

PATLATMA SONUCU OLUŞAN YER SARSINTILARININ KONTROL YÖNTEMLERİ VE STANDARTLARI

CONTROL PRINCIPLES AND STANDARTS OF BLAST-INDUCED GROUND VIBRATIONS

JXMAMUREKLi

H.Ü Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe-Ankara

ÖZET : Patlatma sonucu oluşan yer sarsıntılarının kontrolü, bilhassa üretim taleplerine eşdeğer olarak açıkocaklarda sürekli artan miktarlarda patlayıcıların kullanılmasıyla çevre üzerindeki etkilerinin yeniden gözden geçirilmesi bakımından, daha da önem taşımaktadır. Özellikle nüfus yoğunluğunun daha fazla olduğu bölgelerde yer alan işletmelerde, bu sürekli rahatsızlık veren sarsıntılar nedeniyle artan şikayetlerin, aynı işletme bölgeleri civarında artan şehirleşmeye paralel olarak daha da çoğalması beklenilmektedir.

Bu yazıda, global bir titreşim tanımlayıcısı olarak kabul edilen Enytksek Tanecik Titreşim Hızının çeşitli analitik ve deneysel ifadeleri ile birlikte, ileri endüstriyel ülkeler bazında verilen standartizasyonları açıklanmaya çalışılacaktır. Bununla birlikte, sarsıntı sonucu oluşabilecek hasar ve/veya sürekli rahatsızlıkların kontrol altına alınması amacıyla, bazı ülkelerin yürürlükteki yönetmelikleri incelenmektedir.

ABSTRACT : The control of blast-induced ground vibrations become increasingly important in environmental impact assessment with the higher consumption of explosives parallel to the productional needs in open-pit mines. Complains against continual disturbance of blast-induced ground vibrations should be expected to increase even more corresponding to the expansion of urbanisation around the open-pit mines.

In this paper, globally accepted vibration unit of Peak Particle Velocity, with different analytical and empirical definitions and regulated standardisations in some of the industrial countries are explained. Besides, the Regulations Act in some of the countries in order to keep vibration outcome under control, due to any blast-induced damage and/or annoyance, is investigated.

1 GİRİŞ

Madencilik, inşaat ve taşacakları gibi endüstrilerde patlayıcıların değişik nedenlerle gittikçe artan bir şekilde kullanılması önemli çevresel sorunları da beraberinde getirmekte olup bunlardan bir tanesi de Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarıdır (PKYS). Zamanımızda, özellikle kayaç kazımında maliyet etkisinin önemli olduğu açıkocak madenciliğinin artışıyla eşzamanlı, çevre üzerinde rahatsız ve/veya tahrip edici etkisi olan, yer sarsıntıları da önemli ölçüde artışlar göstermektedir. Rahatsız edici sarsıntılara karşı olan şikayetlerin patlatma yapılan saha çevresindeki bilhassa metropol şehirlerde görülen artan yapılaşma ile doğrudan ilgisi olup sorumluları daha sıkı tedbirler almaya zorlamaktadır. Hatta patlatma işlemleri kurallar dahilinde geliştirilse bile, patlatma işlemlerinin

sıklığı ve sürekliliği ile şikayetler hala sürebilmektedir (Meticaris, 1979 ve Siskind, 1980).

Birçok ülkede Yerel Planlama Daireleri açıkocak madenciliğinin, yer sarsıntıları da dahil olmak üzere, bütün çevresel zararlı etkilerini, gbzönüne almaktadır. Problemin önemi ve karmaşıklığı hasar veya sürekli rahatsızlıklar için yapılan şikayetlerin mahkemelerde gittikçe daha fazla artan davalara neden olmasındadır. Yürürlükteki PKYS run izin verilen ölçütler içindeki tedirgin edici değerleri çeşitli gelişmiş ülkeler bazında değişmektedir,

Hali hazırda, PKYS için küresel olarak kabul edilen en uygun tanımlayıcı ölçüt En Yüksek Tanecik Hızı (EYTH) olarak verilmektedir. EYTH bir grup dalganın geçişi esnasında herhangi bir yönde titreşim veya salınım gösteren ortam-kayaç taneciklerinin hızı olarak tanımlanabilir,

PKYS büyüklük derecelerini tahmin eden çeşitli ampirik formüller ve analitik modeller vardır.

Ampirik formüller belli bir bölge için yapılan yerinde patlatma testlerine dayanır ve alınan sismik EYTH ların logaritmik olarak patlayıcı miktarının patlama kaynağından olan uzaklığa oranı olacak şekilde işaretlenir. İşaretlenen bu noktaların ki yapılan deney sayısı kadardır en büyük güvenirliliği verecek şekilde regresyon doğrusu çizilir. İşte bu doğru yalnız o bölgeye ait olmak üzere çeşitli uzaklık-patlayıcı miktarları için sismik ölçütleri veren istatistiksel bir doğru olarak kabul edilir. Böyle bir bölgesel doğrunun belirlenmesi için kabul edileceği gibi ışınsal olarak çok sayıda patlatma verilerine gerek vardır ve bu ön fizibilite çalışması oldukça pahalıya gelmektedir. Analitik tahmin modellerinin güvenirlilik aralıkları ampirik yaklaşımlara göre daha düşük, patlatma tasarımı ile ortam kayaç değişkenlerini kullanarak geliştirilmişlerdir ve genellikle patlatma alanının yakın çevresi için doğru sayılabilecek yaklaşımlarda bulunurlar.

Çevrenin korunması amacıyla geliştirilmiş güvenirlilik aralıklarının belirtilmesinde esas amaç yakın çevredeki yerleşim bölgelerinde bulunan binalara hasar vermemek olmasına rağmen aynı çevrede yaşayan ve hasara yol açmayacak sarsıntı şiddetinin bile çok altlarında duyarlılığa sahip kişilerin tedirginliği de ülkeler bazında alt titreşim sınırlamalarının verilmesinde önemli güçlükler ve farklılıklar yaratmaktadır.

2 EYTH ÇÖZÜMLEYİCİLERİ

Patlatma yer sarsıntılarının meydana gelişi ve yayılımı maden mühendislerinin uzun zamandır ilgisini çekmektedir. Belkide bu alandaki ilk ölçümler Rockwell tarafından 1919 da yapılmış olup ileri yıllarda da sürekli yayılma göstermiştir.

Şu ana kadar geliştirilen titreşim yaklaşım modelleri teknikleri 2 ana grupta toplanabilir:

- ® Gerçek zamanlı yerinde yapılan deneysel uygulamalar ve bulgularla elde edilen istatistiksel çözümleyicilerle doğrudan etki mesafesine indirgenmeli,
- ® Yayılım ortamındaki kayaç yapı özellikleri, patlatma değişkenleri dikkate alınarak geliştirilen ileri veya geriye dönük yaklaşımlardır.

Birinci grupta saha ve patlatma etkilerini çeren değişkenleri üretim öncesi sahada yapılan patlatma deneylerinden elde edilen bulguların istatistiksel değerlendirmeleri ile belirleriz. Bu değişkenler ölçmenin yapıldığı belirli bir bölgeyi içerdiğinden başka yörelerdeki aynı tip uygulamalar için kullanılmaları hatalı sonuçlar verecektir. Bu değişkenlerin belirlenmesi uygulama yapılan

sahanın jeomorfolojik özelliklerine de bağlı olarak çok sayıda patlatma deneyi gerektirebilir. Bu nedenle ortaya çıkarılan çözümleyicinin daha gerçekçi değerler vermesine rağmen böyle bir uygulamanın oldukça pahalı ve zaman alıcı olduğu açıktır.

İkinci grupta yer alan modelleme metodlarında ise patlatma değişkenleri ile doğrudan ilgili bir analitik metod geliştirilir ve verilen bir sahada daha önceden elde edilen sismik değerler kontrol edilir veya patlayıcı ve yöresel değişken bulguları genel bir sinus dalga eşitliği şeklinde verilebilir.

2.1 Mesafe Ölçekli Çözümleyiciler

Sismik dalga büyüklüğünün atım yapılan şarj miktarı ile patlatma kaynağından olan uzaklığa bağlı olarak değiştiği o bölgeye ait deneysel bulgulara dayanan istatistiksel çözümleyicilerdir. Patlamanın başlatılan noktadan itibaren, eğer patlayıcı maddenin yerleştiği tüm alanda homojen olduğu düşünülürse, ışınsal olarak yanma reaksiyonu göstermesi bekleneneğinden patlatma kaynağından olan uzaklığın şarj miktarının küp köküne oranlanması mantıklı olmaktadır. Bu nedenle geliştirilen mesafe ölçekli analitik eşitlik (1), patlatma tasarımı, ortam kayaç değişkenlerini ve bölgesel özelliklerin etkisini de dikkate alarak En Yüksek Tanecik Hızını (cm/sn) vermektedir.

$$EYTH = K \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-n} \quad (1)$$

Diğer taraftan madencilik ve yapı sektöründe patlatma için kullanılan delikler çoğunlukla silindirik bir yapıya sahiptir. Bu durumda, hacim oluşturulabilecek bir artış çapın karesi ile doğru orantılı olacağından patlatma geometrisinin de küresel(ışınsal) bir durumdan silindirik bir yayılım durumuna dönüşeceği ve mesafe ölçeğinin bu defa ölçme mesafesinin şarj yükünün karekökü ile orantılı olacağı kabul edilebilir.

$$EYTH = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-n} \quad (2)$$

Burada; D= Patlama ile kayıt noktaları arasındaki uzaklık (m); W= Gecikme başına aktive edilen şarj (kg); D/WÖ-5_ Mesafe ölçeği; K ve n = Sırasıyla, enerji iletim ve bölge jeolojisi sabitleridir (Taqieddin, 1986). Yapılan bir çok deneyden elde

edilen sonuçlara göre patlatma noktasından uzaklaştıkça karekök ile verilen ifadeden ziyade küpkök ile verilen ifadeye doğru bir yaklaşım olmaktadır. Bu durum yüzey dalgalarının fiziksel özelliklerinin değişimi ile (frekans azalması ile genlik büyümesi) yani belli bir değişim durumundan itibaren daha az enerji kaybı ile daha fazla mesafe kazanacağı şeklinde açıklanabilir.

Birden fazla patlatma deliklerinin söz konusu olduğu durumlarda, birbirinden yeterince gecikme verilerek ayrılmış eş zamanlı patlatma delikleri alınır. Uygulanan gecikmelerde her bir eş zamanlı grup için oluşan yüzey dalgalarının ileriki mesafelerde birbirlerine kanşmayacak şekilde olmalarına dikkat edilmelidir. Gecikmeler arası zaman hiçbir şekilde 9 milisaniyenin altına inemez. Fakat bu değer çevre kayaçların elastoplastik özelliklerinin artması ile birlikte arttığı deneysel olarak bulunmuştur (Siskind, 1990). Burada gözönüne alınması gereken önemli bir durum milisaniye cinsinden verilen bu gecikmelerin ortam kayaç özelliklerine bağlı olarak değişebileceğidir.

K ve n değerleri uygulanacak patlatma şekli ve uygulanan bölgenin özelliklerine göre değişimler gösterir, yani uygulama ve bölge özelliğidir. Bu değerler patlatma yapılan bölgenin etrafında bütün yönlerde titreşim ölçüm cihazları yardımıyla (sismograf) kaydedilen EYTH değerleri ile bulunabilir. Elde edilen EYTH değerlerinin mesafe ölçeğine karşın gösterimi log-log ölçekte yerleştirilmiş bir grafik üzerinde yapılır.

Grafik üzerinde belirlenen bu deney sayısı kadar noktanın istatistiksel analizi yapılarak regrasyon doğrusu çizilir. Bu regrasyon doğrusunu meydana getiren eşitlik sabitinin ters logaritması "K" nın değerine eşit olurken doğru eğimide bölge karakteristik kayaç özelliğini veren "n" değişkeninin değeri olacaktır. Elde edilen regrasyon doğrusu o bölge için belirli güvenilirlik seviyesinde tahminlerde bulunmak için kullanılabilir. Bu hatlar arasındaki uzaklık yapılan deneylerle ölçümü alınan noktaların dağılımına bağlı olarak değişir. Otomatik gözlemleme sistemlerinin geliştirilmesi büyük ölçüde veri toplanmasını sağlayarak gerekli görülen bölgelerin regrasyon analizlerini ivedi olarak ortaya çıkartmaktadır.

Dalga yayılımı esnasında birçok elastik olmayan etkiler enerji kaybına neden olacaktır. Bu durum yayılım geometrisinden ve dalganın yayılım karakteristiğinden kaynaklanan, dalga genliğinin azalmasına önemli bir katkı oluşturur (Ghosh and Daemen, 1983).

Bu nedenle elastik olmayan sönümlenme katsayısının, ot, da dalga yayılım eşitliklerine ilave edilmesiyle eşitlik aşağıdaki gibi düzeltilebilir.

$$EYTH = K \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-n} e^{-aD} \quad (3)$$

burada a : Sönümlenme katsayısı(m⁻¹) değerleri yukarıda açıklandığı gibidir. Jeolojinin ve patlatma işleminin değişmediği belirli bir bölge için başlangıç EYTH değeri, EYTHo, ve a sabit varsayılırsa, bu değerler ölçümü yapılan titreşimlerin geriye doğru hesaplanmasından elde edilebilir, a salınım bağımlı olduğundan patlama noktasından olan uzaklıkla değişir, yani patlama noktasına yakın bölgelerde çok yüksek olup artan mesafeyle azalır, fakat 1000m den daha büyük mesafelerde değişmez kabul edilir.

Burada belirtilen düzeltilmiş dalga yayılım eşitlikleri dalga frekansını içermediğinden civarda bulunan yapılar üzerindeki sarsıntı seviyelerinin belirlenmesinde tam güvenilir sonuç vermezler. Wiss v.d.,1978; Siskind v.d, 1980 maden işletmelerinde patlatma sonucu oluşan dalga frekanslarının gecikme aralıkları ile ilgili olduğunu tespit etmiştir.

2.2 Analitik Çözümleyiciler

2.2.1 Uyum Spektrumu

Uyum Spektrumu olası bir hasarın tahmini için kullanılan bir diğer analitik yaklaşım yöntemidir. Yapılara verilebilecek en büyük potensiyel zarar gelen dalga salınımının yapı-doğal-frekansı ile uyumlu olduğu zamandır ve bu durum rezonans etkisi meydana getirerek gelen yer titreşim hareketinin artmasına neden olur. Uyum Spektrumu birçok doğal salınımdaki en yüksek uyumları belirten grafiksel bir gösterim olarak açıklanabilir. Arttırıcı etkiye sahip bu tip uyumların doğal salınım aralığı 3-18 Hz arasında değişmektedir.

2.2.2 Otokorelasyon

Otokorelasyon bir gecikme-düzenlemeli sinyal oluşturma tekniği olup yapay sinyalin zamansal sarkıtılması ile orijinal sinyalle uyumluluk durumunu araştırır. Bu işlem önceden kabul edilmiş zaman dilimleri için tekrarlanarak amaca göre en yüksek yada en düşük uyumluluk aranır. Tekrarlanan deneme yöntemi ile elde edilebilecek en yüksek uyumlulukta iki sinyalin birbirine hemen hemeri çakıştığı hal durumunu ifade eder. Öte yandan sinyallerin birbirleriyle en çok uyumlu olmadıkları hal yer titreşim kontrol mekanizması yönünden önem taşıdığından karşılaştırma ile elde

edilen değerlerin en çok olumsuz olduğu gecikme durumları aranır.

2.2.3 Titreşim Haritası Rutini

Titreşim Haritası sahada çeşitli patlatma düzenlemeleri ile sağlanan aynı şekilde gecikme-düzenlemeli sarsıntı kontrol yöntemlerinden birisidir. Teorik her bir patlatma deliğinin eşözellikli dalga şekli yaratabileceği kabul edilirse bu deliklerin lineer olarak bir araya getirilmesi ile beklenen dalga şekline ulaşabilmektedir. En uygun gecikme şeklinin uygulanmasında, her bir deliğin oluşturduğu dalga şekillerinin bir araya getirildiklerindeki etkinin en az olması için birbirlerini en yüksek şekilde bozucu olması istenir.

Tek bir deliğin oluşturduğu sismik dalga şekli patlatma değişkenlerine (patlayıcı cinsi, şarj miktarı, delik boyutu, delikler arası uzaklık, vs.), patlama ile ölçüm noktaları arasındaki dalga hattına ve kullanılan titreşim ölçerin özelliklerine bağlı olacaktır. Patlama ile algılama noktaları arasındaki diğer bütün değişkenler sabit tutulduğunda değişik "bölgelerde kaydedilen titreşimler arasındaki farklılıklar, dinamik durumdayken dalga yayılımındaki meydana gelebilecek değişimler ile açıklanabilir. Rezonans aralığında olan 9-15 Hz. arasındaki salınımları patlatma düzenlemeleri ile daha da arttırılmamalarına dikkat edilmelidir.

Sismik titreşim haritaları düzenlenirken bir atımda kullanılan delik sayısı saptanır. Bu deliklerin birbirleriyle özdeş oldukları kabul edilirse her bir deliğin titreşim spektrumu aynı olacaktır. Bu durumda öncelikle tek bir deliğin gerçek spektrumuna uygun yapay spektrum elde edilir. Daha sonra bir atımdaki bütün deliklerin toplam titreşim şiddeti seçilen tüm salınım değerleri için aynı anda patladığı sıfır gecikmeli halden başlanır ve önceden belirlenen delikler arası eşzaman gecikmesi uygulanarak işlem devam ettirilir. Sonuçta her bir gecikme aralığı için elde edilen çeşitli frekans değerlerindeki şiddetler değişik şiddet aralıkları için değişik renklerle veya sembollerle gösterilir. Böylece ortaya çıkan çeşitli frekanslardaki yapay titreşim büyüklüğü haritasından bilhassa tehlikeli salınım aralıklarında en düşük şiddet veren delik gecikme düzenleri sağlanabilmektedir.

Diğer taraftan, uygulama safhasında, sondaj deliği boyunca oluşabilecek yoğunluk ve yapı değişikliğinin yanısıra yeraltı suyunun patlayıcı madde üzerindeki yoğunluk değiştirici etkileri ortaya çıkan sismik spektrumun üzerinde önemli farklılıklar oluşturabilecektir. Bu durum yukarıda özdeş kabul edilen delik şartlarının değişmesine bunun sonucu olarak da grup spektrumundan sapmalara neden olacaktır.

2.3 Bilgisayar Destekli Çözümleyiciler

Bilgisayar destekli çözümleyiciler eldeki kısıtlı verilere dayanarak geliştirilen, ileriye ve/veya geriye dönük yaklaşım yapabilen model programlardır. Bu programların bazıları patlayıcı madde ağırlıklı verilere dayanarak patlatma alanının hemen çevresi için yaklaşımlar verecek şekilde tasarlanmalarına rağmen (Gupta v.d., 1987) bazıları patlayıcı madde ve delik tasarımının yanısıra bölgenin yapısal özelliklerinin etkisini de ampirik (Barkley v.d., 1984) ve/veya analitik (Mamurekli, 1993) olarak modelleme içersine alıp orta ve uzak mesafelerde daha iyi yaklaşımlar verebilecek şekilde tasarlanmışlardır.

Jeager and Cook (1977) sayısal çözüm için geometrik yayümlü, kayaç içi sönümlenme katsayısı ve dalga şekline bağlı olarak uzaklık değişimini veren aşağıdaki eşitliği önermektedir.

$$EYTH_D = \frac{EYTH_Q}{\sqrt{D}} e^{-\omega D} \sin(\omega t) \quad (4)$$

burada EYTHQ EYTH_D : Sırasıyla ilk oluşum ve ölçüm noktalarındaki EYTH değerleri; CD : Dalga açılma salınımları (s⁻¹); t : Toplam salınım zamanı (s) dir. Eşitlik 4 Un büyüklük değişkenleri a and EYTHo, şarj ağırlığı, jeoloji, ufanma derecesi, ve kayacın dayanım, yoğunluk, elastik özelliklerine göre bölgeden bölgeye değişimler gösterir,

Bu nedenle, bölge şartları ve patlatma denemelerine bağlı olarak salımdaki azalmalar ve yüzey dalgalarının karakteristik özelliklerindeki değişimler ' PKYS nin modellenmesinde önemli problemler oluşturmaktadır.

Burada her bir yaklaşım yöntemi için en önemli problem modelin kuruluşundaki değişkenlerin çok fazla olması nedeniyle bilhassa çözümsel tekniklerin uygulanmasında bazı hal ve durumların değişmez varsayılmasının gerekliliğidir. Sayısal yaklaşım çözümlerinde sapmalara yol açacak bu durum genellikle dalga iletiminin çok karmaşık bir davranış içersinde bulunduğu heterojen ve süreksiz jeolojik yapılarda yayılanından kaynaklanmaktadır.

3. TİTREŞİM DEĞERLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Jeolojik yapılaşmadaki değişiklikler, ateşleme sistemindeki farklılıklar, serbest yüzey sayısı ve kazı yapılan yerin konumu gibi değişimler PKYS değerlerini büyük ölçüde etkileyecektir. Tasarım

değişkenleri üzerindeki çalışmalar aşağıda belirtilen diğer faktörlerin etkilerinin de çok önemli olduğunu göstermektedir (Brook v.d., 1988):

- ® Patlatma başına serbest yüzey sayısını çoğaltmak,
- @ Önceden patlatılmış yığını temizlemek,
- O Delik sıra sayısını en aza indirmek,
- © Mantiğa uygun ateşleme sırası oluşturmaktır.

Diğer taraftan, birçok durumlarda jeolojik şartlar; çatlak sistemleri, kayaç formasyonu bir bölgeden diğerine değişimler gösterebilir.

Son yapılan çalışmalar yapısal olarak en çok zarar veren PKYS lannın 40 Hz altında düşük salınımlı dalgalar olduğunu göstermektedir.

Linehan ve Wiss (1980) titreşim büyüklük değerlerinin gecikme basma şarj ağırlığı ve gecikme zaman aralığı değişkenlerine bağlı olduğunu ve gecikme için 17 ms veya yöreye bağlı olarak daha fazla zaman aralığı gerektiğini belirtmişlerdir. Ateşleme esnasında bir sıradaki delikler arası gecikmelerin ve sıralar arası gevşeme hızının sonuç titreşim dalgası salınımına etkili olduğu bulunmuştur (Anderson v.d., 1982).

Sıkılama uzunluğunun belli bir değere kadar artışı yer titreşim seviyesinde azalmalara (Taqieddin, 1991), ayrıca delik dibinden yapılan bir yemlemenin üstten yapılan bir yemlemeye göre EYTH değerlerini %26-30 oranında azalttığı bulunmuştur (Brinkmann, 1986).

Ayrıca kullanılan patlayıcı maddenin cinsi ve miktan sonuç olarak ufalanma derecesini ve ortaya çıkan titreşim büyüklüğünü etkileyecektir.

Gupta (1961) ve Siskind (1990) genellikle yüzeyde yer alan elasto-plastik yapı tabakaların altında yer alan sert formasyonlarda gelen sismik dalgaların büyük çapta yansımaya uğrayacağını ve yüzeyle sert formasyon arasında hapsedilerek yeterli gecikme zamanı uygulanmadığı takdirde gecikmelerle oluşan salımlann birbirleri ile birleşerek daha büyük genlik ve büyüklükte titreşimler oluşturabileceğini bulmuştur (kılavuz dalga etkisi).

4. GÜVENİNİRLİK SINIRLARI

Güvenirlilik smirlannin belirlenmesinde 2 türlü yaklaşım mümkündür:

4.1 Algılama Sının

Genellikle yer sarsıntılan olası bir hasar tehlikesinden çok daha düşük seviyelerde bina içersindekilere rahatsız edici veya korkutucu gelebilmektedir. Şikayetleri takiben yapılan incelemeler, çoğu kez binalarda çok az hasar kabul

edilebilecek sıva, tavan ve cam çatlamları olduğunu göstermiştir. Bu şikayetler insan vücudunun titreşime son derece duyarlılığının bir göstergesidir. İnsan vücudu bir milyon yani 0.001 mm ye kadar genlikli ve yerçekimi ivmesinin 1/1000 seviyesindeki titreşimleri algılayabilmektedir. Bazı ülkelerin yürürlükteki insan algılama sınırlarını da içeren titreşim limitlerini gösteren şekiller aşağıdaki gibidir.

4.2 Yapısal Hasar Sının

Olası bir yapısal hasarın tesbiti için sarsıntı sonucu oluşan ek gerilmelerin, bina boyut ve tipinin ve binayı oluşturan materyalin doğal salınımının bilinmesi oldukça önemlidir. Hasara yol açabilecek yer sarsıntısının seviyesi bütün yapılar için aynı olmayacaktır. Ayrıca çatlamış veya kalkmış sıva hasar tanımı içinde gösterilmesine rağmen bazı binalar için kabul edilebilir sınırlar içindedir. EYTH değeri yapısal hasarın tahmin edilmesinde basit bir belirleyici olarak kullanılabilir. Bunun nedeni, aynı düzlem içindeki dalgaların elastik teorisine göre (Kolksy, 1963) EYTH doğrudan şekil değiştirme parametresi ile orantılıdır. Yani,

$$\mathbf{EYTH = P_v \epsilon} \quad (4)$$

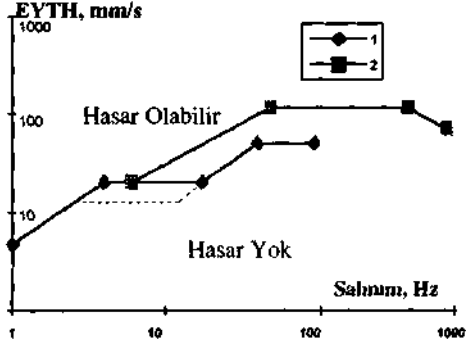
burada P_v : Primer Dalga Hızı, m/s; ϵ : Şekil Değiştirme Faktörüdür. Diğer taraftan, Crandell (1949) basit harmonik hareketin kinetik enerji karakteristiğine dayanan bir eşitlik geliştirmiş olup binalarda oluşabilecek hasar belirlemesini enerji oranına göre yapmıştır.

$$\mathbf{Enerji Oran} = \frac{\mathbf{EYTH^2}}{\mathbf{2353}} \quad (5)$$

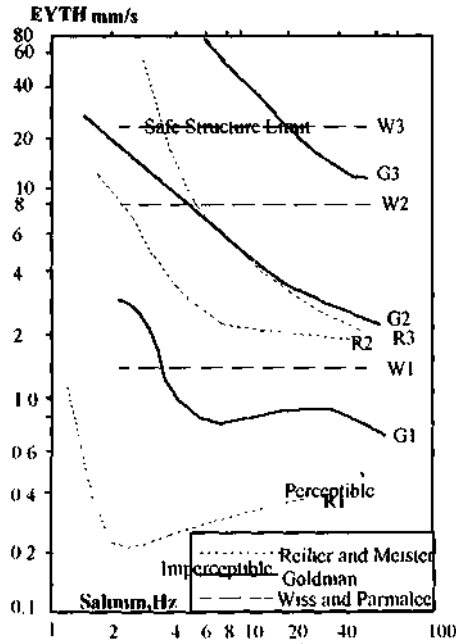
Bu eşitlik eşliğinde hasar eşik limiti olarak 84 mm/s verilmiş olup 70 mm/s de en az hasar, 110 mm/s de hafif hasar, 160 mm/s orta derecede hasar ve 230 mm/s de ciddi derecede hasar gelebileceği belirtilmiştir. Nicholls v.d. (1971), USBM (ABD Madencilik Bürosu) ve diğer kuruluşlar tarafından yürütülen birçok araştırmadan sonra yapılara hasar olasılığının %5 den daha az olduğu durumlarda birbirine dik her üç yönde de EYTH nin 51 mm/s aşmamasının gerektiği ortaya konmuştur.

Tablo 1 Çeşitli Pozisyonlarda Uyan Tanımlamaları
(Siskind v.d., 1980)

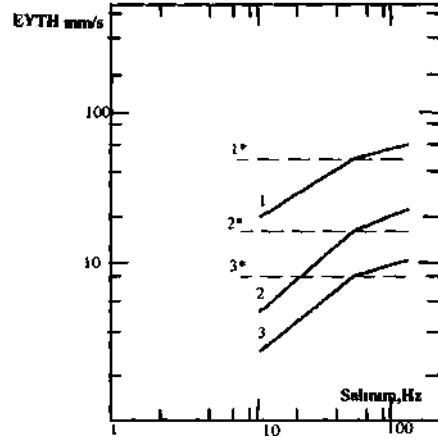
Yazarlar	Titreşim müddeti	Duruş Pozisyonu	Uyan Tanımlaması	
Reiher and Meister	5dak.	Ayakta Titreşime Dik	Zor Farkedilir Reddedilir Rahatsız edici	R1 R2 R3
Goldman	Sürekli	5 kaynaktan alınan çok verinin ort.	Farkedilir Hoş değil İzin verilemez	G1 G2 G3
Wiss and Parmalee	Geçici 5 san.	Ayakta Titreşime Dik	Zor Farkedilir Farkedilir Şiddetli Farkedilir	W1 W2 W3



Şekil 3 EYTH'nin Salınma Bağlı Limitleri;
1-USBM, 2-İsveç (Siskind v.d., 1980)



Şekil 1 Geçici Titreşime İnsan Tepkisi



Şekil 2 DİN 4150 Tedirgin Edici Titreşim Standardı

Tablo 2 Bazı Ülkelerdeki Titreşim Limitleri

	LANGEFORS İSVEÇ	EDWARDS KANADA	BUMINES U.S.A
10.0	CİDDİ HASAR		CİDDİ HASAR
9.0			
8.0			
7.0	ÇATLAMA	HASAR	AZ HASAR (İNCE ÇATLAK ESKİ ÇATLAK AÇILMASI)
6.0			
5.0	İNCE ÇATLAK VE SIVA DÜŞMESİ		
4.0			
3.0	ÖNLEM	ÖNLEM	ÖNLEM
2.0	FARKEDİLEMEZ		
1.0	HASAR	EMNİYETLİ SINIR	EMNİYETLİ SINIR
0.0			

4 SONUÇLAR

Zamanımızda birçok endüstride patlayıcı maddelerin kullanılması PKYS'nin büyüklük değerlerinin ortaya konması gereğini gittikçe daha çok arttırmaktadır. Başlangıçta gözardı edilebilen ateşleme sırası, şarj ağırlığı, delik tasarımı ve bölgenin jeolojik yapı değişimleri gibi birçok faktör yer sarsıntı değerlerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bununla beraber, titreşimin kabul edilebilir değerleri yerel idarelerin

koyduğu yürütmelikler, civarda oturan sakinlerin duyarlılıkları ve endüstriyel politikalara bağlı olarak değişimler göstermektedir. Nüfusun sürekli artışı bu tip çevresel rahatsızlıklara karşı protestoların daha da artmasına neden olacak ve beraberinde fizibilite etüdüleri yapılmış birçok patlatma tasarımlarına ek kısıtlamalar getirecektir.

Çoğunlukla PKYS birimi olarak kabul edilebilen EYTH değerlerinin öngörülmesi işlemi birçok değışikene bağlı olduğundan doğrudan analitik bir çözümlene mümkün görülmemekte ancak çeşitli deneysel ve/veya kuramsal yaklaşım yöntemleri sınanmaktadır. Birçok çalışmaların sonucu olarak PKYS salınımının gecikme sırası ile bağlantılı olduğu bulunurken sönümlenme katsayısının da dalga şahmım ile materyal yapısına bağlı olduğu tesbit edilmiştir. Birçok kuruluş tarafından yürütülen araştırmalar sonucunda yapılara hasar olasılığının %5 den daha az olduğu durumlarda birbirine dik her üç yönde EYTH nin 51mm/s veya 2 inch/s aşmamasının gerektiği ortaya konmaktadır.

Uygun delik tasarımı açık ocaklarda dekapaj veya mineral kazamındaki artışların yanısıra aşırı derecedeki PKYS kontrolünde de önemli ölçüde etkili olmaktadır. Tasarımda üretimi etkilemeyecek şekilde gruplar arası gecikme başına kullanılacak enaz şarj miktarının, patlatma bölgesinin civarında özellikle dikkat edilmesi gereken yerlerde yer sarsıntısı büyüklüğünü önemli ölçülerde azaltacağı beklenmelidir. Ancak, belli bazı jeolojik yapılar patlatma ve maden sorumlularını zor durumda bırakacak şekilde düşük-salınımlı yer sarsıntılarının şiddetlerinin artmasına neden olabilmektedirler.

Zamanımızda, birçok ülkedeki Planlama ve Çevre Kontrol Daireleri açık ocak madenciliğinin bütün zararlı etkilerini yer sarsıntıları da dahil olmak üzere dikkate almaktadırlar. Yapılmakta olan bütün kontrollara rağmen asıl problem hasar limiti altındaki kabul edilebilir titreşim değerlerinin elde edilmesine rağmen hasar veya patlatmaların sıklığından doğan sürekli şikayetlerin devam ettiğidir.

KAYNAKLAR

- Blair, D.P. 1987. *The Measurement, Modelling and Control of Ground Vibrations due to Blasting*. 2^{nc} International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting: 88-101.
- Brinkmann, J.R. 1986. *A Comparative Study of Fragmentation and Ground Vibration from Collar and Bottom Primed Bench Blasts*. The Planning and Operation of Open-Pit and Strip Mines, SAIMM, pp. 252-262 .

- Crandel, F.J. 1949. *Ground Vibration due to Blasting and Its Effect upon Structures*. Journal of the Boston Soc. of Civil Engineers, 36 (2), pp. 222-245.
- Daemen, J.J.K. 1991. *Validation of Exponential Decay Blast Vibration Predictor Case Studies*. Society for Mining, Metallurgy and Expl. Inc.: 1-9.
- Denby, B., Kizil, G., Mamurekli, D. and Brockdorff, C. 1991. *Decision Support System for Environmental Impact Assessment in Surface Mine Design*. Proceedings of Minerals, Metals and the Environment Conference, Manchester.
- DuPont, E.I. 1977. *Blaster's Handbook*. De Nemours and Co. (175th Ed.).
- Ghosh, A. and Daemen J.J.K. 1991. *Validation of Exponential Decay Blast Vibration Predictor with Case Studies*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SMME): 1-9.
- Gupta, R. N., Pal Roy, P., and Singh, B. 1987. *Prediction of Peak Particle Velocity and Peak Air Pressure Generated by Buried Explosion*. Int. Journal of Mining and Geological Engineering 6.: 15-26.
- Jeager, J.C. and Cook, N.G.W. 1977. *Fundamentals of Rock Mechanics*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Linehan P. and Wiss J.F. 1980. *Vibration and Air Blast Noise from Surface Coal Mine Blasting*. Society of Mining Engns AIME Pap. No. 80-336.
- Mamurekli, D. 1994. *Decision Support for Blast-Induced Ground Vibrations in Open-pit Mine Design*. 75th ,International Conference of the Int. Assoc. for Comp. Methods and Advances in Geomechanics, Morgantown, WV USA.
- Mather, W. 1984. *Factor Affecting Magnitude and Frequency of Blast-Induced Ground and Air Vibrations*. Trans. Inst. of Min. and Metall., Vol. 93: A173-A180.
- Nicholls, H. R., Johnson, C.F. and Duwall, W. I. 1971. *Blasting Vibrations and Their Effect', on Structures*. United States Department of the Interior Bureau of Mines, Bulletin 656, pp. 105, USA.
- Roy, P.P. 1991. *Vibration Control in an Opencast Mine Based on Improved Blast Vibration Predictors*. Mining Science and Technology, Vol.12, No.2:157-165.
- Siskind and Crum S.V. 1990. *Delay Timing and Geological Influences of Low-frequency Vibrations from Blasting at Nine Indiana Surface Coal Mines*. Int.Jour.Surf.Min and Reclamation.4: 57-67.

- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J. W. and Dowding, C.H. 1980. *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting*. USBM, IR-8507.
- Taqieddin, Salah A., Ash, R.L., Smith, N.S. and Brinkmann, J.R. 1991. *Effects of Some Blast Design Parameters on Ground Vibrations at Short Scaled Distances*. Mining Science and Technology, Vol.12, No.2:167-178.
- Vorob'ev, I. T., Nelyubov, Yu. V., Pozdnyakov, V. V. and Lemesh, N. I. 1973. *Features of the Development and Propagation of the Rayleigh Surface Wave in the Dzhezkazgan Deposit*. Soviet Mining Science, Vol.8, No.6:634-639.