

DEPREMDE HASAR GÖRMÜ BİNA YAPISI ÜZERİNDEKİ BETONARME YAPILARININ HASAR DURUMLARININ AKUSTİK EMİSYON ORAN İLE BELİRLENMESİ

S. Tayfur¹, M. Karcılı ve N. Alver²

¹ Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir

² Öğretim Üyesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir
Email: senatayfur@gmail.com

ÖZET:

Ülkemiz aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunduğu için, özellikle son yıllarda birçok deprem felaketi yaşanmıştır. Depremde hasar görmüş binaların hasar seviyelerinin tespit edilmesi ve sonuçların güvenilir olması önemli bir konudur. Betonarme yapıların dayanıklılığının değerlendirilmesi için betonun mukavemetinin yanı sıra yapıda oluşan hasarın derecesi de önemlidir. Hasar tespitinin değerlendirilmesinde kullanılan tahribatsız test yöntemlerinden biri de Akustik Emisyon (AE)'dir. AE, düşük yük seviyelerinde gelişen çatlakların gelişimlerinin belirlenmesinde kullanılan ve artan yükler altında çatlakların yönleri ve şekilleri hakkında detaylı bilgi edinebileceğimiz gelişmiş bir test metodudur. Bu yöntem ile betonun iç bölgesinde gelişen mikroskobik büyüklükteki hasarları bile belirlemek mümkündür. Yöntem, kırılmadan dolayı oluşan enerji boşalmasının sebep olduğu elastik dalgaların malzeme içerisinde hareket ederek yüzeye ulaşması ve yüzeye yerleştirilen sensörler yardımı ile bu dalgaların zaman tanım aralığında toplanıp analiz edilmesi ilkesine dayanır. Test edilen elemanlarda hasar seviyesi tespiti için AE-Oran İleme Analizi yöntemi geliştirilmiştir. Yöntemde, hasar görmüş betonarme taşıyıcı elemanlardan alınan numunelerin serbest basınç deneyi etkisi altında AE aktiviteleri kayıt altına alınır. Toplanan veriler yardımıyla Oran İleme Analizi yönteminde AE aktivitesi ile hasar parametresi arasında bir korelasyon oluşturulur. Bu çalışmada, 2011 Simav depreminde hasar görmüş yapıların taşıyıcı elemanlarının hasar seviyelerini tespit etmek amacıyla alınan karot numuneler laboratuvar ortamında serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen verilere AE - Oran İleme Analizi uygulanmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda yapının hasar görmemiş durumundaki elastisite modülleri AE oran ve hasar parametreleri ile ilişkilendirilmiştir ve yapının hasar seviyesi tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Akustik Emisyon, AE-Oran İleme Analizi, Deprem Hasarlı Yapılar, Hasar Tespiti

1. GİRİŞ

Derecelerine göre depremlikenlik gösteren beş adet farklı deprem zonu barındırdığından, tarih boyunca ülkemizin bulunduğu coğrafyada çok sayıda deprem felaketi yaşanmıştır (Kılıcı vd., 2015). Bu felaketler sonucu kaybedilen insanların yanı sıra birçok yapı yıkılmış ve hasar görmüştür. Hasar gören bu yapıların kullanılıp kullanılmayacağı veya hangi önlemler alınarak yerleşime uygun hale getirilebileceğine karar vermek yeni can kayıplarının önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla yapıların hasar seviyelerinin belirlenmesi ilgi gören bir konudur.

Hasar tespitinde kullanılan yöntemlerden bazıları malzemede tahribat oluştururken, bazıları ise malzemeye zarar vermeden yapısı hakkında bilgi sahibi olmaya yarar. Bu yöntemler tahribatsız muayene yöntemleri olarak adlandırılmaktadır (Cartz, 1995). Bu amaçla kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden olan Akustik Emisyon (AE), malzemenin mikro yapısındaki deprem ile geçici gerilme dalgalarının açığa çıkması olayıdır (Wevers, 1997). Yöntem genel olarak yüzeye yerleştirilen sensörler ile bu dalgaların algılanarak hasarın yeri ve oluşum zamanının belirlenmesini sağlamaktadır. Yöntemden elde edilen verilerin farklı metodlarla analiz edilmesiyle AE çeşitli açılardan geliştirilmeye devam etmektedir. Oran İleme Analizi de AE analiz

yöntemlerinden biri olup, hasar görmüş yapıların hasar seviyelerini incelemeye yaramaktadır. Bunun için serbest basınç deneyine tabi tutulan numunelerin AE aktiviteleri izlenerek hasar parametresi oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu hasar parametresi AE aktiviteleriyle ilişkilendirilmekte ve malzemenin hasar seviyesi tespit edilmektedir.

Bu çalışmada 2011 Simav depreminde hasar görmüş yapıların taşıyıcı elemanlarından alınan karot numuneleri serbest basınç deneylerine tabi tutulmuş, yapılarında meydana gelen AE aktiviteleri izlenmiştir. Elde edilen verilere AE-Oran Ölçme Analizi uygulanmış ve elemanların hasar seviyeleri tespit edilmiştir.

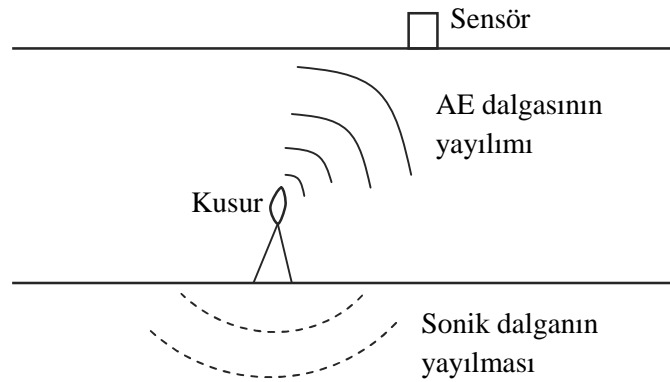
2. AKUSTİK EMİSYON (AE)

ASTM E 1316'ya göre Akustik Emisyon (AE), gerilme altındaki malzemelerde bir ya da birden fazla kaynağın hızlı bir şekilde enerji salarak geçici elastik dalgalar ürettiği olaylar ve bu şekilde meydana gelen geçici elastik dalgalar şeklinde tanımlanmaktadır. AE olayları günlük hayatta da oldukça geniş bir yelpazede karşımıza çıkmaktadır. Depremler en büyük çaplı AE olayları iken, yük etkisi altındaki metallerde dislokasyon hareketleri en küçük ölçeklidir.

AE'yi diğer tahribatsız muayene yöntemlerinden ayıran en temel farklar, harici bir sinyal kaynağına ihtiyaç duymadan kaynağın malzemenin bünyesinde oluşması ve süreksizliklerinin şeklinin yanı sıra hareketini ve oluşum zamanını da algılayabilmesidir. Ayrıca diğer tahribatsız muayene yöntemleri malzemede mevcut durumdaki hasarları incelerken, AE, malzemenin yük altındaki davranışını incelemekte, böylece olası hasarların gelişimi hakkında bilgi edinilmesine yardımcı olmaktadır.

2.1. AE yönteminin esasları

AE, kaynak denilen kırılmanın başladığı yerde enerji açığa çıkması, bunun neden olduğu elastik dalgaların malzeme içinde hareket ederek yüzeye ulaşması ve yüzeye yerleştirilen sensörler yardımıyla toplanıp analiz edilmesi ilkesine dayanmaktadır (Şekil 1).

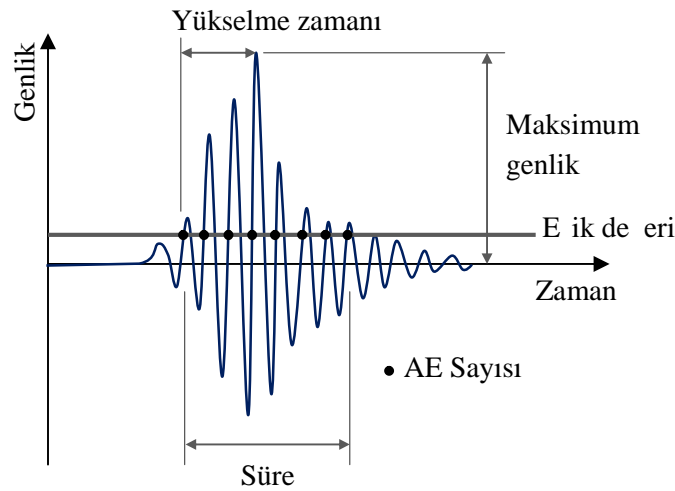


Şekil 1. AE oluşumu ve algılanması (Grosse and Ohtsu, 2008)

AE sinyali geçici elastik dalgaların AE aygıtları tarafından algılanması sonucu oluşan sinyallerdir. Bu sinyaller ilk olarak yüzeyde oluşan titreşimi elektriksel olarak çeviren algılayıcılara yani sensörlere ulaşmaktadır. Zayıf sinyaller olmaları nedeniyle buradan gerekli voltaj seviyelerine yükseltmek üzere ön yükselteci, daha sonra belli frekans bandının altındaki gürültülerin süzülmesi üzere süzgeç, istenilen düzeye getirilmek üzere güç yükselteci ve sayıcılara gönderilmektedirler. Son olarak sinyal biçimini izlemek üzere veri kayıt ve gösterim aygıtları kullanılmaktadır. Kısaca bir AE dalgası mekanik olarak oluştuktan sonra elektrik sinyaline dönüşmekte, ardından bilgisayarda dijital bir hal almaktadır. Beton gibi homojen olmayan malzemelerde elastik dalganın yayılımındaki hız, sönümlenme gibi fiziksel özellikleri de değişmektedir. Bu sebeple kullanılacak sensörlerin ve diğer cihazların duyarlılığı önem arz etmektedir.

2.2. AE sinyal analizi

AE sinyalinin çeşitli tekniklerle analiz edilmesinden önce de, elde edilen AE dalga formuna ait çeşitli parametreler yardımıyla bazı tahminleri yapmak mümkündür. Şekil 2’de tipik bir AE sinyaline ait parametreler gösterilmiştir. AE tekniğinin en önemli özelliklerinden biri de ortamdaki gürültüyü elemine ederek AE pulslarını veri setlerine dönüştürmektir. Bu amaçla belirlenen seviyeye “eşik de eri” denilmektedir. AE tekniğinin temel sinyal ölçme parametresine sahiptir: Genlik, dalga formunda ölçülen en büyük voltajdır. Yükselme zamanı, eşik de erini geçen ilk nokta ile pik arasındaki süre ise, eşik de erini geçen ilk ve son noktalar arasındaki zaman aralığıdır. Sayı, eşik seviyesini geçen puls sayısıdır. Düzeltilmiş sinyal zarfı altındaki ölçülen alan ise “MARSE (Measured Area Under the Rectified Signal Envelope), enerji” olarak tanımlanmaktadır ve emisyonun enerjisini belirlediği için yararlı bir parametredir.



Şekil 2. AE sinyaline ait parametreler

3. ORAN İLEME ANALİZİ

Oran İleme Analizi’nde temel amaç hasar seviyesinin tespitidir. Bu kapsamda yöntem hasar tespiti yapılacak numunelerin serbest basınç deneyi etkisi altında AE aktivitelerinin gelişimini izleme ve analiz etme ilkesine dayanmaktadır. Tek eksenli basınç etkisi altında, çok sayıda kritik mikro çatlaklar içeren betonda, yeni çatlak gelişiminden dolayı düşük gerilme seviyelerinde AE aktivasyonu görülmektedir. Bu çatlaklar az miktarda olduğunda ise düşük gerilme seviyelerinde AE aktiviteleri stabil ve düşük olmaktadır. Bu sebeple serbest basınç deneyi etkisinde AE aktivitelerinin belirlenmesi için oran ileme teorisi geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar mikro çatlaklardan dolayı oluşan AE aktivitelerinin Oran İleme Analizi ile tespit edilebildiğini ortaya koymuştur (Ohtsu, 1992; Ohtsu ve Watanabe, 2001; Ohtsu et.al., 2007).

3.1. AE-Oran İleme analizi

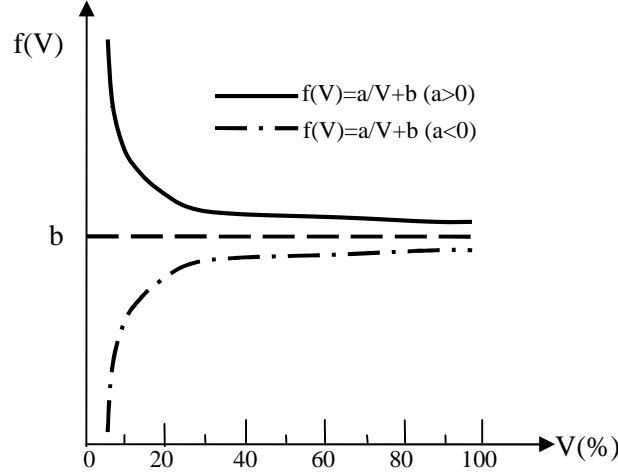
Bir numunenin “V” gerilme seviyesi etkisinde iken “dV” kadar gerilme artımına maruz kaldığında ünlürse, bu artıtan kaynaklanan toplam AE vuru sayısı “N” ile tanımlansın. Bu gerilme artımındaki AE oluşum olasılık fonksiyonu “f(V)” Denklem 1 ve hiperbolik fonksiyon olarak ünlünen Denklem 2 ile belirlenmektedir.

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

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

Burada “a” ve “b” ampirik katsayılar olup, “a” katsayısı “oran” olarak adlandırılmaktadır ve tanımlanan gerilme seviyesindeki AE aktivitesini göstermektedir. Eer düşük bir gerilme seviyesinde “a” de eri pozitifse AE aktivite olasılığı yüksektir ve numune hasarlı olarak nitelendirilmektedir. “a” de erinin negatif olması

durumunda ise AE aktivite olasılığı düşüktür ve numune hasarsız olarak nitelendirilmektedir. “a” de gerilme bağılı olarak f(V) olasılık fonksiyonunun durumları ekil 3’te gösterilmiştir.



ekil 3. f(V) olasılık fonksiyonunun iki farklı durumu (Suzuki ve Ohtsu, 2004)

(1) ve (2) numaralı denklemlerin ortak çözümüyle C integrasyon sabiti olmak üzere, gerilme seviyesine bağılı olarak AE olayları aşağıdaki şekilde yazılabilir.

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

Hasar mekanikinde hasar parametresi “ Ω ” Denklem 4’teki gibi elastisite modülündeki rölatif değişim olarak tanımlanmaktadır (Suzuki ve Ohtsu, 2004). Burada E betonun elastisite modülünü, E^* ise hasarsız betonun elastisite modülünü ifade etmektedir.

$$\Omega = 1 - \frac{E}{E^*} \quad (4)$$

Loland, serbest basınç etkisi altında Ω ile deformasyon arasındaki ilişkiyi Denklem 5 ile tarif etmektedir. Burada “ Ω_0 ” numunenin basınç deneyinden önceki hasar parametresi olup, “ A_0 ” ve “ λ ” ampirik katsayılarıdır (Loland, 1989).

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

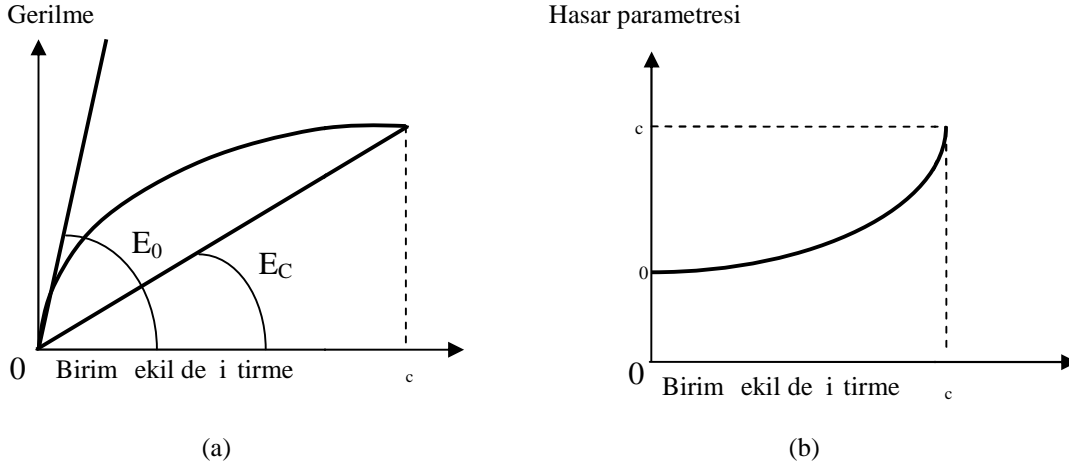
Denklem 4 ve 5’in ortak çözümünden elde edilen gerilme “ σ ” ve betonun bağıngıç elastisite modülü “ E_0 ” arasındaki ilişki Denklem 6’da verilmiştir. Burada $E_0 = E^*(1 - \Omega_0)$ betonun bağıngıç elastisite modülüdür (ekil 4.a).

$$\sigma = (E_0 - E^* A_0 \lambda) \quad (6)$$

3.2. Hasar değerlendirilmesi

Loland modeline göre hasar seviyesindeki artış elastisite modülünde azalmaya neden olmaktadır ve Denklem 7 ile ifade edilebilmektedir. Burada “ ϵ_c ” kopma birim deformasyon ekil de i tirmesine karşılık gelen hasar parametresidir ve de i şimi ekil 4.b’de gösterilmiştir.

$$E_0 - E_c = E^*(1 - \Omega_0) - E^*(1 - \epsilon_c) = E^*(\epsilon_c - \Omega_0) \quad (7)$$

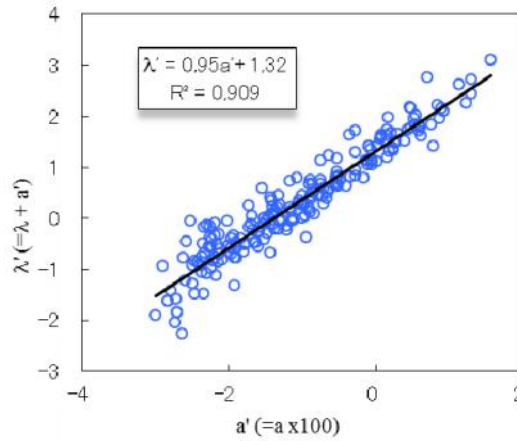


ekil 4. (a) Gerilme-birim ekleme ve E_0 - E_C (b) Hasar parametresi ve birim ekleme arasındaki ilişkiyi gösteren grafik

“ λ ” ile “ a ” oranı arasındaki lineer ilişki ekil 5’e dayanarak Denklem 8’deki gibi elde edilmektedir. Burada “ λ ”, 9 numaralı denklem ile bulunabilmektedir.

$$\lambda + (a \times 100) = (a \times 100) X + Y \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{E_C}{E_0 - E_C} \quad (9)$$



ekil 5. Hasar parametresi ve oran arasındaki ilişkinin AE verileri ile belirlenmesi

“ a ”=0 durumunda $E_0=E_C$ varsayıldığından, Denklem 10 oluşturulmuştur. Bu bağıntıyla beraber AE verileri kullanılarak numunenin hasarsız durumdaki elastisite modülü “ E^* ” elde edilmektedir (Ohtsu, 1992).

$$E^* = E_C + \frac{E_C}{Y} \quad (10)$$

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada 19 Mayıs 2011 günü TS 23.15’te Kütahya iline bağlı Simav ilçesi merkez üssünde 5.9 Mw şiddetinde gerçekleşen depremde hasar görmüş iki farklı betonarme yapıdan alınan karot numuneler

kullanılmıdır. Bina-1 1995 yılında inşaat edilmiş olup, deprem sonrası “orta derecede hasarlı” olarak nitelendirilmiştir. Bina-2 ise 1994 yılında inşaat edilmiş olup, deprem sonrası “yüksek derecede hasarlı” olarak nitelendirilmiştir. Binaların dışı tan görünüşleri Şekil 6’da gösterilmektedir.



(a) (b)
Şekil 6. (a) Bina 1 (b) Bina 2 dışı tan görünüşü

4.1. Deney numuneleri

Binalardan karot alımları TS EN 12504-1 standartlarına göre yapılmıştır. Donatılar karot alma işleminden önce zarar görmemeleri için donatı tarama cihazı ile tespit edilmiştir. Alınan numunelerin çap, boy ve lokasyonları Tablo 1’de gösterilmiştir.

4.2. Serbest basınç deneyleri

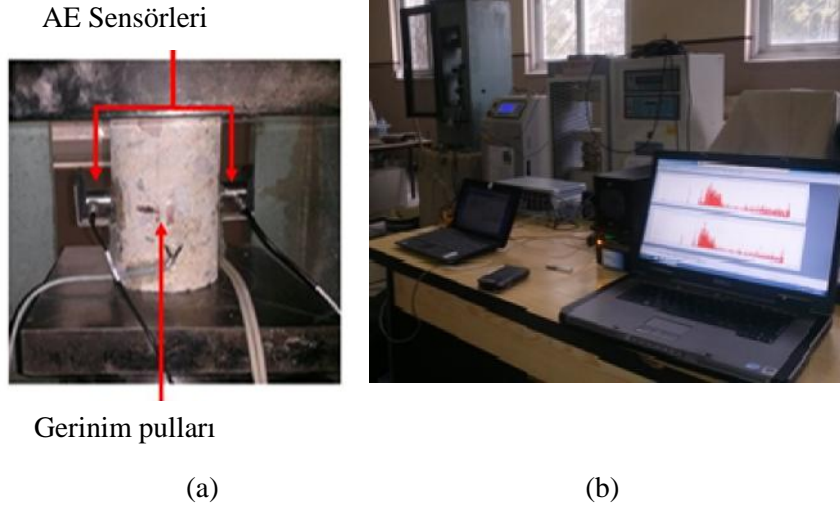
Karot numuneleri pürüzlü yüzeyleri düzeltildikten sonra laboratuvar ortamında serbest basınç deneyine tabi tutulmuş ve zamanda AE aktiviteleri izlenmiştir. Kullanılan basınç presisi 200 ton kapasiteli, 220 V, 50 Hz, 10 A derecesindedir ve yükleme hızı ayarı 0,3-20 kN arasında değişmektedir. Serbest basınç deneyi altında numunelerin yük-deformasyon değişimini izlemek amacıyla her numuneye 3 adet gerinim pulu yapılmıştır (Şekil 7.a).

Numunelerin AE aktivitelerini inceleyebilmek amacıyla kullanılan AE veri toplama sistemi, 8 kanallı sistem kartı, ön yükselticiler, bağlantı kabloları, bilgisayar ve sensörlerden oluşmaktadır (Şekil 7.b). Deneyler sırasında 2 adet AE sensörü numuneler üzerine yerleştirilmiş olup, rezonans frekansları 150 kHz’dir.

Tablo 1. Karot numunelerinin detayları

Numune	Bina No	Kat	Kolon	Yükseklik (mm)	Çap (mm)
No 3	B1	1	S12	130	95
No 10	B1	1	S07	150	95
No 12	B1	1	S16	115	95
No 18	B1	1	S18	125	95
No 13	B1	2	S13	110	95
No 15	B1	2	S15	125	95
No16	B1	2	S16	100	95
No 17	B1	2	S17	100	95

No 8	B1	3	S09	120	95
No 6	B1	3	S16	145	95
No 9	B1	3	S12	130	95
No 11	B2	1	S01	120	95
No 2	B2	1	S14	135	95
No 5	B2	2	S01	130	95
No 7	B2	2	S01	150	95
No 19	B2	2	S19	120	95
No 20	B2	2	S20	115	95
No 21	B2	2	S21	115	95



ekil 7. Serbest basınç deneyi sırasında (a) karot numuneye yerleştirilen AE sensörleri ve gerinim pulları
(b) AE veri toplama sistemi

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karot numunelerinin serbest basınç deneyi etkisi altında elde edilen AE verilerine Oranleme Analizi uygulanmıştır. Numunelere ait elde edilen mekanik özellikler ve hasar durumları Tablo 2’de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre yapılan hasar değerlendirilmesinde “ E_0/E^* ” değerinin 1’den büyük olmasının numunenin hasarsız olduğunu gösterdiği bilgisi kullanılmıştır.

Bulgular numunelerin basınç dayanımları arasında farklar olduğunu göstermektedir. Bu durumun sebebi bazı kolonların elle karot kırılması beton ile inşaat edilmesidir. Bina-1’den elde edilen numunelerin basınç dayanımları 6.9 MPa ile 20.7 MPa arasında deyimlik göstermiştir. Ayrıca bu numunelerin maksimum (No 18), minimum (No 6) ve ortalama rölatif hasar değerleri sırasıyla 0.65, 1.56 ve 0.88 olarak belirlenmiştir. Bu binadan alınan 11 adet karot numunesinden 9’unun rölatif hasar değerleri 1’den küçük olduğu için hasarlı olarak nitelendirilmiştir. Bina-2’den elde edilen numunelerin basınç dayanımları ise 5 MPa ile 13.5 MPa arasında deyimlik göstermiştir. Ayrıca bu numunelerin maksimum (No 2), minimum (No 20) ve ortalama rölatif hasar değerleri sırasıyla 1.04, 0.56 ve 0.80 olarak belirlenmiştir. Bu binadan alınan 7 adet karot numunesinden 5’inin rölatif hasar değerleri 1’den küçük olduğu için hasarlı olarak nitelendirilmiştir.

Katlar arasındaki hasar farklarının değerlendirilmesi için ise öncelikle aynı kolona ait farklı katlardan alınan numuneler değerlendirilmiştir. Bina-1’in S16 kolonuna ait üç farklı kattan alınan karot numunelerinin (No 12, No 16 ve No 6) rölatif hasar değerleri sırasıyla 0.87, 0.72 ve 0.65 olarak belirlenmiştir. S12 kolonunun No 3 ve No 9 numunelerinin rölatif hasar değerleri ise 0.77 ve 0.74’tür. Benzer şekilde Bina-2’nin S01 kolonunun No 11

ve No 5 numunelerinin hasar değerleri de sırasıyla 0.95 ve 0.78 olarak belirlenmiştir. Tüm bu durumlar bahsedilen kolonları hasarlı oldu unu ve üst katlara çıkıldıkça hasarın arttığını göstermektedir. Bunun sebebi deprem sırasında üst katların daha fazla deplasman yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

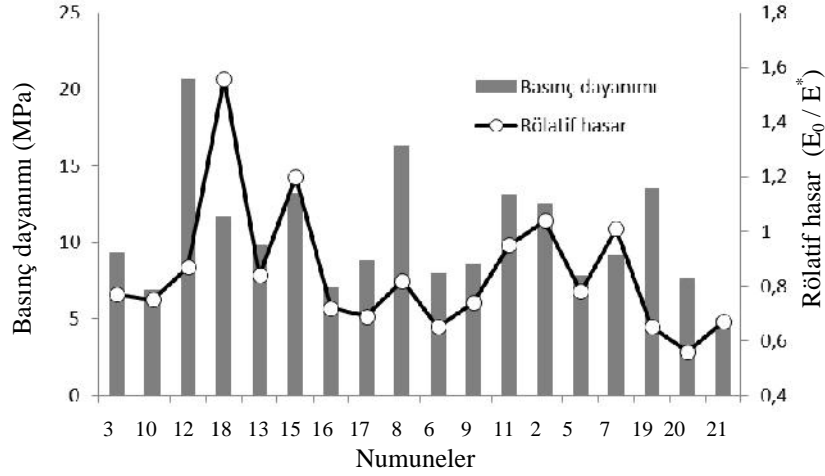
Tablo 2. AE-Oran Ölçme Analizi sonuçları

Numune	Bina	Kat	Kolon	f _c (MPa)	E ₀ /E*	Hasar Durumu (E ₀ /E*)
No 3	B1	1	S12	9.3	0.77	Hasarlı
No 10	B1	1	S07	6.9	0.75	Hasarlı
No 12	B1	1	S16	20.7	0.87	Hasarlı
No 18	B1	1	S18	11.6	1.56	Sağlam
No 13	B1	2	S13	9.8	0.84	Hasarlı
No 15	B1	2	S15	13.2	1.20	Sağlam
No16	B1	2	S16	7.1	0.72	Hasarlı
No 17	B1	2	S17	8.8	0.69	Hasarlı
No 8	B1	3	S09	16.3	0.82	Hasarlı
No 6	B1	3	S16	7.9	0.65	Hasarlı
No 9	B1	3	S12	8.6	0.74	Hasarlı
Bina-1 için ortalama E₀/E*					0.88	Hasarlı
No 11	B2	1	S01	13.1	0.95	Hasarlı
No 2	B2	1	S14	12.5	1.04	Sağlam
No 5	B2	2	S01	7.8	0.78	Hasarlı
No 7	B2	2	S01	9.2	1.01	Sağlam
No 19	B2	2	S19	13.5	0.65	Hasarlı
No 20	B2	2	S20	7.6	0.56	Hasarlı
No 21	B2	2	S21	5	0.67	Hasarlı
Bina-2 için ortalama E₀/E*					0.80	Hasarlı

No 5 ve No 7 numuneleri ise Bina-2'nin aynı kat kolonuna aittir. No 5 kolonun üst kısmından, No 7 ise orta kısmından alınmıştır. No 5'in E₀/E* değeri 0.78 iken No 7'ninki 1.01'dir. Sonuç olarak kolonun üst kısmı daha çok hasar görmüştür. Bu durum deprem sırasında kolon-kiri birleşimlerine daha fazla yük geldiğini doğrulamaktadır.

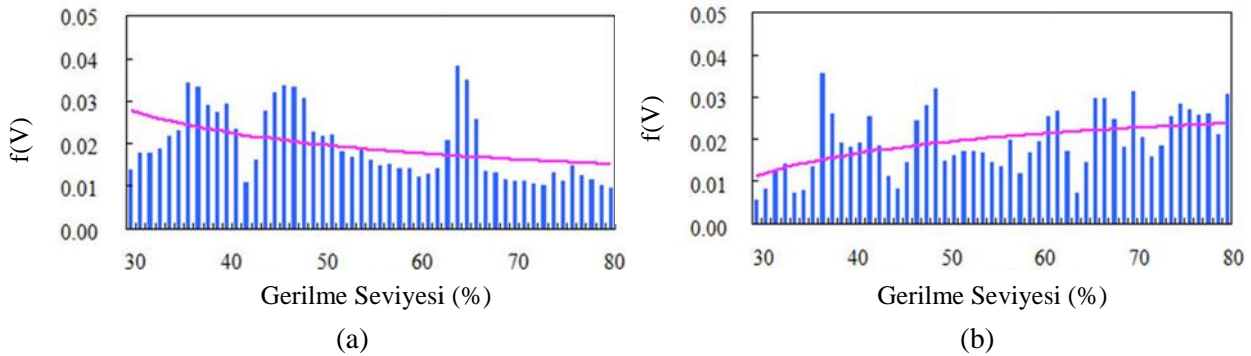
Ayrıca tüm numuneler göz önünde bulundurulduğunda Bina-2'den alınan numunelerin Bina-1'den alınan numunelere göre daha fazla hasar gördüğünü belirlenmiştir. Bu durum Bina-1'e verilen "orta hasarlı" ve Bina-2'ye verilen "ağır hasarlı" raporlarını desteklemiştir.

Ekil 8'de "E₀/E*" değerleri ile basınç dayanımları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafik sonuçlarına bakıldığında basınç dayanımının yüksek olmasının hasarı her zaman etkilemediği söylenebilmektedir. Bu sonuç da göstermektedir ki, daha yüksek dayanımı olan bir numune daha fazla hasar görmüş olabilir ve bu sonuca ulaşmak AE-Oran Ölçme Analizi ile mümkün olmuştur.



ekil 8. Her numune için rölatif hasar - basmaç dayanımı de i imi

ekil 9'da No 9 ve No 7 numunelerine ait belirtilen gerilme seviyesi aralı ında AE olu um olasılık fonksiyonları verilmi tir. Grafikte mavi sütunlar AE vuru larını, pembe çizgi grafik ise bu vuru lara en iyi uyan e riği temsil etmektedir. Dü ük gerilme seviyelerinde yüksek AE vuru ları hasarlı numuneyi, dü ük AE vuru ları ise sa lam numuneyi belirtmektedir.



ekil 9. AE vuru u olasılık fonksiyonu grafik örnekleri (a) No 9 numunesi (b) No 7 numunesi

6. SONUÇ

Bu çalı mada 2011 Simav depreminde hasar gören iki binadan alınan karot numunelerinin AE-Oran İleme Analizi ile hasar de erlendirmeleri yapılmı tir.

- Hasar parametresi ile AE aktiviteleri arasındaki korelasyon ile hasarlı binalara ait betonun hasar seviyeleri belirlenmi tir.
- Pamukkale Üniversitesi tarafından binalara verilen raporlar, AE analizi sonuçları ile desteklenmi tir. Bu durum AE oran İleme analizinin beton yapıların hasarlarının belirlenmesinde kullanılabilirli i kanıtlamı tir.
- Farklı katlardan alınan aynı kolona ait hasar sonuçları sismik hareketler etkisinde üst katların daha fazla deplasman yapması sebebiyle daha çok hasar gördü ünü do rulamı tir.
- Kolon-kiri birle imlerinin daha çok hasar görmesi, karot numunelerin alındı ı yerlerin önemini vurgulamı tir.

KAYNAKLAR

- Kılıcı, F., Kara, Kara, B. Y. ve Bozkaya, B. (2015). Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. *European Journal of Operational Research* **243:1**, 323-332.
- Cartz, L. (1995). Nondestructive testing. *ASM International*, 11.
- Wevers, M. (1997). Listening to the sound of the materials: acoustic emission for the analysis of material behavior. *NDT and E International* **2**, 99-106.
- ASTM E 1316. (2002). Standard Terminology for NDT.
- Grosse, C. U. and Ohtsu, M. (2008). Acoustic Emission Testing, Basics for Research-Applications in Civil Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ohtsu, M. (1992). Rate process analysis of acoustic emission activity in core test of concrete. *In:Proc of JSCE* **442:16**, 211-217.
- Ohtsu, M. and Watanabe, H. (2001). Quantitative damage estimation of concrete by acoustic emission. *Construction and Building Materials* **5-6**, 217-224.
- Suzuki, T., Ohtsu, M. and Shigeishi, M. (2007). Relative damage evaluation of concrete in a road bridge by AE-rate process analysis. *Materials and Structures* **40**, 221-227.
- Suzuki, T. and Ohtsu, M. (2004). Quantitative damage evaluation of structural concrete by a compression test based on AE rate process analysis. *Construction and Building Materials* **18**, 197-202.
- Loland, K.E. (1989). Continuous damage model for load-response estimation of concrete. *Cement and Concrete Research* **10**, 395-402.