

Mantolama Yöntemiyle Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Akustik Emisyon Yöntemiyle Analizi

Anıl ÖZDEMİR^{1*}, Emre ERCAN^{2*}

^{1*} Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

^{2*} Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

(Geliş/Received : 22.09.2016 ; Kabul/Accepted : 09.11.2016)

ÖZ

Akustik Emisyon (AE), gerilme altındaki malzemelerin hızla enerji salarak geçici elastik dalgalar ürettiği olaylar ve bu şekilde oluşan geçici elastik dalgalar olarak tanımlanır. Bu çalışmada, betonarme mantolama yöntemiyle güçlendirilmiş kolonların analizi akustik emisyon tekniği ile deneysel olarak araştırılmıştır. Yük taşıyamaz halde bulunan 25x25x195 cm boyutlarındaki betonarme kolonlar mantolama yöntemiyle güçlendirilmiştir. Bu bağlamda, referans kolondan farklı olarak betonarme kolonlara iki farklı türde güçlendirme stratejisi uygulanmıştır. Birinci kolon (referans kolon); boyuna donatıları süreksiz ve ankrajsız olarak üretilmiştir. İkinci kolon, kayma donatılı (ankrajlı), boyuna donatıları süreksiz olacak şekilde imal edilmiştir. İkinci kolondan farklı olarak; üçüncü kolonda boyuna donatılar sürekli olacak şekilde donatılandırma yapılmıştır. Ardından numuneler tersinir tekrarlı yük altında göçmeye maruz bırakılmıştır. Bu deneysel çalışmanın sonucunda, deney elemanlarının akustik emisyon ile analizleri karşılaştırılmış, yorumlanmış ve bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akustik Emisyon Yöntemi, Betonarme Mantolama, Güçlendirme.

Acoustic Emission Analysis Method of Reinforced Concrete Column with the Jacketing Methods

ABSTRACT

Acoustic Emission (AE) is defined as a phenomenon, materials which are under stress, are emitting energy and producing temporary elastic waves. In this paper, analysis of the reinforced concrete columns jacketing method was experimentally investigated by acoustic emission technique. Non-load-bearing reinforced concrete columns with dimensions of 25x25x195 cm were reinforced with the jacketing method. With this regard, two different types of retrofitting strategies were applied to RC columns and were validated via the results of a reference column. The first column has impermanent vertical reinforcement and no anchors. Second column is designed as shear reinforcement (anchors), impermanent vertical reinforcement. As a difference from the second column in the third column vertical reinforcements are permanent. Then, the specimens under reversible cyclic loads have been subjected to failure. Result from this experimental work, the acoustic emission analysis of specimens are compared, commented and recommendations are made accordingly.

Keywords: Acoustic Emission Method, R.C. Jacketing, Strengthening.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Katı bir malzemeye artan bir gerilme uygulandığında, öncelikle plastik deformasyon ardından da kırılma meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu süreç esnasında, biriken uzama enerjisi aralıklarla serbest kalmakta ve geçici elastik dalgalar üretmektedir. Bu şekilde oluşan geçici elastik dalgalar, akustik emisyon (AE) olarak tanımlanır [1,2].

AE yöntemi temel olarak bakıldığında yapılar üzerinde yapılan tahribatsız bir muayene türüdür. Modern AE araştırma çalışmaları, malzemelerden insan kulağı frekansı dışındaki (ultrasonik) frekanslarda yayılan seslerle ilgilidir.

Malzemelere belli bir yük etkimesi durumunda, çatlak başlangıçları, ikizleme ve dislokasyon hareketleri, kristal

düzlemlerinin kayması, martensitik faz dönüşümleri gibi dinamik hareketler temel AE kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca oksit tabakasının çatlaması gibi çeşitli yüzey etkileri de AE kaynağı olarak tanımlanmaktadır. AE muayene yöntemi ile metal ve seramiklerde çatlak başlangıcı, yorulma çatlakları ilerlemesi, gerilmeli korozyon çatlaklarının saptanması, faz dönüşümleri ve dislokasyon hareketleri gibi çeşitli olaylar incelenebilmektedir [3].

M. A. A. Aldahdooh ve ekibi tarafından yapılan çalışmada; dört noktadan eğilme etkisi altında bulunan betonarme kirişin, kiriş kalınlığının hasar mekanizması üzerindeki etkilerini test etmek için AE'nin uygulanabilirliği araştırılmıştır [4]. Hasar seviyesinin artışı sonucunda, ortalama frekans dışında tüm AE parametrelerinin değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tüm AE parametreleri ortalama frekans da dahil olmak üzere kiriş kalınlığıyla artmıştır. Böylelikle, bu çalışmada betonarme kirişin

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

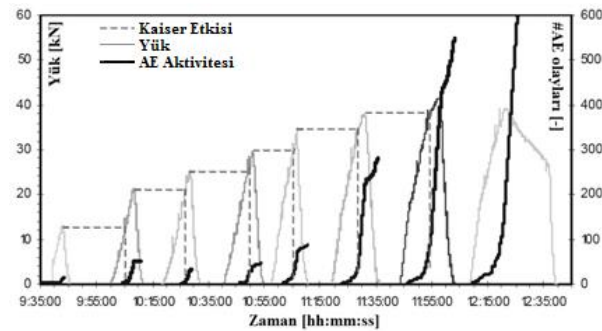
e-posta: anilozdemir@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.1 17-23

kalınlık değerleriyle birlikte davranışının izlenmesinde AE'nin etkin olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Pierre Rossi ve ekibi, betonun temel sünmesiyle ilişkili çalışmak ve konuyla ilgili fiziksel temelli nümerik modeller geliştirmek için bir araştırma projesi başlatmıştır [5]. Bu bağlamda, deneysel bir çalışma yapılmış 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) esasındaki mikro çatlakların bazı ek kuruma büzülmelerine sebep olan su transferleriyle oluşumudur.

T. Kaiser'in yaptığı bilimsel çalışmaların yayınlanmasına kadar olan süreç, AE yönteminin 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" olarak açıklanan tersinirsizlik olgusunu keşfetmiştir [6]. Kaiser etkisi, yükleme altındaki bir malzemenin sadece birincil yük seviyesi aşıldıktan sonra ses dalgalarını yayması ile açıklanır. Diğer bir ifadeyle, önceki maksimum gerilme düzeyine ulaşmadan önce az sayıda ya da sıfır AE kaydı gerçekleşirken, bu gerilme düzeyi aşıldığında AE sayısında ciddi bir artış söz konusudur [7]. Kaiser etkisi Şekil 1'de bir deneyden alıntı yapılarak gösterilmiştir. Deneyde bir küp numune sıkıştırılmaya tabi tutulmuş ve tekrarlı yükleme altında test edilmiştir. Şekil zamana karşı AE aktivitesini ve yükleme seviyesini göstermektedir.



Şekil 1. Tekrarlı yükleme altında beton numunede oluşan Kaiser Etkisine örnek (Example for the Kaiser effect occurring in the concrete sample under loading) [8]

Barbara Goszczynska'nın çalışmasında, betonda ve betonarme kirişlerde oluşan çatlakların başlaması ve büyümesi AE ile analiz edilmiştir [9]. Bu yöntemde, her aktif yıkıcı işlemin AE kaynağı olabileceği fikri esas alınarak yapılmıştır. Önceden oluşturulmuş bir veri tabanındaki AE sinyalleri ile yapıya yük uygulanması sırasında oluşan AE sinyalleri karşılaştırıldığında, bir elemanda oluşan aktif bozunmaların oluşumu tespit edilebilmiştir. Deneysel çalışmada AE yönteminin kullanılmasıyla yapı elemanının içinde ve yüzeyinde

görülemeyecek kadar küçük olan mikro çatlakların ve görülebilen makro çatlakların belirlenmesinin (yerlerinin tespit edilmesi) mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

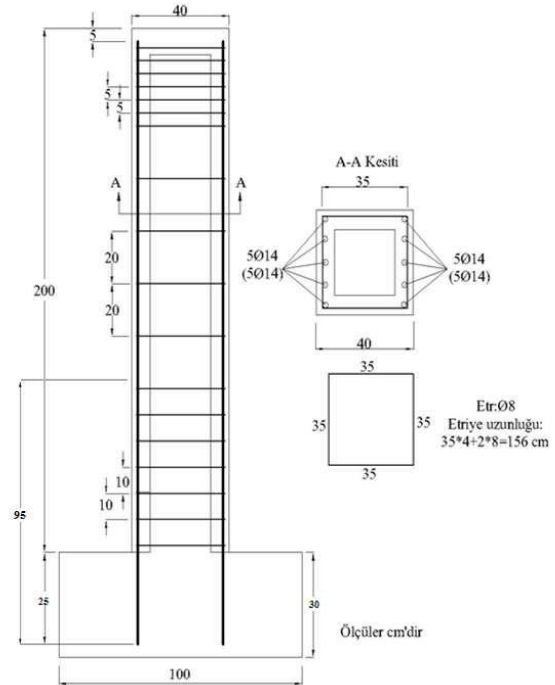
Bu çalışmada, daha önce nihai taşıma kapasitesine ulaşana kadar yüklemeye maruz bırakılmış ve kullanılamaz halde olan 25x25x195 cm ebatlarındaki üç betonarme kolon kullanılmıştır. Bu üç betonarme kolon, mantolama yöntemiyle 40x40x200 cm ebatlarına getirilerek güçlendirilmiş ve tersinir tekrarlı yükleme uygulanmıştır. Ayrıca tersinir tekrarlı yükleme altındaki davranışı AE yöntemiyle araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Deney Elemanlarının Adlandırılması (Naming Elements Test)

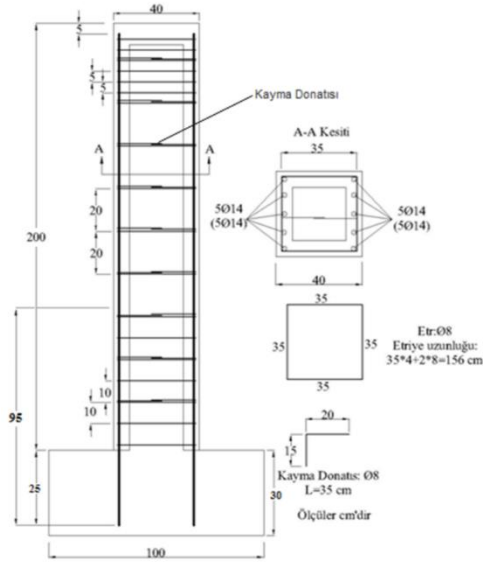
Referans elemandan farklı olarak, deney elemanlarından biri kayma donatısı eklenerek mantolama yapılmıştır. Diğer deney elemanına ise kayma donatısı eklenerek ve boyuna donatı sürekli olacak şekilde mantolama yapılmıştır [10]. Deney elemanlarına ilişkin isimlendirme ve kısaltma detayları aşağıda verilmiştir.

- FVB: Filizli, Kendiliğinden yerleşen beton (Referans Eleman).
- KDFVB: Kayma donatılı, Filizli, Kendiliğinden yerleşen beton.
- KDSVB: Kayma donatılı, Sürekli, Kendiliğinden yerleşen beton.



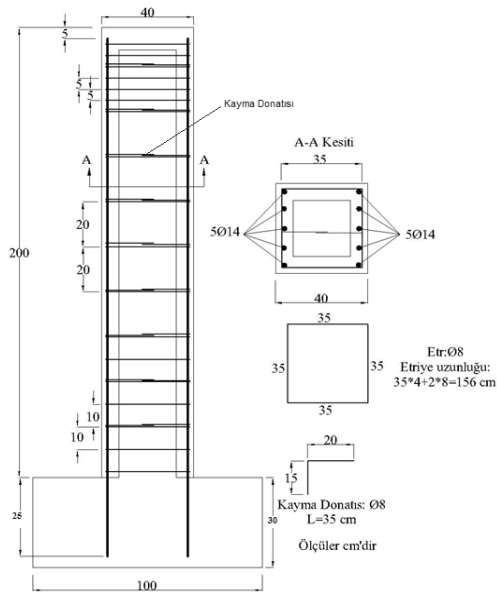
Şekil 2. FVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı (Schematic display and reinforcement plan of FVB experiment element)

FVB elemanın boyuna donatısı filizlidir. Bindirme boyu $l_0 = 70$ cm olarak hesaplanmıştır. Ankraj çubuğunun toplam uzunluğu 95 cm ve boyuna donatının uzunluğu 195 cm olarak kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 3. KDFVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı (Schematic display and reinforcement plan of KDFVB experiment element)

KDFVB elemanında ise FVB elemanından farklı olarak kayma donatısı eklenmiştir. Kayma donatısı kolonun iki yüzeyinde ve karşılıklı olacak şekilde her 20 cm de bir ankre edilmiştir. Kayma donatısı "L" şeklinde imal edilmiştir. Kısa kol uzunluğu 15 cm uzun kol uzunluğu 20 cm olacak şekilde Ø8 çelik kullanılmıştır (Şekil 3).

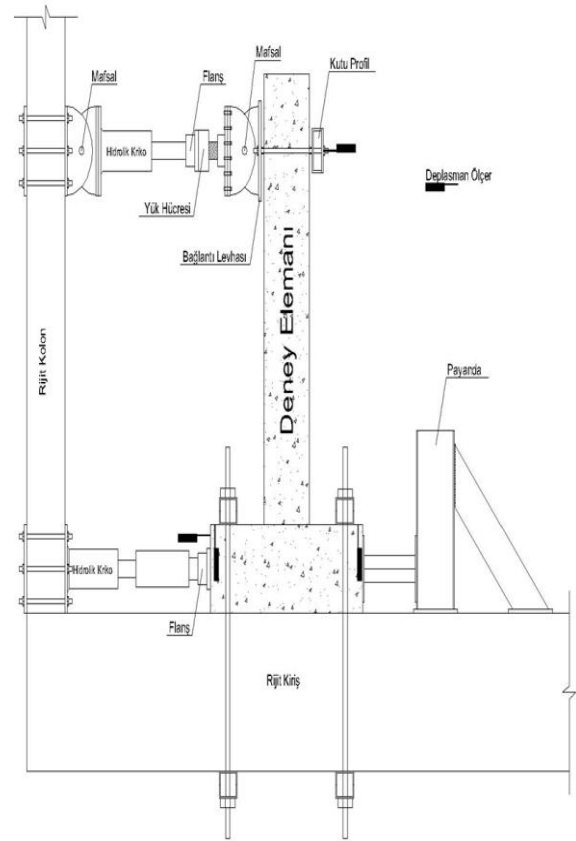


Şekil 4. KDSVB deney elemanının şematik görünümü ve donatı planı (Schematic display and reinforcement plan of KDSVB experiment element)

KDSVB elemanının KDFVB elemanından farkı boyuna donatısı süreklidir. Boyuna donatının toplam uzunluğu 220 cm olarak kullanılmıştır (Şekil 4).

2.2. Yükleme Düzenegi (Loading Apparatus)

Deney elemanı test için rijit kiriş üzerine yerleştirilmiş ve temel pabucunun dikey hareketini engellemek için çelik kutu profilleri kullanılmıştır. Kutu profilleri 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 azaltmak amacıyla aralara kauçuk konulmuştur. Deneyde kullanılan test düzenegi Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Yükleme Düzenegi (Loading System)

2.3. Ölçüm Düzenegi (Measurement Apparatus)

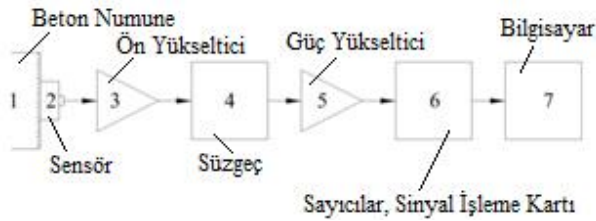
Kullanılan AE sisteminde, Mistras Group Inc. firması tarafından üretilen Micro II SAMOS [11]. kasası üzerine entegre edilmiş sekiz kanallı 24 bit veri toplama cihazı, ön yükselticiler, bağlantı kabloları, sensörler ve bilgisayar bulunmaktadır.

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

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

- Sensörlerin yerleştirileceği yerler zımparalanmış, işaretlenmiş ve numaralandırılmıştır.
- 150 kHz frekansa sahip AE Sensörlerinin, seramik yüzeylerine iletken malzeme sürülüp beton yüzeyine teması sağlanmıştır.
- Ön yükselticiler 40 dB single giriş modunda kullanılmıştır. 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.

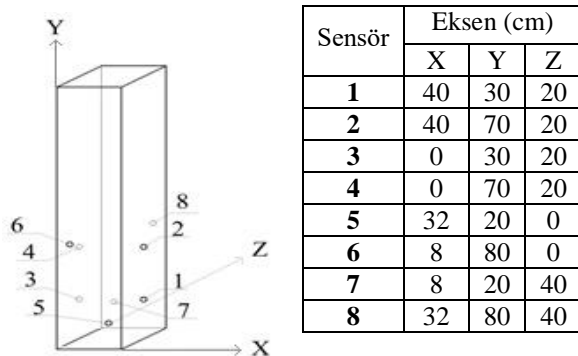
AE sistemini oluşturan donanımlar basitleştirilmiş gösterimle Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. AE izleme sisteminin blok şeması (Block scheme of four-channel AE testing system)

AE sisteminin özelliklerinden birisi de arka plan gürültüsünü elimine ederek AE sinyallerini veri setlerine dönüştürmesidir. Bu amaçla modern AE sistemlerinde eşik seviyeleri (thresholds) kullanılmaktadır. Eğer bir AE sinyali pozitif veya negatif yönde eşik değerini aşarsa, tespit edilen bu sinyal bir AE vuruşu olarak kaydedilir [12]. Bu çalışmada ise arka plan gürültüsünü engellemek için eşik seviyesi belirlenmiştir. Eşik seviyesine ek olarak, tespit edilen bir vuruşun en az üç sensör tarafından algılanması şartı yazılım ile ayarlanmıştır.

Deney elemanları üzerine yerleştirilen AE sensörlerinin düzeni ve koordinatları Şekil 7'de ve yerleşimi ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan tüm elemanlar için aynı koordinatlar kullanılmıştır.



Şekil 7. AE sensörlerinin düzeni ve koordinatları (The order and coordinates of AE sensors)



Şekil 8. AE sensörlerinin yerleşimi (The layout of the AE sensors)

2.4. Malzeme (Material)

2.4.1. Beton (Concrete)

Güçlendirilecek olan mevcut betonarme kolonların daha önceki beton dayanımları 20 MPa seviyesindedir. Manto katmanında kullanılan beton karışımı olarak "Kendiliğinden Yerleşen Beton" kullanılmıştır. Manto katmanının betonları dökülürken her beton karışımından en az iki adet küp numune alınmasına gayret edilmiştir. Küp numuneler, 28 günlük mukavemetini aldıktan sonra beton presinde kırılmıştır. Numunelere ait hesaplanmış basınç dayanımları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Deney elemanlarının beton basınç dayanımları (Concrete compression strengths of the experiment elements)

| Eleman Adı | Beton Tasarım Sınıfı | Manto Katmanı Ortalama (MPa) | Mevcut Kolon (MPa) |
|------------|----------------------|------------------------------|--------------------|
| FVB | C35 | 44,32 | 20,47 |
| KDFVB | | 47,19 | 18,52 |
| KDSVB | | 46,13 | 19,40 |

2.4.2. Çelik donatı (Reinforcement)

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 2'de görülmektedir.

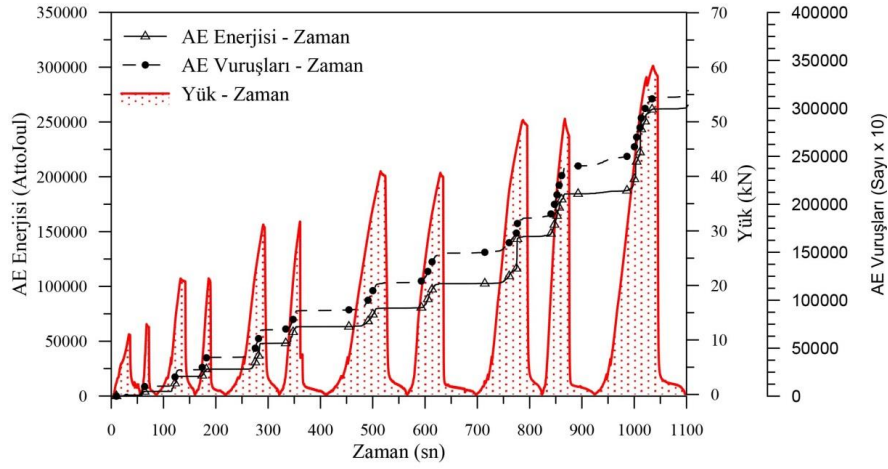
Çizelge 2. Çelik donatıların akma ve çekme dayanımları (Yield and tensile strengths of the steel bars)

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

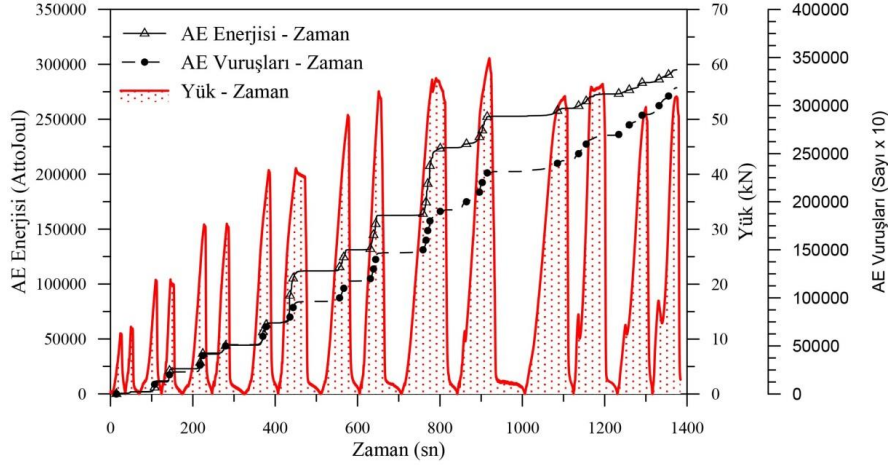
3. DENEY SONUÇLARI (TEST RESULTS)

Gerçekleştirilen deneyle, zamana karşı etkiyen kesme kuvveti, toplam AE vuruşu ve AE enerjisi değerleri eş

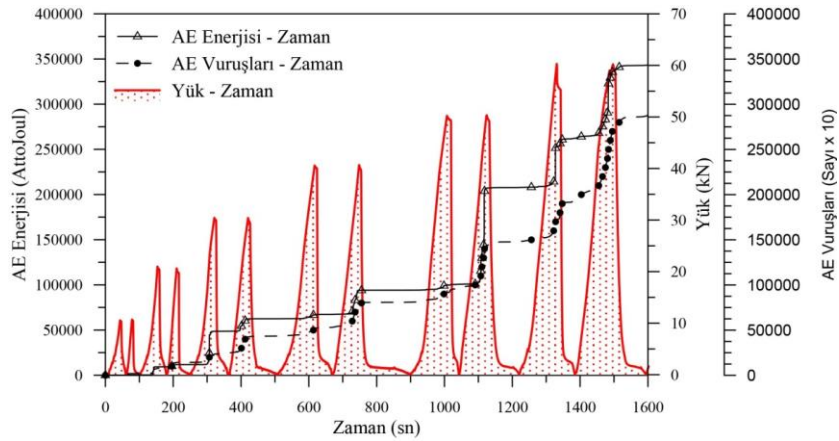
Değerlendirme aşamasında, yüklemelere karşılık gelen AE enerjisi ve AE vuruşunun seviyeleri karşılaştırılmıştır. Tüm numunelere ilk önce itme yükü ardından



Şekil 9. FVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği (AE stroke and AE energy graphics of FVB experiment element)



Şekil 10. KDFVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği (AE stroke and AE energy graphics of KDFVB experiment element)



Şekil 11. KDSVB deney elemanının AE vuruş ve AE enerji grafiği (AE stroke and AE energy graphics of KDSVB experiment element)

zamanlı olarak test sırasında elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de sunulmuştur. Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de X-ekseni zamanı ve Y-ekseni sırasıyla AE enerjisi, yük ve AE vuruş değerlerini göstermektedir.

çekme yükü uygulanmış ve yüklemeler aynı sırayla devam ettirilmiştir. Deney esnasında uygulanan itme ve çekme yük değerleri Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de pozitif (+) olacak şekilde tekrar düzenlenmiştir. Böylece

aynı yük seviyesindeki AE verilerini okumak çok daha kolaylaşmıştır.

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 mikro çatlak açma kapasitesinde bile olmadığını göstermektedir.

FVB elemanında, önceki çevrimlere göre 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 yükleme eksenine küçük açılarda konumlanmış çatlakların açılması ile ilgilidir. 5'inci yüklemenin geri çevrimi ve 6'ıncı 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 yüklemelerde AE enerjisi ve AE vuruş sayısında ani artışlar kaydedilmiştir.

KDFVB elemanında, önceki çevrimlere göre 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.

KDSVB elemanında, önceki çevrimlere göre 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 yüklemelerde AE enerjisi ve AE vuruş sayısındaki ani artış kaydedilmiştir. 6'ıncı 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.

3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

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.

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 elemanın kesmeden değil eğilmeden geçmesidir. Ayrıca deney elemanlarında çatlak oluşumu görülmemesi de bundan olduğu söylenebilir.

6'ıncı yüklemenin ileri çevrimi esnasında, Referans numune (FVB) ile KDFVB ve KDSVB elemanları karşılaştırıldığında sırasıyla %4,54 düşük ve %2,8 yüksek AE aktivitesi kaydedilmiştir. Bu veriler deney numunelerinin alabildiği yük ile birebir ilişki göstermiştir. Referans numuneye göre 6'ıncı yükleme esnasında sırasıyla %5,33 düşük ve %0,9 yüksek yük seviyesine ulaşmıştır. Deney numunelerindeki boyuna donatıların filizli ya da sürekli olması akma dayanımına çok fazla etkisi olmamıştır.

Deney numunelerinde kayma donatısı olup olmamasının 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.

AE analizinin en önemli avantajlarından birisi de çatlak ve kırılma mekanizmalarının incelenmesine olanak vermesidir. Gerekli yazılım ile numune içinde oluşan çatlağın sınıflandırılması yapılabilmektedir. Bu deney esnasında çok az miktarda çatlak oluşmasından dolayı çatlak sınıflandırması ve kaynak lokasyonu belirlenememiştir.

4. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Deneysel veriler Anıl ÖZDEMİR'in yüksek lisans çalışmasından alınmıştır. Deneyler Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1) ASTM E1316, "Standard Terminology for NDT", (2002)
- 2) EN 1330-9, "Terms Used in AE Testing", (2000).
- 3) Tuncel, S., "Tahribatsız Muayene Teknolojilerinde Son Gelişmeler: Akustik Emisyon", *3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition*, İstanbul, (2008).
- 4) Aldahdooh, M.A.A., Bunnori, N.M. and Johari, M.A.M., "Damage Assessment of Reinforced Concrete Beams at Different Flexural Damage Levels Using Acoustic Emission Technique", *Malaysian Construction Research Journal*, 2: 79-90, (2012).

- 5) Rossi, P., Tailhan, J.L., Maou, F.L., Gaillet, L. and Martin, E., “Basic Creep Behavior of Concretes Investigation of The Physical Mechanisms by Using Acoustic Emission”, *Cement and Concrete Research*, 42: 61–73, (2012).
- 6) Kaiser, V. J., “Knowledge and Research on Noise Measurements During The Tensile Stressing of Metals”, *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 24: 43-44p, (1953).
- 7) Ohtsu, M., “History and Fundamentals”, Acoustic Emission Testing: Part A, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, (2008).
- 8) Grosse, C.U. and Ohtsu, M., “Acoustic Emission Testing Basics for Research-Applications in Civil Engineering”, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, (2008).
- 9) Goszczynska, B., “Analysis of The Process of Crack Initiation and Evolution in Concrete with Acoustic Emission Testing”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 14: 134-143, (2014).
- 10) Özdemir, A., “Hasarlı Betonarme Kolonların Mantolama Yöntemiyle Güçlendirilmesi ve Akustik Emisyon Yöntemiyle Deneysel Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2015).
- 11) NDT Resource Center, Introduction to Acoustic Emission Testing, www.nde-ed.org/index_flash.htm (Erişim tarihi: 17 Haziran 2015).
- 12) Shiotani T., “Parameter Analysis”, Acoustic Emission Testing: Part A, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, (2008).