



T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü



**BETON KAROT NUMUNELERİNDEKİ HASAR
SEVİYELERİNİN AE-ORAN İŞLEME ANALİZİ İLE
BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

ALİ SEYED YOUSEFİ SHESHDEH

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2019

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**BETON KAROT NUMUNELERİNDEKİ HASAR
SEVİYELERİNİN AE-ORAN İŞLEME ANALİZİ İLE
BELİRLENMESİ**

Ali SEYED YOUSEFİ SHESHDEH

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ebru ERİŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Yüksek Lisans Programı

İzmir
2019

Ali SEYED YOUSEFI SHESHDEH tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan "Beton Karot Numunelerdeki Hasar Seviyelerinin AE-Oran İşleme Analizi ile Belirlenmesi" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 30/09/2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Ebru ERİŞ



Raportör Üye: Doç. Dr. Emre ERCAN



Üye: Doç. Dr. Serkan. MISIR



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Beton karot numunelerdeki hasar seviyelerinin AE-oran işleme analizi ile belirlenmesi” 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.

30 / 09 / 2019



Ali SEYED YOUSEFİ SHESHDEH

ÖZET
KAROT NUMUNELERDEKİ HASAR SEVİYELERİNİN
AE-ORAN İŞLEME ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ

SEYED YOUSEFİ SHESHDEH, Ali

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ebru ERİŞ

Eylül 2019,73 sayfa

Beton, günümüzde binalar, köprüler ve yollar inşa etmek için dünya üzerinde güvenilir bir malzeme olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar beton malzemesi ile yapılmış yapılar iyi bir dayanıklılığa ve stabiliteye sahip olsalar da beklenmedik dinamik yüklemeler, kimyasal etkiler, çevresel etkiler ve tasarım hataları gibi bazı faktörler yapıya zarar vermektedir. Bu nedenle, beton yapının uzun ömürlülüğü azalmaktadır. Beton yapıdaki hasar seviyesini değerlendirmek servis ömrüne karar vermek açısından önemlidir. Yapılardaki hasar durumunu ve yapının taşıyıcılığını belirlemede en sık kullanılan yöntemlerden birisi yapısal elemanlardan alınan karot numunelerin basınç testine tabi tutularak beton basınç dayanımının elde edilmesi ve karot numunenin incelenmesi suretiyle yapılan tahribatlı muayenedir. Fakat betondan karot alınırken karot numune hasar görmektedir ve gerçek durumunu yansıtmamaktadır. Bu çalışmanın genel amacı Akustik Emisyon (AE)-Oran İşleme Analizi ile betonarme yapılardan alınan karot numunelerin hasar derecelerini tespit etmektir.

Bu tezde, laboratuvar koşullarında üretilen betondan standart silindir numuneler hazırlanmış ve aynı betondan hazırlanan küp numuneden karot numuneleri alınmıştır. Daha sonra, belirlenen amaç doğrultusunda, alınan karot numuneler ve referans elemanı olarak kullanılan silindir numuneler laboratuvar ortamında serbest basınç deneyine tabii tutulup, elde edilen verilere AE- Oran İşleme Analizi uygulanmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda karot numunenin hasar görmemiş durumundaki elastisite modülleri AE oran ve hasar parametreleri ile ilişkilendirmiş ve karot numunelerinin hasar seviyeleri tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Tahribatsız test, Akustik Emisyon, AE-Oran İşleme Analizi, hasar tespiti, karot numune testi.



ABSTRACT
DAMAGE LEVEL DETERMINATION OF CONCRETE CORE
SAMPLES BY AE-RATE PROCESS ANALYSIS

SEYED YOUSEFİ SHESHDEH, Ali

MSc in Civil Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ebru ERİŞ

September 2019, 73 pages

Concrete is a reliable material on earth for constructing buildings, bridges and roads. Although concrete structures have good durability and stability, some factors such as, unexpected overloading, chemical attacks, marine environments and errors in design cause damages. Therefore, durability and thus stability of the concrete structure decreases. Thus, it is important to evaluate the damage level of the structure and check them by applying an appropriate method. One of the most common methods is taking core samples from concrete elements. By conducting compression test on these samples, strength and the status of the element can be evaluated. However, during core testing core samples get damaged. The aim of this study is to determine the damage levels of core samples taken from reinforced concrete structures by Acoustic Emission (AE) –Rate Process Analysis.

In this thesis, standard cylinder samples were prepared from concrete produced under laboratory conditions and core samples were taken from cube sample prepared from the same concrete. Then, for this purpose, core samples and cylinder samples used as reference element were subjected to free pressure test in the laboratory and AE-Ratio Processing Analysis was applied to the obtained data. According to the analysis, the modulus of elasticity of the core sample was correlated with the AE ratio and damage parameters and the damage level of the core samples were determined.

Keywords: Non-destructive test, Acoustic emission, AE-Rate process analysis, Damage level evaluation, Core sample test.

ÖNSÖZ

Beton; binalar, köprüler ve yollar inşa etmek için dünya üzerinde birçok ülkede güvenilir bir malzeme olarak kullanılmaktadır. Dinamik yükler, çevresel koşullar, tasarım hataları, yapım sırasında oluşan hasarlar yapılar zarar verir. Bu nedenle betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesi, yüksek dayanımlı yapıların yapımında olumlu etkilere sahiptir. Bu tez kapsamında laboratuarda hazırlanan beton numunelerden alınan karot numuneler laboratuvar ortamında serbest basınç deneyine tabi tutulup, elde edilen verilere AE- Oran İşleme Analizi uygulanmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda yapının hasar görmemiş durumundaki elastisite modülleri AE oran ve hasar parametreleri ile ilişkilendirmiş ve yapının hasar seviyesi tespit edilmiştir.



İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİN.....	xx
BÖLÜM 1.....	1
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Konsept.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Tezin Önemi.....	2
1.4 Tez Materyali ve Yöntemleri.....	3
BÖLÜM 2.....	5
2. AKUSTİK EMİSYON (AE) YÖNTEMİ.....	5
2.1 Tahribatsız Muayene Yöntemi Olarak AE.....	5
2.2 AE Yönteminin Diğer Muayene Yöntemleriyle Karşılaştırılması	5
2.3 AE Yönteminin Tarihi	7
2.4 Genel Kavramlar	10
2.4.1 AE Dalgasının Oluşumu ve Algılanması	15
2.4.2 AE kaynakları.....	15
2.4.3 AE sensörleri.....	17
2.4.4 AE Parametreleri.....	22
2.4.5 AE Özellikleri.....	23

İÇİDEKİLER (devam)

2.4.5.1 Aktivite analizi	24
2.4.5.2 Vuruş tabanlı analiz.....	24
2.4.5.3 Frekans analizi.....	25
2.4.5.4 Dalgaformu analizi.....	26
2.4.6 AE Vuruşlarının Belirlenmesi.....	27
2.4.7 AE Sinyali ve İşleme Mekanizması.....	28
BÖLÜM 3.....	31
3. ORAN İŞLEME ANALİZİ.....	31
3.1 Giriş.....	31
3.2 Genel Kavramlar.....	31
3.2.1 AE Oran İşleme Analizi.....	32
3.2.2 Hasar mekaniği parametresi ve Loland modeli.....	33
3.2.3 Hasar tahmini.....	34
3.3 Oran İşleme Analizi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	35
BÖLÜM 4.....	39
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	39
4.1 Numunelerin dizaynı.....	39
4.2 Malzemeler.....	40
4.3. Numunelerin üretimi.....	41
4.3.1 Beton üretimi.....	41
4.3.2 Karot alımı.....	42
4.3.3 Numunelerin serbest basınç deneyine hazırlanışı.....	44
4.4 Serbest Basınç Deneyi ve AE Test Sisteminin Kurulumu.....	45

İÇİNDEKİLER (devam)

BÖLÜM 5.....	49
5.BULGULAR VE SONUÇLAR.....	49
BÖLÜM 6.....	63
6. SONUÇLAR.....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	65
TEŞEKKÜR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 L'Hermite tarafından elde edilen deneysel sonuçlar (Grosse et al., 2008).....	9
Şekil 2.2 AE dalgasının oluşumu (Grosse et al., 2008).....	11
Şekil 2.3 Elektrik sinyaline dönüşmüş bir AE sinyali (Karcili, 2014).....	11
Şekil 2.4 AE algılama sistemi (Grosse et al, 2008).....	12
Şekil 2.5 P dalgası ve S dalgası (Novotny, 1999).....	12
Şekil 2.6 Rayleigh dalgası (Novotny, 1999).....	13
Şekil 2.7 Love dalgası (Novotny, 1999).....	13
Şekil 2.8 Simetrik Lamb dalgası (Su et al., 2006).....	13
Şekil 2.9 Anti simetrik Lamb dalgası (Su et al., 2006).....	14
Şekil 2.10 Mekanik AE dalgasının elektrik sinyaline dönüştürülmesi (Unnthorsson, 2013).....	17
Şekil 2.11 Aynı rezonans AE dönüştürücüsü için iki kalibrasyon eğrisi.....	20
Şekil 2.12 AE sinyal parametreleri (Grosse et al., 2008).....	22
Şekil 2.13 AE vuruş belirleme prosedürü (Unnthorsson, 2008).....	27
Şekil 2.14 Yük altında oluşan AE aktiviteleri (Karcili, 2014).....	29
Şekil 2.15 AE sinyal işleme mekanizması (Karcili, 2014).....	29
Şekil 3.1 $f(V)$ olasılık fonksiyonunun iki farklı durumu (Suzuki and Ohtsu, 2004).....	33
Şekil 3.2 Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, E_c ve E_o 'ın belirlenmesi (Ohtsu et al, 2007).....	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 3.3 AE veritabanı (Karcili et al., 2016).....	35
Şekil 3.4 Hasar seviyesi - Basınç dayanımı grafiği (Ohtsu and Tomoda, 2006).....	37
Şekil 4.1 Numunelerin tasarımı.....	39
Şekil 4.2 0-5 mm ince agrega.....	40
Şekil 4.3 5-15 mm iri agrega.....	40
Şekil 4.4 5-15 mm iri agrega.....	41
Şekil 4.5 Üç silindirik kalıbı.....	42
Şekil 4.6 Küp kalıbı.....	42
Şekil 4.7 HILTI DD120 cihazı.....	43
Şekil 4.8 Karot numunelerin alınması.....	43
Şekil 4.9 Numunelerin hazırlanması.....	44
Şekil 4.10 Numuneler üzerindeki gerinim ölçerler.....	45
Şekil 4.11 AE sensörü.....	46
Şekil 4.12 Basınç cihazı.....	46
Şekil 4.13 Veri toplayıcı cihaz.....	47
Şekil 4.14 AE veri toplama sistemi.....	47
Şekil 4.15 Deney kurulumu.....	48
Şekil 5.1 C20 betonu referans 2 numunesi için $f(v)$ - $V(\%)$ grafiği.....	49
Şekil 5.2 C20 betonu karot 2 numunesi için $f(v)$ - $V(\%)$ grafiği	50
Şekil 5.3 C30 betonu referans 1 numunesi için $f(v)$ - $V(\%)$ grafiği	50
Şekil 5.4 C30 betonu karot 1 numunesi için $f(v)$ - $V(\%)$ grafiği.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 5.5 C20 betonu referans 1.....	52
Şekil 5.5 (a) C20 betonu referans 1, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi.....	52
Şekil 5.6 C20 betonu referans 2.....	53
Şekil 5.6 (a) C20 betonu referans 2, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi.....	53
Şekil 5.7 C20 betonu karot 1.....	54
Şekil 5.7 (a) C20 betonu karot 1, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi.....	54
Şekil 5.8 C20 betonu karot 2.....	55
Şekil 5.8 (a) C20 betonu karot 2, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi.....	55
Şekil 5.9 C30 betonu referans 1.....	56
Şekil 5.9 (a) C30 betonu referans 1, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi.....	56
Şekil 5.10 C30 betonu referans 2.....	57
Şekil 5.10 (a) C30 betonu referans 2, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi.....	57
Şekil 5.11 C30 betonu karot 1.....	58
Şekil 5.11 (a) C30 betonu karot 1, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi.....	58
Şekil 5.12 C30 betonu karot 2.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 5.12 (a) C30 betonu karot 2, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi.....59

Şekil 5.13 Her bir numune için basınç dayanımı ve E_0/E^* değerleri.....61





ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Farklı uygulamalardaki AE dalgalarının menzilleri.....	15
Çizelge 2.2 Tipik AE kaynakları ve oluşturduğu mekanizmalar.....	16
Çizelge 2.3 Sensörlerin Uygun Frekans Çalışma Aralığı.....	19
Çizelge 4.1 Beton C20 ve C30 için karışım tasarımı.....	41
Çizelge 5.1 Numunelerin mekanik sonuçları.....	60



BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

1.1 Genel Konsept

Yapıları inşa etmede en çok kullanılan malzemelerden biri betondur. Beton, basınç dayanımı güçlü ancak çekme dayanımı zayıf olan bir malzemedir. Bu nedenle, beton dayanımını artırmak için betona inşaat çeliği eklenmiştir. Günümüzde tüm yapısal sistem elemanlarını oluşturmak için betonarme kullanılmaktadır. Betonarme yapı betonarme kirişler, kolonlar ve donatı çubuklarından oluşan yapı tipleridir (MacGregor et al, 1997). Her ne kadar bu tür yapılar iyi bir dayanıklılığa ve stabiliteye sahip olsalar da beklenmedik aşırı yükleme, kimyasal etkiler, deniz ortamı ve tasarım hataları gibi bazı faktörler yapıya zarar verir. Bu nedenle, betonarme yapının uzun ömürlülüğü azalır. Ayrıca yapıdaki hasar seviyesini değerlendirmek ve yeni yöntemler kullanarak onları kontrol etmek önemlidir. Günümüzde binalar, köprüler ve yollar gibi yapıların hasar durumlarının değerlendirilmesi çok fazla talep görmektedir. Bu nedenle, betonun basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri tahmin edilmelidir. Fakat bu nasıl mümkün olabilir? Bu konuda tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki çeşit yöntem vardır. İhtiyaca göre her iki yöntem de kullanılabilir fakat her yöntem bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Tahribatlı testler, numune alınan malzemenin tahrip olmasına yol açabilir, ancak testin sonuçları açısından doğru sonuçların ve gerçek değerlerin bulunmasında avantaja sahiptir. Öte yandan, tahribatsız muayene doğrudan bilgi sağlamaz, ancak bu yöntem ucuz, hızlı ve yapıya zarar vermeden yapılabilir. Bu nedenle, her iki sistem birlikte uygulanarak sonuçlar elde edilebilir. Genel olarak bakıldığında, bazı örnekler yapıdan alınmalı, sonra özel değerlendirme metodu kullanılarak alınacak etkili veriler ve uygun analiz süreci seçilerek hasar seviyesi belirlenebilir. Fakat bu sistemler yapıdaki hasar seviyesini belirlemek için nasıl birlikte çalışabilir? İlk adım, önce yapıdan numune almaktır. Bu amaçla en kullanışlı ve popüler numune alma tekniklerinden biri karot almaktır. Her ne kadar bu teknik tahribatlı bir teknik

olsa ve yapıdan silindirik numuneler alarak çalışsa da çalışma hızı, emniyet, doğruluk gibi bazı avantajlara sahip olması beton numunenin dayanımını ve yoğunluğunu belirleme, betonun karbonatlaşma derinliği ve petrografik analizler hakkında bilgi vermesi karot almanın önemini gösteren nedenlerden bazılarıdır. İkinci adım, numuneleri basınç testi altında tutarak ve değerlendirme yöntemini seçerek verileri elde etmektir. Günümüzde, tahribatsız testler (Non-destructive testing, NDT) değerlendirme yöntemi olarak popülerdir ve mühendisler bu yöntemleri veri almak için kullanmayı tercih ederler. Çünkü bu sistemler yapıya herhangi bir zarar vermeden ve tahrip etmeden uygulanır. Akustik emisyon, ultrasonik test, darbe eko, radar, termografi vb. yöntemler bazılarıdır. Tahribatsız testler arasında akustik emisyon (AE) en iyi bilinen ve güvenilir yöntemlerden biridir. Malzeme üzerinde zararlı bir etkisi olmadan uygulanması, inceleme altında fazla enerjiye gerek kalmaması ve serbest bırakılan enerjiye ve dinamik süreçlerle ilişkiye veya bir malzemedeki değişikliklere dikkat edilmesi gibi bazı avantajları vardır. Günümüzde, numunelerdeki hasar seviyesi ve beton mukavemeti, numuneler basınç etkisindeyken AE oranı işlem analizi kullanılarak analiz edilebilir. Beton numuneler basınç altındayken, iç bileşenleri değişebilir ve böylece enerji boşalımından AE dalgaları üretilecektir. Sonuçta, AE oran-ışleme analizlerinin görevi AE dalga davranışını analiz ederek, numunelerdeki hasar seviyesini belirlemektir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, betonarme yapılardan alınan beton numunelerinin hasar seviyelerini Akustik Emisyon (AE) -Oran İşleme Analizi yöntemi ile belirlemektir.

1.3 Tezin Önemi

Betonarme yapılardan alınan karot numunelerini test ederek elde edilen sonuçlar, karot alınan yapısal elemanın mekanik özelliklerini belirlemek için de kullanılır. Ancak, karot alma işlemi numuneye zarar verir. Hasar görmüş bir numuneden incelenen karotun mekanik özelliklerini belirleyen parametrelerin

kullanılması, sonuçların gerçekten uzaklaşmasına neden olur. Literatürde karot numunelerin hasar seviyelerinin araştırılması konusunda çok az çalışma vardır. Akustik Emisyon (AE) gibi tahribatsız muayene yöntemleri genelde uygulanmamaktadır. Bu nedenle, literatürde bu tür bir çalışma ilklerden olacaktır. Bu çalışma kapsamında, laboratuvar ortamında hazırlanan beton bloklardan alınan karot numunelerine serbest basınç testlerinin uygulanması ve numunede oluşacak kırılma olaylarının AE yöntemi ile elde edilmesi amaçlanmıştır. AE verileri Oran İşleme Analizi ile işlenmiş ve karot numunenin hasar derecesi ile mikro boyutta oluşan olaylar arasında bir bağlantı kurulması amaçlanmıştır.

1.4 Tez Materyali ve Yöntemleri:

Bu tez çalışmasında kullanılan temel yöntem, Akustik Emisyon Oranı İşleme Analizi yöntemidir. Akustik Emisyon (AE), gerilme altındaki malzemelerde kırılmadan dolayı enerji boşalması ve elastik dalgalar halinde malzemede yayılması olarak tanımlanmaktadır. Yayılan dalgalar, yüzeye yerleştirilen hassas bir piezoelektrik dönüştürücüyü uyarır. Malzemeye uygulanan basınç artarsa, bu dalgalar çok büyük miktarlarda üretilecektir. Malzemenin yüzeyine ulaşan zayıf dalgalar bir veya daha fazla sensör tarafından ölçülecektir. Bu yöntem, AE muayene yöntemi olarak bilinir. Tez kapsamında, laboratuvarında hazırlanan beton bloklardan alınan karot numuneler serbest basınç testi altında Oran İşleme Analizi ile incelenmiş ve bunun sonucunda karot numunenin hasar seviyesi belirlenmiştir. Bu analizin temel amacı, betonarme malzemenin AE dalgalarını serbest basınç testi altında incelemektir. Loland Teorisi kullanılarak oluşturulan gerilme-deformasyon davranış modelinin yardımı ile hasar parametresi oluşturulmuştur. İlgili hasar parametresi ve AE aktiviteleri birbirleriyle ilişkilidir. Bağlı hasar değeri bu ilişki yardımı ile elde edilmiş ve malzemenin hasar seviyesini belirlemek için kullanılmıştır.



BÖLÜM 2

2. AKUSTİK EMİSYON (AE) YÖNTEMİ

2.1 Tahribatsız Muayene Yöntemi Olarak AE

Tahribatsız muayene yöntemi, incelenecek malzemenin veya parçanın bütünlüğüne zarar vermeden yapılan bir muayene türüdür (Cartz, 1995). Bu yöntem, malzeme yüzeyinde ve içinde bulunan çatlak, boşluk vb. gibi kusurları tespit edebilir. Mevcut çatlakların yapısal elemanın ömrü veya performansını olumsuz yönde etkileyip etkilemeyeceğini bilmek önemlidir. Tahribatsız muayene teknikleri yapıların güvenilirliğini değerlendirebilir. Yapının içindeki kırılmadan dolayı oluşan enerji bir kaynaktan hızlı bir şekilde boşaltılması geçici elastik dalgalar oluşturur ve bunları yapının içinde yayar. Bu bir akustik emisyon olayıdır. Teknik olarak AE, elastik dalgalar analizi kullanılarak yapının iç bileşenlerinde meydana gelen hataları tespit etmek için uygulanan bir tahribatsız test yöntemidir.

Bir malzeme gerilme altındayken, malzemenin içinde deformasyon meydana gelir. Bu nedenle malzemelerde hareket ve çatlak büyümesi gibi kusurlar ortaya çıkar. Bu kusurlar enerjiye sahiptir ve onları elastik dalgalar halinde yayar. Bu dalgalar malzemenin içinde yayılır ve yüzeye ulaşır. Yüzeye yerleştirilen uygun sensörler bu elastik dalgaları alır ve bunları elektriksel sinyallere dönüştürür. Daha sonra sinyal parametrelerini analiz ederek hatalar hakkında bazı bilgiler edinilir. (Vallen systeme Company, 2015; Eitzen and Wadley, 1984).

2.2 AE Yönteminin Diğer Muayene Yöntemleriyle Karşılaştırılması

AE tekniği ile diğer tahribatsız teknikler arasında iki temel fark vardır. Birincisi, sinyal kaynağı materyalin içindedir ve harici bir kaynak yoktur. Ayrıca, incelenmekte olan malzemelerdeki hasar süreçleri numuneye zarar vermeden yükleme sırasında gözlemlenebilir. AET'nin bir malzemede dinamik

süreçlerle ilişkisi vardır. Bu özellikle yararlıdır çünkü inceleme sırasında sadece aktif özellikler vurgulanır. Böylece gelişen ve kararlı kusurları izlemek mümkündür. Yükleme tespit edilebilir akustik olayları sağlayacak kadar yüksek değilse, kusurların tespiti mümkün değildir.

AE tekniği ile diğer tahribatsız teknik arasındaki diğer bir fark, AE sensörlerinin, test bitinceye kadar numunenin yüzeyinde kalabileceği ve yapının tüm bölümünün taranması için sensörlerin konumunu değiştirmeye gerek kalmamasıdır. Bu avantaj, sensörlerin alt eşikini geçen AE aktivitelerini takip etmeye yardımcı olur.

Malzemeler farklı mekanik özelliklerine göre, gerilme altında farklı deformasyon gösterebilirler. Bazı malzemeler gerilme altında lineer elastik deformasyon gösterebilir, ancak diğerleri elastoplastik davranış gösterir. Lineer elastik davranış, Hooke Kanunu olarak bilinir. AE tekniği, bir malzeme elastik olmayan davranış gösterdiğinde kullanılır. Bu nedenle, AE tekniği malzemelerdeki yeni çatlakların ve mevcut var olan çatlakların büyümesinin tanınması için güvenilir bir tekniktir (Grosse et al., 2008).

Akustik emisyonun en büyük avantajlarından biri, malzemedeki mekanik davranışları uzun süre gözlemlenebilir yeteneğidir. Diğer tahribatsız yöntemlerle bu fark, akustik emisyon tekniğini benzersiz kılar ve hem yüzeyde hem de malzemenin derinliğinde çatlak yayılımının tespiti oluşur.

Akustik emisyon tekniği, hataları değerlendirmek için sadece az sayıda sensöre ihtiyaç duyar. Yapı büyük ölçekte olsa bile, yapı yüzeyine az sayıda sensör koyarak yapı değerlendirmesi mümkündür. Bu fayda, akustik emisyon sisteminin, yapının kullanımını etkilemeden zorlu erişim koşulları altında kullanılmasına izin verir (Zhou, 2011).

Akustik emisyon tekniğinde, alınan sinyalleri işlemek için amplifikatör ekipmanı ve daha hassas sensörlerin kullanılması gereklidir, çünkü diğer tahribatsız tekniklere kıyasla, akustik emisyonda elde edilen sinyaller mikro ölçektir. Ayrıca, akustik emisyon testinin performansını iyileştirmek için,

metal cürufunun kılcal çatlakları nedeniyle oluşan fazladan gürültüyü, yapıdaki sürtünmeyi, hava koşullarına bağlı gürültü kaynaklarını tanımak ve ortadan kaldırmak çok önemlidir. Bu sorunları çözmek için, AE verilerinin işlenmesi daha kompleks bir algoritma gerektirir.

Akustik emisyon tekniğinin özelliklerinden biri, yükleme altındaki malzemenin davranışını değerlendirmektir. Bu nedenle, test sırasında malzeme farklı davranışlar gösterir. Bu nedenle, farklı AE sinyalleri alınır. AE sinyallerinin özel olduğunu ve aynı biçimde sürekli olarak tekrarlanmadığını gösterir.

2.3 AE Yönteminin Tarihi

Akustik kelimesi, işitme anlamıyla ilişkisi olan Yunanca “akoustikos” kelimesinden gelir. Uzun yıllar boyunca, bir yapının çökme sesi, yapı elemanı bozulmadan önce duyulur. Örneğin, bir odun parçasının kopma sesi kırılmadan önce meydana gelir. Günümüzde akustik yayılım olarak bildiğimiz bu seslerin konusu bir bilim haline gelmiştir (Charles, 2003).

20. yüzyıl, AE tekniğinde önemli bir tarihi dönemdir. AE deneyinin hem en eski hem de ilk tahmini, 1933'te Tokyo Üniversitesi'ndeki Deprem Araştırma Enstitüsü'nün toplantısında F. Kishinoue tarafından sunulmuştur (Grosse et al., 2008).

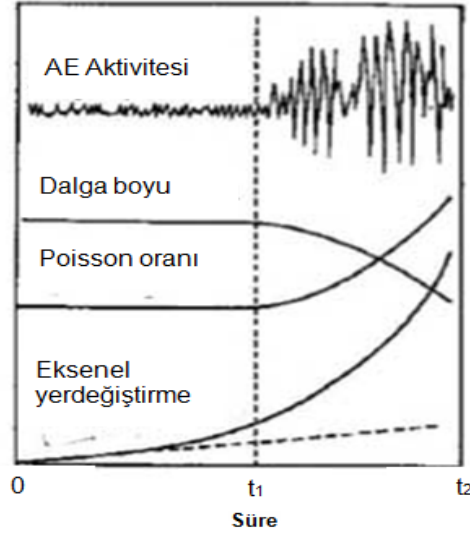
1934 yılında jeoloji alanında, ilk kez AE yöntemi incelenmiştir ve L. Obert, kayadaki mikro-sismik emisyonu tespit etmiştir. Ayrıca, 1930'ların sonlarında Förster kurşun-çinko madenleri örnekleri seçmiş ve üzerlerinde sismik hız testi yapmıştır. Testin sonunda Förster, kontrollü kaya deneylerinde mikro-sismik aktivitenin tespit edildiğini göstermiştir (Grosse et al., 2008).

Bilimsel olarak yapılan bu test, çatlamaı analiz etmek için eğilme gerilmesi altındaki ahşap numunelere yapılmıştır. Çalışmasında, Kishinoue, eğilme gerilmesine maruz kalan tahta çubuğun çekme bölgesinin yüzeyine bir gramofon iğnesi yerleştirmiştir (Grosse et al., 2008). 1936'da Förster AE

olaylarının, nikel çelik alaşımlı numuneleri gerilme altında bırakarak ve mekanik titreşimleri elektrik gerilimlerine çevirmek için elektro-dinamik verici / alıcı sistemi kullanarak tespit edilebileceğini belirtmiştir.

1950'lerden önce AE, madencilik teknolojisinde bilinmesine rağmen, literatürde ilk araştırma, Almanya'daki J. Kaiser tarafından metalik malzemelerin üzerinde yapılmıştır. AE sinyalleri deney sırasında J. Kaiser tarafından kaydedilmiştir. Günümüzde, "Kaiser Effect" olarak bilinen ünlü tersinmezlik prensibi, metalin davranışını AE yöntemi ile inceleyen J. Kaiser tarafından keşfedilmiştir (Grosse, Christian and Ohtsu, 2008; Ohtsu, 1994). "AE" terminolojisinin ilk kullanımı 1961'de, B.H. Schofield tarafından olmuş ve araştırmacı daha önce literatürde "gerilme dalgası emisyonu", "mikrosismik aktivite" ve "gürültü" olarak kullanılan terimler yerine "akustik emisyon" kelimesini seçmiştir (Grosse et al., 2008).

Ruesch, AE davranışını incelemek için baskı altında beton örnekleri üzerinde çalışırken, 1960'lardan itibaren beton mühendisliğinde akustik emisyonlar kullanılmıştır. Deneylerde, Ruesch döngüsel yükleme-boşaltma işlemini kullanmıştır. Elemanlara, kapasitelerinin %70-85'ini geçmeyecek şekilde ve her bir döngüde daha fazla basınç uygulanmıştır. Ruesch, AE aktiviteleri, her bir döngüde bir önceki döngünün maksimum yüküne ulaşıldıktan sonra gözlemlenmeye başlanmıştır anlamıştır. Ayrıca hem hacimsel değişimin hem de ultrasonik dalgalar üzerindeki emilimin AE sinyallerinin üretimi üzerinde bazı etkileri olduğunu göstermiştir (Grosse et al., 2008). Deneylerinin bir sonucu olarak, L. Hermite, dalga hızının ve Poisson oranının ters ilişkili olduğunu gözlemiştir. Diğer taraftan, dalga hızı azaldığında, Poisson oranı artmaktadır. Benzer şekilde, AE aktiviteleri arttığında, eksenel yer değiştirme de azalmaktadır. Şekil 2.1 L. Hermite tarafından elde edilen beton üzerindeki basınç testinden sonuçları göstermektedir (Grosse et al., 2008).



Şekil 2.1 L'Hermite tarafından elde edilen deneysel sonuçlar (Grosse et al., 2008)

ABD'de 1963'te A. Green, C. Lockman ve R. Steele, ABD Donanması için roket yapısını değerlendirmek amacıyla askeri alanda AE tekniğini seçmiştir. Ayrıca ABD'de 1963'te H. Dunegan tarafından basınçlı kapların AE ile incelenmesi önerilmiştir (Muravin, 2009).

1965 yılında Robinson, 13-14 kHz aralığında AE tekniğini kullanarak farklı beton küp numunelerini test etmiştir. Yaptığı deneyler sırasında yapı hasar görmeden önce, diğer yöntemlerden daha erken tespit eden akustik emisyonun üstünlüğünü göstermiştir. Wells 1970 yılında benzer bir deney yapmış ve gürültü emisyonunun nihai gücün yüzde 50'sinde başladığını ve göçme yüküne yaklaşıldıkça arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca akustik emisyon ile yük artışı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca Wells, betondaki AE faaliyetlerini 2-20 kHz frekansları arasında görüntülemek için daha hassas ekipman tasarlamıştır. Ancak, gerçek AE sinyallerini test makinesinin gürültüsünden ayırt edememiş ve gürültü filtreleme işlemi tamamen gerçekleştirilememiştir (Wells, 1970).

1970 yılında, Green bir basınç tankını test etmiş ve incelenen tank yüzeyindeki hasarın yerini kaynak yeri tekniği ile belirleme konusunda başarılı olmuştur (Green, 1970). Green'in çalışması, AE aktivitesi ile materyaldeki hasarı belirleyen literatürdeki ilk çalışmadır. Daha sonra, Amerika'da kaynak yeri tekniği roketler için kullanılmıştır. AE tekniği ile beton malzemelerin

hasar mekanizmalarının araştırılması çalışması 1970 yılında başlamış olmasına rağmen, tekniğin araştırılması bu yıldan sonra azalmıştır (Green, 1970).

1973 yılında Hardy ve ark. depolama tankının dengesizliğinin incelenmesi ve izlenmesi için yeraltı gaz deposunun AE ölçümü üzerine bir deney yapmıştır. Hardy, 1975'ten 1996'ya kadar, Jeolojik Yapılar ve Malzemelerde Akustik Emisyon / Mikrosismik Aktivite konusu ile ilgili birkaç konferans düzenlemiştir (Ono, 2007).

Malhotra, 1976'da birçok literatür taraması yapmış ve betonun AE ile mekanik davranışının araştırılmasının daha fazla geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir (Malhotra, 1976).

Akustik emisyon tekniği üzerine çalışma 1982 yılında Ohtsu tarafından sürdürülmüştür. Yaptığı çalışmada, betondaki hasar kinematığını analiz etmek için elde ettiği AE dalga formu verilerine elastodinamik teorisi uygulamıştır. Sonuç olarak; beton içindeki çatlakların tipi ve gelişimini izlemek için moment tansörü analizine dayalı bir AE dalgaformu analizi önerisinde bulunmuştur (Ohtsu and Ono, 1984; Ohtsu,1988, Ohtsu and Watanebe, 2001).

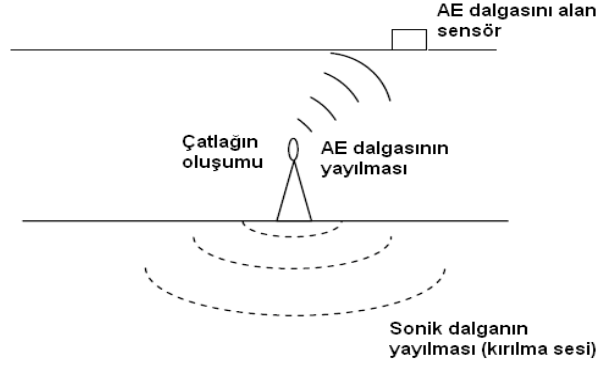
2.4 Genel Kavramlar

2.4.1 AE Dalgasının Oluşumu ve Algılanması

Akustik emisyon, mekanik deformasyon ve kırılma, faz dönüşümü, korozyon, sürtünme ve manyetik işlemler nedeniyle oluşan bir olgudur. Bu olay, enerjiyi bir kaynaktan veya malzemeler içindeki kaynaklardan serbest bırakmak suretiyle oluşturulan elastik dalgaların yayılmasıyla ilgilidir. Akustik emisyon, malzemelerin içindeki dinamik mikroskobik prosesleri tespit etmek ve değerlendirmek için önemli tahribatsız bir yöntemdir (Ono, 1997).

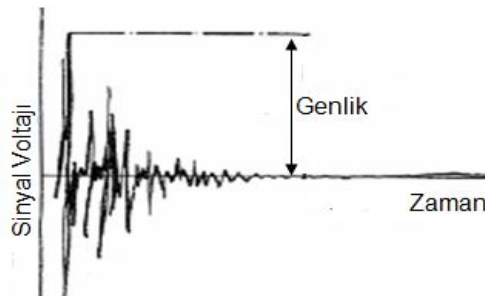
Testte bir malzeme gerilme altındayken, bir kusurun meydana geldiği noktada ani bir hareket meydana gelir. Bu kusuru malzeme yüzeyine hareket eden elastik dalgalar oluşturur. Malzeme yüzeyindeki bazı sensörler bu elastik

dalgaları algılar. AE izleme sisteminde, sinyalin ulaştığı ilk nokta algılayıcıdır. Bunu sırası ile ön yükselteç, süzgeç, güç yükseltici, sayıcılar, sinyal değiştirme ve işleme kartı ile veri kayıt ve gösterim araçları izler. Malzemeye uygulanan stres bu emisyonlarla doğrudan ilişkilidir. Stresi artırmak çok fazla emisyon üretileceği anlamına gelir. Şekil 2.2, AE dalgasının oluşumunu ve tespitini göstermektedir.

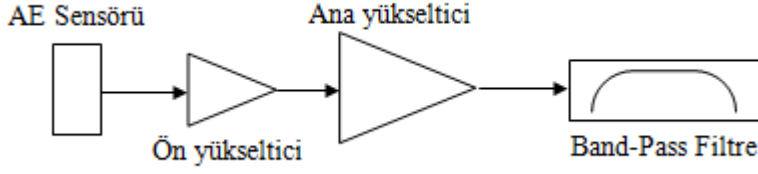


Şekil 2.2 AE dalgasının oluşumu (Grosse et al., 2008)

Sensörlerin elastik dalgalardaki değişimin neden olduğu elektrik sinyallerine AE sinyalleri denir (Şekil 2.3). AE sinyallerinin genliğinin zayıf olması nedeniyle, güçlerinin artırılması gerekir. Bu nedenle, amplifikatörleri kullanmak bu sorunu çözmek için iyi bir çözümdür. Ayrıca ortamdaki gürültü, filtre tarafından giderilir. Şekil 2.4, basit bir AE algılama sistemini göstermektedir.

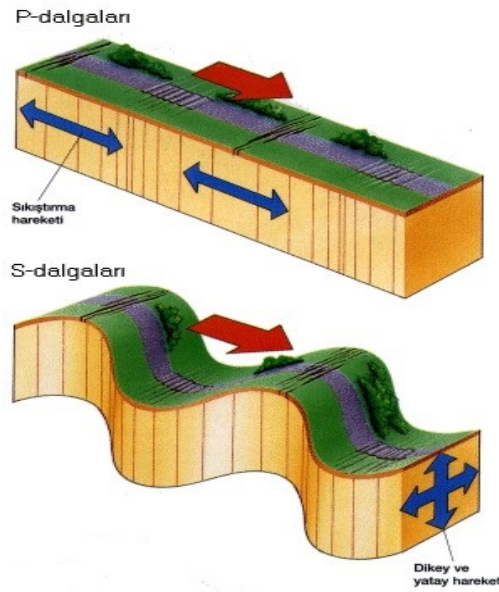


Şekil 2.3 Elektrik sinyaline dönüşmüş bir AE sinyali (Karcili, 2014)

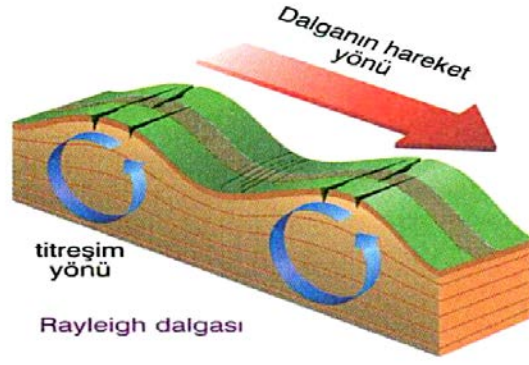


Şekil 2.4 AE algılama sistemi (Grosse et al., 2008)

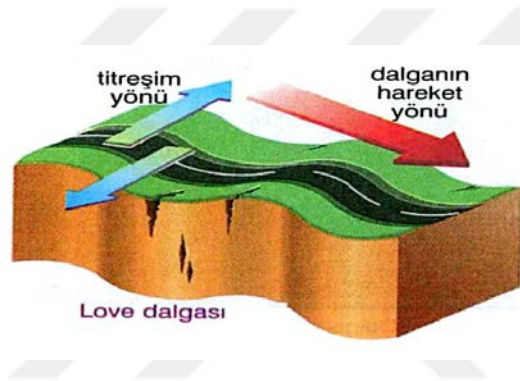
Elastik dalganın yayılma hızı, dalga türüne, malzeme özelliklerine ve dalga frekansına göre farklılık gösterir. Elastik dalgalar, malzemenin hangi kısmında yayılabileceğine bağlı olarak cisim dalgalarına ve yüzey dalgalarına ayrılır. Cisim dalgaları iki ana elastik dalga P dalgası ve S dalgasından oluşur. P dalgaları birincil dalgalardır ve etkilenen bölgeye en hızlı ulaşan elastik cisim dalgalarıdır. Ayrıca P dalgaları doğrusal olarak ilerleyen dalgadır. S dalgaları kayma dalgaları veya ikinci dalgalar olarak adlandırılır, çünkü birinci dalgalardan daha yavaşıdır ve P dalgalarından sonra etkilenen bölgeye ulaşırlar. Dahası, S dalgaları enine ilerleyen dalgalardır (Novotny, 1999). P ve S dalgası Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Yüzey dalgaları, Rayleigh ve Love dalgalarından oluşur. Yüzey dalgaları cisim dalgalarından daha yavaşıdır ve malzemenin yüzeyi boyunca yayılır. Rayleigh dalgaları düşey düzlemde ve yayılma yönüne paralel eliptik hareketlere sahiptir (Şekil 2.6). Love dalgaları yatay ve yayılma şeklinin yönüne diktir (Şekil 2.7).



Şekil 2.5 P dalgası ve S dalgası (Novotny, 1999)

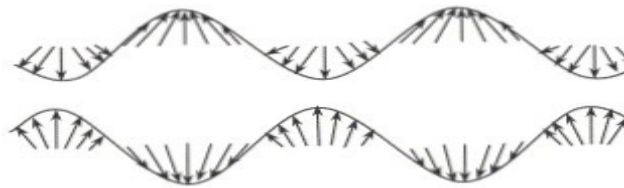


Şekil 2.6 Rayleigh dalgası (Novotny, 1999)



Şekil 2.7 Love dalgası (Novotny, 1999)

Ek olarak, Lamb Dalgaları, kompozit malzemelerdeki hasar seviyesini tanımak için pozitif etkiye sahip bir dalga türüdür. Lamb Dalgası, yüksek yoğunlukta bile malzemenin içinde hareket edebilir. LP, LSH ve LSV olmak üzere üç tip Lamb Dalgası vardır. Ayrıca Lamb Dalgaları simetrik ve anti-simetrik olmak üzere iki farklı moddan oluşur. Simetrik modda dalganın en büyük bileşeni levhanın yüzeyine paraleldir. Aksine, antisimetrik moddaki en büyük bileşen levhanın yüzeye diktir. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 bu tür dalgayı göstermektedir. (Su et al., 2006).



Şekil 2.8 Simetrik Lamb Dalgası (Su et al., 2006)



Şekil 2.9 Anti simetrik Lamb Dalgası (Su et al., 2006)

Malzemenin mekanik özellikleri, izotropik ve homojen bir malzemede dalga hızını belirlemek için belirleyici bir rol oynamaktadır ve dalga hızı, frekansa bağlı bir fonksiyondur. Dalga yayılırken, düşük ve yüksek frekans dalgaları birbirinden ayrılır. Dalga frekanslarının bu ayrılışı dispersiyon olarak bilinir. Bir dalganın genliği sönümlenmenin bir sonucu olarak azalır. Farklı malzemeler, elastik dalgaları iletmeye karşı farklı direnç gösterir. Her malzemenin elastik dalgaların yayılmasına karşı gösterdiği direnç, "akustik empedans" olarak adlandırılır. Bir malzemenin akustik empedansı, yoğunluğunun ve dalga hızının ürünü olarak tanımlanır ve bu iki faktörün çarpımı ile bir malzemenin akustik empedans miktarı hesaplanır. Akustik empedans, dalganın çeşidine ve frekansa bağlı bir parametredir. Dalgalar bir maddenin içindeki bir kaynaktan yayıldıklarında, malzemenin yüzeyine hareket eder ve sonra geri döndürülür. Dalganın enerjisinin korunmuş olduğu varsayılarak, dalganın birim alanı başına enerji değeri ile dalganın yüzey alanı arasındaki ilişkiye göre, dalganın yüzey alanı artarsa, dalganın birim alanı başına enerji değeri azalır. Yüzeysel, küresel ve silindirik olarak enerjinin azaltılması dalganın yayılım tipine bağlıdır. Bununla birlikte, iç sürtünmeye göre, bir miktar enerji ısıya dönüştürülür ve dalganın enerjisi değişir. Sonuç olarak, elastik dalgalar değişken dalga boyu parametreleriyle sensörlere ulaşır. Bu yüzden AE sinyali işlenmesi kompleks bir uygulamadır (Unnthorsson et al., 2008).

Dalgalar betonda veya homojen olmayan diğer malzemelerde yayılırken, bunların fiziksel özellikleri (hız, sönümlenme) değişir. Bu iki faktör, AE kaynağının enerjisi ve sensörlerin hassasiyeti, elastik dalgaların yayılıma şeklinde etkilidir. Farklı testlerde üretilen AE dalgalarının aralığı ve dalga

tipleri hakkında farklı bilgiler Çizelge 2.1'de gösterilmektedir (Grosse et al., 2008).

Çizelge 2.1 Farklı uygulamalardaki AE dalgalarının menzilleri

Malzeme tipi/ Test numunesi/ Test yeri	AE kaynağı/ Sensör tipi	Dalga tipi	Frekans	Menzil
Betonarme 0/16 mm agregalı hasar görmemiş kiriş Laboratuvar	Kalem ucu kırma Çeşitli tipler	Rayleigh P-dalgası	<50 kHz >50 kHz	>2 m <1 m
Öngerilmeli betonarme 0/32 mm agregalı hasar görmüş kiriş Açık hava test alanı ETH Zürih	Beton çatlaması Fuji- KSB 250	P-dalgası	-	Sonraki çatlak
Öngerilmeli betonarme 0/32 mm agregalı hasar görmüş kiriş	Kablo kopması Pure Tech. Ltd.	Çeşitli	1-20 kHz	>20 m

2.4.2 AE kaynakları

AE dalgaları, katıların fiziksel özelliklerini değiştiren tüm olaylarda ortaya çıkar. Bu olaylar, mikro ölçek ve makro ölçek gibi farklı ölçeklerde gerçekleşebilir. Çatlak çekirdeklenmesi, çıkık hareketi ve tane sınır kayması mikro ölçekte meydana gelen olaylardır. Çizelge 2.2'de AE kaynakları ve bu kaynakların oluşturduğu mekanizma detayları gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Tipik AE kaynakları ve oluşturduğu mekanizmalar

AE Kaynağı	Mekanizma tipi
Deformasyon	Dislokasyon üretimi Dislokasyon yerdeğişimi Dislokasyon boşalması Tane sınırı kayması
Faz dönüşümleri	Polimorfik dönüşümler Katı solüsyonlarda çökelti oluşumu Metallerde manyeto-mekanik oluşumlar
Çatlama ve yorulma	Mikroçatlakların birikimi Kalıcı deformasyonlar Çatlak oluşumu Malzeme sünmesi Korozyon çatlağı
Sürtünme	Darbeler Elastik etkileşimler Plastik deformasyonlar ve pürüzler Yüzey katmanı hasarı Kavlanma Aşınma parçası ve yüzeyin etkileşimi

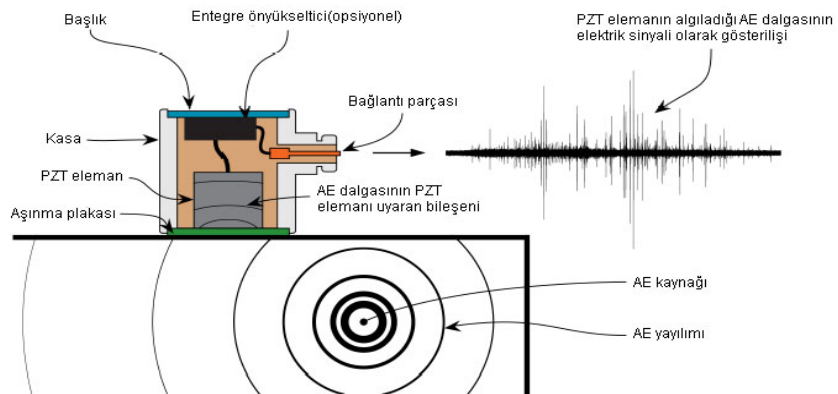
AE, delaminasyon, çatlak oluşumu, kompozit malzemelerde malzemelerin ayrışması, manyetik bölgelerin oluşumu veya yeniden hizalanması, faz dönüşümleri ve sıvıların yer değiştirmesi gibi diğer olaylarda ortaya çıkar. Bu olaylar diğer AE kaynak türleri olarak bilinir (Baranov, 2007). Ayrıca, dış etkenlerin neden olduğu mekanik sürtünme, rüzgâr, hava hortumları

ve doldurma gibi testten önce filtrelenmesi gereken bazı dış elastik dalga kaynakları vardır.

2.4.3 AE sensörleri

Elastik dalgalar yüzeysel titreşimlerin oluşmasına neden olur. Bu titreşimler, akustik emisyon sensörleri kullanılarak ölçülebilir. Sensörler, dinamik yer değiştirmeleri veya elastik dalgalarını tanımlamak, almak ve bunları elektrik sinyaline dönüştürmek için kullanılan cihazlardır. Piezoelektrik, kapasitans, elektromanyetik ve optik gibi birçok sensör tipi vardır. Elektromanyetik ve optik sensörler yüzeye temas etmeden kullanılabilir, ancak elektromanyetik sensörler piezoelektrik sensörlerden daha az hassastır. Optik sensörlerin rezonans sınırlaması yoktur. Başka bir deyişle, rezonanssızdırlar (Kim and Park, 1984).

En popüler sensörler Piezoelektrik sensörlerdir. İki tip Piezoelektrik sensör vardır. Birincisi, geniş bantlı sensörler ve ikincisi rezonans sensörleridir. Sensörleri üretmek için bir tür seramik olan Gözenekli Kurşun Zirkonat Titanat (PZT) kullanılır. Piezoelektrik bir sensör ve bir AE'nin elektriksel gösterime nasıl dönüştürüldüğü Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Sensörler malzemenin yüzeyinde kalırlar, sensörün bir parçası olan aşınma plakası titreşimleri alır ve bunları sensörlerin içindeki PZT'ye aktarır. PZT elemanı titreşim alırken elektriksel sinyaller üretir. Bu nedenle, dönüştürücünün sinyali bir boyutlu voltaj-zamandır.



Şekil 2.10. Mekanik AE dalgasının elektrik sinyaline dönüştürülmesi (Unnthorsson, 2013)

Titreşimlerin piezoelektrik sensörlere nasıl aktarıldığının ölçüm kalitesi üzerinde etkisi vardır. Genellikle üç ana faktör vardır. Birincisi, malzemenin yüzeyi ikinci, sensörün malzemeye karşı baskısı ve üçüncüsü, bağlantı ortamı (Higo and Inaba, 1991). Bir sensörün varlığı titreşimi etkilese de temas sensörleri kullanıldığında titreşimlerden kaçınmanın bir yolu yoktur. Sensörler, yüzeye dik yönde hareket eden AE dalgalarının bileşenlerini ölçmek için tasarlanmıştır. Bu nedenle, dalgaların yönü aynı zamanda sensörlerin tepkisini de etkiler. Sonuçta, sensörlerin tepkisi tüm dalgalar için aynı değildir ve gelen bir dalgaının yönüne bağlıdır.

AE sensörünün rezonans frekansı üzerinde etkili olan en önemli faktör PZT elemanının büyüklüğüdür. Düşük rezonans frekansına sahip sensörler, yüksek sönümlü bir malzeme test edilirken seçilmelidir. Küçük PZT elemanları kullanılırsa, sensörün rezonans frekansı çok büyük olur.

AE sinyallerinin ölçülmesinde uygun sensör seçimi çok önemlidir. Testler için en iyi AE sensörünü seçmek için birçok temel faktör vardır.

Çevresel durum, uygun sensör seçimi üzerinde etkili olan ilk faktördür. Genel olarak, AE sensörlerinin çoğu normal çevre koşulları için kullanılır, ancak sıcak makine yüzeyleri gibi bazı alanlarda özel sensörler gereklidir. Sensörlerin belirtilen sıcaklık aralığının dışında kullanılması, bunların zarar görmesine neden olur, ayrıca sensör sinyalleri üzerinde zararlı etkileri olmasıyla birlikte sensörlerin yüksek sıcaklıkta kullanmanın da bir sınırı vardır. Bu nedenle, sıcaklık aralığı, sensörleri sınırlamak için en önemli faktör olmalıdır. Bazı durumlarda, sensör yağlı veya tehlikeli ortama göre seçilmelidir (Vallen systeme Company, 2015).

Uygun sensörü seçmeye yardımcı olan bir diğer faktör frekans aralığıdır. Uygulama programlarının çoğunda frekans aralığı üç gruba ayrılmıştır: düşük (20 kHz- 100 kHz), standart (100 kHz- 400 kHz) ve yüksek (> 400 kHz). Uygulama programları için 400 kHz'in üzerindeki frekanslar gerekli değildir.

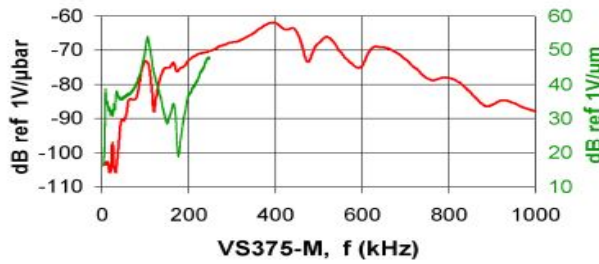
Belirtildiği gibi, Piezoelektrik sensörler iki gruba ayrılmıştır. İlk grup, çok geniş bir frekans bandına eşit şekilde yanıt veren geniş bant sensörleridir. Bu grup düz yanıt eğrisinden oluşur ve genellikle tek bir sinyalde farklı frekansları analiz etmek için uygundur. Belirtildiği gibi, iki gruba ayrılan Piezoelektrik sensörlerden ilk grup, çok geniş bir frekans bandına eşit şekilde yanıt veren geniş bant sensörleridir. Bu grup düz yanıt eğrisinden oluşur ve genellikle tek bir sinyalde farklı frekansları analiz etmek için uygundur. İkinci grup rezonans sensörleridir. Bu sensörler rezonans frekanslarında çok hassastır. Rezonans frekansı, AE sensörlerinin uygulanması için belirleyici faktördür. (Vallen systeme Company, 2015).

Uygun frekans aralığını bulmak için malzeme, numune büyüklüğü ve arka plan gürültüsü gibi faktörlere özellikle dikkat gösterilmelidir. Tablo 2.3, belirli uygulamaların kimi uygulamalar için uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.3 Sensörlerin uygun frekans çalışma aralığı

Uygulama	20-100 kHz	100-400 kHz	> 400 kHz
Düz tabanlı tanklarda korozyon taraması	X		
Boru hatlarında sızıntı tespiti	X		
Sıcak boru hatlarında çatlak tespiti		X	
Basınç tanklarında bütünlük testi		X	
Metal malzemelerde bütünlük testi		X	
Kompozit malzemelerde bütünlük testi		X	
Beton malzemelerde bütünlük testi	X		
Bitki/Ağaç kurutma işlemleri		X	
Küçük numunelerin AE testi			X

Kalibrasyon eğrileri olarak bilinen frekans tepkisi eğrileri, uygun bir sensör seçmek için anahtar bir faktördür. Bu eğriler mutlak eğrilere veya rölatif eğrilere ayrılır. İki tipik kalibrasyon eğrisi vardır. Bunlardan biri rölatif deplasman ve diğeri basınç tepkisi eğrileridir. Sensörleri karşılaştırmak için rölatif eğrileri kullanılabilir. Bu iki grup eğri, bir uyarıcı ve sensör arasında doğrudan bağlantı kurarak üretilir. Sürekli sinüs dalgaları, her iki eğri için de uyarmayı sağlamada rol oynar. Bir basınç tepki eğrisi üretmek için hassas alanlar eşit şekilde uyarılmalıdır. Rölatif deplasman eğrileri, küçük açıklık boyutuna sahip bir uyarıcı kullanılarak üretilir. Yer değiştirme kalibrasyonunun uygulanması, hareketli bir yer değiştirme dalgasının hat uyarımını simüle etmektir. Şekil 2.11, bu iki eğri arasındaki farkı göstermektedir (Unnthorsson, 2013).



Şekil 2.11 Aynı rezonans AE dönüştürücüsü için iki kalibrasyon eğrisi (Unnthorsson, 2013).

Kırmızı eğri, basınç eğrisinin kalibrasyonu için ve yeşil eğri, yer değiştirme kalibrasyonu eğrisidir. Geçici AE sinyalleriyle karşılaştırıldığında, tepki eğrileri sürekli ve uzun süreli AE sinyalleri için daha kullanışlıdır.

AE sensörleri düşük frekanslarda deplasman sensörleri olarak çalışır, ancak yüksek frekanslarda bu sensörler basınç sensörleri gibi çalışır. Bu sensörler MHz ila kHz aralığında çalışır. Temas malzemesi, sensörün özelliği ve test malzemesinin özellikleri geçişi etkileyen faktörlerdir.

Elastik dalgalar elektriksel sinyallere dönüşür. Bu sinyaller düşük frekansa sahiptir. Bu nedenle, işlem için yüksek frekans sağlamak için amplifikatörlerin kullanılması gerekir. Bazı sensörler dahili yükselteçlerle üretilir. Bazılarıysa amplifikatörsüz olarak üretilir. Dahili ön yükselticili AE

sensörleri aktif sensörler olarak bilinir. Dahili ön yükselticilere sahip olmayan AE sensörlerine pasif sensörler denir. Dahili ön yükselticili AE sensörleri diğer gruplardan daha büyük ve daha ağırdır ancak AE ölçümü için daha uygundur çünkü kurulum süresi daha hızlı olur ve konektör sayısı daha azdır (Vallen systeme Company, 2015).

Aktif sensörler kullanırken, sensörleri amplifikatörlere bağlamak için kablo kullanmaya gerek yoktur. Buna karşılık, pasif sensörler harici amplifikatörlere ihtiyaç duyar, ayrıca amplifikatörler ve sensörler arasında bağlantı kurması gerekir. Bağlantı için kısa kabloların kullanılması sensörlerin hassasiyetini artırır. Sinyali ön yükselticiden ölçüm sistemine ileten kablo, sensörlerin hassasiyeti üzerinde hiçbir etkiye sahip değildir ve istenen bir boyutta seçilebilir. Genellikle aktif sensörler benzer pasif sensörlerden daha ucuzdur. Pasif sensörler daha pahalı olmasına rağmen, örneğin harici ön yükselticinin kazanılması veya AE-sensörünün frekans tepkisi farklı uygulamalar için uyarlanması gerektiğinde bu sistem daha esnek bir kurulumla sahiptir (Vallen systeme Company, 2015).

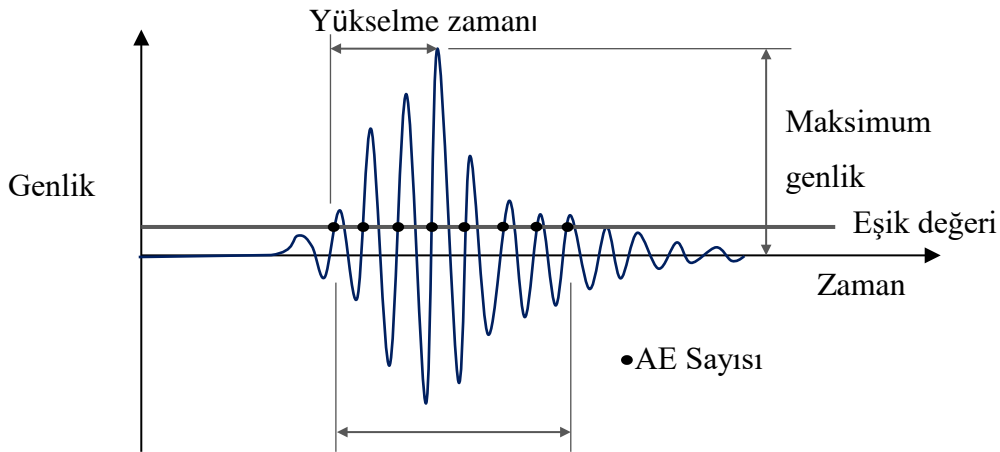
Bir sensör ile incelenen malzemenin yüzeyi arasındaki temasın iyi olması önemlidir, çünkü AE sinyallerinin işleme kalitesini artırır. Bir sensör ile malzeme yüzeyi arasında bir boşluk varsa, işlem sırasında bazı yanlış veriler kaydedebilir. Yanlış veri yüzdesini azaltmak için sensörler ve test edilen malzemeler arasında özel malzemeler kullanılması gerekir. Bu özel malzemeler temas malzemesi olarak bilinir. Bu özel malzemeler, sensör ve malzemenin yüzeyi arasındaki akustik enerjinin geçirgenliğini artırmaktan sorumludur. Gres, sıvı sabun veya kaolin-gliserol gibi malzemeler temas malzemeleri olarak bilinir. Temas malzemesi kalın olmamalı ve sensör tarafından itilmemelidir. Eğer aşırı basınç üretilirse, sinyallerin genliği değişebilir. Malzemenin yüzeyi pürüzlüyse, zımparalanarak veya epoksi uygulayarak pürüzsüz olmalıdır.

Sensörlerin test malzemesi üzerindeki yerini kontrol etmek için kurşun uçlu bir kalem kullanılır. Bu işlem sensörlerin yakınında kurşun kalem ucu kırarak yapılır. Bu yöntem Hsu-Nielsen Kaynağı olarak bilinir. Bu yöntemde kullanılan kurşun kalem H2 olup, kullanılan uç çapı yaklaşık 0.3 mm'dir (Higo

and Inaba, 1999). 1975'teki bir başka deneyde Nielsen, 0.5mm ucu olan bir kalem kullanmıştır. Kalem özelliklerini değiştirmenin AE sinyalleri üzerinde etkisi vardır. Başka bir deyişle, kalem özelliklerinde meydana gelen değişiklikler AE sinyallerinde değişime neden olur. Teflon bandın kalem ucuna takılması, sabit sinyalleri almanın iyi bir yoludur. Kalem ucunun malzeme yüzeyinde kırılması, ona zarar verebilir (Prosser, 1997). Jeneratör veya kıvılcım tabancası kullanma gibi yapay AE sinyalleri almanın başka yolları da vardır.

2.4.4 AE Parametreleri

Kayıt edilen bir AE sinyalinde, genlik, enerji, yükselme süresi, süre vb. gibi sinyal parametreleri bulunmaktadır. Bu parametreler AE aktivitesi ile ilgili bilgiler sağlamaktadır. Aynı yapıdaki farklı sensörlerin kullanılması bir avantaja sahiptir. Sinyalin varış zamanındaki çeşitli sensörlere farklılıklar kullanılarak sinyallerin konumu belirlenebilir. Sinyallerin konumu veya genlik, enerji vb. gibi sinyal parametreleri kullanılarak hatalar araştırılabilir. Sonuç olarak, malzemenin durumu değerlendirilebilir. AE sinyallerinin veri setlerine dönüştürülmesi ve ilave seslerinin giderilmesi, AE tekniğinin önemli performanslarından biridir. Bu işlemi yapmak için eşik seviyeleri kullanılır. İlave sesi ortadan kaldırmak için, çevre gürültüsünün ortalama RMS (root mean square = ortalama karekök) değeri önemli bir ölçü parametresidir. AE sinyal parametreleri Şekil 2.12'de gösterilmektedir (Grosse et al, 2008).



Şekil 2.12 AE sinyal parametreleri (Grosse et al., 2008)

AE sayımları, N, bir sinyalin (dalga formu) mevcut bir eşik süresini aştığı süre içindeki süre sayısıdır. Bu faktörün AE olayı ve malzemenin özellikleri ile ilişkisi vardır.

Genlik, A, bir dalga formunda ölçülen en büyük voltajdır ve desibel (dB) cinsinden ölçülür. Bu parametre, sinyalleri tanımda önemlidir.

Yükselme zamanı, R, eşik çizgisini kesen ilk sinyal ile sinyal tepe noktası arasındaki süre. Yükselme zamanı, sinyallerin tanımlanması ve gürültü filtresi için bir kriter olarak kullanılır.

Süre, D, eşik çizgisinden geçen ilk ve son sinyal arasındaki zaman farkıdır. Bu parametre, gürültüyü filtrelemek için farklı kaynak türlerinin tespit edilmesine yardımcı olur.

AE enerjisi (MARSE), E, düzeltilmiş sinyal zarfının altındaki ölçülen alandır. Akustik emisyonun enerjisini belirleyerek bu parametreyi değerlendirmek mümkündür. MARSE, sinyalin genliğine ve süresine duyarlıdır.

Genlik, yükselme süresi, sayım, süre ve ortalama frekans gibi faktörler, her bir hasarın miktarlarıdır. Hasar seviyesi artarken, sayı, isabet, yükselme süresi, süre ve emisyon enerjisi gibi bazı parametreler artar.

2.4.5 AE Özellikleri

Geçmişten günümüze kadar AE sinyallerinin bilgilerini almak için birçok test ve araştırma yapılmıştır. Bu bilgi n boyutlu veri formunda tutulur ve AE veri özellikleri olarak bilinir. AE özelliklerini çıkarmak için aktivite analizi, vuruş bazlı analiz, frekans analizi ve dalga şekli analizi gibi birçok teknik vardır (Unnthorsson, 2013).

2.4.5.1 Aktivite analizi

Bu yöntemde, zaman içerisinde AE'deki değişiklikleri izlemek için AE vuruş sayısı ve sinyal enerjisi gibi bazı AE özellikleri kullanılır. Bu yöntemde, AE vuruş sayıları ve sinyal enerjisi gibi bazı AE özellikleri kaydedilir ve zaman içinde AE varyasyonlarını izlemek için eski kayıtlarla karşılaştırılır. Bu analizde, zamana ve AE özelliklerinin değişkenliğine bağlı bir grafik aktivite analizini gösterir. AE özelliklerinin zaman içindeki mutlak değerleri, tasarlanan aktiviteler kullanılarak belirlenir. Referans parametresi olarak kullanılan yük için ise Felicity oranı ve Shelby oranı kullanılır. Felicity oranı, tekrarlı yük altındaki bir malzemede, yükleme anındaki AE aktivitesi yaratan en düşük değerdeki yükün bir önceki tekrardaki en yüksek yük değerine oranı olarak tanımlanır. Hasar tespitinde bu oran güvenilirdir. Bir malzeme yüklenirken, malzemenin davranışı Felicity oranı ile ilişkilendirilir. Shelby oranı, malzemelerin yükün boşalma sırasındaki davranışını tanımlar. Boşaltma sırasında AE aktivitesi üreten en düşük yükün, tekrarlanan yük altında bir malzemenin bir önceki tekrarında en yüksek yük değerine oranı, Shelby oranı olarak bilinir (Hamstad, 2004). Hiçbir AE aktivatörü tespit edilemediğinde, bu oran 1,0 olarak kabul edilir. Sürtünme hasarından kaynaklanan AE dalgaları Shelby oranıyla tespit edilebilir.

2.4.5.2 Vuruş tabanlı analiz

AE vuruşu, istenen tespit kriterlerini sağlayan AE dalga formunun kısımlarından oluşur. Tespit kriterlerinin işlevi, ilk önce AE'nin oluşumunu belirleme görevine sahiptir, ikincisi, onu arka plandaki gürültüden veya sürekli AE dalgalarından ayırma görevi görür. Dalga formundan elde edilen izole dalga formları AE vuruşu olarak bilinir. Vuruş tabanlı analiz, bazı faktörlerle çalışan bir analiz türüdür. Bu faktörler, AE vuruşlarının sinyal özelliklerinin veya dalga boyu parametreleridir. Pozitif sinyalin pozitif tarafı, eşik değerini belirleyen operatördür. Bu değer sabittir. AE sinyalleri ve eşik değeri analiz edilir. Sinyaller eşiği aşarsa, AE vuruşu tespit edilebilir. Bu analiz üç parametreden oluşmaktadır. Bunlardan biri vuruş tanımlama zamanı (HDT), diğeri vuruş kilitleme zamanı (HLT) ve sonuncusu pik tanımlama zamanı

(PDT). Eşiği aşarak, bir zaman parametresi tetiklenir. Son tetiklenen parametre HDT'ye eşit olduğunda, AE vuruşu sona erer. Son vuruştan sonra yeni bir vuruş tespit etmek için gereken süre HLT ile gösterilir. PDT, vuruşunun belirlenmesi ile vuruşun bitiş değeriyle arasındaki süreyi gösterir (Carlos and Vallen, 2005).

Vuruş tabanlı analiz, AE özelliklerinin kümülatif toplam grafiğini çizerek yapılan bir analizdir. AE sinyalini izlemek için bu analizi yeterli olsa da bazı uygulamalar daha fazla analiz gerektirmektedir. Bazı durumlarda istatistiksel parametrenin değerlendirilmesi yapılır. Daha sonra, istatistiksel parametre ve sinyal özellikleri arasındaki korelasyon ile sinyal özelliği hakkında daha fazla bilgi elde edilir. (Unnthorsson et al., 2008). AE özelliğinin histogram değeri ölçülerek, AE özelliğinin istatistiksel yayılımının belirlenmesi mümkündür, ayrıca genlik histogramının şeklinden faydalı bilgiler elde edilebilir. Bu bilgi hasar mekanizmasını belirlemek için kullanılır. Korelasyon analizinde, bir AE özelliği diğerine bağlı bir fonksiyon olarak belirlenir. Bu analizde birçok korelasyon vardır ancak bazıları AE sayı genliği, AE sayı-zaman veya zaman-genlik grafikleri gibi bazıları bu analizde diğer korelasyonlardan daha fazla kullanılır. Korelasyon analizinin bir diğer performansı, ikiden fazla AE özelliği arasındaki ilişkinin değerlendirilmesidir.

Dalga boyu analizi ile karşılaştırıldığında, AE özelliklerine dayanan analiz yöntemi daha az veri kullanır. Bu nedenle, AE özelliklerine dayanan analiz yöntemi daha pratiktir ve işlemleri kolaylaştırır. Bu işlemin bazı dezavantajları vardır. İlk olarak, eşik değer belirlenmesi zordur çünkü farklı genliğe sahip AE sinyalleri aynı hasardan yayılır. İkincisi, kompozit malzemelerde AE sinyallerinin sönümlenme oranı yüksektir. Başka bir deyişle, sensörlere yakın dalgalar, sensörlerden uzak dalgalardan daha güçlüdür. Bu nedenle bunların tespiti ve analizi daha kolaydır (Hellier, 2001).

2.4.5.3 Frekans analizi

Bu yöntemde, AE sinyallerinin frekansı değerlendirilerek farklı kaynaklar belirlenir. Hızlı Fourier dönüşümü (FFT) bu yöntemde kullanılan bir algoritmadır. Bu analiz daha çok kütle merkezi, tepe frekansı ve frekans

bandındaki güç gibi bazı frekans özelliklerine bağlıdır. Tüm dalga formu incelendiğinde bu özellikler doğru yorumlanır. Sonuç olarak, farklı boyutta malzemelere, farklı sensörlere ve kurulumlara göre farklı sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu analizde, mekanizma noktaları ve spektrumdaki ani değişiklikler tespit edilir.

AE dalgaları zamanla değişen sinyallerdir ve bazı durumlarda lineer olmayan şekilde davranırlar. FFT yöntemi, sürekli sinyalleri geçici sinyallerden daha fazla analiz eder. Bu nedenle, FFT kullanılarak yapılan güç spektrumu analizi sadece sinyallerin frekansını ve dağılımını değerlendirir (Unnthorsson et al., 2008).

2.4.5.4 Dalga formu analizi

AE sinyallerinin dalga formu analizi, tamamen dijitalleştirilmiş AE dalga formlarının modlarına dayanarak gerçekleştirilir. Bu analizde bu dalgaların şekli ve yayılımı değerlendirilir. Hem dalga boyunu alan hem de yüksek frekansta AE analizleri bilgisayar hafızasına saklanır. Dijitalleştirilmiş dalga boyu iki işlem için olanak sağlar. Birincisi, farklı eşik seviyesi ayarlarının etkisinin incelenmesi ve ikincisi vuruş tabanlı AE özelliklerinin değerlendirilmesi.

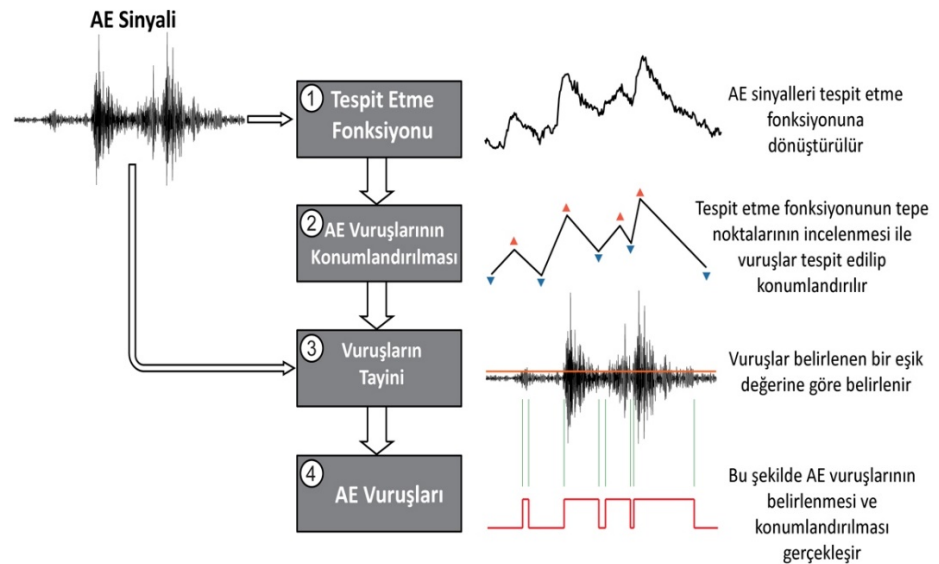
AE dalga boyu analizinde sadece vuruş tabanlı AE özelliklerini değerlendirerek, hasar mekanizmalarının değerlendirilmesi ve hasar mekanizması hakkında bilgi verilmesi mümkündür. Lamb dalgaları kullanarak hasar mekanizması ve malzeme hakkında daha fazla bilgi edinmek mümkündür. Örneğin, malzeme modu hakkında bilgi edinmek için, lamb dalgalarının hızı kullanılabilir (Seale et al., 1994).

2.4.1 bölümünde belirtildiği gibi, simetrik (S0) ve anti-simetrik (A0) Lamb dalgalarının iki farklı modları vardır. Bu modlar için bir başka isim sırasıyla bükülgen ve uzanımsaldır. Her modun kendi özellikleri vardır. Bu modların özelliklerinin değerlendirilmesi Model-AE adı verilen bir analiz tekniği ile gerçekleştirilir (Prosser, 1996).

2.4.6 AE Vuruşlarının Belirlenmesi

Geçici dalgaları AE aktivitesi gösteren karmaşık sistemde eşik bazlı analiz kullanarak ayırmak mümkün olsa da gerçekten zor bir işlemdir ve başka bir yöntem kullanması gerekir. Bu sorunun nedeni, yükleme sırasında veya geçici dalgaların birbiri üstüne binmesi sırasında, geçici AE sinyallerinin değişken genlik değeri olmasıdır. Örneğin, geçici dalgaların zaman, şekil ve frekans değerleri farklıdır. AE sinyallerinin karmaşıklığı yüksek oranda ise, geçici dalgaları tespit etmek ve izole etmek için sinyallerin daha gelişmiş bir şekilde işlenmesi gerekir.

AE vuruşları belirlenmesinin izlenmesinde uygulanan prosedür, Şekil 2.13'te gösterilmektedir. İlk olarak, sinyallerin işlenmesi gerçekleştirilir ve AE sinyalinin özellikleri çıkarılır. İşlenen sinyal, tespit fonksiyonu olarak bilinir ve bu fonksiyon, zaman ölçeğine veya zaman frekansına veya uygun herhangi bir formata sahiptir. Vuruşların tespiti ve konumlandırılması, uç ve alt noktaları tespit edebilen bir algoritma kullanılarak çalıştırılır. Sonunda, belirlenen eşik değeri tespit edilen vuruşları karşılaştırmak için standart bir faktör olarak kullanılır, ardından tespit edilen vuruşlara göre dış gürültünün neden olduğu harici gürültülerin neden olduğu zayıf konumlandırma ve filtreleme yapılır.

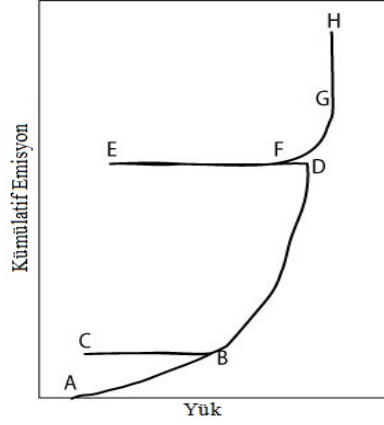


Şekil 2.13 AE vuruşlarının belirlenmesinde izlenen prosedür (Unnthorsson et al., 2008).

2.4.7 AE Sinyali ve İşleme Mekanizması

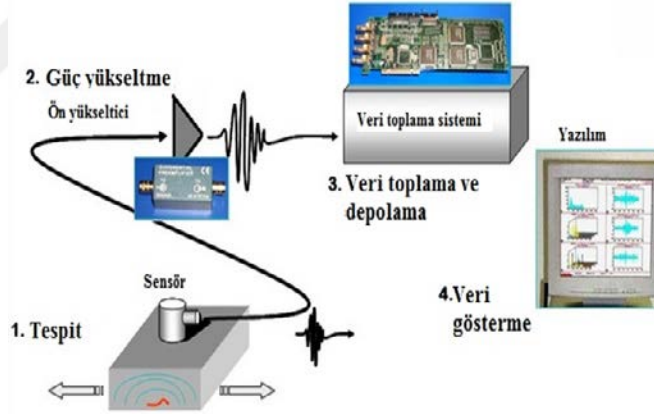
AE test yöntemi, elastik dalgaların yüzeydeki sensörler tarafından alınmasından ve sinyallere dönüştürülerek analiz edilmesinden oluşur. Kaynakların sınıflandırılması ve yeri, test kaynaklarından gelen tüm sinyalleri, sayılarını ve dağılımlarını tanıyarak mümkündür; stres, basınç, sıcaklık gibi bu işlemler AE sistemi tarafından algılanır.

Ayrıca, AE genliği iki faktör ile doğrudan orantılıdır, bir tanesi çatlak ilerlemesi hızı, diğeri ise meydana gelen yüzey alanı miktarıdır. Bu iki faktör dalğanın genliğini ve kaynağın hızını AE tarafından salınan enerji miktarını belirleme üzerinde etkilidir. Yük altındaki bir malzeme yalnızca birincil yük seviyesi aşıldıktan sonra akustik dalgalar yayar, bu olay “Kaiser Etkisi” olarak bilinir. Şekil 2.14, yük ve AE aktiviteleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. AE aktiviteleri yük arttığında başlar (AB bölümü). Yükleme durduğunda, etkinlikler de durdurulur, ancak yükleme miktarı durmadan önce maksimum miktara ulaştığında yeniden yüklenerek faaliyet başlar (BCB bölümü). Tamamen, bu mekanizma yükü artırarak çalışır ve yükü kaldırarak durdurur. Bazı durumlarda yük miktarı, önceki maksimum yüke ulaşmasa bile (nokta D) AE aktiviteleri oluşturmak için yeterlidir (nokta F). Bu olay “Felicity Etkisi” olarak ifade edilir. Genel olarak Felicity oranı, AE'nin tekrar başladığı noktadaki yükün uygulanan maksimum yüke oranıdır (F / D). Ne kadar bazı durumlarda yükleme durdurulursa da Aktiviteler meydana gelir (GH bölümü). Böyle bir durumda, önemli görülür kusurlar yapı içerisinde ortaya çıkar. Felicity Etkisi'nin bazı nedenleri var. Bunlardan biri malzemelerdeki hasar, diğeri çatlakların açılıp kapanması, üçüncüsü delaminasyon yüzeylerinin sürtünmesidir.



Şekil 2.14 Yük altında oluşan AE aktiviteleri (Karcili, 2014)

AE sistemi sensörler, ön yükselticiler, filtreler, güç yükselticileri, veri toplama ve depolama sistemleri ve veri görüntüleme cihazları gibi bazı donanıma sahiptir. AE sinyal işleme mekanizması, Şekil 2.15'te gösterilmektedir.



Şekil 2.15 AE sinyal işleme mekanizması (Karcili, 2014)

Üç grup AE sinyali vardır. Birinci grup çıkış sinyali (burst), ikinci sürekli sinyal (continuous) ve üçüncü karma sinyal (mixed). Çatlak oluşumu, çıkış sinyallerinin oluşum nedenidir. Sürekli sinyal oluşumunun sebebi çoklu geçici sinyallerin üst üste binmesidir ve bu yüzden tespit edilememelerinin nedeni budur. Elektriksel gürültü veya sürtünme sürekli sinyalleri yayar. Üçüncü grup, karışık sinyaller en yaygın sinyallerdir. Bu grup hem çıkış sinyallerinin hem de sürekli sinyallerin karıştırılmasından üretilir. Zaman içerisinde, bazı kusurlar bir malzeme yüzeyinde veya malzeme içinde oluşabilir. Çatlaklar, boşluklar bu

kusurların iki türüdür. AE tekniği, malzemenin içindeki veya dışındaki görünmeyen kusurları tespit etmek için kullanışlı bir tekniktir.

Malzeme dış yük altındayken, elastik veya plastik davranış gösterebilir. Eğer katı malzemeler yüklendikten sonra orijinal şekillerine geri dönerse, elastik durum meydana gelmiştir. Buna karşılık, eğer katı malzemeler orijinal şekle geri dönmezse, plastik durum ortaya çıkmıştır. Her iki durumda da deformasyon meydana gelir. Deformasyon miktarı yüksekse, elastikiyet enerjisi de yüksektir. Plastik durumda kırılma veya çatlama meydana gelir. Malzemede depolanan elastik enerjinin serbest bırakılması ve gevşetilmesiyle deformasyon meydana gelir. Bu bir akustik emisyon olayı olarak bilinir.

Mikro çatlaklar, çatlak büyümeleri, lifli çatlaklar ve matris çatlaklar gibi malzemelerde meydana gelen birçok olay, akustik emisyonların kaynağıdır. Ayrıca, oksit tabakasının çatlama, malzemelerin yüzeyinde meydana gelebilecek aktif AE kaynaklarıdır.

Malzeme yüzeyinde kalan piezoelektrik sensörler, elastik dalgaları elde etme görevini üstlenir. Daha sonra elde edilen elastik dalgalar sensörler tarafından elektronik sinyallere dönüştürülür. Bu elektronik sinyallerin işlenmesi, özel yazılımla yapılan bir sonraki adımdır. Sonunda, çatlaklar hakkındaki bilgiler, sinyallerin işlenmesiyle elde edilir. AE yönteminde tüm sinyal kaynakları malzemenin içindedir. Genellikle, AE tekniği, yapıdaki hasarı belirlemek ve izlemek için kullanılan tahribatsız bir testtir.

BÖLÜM 3

3. ORAN İŞLEME ANALİZİ

3.1 Giriş

Beton yapılardaki hasarlar ve akustik emisyon yöntemiyle ilgili bazı açıklamalar önceki bölümlerde verilmiştir. Bu bölümde AE analiz yöntemlerinden birisi olan Oran İşleme Analizi teorisi tanıtılacaktır.

AE analizi için pek çok yöntem vardır, ancak bu yöntemlerden en etkili olanı Oran İşleme Analizi yöntemidir. Oran İşleme Analizi, test edilen elemandaki hasar seviyesini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem içinde, numuneler serbest basınç testine tabi tutulur. Bu nedenle, numunelerde mekanik değişiklikler meydana gelir. Bu değişikliklerin izlenmesi numunelerin yüzeyinde bulunan AE sensörleriyle mümkündür. Analizin temel amacı, hasar seviyesini tahmin etmektir. Böylece Loland teorisi hasar parametresini elde etmek için kullanılan gerilme-deformasyon modelini oluşturmak için kullanılmalıdır. Daha sonra, hasar parametresini ve AE aktivitelerini birleştirerek elde edilen nispi hasar değeri ve numunelerdeki hasar seviyesini belirlemek mümkün olacaktır.

3.2 Genel Kavramlar

Serbest basınç testi altındaki beton numunelerin AE davranışı ile mikro çatlak oluşumu arasında doğrudan bir ilişki vardır. Mikro çatlakların miktarı arttığında, beton numuneler hasar görür. Bu nedenle, AE değişkenlerinin sayısı çatlak birikiminden dolayı artar. Görünüşe göre bu süreç, ilk önce belirli bir gerilme seviyesinde çatlak olan ve ikinci olarak kırığın ilerleme hızındaki iki faktöre olan bağımlılığı nedeniyle stokastik bir süreçtir. Oran işlem analizi, serbest basınç testi altında AE davranışının miktarını ölçmek için geliştirilmiştir (Suzuki and Ohtsu, 2004).

3.2.1 AE oran işleme analizi

Denklem (1), $V + dV$ 'den meydana gelen gerilmenin artmasına göre toplam AE vuruşlarını (dN) göstermek için kullanılan Oran İşlem Analizi formüllerinden biridir.

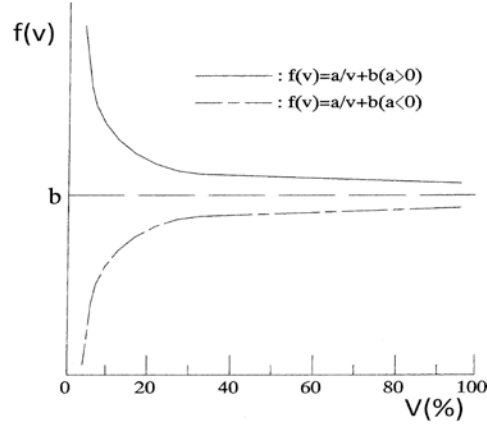
$$dN / N = f(V) dV \quad (1)$$

Denklemden N , AE olaylarının sayısını gösterir, ayrıca $f(V)$, AE'nin V (%) gerilme seviyesindeki olasılık fonksiyonunun sembolüdür.

Diğer bir denklem formu, aşağıda gösterilen hiperbolik fonksiyon olarak düşünülmüştür.

$$f(V) = (a / V + b) \quad (2)$$

Burada "a" ve "b" indekslerinin her ikisi de ampirik katsayılarıdır, aynı zamanda "değer" olarak adlandırılmaktadır ve tanımlanan gerilme seviyesindeki AE aktivitesini göstermektedir. AE'nin olasılık işlevi iki farklı durumda gösterilebilir. İlk olarak, eğer "a" endeksi pozitif ise, AE aktivitesi olasılığı düşük gerilme seviyesinde yüksektir. Başka bir deyişle, beton uygun durumda değildir ve zarar görmüştür. Aksine, eğer "a" endeksi negatif ise, düşük gerilme seviyesinde AE aktiviteleri düşüktür. Böylece beton, zarar görmeden güvenli bir durumdadır. Bu nedenle, Oran İşleme Analizi, basınç testi altındaki beton yapılarındaki hasar seviyesini belirlemek için kabul edilebilir bir yöntemdir. Şekil 3.1 $f(V)$ olasılık fonksiyonunun iki olası ilişkisini göstermektedir (Suzuki and Ohtsu, 2004).



Şekil 3.1 f (V) olasılık fonksiyonunun iki farklı durumu (Suzuki and Ohtsu, 2004)

(1) ve (2) numaralı denklemlerin birleştirilmesiyle, toplam AE olayı sayısı N ve gerilme seviyesi arasındaki ilişkiyi gösteren yeni bir denklem elde edilmiştir (3 numaralı denklem) (Suzuki and Ohtsu, 2004). Burada "C" integrasyon sabitidir.

$$N = CV^a \exp(bV) \quad (3)$$

3.2.2 Hasar mekaniği parametresi ve Loland modeli

Hasar mekaniğinde " Ω " ile gösterilen hasar parametresi için bir denklem bulunur. "E" betonun elastisite modülüne ve "E*" hasarsız beton elastisite modülüne bağlıdır. Bu formül aşağıda (4) numaralı denklem ile gösterilmiştir.

$$\Omega = 1 - E/E^* \quad (4)$$

Loland serbest basınç altında " Ω " hasar parametresi ile " ε " türü arasındaki ilişkiyi gösteren denklemi (5) önermiştir.

$$\Omega = \Omega_0 + A_0 \varepsilon^\lambda \quad (5)$$

Denklem (5) 'te " Ω_0 " endeksi, serbest basınç testinin başlamasından önceki birincil hasarı gösterir; ayrıca A_0 ve λ indeksleri betonun ampirik sabitleridir.

Denklem 4 ve 5'in birleştirilmesiyle, betonun " σ " gerilmesi ile ilk elastisite modülü " E_o " arasındaki ilişkiyi gösteren iki yeni denklem elde edilir. (6) ve (7) numaralı denklemler bu ilişkileri ifade eder.

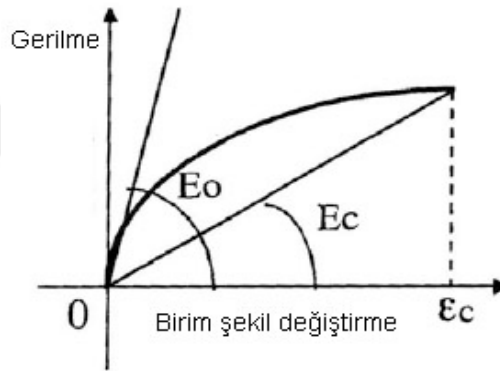
$$\sigma = (E_o - E^* A_0 \varepsilon^\lambda) \varepsilon \quad (6)$$

$$\Omega_0 = 1 - (E_o/E^*) \quad (7)$$

Denklem (7) 'de " (E_o/E^*) " hasar oranı olarak belirlenmiştir.

3.2.3 Hasar tahmini

Bir beton numunenin tek eksenli basınç testinde gerilme ve birim deformasyon arasındaki ilişkinin nasıl olduğunu bilmek faydalıdır. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, E_c ve E_o 'ın belirlenmesi Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, E_c ve E_o 'ın belirlenmesi (Ohtsu et al., 2007)

Hasardaki artış ($\Omega_c - \Omega_0$) ile "a" oranı arasında bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Hasardaki artışın Young modülündeki azalmaya tekabül ettiği anlaşılmıştır (Suzuki et al., 2007).

$$E_o - E_c = E^*(1 - \Omega_0) - E^*(1 - \Omega_c) = E^*(\Omega_c - \Omega_0) \quad (8)$$

Bu bağlamda, Şekil 3.3'te verilen veri tabanına dayanarak " " hasar parametresi ile "a" oranı arasında doğrusal bir korelasyon sağlanmıştır.

$$+(a \times 100) = (a \times 100) X + Y \quad (9)$$

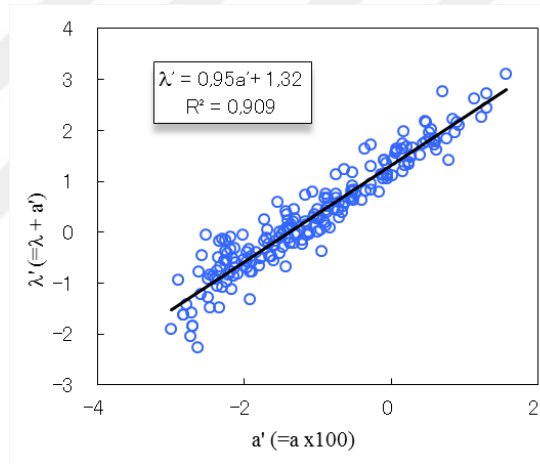
(6) ve (7) denklemlerinden “ ” hesaplanır.

$$E^* = E_c + \exp(c) \quad (10)$$

Denklem 9'da $a = 0$ olduğunda $E_o = E^*$ olduğu varsayılır. Bu varsayım, sağlam betonun Young modülü, E^* modülünü AE veri tabanından tahmin etmemizi sağlar.

$$E^* = E_c + E_c / Y \quad (11)$$

AE veri tabanı, test edilmiş 400'den fazla karot numunenin sonuçlarını içermektedir. Böylece, hasar görmemiş betonun Young, E^* modülü her bir karot numunesi için elde edilebilir.



Şekil 3.3 AE veritabanı (Karcili et al., 2016)

3.3 Oran İşleme Analizi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Gerilme testleri veya doğal afetlerden zarar görmüş farklı beton yapılarıdaki hasar miktarını belirlemek için çok sayıda deney yapılmıştır ve bu yapıların hasar seviyesi Oran İşleme Analizi ile değerlendirilmiştir. Aşağıda, bu deneylerin bazılarının bir özeti bulunmaktadır.

2004 yılında AE oranı işleme analizine dayanan bir basınç testi ile yapısal betonun Kantitatif Hasar Değerlendirmesi üzerine yapılan Tetsuya Suzuki ve Masayasu Ohtsu deneylerinde 1967'de inşa edilmiş ve 1979'da onarılmış beton

boru hattı mevcuttur. Daha sonra bu yapıdan 5 cm çapında silindirik numuneler ve bu borudan 10 cm karot numuneleri alınmıştır. Daha sonra serbest basınç testi ile AE ölçümü yapılmıştır. Basınç testi ve oran işleme analizi kullanılarak AE üreten davranış açıklığı kavuşturulmuştur. AE oranı işleme analizi ve hasar mekaniği, beton bir borudan alınan numunelerde bulunan ana hasar seviyesinin tespit edilmesine yardımcı olmuştur. Gerilme ve şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi bilmek ve aynı zamanda hasar parametresinin uygulanabilirliğini doğrulamak ve bir model yapmak için Loland'ın modeli kullanılmıştır. Oran İşleme Analizi, betonda AE davranışını analiz edebilen bir yöntemdir ve hasar seviyesi bu yöntemle belirlenebilmektedir. Loland'ın modeli iyi bir yöntemdir ve gerilme ve şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi gösterebilir. Ayrıca modeldeki hasar parametresinin uygulanabilirliği de teyit edilebilir. (Suzuki ve Ohtsu, 2004).

Alver ve diğ., 2014 yılında AE Oran İşleme Analizi ile Betonarme Yapılarda Depremden Kaynaklanan Hasarın Değerlendirilmesi deneyini yapmışlardır. Bu deneyde 2011 yılında Simav depremi sonrasında Türkiye'de 11 adet silindirik beton karot numunesi toplanmıştır. Daha sonra AE yöntemi ve basınç testi kullanılarak, basınç dayanımları ve 11 numune için Young modülü hesaplanmıştır. Daha sonrasında AE oranı ve hasar parametresi arasındaki ilişki, Young'ın hasarsız beton modülü hesaplanmış ve binada kullanılan betonda oluşan hasar yüzdesi bulunmuştur (Alver et al., 2014).

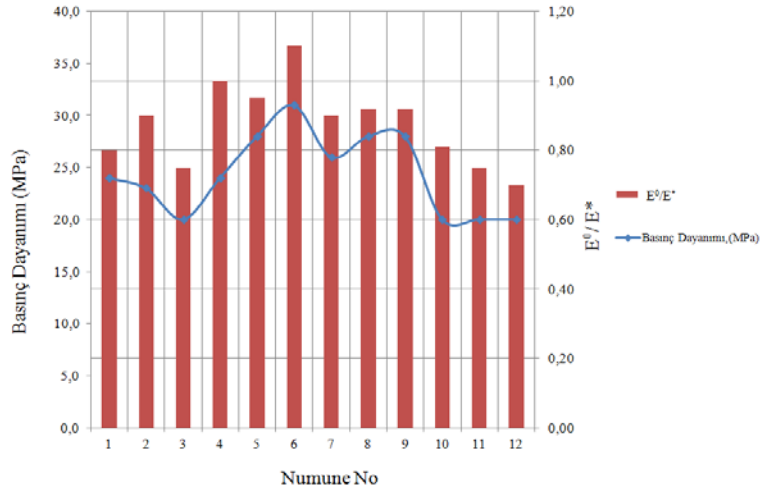
Betonarme yapıdan herhangi bir donatı olmadan alınan karot numunelerin hasar seviyesi hem AE Oran İşleme Analizi hem de serbest basınç testi ile elde edilmiştir. Ayrıca, AE oran işleme analizi, beton numunelerin nispi hasarlarının elde edilmesine yardımcı olmuştur. 11 numuneden 9 tanesi hasar görmüştür. Her ne kadar az sayıda karot numune bu deneyde test edilmiş olsa da veri tabanı Young'ın sağlıklı beton modülünü hesaplamaya yardımcı olmuştur. Bu nedenle, AE oranı işleme analizinin beton binalardaki hasar seviyesini tahmin etmek için uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır (Alver et al., 2014).

2006 yılında, Masayasu Ohtsu ve Yuichi Tomoda, 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğindeki silindirik numuneler üzerinde akustik emisyon

görüntüleme yöntemi ile bir yol köprüsünün kemer parçasından alınan betonda, aşınma ve korozyon tespiti için bir deney yapmıştır (Ohtsu ve Tomoda, 2006).

AE ölçümü ile betonda donatı korozyon miktarı görülebilir. Dahası, ayrıca sürekli AE izlemesi ile korozyonun başlangıcında ve çatlak oluşumunda geçiş sürelerinin belirlenmesi mümkündür. Betondaki inşaat demiri korozyonu çatlaklara neden olur. Bu çatlaklar Sigma prosedürü ile değerlendirilir. Öte yandan, basınç testi altındaki AE davranışı, hasar seviyesine bağlıdır ve Oran İşleme Analizi ile analiz edilebilir. Ayrıca, Loland'ın modelini kullanarak, AE oranı ile hasar parametresi arasındaki ilişki korelasyon göstermiştir. İlişkiye dayanan veri tabanından, hasarsız betonun Young modülü değerlendirilebilir. Bu nedenle, yapıdaki betonun göreceli hasarı tahmin edilebilir (Ohtsu ve Tomoda, 2006).

Betonarme yapıdaki korozyon sürecini netleştirmek ve beton numunelerdeki hasar seviyesini değerlendirmek için kullanılan AE metodu ve sonuçlar Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Hasar seviyesi- Basınç dayanımı grafiği (Ohtsu and Tomoda, 2006)

Mustafa Karcili, AE Oran-İşleme Analizinin deprem nedeniyle zarar görmüş beton yapılara uygulanması üzerine Ninel Alver ve Masayasu Ohtsu ile birlikte deneyler yapmışlardır. 2011 yılında Simav depreminde 5.6 büyüklüğünde hasar görmüş binadan, 95 mm çapında, 100-150 mm yüksekliğinde 18 adet betonarme silindirik örnek alınmıştır. Daha sonra,

serbest basınç testi kullanılarak, numunelerin kırılma davranışına dayanarak incelenmiştir. Bu nedenle, numunelerin birim uzaması Young modülüyle belirlenmiştir. Aşağıda AE oranı analiz edilmiş ve Loland'ın modelini hasar mekaniğinde kullanarak hasar parametresi elde edildi. Sonunda, DeCAT prosedüründe AE oranı ile hasar parametresi arasında kabul edilebilir bir ilişki kullanılarak, Young'ın sağlam beton modülü tahmin edilmektedir. Böylece, betondaki hasar seviyesi tahmin edilebilir olmuştur (Karcili et al., 2016).

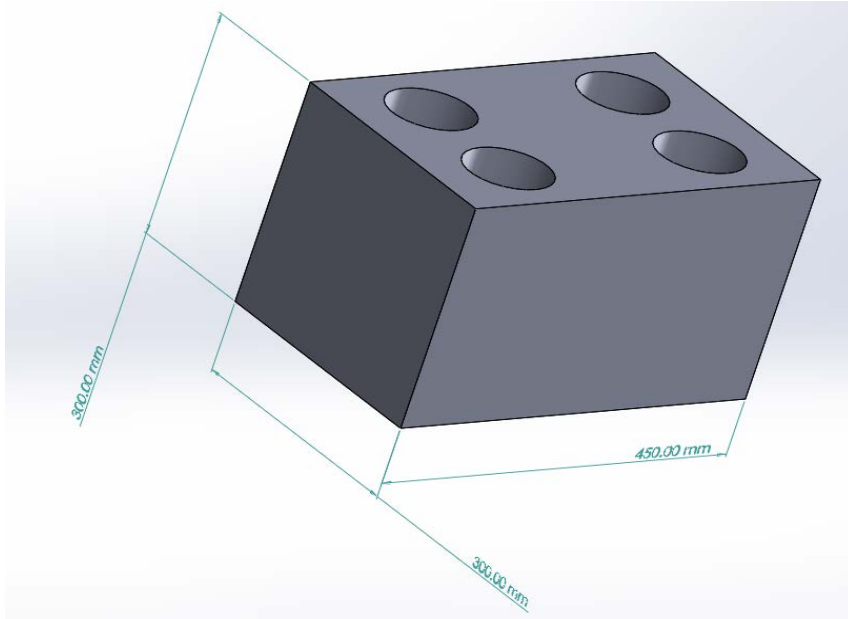
Sonuçlara bakıldığında 14 numune hasar görmüştür. Hasarlı yapıdan küçük numuneler toplanmış olmakla birlikte, AE oran işleme analizi deprem nedeniyle beton yapıdaki hasarı tahmin etme yeteneğini göstermiştir. Ayrıca sismik hareket sırasında daha yüksek katlarda meydana gelen büyük yer değişimleri nedeniyle, yüksek katlardan toplanan karot numuneleri alt katlardaki karot numunelerden daha fazla zarar görmüştür. Bu nedenle önemli faktörlerden birisi de alınan numunelerin yeridir. Sonuçlara göre, aynı kolonda kiriş-kolon bağlantılarına ne kadar yakınsa karot numunelerde de o kadar fazla hasar görülür (Karcili et al., 2016).

BÖLÜM 4

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Numunelerin Dizaynı

Bu çalışmada TS EN 12390-1'e göre, 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde 6 adet silindirik numune hazırlanmıştır. Ayrıca 45 cm uzunluğunda, 30 cm genişliğinde ve 30 cm yüksekliğinde 2 adet beton küp numunesinden 10 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde 8 adet silindirik karot numunesi alınmıştır. Toplam 14 adet üretilen numuneden 6 tanesi deneyin hata riskini azaltmak için genel testlerden önce test incelenmiştir (referanstan 2 tane numune ve karottan 4 tane numune). Bu 6 numunenin uygunluğuna karar verildikten sonra geri kalan 8 numune üzerinde deneyleri devam edilmiştir. Silindirik karot numuneleri kullanmanın temel nedeni, basınç testinde daha doğru sonuçlara varılmasıdır. Ayrıca, silindirik numuneler betonun hem basınç hem de çekme dayanımının testi için uygundur. İki beton küpün ve 8 silindirik numunenin tasarımı Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Küp numunelerden alınan karot numuneler

4.2 Malzemeler

Bu deneysel çalışmada, II / A-M (L-W) 42.5R tip çimento ve üç farklı kırma kireçtaşı beton numunelerin yapması için kullanılmıştır. Bunlardan biri 0-5 mm arasında ince agrega, diğerleri 5-15 mm ile 15-25 mm arasında iri agrega olarak kullanılmıştır. Şekil 4.2, ince agregayı göstermektedir. İri agrega Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Betonun istenen dayanımını ve işlenebilirliğini sağlamak için su kullanılmıştır. Ayrıca düşük su / çimento oranına bağlı olarak, betonun hem esnekliğini hem de işlenebilirliğini geliştirmek için süper plastikleştirici kullanılmıştır.

Bu deney çalışmasında iki farklı tip beton kullanılmıştır. İlk model C20 ve ikinci model C30 tip betondan oluşmaktadır. Çizelge 4.1 deneysel çalışmada kullanılan betonların karışım tasarımını göstermektedir.



Şekil 4.2 0-5 mm ince agrega.



Şekil 4.3 5-15 mm iri agrega.



Şekil 4.4 15-25 mm iri agrega.

Çizelge 4.1 C20 ve C30 beton için karışım tasarımı

Karışım Adı	S/Ç Oranı	Çimento (KG)	Su (KG)	0-5 mm	5-15 mm	15-25 mm	Katkı (GR)
C20	0.50	3.6	1.80	11.71	5.90	5.97	40
C30	0.58	3.6	2.12	12.19	6.14	6.21	67

4.3 Numunelerin Üretimi

İki farklı beton türünün C20 ve C30 olarak kullanımına göre, numunelerin üretimi iki günde gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Beton üretimi

Öncelikle C20 betonu için gerekli malzemeler temin edilmiştir. Daha sonra, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilen silindirik kalıplar ve 1 adet küp kalıp hazırlanmıştır. Bir sonraki adımda gerekli beton karışımı kullanarak ve malzemeleri karıştırarak, C20 betonu üretilmiştir. Üretilen beton kalıplara yerleştirilmiştir. Betonun yerleşimi sırasında her beton kalıbına beton girmesini sağlamak ve boşlukları azaltmak için elektrikli beton titreşim aleti kullanılmıştır. 24 saat sonra, numuneler kalıptan çıkarılmıştır ve 28 gün boyunca standart küre maruz bırakılmıştır. C30 beton için de aynı prosedür tekrarlanmıştır.



Şekil 4.5 Numuneler için kullanılan silindirik kalıpları



Şekil 4.6 Küp kalıbı

4.3.2 Karot alımı

Numuneyi su havuzundan çıkardıktan sonra, Şekil 4.7'de gösterilen Hilti DD120 cihazı, bir beton küpten 4 karot numunesi almak için kullanılmıştır. Şekil 4.8, karot numunelerin beton küpten nasıl alındığını göstermektedir.



Şekil 4.7 HILTI DD120 cihazı



Şekil 4.8 Karot numunelerin alınması

4.3.3 Numunelerin serbest basınç deneyine hazırlanışı

Beton küplerden alınan 4 adet silindirik numunenin her iki yüzeyi de tek eksenli serbest basınç test standartlarına göre kesilerek düzleştirilmiştir. Sonunda TS EN 12390-3'e göre (20 cm yükseklik ve 10 cm çap) serbest basınç testi için numuneler hazırlanmıştır. Şekil 4.9, serbest basınç testi için numunelerin hazırlanışını göstermektedir.



Şekil 4.9 Numunelerin hazırlanması

4.4 Serbest Basınç Deneyi ve AE Test Sisteminin Kurulumu

Bir sonraki adımda, düzleştirilmiş numunelerin yüzeyi nemli bir bezle temizlenmiştir. Daha sonra, 120 ohm ve 10 mm uzunluğunda iki adet TDG1001 model gerinim ölçer, her bir numunenin ortasına yatay ve dikey yönde yapıştırılmıştır. Gerinim ölçerlerden biri yatay deformasyonu ölçmek, diğeri düşey deformasyonu ölçmekle yükümlüdür. Şekil 4.10'da numuneler üzerindeki gerinim ölçerler gösterilmektedir. Bir sonraki adımda, her bir numunenin gövdesine iletken yapışkan malzeme ile rezonans frekansı 150 KHz olan iki sensör yerleştirilmiştir. Şekil 4.11, kullanılan AE sensörünü göstermektedir. Böylece numuneler serbest basınç testine ve AE faaliyetlerinin izlenmesine hazırlanmıştır.



Şekil 4.10 Numuneler üzerindeki gerinim ölçerler



Şekil 4.11 AE sensörü

Serbest basınç testinde 1961.3 kN, 220 ve 50 Hz, 10 A kapasiteli ve 0.3 ila 20 kN yükleme hızında bir basınç makinesi kullanılmıştır. Şekil 4.12, basınç test cihazını göstermektedir.



Şekil 4.12 Basınç test cihazı

Serbest basınç testi sırasında ölçümler, bilgisayara veri göndermekle yükümlü olan bir veri toplayıcıya aktarılmıştır. Bu deneyde kullanılan veri toplayıcı cihaz güç gereksinimi 10 Watt, giriş direnci 50 Ohm, 0/6/8 dB seçenek sinyal kazancı, 1 kHz-400 kHz frekansa sahip, maksimum genlik 100 dB'lik bir bileşendir. Daha sonra bilgisayarda, yüke karşı istenen birim deformasyon ölçümünün uygun bir grafiğini çizmek için bir yazılım kullanılmıştır. Şekil 4.13'te veri toplayıcı gösterilmektedir.



Şekil 4.13 Veri toplayıcı cihaz

Akustik emisyon sistemi için, 8 kanallı sistem kartı, ön amplifikatörler, sensörler için bağlantı kabloları ve Micro II SAMOS kasasına entegre edilmiş bilgisayarlı başka bir cihaz kullanılmıştır. 8 kanallı sistem kartı, güç gereksinimi 10 Watt, giriş direnci 50 ohm, 0/ 6/ 8 dB seçenekli sinyal kazancı olan, 1 kHz – 400 kHz frekansa sahip, maksimum genlik değeri 100 dB olan bir parçadır. Deneyde kullanılan AE veri toplama sistemi, Şekil 4.14'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14 AE veri toplama sistemi.

İş planının bir sonraki adımında ve sistemi çalışmaya hazırlamak için, ön yükselticilere iki adet sensör bağlanmış ve ön yükselticiler AE veri toplama sistemine bağlanmıştır. Ayrıca, AE veri toplama kabloları kullanılarak bilgisayara bağlanmıştır. Yükselteçler 40 dB ve single giriş modunda kurulmuştur.

Daha sonra sistemin doğru şekilde çalışmasını sağlamak ve çalışan sensörlerde sorun olup olmadığını bulmak için, sensörlerin yakınındaki numunelerin yüzeyinde kurşun kalem ucu kırılmıştır. Bu kırılma testi sırasında, sinyaller sensörler tarafından tespit edilir ve daha sonra bilgisayara aktarılan AE veri toplama sistemi tarafından değerlendirilir.

Kalem ucu kırma testinden sonra, numuneler basınç test cihazının içine yerleştirilmiş ve serbest basınç testi numunelerin göçmesine kadar devam etmiştir. Akustik emisyon faaliyetleri, malzemenin kırılması sırasında gerçekleşmiş ve veriler sürekli olarak bir bilgisayara kaydedilmiştir. Kullanılan sistemin tamamı Şekil 4.15'te gösterilmektedir.

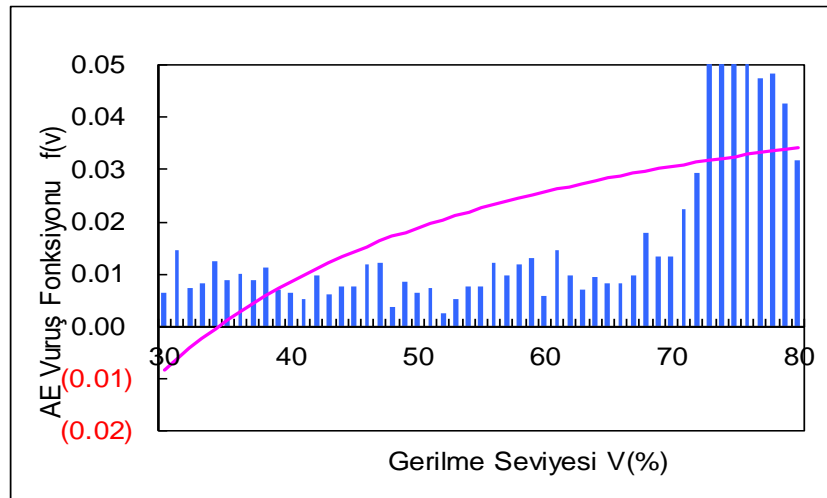


Şekil 4.15 Deney kurulumu

BÖLÜM 5

5. BULGULAR VE SONUÇLAR

DeneySEL çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Öncelikle C20 betonu ile üretilen numunelerin sonuçları Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu 8 tane beton numunesine ait (4 tane C20 beton numunesi, 4 tane C30 beton numunesi) AE vuruş fonksiyonu-gerilme seviyesi grafikleri incelendiğinde, karot numunelerle aynı betondan üretilen, aynı koşullarda tutulan ve aynı boyutlarda bulunan referans numuneleri arasında farklılık gözlemlenmiştir. Davranış benzer olduğu için her birinden bir örnek verilmiştir. Karot numunelerde düşük gerilme seviyelerindeki AE aktiviteleri daha çokken referans numunelerde bu durum gözlenmemiştir. Gösterilen grafiklerde mavi sütun grafik AE vuruşları pembe renk ile gösterilen çizgi, grafikte AE vuruşlarına en iyi uyan eğriyi temsil etmektedir. %30'un altındaki gerilme aralığında AE olayları yükleme plakası ile teması göre meydana gelir. %80'in üzerindeki gerilme aralığı AE olaylarının hasarla çok az ilişkisi vardır. Bu nedenle, hasarın %30 ile %80 arasında gerilme seviyesinde olduğu tahmin edilmektedir. Matematiksel olarak AE vuruşlarından geçirilen en uygun eğrinin $X=0$ da "Y" eksenini negatif değerlerden kestiği görülmektedir. Elbette gerçekte AE vuruş sayısının negatif olması durumu söz konusu değildir. Bu sebeple bu eğrinin "Y" eksenini pozitif değerlerde kestiği bölgesi dikkate alınmalıdır.



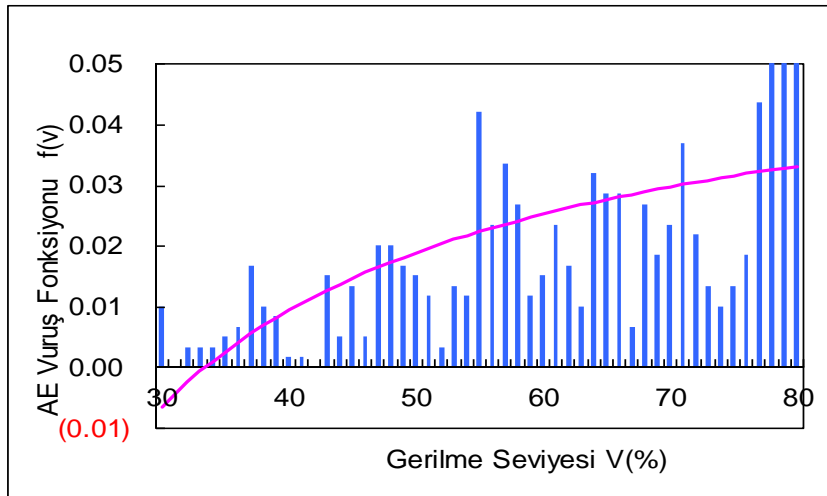
Şekil 5.1 C20 betonu referans numunesi 2 için $f(v)$ - V (%) grafiği

C20 ile üretilen beton numuneden alınan karot numunede düşük gerilme seviyelerinde oldukça fazla sayıda AE aktivitesi gözlenmiştir ve bu durum numunenin hasar aldığını göstermektedir.



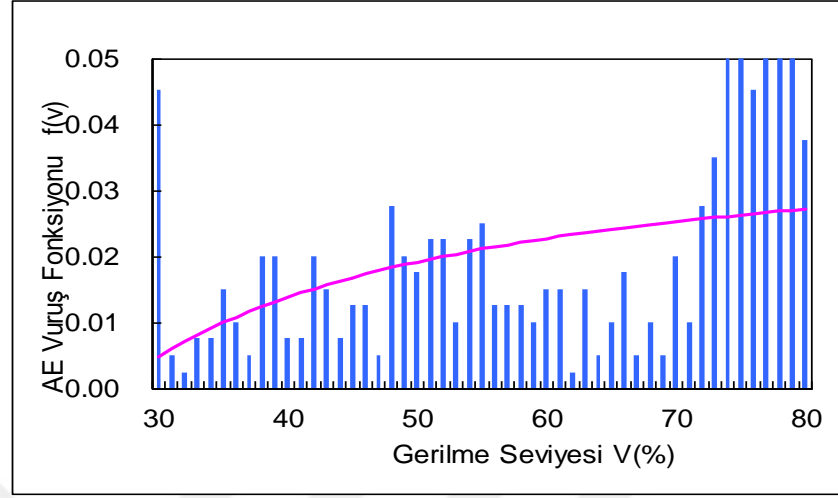
Şekil 5.2 C20 betonu karot numunesi 2 için f(v)- V (%) grafiği

AE vuruş fonksiyonu-gerilme seviyesi grafiklerine göre C30 betonundan üretilen numunelerden karot numune ve referans numuneleri incelendiğinde karot numunelerden yine aynı şekilde düşük gerilme seviyelerinde daha fazla AE aktivitesi gözlenmiş ve bu durum, karot alma işleminin numunede hasara sebep olduğunu ortaya koymuştur. C30 betonu ile üretilen numunelerin sonuçları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.3 C30 betonu referans 1 numunesi için f(v)- V (%) grafiği

Karot numunede düşük gerilme seviyelerinde fazla sayıda AE aktivitesi olmuştur ve bu durum numunenin hasar almış olduğunu göstermektedir.



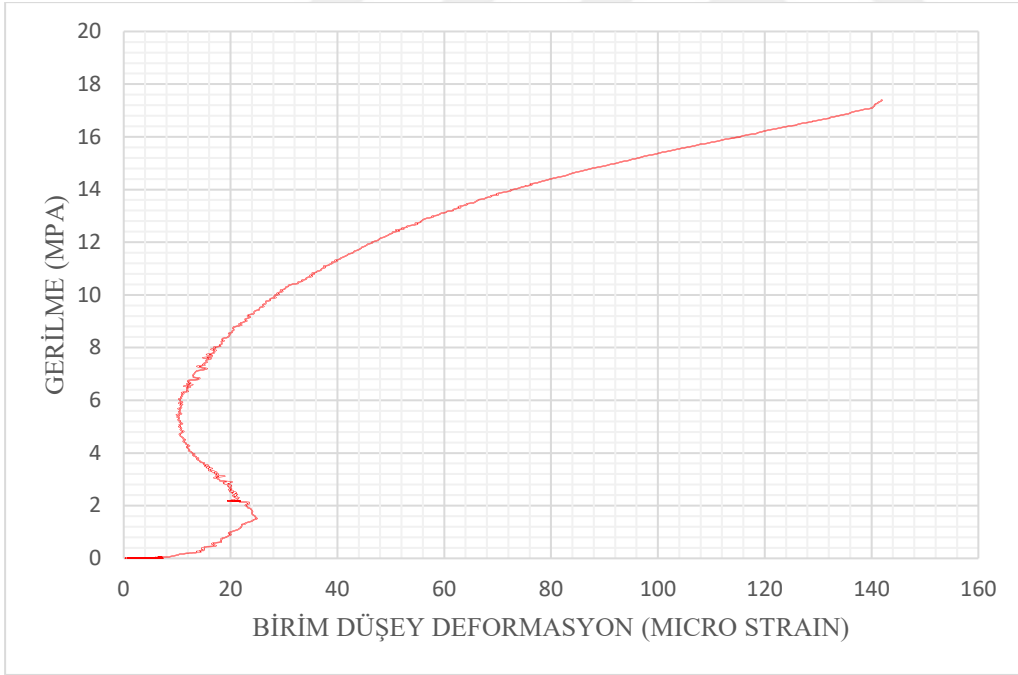
Şekil 5.4 C30 betonu karot 1 numunesi için $f(v)$ - V (%) grafiği

Düşük gerilme seviyelerindeki AE aktiviteleri karot numunedeki aktiviteler ile kıyaslanınca daha azdır ve yüksek gerilme seviyelerinde aktiviteler artmıştır.

Toplam 14 adet üretilen numuneden 6 tanesi deneyin hata riskini azaltmak için genel testlerden önce test incelenmiştir (referanstan 2 tane numune ve karottan 4 tane numune). Bu 6 numunenin uygunluğuna karar verildikten sonra geri kalan 8 numune üzerinde deneyleri devam edilmiştir. Test edilen numuneler, kırılmış durumları, gerilme-birim deformasyon eğrileri ve dayanım değerleri Şekil 5.5 ile 5.12'de verilmiştir. Numuneler için dayanım değerleri ve elastisite modülleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Görülmektedir ki C20 sınıfında üretilen betondan alınan karot numuneler C30 sınıfında üretilen betondan alınan karot numuneye göre daha fazla dayanım kaybı yaşamıştır. Yine elastisite modülü de aynı şekilde etkilenmiştir.



Şekil 5.5 C20 betonu referans 1



Şekil 5.5 (a) C20 betonu referans 1, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi



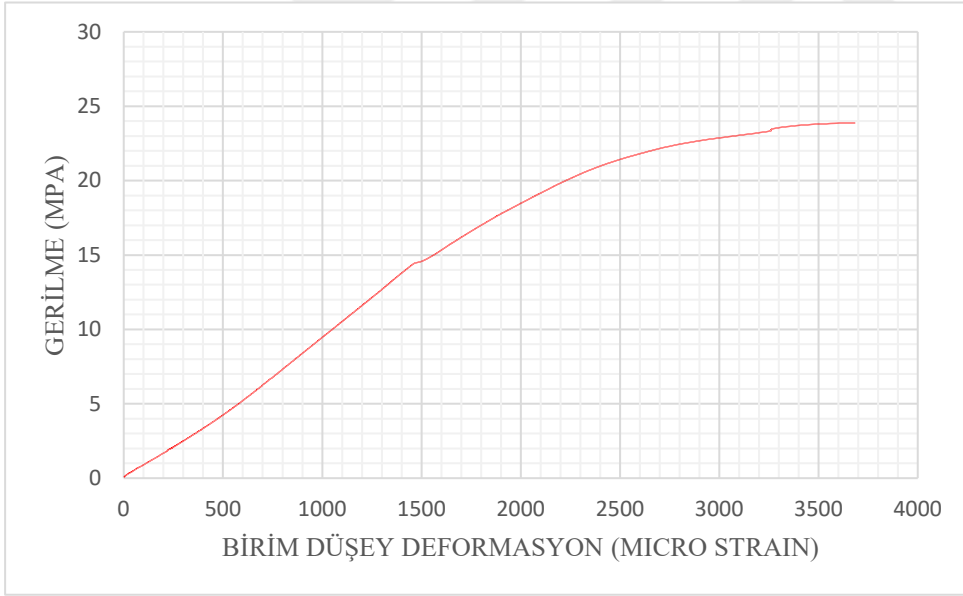
Şekil 5.6 C20 betonu referans 2



Şekil 5.6 (a) C20 betonu referans 2, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi



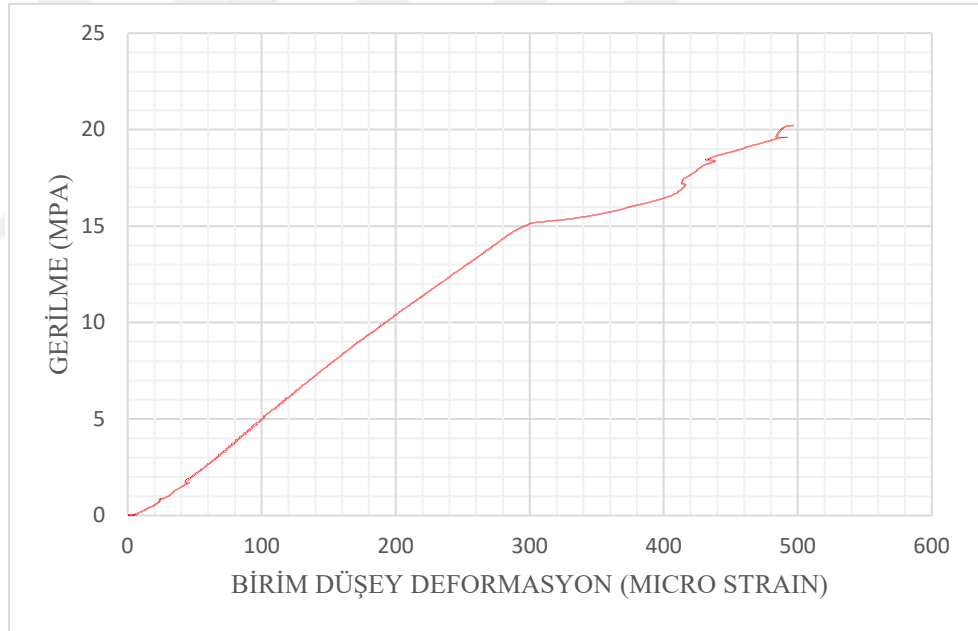
Şekil 5.7 C20 betonu karot 1



Şekil 5.7 (a) C20 betonu karot 1, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi



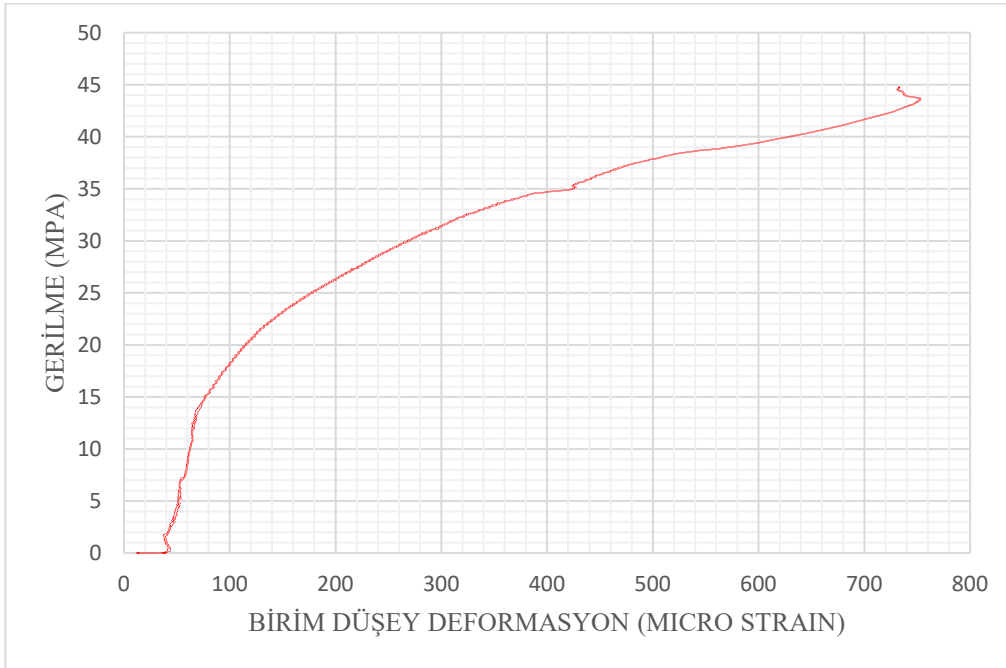
Şekil 5.8 C20 betonu karot 2



Şekil 5.8 (a) C20 betonu karot 2, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi



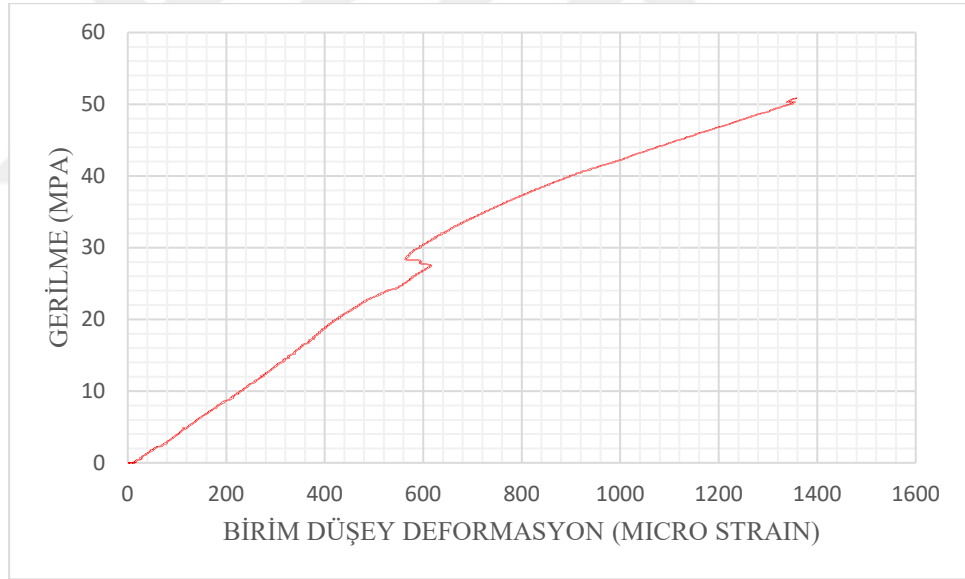
Şekil 5.9 C30 betonu referans 1



Şekil 5.9 (a) C30 betonu referans 1, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi



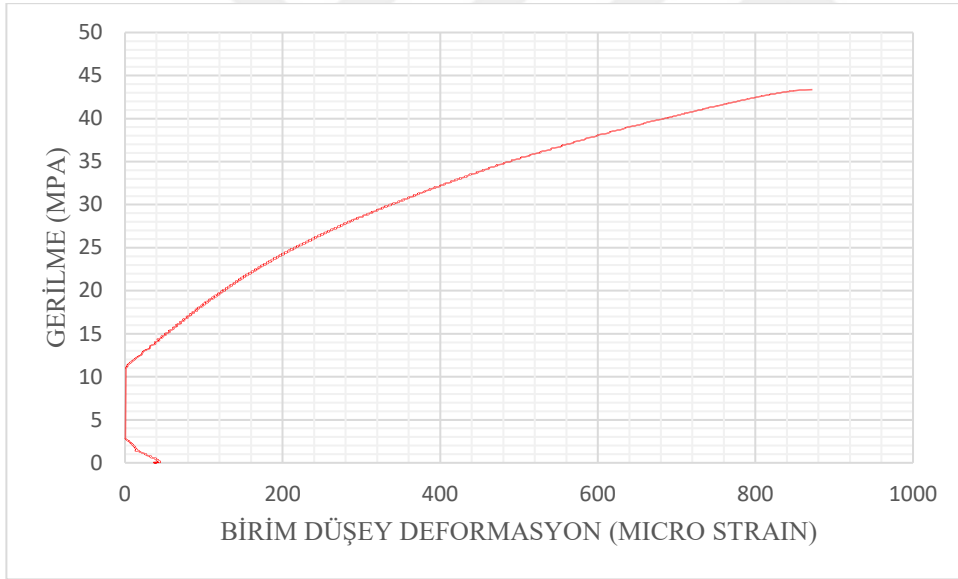
Şekil 5. 10 C30 betonu referans 2



Şekil 5.10 (a) C30 betonu referans 2, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi



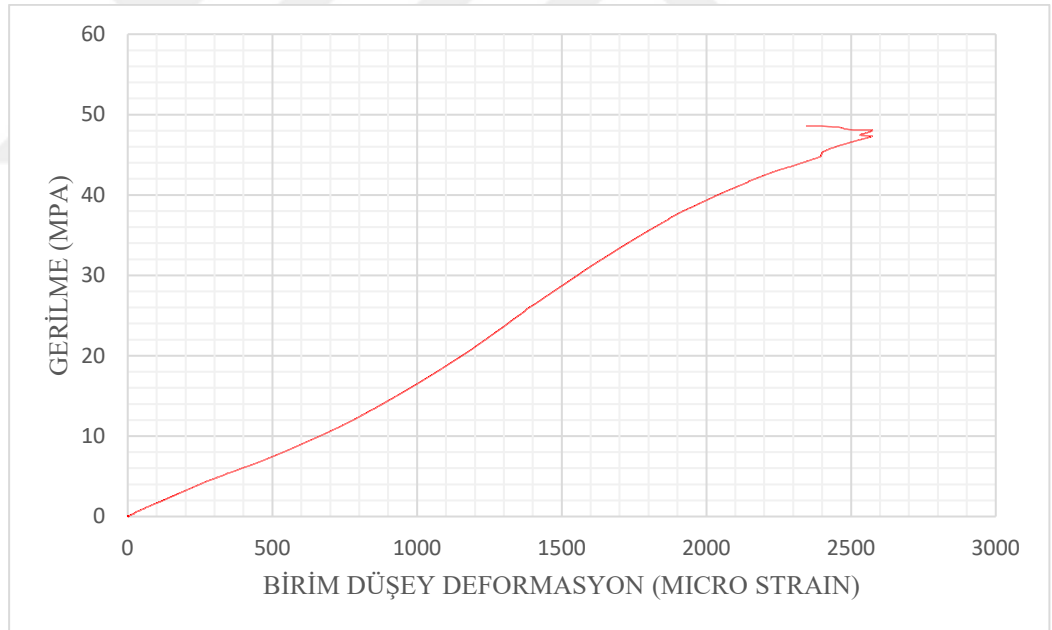
Şekil 5.11 C30 betonu karot 1



Şekil 5.11 (a) C30 betonu karot 1, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi



Şekil 5.12 C30 betonu karot 2



Şekil 5.12 (a) C30 betonu karot 2, Gerilme-Birim düşey deformasyon eğrisi

Toplamda 8 adet numune test edilmiştir. Numunelerin mekanik sonuçları (basınç dayanımları (f_c) ve hasar oranı (E_o/E^*) değerleri) Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Numunelerin mekanik sonuçları

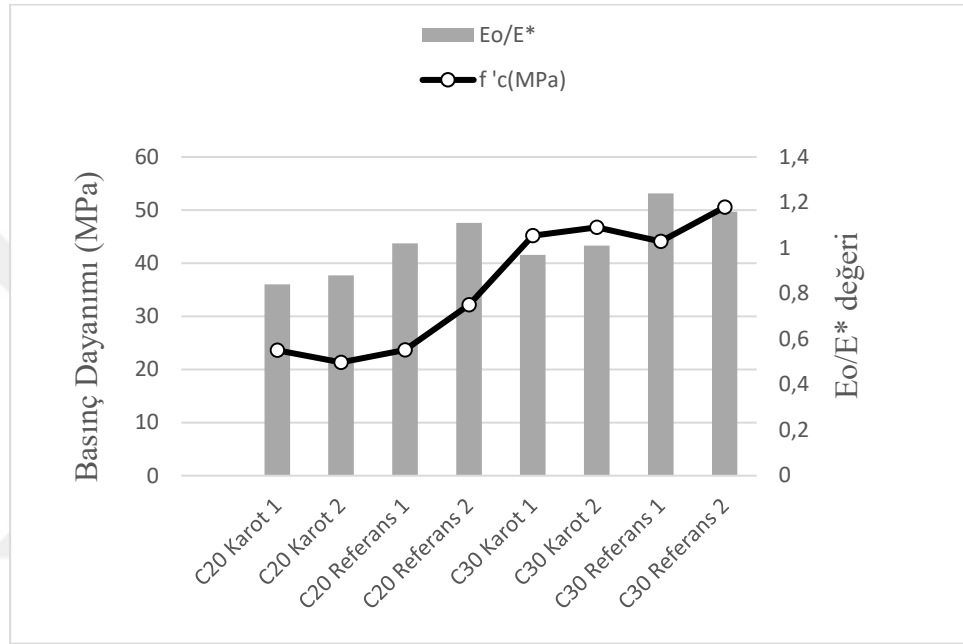
Numune Adı	(f_c) (MPa)	E_o/E^*	Hasar (E_o/E^* değerine göre)
C20 Referans 1	23.6	1.02	Hasarsız
C20 Referans 2	32.1	1.11	Hasarsız
C20 Karot 1	23.6	0.84	Hasarlı
C20 Karot 2	21.3	0.88	Hasarlı
C30 Referans 1	44.0	1.24	Hasarsız
C30 Referans 2	50.5	1.16	Hasarsız
C30 Karot 1	45.1	0.97	Hasarlı
C30 Karot 2	46.7	1.01	Hasarsız

" E_o/E^* " seviyesi doğrudan hasar seviyesi ile ilgilidir. " E_o/E^* " seviyesi 1'den düşükse, numunenin hasar görmüş olduğu anlamına gelir. Aksine, eğer " E_o/E^* " seviyesi 1'den yüksekse, numunenin sağlıklı olduğu anlamına gelir.

Sonuçlara bakarak ve karot numuneler ile referans numuneler arasındaki " E_o/E^* " yi karşılaştırarak, üç karot numunenin (C20 karot 1, C20 karot 2 ve C30 karot 1) hasar gördüğü gözlemlenmiştir. Aksine, referans numuneleri sağlıklıdır. Bu nedenle, karot alma işleminin numunelere zarar verebileceği sonucuna varılabilir. Ayrıca, " E_o/E^* " oranının en düşük iki değeri (0.84) ve (0.88) C20 karot betonuna aittir. Bu nedenle, C20 numuneleri C30 numunelerinden daha fazla hasar görmüştür.

Beton C20 için " E_0/E^* " değişim miktarı (0.84) ile (1.11) arasındadır. Beton C30 için " E_0/E^* " değişim miktarı (0.97) ile (1.24) arasındadır. " E_0/E^* " oranının en düşük değeri (0.84), C20 karot 1 numunesine ait ve " E_0/E^* " oranının maksimum değeri (1.24), C30 referans 1 numunesine aittir.

Numunelerin " E_0/E^* " değerleri ile basınç dayanımları arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13 4 Her bir numune için basınç dayanımı ve E_0/E^* değerleri.

" E_0/E^* " değerleri (0.84) ile (1.24) arasında değişiklik göstermiştir. Basınç dayanımı en yüksek değeri 50.5 MPa, C30 referans 2 numunesine aittir ve basınç dayanımının en düşük değeri 21.3 MPa, C20 karot 2 numunesine aittir. Sonuçlara bakıldığında, dayanımın yüksek olmasının hasarı her zaman etkilemediği söylenebilir. Bazı durumlarda, basınç dayanımının artmasıyla hasar seviyesinin arttığı bulunmuştur (C20 karot 1 ve C30 karot 1 numunelerde olduğu gibi). C20 numuneler ve C30 numuneler için ortalama basınç dayanım değerleri sırasıyla 25.2 MPa ve 46.6 MPa.



BÖLÜM 6

6. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışma sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir.

Akustik emisyon, servis sırasındaki büyük yapıların genel olarak incelenmesini, ilk aşamalarındaki kusurların tespitini ve değerlendirilmesini sağlayan, tahribatsız ve benzersiz bir test yöntemidir.

AE Oran İşleme Analizi'nin betonda hasar tespitine imkân tanıyan bir yöntem olduğu bir kez daha görülmüştür.

AE Oran- İşleme Analizi ve basınç testleri uygulanarak, değerlendirilen karot numunesine ait sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Prosedür, inşaattaki başlangıç özellikleri bilinmeyen betonun hasarını tahmin etmeye yarar.

AE Oran İşleme Analizi sonucunda karot alımının betonda hasara neden olduğu görülmüş ve bu hasar miktarı nicel olarak belirlenebilmiştir.

Beton sınıfının iyileşmesi ile karot alımında verilen hasar arasında ters bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Referans betonu ile karot alınmış numunenin betonu dayanım ve elastisite modülü açısından kıyaslandığında mekanik değerlerde bir düşüş olduğu görülmüştür.

Deneyde kullanılan gerinim pulları 10 mm uzunluğunda olup kısa bir çizgide birim deformasyon ölçebilmektedir. Daha uzun gerinim pullarının kullanılması daha iyi sonuçlar verebilir.

Deneyde kurulan sistemden kaynaklanan hatalar olabilir. Dış gürültünün etkisi her ne kadar deney esnasında alınan tedbirlerle en aza indirilmeye çalışılsa da sinyali bozacak dış etkiler bulunmuş olabilir. Bu sebeple daha kaliteli bir basınç test cihazı ve veri toplama sistemi daha doğru sonuçlar elde edilmesi için önemlidir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Alver, N., Karcili, M., Ercan, E., Kawasaki, Y. and Ohtsu, M.,** 2014, Damage evaluation in concrete structures due to earthquake by AE rate-process analysis, In Proceedings of 31st Conference on European Working Group on AE, 3-5 pp.
- Baranov, V., Kudryavtsev, E., Sarychev, G., and Schavelin, V.,** 2007, Acoustic Emission in Friction, vol. 53 of Tribology and interface engineering series, Russia ,1-10pp.
- Carlos, M.F., Vallen, H.,** 2005,"Acoustic Emission Signal Processing", in Acoustic Emission Testing (Ed., P. O. Moore), Nondestructive testing handbook, Columbus, American Society for Nondestructive Testing, 3rd ed, pp 153-154.
- Carnì, D. L., Scuro, C., Lamonaca, F., Olivito, R. S. and Grimaldi, D.,** 2017, Damage analysis of concrete structures by means of acoustic emissions technique, journal of composites Part B: Engineering, 115: 79-86 pp.
- Cartz, L.,** 1995, Nondestructive Testing, United States of America, 11p.
- Charles.,** 2003, Handbook of Nondestructive Evaluation, United State of America. 1-16 pp.
- Charles, C. Z.,** 2003, The dynamics of racial residential segregation. Annual review of sociology, 29(1), 167-207.
- Eitzen, D. G. and Wadley, H. N. G.,** 1984, Acoustic emission: establishing the fundamentals. Journal of research of the National Bureau of Standards, 89(1), 75-100.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Green, A.T., 1970, Stress wave emission and fracture of prestressed concrete reactor vessel materials, in Proc. 2nd Interamerican Conference on Materials Technology, American Society of Mechanical Engineers, New York, 635-649 pp.

Grosse, Christian, U. and Ohtsu, M., 2008, Acoustic emission testing, Springer Science and Business Media, Berlin, 1-30 pp.

Hamstad, M.A., 2004, Acoustic emission primer, lecture delivered by Dr. Hamstad at the Acoustic Emission Working Group Meeting on August 4 2003, (AEWG-46).

Hellier, C.J., 2001, Handbook of Nondestructive Evaluation, New York, McGraw-Hill.

Higo, Y. and Inaba, H., 1991, General problems of AE sensors, ASTM Special Technical Publication (1077): 7–24

Karcili, M., 2014, Depremde Hasar Görmüş Yapıların Akustik Emisyon-Oran İşleme Analizi İle Hasar Seviyelerinin Tespit Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 10-29s.

Karcili, M., Alver, N. and Ohtsu, M., 2016, Application of AE rate-process analysis to damaged concrete structures due to earthquake, Journal of Materials and Structures, 49: 2171 2178 pp.

Kim, H. C. and Park, H. K., 1984, Laser interferometry system for measuring displacement amplitude of acoustic emission signals, Journal of Physics D (Applied Physics) 17(4): 673–5.

MacGregor, J. G., Wight, J. K., Teng, S. and Irawan, P., 1997, Reinforced concrete mechanics and design, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Malhotra, V.M.,** 1976, Testing hardened concrete: non-destructive methods, Monogr. No. 9, American Concrete Institute, Detroit, MI, chap 12.
- Manthei, G.,** 2010, Characterization of acoustic emission sensors. In: The 29th Proceedings of European Conference on Acoustic Emission Testing, Vienna, Austria.
- Muravin., B.,** 2009, Acoustic emission science and technology, Journal of building and infrastructure engineering of the Israeli association of engineers and architects, 1: 4-5 pp.
- Novotny, O.,** 1999, Seismic surface waves, Instituto de Geociencias, Bahia, Salvador, 9-12 pp.
- Ohtsu, M.,** 1988, Source Inversion of Acoustic Emission Waveform, Structural Engineering/Earthquake Engineering, pp. 275-283.
- Ohtsu, M.,** 1994, History and Developments of Acoustic Emission in Concrete Engineering, Journal of proceeding of the japan society of civil engineering, 496: 9-19 pp.
- Ohtsu, M., Isoda, T. and Tomoda, Y.,** 2007, Acoustic emission techniques standardized for concrete structures. Journal of Acoustic Emission, 25: 21-32 pp.
- Ohtsu, M. and Ono, K.,** 1984, A Generalized Theory of Acoustic Emission and Green's Functions in a Half Space, Journal of Acoustic Emission, 3, 27-40pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ohtsu, M. and Tomoda, Y.,** 2006, Acoustic Emission Monitoring for Detection of Rebar Corrosion and Damage Evaluation in Concrete, 2nd International Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering, Quebec City, Canada.
- Ohtsu, M. and Watanabe, H.,** 2001, Quantitative Damage Estimation of Concrete by Acoustic Emission, Construction and Building materials, Nos. 5-6, 217-224.
- Ono, K.,** 2007, H. Reginald Hardy, Jr. (1931-2008), Journal of Acoustic Emission, 25: I-I.
- Ono, K.,** 1997, Encyclopedia of acoustics, Acoustic emission 2: 797-809 pp.
- Prem, P. R. and Murthy, A. R.,** 2017, Acoustic emission monitoring of reinforced concrete beams subjected to four-point-bending, journal of Applied Acoustics, 117:28-38 pp.
- Prosser, W. H., Jackson, K. E., Kellas, B. T., Smith, J., A. Friedman.,** 1997, Advanced waveform-based acoustic emission detection of matrix cracking in composites, NDT and Evaluation International, no. 2, p. 108.
- Prosser, W.H.,** 1998, "Waveform Analysis of AE in Composites", Proceeding of the Sixth International Symposium on Acoustic Emission from Composite Materials, San Antonio, pp. 61-70.
- Seale, M.D, Smith, T., Prosser, W.H. and Masters, J.E.,** 1994, Lamb wave response of fatigued composite samples, A Review, Journal of Progress in Quantative Nondestructive Evaluation, 1261-1266pp.
- Su, Z, Ye, L. and Lu, Y.,** 2006, Guided Lamb waves for identification of damage in composite structures, A Review, Journal of Sound and Vibration, 295: 753-780 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Suzuki, T., Inaba, K., Yamagishi Inaba, S. and Morii, T.,** 2015, Damage Evaluation of an Historic Concrete Arch Bridge by Acoustic Emission, Journal of Niigata University Faculty of Agriculture Research Report, 67: 111-116 pp.
- Suzuki, T., Naka, T. Aoki, M. Ohtsu, M.,** 2010, Development of the DeCAT system for damage estimation of concrete. In: The 13th international conference on structural faults and repair, Edinburgh, Uk.
- Suzuki, T. and Ohtsu, M.,** 2004, Quantitative damage evaluation of structural concrete by a compression test based on AE rate process analysis, Journal of Construction and Building Materials, 18: 197-202 pp.
- Suzuki, T. and Ohtsu, M.,** 2014, Damage estimation of concrete canal due to earthquake effects by acoustic emission method Journal of Construction and Building Materials, 67: 186-191pp.
- Suzuki, T., Ohtsu, M. and Shigeishi, M.,** 2007, Relative damage evaluation of concrete in a road bridge by AE rate-process analysis, Journal of Materials and Structures, 40: 221-227pp.
- Terchi, A. and Au, Y. H. J.,** 2001, Acoustic emission signal processing, Journal of Measurement and Control, 34: 240-244 pp.
- Unnthorsson, R.,** 2013, Hit detection and determination in AE bursts, In Acoustic Emission, Research and Applications, IntechOpen, 1-20p
- Unnthorsson, R., Runarsson, T. P. & Jonsson, M. T.,** 2008, AE based fatigue failure criterion for CFRP, Internal Journal of Fatigue 20(1): pp. 11-20.
- Vallen Systeme Company.,** 2015, Acoustic Emission Sensors Specification, Germany.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wells, D., 1970, An acoustic apparatus to record emissions from concrete under strain, Nuclear Engineering and Design, 12, 80.

Yayla, P., 2007, Kırılma Mekaniği, İstanbul, 30-50s.

Zhou, J., 2011, A study of acoustic emission technique for concrete damage detection, Master Thesis, Michigan Technological University, 9p



TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam ve tez danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Ninel ALVER'e, deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Emre ERCAN'a, tezin yazımında desteği olan ArŐ. Gör. Sena TAYFUR'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

30 / 09 / 2019



Ali SEYED YOUSEFİ SHESHDEH



ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1985 yılında İran'ın Tahran şehrinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bandar Abas Sanatı İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Şiraz Tafazoli Lisesi'nde tamamladı. Daha sonra, 2009 yılında Yaosj Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve 2015 yılına kadar Iwan Namaye Pars Şirketi'nde teknisyen olarak çalıştı. Kariyeri boyunca iki projede çalıştı, biri Jahrom'da merkezi hastane binası, diğeri de Şiraz'da telekomünikasyon binası inşa etti. Daha sonra 2016 yılında Ege Üniversitesi İnşaat Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

