

Türkiye 16. Madencilik Kongresi / 16th Mining Congress of Turkey, 1999, ISBN 975-395-310-0

PATLATMA KAYNAKLI YER SARSINTILARININ BİNALAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE BÜYÜTME FAKTÖRÜNÜN ÖNEMİ

EFFECT OF BLASTING INDUCED GROUND VIBRATIONS ON BUILDINGS AND THE IMPORTANCE OF THE AMPLIFICATION FACTOR

H.A. BİLGİN

ODTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

S. ESEN

ODTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

M. KILIÇ

ODTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET: Bu çalışmada TKİ Çan Linyitleri İşletmesi (ÇLİ) açık ocağında yapılan dekapaj patlatmalarının ÇLİ Bölge Müdürlüğü binaları ve Cumhuriyet Mahallesi ile Seramik Fabrikası yönlerinde oluşturduğu yer sarsıntılarının binalar üzerindeki etkileri farklı bir yaklaşımla araştırılmıştır. Her iki yön için yer sarsıntıları değişik tarihlerde hem zeminde, hem de binalarda aynı anda kaydedilmiştir. Alınan kayıtlar incelenmiş ve FFT (Fast Fourier Transform) analizleri yapılmıştır. Binayı uyaran ve zeminden gelen dalgaların etkin frekansları ve göreceli genlikleri belirlenmiştir. Böylece binaların rezonansa girip girmediği, zemindeki dalganın binaya hangi oranda iletildiği veya dalga şiddetinin ne kadar büyüdüğü araştırılmıştır. Bu araştırma hasar tespitinde kullanılan klasik yaklaşımın tek başına yeterli olmadığını, ölçümlerin hem zeminde hem de binalarda eş zamanlı yapılması ve ayrıntılı analizler ile sonuca gidilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

ABSTRACT: In this study, the effects of ground vibrations on buildings formed by overburden blasting conducted at the TKİ Çan Open Pit Lignite mine (ÇLİ) in the direction of ÇLİ Local Management buildings and Ceramic Factory are investigated by using a different approach. Vibrations are recorded at each direction at different dates simultaneously on both ground and buildings. Obtained records are investigated and FFT (Fast Fourier Transform) analysis are carried out. Dominant frequencies and relative amplitudes of the waves arriving from the ground and exciting the building are determined. Thus, it is investigated whether buildings are resonated or not and at which level the ground vibration is transmitted to the building or how much the amplitude of wave is increased. This research has shown the insufficiency of the classical approach itself used in damage claim investigation, and the necessity for carrying out measurements simultaneously on both ground and buildings and requirement of the detailed analysis to end up with conclusion.

1. GİRİŞ

TKİ Genel Müdürlüğü'nün isteği üzerine ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümünde Çan Linyit İşletmesi açık ocağında yapılan dekapaj patlatmalarının yol açtığı çevresel etkilerin değerlendirilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda başlıca çevresel sorunların yer sarsıntısı ve gürültü (hava şoku) olduğu, hem Çan şehir merkezi hem de Kaleceramik Fabrikalarında endişe yarattığı saptanmıştır. Bu bildiride bu çalışmanın küçük bir bölümü sunulmaktadır. Bildirinin ana konusunu sunmadan önce patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının özelliklerini tanıtmak yerinde olacaktır.

1.1 Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Özellikleri

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer sarsıntısıdır. Yer sarsıntıları depreme benzer etkiler yapar. Dolayısı ile oluşan yapı hasarları benzerlik gösterirler. Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olurlar. Sarsıntıların enerji düzeyleri şu parametrelerle ölçülmeye çalışılır; parçacık deplasmanı (mm), parçacık hızı (mm/s), parçacık ivmesi (mm/s²) ve dalga frekansı (Hz).

Binalara verilen hasarda, sarsıntıların taşıdığı enerji düzeyi yanısıra binaların yapı tekniği,

boyutları ve üzerine oturdukları zemin özellikleri de etkin olmaktadır (Siskind vd., 1980). Bu nedenlerle sarsıntıya bağlı hasar etüdlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir. Hasar etüdlerinde batılı ülkelerde saptanmış sınır değerler bulunmaktadır. Ülkemizde bu konuda bir yönetmelik bulunmadığından, mühendisler ancak diğer ülkelerdeki sınır değerleri kullanarak yorum yapmaya çalışmaktadırlar.

Ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntıları kısa süreli (gelip-geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki bir parçacığın hareket hızına parçacık hızı (partide velocity) denir. Parçacık hızı sıfırdan başlar, en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Şu halde yer sarsıntısı incelemelerinde birinci önemli husus en yüksek parçacık hızıdır. Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyük ise bina da o denli yüksek şiddette sarsılır.

Frekans (f) ise, zemindeki bir parçacığın 1 saniyede kaç kez sarsıldığını gösterir. Frekans devir/saniye veya Hertz (Hz) birimi ile ifade edilir.

Yer sarsıntısının özellikleri ve niteliği, patlatma yerine yakın kesimlerde daha çok patlatma tasarımı ve delik düzeni, bilhassa bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı, ateşleme aralığı (gecikme süresi) ve bir yere kadar da ateşleme yönünden etkilenir. Diğer bir deyişle bu etmenlere bağlı olarak oluşan parçacık hızı önemli bir hasar göstergesidir. Ancak patlatma yerinden uzaklarda, sarsıntısının özellikleri ve niteliği daha çok yer sarsıntısı dalgasının iletiği kaya veya zemin ortamının özelliklerinden etkilenir. Diğer bir deyişle arazi katsayıları ve yer sarsıntısının frekansı da hasar oluşumunda veya oluşmamasında önemli ve tayin edici etmenlerdir. A.B.D. Maden Dairesi (USBM) ve Açık Ocak Maden Bürosu (OSMRE) ölçütleri hem en yüksek parçacık hızını (PPV) hem de frekansı (f) gözönüne aldıkları için bu çalışmada sonuçları yorumlamak için seçilmişlerdir.

Kömür madeni ocaklarında oluşan yer sarsıntısı dalgaları, metal madeni ve taş ocakları ile inşaat kazılarındaki patlatma dalgalarından farklılık gösterir. Kömür madenlerindeki patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntısı dalgaları büyük genlikleri (yüksek hız) ve düşük frekansları ile bilinirler. Kömür ocaklarındaki yer sarsıntısı dalgaları, bu özellikleri nedeniyle ve ayrıca büyük dilim kalınlıkları, çok sayıda delikten oluşan büyük atım grupları ve sedimanter kaya formasyonları ve dalgaların uzak mesafelere iletim kabiliyetleri

sebebiyle yapılarda hasar oluşumu açısından son derece önemlidirler (Siskind vd., 1980). Bu nedenle kömür açık ocaklarındaki sarsıntı problemleri özel analiz ve yorum gerektirirler.

1.2 Frekansın Önemi

Yersarsıntılarının frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenirler. Bunlar jeoloji (kaya türleri) ve gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığıdır (Dowding, 1985). Çan örneğinde olduğu gibi sürekli şikayetlerin çoğunda, parçacık hızı 12.5 mm/s değerinin çok altında olduğu ve hiçbir hasarın meydana gelmediği durumlarda dahi ciddi titreşim hissedildiği yönündeki his ve endişeler tamamen düşük frekans özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çünkü düşük frekanslı dalgaları insanlar kolayca hissedebilirler. Frekans yüksek olduğunda ise insanların bunları algılaması çok zordur ve bu nedenle fazla endişeye kapılmazlar. Ayrıca 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yerdeğişimler ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da artırır (Siskind vd., 1980).

Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile sözkonusu binanın doğal (özyapısal) frekansının birbirleri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekansına eşit veya ondan biraz büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı (yer sarsıntısı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. İşte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı sınır değerlerin oldukça altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli büyüklükte (genlikte) ise binada hasar oluşur. Bir diğer durum zemindeki uyarıcı dalganın genliği tam yeterli düzeyde olmasa bile rezonans halindeki binanın bu genliği birkaç kat artırması (amplification) sonucu bina yine de hasarlanabilir. Konut tipi (1-2 katlı) binaların özyapısal frekanslarının 5-10 Hz arasında değiştiği hatırlandığında (Dowding, 1992), en yüksek parçacık hızında meydana gelebilecek atım olasılığının, zemin hareketinin (uyarıcı dalganın) frekansının da 5-12 Hz arasında olması durumunda oluşacağı açıktır.

2. HASAR KRİTERLERİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ

2.1 Hasar Sınıflaması

A.B.D. Madencilik Dairesi'nin geliştirdiği sınıflamada "Eşik Hasar", "Hafif Hasar" ve "Esaslı Hasar" olmak üzere üç hasar sınıfı tanımlanır (Siskind vd., 1980). Boya ve sıvada kılcal çatlakların olduğu "eşik hasar" sadece görünüm bozucu (cosmetic cracking) niteliktedir. Sıva düşmesi, çatlakların 3 mm'ye kadar genişlemesi şeklinde görülen "hafif hasar" göreceli olarak daha fazla rahatsız edici olmasına rağmen yapıların dayanımını ve yapı elemanlarının yük taşıma kabiliyetlerini etkilemez. Duvarlarda geniş çatlaklar, duvar ve bacalardan taş, tuğla düşmesi sonucu yapıda kalıcı deformasyonlar oluşturan ve yapıyı zayıflatan tek hasar türü ise "esaslı hasar" sınıfıdır.

Bu çalışmanın ilerideki bölümlerinde yapılacak olan irdeleme ve değerlendirmelerde hasar sözcüğü "eşik hasar" anlamında kullanılacaktır.

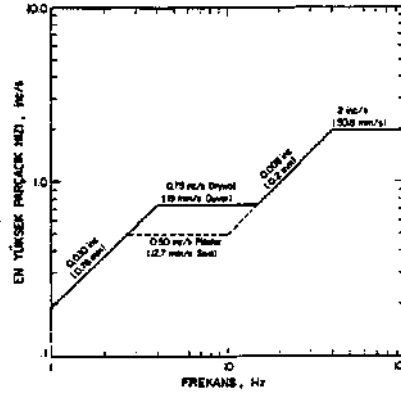
2.2 Konut Tipi Yapılar için Emniyetli Yer Sarsıntısı Düzeyleri

Tablo 1'de konut tipi yapılarda hasar yaratmayacak emniyetli sarsıntı düzeyleri yapı türlerine göre verilmiştir (Siskind vd., 1980). Burada verilen değerler binaların layıkıyla yapılmış temeller üzerine oturduğu, iki kattan daha yüksek olmadığı ve zemindeki dalgaların patlatma kaynaklı ve birkaç saniyeden fazla sürmeyen dalgalar olduğu kabulleri için geçerlidir.

Tablo 1'de verilen sınır değerler A.B.D.'deki yerinde ölçüm ve gözlemlerde eşik hasar olduğu gözlenen düzeylerden daha düşük seçilmiştir. Bu değerler yüzeysel çatlak oluşum olasılığının en fazla

Tablo 1. Emniyetli yer sarsıntısı düzeyleri.

Yapı Türü	Yer sarsıntısı en yüksek parçacık hızı (mm/s)	
	Düşük frekans (<40 Hz)	Yüksek frekans (>40 Hz)
Modern Evler	19.0	50.8
Eski Yapılar (Ahşap Elemanlı)	12.7	50.8



Şekil 1. Konut tipi binalarda hasar başlangıcı sınır değerleri (A.B.D. Federal Tüzük, Cilt 48, No.46, 1983).

%5 olabileceğini kabul eder. Diğer bir deyişle yüzeysel çatlak oluşmamasını %95 oranında garanti eder. Buna rağmen frekans değerlerini daha hassas olarak gözeten alternatif bir değerlendirme ölçütü Şekil 1'de verilmiştir.

2.3 Yerinde Ölçüm ve İncelemeler

Yerinde yapılan sarsıntı ölçümleri için cihazlar hem açık araziye (zemine) hem de bazı binalara yerleştirilerek çalışmalar iki bölümde yürütülmüştür. Sarsıntı kayıtları bir noktaya yerleştirilen algılayıcı ile her üç koordinat ekseninde kayıt alınarak yapılmıştır. Bunlar; yanal bileşen (Transverse,T), düşey bileşen (Vertical,V), boyuna bileşen (Longitudinale) olarak adlandırılmaktadır. Yatay düzlemdeki bileşenler (T ve L) yapıların duvar ve iskeletlerinin yatay yöndeki tepkilerini kontrol ederken (yapıların taşıyıcı elemanlarına kesmesine yükler verirken), düşey bileşen (V) tavan ve tabanların düşey yöndeki tepkilerini gösterirler. Koşullara göre her bileşen ayrı yorumlanabileceği gibi vektörel bileşke de yorumlanabilmektedir. Her bileşende ölçülen sarsıntı hız (PPV) değerinin büyüklükleri ve oluşum zamanları farklı gerçekleştiği için, hangisinin daha önemli olduğuna karar vermek zordur. Mutlak biçimde, en büyük yer hareketi ve yapıda yaratılan en yüksek birim deformasyon bu üç bileşenin vektörel bileşkesi olup, bileşkelere herhangibiri en yüksek değere ulaştığında oluşur. Vektörel bileşke (peak vector sum)

$$PVS = \sqrt{I^2 + V^2 + L^2}$$

(D)

formülü ile verilmektedir. Doğaldır ki bu en yüksek gerçek bileşke, her üç bileşenin ayrı ayrı en büyük olduğu değerlerin alınmasıyla hesaplanan en yüksek yalancı bileşkeden küçüktür (Dowding, 1985). Bu çalışmada en yüksek parçacık hızı (PPV) değerlerinin yorumlanmasında en büyük gerçek bileşke esas alınmıştır.

2.4 Arazide İstasyonların Seçilmesi

Cihazların araziye yerleştirilerek sarsıntı kaydı alınmasında, arazi (sarsıntı iletim ve sönüm) katsayılarını bulmak ve olur ise faylardan veya mühendislik özellikleri çok farklı formasyonlardan kaynaklanan değişim veya artışları saptamak amaçlanmıştır. İkinci amaç ise kendi kayıtlarımızı, A.B.D'de açık arazide alınan kayıtlar ve gerçekleşmiş olan hasar durumları dikkate alınarak saptanmış bulunan A.B.D. hasar ölçütlerine göre yorumlamaktır.

2.5 Binalarda İstasyonların Seçilmesi

İlk aşamadaki patlatmalarda, Çan Linyit işletmesindeki patlatma uygulamalarına müdahale edilmemiştir. Bu patlatmalarda Kaleseramik'e yakın Çan-2 panosunda bir seferde 75 kg veya en çok 100 kg patlayıcı infilak ettirilmekte iken, ikinci aşamada bir seferde ateşlenen miktar bilinçli olarak 200 kg'a çıkartılmıştır. Buradaki amaç, endişe yaratacak düzeyde sarsıntı yaratacak birkaç patlatma yapmak ve bunların kayıtlarını almaktır. İnsanları endişelendiren sarsıntı düzeyleri Kaleseramik tesis ve ekipmanlarına hasar verebilecek düzeye yakın ölçülürse ÇLİ yetkililerini uyarmak, tersine hasar sınırlarının oldukça altında değerler alınırsa Kaleseramik yetkilerini aydınlatmak hedeflenmiştir. Bu nedenle ölçümlerin bazı binalarda da yapılması amaçlanmıştır. Bu binalar Kaleseramik Etüd Proje Grup Müdürlüğü binası, 8 nolu seramik fabrikası, doğalgaz çevrim santrali, ÇLİ Bölge Müdürlüğü binası ve Cumhuriyet Mahallesi'nde 2 katlı yağma tuğla bir evdir.

Sözü edilen binaların hem yanında (zeminde) hem 2. veya 3. katlarında aynı zamanda kayıtlar alınarak, yersarsıntısının binaya iletilmesi, binanın rezonansa girip girmediği, giriyor ise genlik (şiddet) büyütme faktörü saptanmaya çalışılmıştır.

2.6 Ölçüm Cihazları ve Tekniği

Üç adet 4 kanallı INSTANTEL Minimate, bir adet 8 kanallı INSTANTEL Blastmate III cihazı kullanılmıştır. Blastmate III cihazının sekiz kanallı olması iki ayrı algılayıcı kullanılarak aynı anda iki ayrı noktadan kayıt alınmasını sağlamıştır. Dolayısı ile bir patlatma aynı anda en az üç ayrı noktadan ölçülebilmektedir. Bu durum arazi (sarsıntı iletim ve sönüm) katsayılarının çıkartılmasında kolaylık sağlamıştır.

Ölçülen esas parametre en yüksek parçacık hızı (PPV) olup tablolarla milimetre/saniye (mm/s) cinsinden verilmiştir. Doğalgaz türbünü için önemli olduğundan bazı ölçümlerde hız yanısıra ivme (mm/sn²) ölçümleri de yapılmıştır.

2.7 Yerinde İncelemeler

Yerinde inceleme çalışmaları, ocaktaki formasyonları ve Kaleseramik tesisleri ile yakındaki konutların üzerine inşa edildikleri zeminleri incelemek ve yapılarıdaki çatlakları etüd etmek, ayrıca ocakta" uygulanan patlatma yöntemini incelemek üzere iki yönlü yapılmıştır. Araştırmanın esas amacı durum tespiti olduğu için ocakta uygulanan patlatma düzenlerine tarafımızdan hiçbir müdahale yapılmamıştır. Sadece incelemek ve cihaz kullanarak kayıt almak şeklinde yürütülmüştür.

Kaleseramik tesislerinin bir kısmının dolgu zemin üzerine inşa edildiği, İşletme Müdürlüğüne yakın Cumhuriyet mahallesindeki konutların ise alüvyon zemin üzerinde buldukları görülmüştür

3. SARSINTI ÖLÇER CİHAZ ÇIKTILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Sarsıntı Ölçüm Çıktılarının Ön Değerlendirilmesi

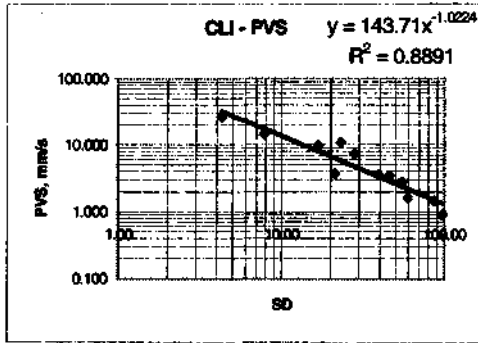
Hem Çan Linyit İşletmesi Bölge Müdürlüğü (ÇLİ) Binası ve Cumhuriyet Mahallesi yönünde hem de Seramik Fabrikası yönünde sarsıntı ölçümleri yapılmıştır. Her iki yönde yanal, düşey, boyuna ve en yüksek vektörel bileşke (PVS) eksenlerinde maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkileri ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 2 ve 3).

Şekil 2 ve 3'de; PVS en yüksek parçacık hızı (mm/s) ve SD ölçekli mesafedir (m/kg^{1/2}). En

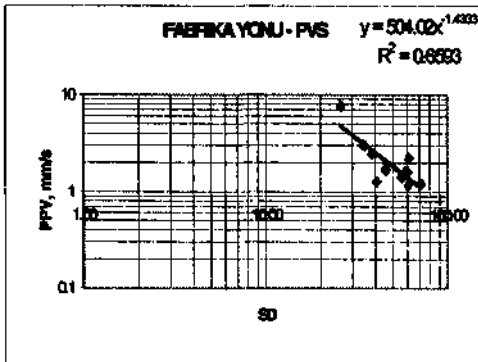
yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkisi aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir:

$$PPV = k \left(\frac{R}{Q^{1/2}} \right)^{-\beta} \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte; PPV en yüksek parçacık hızı (mm/s), R ölçüm noktasının veya söz konusu binanın patlatma yerinden olan uzaklığı (m), Q her gecikmede devreye giren patlayıcı madde miktarı (kg), k ve β sarsıntı iletim ve sönümlenme katsayılarıdır.



Şekil 2. ÇLİ Bölge Müdürlüğü Binası ve Cumhuriyet Mahallesi yönünde en yüksek vektörel bileşke hızı ve ölçekli mesafe ilişkisi (Bilgin vd., 1998).



Şekil 3. Seramik Fabrikası yönünde en yüksek vektörel bileşke hızı ve ölçekli mesafe ilişkisi (Bilgin vd., 1998).

Ölçüm sonuçları incelendiğinde ocak sınırları dışında kaydedilmiş değerlerin USBM ve OSMRE ölçütlerine tümüyle uyduğu ve binalarda hasar oluşturmadığı görülmüştür. Ancak şikayetlerin devam etmesi nedeniyle sadece ham verilerin değerlendirilmesi ile yetinilmemesi gerektiği kanısına varılmıştır.

Şikayetlerin sürmesinin nedeni açık kömür işletmelerinde mevcut örtü kayalarının özellikleri sonucu, basamak patlatmasından kaynaklanan dalgaların frekansının düşük olmasıdır. Düşük frekanslı dalgalara hem insanlar hem de binalar daha fazla tepki verirler. Özellikle insanların yer sarsıntısına binalara göre yaklaşık 10 kat daha duyarlı oldukları (Dowding, 1992) hatırlandığında, insani tepkileri anlamak kolaylaşır. Genellikle 1,2 veya 3 katlı olan konut tipi binaların doğal frekanslarının sırasıyla 10, 5 ve 3 Hz civarında olduğu hatırlandığında binaların düşük frekanslı dalgalara daha duyarlı oldukları ve bu durum hasar olasılığını arttırdığı görülür.

3.2 Frekans, Göreceli Genlik Değeri Ve Büyültme Faktörünün Belirlenmesi

Yukarıda açıklanan nedenle söz konusu binayı uyaran (zemindeki) dalgaların etkin (hakim) frekansları ve göreceli genlikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. ÇLİ Bölge Müdürlüğü Binası ve Cumhuriyet Mahallesi yönünde uyarıcı dalga etkin frekanslarının boyuna ve yanal bileşenlerde 2.75 Hz - 4.375 Hz aralığında, düşey bileşende ise 4.875 Hz - 16.875 Hz aralığında değiştiği görülmüştür. Kale Seramik yönünde ise her üç bileşen için uyarıcı dalga frekanslarının 1.875 Hz - 3.75 Hz aralığında olduğu anlaşılmıştır (Bilgin vd., 1998). Duvarların daha çok 15-20 Hz frekans aralığına, bina iskeletinin (kolon ve kirişlerin) ise 5-10 Hz aralığına daha duyarlı olduğu (Dowding, 1992) hatırlandığında konunun hassasiyeti ve önemi anlaşılır.

Zeminden gelen uyarıcı dalganın frekansı, binanın doğal frekansına eşit veya ondan biraz daha büyük olduğunda bina rezonansa girer ve uyarıcı dalga altından geçip gittiği halde bina kendi kendine sarsılmaya devam eder. Zemindeki uyarıcı dalganın genliği (şiddeti) düşük ise bina uyarıcı dalga tarafından hasarlanmaz. Ancak bina kendi kendine sarsılırken daha yüksek genliğe (şiddete) maruz kalabilir ve bina bu nedenle hasarlanabilir. Diğer bir deyişle yer sarsıntısı binaya iletildiğinde genlik artışı olabilir. Buna büyültme (amplification)

denilmektedir. Böyle bir durumun olup olmadığı da araştırılmış ve sonuçları Tablo 2 ve 3'de sunulmuştur (Bilgin vd., 1998).

Ayrıntılı analizler 16.03.1998 günlü atımın yanal ve boyuna bileşenlerinin ÇLİ Bölge Binasını, 19.03.1998 günlü atımların tüm bileşenlerinin İsmet Yurtseven'in evini 17.03.1998 günkü atımın Kaleseramik ARGE (Etüd-Proje) binasını rezonansa soktuğunu göstermiştir. Memnuniyetle belirtelim ki binaların maruz kaldığı sarsıntı genliği (şiddeti) düşük olduğundan ne evlerde, ne Bölge Binasında ne de Kaleseramik tesislerinde bu güne kadar patlatmadan kaynaklanan hiç bir hasar oluşmamıştır.

Ancak rezonans durumu düşük genlik sebebiyle binalarda hasar yaratmasa bile bina kendi kendine uzun bir süre (örneğin 3 - 5 saniye) salındığı için içindeki insanları tedirgin etmiştir. Taban döşemesi ve duvarların 5-25 Hz aralığındaki titreşimlerini bina içindeki insanlar hissederek (Siskind vd., 1976).

Tablo 2 ÇLİ Bölge Binası ve İsmet Yurtseven'in evine yer sarsıntısının iletimini göstermektedir. ÇLİ Bölge Binası zemindeki dalganın genliğini en yüksek vektörel bileşkede 3.08 kat büyümüş (artmış) olarak hissetmektedir. Düşey bileşende genlik büyümesi ise 3.26 kat olmaktadır.

İsmet Yurtseven'in evi ise yer sarsıntısını yanal bileşende 1.37, boyuna bileşende 1.63 kat büyümüş olarak hissederken düşey bileşende daha düşük hissetmektedir. Bu durum Siskind vd. (1993)'nin gözlemi ile uyum içinde olup zemin ile binanın yapım özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde Kaleseramik ARGE Binasının düşey bileşeni daha düşük, yanal ve boyuna bileşenleri ise artmış (büyümüş) olarak hissettiği, en yüksek vektörel bileşkede büyüme faktörünün 1.33 olduğu anlaşılmaktadır.

3.3 Sarsıntı Ölçer Cihaz Çıktılarının Ayrıntılı Değerlendirilmesi

Açık kömür işletmelerinde mevcut örtü kayalarının özellikleri sonucu, buralarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntısı dalga formlarının tipik karakteri düşük frekanslı ve büyük genlikli olmalarıdır. Ayrıca arazinin yapısal jeolojisi de (fay, dokanak yüzeyi, tabakalanma, eski heyelan yüzeyleri vb.) sarsıntı ölçer cihazların kaydettiği

dalga formlarında etkiler yapmaktadır ve bu etkiler değerlendirilmelidir. Sarsıntı kayıtları dalga formları dikkate alınmadan olduğu gibi (ham olarak) değerlendirildiğinde arazi (iletim ve sönümlenme) katsayıları doğru bir şekilde belirlenmemektedir (Erkoç ve Esen, 1998; Bilgin vd., 1998).

Patlatma ile oluşan dalga formları incelendiğinde, ölçüm noktasına ilk önce P ve S dalgalarının ulaştığı görülmektedir. P ve S dalgaları genelde kaya yapısının derinliklerine kadar nüfuz etmeleri ile "gövde dalgalan" olarak isimlendirilmektedirler. Ancak kaya yapılarında kaçınılmaz olarak bulunan süreksizlik yüzeylerinde, çökelti katmanları yüzeylerinde veya kaya-toprak örtüsü kontaklarında yansıma ve kırılmaya bağlı olarak değişik dalga formları oluşmaktadır. Bunlara "yüzey dalgalan" (Rayleigh, Love dalgaları) ismi verilmektedir (Siskind vd., 1989).

Yüzey dalga formlarının temel benzerlikleri, kaya yapısında bulunan yüzeylerde polarizasyon ile oluşmaları, düşük frekanslı olmaları, düşük yayılma hızı nedeni ile ölçüm noktalarına P ve S dalgalarından sonra ulaşmalarıdır. Ancak bu dalgaların genlikleri büyük olduğundan ve yavaş sönümlendiklerinden hasar riskini arttırmaktadırlar.

Bölge Binası ve Cumhuriyet Mahallesi yönü için ham verilerle yapılan regresyon analizinde bulunan eşitliklerin korelasyon katsayıları yanal, düşey, boyuna ve en yüksek bileşke eksenlerinde sırasıyla 0.8471, 0.8350, 0.9080 ve 0.8891 olup iyi olduğu söylenebilir. Ancak Seramik Fabrikası yönü için ham verilerle bulunan eşitliklerin korelasyon katsayıları yanal, düşey, boyuna ve en yüksek bileşke eksenlerinde sırasıyla 0.4461, 0.3902, 0.7222 ve 0.6593 olup düşük görülmüştür (Bilgin vd., 1998). Korelasyon katsayılarının düşük çıkmasından dolayı, yüzey (artçıl) dalgalarının var olup olmadıklarının araştırılmasına ve ayrıntılı analizler ve filtreleme yapılmasına karar verilmiştir.

Dalga formları Fast Fourier Transform (FFT) tekniği ile incelenmiş, frekans bazlı histogramlar elde edilmiş ve dalgaların etkin frekansları belirlenmiştir. Bu yolla yansıma ile oluşan düşük frekanslı yüzey dalgalarının varlığı saptanmıştır. Aynı zamanda belirli bir frekans bandında bulunan dalgalann enerji düzeyleri de tespit edilmiştir. Ayrıca bilgisayar programı kullanılarak dalga formları yanal, düşey, boyuna ve en yüksek vektörel bileşke eksenlerinde filtrelenmiştir. Bu işlemler sonunda yeniden yapılan regresyon analizinde korelasyon

Tablo 2. ÇLİ Bölge Müdürlüğü binası ve Cumhuriyet Mahallesi yönünde yapılan ikinci aşama ölçümlerde yer sarsıntısının binaya iletiminin incelenmesi çalışmasında büyütme faktörünün belirlenmesi (Bilgin vd., 1998).

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	Ölçülen Parametre	Yanal Bileşen	Düşey Bileşen	Boyuna Bileşen	En Yüksek Bileşke	Yanal Bileşende Büyütme Faktörü	Düşey Bileşende Büyütme Faktörü	Boyuna Bileşende Büyütme Faktörü	En Yüksek Bileşkede Büyütme Faktörü
16.03.1998	ÇLİ zemin	PPV,mm/s	0.762	1.400	1.140	1.490	1.16	3.26	1.78	3.08
16.03.1998	ÇLİ 2kat	PPV,mm/s	0.889	4.570	2.030	4.590				
19.03.1998	Cum. Mah. Zemin	PPV,mm/s	1.020	2.670	1.270	2.800	1.37	0.95	1.60	0.92
19.03.1998	Cum. Mah. 2.kat	PPV,mm/s	1.400	2.540	2.030	2.570				
19.03.1998	Cum. Mah. Zemin	PPV,mm/s	1.140	3.170	1.400	3.440	1.23	0.88	1.63	0.81
19.03.1998	Cum. Mah. 2.kat	PPV,mm/s	1.400	2.790	2.290	2.810				

Tablo 3. Seramik Fabrikası yönünde yapılan ikinci aşama ölçümlerde yer sarsıntısının binaya iletiminin incelenmesi çalışmasında büyütme faktörünün belirlenmesi (Bilgin vd., 1998).

Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yeri	Ölçülen Parametre	Yanal Bileşen	Düşey Bileşen	Boyuna Bileşen	En Yüksek Bileşke	Yanal Bileşende Büyütme Faktörü	Düşey Bileşende Büyütme Faktörü	Boyuna Bileşende Büyütme Faktörü	En Yüksek Bileşkede Büyütme Faktörü
17.03.1998	Etüd proje binası zemin	PPV,mm/s	2.160	1.400	1.780	2.200	1.24	0.81	1.57	1.33
17.03.1998	Etüd proje binası 2.kat	PPV,mm/s	2.670	1.140	2.790	2.940				
17.03.1998	Etüd proje binası zemin	PPV,mm/s	1.400	1.520	1.020	1.610	1.27	0.67	1.62	1.22
17.03.1998	Etüd proje binası 2 kat	PPV,mm/s	1.780	1.020	1.650	1.960				

katsayıları en yüksek vektörel bileşke için Bölge Binası - Cumhuriyet Mahallesi ve Seramik Fabrikası yönlerinde sırasıyla 0.9133 ve 0.9327 olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayılarındaki artış Bölge Binası ve Cumhuriyet Mahallesi yönünde %2.7 Seramik Fabrikası yönünde ise %41.4'tür.

Ek çalışmalar sonuçların güvenilirliğini büyük oranda arttırmış olup, sağlanan iyileşme ve kestirim hassasiyetindeki artış, cihaz çıktılarına olduğu gibi kabul etmek yerine ek analiz çalışmalarının (FFT analizi ve filitreleme) gerekliliğini ve yararını bir kez daha ortaya koymuştur.

İncelenen binaların hiç birinde bundan önceki patlatmalardan kaynaklandığı iddia edilebilecek hiç

bir hasar (eşik hasar-kılcal sıva çatlağı) tespit edilmemiştir. Bu beş bina arasında yapım tekniği, eklentilerle büyütülmüş olması ve bazı duvarların ve pencerelerin tadilatı sonucu sarsıntıların en çok hissedildiği ARGE (Etüd-Proje Grup Müdürlüğü) Binası en kritik bina seçilmiştir. Burada geçen kritik deyimli sarsıntılara binanın tepkisi (hasar) açısından değil, binadaki insanların tepkisi bakımından anlam taşımaktadır. Kömür ocağına en yakın tesis olan 8 no. lu fabrika dahil hiç bir binaya hasar vermeyecek, kılcal sıva çatlağı dahi yaratmayacak ve ARGE Binasındaki kişiler için kabul edilebilir insani tepkiler doğuracak patlayıcı miktarının tespiti yapılmış ve nihai raporda verilmiştir (Bilgin vd., 1998).

4. SONUÇ

Çan Linyit İşletmesinde yapılan patlatmalar bu güne değin hiç bir yapısal hasar meydana getirmemiştir. Kişilerin tepkileri tamamen dalga frekanslarının düşük frekansından ve atıçıl dalgalardan kaynaklanmaktadır. Kişiler bu tür dalgaların genliği 3-4 mm/s'ye ulaştığında bunları hissetmeye başlamakta bazen de binaların rezonansa girmesi nedeniyle endişe duymaktadırlar. Oysaki belirlenen frekans değerlerinde hiç bir ölçümde genlik 12.5 mm/s' ye (0.5 inç/saniye) ulaşmadığından binaların boya veya sıvalarında kılcal çatlak dahi oluşmaması olanaklı değildir. Ancak kişiler bu konuda bilgi yetersizliği nedeniyle endişeye kapılmaktadırlar. Önerilen patlayıcı miktarlarına uyulduğu takdirde, bundan sonra da binalarda hasar oluşması mümkün değildir.

Kömür ocaklarında yapılan patlatmalar, formasyonların özellikleri nedeni ile genellikle düşük frekanslı yüzey dalgaları yaratmaktadırlar. Bu tür yerlerde yapılan ölçüm sonuçları mutlaka FFT analizi ve filtreleme yoluyla ayrıntılı olarak incelenmelidir. Sadece ham verilere dayanarak hız-ölçekli mesafe grafiği çizmek ve buna göre patlayıcı miktarı, patlatma ve ateşleme düzeni önermek güvenilir değildir.

Büyütme faktörü ÇLİ Bölge Binası için bileşke hızda 3.08, düşey bileşende 3.26 dır. Diğer bir deyişle bu binada kılcal sıva çatlağı meydana gelmemesi için zeminde yolalan 4-15 Hz frekansa sahip bir dalganın en yüksek hız değerinin $12.7/3.26=3.9$ mm/s olması gerekir. 3.9 mm/s den yüksek zemin titreşim hızları bu binada eşik hasar (kılcal sıva çatlağı) oluşmasına yol açacaktır.

Hem özgün (patlatmanın yarattığı) hem de atıçıl dalgaların frekanslarının düşük olması sebebiyle dalga frekansının binaların özyapısal frekanslarına eşit veya ondan biraz büyük olmaları halinde binalar rezonansa girmektedirler. Rezonans durumu, sözkonusu olduğundan, bina yerden gelen sarsıntıdan daha büyük genlikli bir titreşime maruz kalmakta ve binada bulunan kişiler endişe, korku ve kızgınlık duymaktadırlar. Konunun uzmanı da olmadıklarından bilgi yetersizliği nedeniyle binalarında hasar meydana gelecek endişesine kapılmaktadırlar. Özellikle insanların yer sarsıntısına, binalara göre yaklaşık 5-10 kat daha duyarlı oldukları hatırlandığında insani tepkileri anlamak kolaydır.

Patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısını tümüyle önleyecek bir teknik bulunmamakla birlikte bunu kabul edilebilecek düzeylere indirmek mümkündür. Bu nedenle binalarda "eşik hasar" yaratmayacak ve insani tepkileri giderecek, makul (kabul edilebilir) yersarsıntısı düzeyleri oluşturacak patlatma tasarımları yapılmış ve işletme yetkililerine önerilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu araştırma projesini destekleyen ve daha önce de gerçekleştirmiş bulunduğu maden sahalarının yeniden ağaçlandırılması, antik eserlerin korunması ve araştırılması gibi etkinlikleriyle çevreye saygılı madencilik konusunda kararlılığını göstermiş ve önderlik etmiş olan T.K.İ. Genel Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç biliriz.

6. KAYNAKLAR

- Bilgin, H.A., Esen, S. ve Kılıç, M. 1998. *TKİ Çan Linyit İşletmesinde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi İçin Araştırma*, Proje kod no: 97-03-05-01-08, ODTÜ, Ankara, 100 sayfa.
- Dowding, C.H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*. Prentice-Hall. 297 pages.
- Dowding, C.H. 1992. *Monitoring and Control of Blast Effects*. SME Mining Engineering Handbook. 746-760.
- Erkoç, Ö.Y. ve Esen, S. 1998. *Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Ölçülmesi ve Sarsıntı Ölçer Cihaz Çıktılarının Değerlendirilmesi* .3. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, s. 139-147. 1998.
- Siskind, D.E. et al. 1976. *Noise and Vibrations in Residential Structures From Quarry Production Blasting*. RI 8168. Bureau of Mines. 17 pages.
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H. 1980. *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting*. RI 8507. Bureau of Mines. 74 pages.
- Siskind, D.E., Crum, S.V., Otterness, R.E., Kopp, J.W. 1989. *Comparative Study of Blasting Vibrations From Indiana Surface Coal Mines*. RI 9226. Bureau of Mines. 41 pages.
- Siskind, D.E., Crum, S.V., Plis, M.N. 1993. *Blast Vibrations and Other Potential Causes of Damage in Homes Near a Large Surface Coal Mine in Indiana*. RI 9455. Bureau of Mines. 62 pages.