı
Δ_y	Akmanın anındaki deplasman
Δ_n	Maksimum yük anındaki deplasman
Δ_{max}	Göçme anındaki deplasman
$\emptyset$	Donatı çapı
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ABYYHY	Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelik
AE	Akustik emisyon
AEWG	Akustik emisyon çalışma grubu
AFRP	Aramid lif takviyeli polimer
ASTM	American Society for Testing and Materials
CFRP	Karbon lif takviyeli polimer
DBYBHY	Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
FRP	Lif takviyeli polimer
GFRP	Cam lif takviyeli polimer
KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
LP	Lifli polimer

1. GİRİŞ

Coğrafi konumu bakımından ülkemizin önemli deprem kuşaklarının üzerinde bulunması, inşa edilecek yapıların tasarımında ve analizinde büyük rol oynamaktadır.

Ülkemizde mevcut betonarme yapıların büyük bölümünün beton basınç dayanımının yeterli seviyede olmadığı gözlenmiştir. Yakın tarihi incelediğimizde birçok hasara yol açan depremlerin meydana geldiğini görebiliriz. 17 Ağustos 1999 Gölcük depremi bunlardan biridir. Bu deprem sonrasında yaklaşık 113 bin yıkılan ve ağır hasarlı, 123 bin orta hasarlı ve 128 bin az hasarlı konut ve işyerleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, depremden dolayı meydana gelen hasarların onarım ve güçlendirilme gereksinimini doğurmuştur.

Onarım, hasar görmüş yapı elemanının önceki haline getirilmesi işlemidir. Yapının onarımı yapıldıktan sonra, hasara sebep olan eksikliği gidermek amacıyla güçlendirme yapılır. Diğer bir deyişle güçlendirme, yapının taşıma gücü vb. özelliklerini var olan durumdan daha ileri bir seviyeye taşımak amacıyla yapılan çalışmalardır.

Deprem kuvvetleri altında yeterli dayanımı, rijitliği ve sünekliği sağlayamayan yapılar, çeşitli güçlendirme yöntemleriyle güçlendirilmektedir. Bu güçlendirme yöntemleri ise, taşıyıcı sistemin yeni elemanlarla güçlendirilmesi ve yapıdaki taşıyıcı elemanların güçlendirilmesi olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Kesme sorunlarına karşı güçlendirme yetersiz donatı, donatı korozyonu vb. sebeplerden dolayı gelmektedir.

Yapıda kesme kırılmasının oluşması, yapıdaki elemanların gevrek kırılmasına yol açmaktadır. Bunun engellenmesi için mantolama, taşıyıcı elemanların sarılması ve elemanı dıştan çelik levhalarla destekleme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu tezin de temasını oluşturan betonarme mantolama, yapıdaki taşıyıcı elemanların güçlendirilmesi kategorisine girmektedir. Ülkemizde hala geçerliliğini sürdüren DBYBHY 2007'de Betonarme mantolama yöntemini kullanılarak binaların güçlendirilmesi hakkında bilgiler mevcuttur.

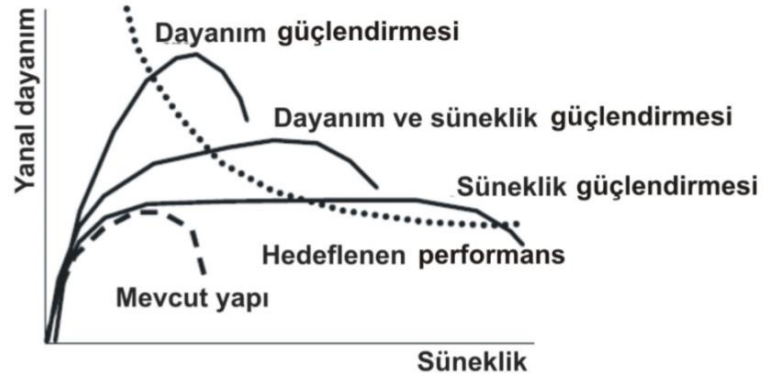
2. GÜÇLENDİRME

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarında; yapı ağırlığı, taşıyıcı elemanların konumları, boyutları ve malzemesi, zemin özellikleri gibi etkilerin yanında mimari tasarımın da önemli etkileri olmaktadır. Taşıyıcı elemanlarda, dinamik yükler altında bu etkenlere bağlı olarak hafif, orta veya ağır hasarlar meydana gelmektedir. Sonuç olarak yapı güvenliğinin yeniden sağlanması için, tüm sistemin veya hasar görmüş elemanların onarılması ve güçlendirilmesi gerekmektedir.

Güçlendirme, deprem nedeniyle hasar görüp görmediğine bakılmaksızın, mevcut yapının dayanım kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini, yapının maruz kaldığı deprem kuvvetlerine karşı güvenliği arttırmayı amaçlayan faaliyeti ifade eder.

Diğer bir deyişle; Hasarsız yapı elemanlarının veya hasarlı yapı elemanlarının hasarlarının giderilmesi amacı ile yapılan onarımdan sonra, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007” esas alınarak yapının performanslarının iyileştirilmesi ile yapılan müdahalelerdir.

Güçlendirme yöntemleri temel olarak iki başlıkta incelenmektedir. Bunlar; sistem bazında güçlendirme ve eleman bazında güçlendirmedir. Her iki başlıkta birçok alt yöntemlere ayrılmaktadır. Mevcut bir yapının güçlendirilebilmesi için yapının zafiyetleri saptandıktan sonra yapının hedeflenen duruma getirilmesi için güçlendirme stratejileri belirlenmeli ve bu hedefleri sağlayacak yöntemler seçilmelidir. Mevcut yapılardaki zayıflıklar temel olarak, deprem esnasında yapıya tesir eden kuvvetlere karşı, yapının yeteri dayanıma sahip olmaması ya da elemanlara tesir eden kuvvetlerin deprem süresince sönmelenememesidir. Bazı durumlarda bu iki kusurun bir arada bulunması da olasıdır. Sayılan unsurlar göz önüne alınarak karar verilen güçlendirme yöntemleri neticesinde, yapının ulaştığı performans seviyesinin hedeflenen seviyeye ulaşp ulaşmadığı analiz edilmelidir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Yapıların sismik performanslarının geliştirilmesi (Gürol, 2007).

2.1 Sistem Bazında Güçlendirme

Ülkemizde yaşanan depremlerden çıkarılan sonuçlara göre, yapılarda karşılaşılan sorunlardan en önemlileri yapının yeterli yanal rijitliğe sahip olmaması ya da burulma etkilerine karşı güvenli bir tasarım yapılmamış olmasıdır. Eğer yapıda yerel bazda kapasite aşımaları değil de genel davranış bozuklukları varsa yapıya eleman seviyesinde müdahale etmek hem istenilen performansa ulaşmayı genelde sağlayamamakta hem de ekonomik olmamaktadır. Bu durumda yapıya sistem bazında müdahale etmek gerekmektedir. Sistem bazında güçlendirme, içten ve dıştan güçlendirme olarak sınıflandırılabilir.

2.1.1 Yapı içi güçlendirme yöntemleri

2.1.1.1 Çerçeve içine perde ekleme

Yanal dayanımı zayıf binalarda tercih edilen bu güçlendirme metodu aynı zamanda yapı stabilitesini bozabilecek kesme göçmesine meyilli gevrek elemanların bulunması durumunda da, ötelenmeleri sınırlayarak gevrek elemanların kesme yükünü hafifletmek amacıyla da kullanılabilir. Perdelerin plandaki konumu belirlenirken mümkün olduğu kadar düzenli bir yapı sistemi oluşturulmalı ya da mevcut düzensizlikleri giderici yönde çözümler üretilmelidir. Ayrıca yapı ile yeni elemanların birlikte çalışmasını sağlayıcı

detayların üretilmesi ve ek perdelerden aktarılan ilave zorlamaların, mevcut elemanlara olan etkisinin de incelenmesi gerekmektedir.

Yapıya yeni perde duvarlar ekleyerek güçlendirme teknikleri, mevcut yapıların yanal dayanımlarını arttırmakta ve kat arası göreceli ötelemeleri sınırlamakta son derece etkili olmaktadır. Yapıya yeni perde duvar eklemesi yapılırken dikkat edilmesi gereken özellikler aşağıda sıralanmaktadır;

- Sisteme yeni eklenen betonarme perde bir çerçevenin içini tamamen doldurmalı ve olabildiğince bina yüksekliği boyunca aynı kesitle devam etmelidir.
- Perde uç bölgeleri mevcut kolonların mantolanması veya perde içine doğru büyütülmesi ile oluşturulabilir. Perde içinde üç bölge oluşturulması daha pratik olmaktadır, zira mimariye etkisi en az düzeydedir ve ilave kalıp işçiliği gerektirmemektedir.
- Betonarme sisteme eklenen betonarme perdeler hareketli yük dışında düşey yük almazlar. Bu nedenle derin bir kiriş olarak tasarlanmaları gerekmektedir.
- Her katta, dört kenarında mevcut kiriş ve kolonlarla kuşatılmış olan perde ile mevcut çerçeve arasında kayma gerilmelerini aktarmak için ankraj çubukları ekilir. Ankraj çubuklarının tasarımında kesme sürtünmesi prensibi kullanılır. Kat perdesinin kesme kapasitesini karşılayacak kapasitede ankraj sağlanmalıdır. Ankraj miktarı yatay ve düşey perde sınırlarında aynı olmalıdır. İç kuvvet dengesi bunu gerektirir. Yerinde dökülen yeni perdenin üstündeki kiriş ile ara yüzü ankraj açısından en kritik sınır yüzeyidir. Bu yüzeydeki ankraj hesabında sürtünme katkısının alınmaması daha doğrudur.
- Binanın iç çerçevelerine eklenecek betonarme perdeler çerçeve içinde düzenlenmelidir. Ancak dış çerçevelere eklenecek perdeler mevcut çerçevenin dışına bitişik olarak da yapılabilir. Bu durumda ankrajların

yönü perde düzlemine dik olacak şekilde değişmektedir ve ankraj hesabında sürtünmenin kesmeye katkısının ihmal edilmesi daha doğrudur.

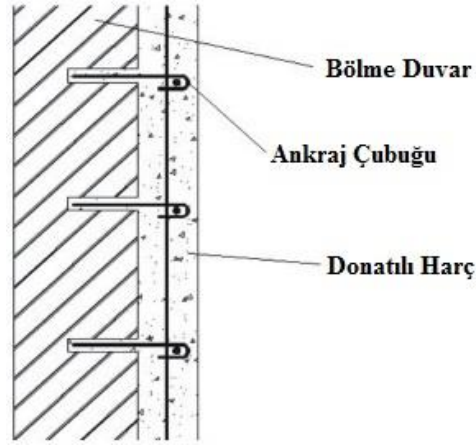
- Dış çerçeve düzlemine bitişik olarak yapılan (eksantrik) perdelerin imalatı çok kolaydır. Tüm uygulama dıştan yapıldığı için binanın boşaltılmasına da gerek yoktur. Uygulama maliyeti çerçeve içine eklenen perdelerle göre daha düşüktür.
- Perde altına yeni temel düzenlenmelidir. Doğrusal elastik yöntem ile temel hesabında tasarım momenti ve kesme kuvveti olarak perdenin temele bağlanan kesitinin eğilme ve kesme kapasiteleri kullanılmalıdır. Doğrusal elastik olmayan yöntemde ise tasarım kuvvetleri olarak temele bağlanan perde kesitlerinin iç kuvvetleri doğrudan kullanılmaktadır.
- Perde altı temeli mevcut kolonların aktardığı yükler dışında düşey yük almadığı için yatay deprem yüklerinin devrilme etkisi altında uçlarında çekmeye geçebilmektedir. Bu durumda perde altı temelini aynı çerçeve aksındaki komşu kolonların altına kadar uzatmak ve bu kolonların basıncından yararlanmak uygun bir çözüm olmaktadır. Ancak temel ucunun çekmeye geçebilmesi için perdenin tüm binayı kaldıraç olarak kaldırması gerektiği de göz önünde tutulmalıdır. Bu durumda perdenin çekmeye geçen ucuna saplanan tüm kirişler kapasitelerine ulaşacak ve kapasiteleri ile orantılı kesme kuvvetlerini basınç olarak perde ucuna aktaracaklardır (Sucuoğlu, 2008).

2.1.1.2 Bölme duvarların güçlendirilmesi

Çerçeve açıklığında bulunan tuğla, briket vb. malzemelerden teşkil edilmiş bölme duvarların her iki yüzüne donatılı harç tabakası ekleyerek, dayanımı ve rijitliği daha yüksek çerçeveler elde etmek mümkündür. Alternatif bir çözüm olarak uygulanmakta olan bu yöntemde, donatı olarak hasır çelik kullanılabilir. Bölme duvarların güçlendirilmesi yönteminde de kuvvet transferi, mevcut düşey ve yatay taşıyıcılara monte edilmiş ankraj çubukları

vasıtasıyla sağlanmaktadır. Ankraj çubukları düzenlenirken, deprem kuvvetlerinin çerçeve içi transferini sağlayacak basınç çubuğu oluşumunun sağlanması gerekmektedir.

Donatılı harç tabakası ile mevcut duvarın birlikte çalışması amacıyla, duvara dik yönde ve ayrıca yatay ve düşey yönlerde kolon ile kirişlere ankraj çubukları teşkil edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.2’de bu yöntemde kullanılabilecek bir bağlantı detayı görülmektedir.

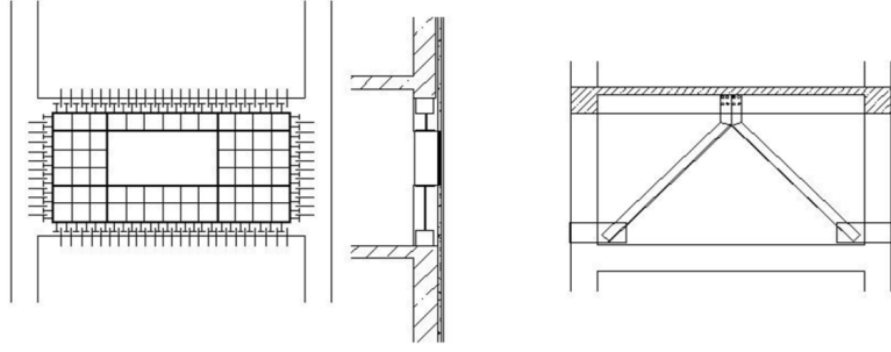


Şekil 2.2 Bölme duvarların donatılı harç tabakası ile güçlendirilmesine ait bağlantı detayı.

2.1.1.3 Çelik elemanlarla güçlendirme

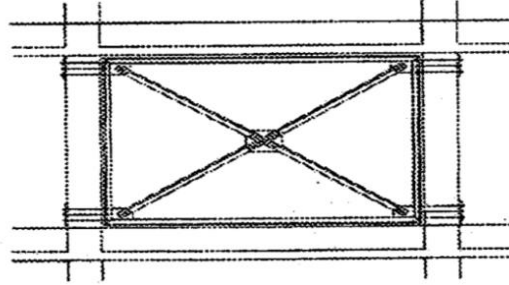
Betonarme çerçeve sistemlerinin sismik performanslarını arttırmak için çelik elemanlar kullanımı son yıllarda gündeme gelmiş bir yöntemdir. Çelik elemanlarla güçlendirme yapının deprem anındaki yanal deplasmanlarını azaltacağı gibi enerji yutma kapasitesini de arttırmaktadır.

Bu yöntemle, çerçeve açıklığı içerisine çelik çaprazlar ya da çelik profillerden teşkil edilmiş paneller yerleştirilmektedir (Şekil 2.3). Söz konusu metotla yapılan güçlendirmede yapı ağırlığı, eklenen elemanlarla çok değişmediğinden yapıya etkiyen deprem kuvvetinde de önemli bir artışa sebep olmadan yanal rijitliği arttırmak mümkün olmaktadır.



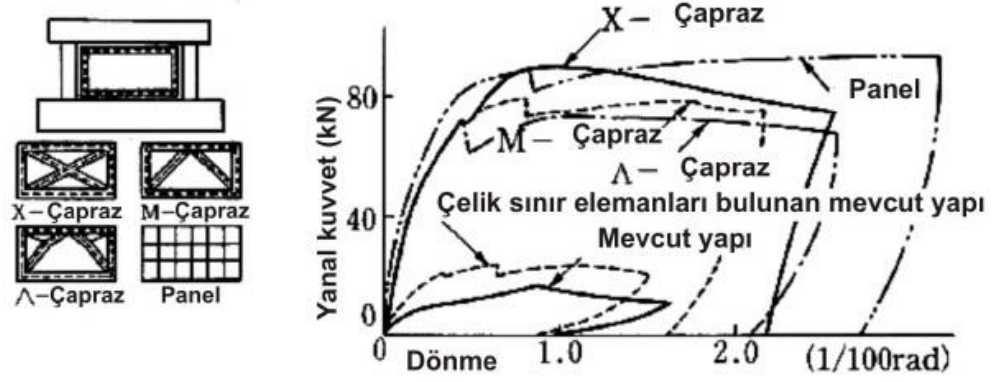
Şekil 2.3 Çerçeve açıklığının çelik elemanlarla güçlendirilmesine dair örnek.

Yapıda çok fazla boşlukların bulunması durumunda, güçlendirme için düşey düzlem içinde kafes sistemler ve diyagonal bağlantılar oluşturulmaktadır. (Şekil 2.4). Bu tür sistemler, çelik elemanlardan veya yerinde dökme beton elemanlardan meydana getirilebilir. Çelik elemanlar kullanılması halinde yangın ve korozyona karşı önlem alınmalıdır. Bu yöntemin avantajı yapının ağırlığını arttırmadan rijitliğinin ve düktilitesinin artırılmasıdır (Ergin, 1998).



Şekil 2.4 Çelik diyagonal elemanlar yerleştirilmesi (Ergin, 1998).

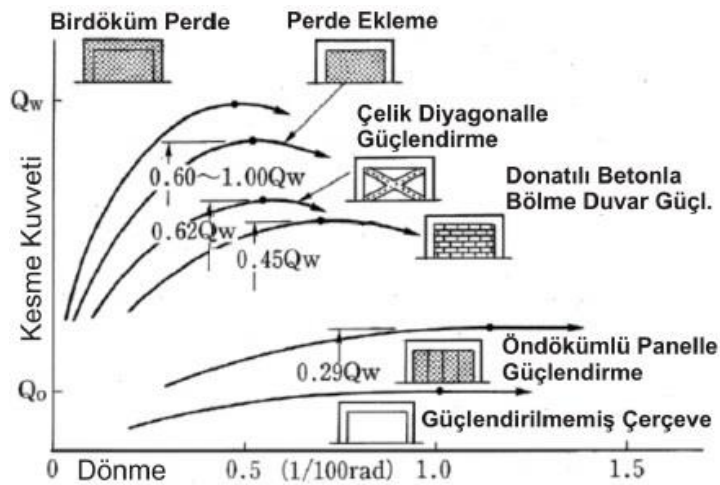
Çelik elemanlarla yapılacak güçlendirmede, seçilecek olan uygulama tipi yapının mevcut durumu, kullanım amacı, malzeme özellikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak tayin edilmektedir. Bu konuyla ilgili yapılmış çalışmalardan da anlaşılabacağı üzere, uygulama tiplerinin verimliliği çeşitli değişkenlere bağlı olmakla beraber X çapraz ve panel uygulaması, yapının yanal yük kapasitesine diğerlerine oranla daha fazla katkı sağlamaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Çelik elemanlarla yapılan güçlendirme yöntemlerinin etkinliği (Gürol, 2007).

2.1.1.4 Yapı içi güçlendirme yöntemlerinin değerlendirilmesi

Sismik performansı arttırmaya yönelik olarak uygulanan yöntemler, laboratuvar çalışmaları ile geliştirilmekte ve mühendislerin doğru bir şekilde kullanımına sunulmaktadır. Bu anlamda, yapılara adapte edilecek metotların avantajları ve zayıf noktaları saptanarak en uygun çözüme ulaşmak ve yapının davranışını önceden tahmin etmek mümkün olmaktadır. Güçlendirme planlaması ile yapının talep dayanımına, sünekliğine veya rijitliğine ulaşması amaçlanmaktadır. Ancak yapıya uygulanacak güçlendirme yöntemlerinin etkileri birbirinden farklı olmaktadır. Bu amaçla, çerçeve açıklığına uygulanan güçlendirme metotlarının referans boş çerçeveye sağladıkları katkıları Şekil 2.6'da görmek mümkündür.



Şekil 2.6 Yapı içi güçlendirme yöntemlerinin etkinliği (Gürol, 2007).

2.1.2 Yapı dışından gerçekleştirilen güçlendirme yöntemleri

Deprem dayanımı yetersiz olan yapılarda gereği durumunda dıştan güçlendirme yapılabilmektedir. Bu şekilde yapılacak güçlendirmede, yapının dışına mevcut yapıyla beraber çalışacak yeni elemanlar ilave edilmekte ve bir bütün olarak deprem kuvvetine karşı konulması hedeflenmektedir. Yapıya dışarıdan yeni taşıyıcılar eklenebilmesi, yapının konumuna ve durumuna bağlı olarak değişmekte ve yapı çevresinde yeteri kadar alan bulunması gerekmektedir.

2.1.2.1 Çerçeveye bitişik perde ekleme

Tüm yapı dışında gerçekleştirilen güçlendirme yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de temel amaç yapıya yanal dayanım kazandırmaktır. Yapı kullanımda iken de uygulanabilmektedir. Yapı çevresinde çok fazla genişliğe gerek duyulmaması bu yöntemin en büyük avantajı olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemde özellikle dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlar;

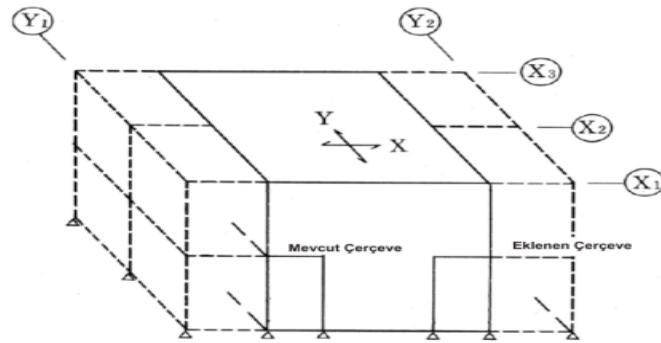
- Eklenecek perdelerin temelden yapı üst kotuna kadar sürekli olması,
- Düzensizliklerin yarattığı zorlamaları hafifletecek perde plan ve düşey yerleşimlerinin teşkil edilmesi,
- Eski ve yeni elemanların beraber çalışmasını mümkün kılan ankrajların, mevcut yapı ile yeni elemanların ara yüzünde oluşacak kesme gerilmelerini karşılamak üzere yeterli dayanımda olması,
- Komşu elemanlara perdeden etkiyen ilave gerilmeler de göz önüne alınmalıdır.

2.1.2.2 Yapıya yeni çerçeveler eklenmesi

Yapı dışına uzaysal çerçeve ekleme metodu sistem bazında bir güçlendirme olup yapının yanal yük kapasitesini arttırmaya yönelik olarak uygulanmaktadır. Aynı zamanda yapının var olan elemanlarının, daha sonra bahsedilecek olan

eleman seviyesinde güçlendirme teknikleri ile sünekliklerinin geliştirilmesi durumunda, yapıya bütün anlamda süneklik kazandırmak da mümkün olmaktadır.

Bu güçlendirme yöntemi içeriden müdahale edilemeyecek ve kullanma açısından önemli açıklıkların bulunması durumunda tercih edilmektedir. Bununla beraber, bu metodun uygulanabilmesi için yapı çevresinde yeterli alanın bulunması gerekmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Yapı dışına uzaysal çerçeve ekleyerek yapılan güçlendirme.

Çerçeve eklenmesi durumunda özellikle dikkat edilmesi gereken durumlar söz konusudur. Bunlar;

- Yeni ile eski çerçevenin bağlantı detayları ve birbirleriyle olan etkileşimi, kesmenin döşemeler arasındaki aktarımı gibi kuvvet transferi ile ilgili unsurlar olmaktadır. Gerilme iletiminin sağlanması açısından mevcut elemanla yeni elemanın donatıları kaynaklanmalı ya da bunun kadar etkili bir yöntem kullanılmalıdır.
- Eklenen çerçevenin kat seviyeleri ve kolon boyları var olan çerçeve ile uyumlu olmalıdır.

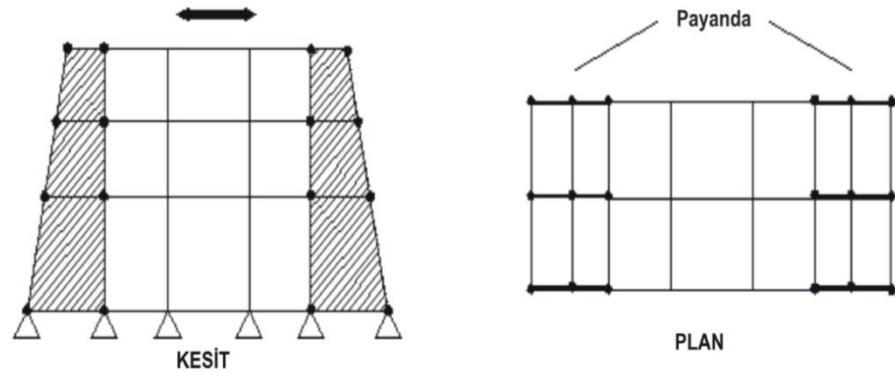
Yapının tersinir yüklere karşı performansını etkileyebilecek olması bakımından, dıştan eklenen uzay çerçevenin oturmasının da göz önünde tutulması gerekmektedir (Gürol, 2007).

2.1.2.3 Yapıya payandaların eklenmesi

Yapıya tümsel yanal dayanım kazandırma adına uygulanabilecek diğer bir güçlendirme metodu ise yapı dışına payandalar eklemektir. Bu şekilde yapı dayanımı arttığı gibi sünekliğini de geliştirmek mümkün olmaktadır.

Bu güçlendirme yöntemi de, yapının fonksiyonu gereği içeriden müdahale edilemediği ve fakat deprem sebebiyle hasar görmeye meyilli yapılarda, yapı dış çevresinin müsaade ettiği ölçüde uygulanabilen bir yöntemdir.

Payanda duvar eklenerek yapılacak güçlendirme uygulamasında, payandaların zayıf yönde ve simetrik olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Ayrıca payandalar yapıya kat hizalarından bağlanmaktadır. Duvarın iki ucunda kolon ve her kat seviyesinde kirişleri bulunmalıdır. Duvar ile dış kolon ve duvar kirişleri ile mevcut kirişlerin bağlantıları oldukça ehemmiyet kazanmaktadır. Yapının bir yüzünde iki veya daha fazla payanda bulunacaksa, bunlar arasında kiriş gibi yatay bağ elemanlarının kullanılması gerekebilir. Bunlara ek olarak, yapının deprem performansı açısından payanda duvarın altına mevcut sistemle beraber çalışacak bir temel yapılması gerekmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Payandalar ile güçlendirme.

2.2 Eleman Bazında Güçlendirme

Eleman bazında uygulanan tekniklerin, yapının davranışına sağladığı katkıların yanı sıra genellikle temel müdahaleleri gerektirmemesi ve daha az mimari soruna yol açması gibi avantajları bulunmaktadır.

Eleman seviyesinde sıklıkla karşılaşılan bazı yetersizlikler şunlardır;

- Yetersiz eksenel yük kapasitesi,
- Yetersiz eğilme momenti kapasitesi,
- Düşük süneklik,
- Yetersiz kesme kuvveti kapasitesi,
- Kötü işçilik ve donatı detayı,
- Zamana ve çevresel şartlara bağlı hasarlardır.

Sözü edilen yetersizliklerin giderilmesine dair uygulanabilecek yöntemler kolon, kiriş ve kolon-kiriş birleşim bölgesi güçlendirilmesi olarak 3 ana başlık altında incelenecektir.

2.2.1 Kolonların güçlendirilmesi

Genel hatlarıyla betonarme kolonlarda 4 çeşit hasar meydana gelmektedir. Bunlardan eğilme kırılması, deprem etkileri ile kolona gelen eğilme momentinin artması nedeniyle kolon uçlarında mafsallaşma meydana gelmesi sonucu oluşur. Kesme kırılması, ise kolonun üzerine gelen kesme kuvvetini taşıyamaması sonucunda meydana gelir. Kolon kesitinin en dış lifindeki beton ezilmeye başladığında, henüz akma birim uzamasına ulaşmamış ise kolonda basınç kırılmaları ortaya çıkmaktadır. Yapının kütle ve rijitlik merkezleri çakışık değilse kolonlarda oluşan burulma kırılmaları da belirlenmelidir.

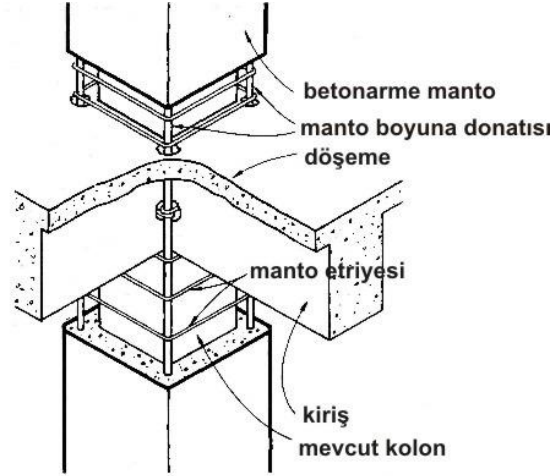
Betonarme kolonların güçlendirilmesi, bu elemanların eksenel yük, moment ve kesme kuvveti taşıma güçlerinin artırılması olarak tanımlanmaktadır. Bu işlem genellikle ya betonarme kesitin artırılması, kolona yeni donatılı en kesit eklenmesi, ya da kolonun çelik bir kafes içine alınarak betona yandan destek verilerek taşıma gücünün artırılmasıdır. Konulan çelik çerçevede düşey yük taşıma gücünü artıracaktır.

Betonarme kesitin artırılması, kolonun bütün çevresinde olursa buna “Mantolama” ismi verilmektedir, ayrıca “Gömlek Geçirme” de denmektedir. Kolonun yalnızca iki kenarına yeni kesitler eklenerek de güçlendirme işlemi gerçekleştirilebilir. Bu yöntem de “Kanat Ekleme” olarak nitelenir. Bunlardan farklı olarak kolonlarda güçlendirme yöntemi olarak bir metot daha göze çarpmaktadır. Bu yöntem de lifli polimer ile güçlendirilmedir. Bu yöntemler aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

2.2.1.1 Betonarme mantolama ile güçlendirme

Betonarme mantolama, var olan kolonun çevresine iyi donatılmış yeni bir betonarme katman eklenmesidir. Bu metot eleman kesme kapasitesinin artırılmasıyla sünekliğin gelişmesine yardımcı olmakla beraber aynı zamanda eğilme ve eksenel yük kapasitesinin artırılması amacıyla da kullanılmaktadır.

Yapının durumuna bağlı olarak, mantolama yöntemi giderilmesi istenen zayıflığa göre çeşitli şekillerde uygulanmaktadır. Yapı kolonun sünekliğinin geliştirilecek olması durumunda manto sargısı alt döşemenin 1-5 cm üzerinde başlayıp, üst döşemenin de aynı miktarda aşağısında sonlanmaktadır. Ancak süneklik yanında dayanımında geliştirilmesinin gerektiği hallerde ise büyütülen kolona eklenen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. Donatı sürekliliği, döşemelerde açılan deliklerden donatıların geçirilmesi suretiyle sağlanmaktadır (Şekil 2.9). Aynı zamanda manto yüksekliği boyunca kat hizalarında kirişle kesişen bölgelerde düğüm noktalarının da güçlendirilmesi açısından kirişlere de ankraj çubukları yerleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.9 Betonarme kolon mantosu detayı.

Çatlamış betonarme kolonlarda reçineler veya çimento şerbeti kullanılabilir. Az hasarlı, donatıları burkulmamış, betonu gevşemiş kolonlarda yerel olarak gevşek beton kısmı kaldırılarak yeni beton dökülmesi suretiyle onarım yapılabilir. Kolonlarda oluşan hasar derecesine göre bir, iki, üç ya da dört taraftan mantolama yapılabilir. Kolonun mantolanması ile kolon en kesit alanı artırılırken donatı yüzdesi de bir miktar artırılmaktadır.

2.2.1.2 Celik levhalar/profiller ile güçlendirme

Kolonun dört köşesine çelik köşebent yerleştirerek ve bunları enine veya boyuna levhalarla birbirine kaynaklamak suretiyle yapılan güçlendirme metodudur. Plakalar ile kolon arasına aderans sağlayıcı harç sürülerek uygulanan bu yöntem kolonun eksenel yük kapasitesine ve kesme kapasitesine katkı sağlamaktadır. Yapımının kolay ve temiz olması da bu yöntemin avantajlarındanıdır.

Kolon eksenel yük kapasitesinin arttırılmasının gerekli olduğu durumlarda, köşe korniyerlerinin, döşemelerde açılan deliklerden geçirilerek sürekli olması sağlanmaktadır. Ayrıca basınç aktarımının sağlanması ve gerilme birikiminin önlenmesi açısından döşemelere başlık plakası teşkil edilmesi gerekmektedir.

Çelik manto ile güçlendirme uygulamasında bindirmeli eklerin zayıflıklarının giderilmesi için ise sargı boyunun bindirme bölgesi boyundan daha uzun olması ve bu bölgede plakaların bulonla sıkıştırılması gerekmektedir.

Mevcut yönetmeliklere göre tasarlanmamış ve günümüzde halen var olan yapılarda gözlemlenen temel sorunlardan birisi, sünek olmayan ve kesme açısından kritik olan elemanların bulunmasıdır. Bunlar ani kırılmalarla yapı stabilitesini tehlikeye sokmaktadır. Bahsi geçen zayıflıklara sahip bir yapıda çelik manto etkili sonuçlar sunmakta ve farklı tiplerde uygulanabilmektedir. Çelik plakalarla aralıklı ya da aralıksız sargılama, eleman kesitinin bazı yüzeylerine uygulama veya çelik kelepçeler ile müdahale gibi yöntemler en sık kullanılanlardır.

Çelik korniyerlerle dört köşesinden yüksüz olarak onarılmış ve güçlendirilmiş betonarme kolonların eksenel yük altında davranışlarını inceleyen Ergin (1998) aşağıdaki tavsiyelerde bulunmuştur:

“Çelik levha kılıf geçirme yöntemine değinecek olursak, mevcut kolonun tamamı çelik levha ile çevrilip örtülür. Kolon ile kılıf arasındaki boşluk rötre yapmayan veya genişleyen çimento harcı ile doldurulmalıdır. Bu yöntemle kolonda süneklik ve eksenel yük taşıma mukavemeti yerel olarak artırılabilir. Çelik kılıfın döşeme içerisinden geçirilememesi sebebiyle eğilme mukavemetinde bir iyileştirme yapılamaz. Ayrıca yangına karşı da önlem alınması gerekmektedir.”

2.2.1.3 Karbon lifli malzemeler ile güçlendirme

Lifli polimer, karbon, cam ya da aramid lifleriyle güçlendirilmiş malzemeleri temel alınarak üretilen bir yapı malzemesidir. Türkiye'de sıklıkla İngilizce orijinal adı Fiber Reinforced Polymers/Plastic (FRP) ile de anılmaktadır. Malzeme yaygın şekilde güçlendirme uygulamalarında kullanılmaktadır. Betonarme elemanların (kolon, kiriş, döşeme) basınç ve/veya eğilme dayanımlarının artırılmasında etkili bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca yöntem, Türkiye'de çıkan son deprem yönetmeliğinde de uygulanabilir güçlendirme yöntemleri arasında gösterilmekte ve hesap yöntemleri sunulmaktadır.

Malzeme genel olarak, lif tipine göre, üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

- CFRP: Karbon lifli polimer (*İngilizce: Carbon fiber reinforced polymers*)
- GFRP: Cam lifli polimer (*İngilizce: Glass fiber reinforced polymers*)
- AFRP: Aramid lifli polimer (*İngilizce: Aramid fiber reinforced polymers*)

Karbon lifleriyle güçlendirme sistemi betonarme, yığma ve ahşap yapı elemanları için dışarıdan uygulamalı güçlendirme sistemidir. Sistem elemanları: karbon lifli dokuma ve epoksi esaslı doyurma reçinesi olarak sayılabilir. Mevcut betonarme yapıların çoğunda beton basınç dayanımı projelendirme sırasında öngörülen değerden düşük, enine ve boyuna donatılar günümüz yönetmelikleri tarafından öngörülen şartları sağlamaktan uzaktır. Bu eksiklikler düşey taşıyıcı elemanların eksenel yük, kesme kuvveti, eğilme momenti taşıma kapasiteleri ile sünekliklerini olumsuz etkilemekte, bunun sonucunda yapıların deprem karşısındaki davranışı öngörülenden çok daha başarısız olabilmektedir. FRP kompozit malzemelerin bu eksikliklerin giderilmesi amacı ile yapı mühendisliğinde de kullanımı günden güne artmaktadır.

Hasar görmüş betonarme elemanlara başlangıçtaki orijinal mukavemetlerini kazandırmak veya güçlendirmek amacı ile karbon lif-cam lif takviyeli epoksi esaslı kompozit malzemeler çelik plakalarla yapılan geleneksel güçlendirme sistemlerine alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Çekme dayanımları çelikten fazla olan bu tür kompozit malzemelerin en büyük avantajları hafif olmaları, korozyona uğramamaları ve rulolar halinde saklanabilmeleri ve kolaylıkla uygulanabilmeleridir.

Özellikle tarihi ve yığma yapılarda deprem vb. etkiler altında yapının komple göçmemesi, tarihi görünümünü koruması ve orijinal yapısının bozulmaması istenir. Bu durumda klasik olarak uygulanan çeşitli güçlendirme yöntemlerinin yapı sistemini ve görünümü değiştirmesi, ağırlığını arttırması, çelik, betonarme vb. elemanların mevcut taş, tuğla elemanlarla birlikte

alışmasının etkin olarak sağlanması gibi giderilemeyen veya giderilmesi çok zahmetli olan problemler ortaya çıkmaktadır. Pek çok durumda FRP malzemeler bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır.

FRP'ler sadece lif eksenine paralel çekme kuvvetlerini karşılayabildikleri için uygulama yönü önemlidir. İki yönlü tabakalar halinde uygulandığında kirişlerde eğilme ve kesme dayanımının, kolonlarda eğilme ve sargılama etkisiyle basınç dayanımının arttırılması mümkündür.

Bu malzemeler arasında en yaygın olarak kullanılanlar karbon lif takviyeli (CFRP) ve cam lif takviyeli (GFRP) kompozitlerdir. Farklı durumlar için, farklı mekanik özelliklere sahip olan bu malzemelerden birinin kullanımı diğerlerine göre daha uygun olabilmektedir. Bu malzemelerin kullanımı ile yapı elemanın yük taşıma kapasitesinin geri kazanılması veya arttırılması amaçlandığı için uygulama bir onarımdan çok güçlendirme işlemidir. Karbon fiber (CFRP) adıyla tanınan karbon lifli malzemeler hafif, yüksek mukavemetli, liflerin dizilim yönleri değiştirilerek mukavemeti ayarlanabilen, beton ve çeliğin giremeyeceği yerlere girebilen, ince, uygulaması hızlı ve pratik, korozyona dayanıklı, uzun ömürlü yeni nesil malzemelerdir. Amerika, Avrupa ve Japonya'da ilk olarak havacılık otomotiv ve denizcilik sektöründe kullanılan bu malzemeler, 1990'lardan sonra yaygın olarak (bilhassa karayolu köprülerinde) kullanılmaya başlanmıştır. Beton ve çeliğe göre pahalıdır ama bir otelde, restoranda, turistik ve tarihi eserlerde yani kullanımında daralma olması istenmeyen, çirkin ve kaba görüntülere müsaade edilemeyecek yerlerde bu malzemeler kullanılabilir.

Güçlendirmenin maliyetleri hesaplanırken kullanımın kısıtlanması, estetiğin bozulması, bakım masrafları, uzun ömürlü olup olmadığı kesinlikle hesaba katılmalıdır.

2.2.2 Kirişlerin güçlendirilmesi

Betonarme kirişler genel olarak iki bicimde göçme davranışı sergilemektedir. Bunlar eğilme ve kesme gmesidir. Bilindiği üzere kesme göçmesi ani ve gevrek bir kırılmaya sebep olmakta ve bu yüzden betonarme

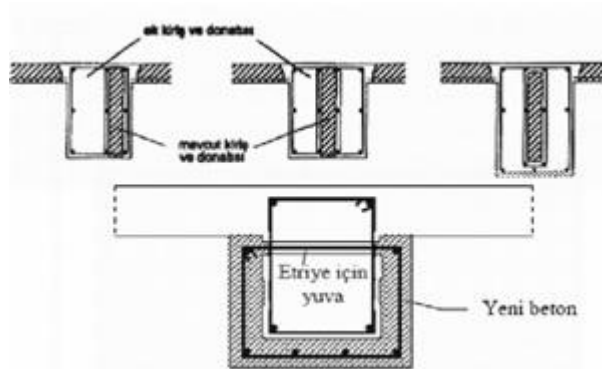
kirişlerin, eğilme kapasitesine ulaşarak sünek bir biçimde göçmesi istenmektedir. Bu amaçla, yetersiz dayanımına sahip, perdeler arasında açıklığı nispeten az ya da sonradan eklenen perdeler sebebiyle haddinden fazla zorlanan kirişlerin bulunması durumunda bu elemanların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Hafif çatlaklar olan kirişlerin onarılmasında epoksi veya beton harcı enjeksiyonu uygulanmaktadır. Betonun ezilmesi, kırılması, aderansın bozulması ve donatının kopması gibi durumlarda hasarlı kısım kaldırılmalı ve yerine yenisi yapılmalıdır. Hasarlı elemanlar onarılmadan önce kiriş geçici olarak desteklenmeli ve askıya alınmalıdır. Mevcut kirişler altına yerleştirilecek beton iyi sıkıştırılmalıdır. Ayrıca bir kirişin kesme dayanımı da düşey veya diyagonal kelepçelerle tutturulmuş olan çelik çubuklarla artırılabilir (Ergin, 1998).

Günümüzde uygulanan güçlendirme yöntemleri genel olarak bu kusurları gidermeye yöneliktir. Kirişlerin güçlendirilmesinde en sık kullanılan yöntemler; betonarme mantolama, çelik levhalar ile güçlendirme ve lifli polimerler ile sargılamadır.

2.2.2.1 Betonarme mantolama ile güçlendirme

Betonarme manto oldukça sık kullanılan ve tanınan bir yöntemdir. Bu metot, mevcut kirişe yeni donatılar ve etriyeler ekleyip en kesit alanının genişletilmesi suretiyle uygulanmaktadır. Yeni eklenen enine ve boyuna donatılar ile kirişin kesme ve eğilme kapasitesi geliştirilmektedir.



Şekil 2.10 Betonarme kiriş mantosu detayı.

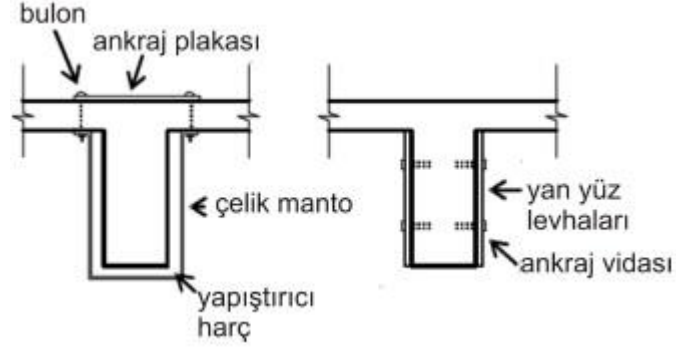
Söz konusu yöntemin performansı genel olarak iki unsura bağlı olarak değişmektedir. Bunlardan ilki, eski ve yeni kesitin birlikte çalışması ve kuvvet aktarımının sağlanabilmesi açısından önem kazanan yüzey hazırlığı çalışmasıdır. Bunun için kirisin kabuk betonunu kaldırarak epoksi ile kesite agrega yapıştırmak ya da kesitte kesme yuvaları oluşturmak gereklidir.

Performans açısından ikinci önemli konu ise uygulama tipi ve ankraj detayıdır. Kirisin eğilme dayanımının artırılmasının gerektiği durumlarda kiriş mantosu ve boyuna donatılar kolonların içine açılan deliklerden geçirilerek sürekli olarak devam ettirilmektedir. Sadece kesme kapasitesinin artırılmasının söz konusu olduğu durumlarda ise manto, kolon yüzünde 1-2 cm boşluk bırakılarak sonlandırılmaktadır. Ayrıca enine donatının ankrajı da döşemelerden açılan deliklerden geçirilerek sağlanmaktadır.

Günümüze kadar yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, doğru detay ve yüzey hazırlıkları ile güçlendirilmiş kirişlerin başarılı bir davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Bu sebeple, manto ile güçlendirilmiş kirişin bir dokum gibi hesaplanan taşıma gücünün %90'nın alınması tavsiye edilmektedir. Ayrıca dıştan ilave etriyelerle sarılmış kirişlerin kesme dayanımının TS-500'e göre hesaplanması öngörülmektedir.

2.2.2.2 Çelik levhalar/profiller ile güçlendirme

Çelik levhalar ile güçlendirme, kirişlerin yüzeylerine çelik plakalar yapıştırmak ya da bulonlamak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Kiriş alt yüzüne yapıştırılan levha eğilme kapasitesine katkı sağlarken yan yüzeylere yapıştırılan levhalar kesme dayanımını arttırmaktadır. Hem eğilme hem kesme dayanımının geliştirilmesinin gerektiği durumlarda ise U şeklinde plakalar kullanılabileceği gibi ayrıık levhalar yüzeylere yapıştırılıp köşelerde kaynaklanabilmektedir. U şeklinde levhalar ya da yan yüzeylere plaka yapıştırılarak yapılacak güçlendirmede uygulanabilecek detay tipleri Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11 Çelik levhalar ile kiriş güçlendirmesine ait detay örnekleri.

2.2.2.3 Karbon lifli malzemeler ile güçlendirme

Karbon fiber polimerler (FRP), kirişin eğilme bölgesinde boyuna, kesme bölgesinde ise 45° ve 135° açılarda uygulandığında maksimum performanslarını gösterirler. Nedeni, kirişlere açıklık bölgesinde eğilme, mesnet bölgelerinde ise kesme kuvvetine karşı güçlendirme yapılır. Eğilme bölgesinde meydana gelebilecek bir hasarda önce FRP malzemesinin kopması, ondan sonra çelik donatıların akması, daha sonra da betonun ezilmesi istenir. FRP şeritler kirişlerde, etriye eksikliklerini gidermek için kirişin üç yanını kuşatacak biçimde U şeklinde uygulanabilirler.

Colalillo and Sheikh (2012), çalışmalarında CFRP kullanılarak betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesini incelemiştir. Deneyde, on beş adet büyük ölçekli (400x650x3600 mm) güçlendirilmiş kirişler, depreme benzer tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Çalışma sonunda FRP güçlendirme malzemelerinin, kirişlerin kesme dayanımını geliştirdiği bulunmuştur. Ayrıca akma dayanımını desteklemek için yeterli CFRP malzemelerle güçlendirmelerin, akma sonrası kayma mukavemetinin gerilemesinin azalmasıyla, sünekliğin geliştiği gözlemlenmiştir.

Lifli polimer ile güçlendirilmiş kirişlerin dayanım hesaplarında, lifli polimer ile güçlendirilmiş kolonlarda kullanılan tasarım ilkeleri geçerli olmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak A.B.Y.Y.H.Y. 2006' da kiriş sargılamasının tüm kesit çevresinde gerçekleştirilmesi tavsiye edilmektedir.

2.2.3 Kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesi

Depremde yapının en fazla hasar gören kısmı, kiriş kolon birleşim bölgeleridir. Taşıyıcı sistem en çok bu bölgede zorlanır. Nedeni, bu bölgede farklı doğrultudaki elemanların birleşerek, kesit etkilerinin bu bölgede dengelemesidir. Kolon-kiriş birleşiminde en sık yapılan hatalardan biri kolon etriyelerinin birleşim bölgesinde devam etmemesidir. Deprem sırasında kolon ucunu birleşime bağlayacak yeterli sargı donatısı olmayınca kolon, ya kirişin altından dışarı çıkıp bina yıkılır ya da kirişin altından binaya doğru gelerek döşemeye zımbalama etkisi yapar.

Hasarın yerel ve hafif olması durumunda epoksi ile güçlendirme ve onarım yapılabilir. Gelen deprem kuvvetinin büyük olması durumunda ise, bu birleşim bölgelerindeki kesitlerde meydana gelen plastik mafsallar sonucu büyük dönmeler, donatıda aderans çözülmesi sonucu kaymalar ve geniş çatlaklar oluşabilmektedir. Bu bölgedeki kesme kuvveti dayanımının ve yeterli donatı kenetlenmesinin sağlanamaması sonucu oluşan bu hasarlar, çok rastlanan hasar türlerini oluşturur.

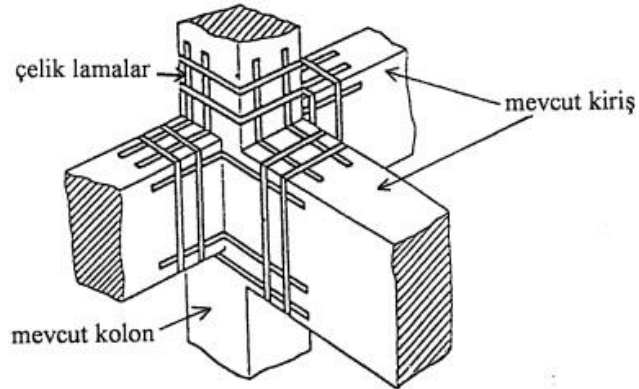
Bu bölgede en çok kullanılan yöntemler; betonarme mantolama, elik plakalarla ya da lifli polimer tabakaları ile sargılamadır. Ancak betonarme mantolama tekniği uygulama zorluğu ve ekonomik olmama gibi sebeplerden ötürü günümüzde yerini diğer yöntemlere bırakmaktadır. Bu sebepten ötürü söz konusu yönteme değinilmemektedir.

2.2.3.1 elik levhalar ve şeritler ile güçlendirme

Düğüm noktalarının güçlendirilmesinde, uygulama kolaylığı ve az yer kaplaması sebebiyle tercih edilen yöntemlerden birisi, elik elemanlarla kolon-kiriş düğüm noktalarına sargı yapmaktır. Bu amaçla düz elik levhalar kullanılabileceği gibi oluklu levhalar da kullanılmaktadır.

Birleşim bölgesinin şekline uygun olan çelik levhalar epoksi ile yapıştırılıp bulon ile bağlanırlar. Diğer bir deyişle, bulonlar betonarme elemanın dayanımına zarar vermeyecek biçimde açılan deliklere epoksi kullanılarak ankre edilir. Kuvvet aktarımının doğrudan olması için bu ek levhalar kiriş ve kolona kaynaklanır. Bu yöntem kullanıldığı bölgelerin boyutlarında ve rijitliklerinde önemli değişiklikler oluşturmada, taşıyıcı sistemi güçlendirir.

Çelik şeritlerle güçlendirme işleminde öncelikle beton yüzeyi temizlenir ve epoksi ile çelik şerit betona yapıştırılır. Uygulandığı yerler kirişin alt ve yan yüzeyleri, kolonların düşey yüzeyleri ve kolon kiriş birleşim bölgesidir (Şekil 2.12). Çelik şeritler, taşıyıcı sistemin güçlendirilmesinden çok, taşıyıcı sistemde oluşabilecek ani göçmeleri geciktirir. Söz konusu bölgede, çatlak genişlemesini kısıtlayarak elemanın sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini artırır.



Şekil 2.12 Kolon kiriş birleşim bölgesinin çelik şeritler ile güçlendirmesi (Kuşan, 2002).

2.2.3.2 Karbon lifli malzemeler ile güçlendirme

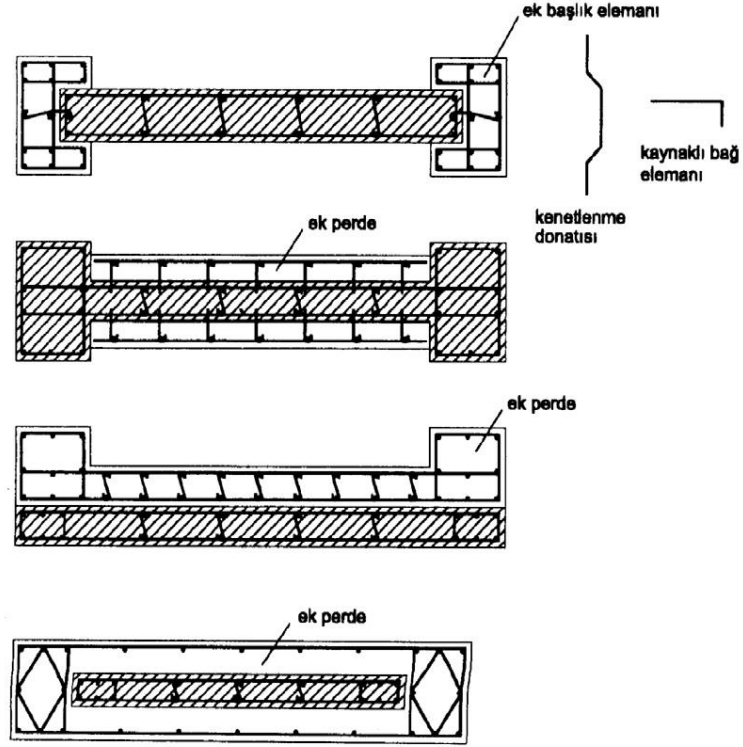
Düğüm noktalarının dayanımının arttırılmasında uygulanan yöntemlerden bir diğeri de lifli polimerler ile sargılamadır. Son yıllarda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kesme ve aderans kaybına yönelik olarak yapılan güçlendirme uygulamalarının, yapının davranışının gelişmesinde oldukça fazla etkisinin olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Düğüm noktalarının lifli polimerle güçlendirilmesiyle önemli derece dayanım, rijitlik ve süneklik gelişmesi elde edilmektedir. Söz konusu yöntem ile ilgili yapılan sınırlı çalışmalar, uygulamanın performansının duyumun mevcut durumuna, kolon eksenel yüküne ve uygulama detayına bağlı olduğu sonucunu doğurmaktadır.

Mukherjee and Joshi (2005), tekrarlı yükler altında betonarme kiriş kolon birleşimlerinin performansını araştırmışlardır. FRP tabakaları ve şeritleri, birleşim yerlerinde farklı biçimlerde uygulamıştır. Cam ve karbon kompozit elemanları, betonarme bileşimlerinin iyileştirilmesinin yanı sıra deprem güçlendirilmesi için kullanılmıştır. Bu birleşimler tehlikeli duruma bakılmaksızın dayanımı geliştirilmiştir. FRP malzemelerinin kullanımıyla ulaşılan akma sınırı artmıştır. Akma sınırı ve rijitlik birleşim bölgesinde kullanılan kaplamaların miktarına bağlıdır. CFRP ile güçlendirilmiş örnekler, GFRP ile güçlendirilmiş örneklerden daha rijit davrandığı gözlemlenmiştir. Enerji dağılma kapasitesi kompozit malzemelerinin küçük miktarlarının kullanılmasıyla artmıştır. Deney sonuçlarından da anlaşılabileceği gibi, FRP sadece dayanımı artırmakla kalmayıp, aynı zamanda kolon kiriş birleşim yerlerinin akam sınırını, başlangıç rijitliğini ve enerji dağılım kapasitesini de geliştirir.

2.2.4 Perdelerin güçlendirilmesi

Perdeler, deprem yüklerinin karşılanmasında rijitlik ve dayanım bakımından taşıyıcı sistemin önemli elemanlarıdır. Hasar görmeleri durumunda, onarım ve güçlendirilmeleri özenle yapılmalıdır. Deprem yükü taşımak üzere düzenlenen betonarme perdelerde hasarlar, kayma ve eğilme taşıma gücünün yetersizliğinden veya büyük boşluklu perdelerde bağ kirişlerinin yetersizliğinden kaynaklanabilir. Perdelerin güçlendirilmesinde eğer varsa, pencere, kapı gibi boşlukların doldurulması ile sağlanan ek taşıma gücü kapasitesi yeterli olabilir. Diğer yapı elemanlarında olduğu gibi, betonda ezilme olmadığı durumda epoksi enjeksiyonu perdeler için de yaygın olarak kullanılır. Ancak, bütün çatlaklar doldurulamadığı için hasardan önceki rijitlik elde edilemez. Perdede beton ezilmesi veya donatı burkulması varsa, kolonlarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemi burada da uygun düşer.



Şekil 2.13 Deprem perdelerinin mantolama ile güçlendirme yöntemi (Ceritli, 2006).

Eğer mevcut perde yetersiz kalırsa, kalınlığını arttırarak rijitliğini ve dayanımını yükseltmek önerilir (Şekil 2.13). Kalınlığın arttırılması sırasında ek donatıların yerleştirilmesi ve uygun başlık yapılması gerekli olabilir. Yeni donatıların mevcut olanlara bağ parçaları ile kaynaklanması ve mevcut beton yüzünün pürüzlendirilmesi bütünleşmeyi sağlayacağından önemlidir. Aradaki bağ kuvvetlerinin iletimini sağlamak için dikiş çubuklarının kullanılması ve mevcut perde yüzeyine epoksi uygulaması gerekli olabilir. Perdenin eğilme dayanımı yeni başlık kısımlarının ilavesi ve gerekli donatı düzeninin sağlanması ile arttırılabilir.

2.2.5 Döşemelerin güçlendirilmesi

Betonarme döşemelerdeki hasarlar genellikle döşeme ortasında aşırı sehim olarak gerçekleşmektedir. Buna ek olarak da döşemenin kirişlerle birleştiği yerde, mesnetlerde çatlaklar görülmektedir. Bu gibi hasarların nedenleri, döşemenin açıklığa göre ince olması, betonun dayanımını kazanmadan yüke maruz kalması veya betonun düşük kaliteli, donatının yetersiz oluşundan kaynaklanır.

2.2.5.1 Döşeme kalınlığının artırılması

Döşemenin kalınlığı mevcut döşemenin altından veya üstünden ilavelerle arttırılabilir.

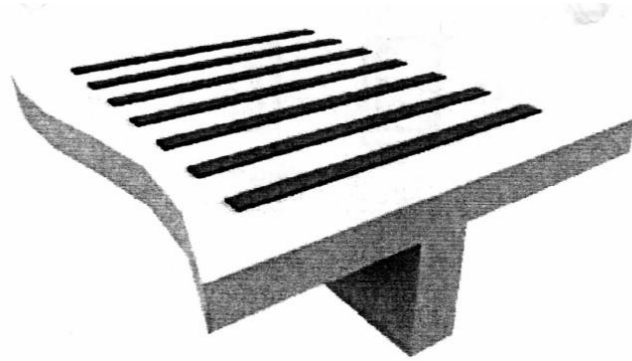
Döşemenin üzerinden kalınlığın arttırılması için hesaplarda iki yol izlenir. Birincisi, eğer yeni beton ile eski beton arasındaki aderans sağlanırsa, güçlendirmeden sonraki döşeme, tek bir döşeme gibi hesaplanabilir. İkinci yol ise, döşemenin üzerine ilave yapıldığında aderans bakımından uygun olmadığından izlenir. Bu durumda yeni döşemenin eski döşemeden ayrı çalıştığı kabul edilerek mesnet açıklık momentlerini karşılayabilecek donatı hesaplanır. Hesaplarda döşemeye gelen hareketli yük, iki döşemeye rijitlikleri oranında dağıtılır.

Çetinkaya (2002) aşağıdaki tavsiyelerde bulunmuştur:

“Döşemenin üzerinden kalınlığının artırılmasının uygun olmadığı durumlarda, döşemenin altına ilave eklenir. Bu işlemin uygulanabilirliği iki yöntemle gerçekleştirilebilir. Mevcut döşemenin altına ilave donatılar eklendikten sonra “tokret” denilen beton püskürtülebilir. Bu yöntemin yapılamaması halinde, mevcut döşemenin momentlerinin sıfır olduğu noktalarda açılan deliklerden beton dökülebilir.”

2.2.5.2 Karbon lifli malzemeler ile güçlendirme

Döşeme, FRP malzemeler ile de güçlendirilebilir. Bu malzemeler, döşemelerin orta bölgesinde alttan, kenar bölgelerinde üstten yapıştırılarak uygulanabilir.

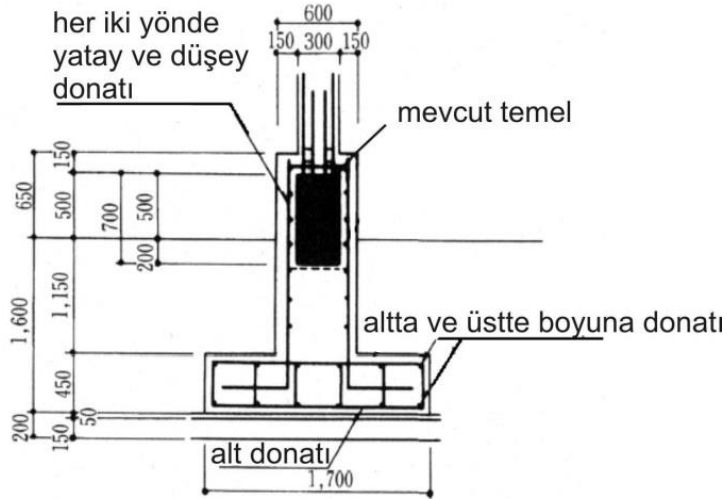


Şekil 2.14 Döşemenin FRP malzemesiyle güçlendirilmesi.

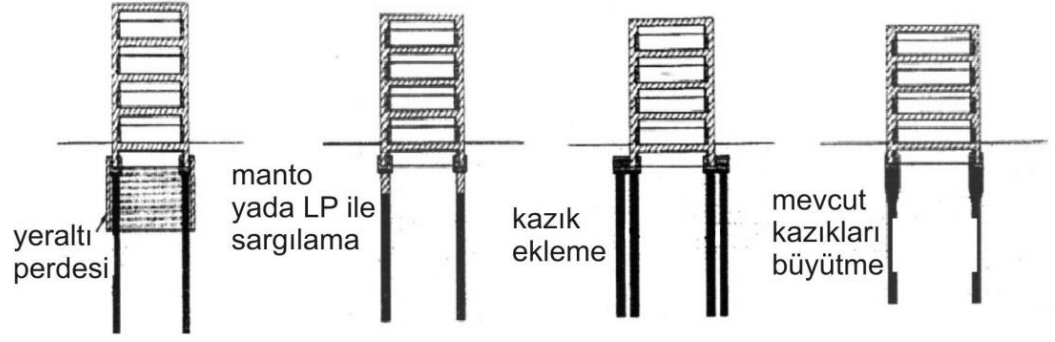
2.2.6 Temellerin güçlendirilmesi

Temeller genel olarak iki sebepten ötürü güçlendirilmektedir. Bunlar; temellerin hatalı tasarım ve yetersiz detaylandırmaya sahip olması veya yapı güçlendirmesi sebebiyle yeni eklenen elemanların doğurduğu ilave zorlamaların etkilerinin ortadan kaldırılmasıdır. Böylece üst yapının deprem yükleri altında performansını sergilemesi mümkün olmakta ve yapı güvenliği sağlanabilmektedir.

Temel güçlendirmesi yapılacak yapılarda eski ve yeni bölümlerin birlikte çalışması ve yük aktarımının sağlanabilmesi gerekmektedir. Genişletilen kesitlerde donatılar birbirlerine kaynaklanarak süreklilik sağlanmaktadır. Ayrıca yeni eklenen temeller mümkün olduğu kadar dış merkezlik yaratmayacak şekilde düzenlenmeli, farklı temel türleri bir arada kullanılmamalı ve yeni eklenen temellerin imalatında mevcut temellere zarar verilmemesine özen gösterilmelidir. Şekil 2.15 ve Şekil 2.16'da farklı temel tipleri için uygulanabilecek güçlendirme tipleri verilmektedir.



Şekil 2.15 Sürekli temelde kullanılabilen güçlendirme yöntemi.



Şekil 2.16 Kazıklı temeller de kullanılabilecek güçlendirme yöntemleri.

3. AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİ (AE)

Gerilme altındaki malzemelerde bir ya da daha çok yerel kaynak hızla enerji salarak geçici elastik dalgalar üretirler ve bu şekilde oluşan geçici elastik dalgalar akustik emisyon (AE) olarak tanımlanır. Malzeme, yapı ve süreç açısından çok geniş bir alanı kapsayan doğal bir olaydır.

Mathews'a (1983) göre AE'ler, malzemenin yüzeyinde oluşan gerilmelerden dolayı meydana gelen deformasyonlar ve çatlamalardan oluşan kısa süreli elastik dalgalar olarak tarif edilir. Bu kısmi araştırmalarda, AE birbirine etki eden iki yüzeyin oluşturduğu ani elastik dalgalar olarak da tarif edilebilir.

Katı malzemelerin belli bir elastikliği vardır. Bu malzemelere dış kuvvetler etkiğinde, malzeme genişler veya sıkışarak elastik deformasyona uğrar. Deformasyon ne kadar fazla ise elastik enerji de o kadar fazla olacaktır. Elastik limit aşılmadan dış kuvvet etkisi çekildiği zaman malzeme bir yay gibi geri gelir. Elastik limit geçilirse kırılma veya çatlama olur. Bu kırılma ve çatlama, gevrek malzemelerde hemen, diğer malzemelerde belli bir plastik deformasyon sonrası meydana gelir.

AE günümüzde kontrollü bir ortamda gerçekleşiyor olsa da, doğal olarak da oluşabilmektedir. En basit olarak malzemeler zorlanma karşısında sesler çıkarırken çıkardıkları seslerden yola çıkılarak malzemenin ne ölçüde zarar gördüğü hakkında bilgiler edinebilir ve varsayımlar yapılabilir. Yüzyıllar boyunca, maden ocaklarındaki destek ve payandaların çıkardığı gıcırtilardan, gelecek felaketlerin habercisi olarak yararlanılmıştır. Kalay bükülürse ikizlenme meydana gelir ve çatlama sesi açığa çıkar. Yayılan bu çatlama sesi "kalay çığlığı (tin cry)" olarak bilinmektedir. Bir parça kağıdın yırtılmasında ve tahta veya cam kırılmasında da ses açığa çıkmaktadır. Bütün bu örneklerde sesler, kulak tarafından duyulabilecek genliktedir ve frekansları da işitilebilir ses çizgisi (spektrumu) içerisinde (Tuncel, 2008).

AE Yöntemi temel olarak bakıldığında statik yapılar üzerinde yapılan tahribatsız bir muayene türüdür. Modern AE araştırma çalışmaları,

malzemelerden insan kulağı frekansı dışındaki (ultrasonik) frekanslarda yayılan seslerle ilgilidir.

3.1 Akustik Emisyon Yönteminin Tarihsel Gelişimi

AE tekniğinin tarihsel gelişimi, 8. Yüzyılda Jabir Ibn Hayyan ile başlamıştır. AE aletleri geliştirilmeden önce, 1930 yılında Haeno tarafından, sinyaller sinematografik film üzerine kaydedilmiştir. AE sinyallerini kaydeden ilk kişi ise Kishinoue'dir. 1934 yılında, Japonya sedir, çam ve selvinin dörde bölünmüş tahtalarının eğilmesi sırasında açığa çıkan elastik şokları (AE) belirlemek için deneysel metot tanımlamıştır.

1950'li yıllarda, T. Kaiser'in yaptığı bilimsel çalışmaların yayınlanmasına kadar olan süreç, AE işinin ilk evresi olarak bilinir. Kaiser, yükleme altında malzemelerden üretilen sesleri belirlemek ve AE sinyallerini kaydetmek için malzemeleri çekme testine tabi tutmuştur. Çeşitli gerilmeler altında, bu malzemelerin gerilme-deformasyon davranışı ve frekansları incelenmiştir. Çalışmalarının sonunda "kaiser etkisi" denilen tersinirsizlik olgusunu keşfetmiştir. ASTM E1316'ya göre, Kaiser etkisi, malzeme artan gerilme ile devirli yüklere maruz kaldığı zaman, AE önceki uygulanan gerilme seviyesine kadar algılanmaz. Kaiser, bu etkinin, kırılma yükünün %75 yük seviyesine kadar gözlemlendiğini bulmuştur ve emilen ultrasonik dalgalar hacimsel değişiklik ile ilgili olan AE sinyallerinin davranışını kaydetmiştir (Grosse and Ohtsu, 2008).

Schofield 1958 yılında ilk kez, gerilme dalga emisyonu, mikrosismik aktivite ve gürültü gibi terimler yerine AE terimlerini kullanmıştır. Schofield, yük altında AE'nin temel mekanizmasını oluşturmuştur.

1980'li yıllarda Ohtsu, Ohtsu, betonun içindeki çatlak yönelimini ve çatlak tipini belirlemek için moment tensör analizine dayalı AE dalga şekli analizini tasarlamıştır.

AE çalışma grubu (The Acoustic Emission Working Group, AEWG), AE teknolojisini yaymak ve geliştirmek için 1967 yılında kurulmuştur. 2005 yılında AE yöntemi, kırılma mekanizmasını incelemek için yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (ASTM Standards, 2005).

3.2 Akustik Emisyon Yönteminin Temel Uygulama Alanları

AE yöntemi eşsiz bir tahribatsız muayene yöntemi olup kısaca şunları elde etmemizi sağlar (Pollock, 1995);

- AE yöntemi yeni bir kusur oluşumunu ve ilerlemesini tespit eder. Ayrıca deformasyonun yönü hakkında tayinlerde bulunulabilir,
- Dinamik malzemenin davranışı ile artmakta olan kırılma ve malzeme özellikleri hakkında çalışılabilir,
- Oluşan ürünler, işlemler ve makine aksamının gözlemlenmesi kontrol altına alınabilir.

Ülkemizde özellikle yerüstü veya yeraltı basınçlı kaplar ve küre tanklarda uygulanan AE yöntemi;

- Tüm malzeme testlerinde,
- Üniversitelerde, AR-GE çalışmalarında,
- Asma köprüler, nükleer santral reaktörleri gibi kritik yapıların sürekli olarak izlenebilmesi amacı ile kullanılmaktadır.

AE yöntemi ayrıca, çok sayıda depolama tankı bulunan tesislerde, hangi tankların öncelikli olarak açılması ve detaylı kontrol edilmesi gerektiğine karar verme noktasında yardımcı bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Bakım veya onarıma alınacak tankların belirlenmesi ve kontrol öncesi planlamada hızlı bir yöntemdir, aynı zamanda da uygun bütçelidir.

Araştırmalar AE test tekniklerinin tel halatlara uygulanabileceğini göstermektedir. Bunun yanında tel halatların yorulma ömürlerinin tespit edilmesinde de kullanılmaktadır. Buna ek olarak vinçlerin işletmeye alınmadan önceki deneme testlerinde de AE yönteminden yararlanılır.

Uçak bakımında darbe hasarlarının tahribatsız kontrolünde ve kaynakların tahribatsız muayenesinde de AE teknikleri kullanılmaktadır (Kayrak, 2012).

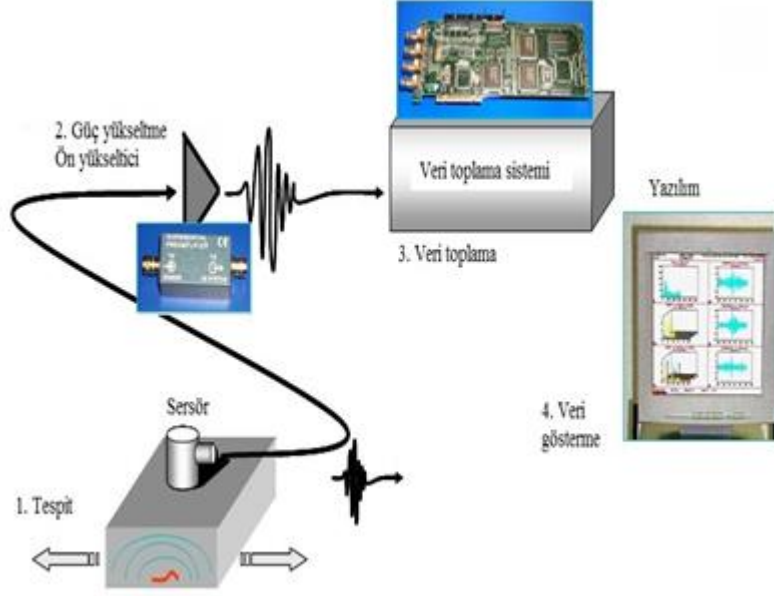
3.3 Akustik Emisyon Tekniğinin Esasları

Malzemelere belli bir yük etkimesi durumunda temel AE kaynakları, çatlak başlangıçları, ikizleme, dislokasyon hareketi, kristal düzlemlerinin kayması, martensitik faz dönüşümleri gibi yerel dinamik hareketleri içine alır. Ayrıca aktif AE kaynaklarını, oksit tabakasının çatlaması gibi çeşitli yüzey etkileri de oluşturabilmektedir. Yani AE muayene yöntemi ile metal ve seramiklerde çatlak başlangıcı, yorulma çatlağı ilerlemesi, gerilmeli korozyon çatlaklarının saptanması, faz dönüşümleri ve dislokasyon hareketleri gibi çeşitli olaylar incelenebilmektedir.

Kaynaktaki ani hareket, gerilme uygulanması sonucu bir gerilme dalgası oluşturur. Yayılan dalgalar yapı yüzeyine yerleştirilen hassas bir piezoelektrik güç çeviriciyi uyarır. Malzeme üzerine uygulanan gerilmeler arttığı takdirde bu emisyonlar çok fazla miktarlarda üretilir. Bir veya daha fazla algılayıcı vasıtasıyla, yüzeye ulaşan zayıf titreşimlerin alınıp yükseltilerek değerlendirilmesi olayına AE Muayene Yöntemi adı verilir.

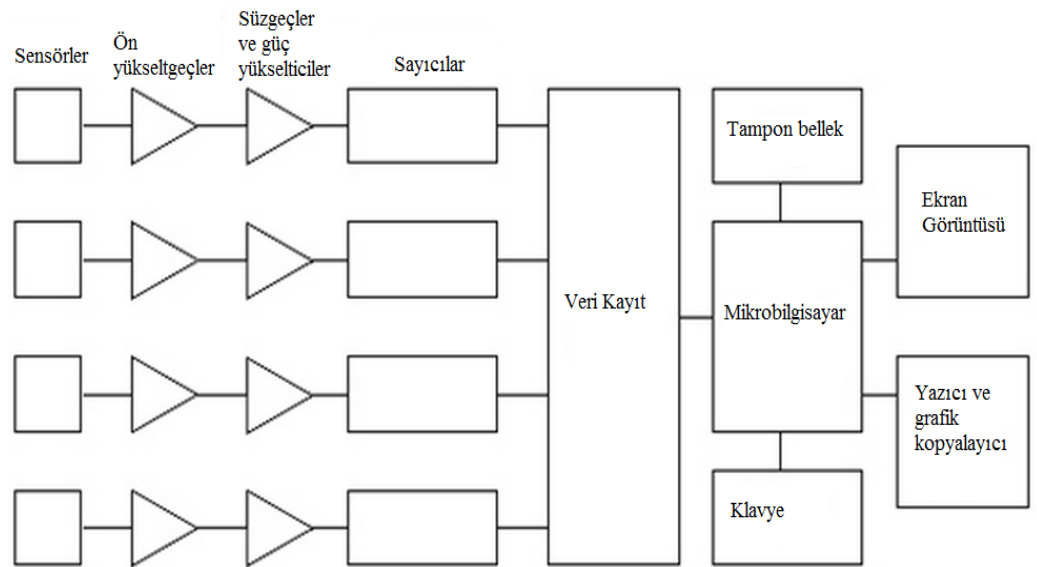
Yayımları karakterize etmeye ve onları, kaynakları (orijinleri) ile ilişkilendirmeye girildiğinde karmaşık AE sinyal değerlendirmeleri gerekmekte fakat bazı durumlarda, basit olarak sadece ses yayımını algılayabilen bir AE sistemi yeterli olmaktadır (Tuncel, 2008).

Şekil 3.1’de de gösterildiği gibi basit AE sistemleri sensör, ön yükseltici, veri toplama sistemi ve veri gösterim aygıtlarından oluşur.

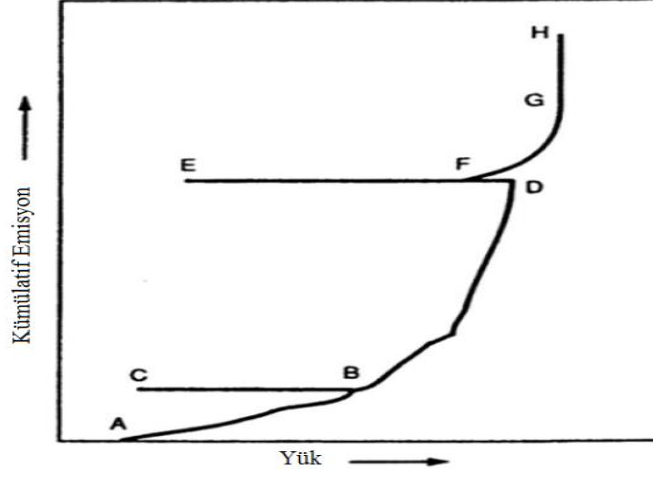


Şekil 3.1 AE ekipman ve işlem sırası (Euro Physical Acoustic).

Şekil 3.2’de NDT Source Center tarafından hazırlanan dört ayrı alıcıdan gelen AE izleme sisteminin blok şeması gösterilmektedir. AE izleme sisteminde, sinyalin işletim sırası şöyledir; sensör, ön yükseltici, süzgeç, güç yükseltici, sayıcılar, sinyal değiştirme ve işleme kartı ile veri kayıt ve gösterim araçları izler.

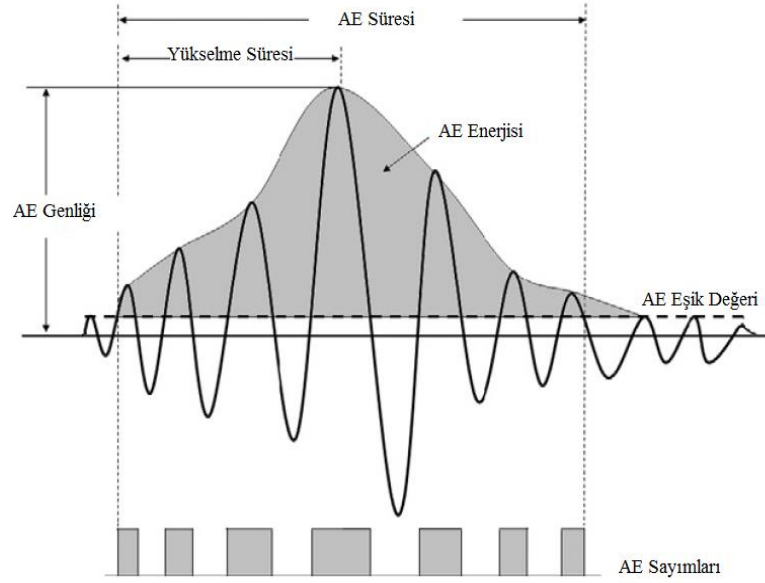


Şekil 3.2 Dört ayrı alıcıdan gelen AE izleme sisteminin blok şeması (NDT Source Center).



Şekil 3.4 Yük altında oluşan AE sinyalleri (Yılmaz, 2012).

Tipik bir AE sinyalinin ölçme parametreleri Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 AE tekniğinin parametreleri (Shah and Kishen, 2012).

- AE Eşik Değeri, arkada meydana gelen gürültüyü elimine etmek için kullanılan bir değerdir. Bu değer altındaki sinyaller kıstas alınmaz.
- AE Genliği (A), dalga olarak ölçülen en büyük desibel değeridir.

- Yükselme Süresi (R), eşik süresini geçen iki nokta ile pik sinyal arasındaki zaman aralığıdır.
- AE Enerjisi, genlik – zaman eğrisinin altında eşik değeri üzerinde kalan alandır.
- AE Sayımları, eşik seviyesini geçen puls sayısıdır. AE olayının genliğine ve malzemenin özelliklerine bağlıdır.
- AE Süresi (D), eşik değerini geçen ilk ve son pulsun arasında geçen zamandır.
- AE Olayı, akustik emisyonu sebebiyet veren lokal malzeme değişimidir.
- AE vuruşu (puls), tek bir sensör tarafından algılanan gerilme dalgasıdır.

Santosh G. Shah and J. M. Chandra Kishen (2012), tarafından yapılan çalışmada, AE tekniği üç noktada yükleme altındaki beton kiriş yüzeylerinde gelişen yorulma çatlaklarını izlemek için kullanılmıştır. Değişken genlikli yüklemeler ile adım adım artan maksimum yüklemeler uygulanmıştır. Yorulma çatlağı büyümesi sürekli olarak 6 AE sensörüyle izlenmiştir. Yükleme ve deplasman sonuçları, çatlak ağzının açılış deplasmanı, akustik olaylar ve akustik enerji, eş zamanlı olarak test sırasında elde edilmiştir. AE'nin çevrim sayısının artış hızıyla gerilme şiddet faktörü aralığı arasında bir "Paris Kanunu" ilişkisi olduğu görülmüştür. b-value analizini kullanarak yorulma çatlaklarının farklı aşamaları açıklanmıştır.

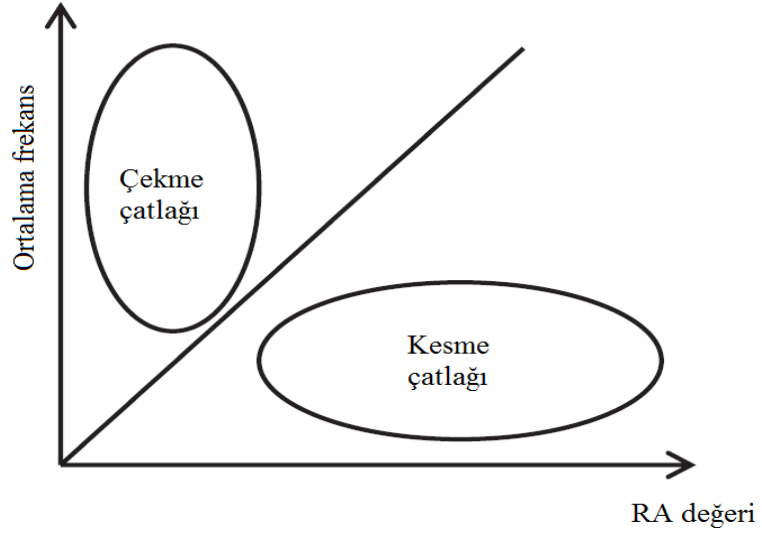
Erin Hansuld et al. (2008), çalışmalarına göre, karşı akım emme sütunlarında ve damlama yataklarında, eğer sıvı ya da gaz akımı çok yüksek ise kolon sıvıyla akışkan hale gelmektedir. Ani bir basınç artışı sonucunda oluşan sel, ekipmanların zarar görmesine ve verimsiz bir çalışmanın oluşmasına neden olmaktadır. Ancak verimi optimize etmek için mümkün olduğunca akışa yakın çalıştırma arzulanmaktadır. Bu makale AE metodunun geçerliliğini araştırmaktadır. Altı adet piezoelektrik sensör, dolu bir sütunun dışına

yerleştirilmiştir, su baskını olmayan ve su baskını altında kalan koşullar arasında değişen ortamlar üzerinde 0-20.000 Hz arasındaki akustik sinyaller elde edilmiştir.

Ham sinyaller standart sapma ve entropi elde etmek için işlenmiştir. Standart sapma ve entropinin sel başlangıcında arttığı bulunmuştur. Ancak entropi daha kullanışlıdır çünkü ambalaj tipine, hava debisine ya da su debisine duyarlı değildir. Daha iyi optimizasyon ve verimi geliştirilmiş emilim imkanı vermesinden dolayı AE yönteminin kullanılabilirliği kabul edilmiştir.

Noorsuhada Md Nor et al. (2013), tarafından yapılan çalışmada, AE sinyalleri, belirli çatlak modlarına maruz kalan betonarme kirişlerin sınıflarını belirtmek için analiz edilmiştir. Betonarme kirişte yorulma çatlaklarının sınıflandırılması için yorulma testi uygulanmıştır. İzin verilen her yükleme fazı için çatlak sınıflandırılması ile kirişteki çatlak modunun kesme ya da çekme çatlağı olduğu ortaya koyulmuştur.

Ortalama frekans ve RA değerleri hesaplanmıştır ve AE sinyallerinin kaynağı belirlenmiştir ve bu değerler yorulma çatlaklarını sınıflandırmada kullanılmıştır. Ortalama frekans ile RA değerleri arasındaki ilişki çatlak sınıflandırması ile ilgili net bir eğilim olduğunu göstermiştir. Bu ilişki eğilimini kullanarak, çatlakların izlenmesinin tahmini yapılabilmektedir. Şekil 3.6’da tipik bir çatlak sınıflandırılması yapılırken ortalama frekans ve RA değerleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekli 3.6 Çatlak sınıflandırmada RA değeri ve ortalama frekans ilişkisi (Nor et al., 2013).

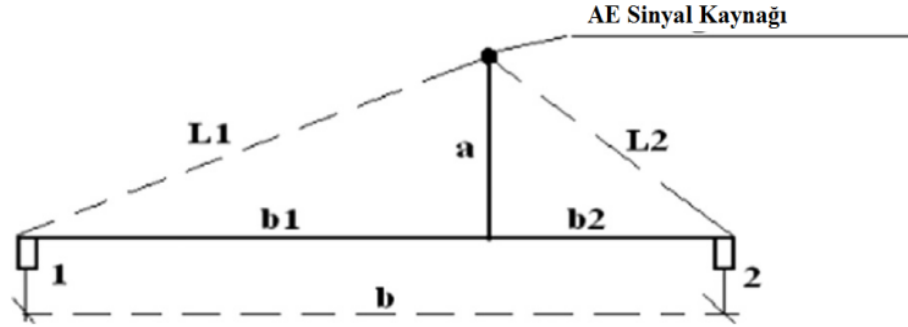
M. A. A. Aldahdooh et al. (2012), tarafından yapılan çalışmanın amacı dört noktada eğilme altındaki betonarme kirişin hasar mekanizması üzerindeki kırış kalınlığının etkilerini test etmek için AE'nin uygulanabilirliğini araştırmaktır. Hasar seviyesinin artışı sonucunda, ortalama frekans dışında tüm AE parametrelerinin değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca tüm AE parametreleri ortalama frekans da dahil olmak üzere kırış kalınlığıyla artmıştır. Böylelikle, bu çalışmada betonarme kırışin kalınlık değerleriyle birlikte davranışının izlenmesinde AE'nin etkin olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Pierre Rossi et al. (2012), betonun temel sünmesiyle ilişkili çalışmak ve konuyla ilgili fiziksel temelli nümerik modeller geliştirmek için bir araştırma projesi başlatmıştır. Bu bağlamda, çok önemli deneysel bir iş araştırılmış ve bu sünme davranışında aynı beton için farklı bakış açıları gözlenmiştir. Bu deneysel çalışmalar betonun temel sünmesinin kökeninde fiziksel mekanizmalara ilişkin bir varsayım önermesini sağlamaktadır. Bu varsayım sünme adımları (sabit yüke maruz kalmış sünme testi adımları sırasında) esnasındaki mikro çatlakların bazı ek kuruma büzölmelerine sebep olan su transferleriyle oluşumudur.

Barbara Goszczynska (2014), yaptığı çalışmada, betonda ve betonarme kırışlerde oluşan çatlakların başlaması ve büyümesini AE uygulaması ile analiz etmiştir. Bu yöntem her aktif yıkıcı işlemin AE kaynağı olabileceği fikri esas

alınarak uygulama yapılmıştır. AE sinyalleriyle karşılaştırıldığında, önceden oluşturulmuş bir veri tabanı ile yapıya yük uygulanması sırasında oluşan bir elemenda oluşan aktif bozunmaların oluşumu tespit edilebilir. Bu bozunmaların zaman değişimine bağlı olarak meydana geldiği ve AE sinyalleri sensörlere bilinen dalga hızları ile ulaştığı tespit edilmiştir. Betonda ileri düzeyde çatlama işlemi (mikro çatlak) gerçekleştiği için deneyler yüklenmemiş betona yani betonun dökümünden sonra (büzülme meydana geldiğinde) beton kırıtlara (teknik bir ölçekte) sürekli olarak uygulanır.

AE Yönteminin kullanılmasıyla yapı elemanının içinde ve yüzeyinde görülemeyecek kadar küçük olan mikro çatlakların ve görülebilen makro çatlakların belirlenmesinin (yerlerinin tespit edilmesi) mümkün olduğunun sonucuna varılmıştır. AE sinyal kaynağının oluşabileceği konum kabaca Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

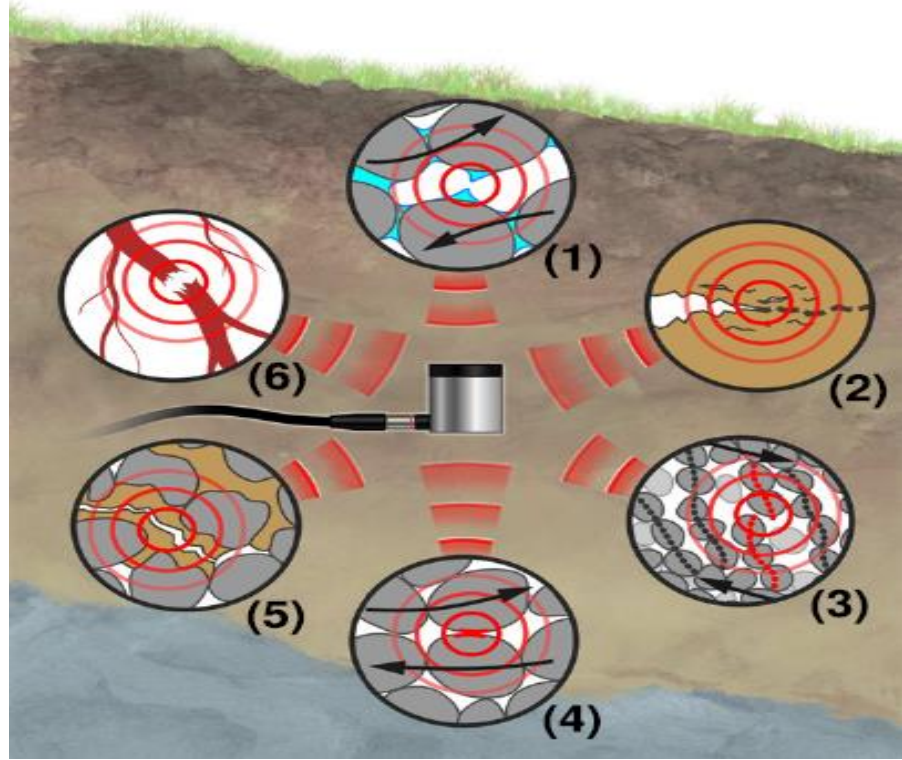


Şekil 3.7 AE kaynağının oluşum yerinin dik planı (Goszczyńska, 2014).

Gernot Michlmayr and Dany Or (2012), tarafından yapılan çalışmada, jeolojik granüller ortamda çatlakların oluşumu, kesme düzlemlerinin meydana gelmesi ve diğer büyük çaplı kırılmalar taneciklerin arasında meydana gelen yüksek frekanslı elastik dalgalar sebebiyle oluşmaktadır, bu durum AE olarak tanımlanmıştır. Sözü edilen akustik dalgalara mühendislikte ilk olarak yorulma ve aşamalı göçme durumlarında nitelendirilmiştir.

Yapılan çalışmada öncelikle çeşitli jeolojik materyallerdeki kırılmaları gözlemlemek için AE yönteminden faydalanılmıştır. Mekanik olarak gerilme altında bulunan jeolojik ortamın ürettiği AE kaynakları tanımlanmıştır. Bu kaynakların kaymadan dolayı oluşan sürtünmeler, mikro çatlaklar ve tanecik çarpışmaları olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada mevcut AE alıcıları ve ölçme prensipleri özetlenmiştir. Özellikle AE ve yayımlanmış diğer modellerin arasındaki bağıntı yapı mühendisliği ve malzeme bilimi açısından incelenmiştir. AE yönteminin arazi uygulamalarına göre en büyük zorluğunun gelen güçlü dalgaların zamanla gücünü yitirmesi olduğu tespit edilmiştir. Bu zorluğun önüne geçebilmek için gözlemeleme ağının bir parçası olarak fiber optik AE alıcıları farklı yerlere yerleştirilmiştir. Yapılan çalışmaya göre granüller jeolojik malzemelerde AE üretimi için önerilen kaynak mekanizmasının çeşitli gösterimleri Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

Literatürde jeolojik granüler ortam için yalnızca birkaç uygulamada bu yöntem görülmüştür. Depremden önce gelen sismik dalgalara benzer durum AE yönteminde de tespit edilmiştir. Yapılan çeşitli uygulamalara ve AE yönteminin ilgili mekanik uygulamalarına rağmen bu konuda bilimin eksik kaldığı görülmüştür.



Şekil 3.8 Kaynak mekanizmasının çeşitli gösterimleri: (1) Sıvı Köprü Kopması, (2) Çatlakların Gelişimi, (3) Kuvvet Zincirlerinin Serbest Kalması, (4) Dane Sürtünmesi, (5) Dane Çimentolaşma Kırılması, (6) Zemin Liflerinin Kırılması.

3.4 Akustik Emisyon Veri Analizi

Arazi veya laboratuvar çalışmalarında AE sinyallerinin belirlenebilmesi için, yaygın olarak sinyal ve parametrik olmak üzere iki tür sistem kullanılmaktadır.

Sinyal tabanlı sistemde, algılayıcılar aracılığıyla belirlenen AE aktivitesi gerçekte sadece bir kaç milivolt genliğe sahip bir dalga şeklindedir. Oldukça küçük genlikli bu sinyallerin değerlendirilebilmeleri için, öncelikle bunların herhangi bir yapısal değişikliğe uğratılmadan yükseltilmesi gerekmektedir. Yükseltile AE sinyallerinin; laboratuvar ve arazi ortamında çalışılan malzeme dışından algılanan, yükleme başlıkları arasındaki sürtünme, motor veya makine sesi gibi çevresel etkilerden (istenmeyen gürültülerden) arındırılması amacıyla filtreler kullanılmakta ve sinyaller aldıkları son şekilleriyle kayıt ortamına aktarılmaktadır. Bu tür sistemlerin önemli bir özelliği, sinyallerin yükseltilmesine

rağmen, dalga formundaki şekillerinin korunmasıdır. Ancak bu sistemi kullanarak sürekli olarak izleme yapılabilmesi, kaydedilmesi gereken verinin çok fazla olması nedeniyle güçleşmektedir.

Parametrik tabanlı sistemlerde ise, filtrelerden geçirilen AE sinyalleri ek işlemlere tabi tutulduktan sonra elde edilen veri kayıt ortamına aktarılmaktadır. Bu sistemin sinyal tabanlı sistemden farklılığı ayrıca bir eşik belirleme ünitesini ve sayıcıyı da içermesidir. Eşik belirleme ünitesi, algılanan AE sinyallerinin dalga formunda kaydedilmesi yerine, belirli bir genlikten büyük olan kısımlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemde; filtreden geçen AE verisi ayrıca eşik belirleme ünitesinden (threshold dedector) geçirilerek, seçilen eşik seviyesini aşan AE sinyalleri belirlenmekte ve her bir AE sinyali için sayıcıya bir adet sinyal gönderilmektedir. Elde edilen sayısal veri, daha sonra kayıt ünitesine aktarılmaktadır. Oldukça kullanışlı olmalarına rağmen, orijinal AE verisinin dalga formundaki şekli bu sistemlerde tamamen kaybedilmektedir. Ayrıca parametrik tabanlı sistemde AE sinyallerinin geliş zamanları elde edilemediğinden, sinyale neden olan kaynağın yerinin belirlenmesi mümkün olamamaktadır.

Bu tez çalışmasında da bu iki analiz yönteminden biri olan sinyal tabanlı analiz seçilmiştir. Bu iki analiz yöntemi hakkında değerlendirmeler ve karşılaştırmalar aşağıdaki başlıklarda detaylı bir şekilde incelenecektir.

3.4.1 Parametre tabanlı AE tekniğinin kullanımının artıları ve eksileri

Parametre tabanlı AE tekniğinin temel avantajları, fazla kayıt ve bu kayıtların hızlı depolanmasıdır. Bu da dataların daha hızlı görüntülenmesini kolaylaştırır ve AE tekniğini çok ekonomik yapar. Sinyaller dalga formunda çeşitli sensörler tarafından algılandığında, kayıt edilmesinin (sinyal tabanlı yaklaşım) aksine sistem algılanan veriyi depolayana kadar kısa periyotlarla kendini kapatır (çağrı erteleme veya ölü zaman). Bu da bilgi kaybına neden olabilir. Sınırlı sayıdaki bu parametrelerin depolanması çağrı erteleme süresini önemli düzeyde azaltır.

Diğer taraftan, sadece birkaç parametrenin depolanmasıyla sinyallerin karmaşıklığı azaltılabilir. Fakat bu, önemli engellemeler oluşturur ve yanlış yönlendirebilir. Pratik uygulamalarda, bu sinyaller birkaç parametreye indirgendikten sonra AE sinyallerini gürültülü ortamlarda (elektronik titreşimlerin neden olduğu) ayırt etmek zor olabilir. Özellikle bu durum resonant sensörleri kullanılırken çok görülmektedir çünkü bunun gibi sensörler sinyal farklılıklarını daha da gizleyebilir. Geniş bantlı sensörler kullanıldığı zaman, basit parametrelerle sinyal karakterini çıkarmak zor olabilir. Birçok deneyde AE sinyallerinin parametrelerinin karmaşıklığı, malzemedan veya yapının geometrisinden kaynaklanmaktadır. Farklı dalga tipleri sıkışma, kesme ya da yüzey dalgalarına bağlıdır ve sinyallerin yansımasının artırılması şekline katkıda bulunur. Bu da parametrelerin nasıl çıkartılacağı hakkında çok öğretici görüntüler sunmaktadır.

Son ölçüm cihazları, otomatik yerel sinyaller ile AE parametrelerini ayırabilir. Bu durumda, bu prosedür için kullanılan algoritmaların kontrolü mümkün değildir ya da koordinatların doğruluğuyla ilgilidir. Her dakika yüzlerce hatta binlerce parametre ve koordinat bu siyah kutu tarafından işlenebilir. Fakat çok sayıda AE sinyali ulaşması durumunda da işlenmesi gerekmektedir ve bu durumda AE test yöntemindeki “parametrik” yaklaşım metot olarak seçilmelidir.

3.4.2 Sinyal tabanlı AE tekniğinin kullanımının artıları ve eksileri

Sinyal tabanlı analiz kullanıldığında, dalga formları sensörler (tercihen geniş bant sensörleri) tarafından analiz edilebilmektedir. Bir takım analiz işlemi kırılma parametrelerini değerlendirmek için vardır. Ayrıca bu analizlerden bazıları, kaynak mekanizmasının hesaplanmasında da uygulanabilir. Analizin ilk aşamasında, kırılmanın olduğu yer 3D boyutlu sistem ile bulunur. Sinyal tabanlı AE tekniğinin kullanımının en önemli avantajı, gürültülü ortamlardaki sinyalin temel dalga formlarına ayrılabilmesidir. Çünkü ölçümlerden sonra bile dalga formlarına ulaşılabilir ve parametre tabanlı analiz kullanılan uygulamalardaki gibi silinmez. Ayrıca, Post-Processing yazılımı kullanarak farklı sinyal analiz yöntemlerini uygulamak mümkündür. Bu yazılım, sınıflandırma algoritmaları ya

da gürültü-sinyal oranını artırılması gibi farklı filtreleme teknikleri içerebilir ve böylece malzeme özelliklerinin çıkartılmasına katkı sağlar.

Sinyal tabanlı analiz kullanılırsa veri yorumlama güvenilirliği önemli ölçüde artırılabilir. Sinyal tabanlı yaklaşımların dezavantajı genellikle çok küçük olayların bile kaydedilmesidir. Parametreler zaman ile birlikte hızlı bir şekilde kaydedilirken, çok sayıdaki sinyal dijital olarak depolanması gerekmektedir. Buna en iyi örnek olarak; 100 AE sinyali 8 sensör tarafından kaydederseniz ve her 1 ms'de 12 bit çözünürlüğe sahip 1-1000 MHz frekansındaki örnekler ile A/D dönüştürüldüğünde, kaydedilen dijital verinin büyüklüğü 1,56 Mb'a ulaşabilir. Hassas malzeme AE testi boyunca bu miktarda veri dakikalar ya da saniyeler içinde bile kolayca ortaya çıkabilir. Bu da modern bilgisayarlar için bile problemlere neden olabilir. Veri miktarının azaltılması için karmaşık kaynaklı algoritmalar (referans bant, yetiştirme hızı, vs.) uygulanmak zorundadır. Ancak bu algoritmaları kullanacak olan kişiler parametre tabanlı yöntemleri de bilmek zorundadır. Parametreleri çıkarma aşamasında gelişmiş güzel kaynağın eşik seviyesi ayarlanabilir ve bu da çoğu verinin gizlenmesine neden olur. Diğer bir yünden, bu kayıplardan dolayı AE sinyallerinin hiçbirisi tekrar kaydedilemez ve geometrik yayılma etkisi sebebiyle yapının yüzeyine ulaşmadan önce çoğu zayıf sinyal emilir.

AE teknikleri arasında hangisinin daha yararlı olduğuna dair kesin bir cevap yoktur. Bazı araştırmalarda bu iki teknik birlikte kullanılmaktadır. Bu sistem 2001 yılında, Japonya Nihon Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği Laboratuvarın da kurulmuştur. Teknolojinin ilerlemesiyle yöntemler arasındaki farklılıklar kaybolmaktadır ve son eğilimler sinyal tabanlı parametrelerin günümüzde diğerlerine göre daha çok tercih edildiğini göstermektedir. Farklı yöntemlerin özellikleri Çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Deneylerde hangi tekniğin uygulanması gerektiği kararında ilk önce veri depolama kapasitesi, elektronik bileşenler ve mali sınırlamalar göz önünde bulundurulmaktadır.

Çizelge 3.1 İki AE tekniğinin karşılaştırılması

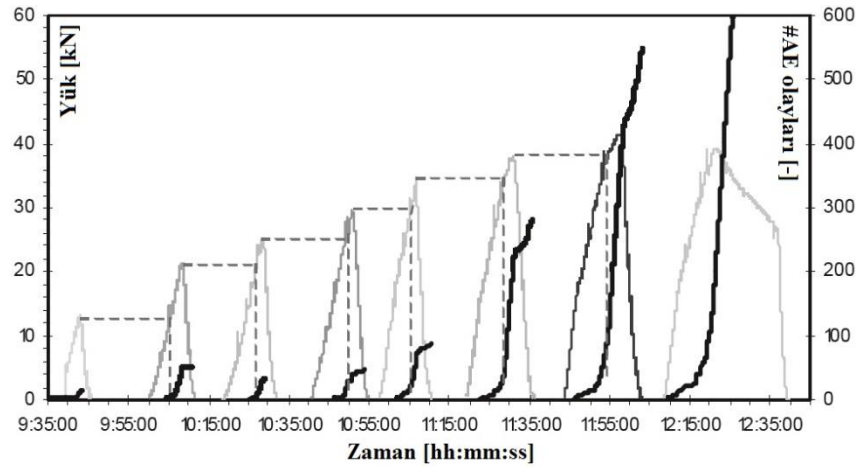
	Parametre Tabanlı AE Tekniği	Sinyal Tabanlı AE Tekniği
Göçme Algılaması	Geniş Ölçekli	Dar Ölçekli
Göçme Yerin Tespit Edilmesi		
*1D (Bölgesel)	1 ya da 2 sensör	1 ya da 2 sensör
*2D (Düzlemsel)	En az 3 sensör	En az 3 sensör
*3D (Noktasal)	En az 4 sensör	En az 4 sensör
Gerçek Zamanlı Hızlı Veri Analizi	Depolama alanı ile PC gerekmektedir	-
İstatistiksel Analiz	Depolama alanı ile PC gerekmektedir	Depolama alanı ile PC gerekmektedir
Analizler		
*Genlik	Sadece İstatistiksel Analiz	Çözümleme >12 Bit
*Frekans	-	Geniş bantlı sensörler gerektirmektedir.
*Dalga boyutu	-	Örnekleme frekansı>1MHz
Kırılma Analizi		
*Göçme-Sınıflandırma Uyumluluğu	-	Dağıtılmış Sensörler İle
*Göçme-Sınıflandırma Büyüklüğü	-	Moment-Tensör Dönüşümü
*Göçme-Sınıflandırma Enerjisi	-	Moment-Tensör Dönüşümü
*Kırılma Modu (I, II, III ve karıştırılmış)	-	Moment-Tensör Dönüşümü

Sinyal tabanlı yöntemler kullanılırsa izlenecek olan bölümlere yoğunlaşabilir. Ama bu nispeten yeni bir araştırma alanıdır ve sonuçların çıkartılmasında bazı algoritma eksiklikleri de bulunmaktadır. Çevre de bulunan oldukça çok sayıda ki AE sinyallerini işleyen yazılım, bu verileri otomatik olarak işleme tabi tutmak zorundadır.

3.4.3 Parametre tabanlı AE tekniğinin özelliklerine örnekler

Parametre tabanlı AE tekniği sinyal tabanlı AE tekniğinden daha önce ortaya çıkmıştır. Bu bölümde AE verilerin istatistiksel analizlerine iki örnek verilmiştir.

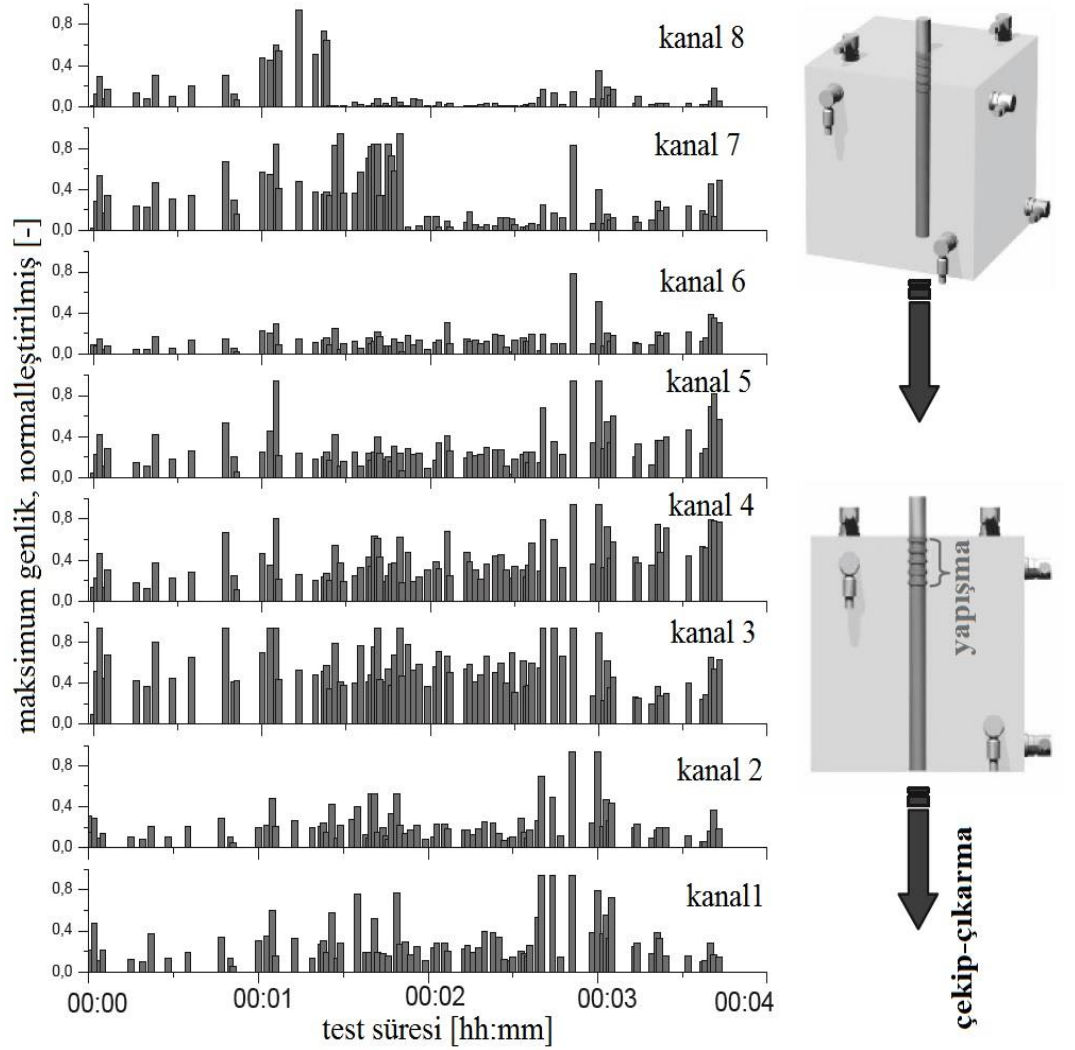
Kaiser etkisi, ilk olarak 1950 yılında Wilhelm Kaiser tarafından araştırılmıştır. Kaiser etkisi, yükleme altındaki bir malzemenin sadece birincil yük seviyesi aşıldıktan sonra ses dalgalarını yayması ile açıklanır. Tekrar yükleme süresince, önceki maksimum yük seviyesine ulaşılmadan önce malzeme elastik davranış sergiler. Kaiser etkisi, bu malzeme için kalıcı olması halinde, önceki maksimum gerilme düzeyine ulaşmadan önce çok az sayıda ya da sıfır AE kaydı gerçekleşecektir. Kaiser etkisi Şekil 3.9'da bir deneyden alıntı yapılarak gösterilmiştir. Deney de bir küp numune sıkıştırmaya tabi tutulmuş ve tekrarlı yükleme altında test edilmiştir. Şekil zamana karşı AE oranını ve yükleme seviyesini göstermektedir.



Şekil 3.9 Tekrarlı yükleme altında beton numunede oluşan Kaiser Etkisine örnek. Kalın siyah çizgiler AE aktivitesini, İnce çizgiler yüklemeyi ve Kesikli çizgiler Kaiser Etkisini temsil etmektedir (Grosse and Ohtsu, 2008).

İkinci örnek, sekiz sensör beton küp (kenar uzunluğu 100 mm) numunenin yüzeyine yaptırılmıştır ve beton küp numunenin tam merkezinden geçecek şekilde Ø16 çelik donatı yerleştirilmiştir ve yapışma sınırlandırılmıştır (Şekil 3.10). Yapışma uzunluğu, yerel hasarlardan dolayı akustik emisyon üreten kaynak

sayısını minimum edecek olan 40 mm ile sınırlandırılmıştır. Çekip-çıkarma testi süresince (donatı aşağı doğru çekilmiştir) akustik emisyon sekiz sensör tarafından kaydedilmiştir. Balázs et al. (1996) çalışmasında, numuneye farklı yük uygulamaların da bulunmuş (monoton artan yer değiştirmeler, tekrarlı yüklemeler, uzun süreli yüklemeler), kesme ve kayma gerilmelerini ölçümlemiştir.



Şekil 3.10 AE aktivitesinin istatistiksel yorumu, bir küp numune sekiz sensör ile ölçülmüştür (Balázs et al.,1996).

Ayrıca sonuçlar histogramlar formunda otomatik olarak çıkarılmaktadır. Akustik emisyonun istatistiksel değerlendirmesini temsil eden bu histogramlar da zamana karşı ortaya çıkan tepe genlikleri de gösterilmektedir. Ne yazık ki, bu işlem sensörün ve kaynağın konumunu dikkate almaz, buda verilerin yanlış

yorumlanmasına yol açabilir. Örneğin Şekil 3.13’de ilk AE olayının tepe genliği, numunenin üst bölgesindeki çatlaklarla ilgilidir ve 7-8 nolu kanallar için oldukça yüksektir. Aksine 1-2-3-4-5-6 nolu kanallar için sonraki olayların genliğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, 7-8 nolu kanalların üst bölgede oluşan çatlaklara daha yakın olması ve bu bölgenin yükleme başlangıcında daha aktif olmasıdır. Aksine diğer kanallar ise ileriki aşamalarda gerçekleşen olayları temsil etmektedir. Bu da açıkça, akustik emisyon verileri histogram grafiğinin, sensörün konumuna bazen daha bağımlı olduğunu göstermektedir. Bu durumda, sonuçların yorumlanması zordur, biraz sınırlayıcı hatta yanıltıcı olabilir. Bu etkiler ve zorluklar sinyal tabanlı AE tekniğinin geliştirilmesine yol açmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deney çalışmasının amacı, daha önce nihai taşıma kapasitesine ulaşana kadar yüklemeye maruz bırakılmış ve kullanılamaz halde olan 25x25x195 cm ebatlarındaki beş betonarme kolonun betonarme mantolama yöntemiyle 40x40x200 cm ebatlarına getirilerek güçlendirilmesi ve tersinir tekrarlı yükleme altında davranışının AE yöntemiyle analizi esasına dayanmaktadır.

4.1 Deneylerin Adlandırılması ve Deney Elemanları

Bu çalışma beş adet deney elemanını kapsamaktadır. Daha önce hasar görmüş beş adet 25x25x195 cm boyutlarındaki özdeş kare kesitli kolonlar betonarme mantolama ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilecek olan deney elemanlarının geometrik boyutları ve donatı düzenlemeleri özdeşdir. Güçlendirilecek olan kolonlar 30x65x100 cm boyutlarında rijit bir betonarme bloğa mesnetlenmiştir. Daha önce yapılan deneylerde, güçlendirmede kullanılacak tüm betonarme elemanlara %2,5'lik öteleme oranları özdeş şekilde uygulanmıştır.

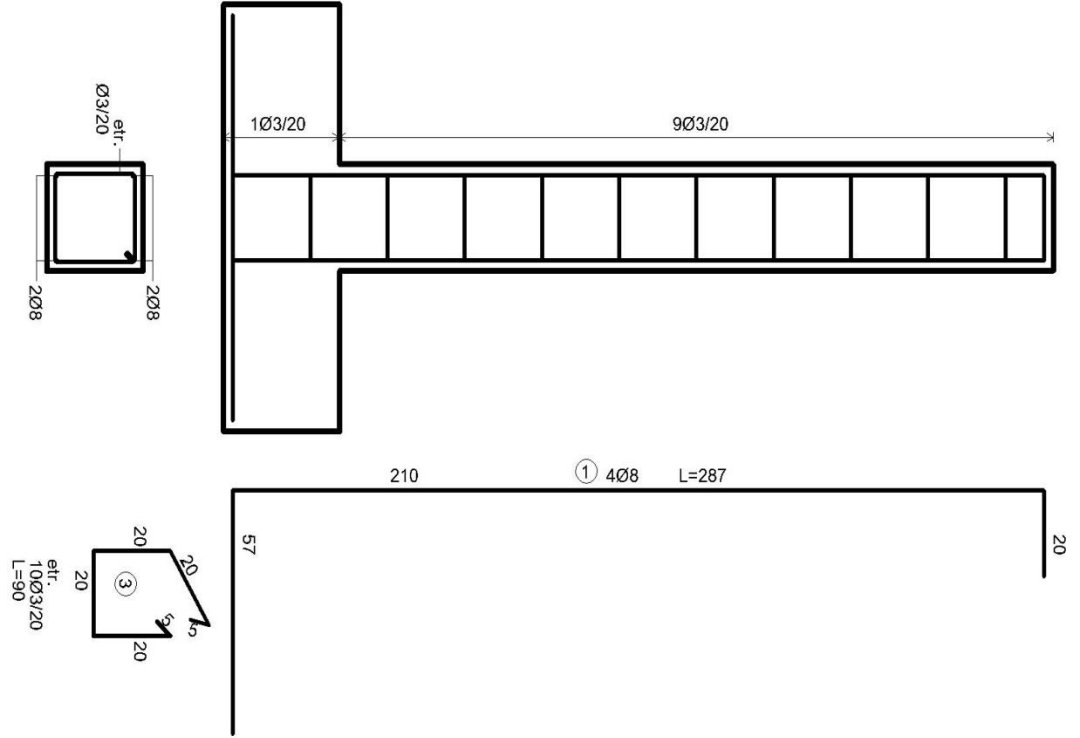
Deney çalışmasında, kolonlarda kayma donatısı olup olmadığı, boyuna donatının sürekli veya filizli olduğu, etriye donatısının sıklığı ve kendiliğinden yerleşen beton veya kendiliğinden yerleşen çelik lifli beton olma parametreleri her bir kolon için değiştirilerek mantolama yapılmıştır. Deney elemanlarına ilişkin isimlendirme ve kısaltma detayları aşağıda verilmiştir.

- KDFVB: Kayma donatılı, Filizli, Kendiliğinden yerleşen beton.
- KDSVB: Kayma donatılı, Sürekli, Kendiliğinden yerleşen beton.
- FVB: Filizli, Kendiliğinden yerleşen beton (Referans Eleman).
- KDSVB-1: Kayma donatılı, Sürekli, Kendiliğinden yerleşen beton, Etriye sıklaştırması (Ø8/7,5).
- CLAS: Kayma donatılı, Filizli, Kendiliğinden yerleşen çelik lifli beton.

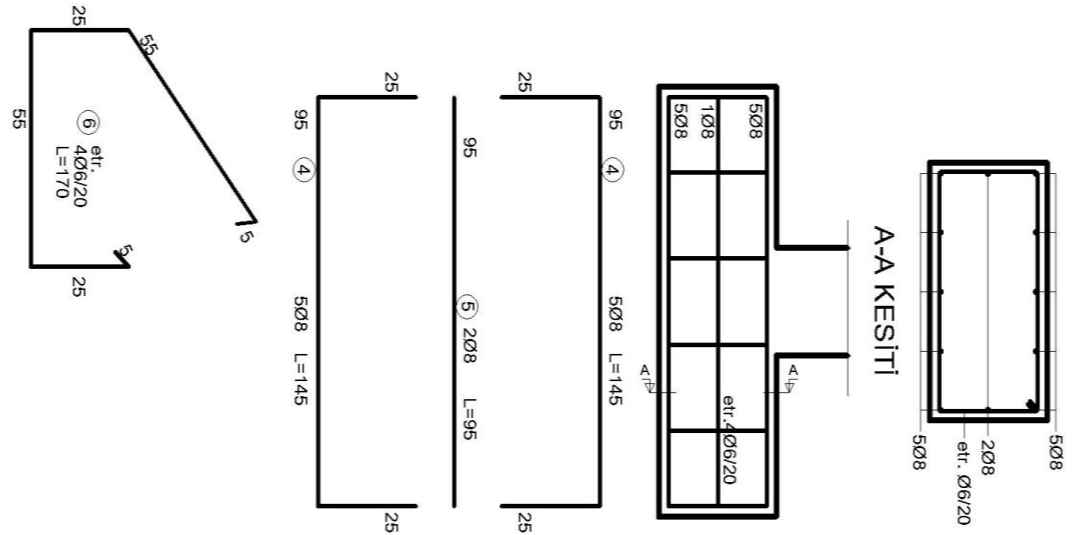
Güçlendirme öncesi kolonların resimleri 4.1’de, boyutları ve donatı planı Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de gösterilmektedir. Şekil 4.4...4.11’de detaylı olarak güçlendirilmiş kolonların çizimleri ve değişik aşamalarda çekilmiş resimleri sunulmuştur.



Şekil 4.1 Güçlendirme öncesi kolonların resimleri.

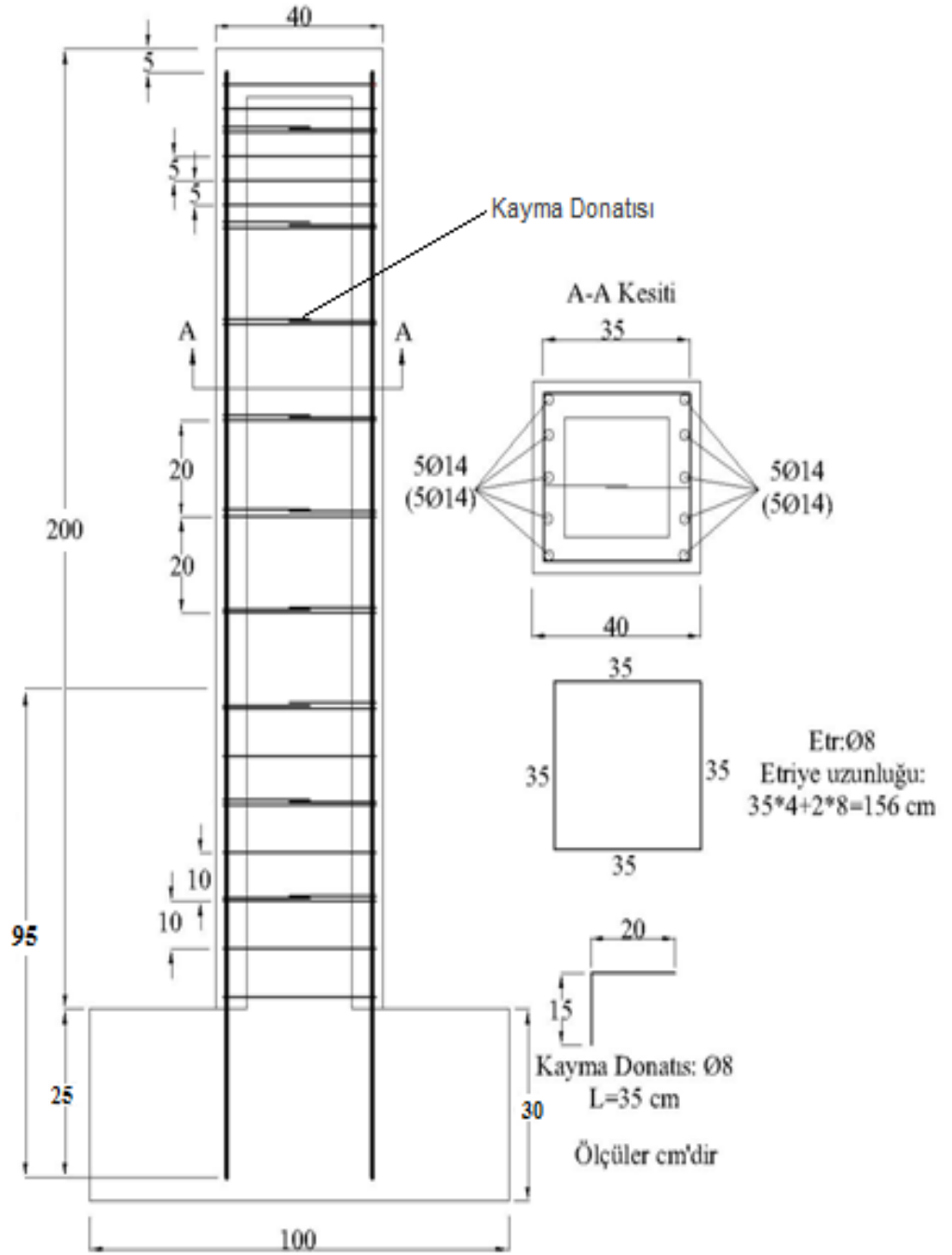


Şekil 4.2 Güçlendirme öncesi kolon donatı yerleşimi ve kolon açılımı (Şen, 2012).



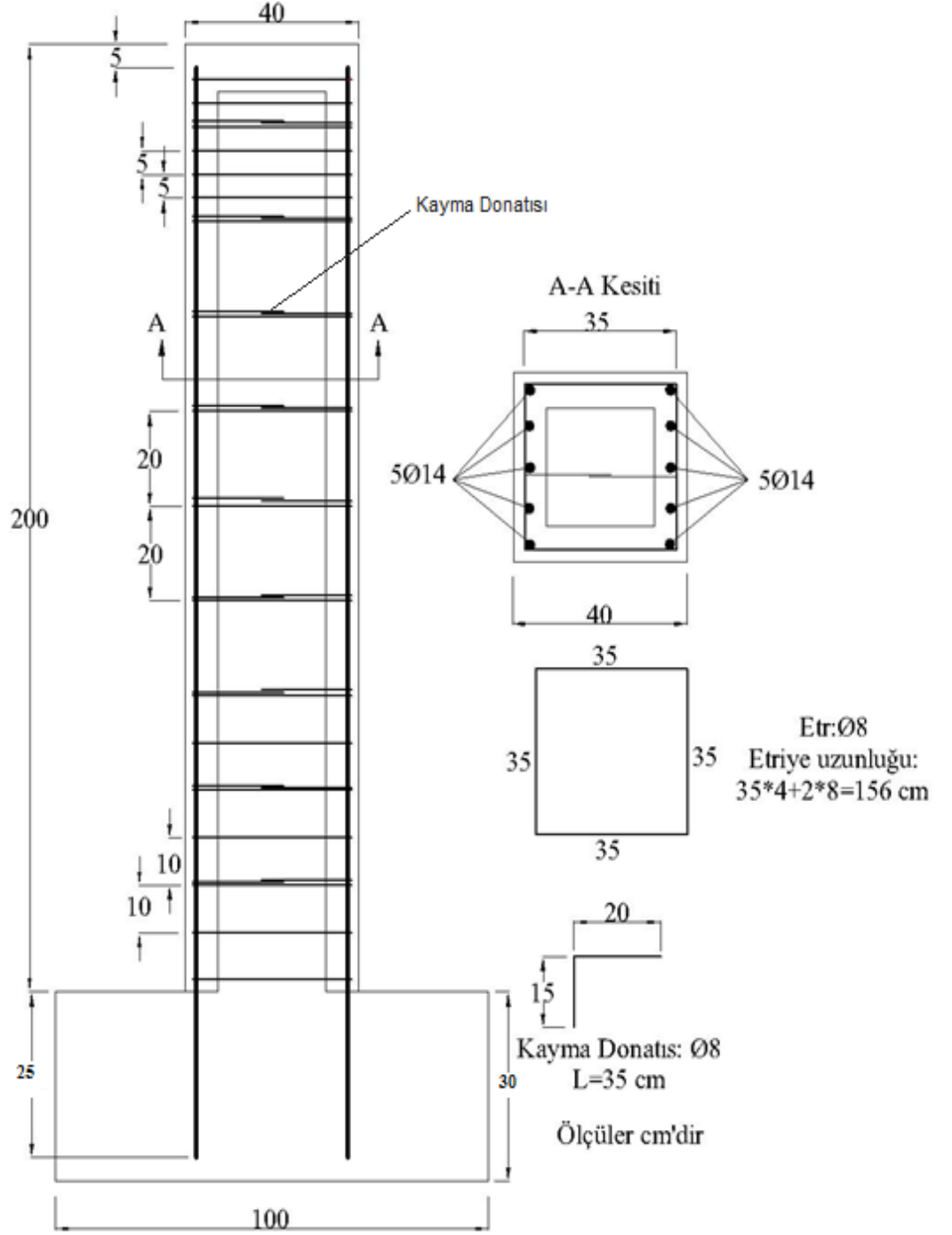
Şekil 4.3 Güçlendirme öncesi temel donatı yerleşimi ve temel açılımı (Şen, 2012).

Beş adet eleman “Betonarme Yapıların Çelik Elemanlar ile Güçlendirilmesi” adlı tez çalışması kapsamında imal edilmiş ve hasara uğratılmıştır. Tez çalışması Mayıs 2012 tarihinde Emre Aldınç ŞEN tarafından yayınlanmıştır.



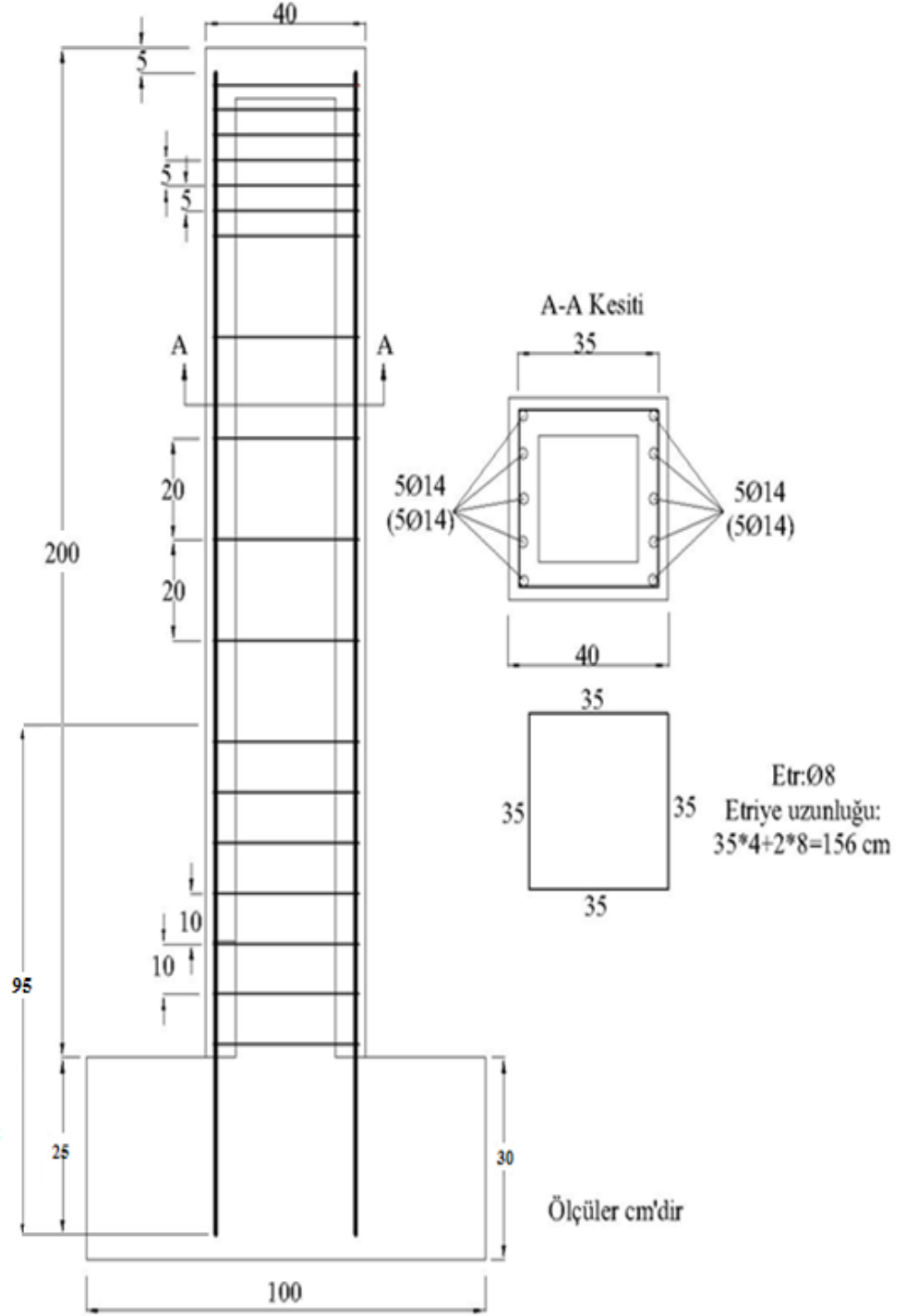
Şekil 4.4 KDFVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.

KDFVB elemanının boyuna donatısı filizlidir. Bindirme boyu $l_o = 70$ cm olarak hesaplanmıştır. Ankraj çubuğunun toplam uzunluğu 95 cm ve boyuna donatının uzunluğu 195 cm olarak kullanılmıştır.



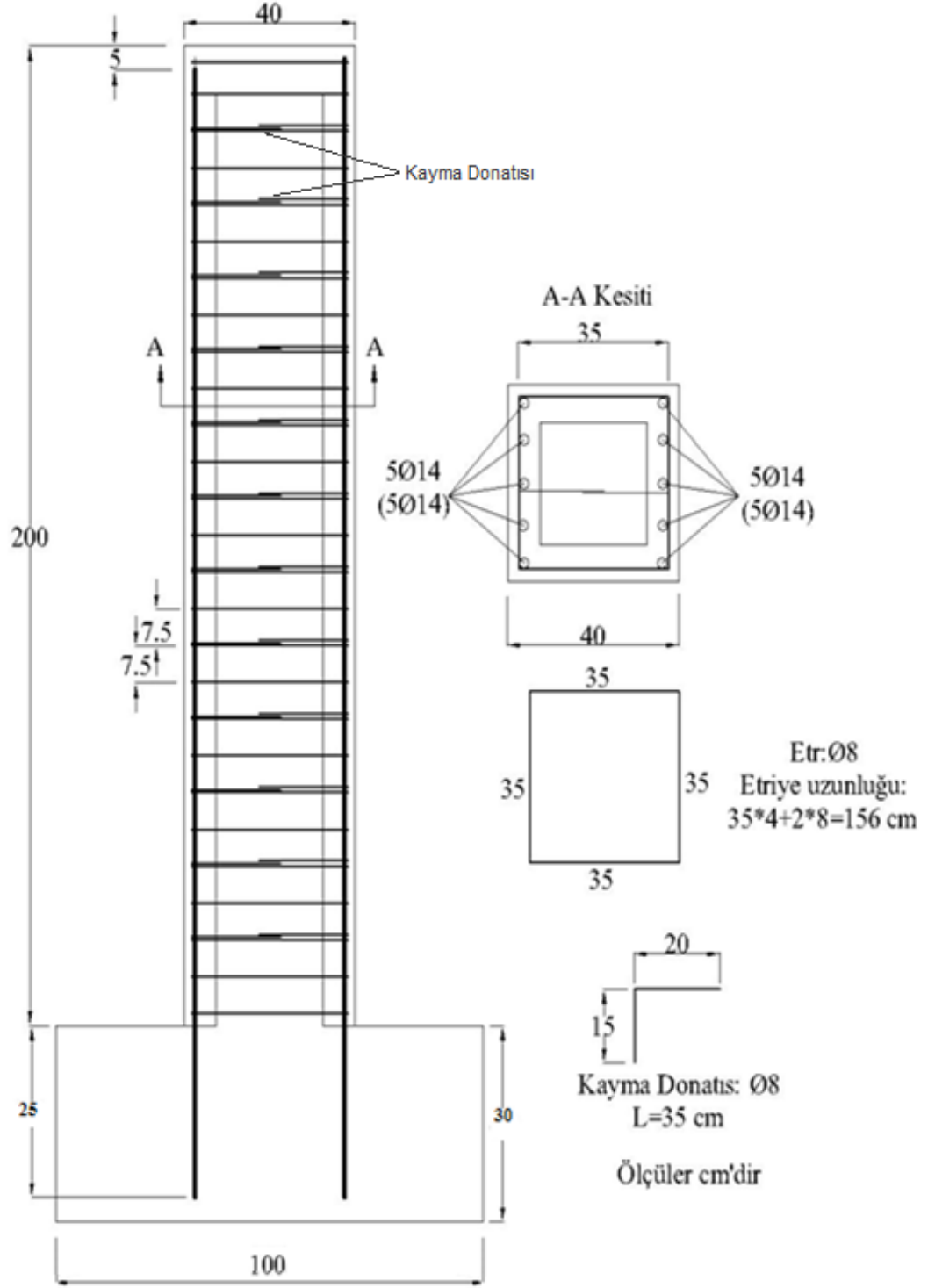
Şekil 4.5 KDSVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.

KDSVB elemanının boyuna donatısı sürekli. Boyuna donatının toplam uzunluğu 220 cm olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.6 FVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.

FVB elemanının boyuna donatısı filizlidir. Bindirme boyu $l_o = 70$ cm olarak hesaplanmıştır. Ankraj çubuğunun toplam uzunluğu 95 cm ve boyuna donatının uzunluğu 195 cm olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.7 KDSVB-1 deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı.

KDSVB-1 elemanının boyuna donatısı sürekli. Boyuna donatının toplam uzunluğu 220 cm olarak kullanılmıştır. Etriye aralıkları 7,5 cm olarak düzenlenmiştir.



a) CLAS elemanın donatılandırması



b) FVB elemanın donatılandırması

Şekil 4.9 Elemanların donatılandırılması.



a) Filiz ekimi için epoksi uygulaması



b) Filiz ve boyuna donatının yerleşimi

Şekil 4.10 Filizlerin ekimi ve yerleştirilmesi.

Betonarme kolonun pabuç kısmında donatıların ankre edileceği yerler matkap ile 25 cm delinmiştir. Matkap ile delme sonucunda deliklerin içerisinde kalan tozlar, beton ile epoksinin tam yapışmasını engelleyeceğinden kompresör yardımıyla temizlenmiştir. Filiz ekilen kolonlarda donatıların bindirme bölgelerinde donatıların birbirlerine olan mesafeleri en az 2.5 cm olacak şekilde yerleştirme yapılmıştır (Şekil 4.10 (b)).



a) Kayma donatısının ekimi için delme işlemi

b) Kayma donatısının yerleşimi

Şekil 4.11 Kayma donatısının yerleştirilmesi.

Kayma donatılarının yerleştirileceği yerler 15 cm olacak şekilde matkap ile delinmiş ve donatılar epoksi yapıştırıcı yardımıyla kolona ankre edilmiştir (Şekil 4.11).

4.2 Deney Düzeneği

Deney sırasında gerek yükün istenilen şekilde test elemanına uygulanabilmesi ve gerekse de test elemanının verdiği tepkilerin ölçülebilmesi için kurulu düzeneğin tümü deney düzeneği başlığı altında incelenecektir.

Deneyler Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda yer alan deney platformunda

gerçekleştirilmiştir. Yükleme ve ölçüm düzeneklerinin temini tamamen Üniversite imkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.1 Yükleme düzeneği

Deney platformu bir kapalı çerçevenin teşkil edilmesiyle oluşturulmuştur (Şekil 4.12). Kapalı çerçeve de iki adet yüksek dayanımlı çelik kolon ve iki adet yüksek dayanımlı çelik kiriş bulunmaktadır. Kapalı çerçevenin net açıklığı 600 cm'dir.

Deney elemanı test için rijit kiriş üzerine yerleştirilmiş ve temel pabucunun dikey hareketini engellemek için çelik kutu profiller kullanılmıştır. Kutu profiller iki adet U-140 çelik profilin kaynaklanmasıyla oluşturulmuştur. Kutu profilden rijit kirişin alt kısmına bağlantı yapılarak sistem sıkıştırılmıştır. Deney elemanının yatay hareketini engellemek için deney elemanı hidrolik piston ve payanda arasına sıkıştırılmıştır. Deney elemanının çelik profillere, hidrolik pistonu, payandaya ve rijit yüzeyine temasını engellemek ve akustik sinyallerde gürültüyü engellemek amacıyla aralara kauçuk konulmuştur.



Şekil 4.12 Deney platformu.

4.2.2 Ölçüm düzeneği

Deney sırasında üç farklı ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Bunlar; deney elemanlarında oluşan gerilmelerden dolayı meydana gelen deformasyonlar ve çatlak hareketlerini inceleyebileceğimiz AE sistemi, deney elemanlarının deformasyonlarını ölçmek için kullanılan potansiyometrik cetvel sistemi ve deney elemanlarına uygulanan yükü ölçmek için kullanılan yük ölçüm sistemidir. Bu sistemler alt başlıklar da incelenecektir.

4.2.2.1 Akustik emisyon sisteminin kurulumu ve kalibrasyonu

Kullanılan AE sisteminde, Mistras Group Inc. firması tarafından üretilen Micro II SAMOS kasası üzerine entegre edilmiş sekiz kanallı 24 bit veri toplama cihazı, ön yükselticiler, bağlantı kabloları, sensörler ve bilgisayar bulunmaktadır (Şekil 4.13).



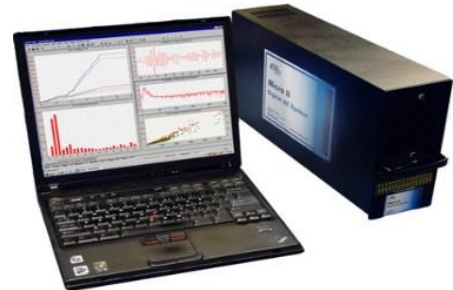
a) Sensörler



b) Ön yükseltici



c) Veri toplama sistemi

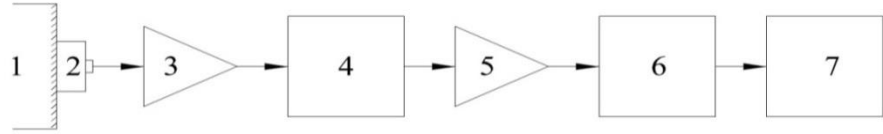


d) Bilgisayar ve veri toplama sistemi

Şekil 4.13 Deneyde kullanılan cihazlar.

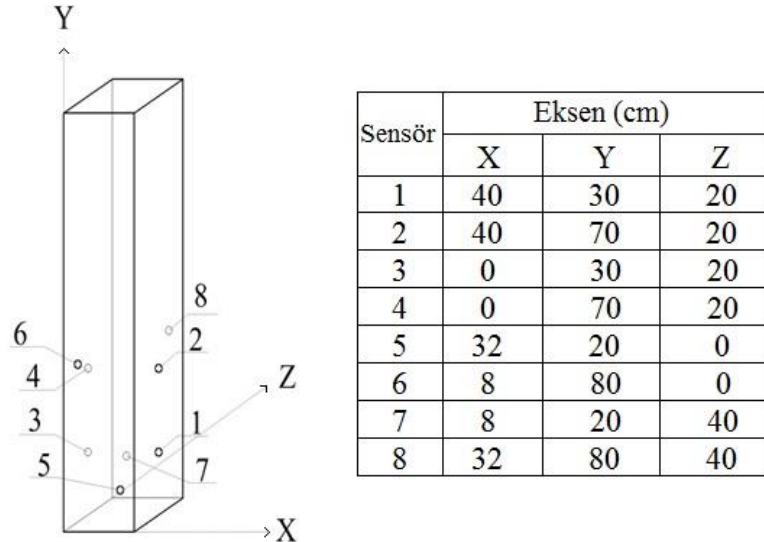
Sekiz kanallı 24 bit veri toplama cihazı; güç gereksinimi 10 Watt, giriş direnci 50 Ohm, 0/6/8 dB seçenekli sinyal kazancı olan, 1-400 kHz frekansa sahip, maksimum genlik değeri 100 dB olan bir parçadır.

AE sistemini oluşturan donanımlar basitleştirilmiş gösterimle aşağıda verilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 AE izleme sisteminin blok şeması (1) Beton numune, (2) Sensör, (3) Ön yükseltici, (4) Süzgeç, (5) Güç yükseltici, (6) Sayıcılar, Sinyal işleme kartı (Sekiz kanallı 24 bit veri toplama cihazı), (7) Bilgisayar.

Deney elemanları üzerine yerleştirilen AE sensörlerinin düzeni ve koordinatları ise Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan tüm elemanlar için aynı koordinatlar kullanılmıştır.



Şekil 4.15 AE sensörlerinin düzeni ve koordinatları.

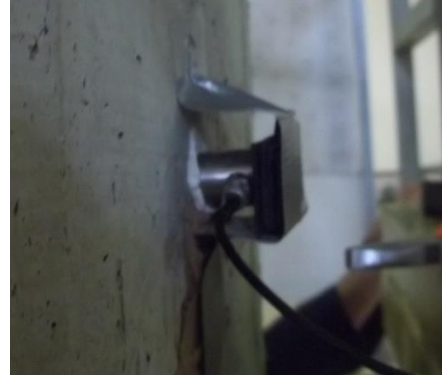
AE sistemi her deney öncesinde kalibre edilmiştir. Kurulum ve kalibrasyon için şu adımlar izlenmiştir (Şekil 4.16);

- Sensörlerin yerleştirileceği yerler zımparalanmış, işaretlenmiştir ve numaralandırılmıştır (Şekil 4.16 (a)).
- 150 kHz frekansa sahip AE Sensörlerinin, seramik yüzeylerine iletken sıvı malzeme sürülüp beton yüzeyine bantla sabitlenmiştir (Şekil 4.16 (b)).
- Sensörler ön yükselticilere, ön yükselticiler de bağlantı kabloları vasıtasıyla sekiz kanallı 24 bit veri toplama sisteminin entegre şekilde bulunduğu AE kasasına (Her sensör kendi kanalına giriş yapacak şekilde), AE kasası da bilgisayara bağlanarak sistem kurulmuştur (Şekil 4.16 (c)).
- Ön yükselticiler 40 dB single giriş moduna getirilerek kullanılmıştır. Daha sonra her bir sensörün çalışıp çalışmadığını kontrol etmek, sistemde herhangi bir sorunun olup olmadığını anlamak amacıyla her bir sensöre yakın noktalarda, kurşun uçlu kalem ile yüzey 45° açı yapacak şekilde uç kırılmıştır. Uç kırma işlemi istenilen frekans kalitesine ulaşana kadar tekrarlanmıştır (Şekil 4.16 (d)). Kırılma sırasında sensörlerin algıladığı sinyaller işlenerek bilgisayar ekranına aktarılmıştır. Sorunlar görülmesi durumunda sorunun görüldüğü sensör, kablo, ön yükselticiler kontrol edilmiştir.

Kalibrasyon işleminden sonra AE sistemi hazır duruma gelmiştir.



a) Sensörün yerleştirileceği yer



b) Sensörün yerleşimi



c) Bağlantı kabloları



d) Sensörlerin kontrolü

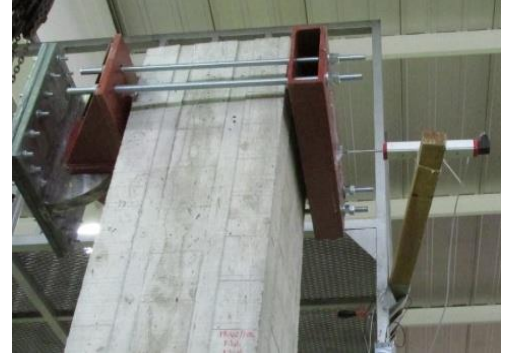
Şekil 4.16 AE sisteminin kurulumu ve kalibrasyonu.

4.2.2.2 Deformasyon ölçüm düzeneği

Sistem yatay yüklemeye maruz kalacağından dolayı temel pabucunun hareketinin kontrolü ve kolon üst ucunda oluşacak olan deplasmanı ölçmek için iki adet 25 cm'lik potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Ölçülen deformasyonlar potansiyometrik cetvel yardımıyla 16 kanallı statik veri toplama cihazına aktarılmaktadır. Temel pabucunda ve kolon üst ucunda bulunan potansiyometrik cetveller eleman yüzeyinden yaklaşık olarak 5-10 mm mesafede yerleştirilmiştir. Yük uygulandığında potansiyometrik cetvellerin hareketinin her seferinde aynı düzlemde olabilmesi için uçları betona sıcak silikon ile yapıştırılmıştır (Şekil 4.17).



a) Temel pabucundaki deplasman ölçer

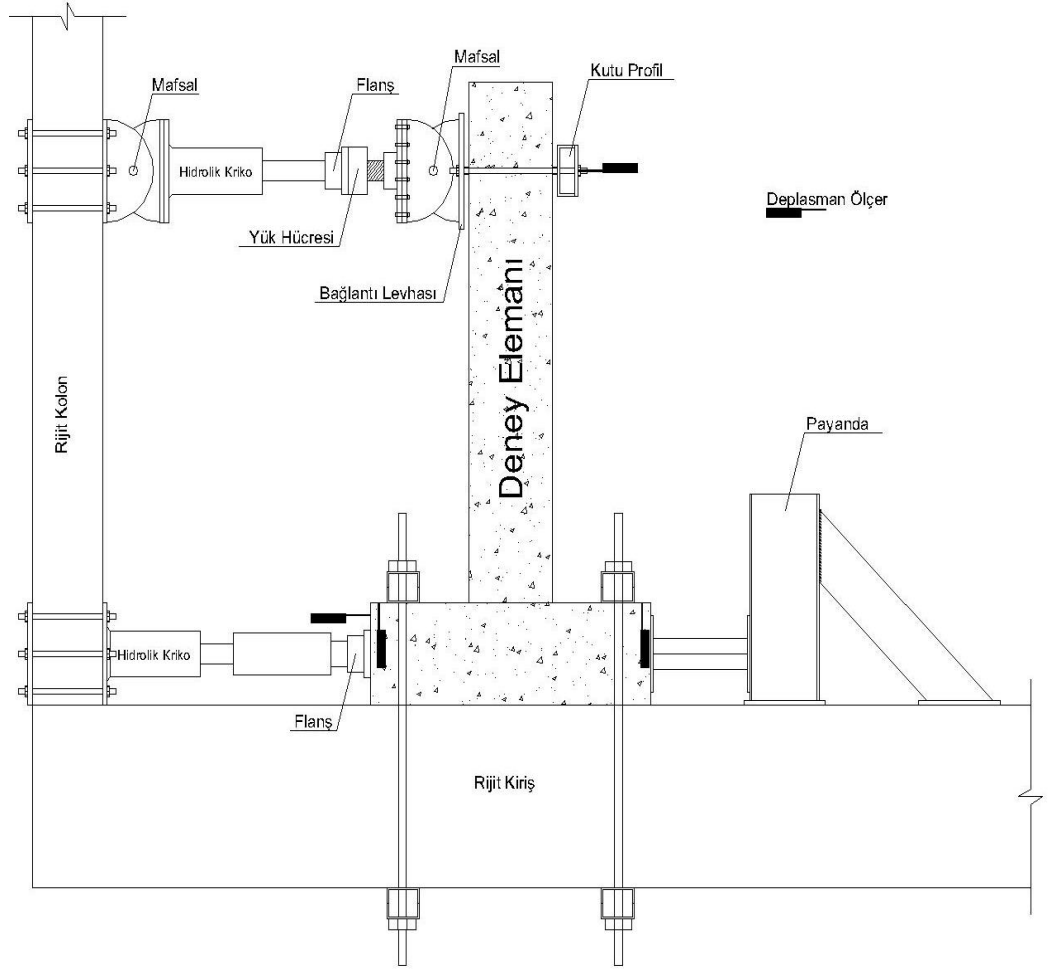


b) Kolondaki deplasman ölçer

Şekil 4.17 Deplasman ölçerler.

4.2.2.3 Yük ölçüm düzeneği

Deney elemanına yük, rijit kolon ile deney elemanı arasında bulunan iki ucu mafsallı bir yükleme sistemi ile uygulanmıştır. Yükleme sisteminde iki mafsal arasında bir krika, bir yük hücresi ve flanş bulunmaktadır. Hidrolik yük pistonu 25 cm strok değerine sahiptir. Deneyler sırasında kullanılan yük hücresi ise 500 kN basınç ve 300 kN çekme ölçme kapasitesine sahiptir. Uygulanan yük, yük hücresi ile tarayıcı-okuyucuya iletilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Yük deney elemanına, üst ucundan 20 cm uzaklıktaki noktadan uygulanmıştır. Deney elemanı yükün etkidiği bu noktadan, bağlantı levhası ve kutu profil yardımıyla yükleme sistemine bağlanmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Deneylerde kullanılan yükleme düzeneği.

4.3 Malzeme

4.3.1 Beton

Güçlendirilecek olan mevcut betonarme kolonların daha önceki beton dayanımları 20 MPa seviyesindedir. Manto katmanında kullanılan beton karışımı olarak “Kendiliğinden Yerleşen Beton” kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton, yoğun donatılı elemanlarda bile vibratöre gerek kalmadan, kendi ağırlığı ile akıp kalıba doldurabilen ve tamamen sıkışabilen çok akıcı kıvamlı özel bir betondur. KYB’nin akıcı kıvamlılık ve yüksek koheziflik özeliği ile betonun kalıplara yerleşmesi ve kalıpları tamamen doldurması kolaylaşmaktadır. Bu deneyde kendiliğinden yerleşen betonun kullanılmasının sebebe ise donatılandırmanın yoğun ve dar alanda çalışılmasıdır.

Çalışma kapsamında C35 dayanım grubunda üretim yapılması planlanmıştır. Beton üretiminde birinci amaç, hedeflenen basınç dayanımının elde edilmesi iken; göz önünde bulundurulan ikinci amaç ise, üretilen taze betonun işlenebilirliği ve kıvamı üzerinde neden olabileceği potansiyel sorunları engelleyebilecek bir beton matrisinin elde edilmesidir. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için Çizelge 4.1’de gösterilen malzeme oranlarına sahip karışım hazırlanmıştır.

Çizelge 4.1 Kullanılan malzemelerin 1m³ betondaki değerleri.

Beton Karışımında Kullanılan Malzeme	1/m ³
Su	200 kg
Çimento	450 kg
0-3 İnce Agrega	912 kg
5-15 Kaba Agrega	755 kg
Kimyasal Katkı	3,6 kg
Çelik Lif (Sadece Son Numunede Kullanılmıştır)	30 kg

Manto katmanının betonları dökülürken her beton karışımından en az iki adet küp numune alınmasına gayret edilmiştir. Küp numuneler standart ölçülerde olup, 15x15x15 cm ebatlarındadır. Numune dayanımlarının eleman dayanımlarını temsil edebilmesi amacıyla, elemanlarla aynı yerde ve koşulda muhafaza edilmişlerdir. Aşağıdaki Şekil 4.18 (a)’da numuneler görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 4.19 Küp numuneler ve beton presi.

Deney numunelerinde kullanılan betonun basınç dayanımının belirlenmesi için beton presi kullanılmıştır. Beton presi tam otomatik ve dijital kontrollüdür. Deney hızı 2,3 kN/s olarak seçilmiştir. Pres maksimum 2000 kN yükleme kapasitesine sahiptir (Şekil 4.19 (b)).

Küp numuneler, 28 günlük mukavemetini aldıktan sonra beton presde kırılmıştır. Numunelere ait hesaplanmış basınç dayanımları Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 Deney elemanlarının beton basınç dayanımları.

Eleman Adı	Numune No	Beton Tasarım Sınıfı	Manto Katmanı (MPa)	Manto Katmanı Ortalama (MPa)	Mevcut Kolon (MPa)
KDFVB	1	C35	49,38	47,19	18,52
	2		44,99		
KDSVB	3		43,26	46,13	19,40
	4		48,99		
FVB	5		43,49	44,32	20,47
	6		45,15		
KDSVB-1 ($\phi 8/7,5$)	7		51,19	49,78	20,06
	8		48,37		
CLAS	9		42,94	40,92	18,96
	10		38,9		

4.3.1.1 Su

Deneysel çalışmada karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan suyun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Beton üretiminde kullanılan suyun kimyasal analiz sonuçları (İZSU).

BORNOVA: Ege Üniversitesi Kampüsü İtfaiye Çeşmesi/İZSU Teknik Amirlik		
Analiz Edilen Parametreler		Analiz Sonuçları
Toplam Sertlik	Fr	30
Tuzluluk	%	0
Arsenik (As)	µg/L	5,43
Nitrit (NO ₂)	mg/L	Spt.
Alüminyum (Al)	µg/L	15,53
Amonyum (NH ₄)	mg/L	0
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	27
Renk	-	Uygun
İletkenlik	µS/cm	561
pH	-	7,4
Demir (Fe)	µg/L	18,77
Oksitlenebilirlik	mg/L O ₂	0,4
Bulanıklık	-	Uygun

4.3.1.2 Çimento

Deneysel çalışmada kullanılan çimento tipi CEM IV/B (P) 32,5 N olup Batısöke Söke Çimento Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Üretici firmadan alınan çimentonun fiziksel ve kimyasal deney sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Fiziksel Özellikler			
	Puzolanik Çimento	Standart	Birim
Priz Başlangıcı	187	Minimum 75	Dakika
Priz Sonu	223	-	Dakika
Hacim Genleşmesi	1	Maksimum 10	cm
Özgül Yüzey (Blaine)	4660	-	cm ² /g
Litre Ağırlığı	880	-	g/l
2 Günlük Dayanım	15	Minimum 10	N/mm ²
28 Günlük Dayanım	40	Minimum/Maksimum 32,5/52,5	N/mm ²
Kimyasal Özellikler			
	Puzolanik Çimento	Standard	Birim
SO ₃	2.6	Maksimum 3.5	%
Cl ⁻	0.01>	Maksimum 0.1	%
Puzolanlık Testi	Olumlu	Olumlu	-

4.3.1.3 Agrega

Beton karışımında 0-3 mm ve 5-15 mm dane çaplarında 2 grup agrega kullanılmıştır. Kullanılan agregalar için elek analizi yapılmıştır (Şekil 4.20).



a) 0-3 mm agrega



b) 5-15 mm agrega

Şekil 4.20 Deneyde kullanılan agregalar.

4.3.1.4 Kimyasal katkı

Yapılan çalışmada süper akışkanlaştırıcı olarak Glenium SKY 608 kullanılmıştır. Glenium SKY 608, polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltan, dayanıklılığı artıran, erken ve nihai yüksek dayanım sağlarken betonun kıvam kaybını önleyen, Toplam Performans Kontrolü konseptine uygun, hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş, yeni ikinci nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkı malzemesidir (BASF).

Kullanılan süper akışkanlaştırıcının +20 °C’de, %50 bağıl nem koşullarında elde edilen teknik özellikleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Glenium SKY 608’in teknik özellikleri (BASF).

Malzeme Yapısı	Birim	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	-	Opak
Yoğunluk	kg/l	1,063-1,103
Klor İçeriği (EN 480-10)	%	<0,1
Alkali İçeriği (EN 480-12)	%	<3

4.3.1.5 Çelik lif

Deneysel çalışmada kullanılan çelik lif tipi RC-65/35-BN olup Dramix-Bekaert Firması’ndan temin edilmiştir. Çelik liflerin betona hacimce % 0,25-2,00 arasındaki miktarlarda eklenmesi beton ve harçların mühendislik özelliklerinde önemli iyileşmeler sağlamaktadır. Özellikle betonun darbe dayanımı, eğilme dayanımı, yorulma mukavemeti, kırılma ve parçalanma dayanımı artmaktadır. Üretici firmadan alınan çelik liflerin (Şekil 4.21) boyutları ve fiziksel deney sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Çelik lifin boyutları ve fiziksel özellikleri (Bekaert).

Malzeme Yapısı	Birim	Deney Sonuçları
Boy	mm	35
Çap	mm	0,55
Narinlik Oranı	-	64
Çekme Dayanımı	N/mm ²	1100
Elastisite Modülü	N/mm ²	200000
Özgül Ağırlığı	kg/m ³	7800
Renk	-	Metalik



Şekil 4.21 Deneyde kullanılan çelik lifler.

4.3.2 Çelik donatı

Bütün deney elemanlarında nervürlü S420 (BÇ III) çelik donatı kullanılmıştır. Deney elemanlarının yapımında, boyuna donatı olarak Ø14 kullanılmıştır. Etriye olarak da Ø8'lik donatı kullanılmıştır. Etriyeler fabrikasyon olarak üretilmiştir. Deney elemanlarının tümünde aynı donatılar kullanılmıştır. Kullanılan bu donatılardan yeterli sayıda numune alınarak ortalama akma dayanımları belirlenmiştir. Dayanım sonuçları Çizelge 4.7'de görülmektedir.

Çizelge 4.7 Çelik donatıların akma ve çekme dayanımları.

Donatı Çapı	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Ø8	441	565
Ø14	459	572

4.3.3 Epoksi yapıştırıcı

Epoksi likit olarak uygulanan ve kuruduktan sonra suya, asitlere ve alkaliye dirençli bir madde haline gelen zaman içerisinde bu direncini yitirmeyen, kolay temizlenen, mekanik mukavemeti yüksek, tekne yapımı ve onarımı dahil bir çok alanda kullanılan yapıştırıcı bir kimyasal reçinedir.

Yapılan deney çalışmasında epoksi olarak boyuna donatıların temel papucuna ankrajında ve kayma donatılarının kolona ankrajında Kimyasal Dübel HIT-RE 500 SD kullanılmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Epoksi yapıştırıcı (HILTI).

Betonarme kolonun pabuç kısmına, boyuna donatıların ankre edileceği yerler işaretlenmiş sonra matkap ile işaretlenen yerler 25 cm delinmiştir. Matkap ile delme sonucunda deliklerin içerisinde kalan tozlar tam yapışmanın sağlanabilmesi için kompresör yardımıyla temizlenmiştir. Kolon yüzeyine ankre edilen kayma donatıları içinde aynı şekilde işlem tekrarlanmıştır.

4.4 Deneyler

4.4.1 KDFVB deneyi

Deney sırasında gözlemlenen önemli sonuçlar, gerçekleştiği çevrim belirtilerek aşağıda özetlenmiştir. Deney elemanına 8 tam yük çevrimi uygulanmıştır.

2. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde 2,41 mm deplasman görülmüştür. Aynı çevrimin geri yüklemesinde ise 2,65 mm deplasman görülmüştür.

4. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde kolon gövdesinde kolon, temel birleşiminin yaklaşık 40 mm üzerinde, 3 ve 4 numaralı sensörlerin bulunduğu yüzeyde ilk eğilme çatlakları görülmüştür. Bu çevrimin ileri yüklemesinde maksimum 8,15 mm, geri yüklemesinde ise maksimum 11,37 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

5. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde maksimum 11,95 mm, geri yüklemesinde ise 16,25 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

6. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde deney elemanı maksimum taşıma kapasitesine ulaşmış ve daha fazla yük alamamıştır. 57,49 kN yük düzeyinde donatılar akmıştır ve 17,71 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Geri yüklemesinde kolon 23,32 mm uç deplasmanı ile 60,03 kN yükü donatılar akmadan karşılayabilmiştir.

7. *çevrim*: Kolon bu çevrimde ileri yüklemesinde akmış olan donatıları ile 54,22 kN yük düzeyine çıkabilmiş ve bu yük seviyesinde maksimum 34,97 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Geri yüklemesinde ise kolon boyuna donatıları 56,44 kN yük düzeyinde akmıştır ve maksimum 37,21 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

8. *çevrim*: Kolon uç deplasmanlarının gözlemlenmesi amacıyla çevrimlere devam edilmiştir. Bu çevrimin ileri yüklemesinde kolon 52,23 kN yük karşılamış

ve maksimum 47,92 mm deplasman ölçülmüştür. Son olarak geri yüklenmesinde ise kolon 54,17 kN yük karşılamış ve maksimum 52.53 mm deplasman ölçülmüştür. Bu çevrim tamamlandıktan sonra yükleme adımlarına son verilmiştir. Deney sonlandırılmıştır.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de, deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.25’de ve kesme kuvveti-çevrim grafiği Şekil 4.26’da sunulmuştur.



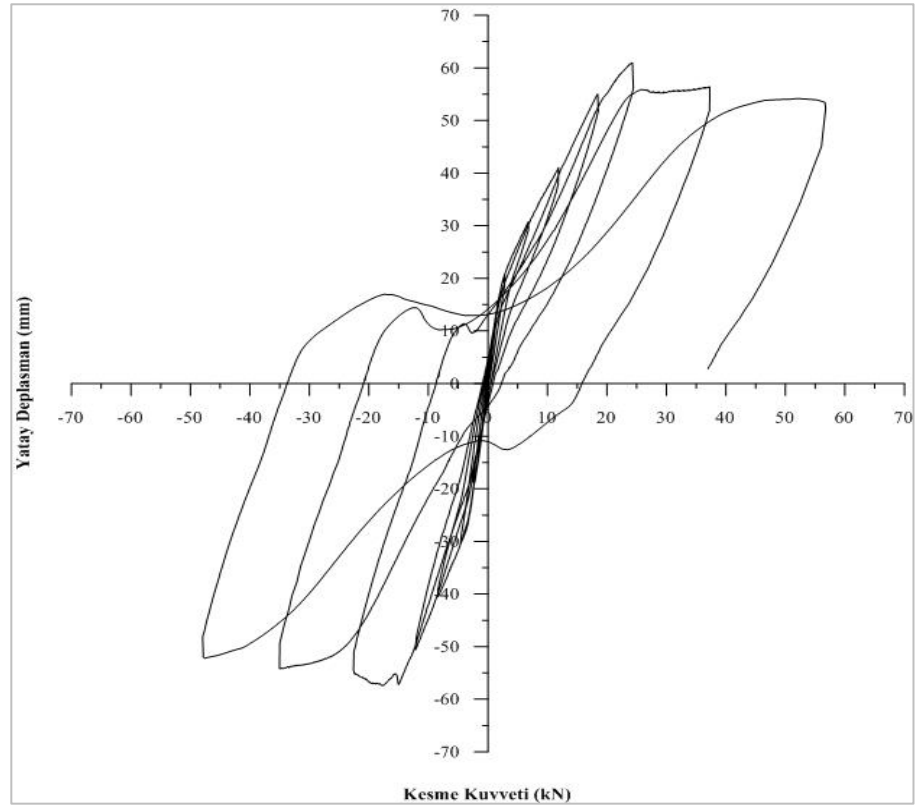
Şekil 4.23 Yükleme öncesi KDFVB deney elemanı.



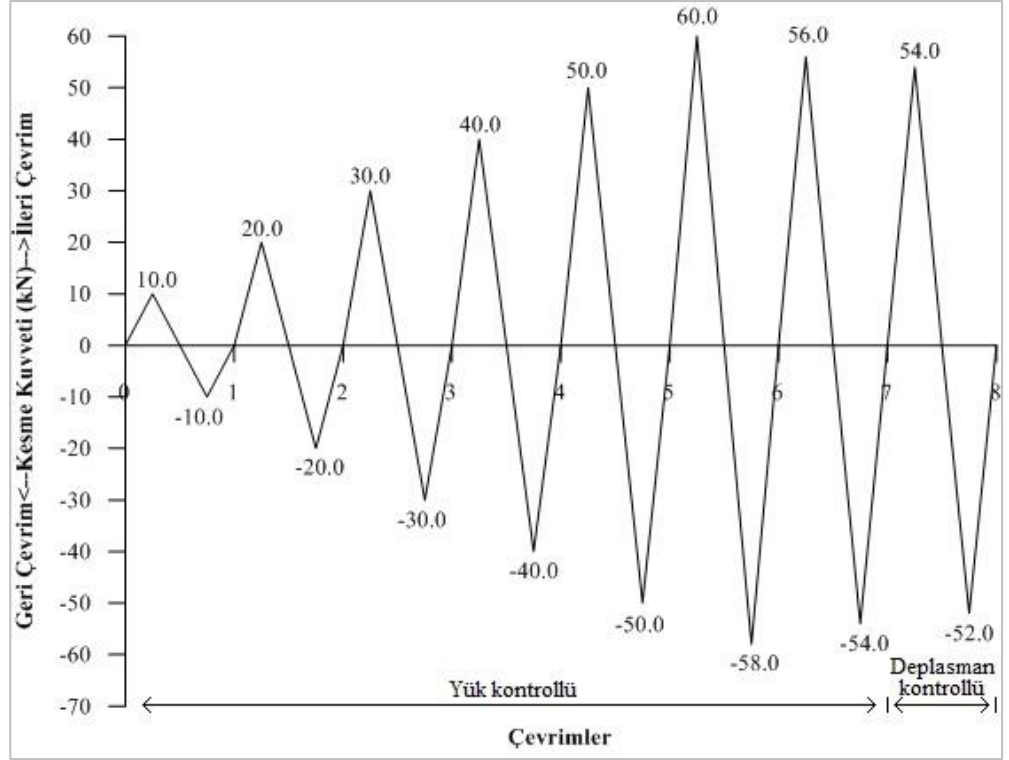
a) Kolonda oluşan çatlaklar

b) Temel pabucunda oluşan çatlaklar

şekil 4.24 Yükleme sonrası KDFVB deney elemanı.



şekil 4.25 KDFVB deney elemanı kesme kuvveti-yatay deplasman grafiği.



Şekil 4.26 KDFVB deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği.

4.4.2 KDSVB deneyi

Deney sırasında gözlemlenen önemli sonuçlar, gerçekleştiği çevrim belirtilerek aşağıda özetlenmiştir. Deney elemanına 8 tam yük çevrimi uygulanmıştır.

3. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemeinde 3,75 mm deplasman görülmüştür. Aynı çevrimin geri yüklemeinde ise maksimum 4,90 mm deplasman görülmüştür.

4. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemeinde 7,67 mm deplasman görülmüştür. Aynı çevrimin geri yüklemeinde ise maksimum 8,88 mm deplasman görülmüştür.

5. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemeinde temelde diyagonal çatlaklar gözlemlenmiştir. Diyagonal çatlakların görülmeye başlandığında yük 45 kN düzeyindedir. Bu çevrimin ileri yüklemeinde 12,09 mm, geri yüklemeinde ise

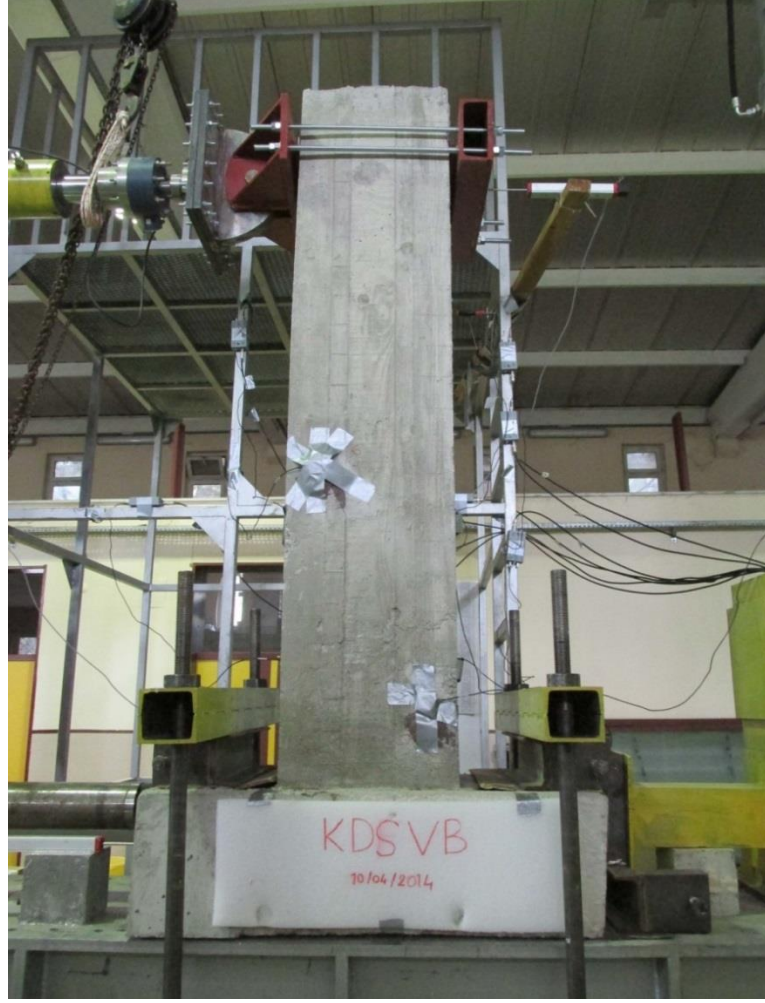
49.14 kN yükleme seviyesinde donatılardan bazıları akmıştır. Sonrasında yük diğer donatılara binip yükleme seviyesi 50,51 kN'a ulaşmıştır ve maksimum 15,37 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

6. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde donatılar yaklaşık 58,11 kN yük düzeyinde akmıştır ve 17,13 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Geri yüklemde kolon 20,87 mm uç deplasmanı ile 60,58 kN yükü boyuna donatılar akmadan karşılayabilmiştir.

7. *çevrim*: Kolon bu çevrimde ileri yüklemde akmış olan boyuna donatıları ile birlikte maksimum 50,58 kN yük düzeyine çıkabilmiş ve bu yük seviyesinde maksimum 29.89 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Geri yüklemde ise maksimum 63,97 kN yük düzeyinde çıkmış ve donatıların tamamı akmıştır ve 29,40 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

8. *çevrim*: Kolon uç deplasmanlarının gözlemlenmesi amacıyla çevrimlere devam edilmiştir. Bu çevrimin ileri yüklemesinde kolon 48,69 kN yük karşılamış ve maksimum 41.99 mm deplasman ölçülmüştür. Son olarak geri yüklenmesinde ise kolon 61,30 kN yük karşılamış ve maksimum 42,79 mm deplasman ölçülmüştür. Bu çevrim tamamlandıktan sonra yükleme adımlarına son verilmiştir. Deney sonlandırılmıştır.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de, deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.29'da ve kesme kuvveti-çevrim grafiği Şekil 4.30'da sunulmuştur.



Şekil 4.27 Yükleme öncesi KDSVB deney elemanı.

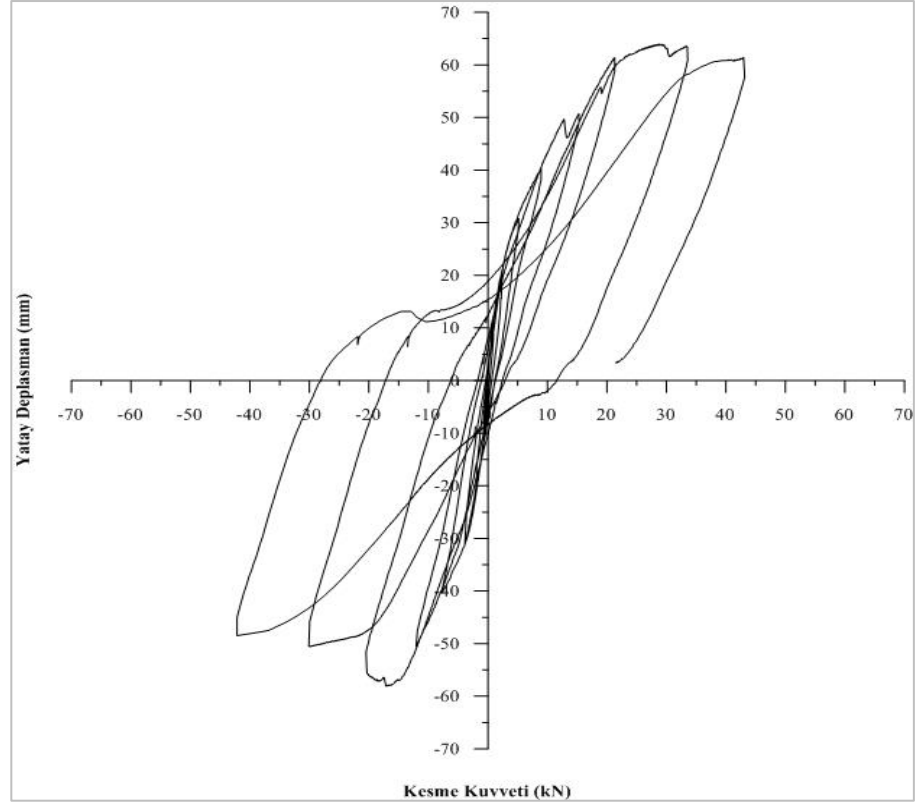


a) Temel pabucunda oluşan çatlaklar

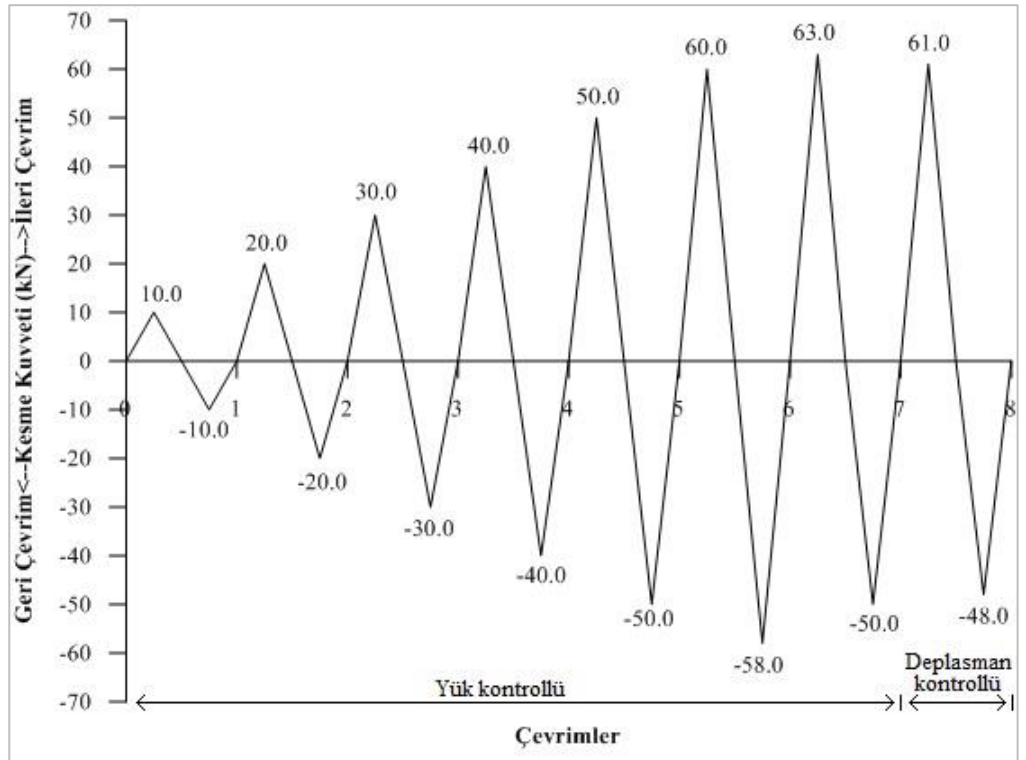


b) Kolon-temel pabucu birleşimindeki çatlaklar

Şekil 4.28 Yükleme sonrası KDSVB deney elemanı.



Şekil 4.29 KDSVB deney elemanı kesme kuvveti-yatay deplasman grafiği.



Şekil 4.30 KDSVB deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği.

4.4.3 FVB deneyi

Deney sırasında gözlemlenen önemli sonuçlar, gerçekleştiği çevrim belirtilerek aşağıda özetlenmiştir. Deney elemanına 8 tam yük çevrimi uygulanmıştır.

3. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde 6,37 mm deplasman görülmüştür ve yük-deplasman eğrisi elastikliğini korumaktadır. Aynı çevrimin geri yüklemesinde ise maksimum 5,72 mm deplasman görülmüştür.

4. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde 9,95 mm deplasman görülmüştür. Aynı çevrimin geri yüklemesinde ise maksimum 9,40 mm deplasman görülmüştür. Bu çevrimde yük-deplasman eğrisinin elastikliğinde bozulmalar başlamıştır.

5. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde temelde diyagonal çatlaklar gözlemlenmiştir. Bu çevrimin ileri yüklemesinde 13,76 mm, Aynı çevrimin geri yüklemesinde ise 12,88 mm deplasman görülmüştür.

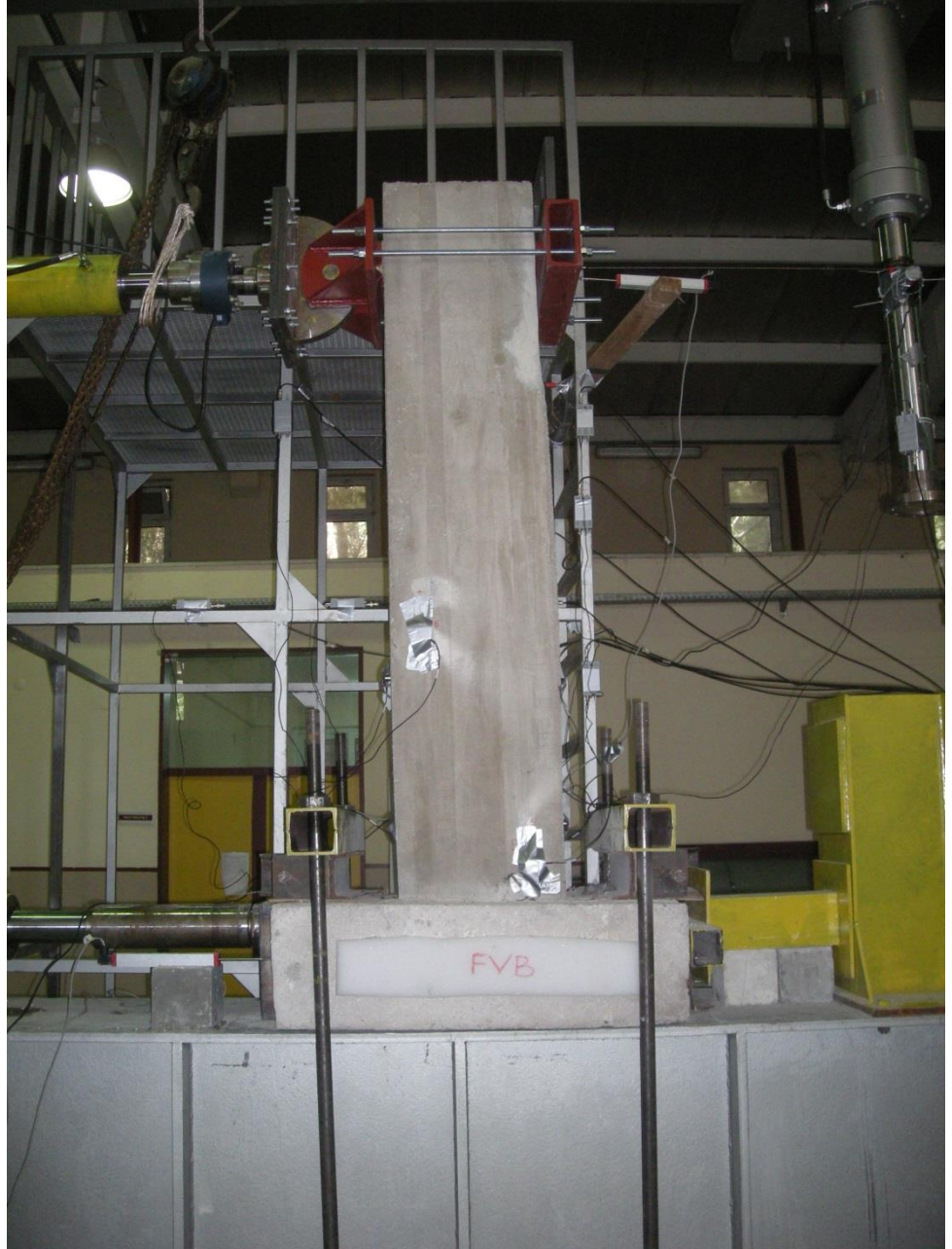
6. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde donatılardan biri yaklaşık 58,18 kN yük düzeyinde akmıştır ve 17,53 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Sonrasında sistem tekrar dengelenme durumuna geçmiş ve 60 kN yükü karşılamıştır. Maksimum 19,94 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Bu çevrimin geri yüklemesinde donatılar 51,96 kN yük düzeyinde akmıştır, 18,17 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

7. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde donatılar yaklaşık 58,77 kN yük düzeyinde akmıştır, 23,70 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Geri yüklemede ise kolon akmış olan donatıları ile 52,89 kN yükü karşılayabilmiştir ve 34,86 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

8. *çevrim*: Kolon uç deplasmanlarının gözlemlenmesi amacıyla çevrimlere devam edilmiştir. Bu çevrimin ileri yüklemesinde kolon 51,62 kN yük karşılamış ve maksimum 39,07 mm deplasman ölçülmüştür. Son olarak geri yüklenmesinde

ise kolon 48,35 kN yük karşılamış ve maksimum 41,31 mm deplasman ölçülmüştür. Bu çevrim tamamlandıktan sonra yükleme adımlarına son verilmiştir. Deney sonlandırılmıştır.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de, deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.33’de ve kesme kuvveti-çevrim grafiği Şekil 4.34’de sunulmuştur.



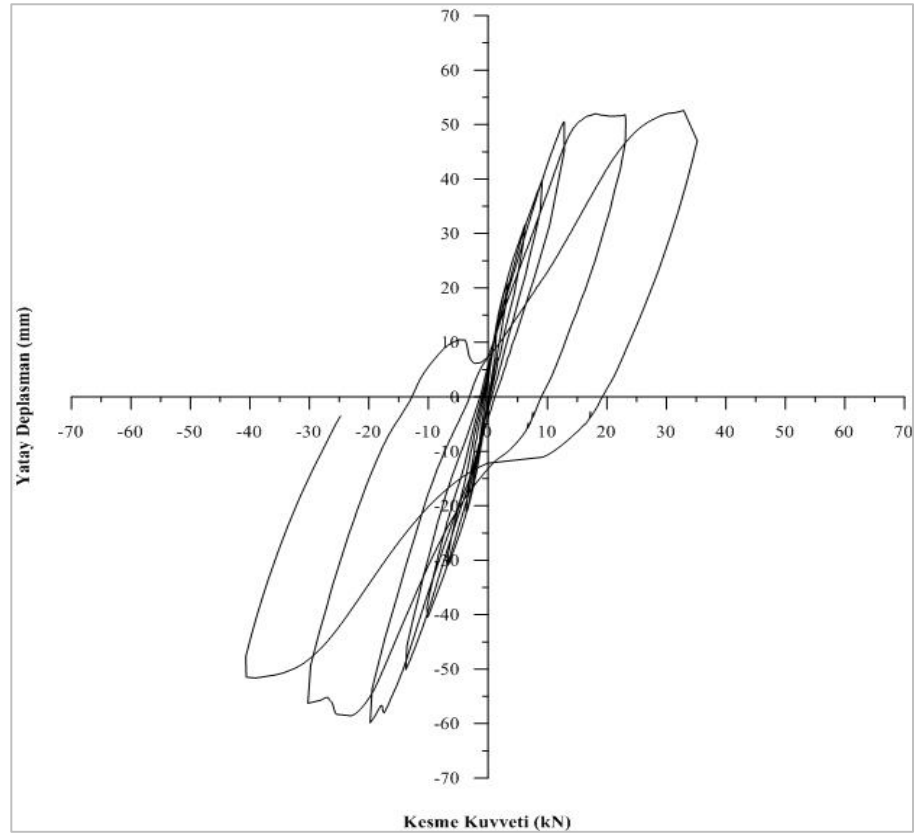
Şekil 4.31 Yükleme öncesi FVB deney elemanı.



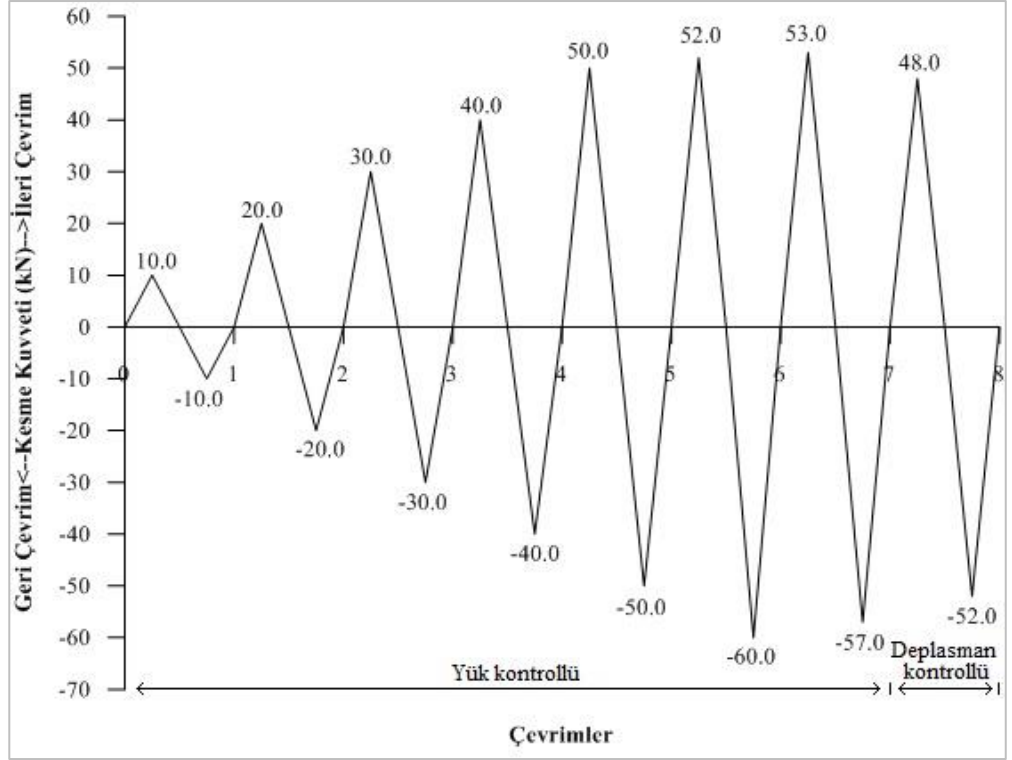
a) Temel pabucunda oluşan çatlaklar

b) Kolon-temel pabucu birleşimindeki çatlaklar

Şekil 4.32 Yükleme sonrası FVB deney elemanı.



Şekil 4.33 FVB deney elemanı kesme kuvveti-yatay deplasman grafiği.



Şekil 4.34 FVB deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği.

4.4.4 KDSVB-1 deneyi

Deney sırasında gözlemlenen önemli sonuçlar, gerçekleştiği çevrim belirtilerek aşağıda özetlenmiştir. Deney elemanına 8 tam yük çevrimi uygulanmıştır.

3. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde 5,46 mm deplasman görülmüş ve yük-deplasman eğrisi elastikliğini korumaktadır. Aynı çevrimin geri yüklemesinde ise maksimum 7,25 mm deplasman görülmüştür.

4. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde 9,89 mm deplasman görülmüştür. Aynı çevrimin geri yüklemesinde ise 13,43 mm deplasman görülmüştür. Bu çevrimde yük-deplasman eğrisinin elastikliğinde bozulmalar başlamıştır.

5. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde kolon gövdesinde kılcal çatlaklar ve temelde ciddi boyutta diyagonal çatlaklar gözlemlenmiştir. Bu çevrimin ileri

yüklemesinde 13,35 mm, aynı çevrimin geri yüklemesinde ise 21,28 mm deplasman görülmüştür.

6. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde donatılardan biri 60,24 kN yük düzeyinde akmıştır ve 16,98 mm deplasman görülmüştür. Bu çevrimin geri yüklemesinde ise 60,13 kN yüke ulaşılmıştır. 27,11 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Geri çevrimde herhangi bir dayanım düşüşü görülmemiştir.

7. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde donatılar tamamı 59,72 kN yük düzeyinde akmıştır, 27,23 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Geri yüklemde ise kolon donatıları 65,25 kN yük düzeyinde akmış ve 31,13 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

8. *çevrim*: Kolon uç deplasmanlarının gözlemlenmesi amacıyla çevrimlere devam edilmiştir. Son olarak ileri yüklemde kolon 56,68 kN yük karşılamış ve 50,47 mm uç deplasman ölçülmüştür. Geri yüklenmesinde ise kolon 47,80 kN yük karşılayabilmiş ve maksimum 62,10 mm deplasman ölçülmüştür. Bu çevrim tamamlandıktan sonra yükleme adımlarına son verilmiştir. Deney sonlandırılmıştır.

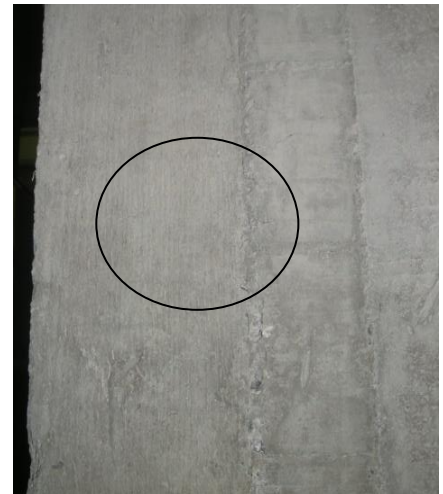
Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da, deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.37'de ve kesme kuvveti-çevrim grafiği Şekil 4.38'de sunulmuştur.



Şekil 4.35 Yükleme öncesi KDSVB-1 deney elemanı.

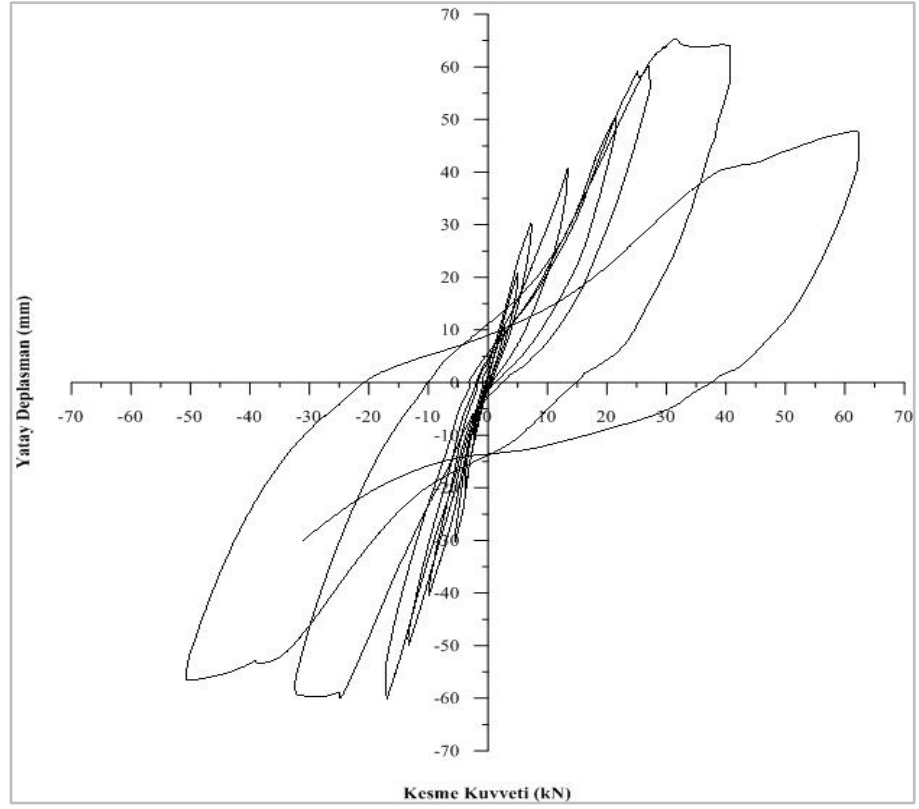


a) Temel pabucunda oluşan çatlaklar

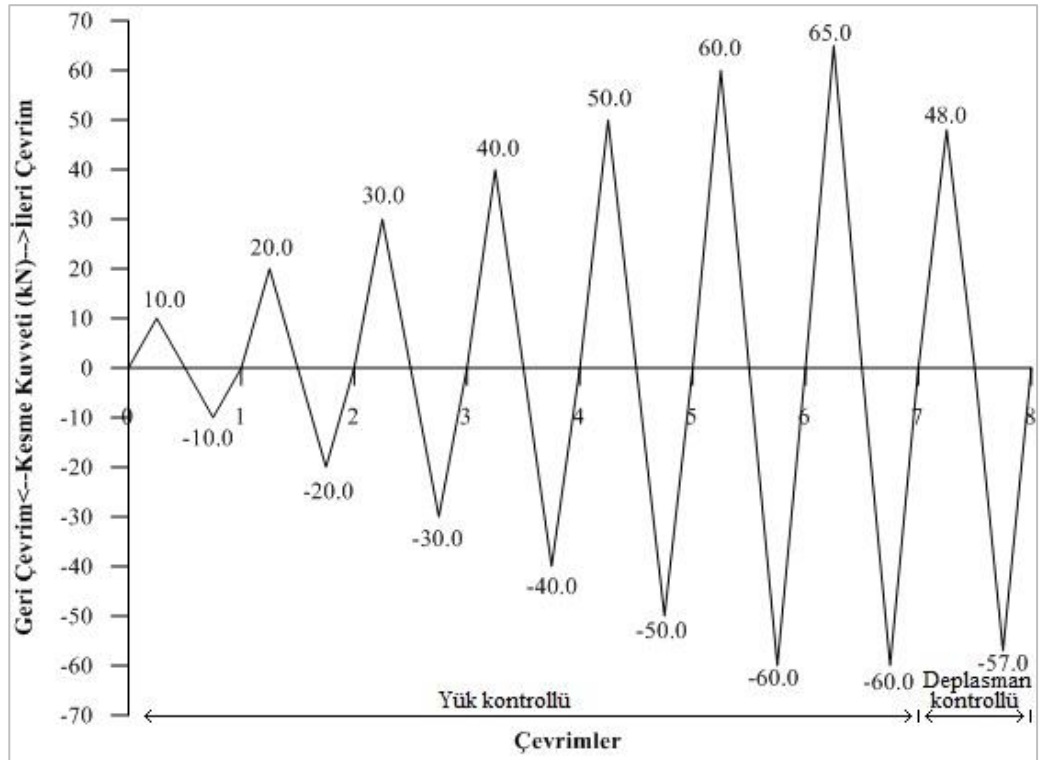


b) Kolonda oluşan çatlaklar

Şekil 4.36 Yükleme sonrası KDSVB-1 deney elemanı.



Şekil 4.37 KDSVB-1 deney elemanı kesme kuvveti-yatay deplasman grafiği.



Şekil 4.38 KDSVB-1 deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği.

4.4.5 CLAS deneyi

Deney sırasında gözlemlenen önemli sonuçlar, gerçekleştiği çevrim belirtilerek aşağıda özetlenmiştir. Deney elemanına 8 tam yük çevrimi uygulanmıştır.

3. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde 5,94 mm deplasman görülmüştür. Aynı çevrimin geri yüklemesinde ise maksimum 16,47 mm deplasman görülmüştür.

4. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde 7,89 mm deplasman görülmüştür. Aynı çevrimin geri yüklemesinde ise 20,67 mm deplasman görülmüştür. Bu çevrimde yük-deplasman eğrisinin elastikliğinde bozulmalar başlamıştır.

5. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde temelde ciddi boyutta diyagonal çatlaklar gözlemlenmiştir. Bu çevrimin ileri yüklemesinde 11,38 mm, aynı çevrimin geri yüklemesinde ise 25,56 mm deplasman görülmüştür.

6. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde 16,62 mm deplasman ölçülmüştür. Bu çevrimin geri yüklemesinde ise dayanım 60 kN'a ulaşmadan donatılar akmıştır. Kolon 58,76 kN yük karşılayabilmiş ve 34,49 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

7. *çevrim*: Bu çevrimin ileri yüklemesinde donatılar 60,01 kN yük düzeyinde akmış ve 20,04 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür. Geri yüklemede ise kolon donatıları 45,93 kN yük karşılayabilmiş ve 48,92 mm kolon uç deplasmanı ölçülmüştür.

8. *çevrim*: Kolon uç deplasmanlarının gözlemlenmesi amacıyla çevrimlere devam edilmiştir. Son olarak ileri yüklemede kolon 57,82 kN yük karşılamış ve 50,16 mm uç deplasman ölçülmüştür. Geri yüklenmesinde ise kolon 31,74 kN yük karşılayabilmiş ve maksimum 80,39 mm deplasman ölçülmüştür. Bu çevrim tamamlandıktan sonra yükleme adımlarına son verilmiştir. Deney sonlandırılmıştır.

Deney elemanına ait yükleme öncesi ve sonrası fotoğraflar Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da, deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.41’de ve kesme kuvveti-çevrim grafiği Şekil 4.42’de sunulmuştur.



Şekil 4.39 Yükleme öncesi CLAS deney elemanı.

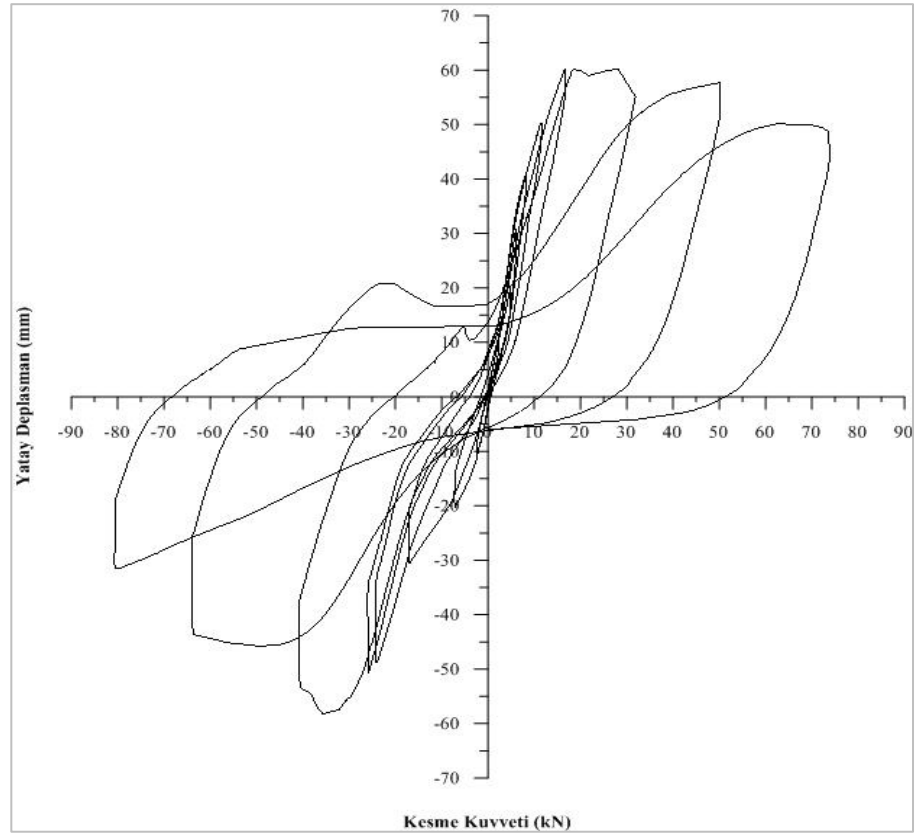


a) Temel pabucunda oluşan çatlaklar

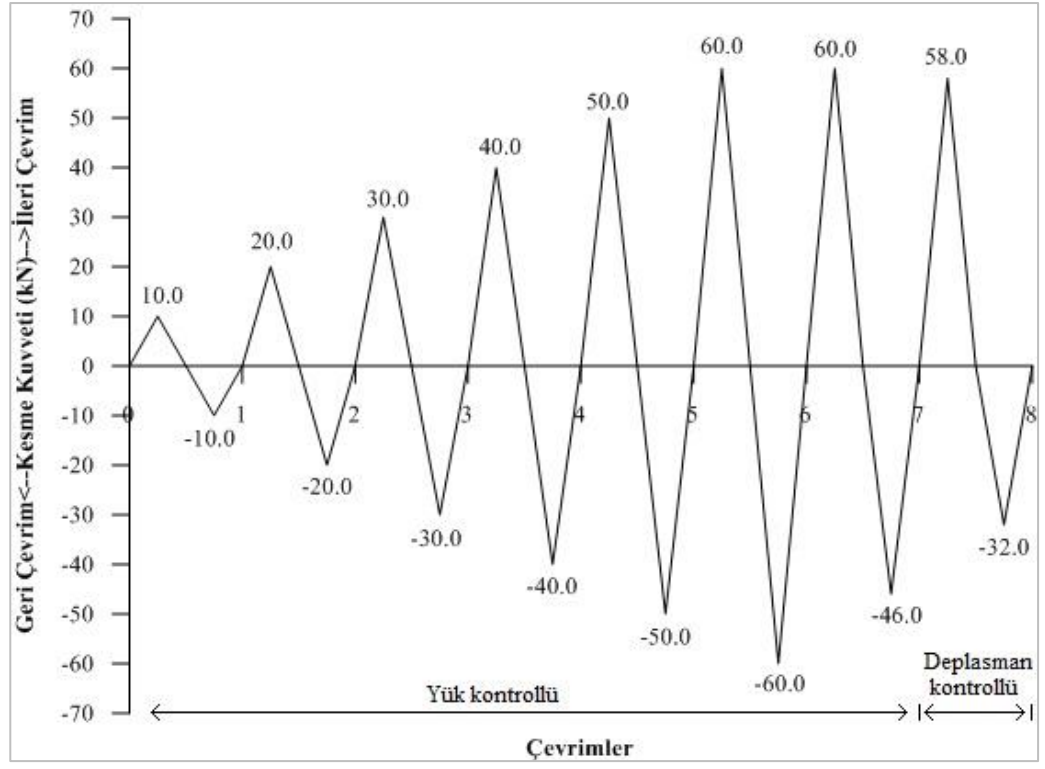


b) Kolon-temel pabucu birleşimindeki çatlaklar

Şekil 4.40 Yükleme sonrası CLAS deney elemanı.



Şekil 4.41 CLAS deney elemanı kesme kuvveti-yatay deplasman grafiği.



Şekil 4.42 CLAS deney elemanı kesme kuvveti-çevrim grafiği.

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney elemanlarının teorik hesabı, SectionBuilder programı ile modelleme ve analizi ve akustik emisyon analizi yapılacaktır. Hesap ve analiz sonuçları karşılaştırılacaktır. Ardından deney elemanlarının göstermiş oldukları davranışlar; dayanım, süneklik enerji tüketimi ve rijitlik başlıkları altında incelenmiştir. Uygulanan güçlendirme yöntemlerindeki farklılıklardan dolayı oluşan kayıp ve kazançlar yorumlanacaktır.

5.1 Deney Elemanlarının Teorik Dayanım Hesapları ve SectionBuilder Programı ile Modelleme ve Analiz Sonuçları

5.1.1 Deney elemanlarının teorik dayanım hesapları

Kolonların basit eğilmeye göre M_d eğilme momenti, V_r hesabına göre de kesme dayanımı hesaplanmıştır.

Boyuna donatının aktığı kabulüyle M_d aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_d = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot k_1 \cdot c \left(d - k_1 \frac{c}{2} \right) = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - k_1 \frac{c}{2} \right) \quad (4.1)$$

Kolonların hepsinde C35 kalitesinde beton, S420 (BÇIII) boyuna donatı kullanılmıştır. Bu nedenle f_{cd} ve f_{yd} değerleri aşağıdaki gibi alınır.

$$f_{cd} = 233 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yd} = 3650 \text{ kg/cm}^2$$

Güçlendirme öncesindeki boyuna donatılarla birlikte toplam boyuna donatı kesit alanı A_s aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_s = \frac{\pi r^2}{4} \quad (4.2)$$

$$\sum A_s = 5 \times \frac{\pi 14^2}{4} + 4 \times \frac{\pi 8^2}{4} = 9,71 \text{ cm}^2$$

Enine donatılar ise kesme hesabı yapılacak olan bölgede Ø8/20 düzeninde yerleştirilmiştir. M_d değerini hesaplamak için $k_1.c$ değerinin bilinmesi gerekir. Bu nedenle $k_1.c$ değeri denklem (4.1)'e göre hesaplanır.

$$0,85.233.40. k_1. c = 9,71.3650$$

$$k_1. c = 4,473 \text{ cm}$$

Bulunan değerler denklem (4.1) de yerine yazıldığında M_d değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_d = 0,85.233.40.4,473. \left(35 - \frac{4,473}{2} \right) = 11,61 \text{ tm}$$

$$M_d = 11,61 \times 9,80665 = 113,86 \text{ kNm}$$

Kesitin güvenlikle taşıyabileceği kesme kuvveti V_r ise;

Betonun karşılayabileceği kesme kuvveti V_c denklem (4.3)'teki gibi hesaplanır.

$$V_{cr} = 0,65. f_{ctd}. b. d = 0,65.1,35.0,40.0,35 = 122,85 \text{ kN} \quad (4.3)$$

$$V_c = 0,8. V_{cr} = 0,8.122,85 = 98,28 \text{ kN}$$

Kayma donatısı olarak, yalnız çift kollu etriye kullanıldığı için $A_{sw}=2.A_0$; $\alpha=90^\circ$; $\sin\alpha=1$; $\cos\alpha=0$ alınmıştır. Kayma donatısının karşılayabileceği kesme kuvveti V_w denklem (4.4)'teki gibi hesaplanır.

$$V_w = A_{sw}. f_{ywd}. (\sin \alpha + \cos \alpha). \frac{d}{s} = 2.0,50.36,5.1. \frac{35}{20} = 63,88 \text{ kN} \quad (4.4)$$

$$V_r = V_c + V_w = 98,28 + 63,88 = 162,16 \text{ kN} \quad (4.5)$$

Sonuç olarak hesaplar karşılaştırılırsa;

113,86 kNm olarak bulunan eğilme momentini oluşturacak yatay yük F_{Md} ;

$$F_{Md} = \frac{113,86}{h} = \frac{113,86}{2} = 56,93 \text{ kN}$$

$$V_r = 162,16 \text{ kN}$$

$$M_d < V_r$$

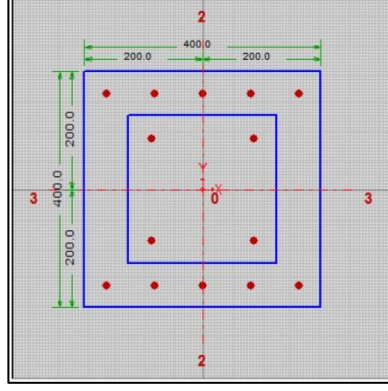
$F_{Md} < V_r$ olduğundan 5 kolonun da kesmeden değil eğilmeden göçmesi ve ortalama 56,93 kN'luk yatay yüke ulaşması beklenmektedir.

5.1.2 SectionBuilder programı ile modelleme ve analiz sonuçları

Elemanın bilgisayar ortamında 3 boyutlu modellenmesinde SectionBuilder v8.1 programı kullanılmıştır. Aşağıdaki çizelgeler de (Çizelge 5.1-5.8) modellemede kullanılan veriler sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5.1'de Elemanın 2 boyutlu matematik modeli verilmiştir.

Çizelge 5.1 Kesit özellikleri.

Number of Shapes	= 2		Equivalent Properties:		
Total Width	= 400.00	mm	Area, A	= 1.69E+05	mm ²
Total Height	= 400.00	mm	Inertia, I33	= 2.40E+09	mm ⁴
Center, Xo	= 0.00	mm	Inertia, I22	= 2.40E+09	mm ⁴
Center, Yo	= 0.00	mm	Inertia, I32	= 0.00E+00	mm ⁴
X-bar (Right)	= 200.00	mm	Torsional, J	= <No Calc.>	
X-bar (Left)	= 200.00	mm	Principal Angle	= 0.00E+00	Deg
Y-bar (Top)	= 200.00	mm	Inertia, I33'	= 2.40E+09	mm ⁴
Y-bar (Bot)	= 200.00	mm	Inertia, I22'	= 2.40E+09	mm ⁴
Modulus, S3(Top)	= 1.20E+07	mm ³	Plastic Modulus, Z3	= <No Calc.>	
Modulus, S3(Bot)	= 1.20E+07	mm ³	Plastic Modulus, Z2	= <No Calc.>	
Modulus, S2(Left)	= 1.20E+07	mm ³	Shear Area, A3	= <No Calc.>	
Modulus, S2(Right)	= 1.20E+07	mm ³	Shear Area, A2	= <No Calc.>	
Radius, r3	= 119.18	mm			
Radius, r2	= 119.18	mm			



Şekil 5.1 Elemanın 2 boyutlu matematik modeli.

Çizelge 5.2 Kutu kesitin malzeme özellikleri.

Main Material	= Concrete
Sub Material	= $f_c' = 35 \text{ N/mm}^2$
Modulus E	= $2.80\text{E}+04 \text{ N/mm}^2$
Rebars	= 10-d 14

Çizelge 5.3 Kutu kesitin boyutları.

Sr.No	Dimension	Value	Unit
1	Dim-t2	400.00	mm
2	Dim-tw	75.00	mm
3	Dim-t3	400.00	mm
4	Dim-tf	75.00	mm

Çizelge 5.4’de numunede kullanılan boyuna donatıların koordinatları verilmiştir. Bu koordinatlar Şekil 5.1’e göre sol-alt köşesindeki donatıya göre yazılmaya başlanmıştır.

Çizelge 5.4 Kutu kesit deki boyuna donatıların koordinatları.

Sr.No	Designation	Cord-X	Cord-Y
1	d 14	38.10	38.10
2	d 14	38.10	361.90
3	d 14	361.90	361.90
4	d 14	361.90	38.10
5	d 14	119.05	361.90
6	d 14	200.00	361.90
7	d 14	280.95	361.90
8	d 14	280.95	38.10
9	d 14	200.00	38.10
10	d 14	119.05	38.10
10- d14 Total Area =		1,540.00	mm ²

Çizelge 5.5 Çekirdek kesitin malzeme özellikleri.

Main Material	= Concrete
Sub Material	= $f_c' = 20 \text{ N/mm}^2$
Modulus E	= $2.10\text{E}+04 \text{ N/mm}^2$
Rebars	= 4-d8

Çizelge 5.6 Çekirdek kesitin boyutları.

Sr.No	Dimension	Value	Unit
1	Dim-b	250.00	mm
2	Dim-h	250.00	mm

Çizelge 5.7’de çekirdek kesit de kullanılan boyuna donatıların koordinatları verilmiştir. Bu koordinatlar Şekil 5.1’e göre sol-alt köşesindeki donatıya göre yazılmaya başlanmıştır.

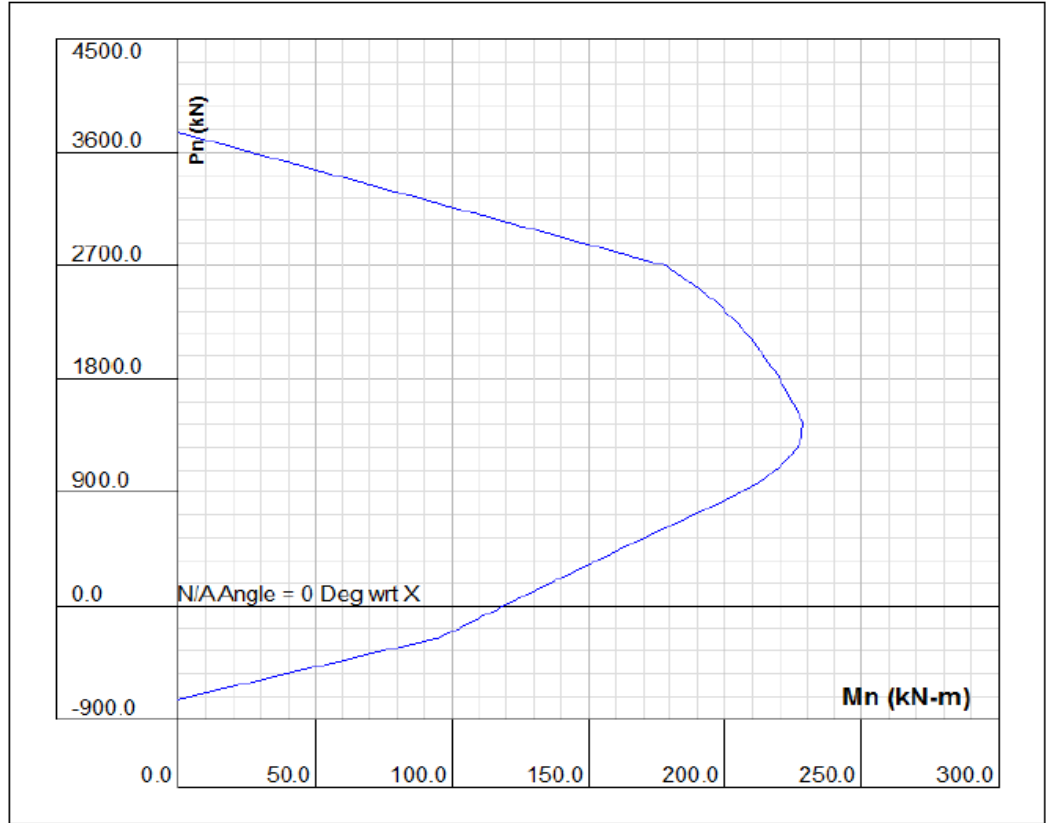
Çizelge 5.7 Çekirdek kesit deki boyuna donatıların koordinatları.

Sr.No	Designation	Cord-X	Cord-Y
1	d 8	38.10	38.10
2	d 8	38.10	211.90
3	d 8	211.90	211.90
4	d 8	211.90	38.10
Total Area =		201.00	mm ²

Çizelge 5.8 Kesitlerin temel özellikleri.

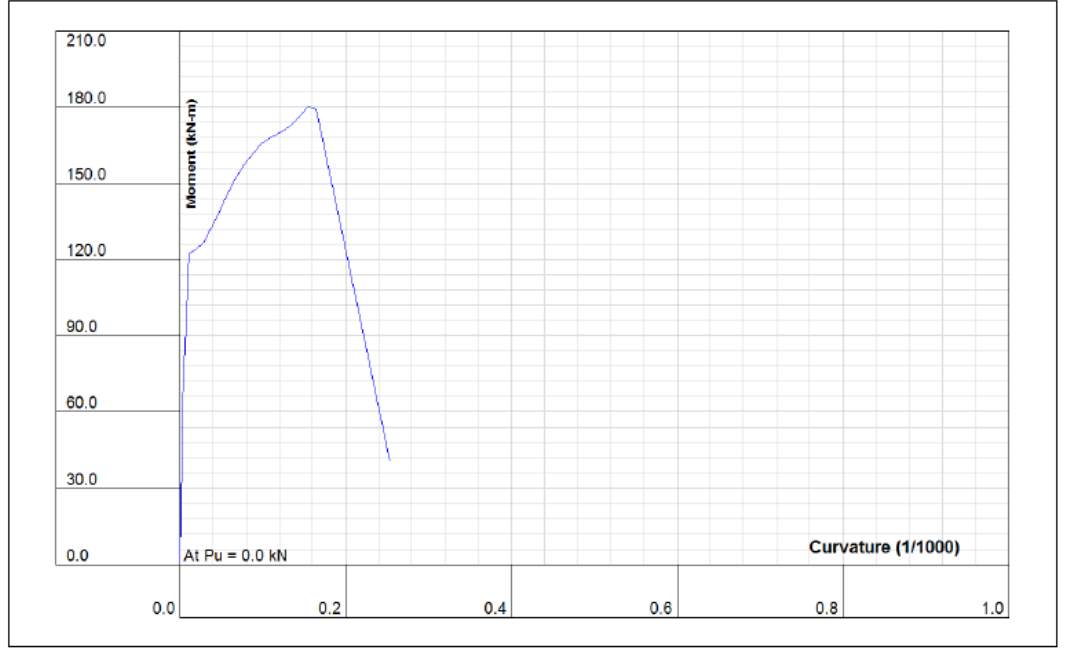
Sr.No	Shape	Modular Ratio	Width mm	Height mm	Xo mm	Yo mm	A mm ²	I33 mm ⁴	I22 mm ⁴
1	Box Shape	1.17	400.00	400.00	0.00	0.00	1.14E+05	2.12E+09	2.12E+09
2	Rectangular Shape	0.88	250.00	250.00	0.00	0.00	5.50E+04	2.86E+08	2.86E+08

Yapılan analiz sonucunda elde edilen P-M etkileşim diyagramı Şekil 5.2’de verilmiştir. P-M diyagramına göre, eksenel yükün olduğu durumda, elemanın maksimum taşıyabildiği eğilme momenti 227,6 kNm karşılık 1449,4 kN’luk eksenel yüklemeye denk gelmektedir.



Şekil 5.2 P-M etkileşim diyagramı.

Analiz sonucunda elde edilen Moment-eğrilik diyagramı Şekil 5.3’de verilmiştir. Moment-eğrilik diyagramına göre, akma momenti 122,21 kNm karşılık akma eğriliği 0,00001 rad/m olarak hesaplanmıştır. Moment-Eğrilik diyagramına göre, maksimum moment 180,15 kNm ve maksimum eğrilik 0,00025 rad/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.3 Moment-eğrilik diyagramı.

Teorik hesap ve SectionBuilder programı ile yapılan analiz sonuçları sırasıyla 113,86 kNm ve 122,21 kNm olarak bulunmuştur. Bulunan bu veriler sonucunda ortalama 118,04 kNm’lik bir eğilme momentini işaret etmektedir. Bu da deney elemanlarının 59,02 kN’luk yatay yüke ulaşması gerektiğini göstermektedir. Deney sonucunda güçlendirilmiş numunelerde ortalama 58,56 kN yatay yük ölçülmüştür.

5.2 Deney Sonuçlarının Dayanım, Süneklik, Enerji Tüketimi ve Rijitlik Açısından Değerlendirilmesi

5.2.1 Dayanım ve Süneklik

Dayanım, güçlendirme yöntemi ile elde edilen katkının değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Çalışmada deney elemanlarının kesme dayanımlarını değerlendirmek için, deney sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri kullanılmıştır.

Maheri et al. (2003), tarafından deney elemanında akmanın yaşandığı deplasman, Δ_y olarak tanımlanmıştır. Deney esnasında kaydedilen azami yüke

karşılık gelen deplasman ise Δ_u olarak tanımlanmıştır. Δ_{max} , olarak tanımlanan deney elemanının göçtüğü varsayılan aşama için ATC 40 (1996) ve Sözen (1987) kriterleri benimsenmiştir. ATC 40 (1996), betonarme çerçeve türü bir yapının göçme noktasını kat ötelenme oranının %1,5 değerine ulaşıldığı aşama biçiminde tanımlamıştır. Sözen (1987) ise, yapıda göçmenin gerçekleştiği noktayı yatay yük taşıma kapasitesinde meydana gelen %15'lik düşüşün gözlemlendiği nokta olarak tanımlamaktadır. Bu esasa, bu bölümdeki göçme noktası tanımı için yapılan varsayım, Sözen (1987) kriteri olacaktır. Bir başka deyişle, göçme anındaki deplasman deney elemanının yatay yük kapasitesinde %15 oranında azalmanın meydana geldiği deplasman olarak kabul edilmiştir ve değerler Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9 Deney sonuçlarının özeti.

Deney Elemanı	Akma Yüğü (kN)	Δ_y (mm)	Azami Yüğü (kN)	Δ_u (kN)	Δ_{max} (mm)	Süneklik Oranı
KDFVB	57,49	17,71	60,03	24,22	39,92	1,65
KDSVB	58,11	17,13	63,97	28,30	42,71	1,52
FVB	58,18	17,53	60,00	23,70	39,07	1,65
KDSVB-1	60,24	16,98	65,25	31,13	50,20	1,61
CLAS	58,76	17,02	60,01	20,04	32,93	1,65

Çizelge 5.9 iki açıdan yorumlanacaktır. Öncelikle kolonların güçlendirilmeden önceki dayanım değerleri ile betonarme mantolamayla güçlendirme sonrası elde edilen dayanım değerleri, sonrasında ise FVB referans alınarak güçlendirme aşamasında kullanılan farklı yöntemler karşılaştırılacaktır.

Güçlendirme öncesi yapılan tez çalışmasındaki referans numunesi 11,28 kN yatay yük değerinde göçmüştür. Çizelge 5.9'dan da görüldüğü gibi göçmüş olan kolonların güçlendirme sonrası yaklaşık 5 kat dayanım artışı ile birlikte kesmeden değil eğilmeden göçtüğü gözlemlenmiştir. Elde edilen 5 kat dayanım artışı ise betonarme mantolamayla güçlendirme yönteminin kesme dayanımına önemli oranda etki ettiğini göstermektedir. Kolon kesitlerinde fazla çatlama görülmemiş

olmasının yanında tüm elemanlarda boyuna donatıların aktığı anlaşılmıştır. Güçlendirilmiş kolonların eğilmeden göçmesi durumu, kolonların öncelikle sünek eleman kuralına uygunluğunu göstermektedir. Sünek davranış gösteren bu güçlendirilmiş elemanların süneklik oranları ise yaklaşık 1,60 civarındadır. Bu durum ise kolonların enerji tüketme kapasitelerinin önemli değerlerde olduğunu göstermektedir.

Deney elemanları arasında maksimum deplasman değerlerine bakılarak bir karşılaştırma yapılacak olursa KDSVB-1'in diğer elemanlara göre daha çok deplasman yapma eğiliminde olduğu görülmüştür. Buradan sık etriye parametresinin enerji tüketme kapasitesindeki artışta önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın boyuna donatıların sürekli olması veya ankrajsız kolon tasarlanmış olması maksimum deplasmanı olumlu yönde etkilememekte hatta azaltmaktadır.

Akma yükü değerleri karşılaştırıldığında yine KDSVB-1'in en yüksek değeri verdiği görülmektedir. Sık etriye parametresinin elemanın yük taşıma kapasitesine olan katkısı da burada anlaşılmaktadır. KDFVB, akma değerleri karşılaştırıldığında en düşük dayanımı göstermiştir. Burada ankrajların nihai ve yorulma dayanımlarındaki etkisi anlaşılmaktadır. KDSVB'nin akma değeri, FVB'den çok da farklı değildir. CLAS elemanında çelik lif kullanılmıştır. Çelik lifler elemanda çatlak oluşumu esnasında kesme dayanımına katkıda bulunmaktadır. CLAS elemanında küçük kılcak çatlaklar oluşumu hariç başka çatlak oluşmamıştır ve akma yükünün diğer kolonlara benzer çıkmasına neden olmuştur.

Kolonlarda görülen maksimum yük değerleri karşılaştırılırsa sürekli boyuna donatıyla güçlendirilmiş olan KDSVB-1 elemanı en yüksek dayanıma ulaştığı görülmüştür. Bunun yanında kolonun ankrajsız tasarlanması ulaşılan maksimum dayanımı azaltmıştır. Diğer elemanlar da ise ulaşılan maksimum dayanımda olumlu ya da olumsuz bir etki göstermemiştir.

5.2.2 Enerji Tüketimi

Tüketilen enerji, deney elemanına uygulanan her bir yük çevrimi sonucunda çizilmiş olan yük-deplasman eğrisinin kapattığı alanın hesaplanması ile elde edilmiştir. Deney elemanlarının enerji tüketimi, her çevrimde tüketilen enerjinin birikimli olarak (toplam 8 çevrim) toplanması ile hesaplanmıştır. Deney elemanının tükettiği enerji ile deneyde uygulanan yük-çevrim geçmişi arasında güçlü bir sebep-sonuç ilişkisi vardır. Bundan dolayı deney elemanları özdeş yük-çevrim geçmişi uygulanarak test edilmiştir.

Deneylerin deplasman kontrollü aşamasında, deney elemanlarına özdeş yatay deplasman artırımının uygulanmasına özen gösterilmiştir. Birikimli enerji tüketimleri deney elemanı göçme yüküne ulaşmaya kadar olan bölge için hesaplanmıştır. Göçme yükü, taşıma gücünde %15'lik yük kaybının yaşandığı ve deney elemanın göçtüğü varsayılan yük seviyesidir. Deney elemanlarının göçme yüküne ulaştıkları aşamaya kadar birikimli enerji tüketimleri Çizelge 5.10'da sunulmuştur.

Çizelge 5.10 Deney elemanlarının birikimli enerji tüketimleri.

Deney Elemanı	Birikimli Enerji Tüketimi (kNmm)	$\frac{\text{Bir. En. Tük.}_{\text{Güçlendirme}}}{\text{Bir. En. Tük.}_{\text{Referans}}}$
KDFVB	9250	1,19
KDSVB	8200	1,05
FVB	7800	1,00
KDSVB-1	10500	1,35
CLAS	9500	1,22

Deney programında en az enerjiyi FVB tüketmiştir. FVB referans alındığında KDSVB-1'te en büyük enerji tüketimi görülmektedir. Bu durumu nedeni olarak etriye sıkılaştırma gösterilebilir. KDSVB'de birikimli enerji tüketiminin referans alınan deney elemanına göre çok az farklılık göstermesi, sürekli boyuna donatıların enerji tüketiminde büyük bir etkisinin olmadığı

anlaşılmaktadır. KDSVB’de birikimli enerji tüketiminin KDFVB’e göre daha az olması ankrajların enerji tüketimine büyük bir etkisi olmadığını göstermektedir. CLAS’da birikimli enerji tüketiminin KDFVB deney elemanına göre çok az farklılık göstermesi, çelik liflerin enerji tüketiminde büyük bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. KDFVB, KDSVB-1 ve CLAS elemanlarında ortalama %25 daha fazla enerji tüketimi sağlanmıştır.

5.2.3 Rijitlik

Deney elemanlarının rijitlikleri yatay yük–deplasman grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Rijitlikler başlangıç ve maksimum yük düzeyinde hesaplanmıştır. Maksimum yük düzeyindeki rijitlik, maksimum yük düzeyindeki noktanın grafiğin orijinine birleştirilmesi ile elde edilen doğrunun eğimidir.

Maksimum yük düzeyindeki rijitlik deney elemanına uygulanan yüklemelere bakılarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.11’de deney elemanlarının başlangıç ve maksimum yük noktasındaki rijitlikleri ve güçlendirilen elemanların rijitliklerinin, referans deney elemanının rijitliklerine oranları da verilmiştir.

Çizelge 5.11 Deney elemanlarının rijitlik değerleri.

Deney Elemanı	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Maksimum Yük Noktasındaki Rijitlik (kN/mm)	Ortalama $\left(\frac{K_{Güçlendirme}}{K_{Referans}}\right)$ oranı	
			Başlangıç	Maksimum Yük
KDFVB	3,25	1,51	0,98	0,98
KDSVB	3,39	1,50	1,02	0,97
FVB	3,32	1,54	-	-
KDSVB-1	3,55	2,09	1,07	1,35
CLAS	3,45	1,82	1,04	1,18

Referans deney elemanının başlangıç rijitliği 3,32 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği 1,54 kN/mm’dir. Deney programındaki en büyük başlangıç rijitliği 3,55 kN/mm, KDSVB-1’e aittir. KDSVB-1, maksimum yük noktasındaki rijitlik

bakımından, güçlendirilen deney elemanları arasında 2,09 kN/mm'lik rijitlik değeriyle en başarılısı olmuştur. Diğer 3 deney elemanının başlangıç rijitlikleri yaklaşık olarak 3,20-3,40 kN/mm aralığında yoğunlaşmıştır.

Kayma donatısı ile güçlendirilmiş KDFVB, KDSVB ve CLAS'a ait başlangıç rijitliği, referans numuneyle hemen hemen aynı çıkmıştır. Ancak kayma donatısı ve etriye sıklaştırması yapılan KDSVB-1 deney elemanı referans elemanına göre %7'lik başlangıç dayanımında artış yaşamıştır.

Maksimum yük düzeyinden sonra ise, referans numuneyle kıyasla KDSVB-1'de yaklaşık olarak %35, CLAS'da ise yaklaşık olarak %18'lik rijitlik artışı göstermiştir. Uygulanmış olan güçlendirme biçimi, KDSVB-1 ve CLAS'da maksimum yük düzeyindeki rijitliklerinin önemli bir ölçüde artmasını sağlamıştır. KDSVB-1 elemanın da maksimum yük düzeyindeki rijitliğinin artışının sebebi etriye sıklaştırmasıdır. CLAS elemanında maksimum yük düzeyindeki rijitliğinin artışının sebebi beton da kullanılan çelik liflerdir. Referans numune ile karşılaştırıldığında KDFVB ve KDSVB elemanların da uygulanan güçlendirme yöntemi hemen hemen fark yaratacak derecede katkı yapmamıştır. Referans numune ve KDSVB karşılaştırıldığında ise boyuna donatının sürekli ya da filizli olması başlangıç rijitliğine sadece %2'lik katkıda bulunmuştur. Aynı durumu kayma donatısı eklenmiş, KDFVB ve KDSVB numunelerinde de görülmektedir. KDSVB numunesinde boyuna donatının sürekli olması, KDFVB numunesinde ki filizli boyuna donatıya göre %4 artış sağlamıştır. KDSVB ve KDSVB-1 elemanları karşılaştırıldığında ise etriye sıklaştırmasının ne kadar etkili olduğu görülmektedir.

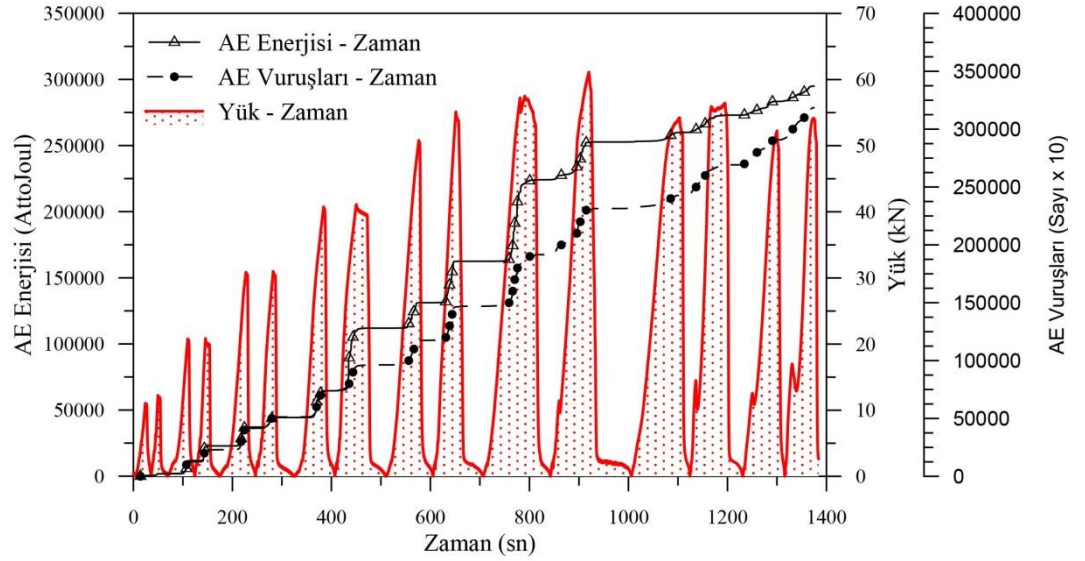
5.3 AE Deney Sonuçları ve AE Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

Güçlendirilmiş elemanlar üzerine etkiyen kesme kuvveti, gerçekleştirilen deneyle zamana karşı toplam AE sayısı ve AE enerjisi değerleri eş zamanlı olarak test sırasında elde edilmiştir. Değerlendirme aşamasında, yüklemeler de uygulanan gerilmeye karşılık gelen AE sayısı ve AE enerjisinin seviyeleri karşılaştırılmıştır. Deney esnasında uygulanan itme ve çekme yük değerleri pozitif

(+) olacak şekilde tekrar düzenlenmiştir. Böylece aynı yük seviyesindeki AE verilerini okumak çok daha kolaylaşmıştır.

5.3.1 KDFVB elemanının AE deney sonuçları

KDFVB elemanın ait deney sırasında elde edilen; zamana karşı yük, AE sayısı ve AE enerjisi Şekil 5.4’de verilmiştir.



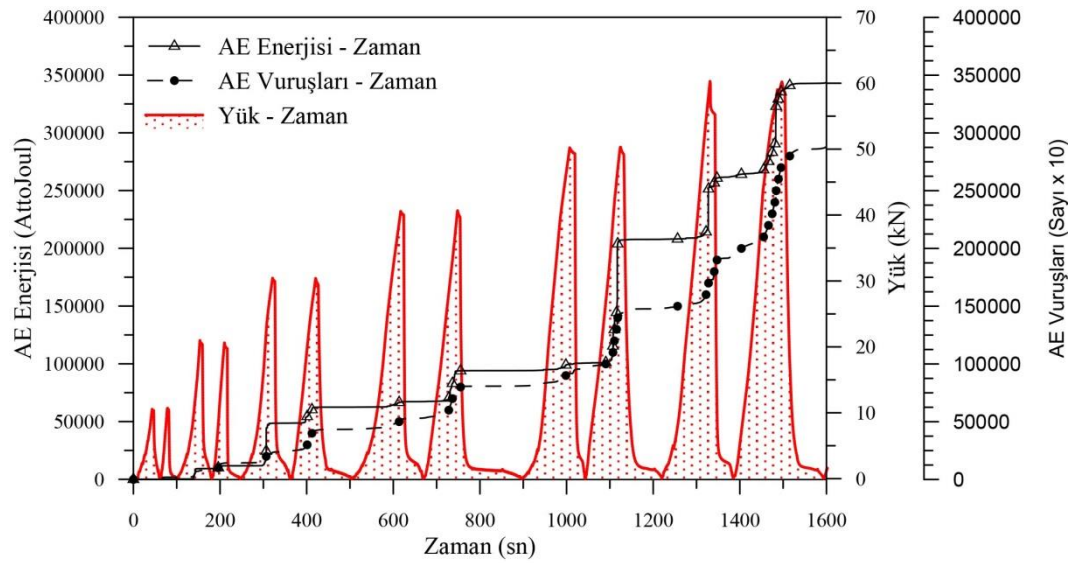
Şekil 5.4 KDFVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği.

Deney elemanında ilk 3 yüklemenin ileri ve geri çevrimi esnasında az miktarda AE aktivitesi görülmüştür. Bu yük aşamalarında AE aktivitesinin düşük olmasının sebebi, çok sayıda çatlak ilerlemesi/gelişimi için yeterli büyüklükte gerilmenin etkisinde olmadığını göstermektedir. AE enerjisi bu yüklemeler de AE aktivitesiyle paralel devam etmiştir. 4 ve 5’inci yüklemelerin ileri ve geri çevriminde AE aktivitesinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi deney elemanında yeni çatlakların ilerlemesi/gelişmesi ve yükleme eksenine küçük açılarda konumlanmış çatlakların açılması ile ilgilidir. AE enerjisi özellikle 4 ve 5’inci yüklemelerin ileri ve geri çevriminde AE aktivitesiyle paralel olmaktan çıkarak ani sıçramalar yapmıştır ve sonraki yükleme adımlarında aynı davranışı sergilemeye devam etmiştir. 6’ıncı yüklemenin ileri ve geri çevrim esnasında ise deney elemanı eğilme dayanımı kapasitesine yaklaşmış ve AE aktivitesinde çok hızlı bir yükseliş göstermesine neden olmuştur. AE enerjisindeki ve AE

vuruşundaki ani artışlar kolonun rijitliğinin azalmaya başlamasıyla aynı zamana denk gelmektedir. Ayrıca çatlaklar arası etkileşim artmaya başlamıştır. Sonraki yükleme adımlarında deney elemanı daha fazla yük alamadığından AE aktivitesi ve AE enerjisi daha düşük seviyede ama artışını sürdürmüştür.

5.3.2 KDSVB elemanının AE deney sonuçları

KDSVB elemanın ait deney sırasında elde edilen; zamana karşı yük, AE sayısı ve AE enerjisi Şekil 5.5’de verilmiştir.



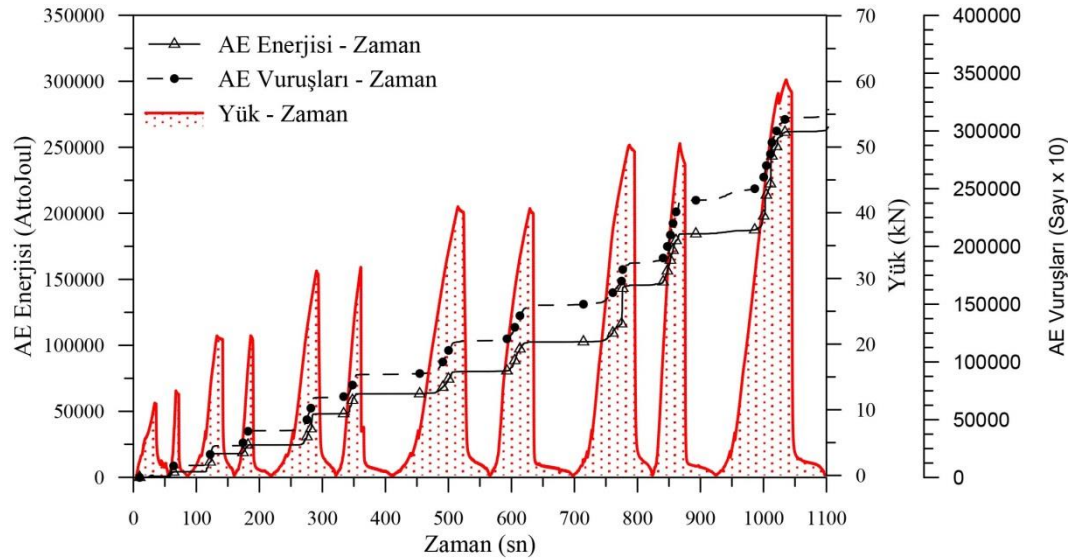
Şekil 5.5 KDSVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği.

Deney elemanında ilk yüklemenin ileri ve geri çevrimin de AE enerjisi ve AE aktivitesi yok denecek kadar azdır. 2, 3 ve 4’üncü yüklemelerin ileri ve geri çevrimlerinde ve 5’inci yüklemenin ileri çevrimi esnasında az miktarda AE aktivitesi görülmüştür. Bu yük aşamalarında AE aktivitesinin düşük olmasının sebebi, çok sayıda çatlak ilerlemesi/gelişimi için yeterli büyüklükte gerilmenin etkisinde olmadığını göstermektedir. AE enerjisi bu yüklemeler de AE aktivitesiyle paralel devam etmiştir. 5’inci yüklemenin geri çevriminde AE aktivitesinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi deney elemanında yeni çatlakların ilerlemesi/gelişmesi ve yükleme eksenine küçük açılarda konumlanmış çatlakların açılması ile ilgilidir. AE enerjisi özellikle bu yüklemelerde AE aktivitesiyle paralel olmaktan çıkarak ani sıçramalar yapmıştır ve sonraki

yüklemelerde aynı davranışı sergilemeye devam etmiştir. Kolonun rijitliğinin azalmaya başladığı bu yüklemde AE enerjisi ve AE vuruş sayısındaki ani artış kaydetmiştir. 6'ncı yüklemenin ileri ve geri çevriminde ise deney elemanı eğilme dayanımı kapasitesine yaklaşmış ve AE aktivitesinde çok hızlı bir yükseliş göstermesine neden olmuştur. Ayrıca çatlaklar arası etkileşim artmaya başlamıştır.

5.3.3 FVB elemanının AE deney sonuçları

FVB elemanın ait deney sırasında elde edilen; zamana karşı yük, AE sayısı ve AE enerjisi Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 FVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği.

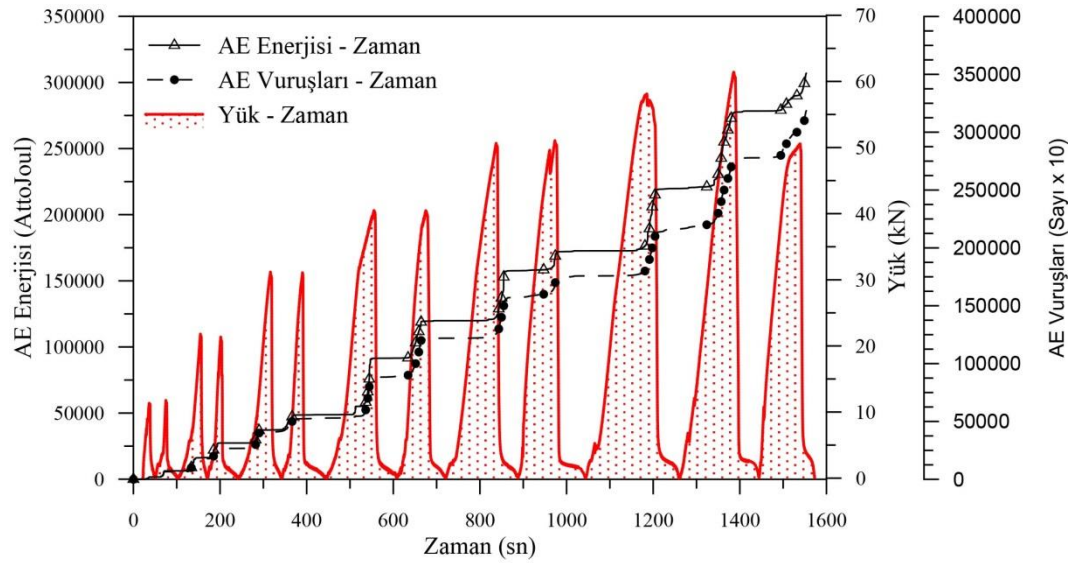
Deney elemanında ilk yüklemenin ileri ve geri çevriminde de AE enerjisi ve AE aktivitesi yok denecek kadar azdır. 2 ve 3'üncü yüklemelerin ileri ve geri çevrimlerinde ve 4'üncü yüklemenin ileri çevrimi esnasında az miktarda AE aktivitesi görülmüştür. Bu yük aşamalarında AE aktivitesinin düşük olmasının sebebi, çok sayıda çatlak ilerlemesi/gelişimi için yeterli büyüklükte gerilmenin etkisinde olmadığını göstermektedir. AE enerjisi bu yüklemelerde AE aktivitesiyle paralel devam etmiştir. 4'üncü yüklemenin geri çevrimi ve 5'inci yüklemenin ileri çevriminde AE aktivitesinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi deney elemanında yeni çatlakların ilerlemesi/gelişmesi ve yüklemeye eksenine küçük açılarda konumlanmış çatlakların açılması ile ilgilidir. 5'inci

yüklemenin geri çevrimi ve 6'ncı yüklemenin ileri çevriminde ise deney elemanı eğilme dayanımı kapasitesine yaklaşmış ve AE aktivitesinde çok hızlı bir yükseliş göstermesine neden olmuştur. Ayrıca çatlaklar arası etkileşim artmaya başlamıştır. Kolonun rijitliğinin azalmaya başladığı bu yüklemeler de AE enerjisi ve AE vuruş sayısında ani artışlar kaydedilmiştir.

6'ncı yüklemenin geri çevrimi esnasında akustik emisyon sistemine bağlı olan bilgisayarda Windows'un hata vermesi nedeniyle veriler alınamamıştır. Bu nedenle FVB elemanına ait 6'ncı yüklemenin geri çevrim verisi grafikte gösterilmemiştir.

5.3.4 KDSVB-1 elemanının AE deney sonuçları

KDSVB-1 elemanın ait deney sırasında elde edilen; zamana karşı yük, AE sayısı ve AE enerjisi Şekil 5.7'de verilmiştir.



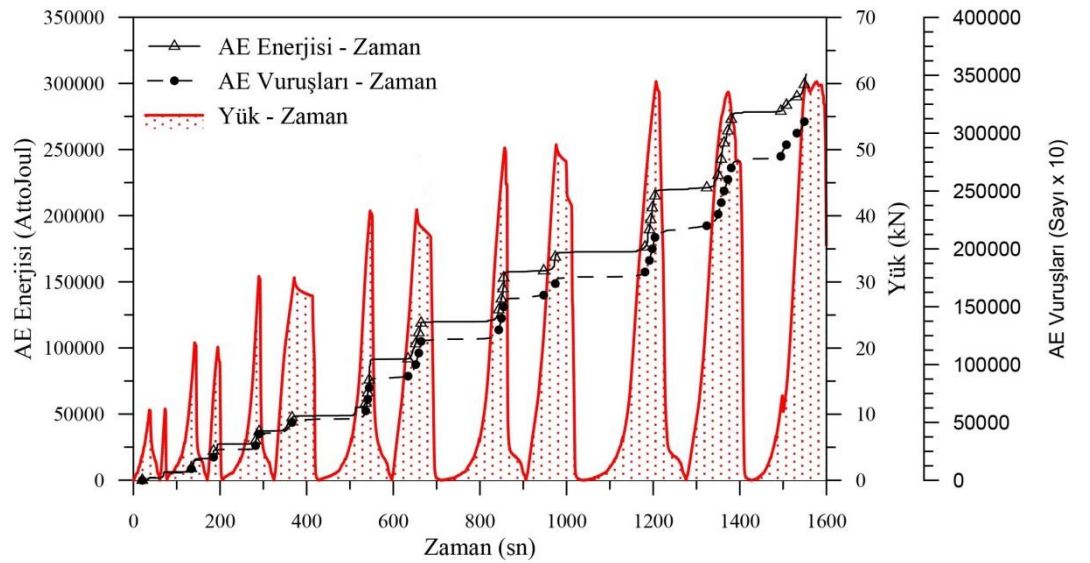
Şekil 5.7 KDSVB-1 deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği.

Deney elemanında ilk 3 yüklemenin ileri ve geri çevrimi esnasında az miktarda AE aktivitesi görülmüştür. Bu yük aşamalarında AE aktivitesinin düşük olmasının sebebi, çok sayıda çatlak ilerlemesi/gelişimi için yeterli büyüklükte gerilmenin etkisinde olmadığını göstermektedir. AE enerjisi bu yüklemeler de AE

aktivitesiyle paralel devam etmiştir. 4'üncü yüklemenin ileri ve geri çevrimlerinde ve 5'inci yüklemenin ileri çevriminde AE aktivitesinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi deney elemanında yeni çatlakların ilerlemesi/gelişmesi ve yükleme eksenine küçük açılarda konumlanmış çatlakların açılması ile ilgilidir. 5'inci yüklemenin geri çevriminde farklı bir durum söz konusudur. Bu yükleme esnasında, yükleme ile yönelimi arasında büyük açılar olan çatlakların kapanması söz konusu olmaktadır. Beton içindeki mikro çatlakların büyük bir çoğunluğunda kapanma gerçekleşmiştir. AE enerjisi özellikle 4'üncü yüklemenin ileri ve geri çevrimlerinde ve 5'inci yüklemenin ileri çevrimi esnasında AE aktivitesiyle paralel olmaktan çıkarak ani sıçramalar yapmıştır ve sonraki yüklemelerde (5'inci yüklemenin geri çevrimi hariç) aynı davranışı sergilemeye devam etmiştir. 6'ıncı yüklemenin ileri ve geri çevrimlerinde ise deney elemanı eğilme dayanımı kapasitesine ulaşmış, kolonun rijitliğinin azalmaya başladığı bu yüklemeler de AE enerjisi ve AE aktivitesinde çok hızlı bir yükseliş görülmesine neden olmuştur. Ayrıca çatlaklar arası etkileşim artmaya başlamıştır.

5.3.5 CLAS elemanının AE deney sonuçları

CLAS elemanın ait deney sırasında elde edilen; zamana karşı yük, AE sayısı ve AE enerjisi Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 CLAS deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği.

Deney elemanında ilk 3 yüklemenin ileri ve geri çevriminde az miktarda AE aktivitesi görülmüştür. Bu yük aşamalarında AE aktivitesinin düşük olmasının sebebi, çok sayıda çatlak ilerlemesi/gelişimi için yeterli büyüklükte gerilmenin etkisinde olmadığını göstermektedir. AE enerjisi bu yüklemeler de AE aktivitesiyle paralel devam etmiştir. 4'üncü yüklemenin ileri ve geri çevrimlerinde ve 5'inci yüklemenin ileri çevriminde AE aktivitesinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi deney elemanında yeni çatlakların ilerlemesi/gelişmesi ve yükleme eksenine küçük açılarda konumlanmış çatlakların açılması ile ilgilidir. 5'inci yüklemenin ileri çevriminde KDSVB-1 elemanında olduğu gibi farklı bir durum söz konusudur. Bu yükleme ile yönelimi arasında büyük açılar olan çatlakların kapanması söz konusu olmaktadır. Beton içindeki mikro çatlakların büyük bir çoğunluğunda kapanma gerçekleşmiştir. AE enerjisi özellikle 4'üncü yüklemenin ileri ve geri çevrimlerinde ve 5'inci yüklemenin ileri çevriminde AE aktivitesiyle paralel olmaktan çıkarak ani sıçramalar yapmıştır ve sonraki yüklemelerde (5'inci yüklemenin geri çevrimi hariç) aynı davranışı sergilemeye devam etmiştir. 6'ıncı yüklemenin ileri ve geri çevrimlerinde ise deney elemanı eğilme dayanımı kapasitesine ulaşmış, kolonun rijitliğinin azalmaya başladığı bu yüklemeler de AE enerjisi ve AE aktivitesinde çok hızlı bir yükseliş görülmesine neden olmuştur. Ayrıca çatlaklar arası etkileşim artmaya başlamıştır.

5.3.6 Deney sonuçlarının AE yöntemine göre değerlendirilmesi

Tekrar yükleme süresince, önceki maksimum yük düzeyine ulaşılmadan önce eleman elastik davranış sergiler. Kaiser etkisi, eleman için kalıcı olması halinde, önceki maksimum gerilme düzeyine ulaşmadan önce çok az sayıda ya da sıfır AE kaydı gerçekleşmelidir. Bu nedenle yükleme esnasında AE enerjisi ve AE aktivitesi artmakta ardından yükleme bir sonraki adımda aynı yük seviyesine ulaşana kadar hemen hemen hiç değişmemektedir.

İlk iki yüklemenin ileri ve geri çevrimlerinde tüm numunelerde AE aktivitesi ve AE enerjisi değerlerinin ayırt edilemeyecek düzeyde düşük olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni ise uygulanan yük değerinin çok fazla mikro çatlak açma kapasitesinde bile olmadığını göstermektedir.

Deney elemanlarına yükleme yaparak AE deneyi yapılması sürecinde yüklemenin artması ile AE aktivitesinin sürekli artan bir davranış içinde olduğu bilinmektedir. Deney numunelerinden elde edilen veriler de bu doğrultuda gerçekleşmiştir. Ayrıca yükün artmasıyla birlikte algılanan sinyallerin genlik değerleri de artmaktadır.

KDFVB, KDSVB-1 ve CLAS elemanına uygulanan ilk 3 yüklemenin ileri ve geri çevriminde AE aktivitesi ve AE enerjisi benzer davranışlar sergilemiştir. Bunun nedeni donatılandırmanın çatlak gelişimini engelleyecek şekilde yapıldığını göstermektedir. Özellikle CLAS elemanında kullanılan çelik lifler çatlak gelişimini engelleyerek beton da oluşan gerilmenin lif üzerinden aktarılmasını sağlamaktadır. Ancak çelik lifler çatlak oluşumundan sonra aktif olarak etki göstermektedir. 6'ncı yüklemenin ileri çevrimi esnasında, Referans numune (FVB) ile CLAS ve KDSVB-1 elemanları karşılaştırıldığında sırasıyla %32 ve %28 daha düşük AE aktivitesi kaydedilmiştir. Bu da donatılandırmanın etkisini göstermektedir.

KDSVB-1 ve CLAS elemanına uygulanan 5'inci yüklemenin geri çevrim esnasında AE aktivitesinde görünüş olarak benzerlikler bulunmaktadır. Bunun nedeninin AE deneyi yapıldığında çatlak kapanımı davranışı sırasında bol miktarda AE aktivitesi gözlemlendiği ve daha sonra azalma olduğu gerek önceki çalışmalarda (Ohnaka and Mogi, 1982 ve Eberhardt et al., 1999), gerekse tez kapsamında yapılan çalışmalarda belirlenmiştir.

Eğilme dayanımlarına ulaştıktan sonraki yükleme adımlarında deney elemanları daha fazla yük alamadığından AE aktivitesi ve AE enerjisi daha düşük seviyede artışını sürdürmüştür. Bunun nedeni ise daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi elemanın kesmeden değil eğilmeden göçmesidir. Ayrıca deney elemanlarında çatlak oluşumu görülmemesi de bundan olduğu söylenebilir.

AE analizinin en önemli avantajlarından birisi de çatlak ve kırılma mekanizmalarının incelenmesine olanak vermesidir. Gerekli yazılım ile numune içinde oluşan çatlağın sınıflandırılmasına olanak vermektedir. Bu deney esnasında çok az miktarda çatlak oluşmasından dolayı çatlak sınıflandırması yapılamamıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de yapı stokunun kalitesi, depremlerde ölüm oranını arttıran en önemli faktördür. Ülkemiz yapı stoku, deprem kuvvetleri karşısında yeterli dayanıma sahip olmayan birçok binayı barındırmaktadır. Birçok nedenle ilişkilendirilen bu eksikliklerin temelinde binaların büyük bir kısmının yeterli mühendislik hizmeti almaması bulunmaktadır. Malzeme, işçilik ve tasarım hataları betonarme çerçeve türü yapıların yatay deprem kuvvetleri karşısındaki dayanımını ve yanal rijitliğini olumsuz etkilemektedir. Yapım aşamasındaki kusurlara ek olarak, ticari kaygı güdülerek yapının kullanım amacı dışında mimari bölmeler oluşturup kat planı veya bina düşey aksı boyunca yük ve rijitlik dağılımı değiştiren uygulamalara sıkça rastlanmaktadır. Ayrıca yapı denetim süreci yer seçimi, projelendirme, yapım koşulları, çevre güvenliği, kent planlaması, estetik, sağlık koşulları, ekonomi ve garanti sürelerini içermektedir. Ülkemizdeki tüm inşaatlarda, bu denetim süreçlerinin tam anlamıyla uygulandığı ise bir muammadır.

Ülkemizin barındırdığı nüfusun karşı karşıya olduğu deprem afetinden korunma amacıyla, yeterli sismik performansı sergilemekten uzak yapıların tespit edilip, hızlı bir yapım aşamasıyla güçlendirmek veya maddi olarak güçlendirmeye olanak vermeyen yapılarda ise yıkıp tekrar inşa etmek öncelikli hedefimiz olmalıdır. Çalışmaya konu olan mantolama tekniği, ekonomik ve hızlı uygulanabilir olduğu kadar, başarılıdır.

Deney sonuçları deneysel değişkenler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. TS500'de önerilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan yatay yük kapasitesi deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Ayrıca deney elemanları SectionBuilder programı ile modellenerek analizler yapılmıştır. Ülkemizde yeni yeni inşaat mühendisliğinde kullanılmaya başlayan ve yapıya hiçbir hasar vermeden muayene edilmesine olanak veren akustik emisyon yöntemiyle analiz de yapılmıştır. Kısıtlı sayıdaki elemana ait analitik ve deneysel sonuç karşılaştırıldığında şu öneri ve sonuçlara varılmıştır.

6.1 Sonuçlar

Deneyisel çalışmada, betonarme mantolamayla beş adet deney elemanı güçlendirilmiş ve test edilmiştir. Kısıtlı sayıda deney elemanından elde edilen deneyel veriler sonucunda;

- Güçlendirme öncesi yapılan tez çalışmasındaki referans numunesi 11,28 kN yatay yük değerinde göçmüştür. Deney sonunda, göçmüş olan kolonların güçlendirme sonrası yaklaşık 5 kat dayanım artışı ile birlikte kesmeden değil eğilmeden göçtüğü gözlemlenmiştir. Elde edilen 5 kat dayanım artışı ise betonarme mantolamayla güçlendirme yönteminin kesme dayanımına önemli oranda etki ettiğini göstermektedir.
- Güçlendirilmiş kolonlarda donatılendirme farklı şekilde yapılmıştır. Bu donatı planlarına göre deney sonuçlarında farklılıklar oluşmuştur. Etriye sıklaştırması yapılan numunede beklendiği gibi en iyi dayanım elde edilmiştir.
- Deney numunelerindeki boyuna donatıların filizli ya da sürekli olması akma dayanımına çok fazla etkisi olmamıştır. TS500'deki kriterler doğru şekilde uygulandığı takdirde boyuna donatının filizli ya da sürekli olması kullanıcının tercihine bırakılabilir.
- Deney numunelerinde kayma donatısı olup olmasının akma dayanımına etkisinde çok net bir ayrım görülmemiştir. Manto katmanı ile çekirdek arasından hiç AE verisi alınmamıştır. Bunun nedeni olarak; kayma donatısının, çekirdek betonu ile manto betonu arasındaki aderansı oldukça artırdığı söylenebilir.
- Deney elemanlarının hepsinde temel pabucunda ağır hasarlar oluşmuştur. Bu hasarlar dayanım düşüşündeki asıl neden olarak görülmüştür.
- Analitik ve deneyel sonuçları karşılaştırıldığında kapasite tahminine yönelik oldukça yakın bilgiler sunmaktadır. SectionBuilder programıyla

yapılan analiz sonucunda 61,10 kN'luk yatay yük hesaplanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen akma kapasitelerinin ortalamasına göre %4 yüksek tahmin etmiştir. Teorik hesap da ise 56,93 kN yatay yük tahmin edilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen akma kapasitelerinin ortalamasına göre %3 düşük tahmin etmiştir.

- Referans elemanına göre enerji tüketme kapasitelerinde %35'e varan artışlar görülmüştür.
- Referans elemanına göre maksimum yük noktasındaki rijitlikler de KDSVB-1 elemanında %35, CLAS elemanında %18'lik artış görülmüştür.
- AE analizi sonucuna göre; Referans numune ile CLAS ve KDSVB-1 elemanları karşılaştırıldığında sırasıyla %32 ve %28 daha düşük AE aktivitesi kaydedilmiştir. Bu da donatılandırmanın etkisini göstermektedir.

6.2 Öneriler

Betonarme mantolamayla beş adet deney elemanı güçlendirilmesi konusunda yapılan araştırma sonucunda geliştirilen öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Daha yüksek birikimli enerji tüketimi istenildiği zaman etriye sıklaştırması yöntemi önerilebilir.
- Manto betonuna çelik lifler dahil edildiğinde betonun işlenebilirliği oldukça zorlaşmış ve su/çimento oranının arttırılması gerekliliğini getirmiştir. Bu da dayanımın düşmesine sebep olmuştur. Bu durumda süper-akışkanlaştırıcı miktarının arttırılması önemlidir.
- Bu çalışmada yalnızca kolon güçlendirilmiş ve kolon temeli önceki durumda bırakılmıştır. Bu sebeple de göçmeler temelde olmuştur. Diğer

Çalışmalarda temel ayağının da kolona oranla güçlendirilmesi gerekmektedir.

- TS500'deki kriterler doğru şekilde uygulandığı takdirde boyuna donatının filizli ya da sürekli olması kullanıcının tercihine bırakılabilir.
- Çekirdek beton yüzeyinin pürüzsüz olduğu durumlarda, manto betonuyla aderansını sağlamak için kayma donatısı eklenebilir.
- Genel anlamda, her ne zaman bir proses malzemeyi yüklüyor ve kalıcı deformasyon meydana geliyorsa orada bir AE testinin yapılabileceği göz önünde bulundurulabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdullah and Takiguchi, K.**, 2003, An investigation into the behavior and strength of reinforced concrete columns strengthened with ferrocement jackets, *Cement & Concrete Composites* 25 233–242p.
- Aldahdooh, M.A.A., Bunnori, N.M. and Johari, M.A.M.**, 2012, Damage assessment of reinforced concrete beams at different flexural damage levels using acoustic emission technique, *Malaysian Construction Research Journal*, 2/79-90p.
- Applied Technology Council (ATC) 40**, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC Publication.
- ASTM Standard E1316**, 2002, Standard terminology for NDT, ASTM International, PA.
- Balázs G.L., Grosse C.U., Koch R. and Reinhardt H.W.**, 1996, Damage accumulation on deformed steel bar to concrete interaction detected by acoustic emission technique, *Mag. of Concrete Research*, 48:311-320p.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), Ankara, 157s.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 2006, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), Ankara, 86s.
- Canbay, E., Ersoy U., Özcebe G., Sucuoğlu H. ve Wasti S. T.**, 2008, Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 143s.
- Ceritli, Y.S.**, 2006, Depremde Hasar Görmüş Yapıların Mantolama ve Perdelerle Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 120s.
- Colalillo, M.A. and Sheikh, S.A.**, 2012, Seismic retrofit of shear-critical reinforced concrete beams using CFRP, *Construction and Building Materials*, 11p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çetinkaya, N.**, 2002, Betonarme Yapı Elemanlarının FRP Malzemelerle Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 102s.
- Eberhardt, E., Stimpson, B. and Stead, D.**, 1999, Effects of grain size on the initiation and propagation thresholds of stress-induced brittle fractures, Rock Mechanics and Rock Engineering, 32(2), 81-99p.
- Ergin, C.**, 1998, Betonarme Yapıların Onarım Ve Güçlendirme Teknikleri Ve Çok Katlı Bir Yapıya Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 144s.
- Euro Physical Acoustic**, Acoustic Emission Products, www.epandt.com (Erişim tarihi: 3 Mart 2015).
- Fukuyama K., Higashibata Y. and Miyauchi Y.**, 2000, Studies on repair and strengthening methods of damaged reinforced concrete columns, Cement and Concrete Composites, 22, 1, 81-88p.
- Goszczynska, B.**, 2014, Analysis of the process of crack initiation and evolution in concrete with acoustic emission testing, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 14, 2, 134-143.
- Grosse, C.U. and Ohtsu, M.**, 2008, Acoustic Emission Testing Basics for Research-Applications in Civil Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 403p.
- Gürol, K. B.**, 2007, Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Binaları Güçlendirme Yöntemleri, ODTÜ Geliştirme Vakfı, Ankara, 447s.
- Hansuld, E., Briens, L. and Briens, C.**, 2008, Acoustic Detection Of Flooding In Absorption Columns And Trickle Beds, Western Fluidization Group, Faculty of Engineerig, The University of Western Ontario, London, Canada N6A 5B9.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Julio, E.S., Branco, F. and Silva, V.D.**, 2003, Structural rehabilitation of columns with reinforced concrete jacketing, Prog. Struct. Enging. Mater. ;5:29-37p.
- Kaltakçı M.Y., Ünal A. ve Korkmaz H.H.**, 2011, TDY 2007'ye göre tasarlanmamış betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarlarla güçlendirilmesi, Kocaeli Üniversitesi Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarı Toplantısı, Kocaeli.
- Kayrak M.**, 2012, Uçak Bakımında Darbe Hasarının Tahribatsız Kontrolü, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt:51, Sayı:603, Eskişehir.
- Koprman Y.**, 2012, Tuğla Dolgulu Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Çelik Şeritlerle Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 185s.
- Korkmaz K.A.**, 2007, Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen betonarme yapıların deprem davranışlarının incelenmesi, Doğu Üniversitesi Dergisi, Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon, 191-201s.
- Kuşan, H.**, 2002, Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 148s.
- Mardani-Aghabeglou, A., Tuyan, M., Yılmaz, G., Arıöz,Ö. and Ramyar, K.**, 2013, Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete, Construction & Building Materials, 47 1020-1025.
- Mathews, J. R.**, 1983, Acoustic Emission, Gordon and Breach Science Publishers Inc., NewYork. ISSN 0730-7152.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Michlmayr, G. and Or D.**, 2012, Studying shear zone development in granular materials with acoustic emissions: listening to soil failure, Department of Environmental Sciences(D-UWIS), ETH Zurich.
- Mukherjee, A. and Joshi, M.**, 2005, FRPC reinforced concrete beam-column joints under cycling excitation, *Composite Structures*, 70:185-199p.
- NDT Resource Center**, Introduction to Acoustic Emission Testing, www.nde-ed.org/index_flash.htm (Erişim tarihi: 17 Haziran 2015).
- Noorsuhada, N.M., Ibrahim, A., Bunnori, N.M. and Saman, H.M.**, 2013, Acoustic Emission Signal For Fatigue Crack Classification on Reinforced Concrete Beam, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Selangor, Malaysia.
- Ohnaka, M., and Mogi, K.**, 1982, Frequency characteristics of acoustic emission in rocks under uniaxial compression and its relation to the fracturing process to failure, *Journal of Geophysical Research*, 87 (B5), 3873-3884p.
- Önal M. ve Koçak A.**, 2005, Betonarme yapı elemanlarında kullanılan onarım ve güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Cilt 1, 102-115, Antalya, 2005.
- Papanikolaou, V.K., Stefanidou, S.P. and Kappos, A.J.**, 2013, The effect of preloading on the strength of jacketed R/C columns, *Construction and Building Materials* 38 (2013) 54–63p.
- Pollock A. and Carlyle, J.**, 1995, Acoustic Emission for Bridge Inspection - Application Guidelines, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC.
- Rossi, P., Tailhan, J.L., Maou, F.L., Gaillet, L. and Martin, E.**, 2012, Basic creep behavior of concretes investigation of the physical mechanisms by using acoustic emission, *Cement and Concrete Research* 42 (2012) 61–73p.

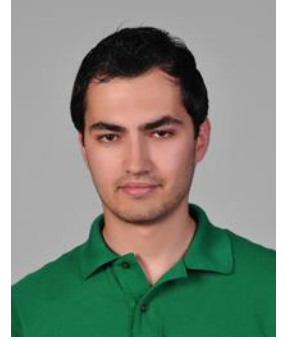
KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shah, S.G. and Kishen, J.M.**, 2012, Use of acoustic emission in flexural crack growth studies on concrete, *Engineering Fracture Mechanichs* 87, 36-47p.
- Sözen, M.A.**, 1987, Towards a behaviour based design of reinforced concrete frames to resist earthquake, *Proceeding of 9th Technical Conference of Turkish Society of Civil Engineering*, Ankara, Turkey, 1: 1-47p.
- Şen, E.A.**, 2012, Betonarme Yapıların Çelik Elemanlar İle Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 97s.
- Takeuti, A.R., Hanai, J.B. and Mirmiran, A.**, 2007, Preloaded RC columns strengthened with high-strength concrete jackets under uniaxial compression, *Materials and Structures* 41:1251-1262p.
- Tuncay, E.**, 2006, Akustik Emisyon (Yayılma) Tekniğinin Arazi Gerilmelerinin Belirlenmesinde Uygulanabilirliğin Araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 276s.
- Tuncel, S.**, 2008, Tahribatsız muayene teknolojilerinde son gelişmeler: akustik emisyon, 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, İstanbul, 12s.
- Türk Standartları Enstitüsü**, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS-500), Ankara, 77s.
- Uddin, F.AK.M. and Ohtsu, M.**, 2002, Application of AE to fracture toughness and crack analysis by BEM in concrete, *Journal of Nondestructive Testing (Germany)*, 7(9):1-13p.
- Vandoros, K.G. and Dritsos, S.E.**, 2008, Concrete jacket construction detail effectiveness when strengthening RC columns, *Construction and Building Materials* 22 264–276p.
- Yilmazer, P.**, 2012, Structural Health Condition Monitoring of Rails Using Acoustic Emission Techniques, *MRes in Railway Systems Integration College of Engineering, School of Civil Engineering*, Dissertation 45-54p.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Adı Soyadı : Anıl ÖZDEMİR
 Uyruğu : T.C.
 Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara, 06.07.1989
 Yabancı Dil : İngilizce
 Telefon : 0 (312) 202 88 97
 E-posta : anilozdemir@gazi.edu.tr



Eğitim:

Derece	Eğitim Birimi	Tarih
Yüksek Lisans	Ege Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2013-2015
Lisans	Kocaeli Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2007-2012
Lise	Mobil Lisesi	2003-2006

İş Deneyimi:

Görev	Yer	Tarih
Arş. Gör.	Gazi Üniv./Teknoloji F./İnşaat Mühendisliği	2014-.....

Projeler, Bildiriler ve Mesleki Faaliyetler:

- 2015, Araştırma Projesi, FIRAT, S., Özdemir A. (Araştırmacı), İnşaat Mühendisliğinde Uygulamalı Eğitime Yönelik Altyapı ve Laboratuvar İmkanlarının Geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi BAP, Proje No:07/2015-04, (Devam Ediyor).
- 2015, Özdemir, A., Pınarlık, M. ve Ercan, E., Dünyada Sürdürülebilir Yapılarla İlgili Devlet Teşvikleri ve Uygulamalarının İncelenmesi, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, 28-30th May, University of Gazi, Ankara, Turkey, 1116/1036-1045s.
- 2014-2015, 2nd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2015), 28-30th May 2015, Turkey, Local Organizing Committee Member and Symposium Secretariat.