

Açık Ocak Basamak Patlatmalarından Kaynaklanan Yer Sarsıntısı Hızının Tahmini: Çan Linyit İşletmesi'nde Örnek Bir Çalışma

A.Kahriman, S. Görgün, A. Karadoğan & G. Tuncer
İstanbul Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Müh. Böl. 34850, Avcılar. İSTANBUL

ÖZET: Açık ocaklarda yapılan patlatma faaliyetleri sırasında ortaya çıkan başlıca rahatsızlıklar yer sarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkilerdir. Bu tür rahatsızlıklar bazı koşullar altında çevre yapılar üzerinde hasara neden olabildikleri gibi, patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü alanların yakınında yaşayan sakinlerle de sürekli anlaşmazlıkların kaynağı olabiliyorlar. Bu nedenle; bu tür olumsuz etkileri en aza indirecek ve üretim hedeflerini aksatmayacak kontrollü bir patlatma modelinin ortaya konulması için, patlatma sonucu oluşacak yer sarsıntısının tahminine yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu bildiri; konuya örnek teşkil edebilecek TKİ Çan Linyitleri İşletmesi açık ocağında yapılan basamak patlatması sonucu oluşan yer sarsıntısı ölçüm sonuçları sunulmaktadır. Bu kapsamda çalışılan saha için parçacık hızının tahminine yönelik olarak, uzun bir periyotta, ocakta yapılan basamak patlatmaları izlenmiş ve yer sarsıntısı unsurları ölçülmüştür. Değerlendirme sonunda, bu saha için parçacık hızının tahminine yönelik olarak %95 güvenilirlik aralığında iyi korelasyonlu bir ampirik ilişki elde edilmiş ve önerilmiştir.

ABSTRACT: The principal disturbances created by blasting in open pit mines are vibrations, air blast and fly rock. All of them can, under some circumstances, cause damage to structures nearby and, apart from this, be the source of permanent conflict with the inhabitants who live close to the operation. Therefore, prediction of ground vibration components is of great importance for the minimisation of the environmental complaints. This paper presents the result of ground vibration measurements induced by bench blasting realized at the TKT Can Open Pit Lignite Mine. Within the scope of this study in order to predict peak particle velocity level for this site, ground vibration components were measured for blasting events during bench blast operations over a long period. At the end of evaluation an empirical relationship with reasonable correlation at 95 % confidence interval was established and suggested for this site.

1 GİRİŞ

Günümüzde madencilik faaliyetlerinin neden olduğu çevresel etkilerden dolayı ortaya çıkan rahatsızlıklar nedeniyle, zaman içinde toplum ve madencilik sektörü arasındaki ilişkilerde çeşitli sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu sıkıntılar bazen dostça olmayan tartışmaları gündeme getirmekte, bazen de toplum baskısı ile adli mercilerin madencilik faaliyetlerini durdurmasına kadar değişik sonuçlar doğurmaktadır. Bu yüzden günümüz madencilik sektörü bu tür gerçek, psikolojik ya da çıkar amaçlı şikayetleri ortadan kaldırmak ve sorunlara bilimsel yaklaşımlarla çözüm bulmak durumundadır. Ancak, bu tür yaklaşımlar madencilik sektörünün çevreye olan ilgisini ve saygısını kanıtlayabilecek, kalıcı ve gerçekçi çözümlerin ortaya konulmasını sağlayabilecektir.

Açık ocak madenciliğinin ilk ve en önemli işlemlerinden biri olan patlatmadan kaynaklanan çevresel rahatsızlıklar da, son yıllarda artan üretim talebine ve şehirleşmeye paralel olarak artışlar görülmektedir. Patlatma kaynaklı çevresel sorunların en önemlilerinden biri de yer sarsıntısıdır. Dolayısıyla bu tür çevresel etkilerin ortadan kaldırılması yada en aza indirilmesi için yer sarsıntısının tahmini büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle; günümüzde patlatma kaynaklı yer sarsıntısı bir çok deneysel araştırma programının, teknik ve bilimsel raporun konusu olmak durumundadır (Kahriman vd. 1998b).

Patlatma bölgesinin yakınındaki kritik kaya kütleleri ve yapılar üzerindeki patlatma etkilerinin denetlenmesi ve kontrolü iki temel unsura bağlıdır. Bunlardan birincisi; patlatma tasarımlarında, yer sarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan rahatsızlıkları en aza indirmek için gecikme başına

patlatılacak patlayıcı madde miktarının azaltılması. İkincisi; her bir kaya hacmi için patlatılacak patlayıcı madde miktarının (özümlü şarjın) ve atım paterninin uygun parçalanmayı sağlamak amacıyla tasarlanmasıdır.

Uygun parçalanmanın sağlanması ve rahatsızlıkların en aza indirilmesi gibi iki temel hedefe ulaşmak ancak en uygun bir tasarımla mümkündür. Bu en uygun tasarım, kaya parçalanması ve patlatma tasarımı arasındaki etkileşimin, yapının patlatma etkisine karşı göstereceği tepkinin ve kaya kütle yapısının iyi anlaşılması sayesinde mümkün olabilmektedir.

Patlatma kaynaklı sarsıntıların tahminine yönelik olarak geçmişten günümüze çeşitli tahmin yöntemleri değişik başarı dereceleriyle uygulanmıştır. Bu yöntemler arasında halen geçerliliğini koruyan ve sarsıntı frekansını da dikkate alan parçacık hızı tahmin yöntemi yaygın bir kullanıma sahiptir (Kahrıman vd. 1996).

2 YER SARSINTISI ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN DEĞİŞKENLER

Yer sarsıntısı özelliklerini etkileyen değişkenler, patlatma sonuçlarını etkileyen değişkenlerle benzerlik gösterirler. Bu değişkenler genel olarak, kontrol edilebilir ve kontrol edilemez değişkenler olmak üzere iki grupta sınıflandırılırlar.

Patlatmak kazı çalışmasının yürütüldüğü sahanın jeolojisi ve kaya jeomekaniği, yer sarsıntılarının oluşumu ve yayılımı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Türdeşlik gösteren masif bir kaya kütlelerinde yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntıları bütün yönlerde yayılırlarken, karmaşık jeolojik yapılara sahip sahalarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının yayılımı yönle değişebilmekte ve farklı yayılım kuralları vermektedir (Jimeno 1995).

Titreşimler kayalık bir tabakada zemin örtüsüyle yayıldığında genellikle titreşimlerin frekansı ve büyüklüğü zemin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Zemin genellikle kayalardan daha az bir elastik modüle sahiptir. Bu nedenle, dalga yayılım hızı bu tür malzemelerde azalmaktadır. Aynı zamanda titreşimin frekansı da azalmakta ancak deplasman, örtü tabakasının kahnlaşmasıyla artmaktadır. Dalgaların yayıldığı ortam, enerjinin büyük bir bölümü partiküller arasındaki sürtünmenin yenilmesinde ve yer değiştirmelerinde kullanıldığı bir zemin örtü tabakası arz ediyorsa titreşimlerin büyüklüğü mesafenin artmasıyla hızla azalmaktadır.

Patlatmak kazı çalışmalarının yürütüldüğü bölgelere yakın noktalarda titreşim özellikleri patlatma tasarım parametreleri ve tasarım geometrisinden etkilenirken, patlatma bölgesine daha uzak mesafelerde tasarım faktörleri daha az önem arz etmektedir. Bu mesafelerde kaya ve zemin

örtüsünün iletim ortamı dalga özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda; kömür ocaklarında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşim frekanslarının taş ocaklarında ve inşaat kazılan sırasında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşim frekanslarından daha düşük olduğu ve kömür ocaklarında oluşan titreşimlerin frekans değerlerinin büyük bir bölümü 10 Hz den daha düşük bir frekansa sahip olduğu belirlenmiştir (Dowding 1985).

Yapılarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu 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 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 (Bilgin vd. 1999).

Bu nedenle, özellikle kömür ocaklarında yapılan patlatma çalışmaları sırasında oluşan düşük frekanslı titreşimler (4-12 Hz arasındaki frekans değerleri) binaları rezonansa sokabilmekte bunun sonucunda, hasara neden olan yüksek gerilme değerlerine ve yer değiştirmelere sebep olabilmektedir.

3 YER SARSINTILARININ OLUŞUM KARAKTERİSTİKLERİ

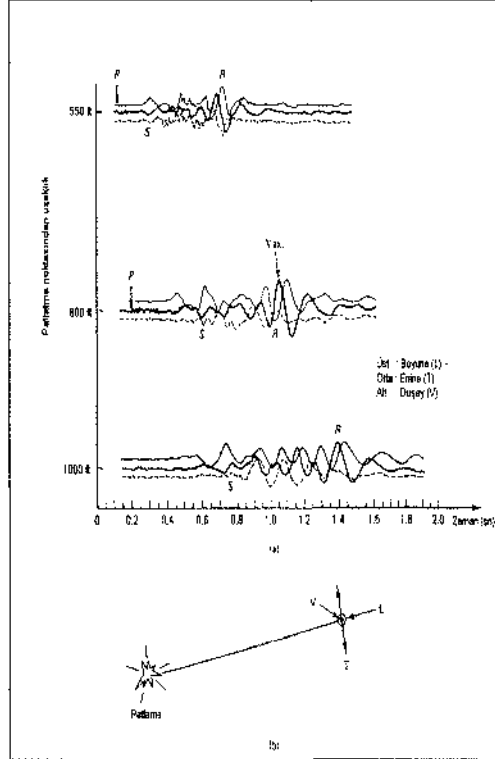
Patlatmadan kaynaklanan dalgalar Şekil 1.a'da gösterildiği gibi, basınç (P), makaslama (S) ve yüzey (R) olmak üzere üç temel gruba ayrılmaktadır. Titreşim hareketini tam olarak açıklayabilmek için, Şekil 1 b'de gösterildiği gibi, birbirine dik üç eksendeki bileşenlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Şekil 1b'de ifade edildiği üzere, boyuna bileşen (L) genellikle, yatay yönde ışınal olarak oluşur. Diğer iki dalga bileşenleri ise, ışınal yöne dik olarak ortaya çıkarlar.

Bu üç temel grup kendi arasında gövde dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gövde dalgaları, kaya yada toprağın içerisinde hareket ederken, yüzey dalgaları yüzey boyunca hareket etmektedir. En önemli yüzey dalgası Şekil 1.a'da R ile gösterilen Rayleigh dalgasıdır.

Gövde dalgaları ise yine kendi arasında basınç (çekme ve basma) dalgası (P) ve bükülme veya makaslama dalgası (S) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Patlayıcının infilakı sonucu kısa mesafelerde öncelikli olarak gövde dalgaları oluşmaktadır. Gövde dalgaları küresel hareketlerle başka bir kaya tabakası, toprak veya yüzey tabakasına rastlayıncaya kadar ilerlemektedir.

Bu kesişmede ise makaslama ve yüzey dalgaları oluşmaktadır. Düşük mesafelere bu üç dalga tipi de aynı anda gelmekte ve dalga tanımlaması zorlaşmaktadır. Uzun mesafelerde ise daha yavaş olan kesme ve yüzey dalgaları, basınç dalgalarından rahatlıkla ayırt edilebilmektedir (Dowding 1985).

Bu üç dalga tipi içinden geçtikleri kaya parçacıkları yada toprağa göre değişik özellikler göstermektedir. Bunun sonucunda, yüzeydeki yapılar yada kaya her dalga tipine göre farklı bir biçimde şekil değişikliğine uğramaktadır. Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. En karmaşık özellik gösteren Rayleigh dalgaları ise yayılma yönüne paralel ve düşey yönde hareketler oluşturmaktadır.



Şekil 1. Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma titreşimlerinin genel formu (Dowding, 1985)

Yapılan araştırmalarda, dalgaların farklı tipleriyle taşınan enerjinin dağılımına bakıldığında Rayleigh dalgalarının toplam enerjinin %70 gibi büyük bir kısmını taşıdığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan bir başka araştırmada ise baskın dalganın bu türünün patlatma bölgesinden birkaç yüz metre ötede bir yer hareketini doğuracağı ve patlatmalı kazı faaliyetlerinin sürdürüldüğü bölgeden 500m'den

daha uzakta bile bulunan yapılar üzerinde hasar verme riskinin yüksek olabileceği saptanmıştır (Jimeno 1985).

4 YER SARSINTISI TAHMİNİNDE KULLANILAN YAKLAŞIMLAR

Çeşitli araştırmacılar, yapmış oldukları literatür çalışmalarında; tipik patlatmaların, geometrik ve jeolojik şartlardaki değişimler nedeniyle, en iyi yer sarsıntısını tahmin şeklinin, gerçek atımların gözlenmesi sonucu elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahminine yönelik olarak bir çok ampirik yaklaşım ortaya konulmuş ve bu yaklaşımlar değişik başarı dereceleriyle uygulamada kullanılmıştır (Kahrman vd. 1998)."

Günümüzde bu yaklaşımlardan en çok ölçekli mesafe ve sarsıntı hızını esas alanlara güvenilmektedir. Parçacık hızını ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin edilmesini esas alan bu tür yaklaşımlarda kullanılan ölçekli mesafe kavramı; sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından istatistiksel çalışmalar sonucu türetilmektedir.

Günümüzde ölçekli mesafenin belirlenmesinde bir çok ampirik bağıntı kullanılmasına rağmen en sık kullanılan ve silindirik şarj kullanımını esas alan formül aşağıda verilmiştir:

$$SD = R \cdot W^{0.5} \quad (D)$$

Burada; SD, Ölçekli mesafe; R, Patlatma noktasından uzaklık (m); W, Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg).

Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, yer sarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla ortaya atılmıştır. Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, yer sarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Birçok kişi ve kuruluş bu amaçla çeşitli araştırmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmininin en iyisi olduğu sonucuna varmışlardır. Maksimum parçacık hızı tahminine yönelik olarak yapılan istatistik çalışmaları sonucu geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan ampirik ilişki aşağıda verilmiştir:

$$PPV = K \cdot SD \cdot \beta \quad (2)$$

Burada; PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/sn)

SD: Ölçekli Mesafe, (R/W^{1/2})

K: Yer İletim Katsayısı

β: Jeolojik Sabit

4.1 Yaklaşımlarda kullanılan istatistiksel yöntemler

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının kontrolüne yönelik olarak yapılacak çalışmalarda, parçacık hızının ölçüldüğü yerdeki ölçekli mesafeye karşılık gelen parçacık hızı tahmini için; saha spesifik hız yaklaşımını veren azalan bir eğri denkleminin bulunması için, sahadan sağlanan titreşim veri çiftlerinin istatistiksel analizi gereklidir. Bu tür çalışmalarda çoğunlukla kullanılan istatistiksel analiz teknikleri en küçük kareler metodu üzerine kurulmakta ve basit korelasyon katsayısı saptamaları, regresyon denkleminin uyum iyiliği (goodness of fit) için ayrıntılı F testi gibi analizleri içermektedir (Inal vd. 1983). Yapılan bu tür istatistiksel değerlendirmelerle elde edilen, yer sarsıntılarının tahmininde kullanılan parçacık hızı tahmin modelinin doğruluğu, standart hata tahminleri, ayarlı (r^2) ve değişkenlik katsayısının belirlenmesi ile ortaya konulmaktadır. Bu tür istatistiksel çalışmalarda; katsayının saptanması ve standart hatanın hesaplanması regresyon analizindeki uyum iyiliği değerinin belirlenmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Bu yöntemler bir çok araştırmacının çalışmasında da yer almaktadır.

Yukarıda değinilen parçacık hızı tahmin denkleminde yer alan saha sabitleri, ölçülen en yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bu ilişkinin saptanması için yapılan istatistiksel değerlendirmenin güvenilirliği için en az 30 hatta daha fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır. İstatistiksel açıdan yeterli veri çiftiyle yapılan bir değerlendirme sonucu elde edilen parçacık hızı tahmin denkleminin (Denklemler 2) güvenilirliğinin sağlam olması için tahmin denkleminin %95 güven aralığına uyum göstermesi ve karalılık katsayısının (f) değerinin 0.7 den büyük olması gereklidir.

Ayrıca güven aralığının doğruluğunun ortaya konulmasında kullanılan standart sapma değerinin mümkün olduğu kadar sıfır değerine yakın olması önemli bir göstergedir. Yer sarsıntısı tahminlerinin ortaya konulmasında kullanılan istatistiksel değerlendirmelerde kullanılan bütün regresyon modellerinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, uyum iyiliği değerinin (r^2) 0.7'den daha düşük bir değere sahip olması durumudur. Eğer yapılan regresyon analizi sonucunda 0.7'den daha düşük bir r^2 değeri elde edilmiş ise bu durum sahadan sağlanan veri çiftleri arasında tutarsızlığın yada problemin var olduğunu işaretidir (Costa e Silva vd. 1996). Yer sarsıntısı tahminine yönelik olarak yapılacak istatistiksel değerlendirmelerde böyle bir durumla karşılaşıldığında sahadan sağlanan veriler tekrar gözden geçirilmeli ve daha dikkatli olarak ilave atımlar izlenmelidir.

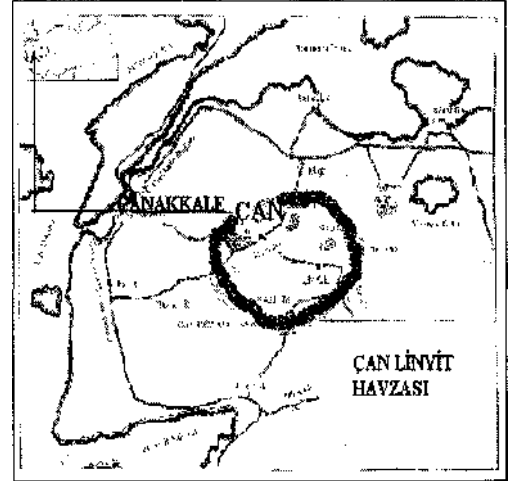
Böylelikle herhangi bir saha için sağlanan veri çiftlerinin kullanıldığı ve yukarıda değinilen kaideleri sağlayan güvenilirlik düzeyi yüksek olan

istatistiksel değerlendirmeler sonucu ortaya konulan parçacık hızı tahmin denklemleri ile kontrollü patlatma tasarımı ve uygulamalarında, titreşim ölçüm aletinin olmadığı durumlarda; bazı pratik tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlanabilir.

5 ÖRNEK BİR ÇALIŞMA; T.K.İ. ÇAN LİNYİT OCAĞI

5.1 Çalışma sahası

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar, TÜBİTAK destekli bir araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların yürütüldüğü TKİ Çan linyit açık ocağı, Çomaklı, Kalkın, Çarpılar, Mancılık ve Etili sahaları ile birlikte Çan Linyit Havzası'nı oluşturmaktadır. Havza'da en büyük rezerve sahip olanı TKİ sahasıdır. Havza'nın konumu ve linyit sahalarının yerleri şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. TKİ Sahası, Çan ilçe merkezinin bitişiğinde, Çanakkale il merkezine 79 km uzaklıktadır.



Şekil 2. Çan linyit sahası genel görünümü

Yapılan muhtelif fizibilite projelerine göre havzanın işletilebilir rezerv miktarı 79.000.000 ton olarak hesaplanmıştır.

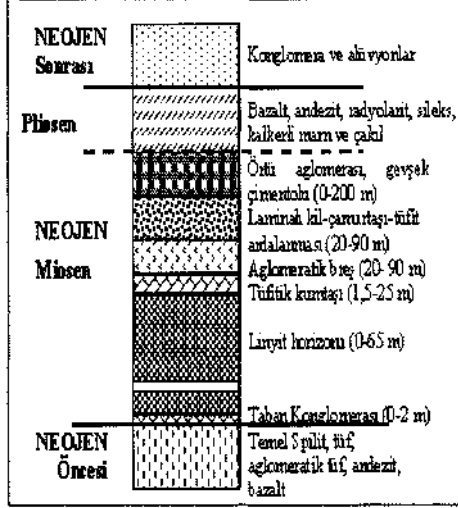
TKİ Çan Kömür Havzasında dönüşümlü olarak, Çan 1, Çan 3 ve Çan 5 ocaklarında (Panolarında) çalışılmıştır. Halen Çan 2 ocağında kömür üretimi, Çan 1 ocağında ise dekapaj faaliyetleri yürütülmektedir.

Dekapajda 15,3 m³ kepçe kapasiteli elektrikli ekskavatörler ve 85 tonluk ağır kamyonlarla kademeli olarak çalışılmaktadır. Dekapaj kademelerinin doğrultusu Kocabaş Çayı akış yönüne paralel (E-W), pano ilerleme yönü ise kuzeye doğrudur. Bu suretle oluşturulan geniş cephe mevcut

heyalanları artırıcı etki yapmaktadır (İpekoğlu vd. 2000).

5.2 Çalışma sahasının jeolojisi ve kayaç özellikleri

Çalışmaların yapıldığı TKİ çan linyit açık ocağındaki stratigrafik diziliş üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, Neojen öncesi, Neojen ve Neojen sonrası devrelerine ait formasyonlardır. Formasyonların genel durumu ve özellikleri Şekil 3 'de verilmiştir.



Şekil 3. Çan linyit havzasına ait stratigrafik kesit.

Sahada tabakaların genel eğim derecesi 0°-20° arasında değişmektedir. 30°'nin üzerinde eğim değerleri genellikle fay zonuna yakınlık gibi anormal durumlarda ortaya çıkmaktadır.

5.2 TKİ Çan linyit açık ocağında yer sarsıntısı tahminine yönelik olarak yapılan çalışmalar

Bu çalışma kapsamında, Çan ilçesi yerleşim alanına oldukça yakın olan T.K.İ. Çan Linyitleri İşletmesinde, termik santral esaslı değerlendirme durumunda daha fazla artacak olan çevresel duyarlılıklar dikkate alınarak, patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının tahminine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda; çalışılan saha için parçacık hızının tahminine yönelik olarak, işletmenin kendi imkanlarıyla ve müteahhit firma aracılığıyla yapılan basamak patlatmaları izlenmiş ve yer sarsıntısı unsurları ölçülmüştür.

Çalışma kapsamında, titreşim ölçümlerine esas olacak söz konusu atımlarda, uygulanan patlatma geometrisi ve patlayıcı şarjı; işletme ve müteahhit firma yetkililerince sistematik olarak uygulanacak şekilde (herhangi bir müdahalede bulunulmadan)

gözlemlenmiş ve ölçümler bu şekildeki çalışmalar sırasında gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla; gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı, her bir delik için planlanan patlayıcı maddenin kontrollü bir şekilde şarj edilmesiyle belirlenmiştir. Atımlarda; esas patlayıcı olarak delik içi su varlığına göre Anfo veya Emulite, yemlemede ise jelatinit dinamit ve Emulite 100 kullanılmıştır. Ateşleme ise işletme tarafından yapılan atımlarda NONEL kapsüller kullanılarak, müteahhit firma tarafından yapılan atımlarda gecikmeli elektrikli kapsüller kullanılarak yapılmıştır. Gecikme başına şarjın belirlenmesinde; yemlemede kullanılan dinamitin ağırlıkça kudreti göz önüne alınarak ANFO' ya dahil edilmiştir. İzlenen atımlar için genellikle uygulanan tasarım değişkenleri Çizelge 1 'de verilmiştir.

Çizelge 1. Atımlarda uygulanan patlatma tasarım değişkenleri

Delik Çapı (D), (mm)	171
Delik Eğimi (a), (°)	90
Delik Uzunluğu (H), (m)	7-8
Basamak Yüksekliği (K), (m)	5-6
Dilim Kalınlığı (B), (m)	3-5
Delikler Arası Mesafe (S), (m)	5
Sıkılma Boyu (H _s), (m)	2*5

Atım kaynağı ve ölçme istasyonu arasındaki uzaklık topoğrafik ölçü aletleriyle ölçülmüştür. Ölçüm istasyonu olarak; keyfi arazi noktaları, "Ölçekli Mesafe" kavramı içinde seçilmiştir. Bazen de çevredeki binaların oturduğu zemin noktaları (özellikle bu çalışmaya başlanmadan önce rahatsız olduktan ifade edilen işletme yönetim binası zemini), genel istasyon noktalarına göre çok daha uzak olmalarına karşın, tercih edilmiştir.

Bu çalışmada, ölçekli mesafe değişkenleri (Her gecikme için toplam şarj, istasyon ile atım yeri arasındaki uzaklık) dikkatlice kaydedilirken, yer sarsıntısı unsurları da 54 olay için iki farklı cihazla (Instante! Minimate ve White Mini Seis) ölçülmüştür.

5.3 Ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

Araştırma projesi kapsamında sürdürülen çalışmalar sonucu bu sahada yürütülen faaliyetlerin herhangi bir aşamasındaki (geçmiş veya gelecekteki) herhangi bir atımdan kaynaklanacak maksimum parçacık hızı tahmini için, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı madde şarjları ve kaynak-ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe parametresiyle parçacık hızı arasındaki ilişki, istatistiksel açıdan yeterli sayıdaki veri çifti ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Ölçekli mesafe ve parçacık hızı ile ilgili olan bu gözleme ve istatistiksel hesaplamalara dayalı formül, titreşim-ölçüm cihazlarının kullanıldığı sahada bizzat bulunan sonuçlardan geliştirilmiştir. Bu

formül, parçacık hızının sönümlenme oranında bölgenin kaya karakteristiklerinin etkisini hesaba katan K ve β saha sabitlerini içermektedir. Bu iki sabit, parçacık hızını tahmin edebilmek amacıyla, her patlatma sahası için belirlenmelidir.

TKİ Çan Linyitleri İşletmesi açık ocağında izlenen 54 basamak atımına ait ölçüm sonuçları; her bir olay için parçacık hızı, uzaklık, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı madde miktarı ve ölçekli mesafeyi içerecek şekilde Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Yer sarsıntısı ölçüm sonuçları

Olay No	Enine	Parçacık Hızı		En Yüksek parçacık hızı	Frekans f (Hz)	Toplam Şarj W, (kg)	Gecikme Başına Toplam Şarj W, (kg)	Mesafe R (m)	Ölçekli Mesafe SD
		Düşey	Boyuna						
1	10.2	15.9	20.4	20.4	4,3	1818	101	166	16.3
7	4.19	3.81	5.46	5.46	4.7	2400	100	120	12
13	1.14	3.05	1.52	3.05	3	935	90	780	82.2
19	7.11	12.6	8.25	12.6	11	894	110	110	10.4
25	4.57	5.08	7.62	7.62	8.3	945	110	150	14.3
31	23.87	24.8	69	69	56.8	300	70	55	6.57
37	0.88	1.14	1.14	1.14	8.2	600	150	350	40.8
43	11.17	12,19	23.3	23.3	39.3	900	80	45	5.03
49	1.64	1.90	2.73	2.73	4	800	200	500	35.3
<i>14</i>	<i>0.88</i>	<i>1.02</i>	<i>1.02</i>	<i>1.02</i>	<i>4.9</i>	<i>300</i>	<i>75</i>	<i>500</i>	<i>57.7</i>

Daha sonra sahadan sağlanan yeterli sayıda parçacık hızı ve ölçekli mesafe veri çifti arasında kullanışlı bir ilişki saptayarak, sahada yapılacak kontrollü patlatma tasarımlarında gerekli olacak saha sabitleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; atımlardan elde edilen Çizelge 2'de yer alan (54 atım olayı) tüm veri çiftleri değerlendirme ünitesine aktarılmış ve 10V. SPSS istatistiksel analiz programı kullanılarak istatistiksel analize tabi tutulmuşlardır.

Bu değerlendirmede; maksimum parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe (SD) değerleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla, regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sırasında; doğrusal, üssel, exponansiyel ve logaritmik fonksiyon yaklaşımları kullanılmıştır. Aynı analizler, parçacık hızının diğer unsurları olan enine (T), düşey (V), boyuna (L) hızları için de yapılmıştır. Tüm analizlerde, üssel fonksiyon yaklaşımı en yüksek korelasyon katsayısı ile sonuçlanmıştır. Uygulamalı, yoğun bir araştırma sonucu, sedimentler oluşumlu bir jeolojik yapıdaki kaya birimlerinden oluşan bu saha için parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasında elde edilen bu ilişkinin, literatürle de uyum içinde olduğu görülmüştür.

Sahada izlenen atımlardan sağlanan parçacık hızı bileşenleri (PPV, PVT, PVV, PVL) ve ölçekli mesafe veri çiftleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla SPSS istatistiksel değerlendirme programı kullanılarak yapılan regresyon analizi ile belirlenen ve literatüre de uygunluk arz eden eşitlikler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Bütün atımlar için parçacık hızı bileşenlerinin eşitlikleri

Saha Sabitleri	Parçacık Hızı (mm/sn)			
	Enine, PVT	Düşey, PVV	Boyuna, PVL	En yüksek, PPV
K	100.44	145.51	213.16	191.29
β	-1.092	-1.132	-1.228	-1.130
r	0.85	0.78	0.85	0.85

Çizelge 3'den de anlaşılacağı gibi; çalışılan saha için uzun süreli bir uygulama sonucu belirlenen ve literatüre de uygunluk arz eden en yüksek parçacık hızı tahmin denklemi aşağıdaki şekilde olmuştur.

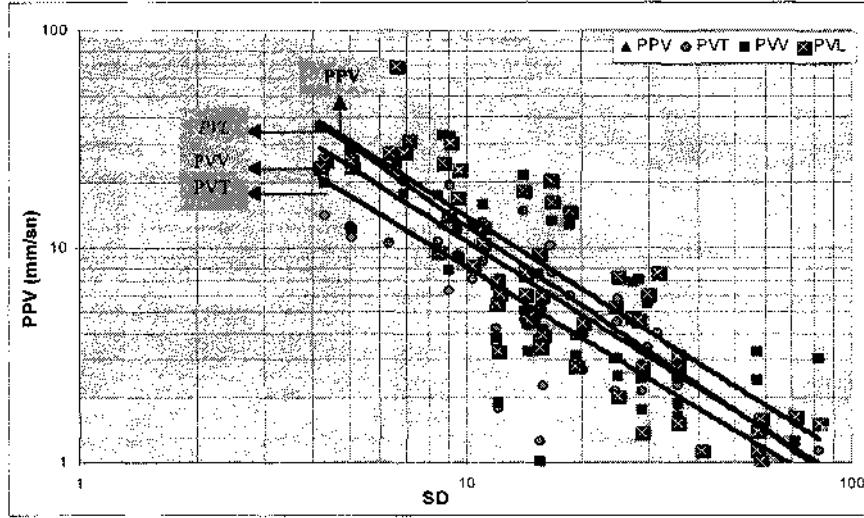
$$PPV = 191 (R/VW) - U3 \quad (r=0,85) \quad (3)$$

Bu saha için elde edilen en yüksek parçacık hızı tahmin denkleminde K ve β faktörleri sırasıyla 191 ve 1.13 olarak saptanmıştır.

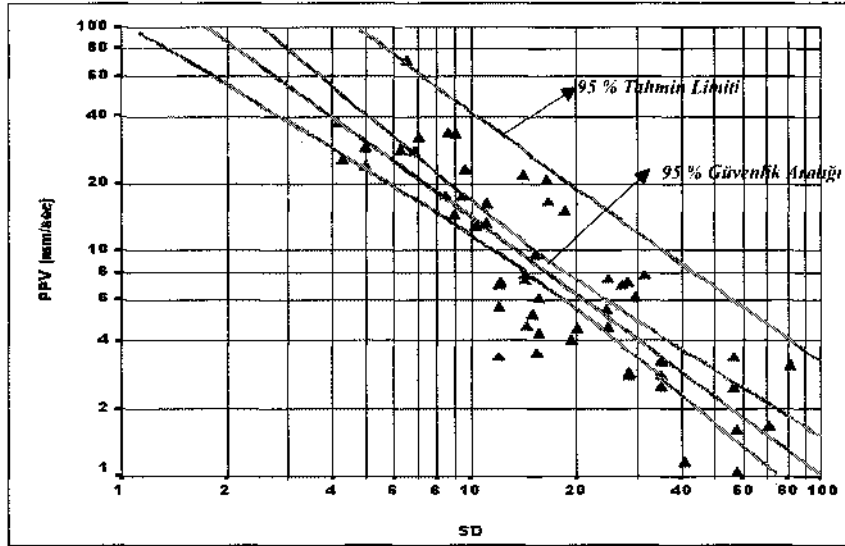
Parçacık hızı bileşenleri ve maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki logaritmik ilişkilerin grafik gösterimi ise, noktaların dağılımını da ifade edecek biçimde Şekil 4'de gösterilmiştir.

Ayrıca V.10 SPSS programı ile yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda elde edilen regresyon ve korelasyon sonuçları çizelge 4'de verilmiştir.

Diğer taraftan istatistiksel değerlendirmelerde %50 ve %95 tahmin limitlerin de belirlenen en yüksek parçacık hızına karşılık gelen ölçekli mesafe ilişkisi de Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Parçacık hızı bileşenleri ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki.



Şekil 5. En yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki (%50 ve %95 tahmin limitine göre).

Çizelge 4. SPSS istatistiksel değerlendirme programı basit regresyon analizi çıktısı.

Regresyon İstatistikleri						
Çoklu R	R Kare	Ayarlı R Kare	Standart Hata	Gözlem Sayısı		
0.844	0.712	0.706	0.233	54		
Varyans Analizi (ANOVA)						
	DF	Karelerin Özeti	Ortalama Kare	F	Anlamlılık F	
Regresyon	1	7.011	7.011	128.83	1.094	
Fark	52	2.829	0.054			
Toplam	53	9.8412				
Denklemdaki Değişkenler						
Paremetreler	Katsayılar	Standart	t Stat	P-Değeri	% 95 Güven Aralığı	
		l	f		Lower	Upper
Kesişim	2.281	0.126	18.07	4.48	2.028	2.534
X Değişkeni	-1.134	0.099	11.35	1.09	-1.334	-0.933

Çizelge 4'de görüldüğü gibi sahadan sağlanan 54 veri çiftinin tamamı istatistiksel hesaplamalarda kullanılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi bir istatistiksel değerlendirmenin güvenilirliğinin sağlam olması için tahmin denkleminin %95 güven aralığına uyum göstermesi (Şekil 5) ve kararlılık katsayısının (r) değerinin 0.7 den büyük olması gereklidir. Bu çalışmada da yapılan lineer regresyonla hesaplanan PPV değişkeninin %71.2 sini gösteren r^2 değeri 0.712 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda kesişim katsayısı, log-log aralığındaki skalaya transfer edilerek yapılan lineer regresyon analizi ile belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonucunda Şekil 4 ile uyum içinde olan 191.29 (k: yer iletim katsayısı) katsayısına eşit olan $10^{2.281}$ katsayısı bulunmuştur. Ayrıca bu değerlendirmede sonunda regresyon ifadelerinde kritik eğim değeri olarak adlandırılan jeolojik sabit (β faktörü) -1.134 olarak saptanmıştır.

Bütün bu yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, bu saha için gelecekte yapılacak atımlar sonucu oluşacak en yüksek parçacık hızı değerlerinin büyüklüğünün kestirimi %95 tahmin limitinin altında kalacak şekilde yapılabileceği ortaya konulmuştur (Kahriman vd. 2000 b).

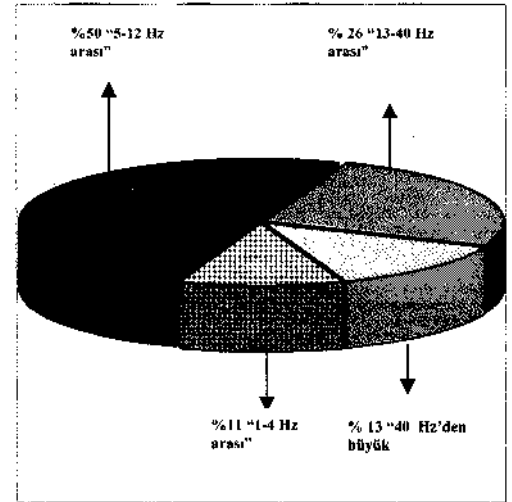
Yapılan bu istatistiksel değerlendirmeler sonucunda %95 tahmin aralığında belirlenen bu ilişki yerinde yapılan ölçümlerle test edilmiş ve hesaplanan PPV değerleri ile ölçülen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Hesaplanan ve ölçülen parçacık hızları

Olay No	Ölçekli Mesafe (SD)	En Yüksek Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Hesaplanan	Ölçülen
1	35.0	3.43	3.77	
4	48.0	2.40	2.64	
3	68.4	1.61	1.77	
2	15.8	8.40	9.24	

Çizelge 5'de görülebileceği gibi yerinde ölçülmüş değerler ile formülle tahmin edilmiş değerler arasındaki standart sapma %10'nu geçmemiştir.

Bu durum, bu sahadaki saptanan formülün kullanılmasıyla, güvenilir patlatma tasarımlarının yapılmasını mümkün olabileceğini ispatlamıştır. Bununla birlikte, sahadaki daha fazla atım izlenmeli, daha fazla veri elde edilmeli ve bu regresyon modeli güncelleştirilmelidir.



Şekil 6. İzlenen atımlarda oluşan maksimum parçacık hızına karşılık gelen frekansların dağılımı

Ayrıca bu çalışmada sahadaki yapılan basamak atımları sırasında kaydedilen olaylarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımlarında incelenmiştir (Şekil 6).

Şekil 6'da görüleceği üzere titreşimler, oldukça düşük frekanslı olarak sonuçlanmıştır. Daha öncede bahsedildiği gibi düşük frekanslı bir titreşimin, yüksek frekanslı bir titreşime göre (belli bir hız için) çok daha fazla hasar riski taşıyacağı bilinmektedir.

Atımlarda ölçülen frekansların oldukça düşük olması da bu yönde önemli bir hasar vernie riskinin göstergesi olmaktadır (Kahriman vd. 2001).

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişmiş ülkelerde patlatma kaynaklı çevresel problemlerin çözümüne dönük araştırma programları uzun süreden beri sürdürüldüğü ve muhtelif standart ve kriterler oluşturulduğu dikkate alındığında; ülkemizin bu konuda çok yetersiz ve gecikmiş olduğu görülmektedir. Bu nedenle, benzer titreşim ölçüm çalışmalarının yaygınlaştırılarak, ülkemiz koşullarına uygun standart ve kriterlerin oluşturulmasına dönük verilerin sağlanması, konu ile ilgili kuruluşlar için ekonomiklik ve emniyetlilik açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu araştırma kapsamında Çan ilçesi yerleşim alanına oldukça yakın olan bu sahada, termik santral esaslı değerlendirme durumunda daha fazla artacak olan çevresel duyarlıklar dikkate alınarak, patlatmadan kaynaklanan titreşim değişkenlerinin tahminine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Değerlendirmeler sonunda, bu saha için parçacık hızının tahminine yönelik olarak %95 güvenilirlik aralığında iyi korelasyonlu bir ampirik ilişki elde edilmiş ve önerilmiştir.

Ancak, sadece parçacık hızı büyüklüğünün tahmininde kullanılan bu ampirik ilişkinin çeşitli etkiler nedeniyle düzensiz sonuçlar verebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu yüzden elde edilen bu ampirik yaklaşım eşitliğini desteklemek için daha fazla olay, farklı yönlerde izlenmeli ve regresyon analizleri daha fazla ölçüm sonuçları göz önünde tutularak güncelleştirilmelidir. Bunlara ilaveten ocağın ilerlemesine ve zamana bağlı olarak da tekrar gözden geçirilmelidir.

Ayrıca yapılan titreşim ölçümleri sonucunda, sedimenter oluşumlu bir jeolojik yapıdaki kaya birimlerinden oluşan bu sahada, literatüre ve beklentilere uygun olarak, titreşim frekansları oldukça düşük çıkmıştır.

Patlatma titreşim ölçümleri sonucunda düşük gerçekleştiği anlaşılan bu frekans değerleri, ocağa yakın bölgelerde bulunan ve genelde ciddi bir mühendislik çalışmasının inşaa sırasında uygulanmadığı, kat sayılarının 1 ile 3 kat arasında değiştiği çevredeki yapıların öz yapısal frekanslarıyla uyumunu arttıracak ve rezonans sonucu beklenmeyen sonuçlara neden olabilecektir.

Bu nedenle işletme faaliyetleri sırasında yapılacak her türlü patlatma çalışmalarının, kontrollü atım ilkelerine uygun gerçekleştirilmesi, tüm atım verilerinin usulüne uygun hazırlanacak formlara kaydedilmesi ve tüm atımların titreşim ölçerler vasıtasıyla kayıtlarının alınması hayati derecede önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

T.K.İ. Genel Müdürlüğü ve Çan Linyit İşletmesi Bölge Müdürlüğü'ne her türlü yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

Ayrıca bu çalışma için maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumuna (Proje no: YDABCAG-199Y027) teşekkürü bir borç biliriz

KAYNAKLAR

- Bilgin, H.A. Esen, S. Kılıç, M. 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesinde patlatmaların yolaçtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma, ODTÜ, *Nihai Rapor*, 19 -21, Ankara
- Costa e Silva, V. Ayderes da Silva, L. A. 1996. Practical ways to reduce environmental rock blasting problems. Environmental Issues and waste management in energy and mineral production. *Proc. SWEMP*. 1: 291-297, Cagliari, Italy
- Dowding, C. H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*. Prentice-Hall, Inc.
- İnal, C. Esensoy, Ö. Sözer, T. 1983 İstatistik Terimleri Sözlüğü. Türk Dil Kurumu. Ankara, S. 163
- İpekoğlu, B. Kahrıman, A. Kesimal, A. Görgün, S. Karadoğan, A. 2000. Çan Linyit Sahasının termik santralde değerlendirilebilirliği ve en uygun üretim koşullarının araştırılması, *Tühiakprojesi*. Proje no: YDABCAG - 648.
- Jimeno, C.L. & Jimeno, E. L. 1995, *Drilling and Blasting of Rock*, A. A. Balkema, Brookfield., Netherlands.
- Kahrıman, A. Ceylanoğlu, A. Demirci, A. 1996 Sivas-UIaş yöresi sölestit açık işletmesinde basamak patlatmasından kaynaklanan yer sarsıntısı ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi, 2. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*. S. 89-96. Ankara.
- Kahrıman, A. Kesimal, A. Tuncer, G. 1998a, Prediction and measurement of environmental problems produced from blasting, *Second International Symposium on Mine Environmental Engineering*, p. 231-239
- Kahrıman, A. Görgün, S. Karadoğan, A. 1998b, Patlatmalı kazılardan kaynaklanan titreşimlerin kentsel alanlar üzerine olan etkileri ve alınacak önlemler, *Jeoloji ve Kentleşme Sempozyumu*, İstanbul.
- Kahrıman, A. Görgün, S. Karadoğan, A. 1999, TKİ Çan Linyit Açık Ocağında patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi. //, *Mühendislik Haftası Yerbilimleri Sempozyumu*. İsparta,
- Kahrıman, A. Tuncer, G. Görgün, S. Karadoğan, A. 2000a, Estimation partide velocity on the basis of blast event measurement. *Proceedings of the 26th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*. ISEE, VI: 107-115. Anaheim, California, U.S.A.
- Kahrıman, A., Görgün S., Karadoğan A. & Tuncer G., 2000b, Estimation particle velocity on the basis of blast event measurement for an infrastructure excavation located nearby Istanbul, *World Conference on Explosives and Blasting Technique*, Munich, Bavaria, Germany.
- Kahrıman, A., Görgün S., Karadoğan A. & Tuncer G., 2001, Attenuation of ground vibration induced by blasting at Çan Open-Pit Mine in Turkey, *The Twenty-Seventh Annual Conference an Explosive and Blasting Technique*. 28 -31 January, ISEE, Orlando, Florida, U.S.A.

