



### 3 Temmuz 2020 Tarihinde Sakarya İli Hendek İlçesinde Meydana Gelen Havai Fişek Fabrikası Patlamasının Sismik-Akustik Kayıtlar Kullanılarak İncelenmesi

Fikret KURAN<sup>1</sup>, Süleyman POLAT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ankara, Türkiye <sup>2</sup> Ankara, Türkiye

#### Makale Tarihiçesi

Gönderim: 26.10.2020

Kabul: 08.04.2021

Yayın: 30.04.2021

#### Araştırma Makalesi

**Öz-** 03 Temmuz 2020 tarihinde Hendek ilçesi Yukarı Çalca Mahallesi, Tepeaçma mevkinde faaliyet gösteren, Büyük Coşkunlar Piroteknik Kimya Sanayi Havai Fişek Oyuncak Pazarlama Tic. ve Ltd. Şti. isimli şirkete ait fabrikada art arda patlamalar meydana gelmiş, olayda 7 kişi vefat etmiştir. Yazılı ve görsel basından çıkan haberlerde, patlamaların 50 km çaplı bir alanda şiddetli bir şekilde hissedildiği ifade edilmektedir. Patlamalar sonucunda oluşan hava şoku ve krater gibi fiziksel etkilerin yanı sıra, yer kabuğunda deprem titreşimlerine benzer titreşimler de oluşturmakta, bu titreşimler deprem izleme istasyonları tarafından kaydedilmektedir. Bu titreşimler iki ana dalga fazından oluşmaktadır. Bunlardan birincisi sismik dalgalar, ikincisi ise akustik dalgalardır. Sismik dalgalardan patlamanın yeri ve oluş zamanları, akustik dalgalardan ise patlayıcının cinsi ve miktarı, kriz ortamı devam ederken ve olay yerine gidilmeden, dakikalar içerisinde belirlenebilmektedir. Bu bilgiler kaza veya terör saldırılarının araştırılmasında ve acil durum yönetiminde son derece önemlidir. Bu nedenle, patlamaların zamanlarının, oluş sebeplerinin ve büyüklüklerinin belirlenmesi için farklı mühendislik disiplinlerinin ortak çalışması gerekmektedir. Bu makalede, sismik kayıtlar kullanılarak patlamaların kronolojik olarak zamanları hesaplanmış, patlamalarda infilak eden piroteknik malzemelerin miktarları hesaplanmıştır. Patlamalar sonucu oluşan krater çaplarına göre de infilak eden piroteknik malzemelerin miktarları hesaplanmıştır. Son olarak çevre yerleşimlerdeki hasara bağlı olarak patlamayla oluşan hava şoku basıncı tahmin edilerek, infilak eden piroteknik malzemelerin miktarları hesaplanmıştır. Krater çapları ve hava şoku basıncına göre elde edilen sonuçlar ile, sismik-akustik kayıtlar kullanılarak hesaplanan miktarlar ile karşılaştırılmıştır. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda infilak eden piroteknik malzemelerin patlama hızları hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – Piroteknik, Patlama, Sismik-akustik kayıt, Patlayıcı ağırlığı, Patlama hızı, TNT, Havai fişek

### An Investigation of 3<sup>th</sup> July 2020 Fireworks Factory Explosion by Using Seismic-Acoustic Records in Sakarya, District of Hendek

Fikret KURAN<sup>1</sup>, Süleyman POLAT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ankara, Türkiye <sup>2</sup> Ankara, Türkiye

#### Article History

Received: 26.10.2020

Accepted: 08.04.2021

Published: 30.04.2021

#### Research Article

**Abstract:** On 03 July 2020, a few explosions occurred consecutively in the factory at Büyük Coşkunlar Piroteknik Chemistry Industry Fireworks Toys Marketing Inc. company's factory, operating in Tepeaçma location in the Yukarı Çamlıca quarter of the Hendek district and as a result 7 people died in the incident. In the written and visual media, it is stated that the explosions were felt strongly in an area of 50 km diameter. In addition to the physical effects of explosions, such as air-blast shock waves and crater, vibrations occur due to explosions in the earth similar to earthquakes and these vibrations are recorded by earthquake monitoring stations. These vibrations consist of two main wave phases. The first of these are seismic waves and the second is acoustic waves. The origin and time of explosions can be determined from seismic waves and the type and quantity of explosives can be determined from acoustic waves within minutes before going to the scene and while the crisis environment continues. This finding is extremely important in the investigation of accidents or terrorist attacks and in emergency management. For this reason, different engineering disciplines need to work together to determine the time, cause and size of explosions. In this article, chronological times of explosions calculated by using seismic records were surveyed and the amounts

<sup>1</sup> fikretkuran6@gmail.com Orcid id: 0000-0002-1308-435X

<sup>2</sup> suleymanpolat2009@gmail.com Orcid id: 0000-0003-4780-0876

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Fikret KURAN, fikretkuran6@gmail.com, Ankara

of pyrotechnic materials detonated in explosions were calculated. The amounts of pyrotechnic materials that exploded were calculated according to the diameter of the crater formed as a result of the explosions. Finally, the amount of pyrotechnic materials detonated were calculated by estimating the air shock pressure caused by the explosion due to the damage in the surrounding settlements. The results obtained according to the crater diameters and air shock pressure were compared with the quantities calculated using seismic-acoustic records. As a result of all these evaluations, the detonation velocities of the exploded pyrotechnic materials were calculated.

**Keywords** – Pyrotechnics, Explosion, Seismic-acoustic record, explosive weight, Detonation velocity, TNT, Firework

## 1. Giriş

İnsan kaynaklı patlamalar, depremlere benzer titreşimler oluşturmakta, bu yer sarsıntılarını yapay deprem olarak adlandırılmaktadır. Soğuk Savaş döneminde ve günümüzde Kuzey Kore'nin yapmış olduğu nükleer denemeler sismograf kayıtları ile takip edilmiş; deney yerleri ve nükleer testlerin büyüklükleri diğer ülkeler tarafından tespit edilmiştir. Nükleer testlerin izlenmesi haricinde, bombalı terör saldırıları, maden kazaları, uçak kazaları, yakıt boru hattı patlamaları gibi endüstriyel kazalarda da sismik ayıtlar kullanılmıştır. Endüstriyel kazaların ve terör saldırılarının küresel ölçekte artması ile birlikte, patlamanın büyüklüğü ve infilak eden patlayıcı miktarının belirlenmesine yönelik deneysel ve analitik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu amaçla, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) ve İsrail tarafından deneysel çalışmaları da içeren kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Türkiye'de ise patlamalarla ilgili deneysel araştırma ve yayın hemen hemen bulunmamaktadır. Ülkemizde ise, Kuran ve Polat (2016 ve 2017) tarafından yapılan çalışmada, FETÖ terör örgütü tarafından gerçekleştirilen 15 Temmuz 2016 darbe girişiminde, savaş uçaklarıyla gerçekleştirilen bombalı saldırıların zamanları sismik kayıtlar kullanılarak hesaplanmış; saldırıların nereye ve kaç kez gerçekleştirildiği belirlenmiştir.

03 Temmuz 2020 tarihinde Sakarya ili Hendek ilçesinde faaliyet gösteren Büyük Coşkunlar Piroteknik Kimya Sanayi Havai Fişek Oyuncak Pazarlama Tic. ve Ltd. Şti. isimli şirkete ait havai fişek üretimi yapılan fabrikada art arda patlamalar meydana gelmiştir. Havai fişek üretiminde kullanılan piroteknik karışımlar çeşitli kimyasal karışımlardan oluşmaktadır. Bileşenleri oluşturan kimyasalların yanma enerjisinin büyüklüğü patlama şiddetine etkisini doğrusal olarak etkilememektedir. Bu nedenle havai fişekler şiddetli patlayıcı grubunda değerlendirilmemektedir. Havai fişeklerin atım mesafelerine göre kullanılan kara barut miktarının değişmesi nedeniyle, havai fişeklerin eşdeğer TNT miktarı hesaplamasında her bir kimyasal malzemenin patlamada üretilen enerjilerinin toplamı olarak kullanılmamaktadır.

## 2. Sismik ve Akustik Kayıtlar Kullanılarak Patlayıcı Miktarının Belirlenmesi

### 2.1. Yapay Depremın Magnitüd Büyüklüğü Parametresi

Patlama sonucu oluşan yapay depremin magnitüd büyüklüğü ile patlayıcı miktarı arasındaki bir çok araştırmacı tarafından görgül (ampirik) denklemler geliştirilmiştir. ABD'de Kaliforniya ve Nevada'da karada gerçekleştirilen yüzeyde ve yeraltında yapılan 322 kontrollü patlatma sonucu, coda magnitüd ( $M_c$ ) ile patlayıcı miktarı  $W$  (kg) arasında Eşitlik(1)'de verilen ilişki geliştirilmiştir. Patlayıcı miktarı 25 kg ile 1 000 000 kg arasında, yapay depremin magnitüd büyüklükleri ise 0,5 ile 3,9 arasındadır (Brocher, 2003).

$$M_c = 0,31 + 0,50 \log(W) \quad (1)$$

Yüzey patlamalarında yayılan enerjinin çoğu etrafındaki cisimlere ve şok dalgası (air-blast) olarak atmosfere yayılmaktadır. Zemine aktarılan sismik enerji atmosfere yayılan enerjiye oranla çok daha düşüktür. Bu nedenlerle, yapay deprem büyüklüğü kullanılarak infilak eden patlayıcının miktarını hata oranı düşük olarak hesaplamak çoğu durumda sorunlu olabilmektedir. Patlama, çevredeki yapılarda deformasyon, patladığı yerde ise krater oluşturmaktadır (Gitterman ve Hofstetter, 2012).

### 2.2. Krater Boyutları Parametresi

Patlayıcı miktarının hesaplanmasında kullanılan klasik yöntem, patlama sonucunda oluşan kraterin (patlama çukuru) çapı ve derinliğinin ölçülmesi ve geliştirilen görgül denklemler kullanılarak hesaplanmasıdır. Oluşan kraterin çapı ve derinliği, patlayıcının türüne, yüzeyden yüksekliğine, zeminin yapısına, zeminin kuru veya suya doygun oluşuna göre büyük değişkenlik gösterebilmektedir. Kumlu zeminlerde krater çapı kohezyonlu zeminlere göre daha fazla olmakta, krater derinliği ise daha az olmaktadır. Bu değişkenler, patlayıcı miktarının hesaplanmasında büyük hata oranına neden olabilmektedir. Ayrıca krater boyutlarının ölçümü ancak kriz ortamı sonrasında yapılabilmektedir. 200 adet yüzeyde ve yüzey üstündeki patlamalardan Eşitlik(2) ile verilen görgül ilişki bulunmuştur (Gitterman ve Hofstetter, 2012; Ambrosini vd., 2004).

$$D = 8W^{1/3} \quad (2)$$

Ambrosini vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada patlayıcının yüzeyde olması durumunda krater çapı ve patlayıcı arasındaki görgül ilişki Eşitlik(3)'de verilmektedir.

$$D = 4,2W^{1/3} \quad (3)$$

Rusya'da büyük miktarda patlayıcılarla gevşek zeminlerde yapılan patlatma deneyleri sonucunda, Adushkin ve Khristoforov (2004) tarafından krater çapı ve derinliğine bağlı olarak geliştirilen ilişki Eşitlik(4)'de verilmektedir.

$$D = 2x3,36W^{0,336}; H = 1,78W^{0,316} \quad (4)$$

Bu eşitliklerde; D: krater çapı (m), H: krater yüksekliği (m) W: ton olarak patlayıcının eşdeğer TNT ağırlığıdır.

### 2.3. Hava Şoku Basıncı Parametresi

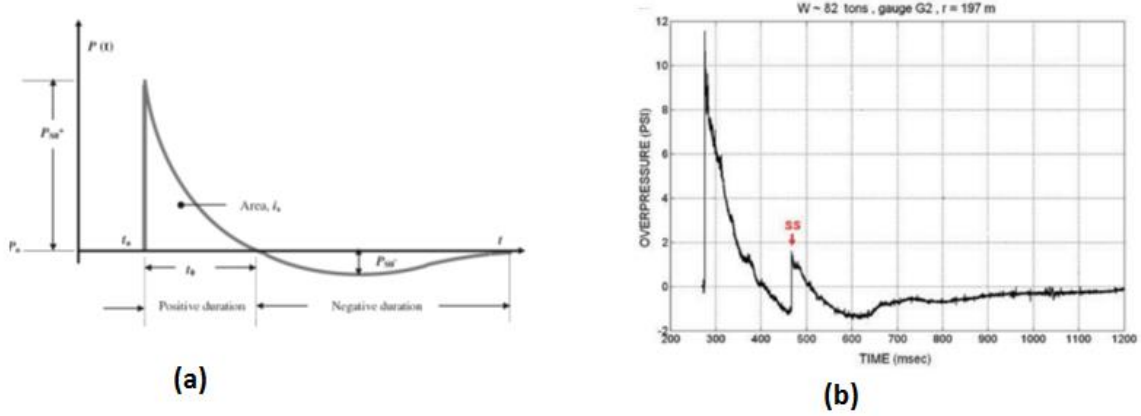
Patlama yerine yakın yerleşim yerlerinde meydana gelen yapısal hasarların dağılımından, özellikle cam kırılması, tavanlardaki hasarlar veya yapısal elemanlardaki diğer hasarlara bağlı infilak eden patlayıcı miktarının TNT eşdeğeri miktarı belirlenebilmektedir. Patlama sonucu oluşan hava şoku patlama merkezine uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu azalım ilişkisi Eşitlik(6) ile verilmektedir (Karlos and Solomos, 2013). Patlama yerine yakın binalardaki hasar durumuna bağlı olarak, bu hasarı oluşturan hava şoku basıncı tespit edilip, Eşitlik(5) kullanılarak patlayıcı miktarı hesaplanabilmektedir.

$$P_{so} = P_o \frac{808 \left[ 1 + \left( \frac{R}{4,5} \right)^2 \right]}{\left[ \left[ 1 + \left( \frac{R}{0,048} \right)^2 \right] \left[ 1 + \left( \frac{R}{0,32} \right)^2 \right] \left[ 1 + \left( \frac{R}{1,35} \right)^2 \right] \right]^{0,5}} \quad (5)$$

Bu denklemde  $P_{so}$ ; Hava şoku yayılımı doğrultusunda patlama ile oluşan hava şoku basıncı (bar) R: ölçeklendirilmiş mesafe ( $m/kg^{1/3}$ ),  $P_o$ ; atmosfer basıncı (1,013 bar) olarak tanımlanmıştır.

### 2.4. İkincil Şok Dalgası Parametresi

Gitterman (2013), Gitterman ve Hofstetter (2012), İsrail'de deneysel olarak yapılan büyük ölçekli yüzey patlamalarından, patlayıcı miktarını belirlemek için ikincil şok dalgası gecikme zamanı parametresi geliştirmiştir. İkincil şok dalgası kavramı genel olarak önceden beri bilinmesine karşılık, ikincil şok basıncının ana şoka göre çok küçük olmasından dolayı genellikle yok sayılmış, sınırlı araştırmacılar tarafından bu durum rapor edilmiştir. İlk kez bu çalışmalar ile kapsamlı olarak irdelenmiş ve patlayıcı miktarının hesaplanması amaçlı bir parametre olarak kullanılmıştır. Patlama ile birlikte oluşan ana şok sonrasında, patlayıcı madde ile hava arasındaki temas yüzeyinden dolayı kırılan dalgaların (refraction waves) patlama merkezine doğru ilerlemesi ve yeryüzü ile teması sonrası tekrar dışa doğru yansımından ikincil şok dalgaları oluşmaktadır. Bazı yüzey patlamalarında ikincil şok dalgası sonrasında üçüncül dalgalar da gözlenebilmektedir.



**Şekil 1. a) Literatürdeki ana hava şokunun zamanla değişimi b) Bir patlamaya basınç zaman azalımı ilişkisinde ana şok sonrası gözlenen ikincil şok (Gitterman, 2013)**

İkincil şok dalgası gecikme zamanı, ikincil şok dalgası ile ana şok dalgasının kayıtcıya varış zaman farkı olarak tanımlanmaktadır ( $\Delta t = t_{SS} - t_{MS}$ ). ANFO türü patlayıcı kullanılarak yapılan kontrollü patlatmalar sonucunda TNT eşdeğeri patlayıcı miktarı ile ikincil şok dalgası arasındaki ilişki;

$$Dt \left( s/kg^{1/3} \right) = 0,0057565 \log(R) + 0,0033 \quad 2 < R < 1000m/kg^{1/3} \quad (6)$$

IMI (Israel Military Industries Ltd) türü yüksek patlama hızına sahip patlayıcı kullanılarak elde edilen ilişki;

$$Dt \left( s/kg^{1/3} \right) = 0,0039144 \log(R) + 0,0017 \quad 4 < R < 14m/kg^{1/3} \quad (7)$$

olarak verilmektedir. Bu eşitliklerde Dt, ölçeklendirilmiş ikincil şok dalgası gecikme zamanı ( $s/kg^{1/3}$ ), R ölçeklendirilmiş mesafe ( $m/kg^{1/3}$ ) olup;

$$Dt = \Delta t / W^{1/3} \left( s/kg^{1/3} \right); R = r / W^{1/3} \left( m/kg^{1/3} \right) \quad (8)$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik(8)'de  $\Delta t$  ikincil şok dalgası ve ana şok dalgasının kayıtcıya varış zamanı farkı (s), r kayıtcının patlama yerine mesafesi (m), W ise patlayıcının TNT eşdeğeri ağırlığıdır (kg). Bu parametrenin kullanılarak patlayıcı miktarının hesaplanmasında patlama zamanının bilinmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Buna ilave olarak sıcaklık, rüzgâr hızı ve doğrultusunda etkilenmemektedir. Nükleer patlamalarda, kimyasal bir tepkime olmaması nedeni ile ikincil şok dalgası oluşmamaktadır. Bu nedenle nükleer patlama ayırımı içinde de bir parametre olarak kullanılabilir.

Rigyby ve Gitterman (2016) tarafından yukarıda belirtilen deneysel bulgulara ilave olarak, daha önceden farklı araştırmacılar tarafından yapılmış olan deneysel veya kazalara ait kayıtları da kullanarak ikincil şok dalgası gecikme zamanının geliştirdikleri görgül denklemlerle örtüşüğünü tespit etmişlerdir. Bu patlamalar;

- 20 ton ANFO ve 100 ton ANFO patlamasına ait 67,6 m ve 749,8 m. uzaklıktaki basınçölçer kayıtları (ölçeklendirilmiş mesafeler  $2,62-16,66 m/kg^{1/3}$ ),

- 1991 ve 1993 yıllarında ABD'de White Sands Füze Sahası'nda, Beyrut'taki patlamaya benzer büyüklükte, 2210 ton ve 2442 ton ANFO'nun patlatıldığı Distant Image ve Minor Uncle deneylerine ait 1500 m ve 50000 m uzaklıktaki basınçölçer kayıtları (ölçeklendirilmiş mesafeler  $211,5-383,9 m/kg^{1/3}$ ),

- 830 kg TNT ve 360 kg Composition B türü patlayıcılar kullanılarak yapılan deneylere ait basınçölçer kayıtları (ölçeklendirilmiş mesafeler  $0,74-2,02 m/kg^{1/3}$ )

- Sheffield Üniversitesi'nde 27 adet C4 türü patlayıcılar kullanılarak gerçekleştirilen küçük ölçekli patlatma deneylerine ait basınçölçer kayıtları (ölçeklendirilmiş mesafeler  $3,17-15,87 m/kg^{1/3}$ ),

- 0,25 kg PETN kullanılarak gerçekleştirilen 6 adet patlatma deneyine ait basınçölçer kayıtları (ölçeklendirilmiş mesafeler  $3,17-9,52 m/kg^{1/3}$ ),

olarak sıralanmaktadır. Bu ilave veriler de kullanılarak, Rignyby ve Gitterman (2016) tarafından ikincil şok dalgası gecikme zamanı kullanılarak, eşdeğer TNT ağırlığına dönüştürülmeden her türlü patlayıcı cinsi için, patlayıcı türünün doğrudan ağırlığını veren ve Eşitlik(9) ile verilen ilişki geliştirilmiştir.

$$\tau_{SS} = \Delta t_{Vod} / \left( \rho W_{\text{explosive}} \right)^{1/3} \quad (9)$$

$$\tau_{SS} = 2,45 \log R + 1,36$$

Bu eşitlikte;  $\tau_{SS}$  ikincil şok dalgası parametresi,  $W_{\text{explosive}}$  patlayıcı malzemenin ağırlığı (kg),  $\Delta t$  ikincil şok dalgası gecikme zamanı (s), R ölçeklendirilmiş mesafe ( $\text{m/kg}^{1/3}$ )  $V_{od}$  patlayıcının patlama hızı (m/s),  $\rho$  patlayıcının yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ) olarak tanımlanmaktadır. Bu eşitlikle hesaplanan patlayıcı ağırlığı TNT eşdeğeri olmayıp, doğrudan infilak eden patlayıcının ağırlığıdır.

**Tablo 1. Bazı Patlayıcı Türlerinin Yoğunlukları ve Patlama Hızları**

Patlayıcı Türü	Yoğunluk, $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	Patlama Hızı, $V_{od}$ (m/s)
ANFO	810-840	4250-4400
CompB	1717	7980
IMI	1600	7500
C4	1601	8193
PETN	1770	8300
TNT	1630	6930
Kara Barut	1700	300-500

### 3. 3 Temmuz 2020 Sakarya-Hendek Havai Fişek Fabrikası Patlaması ve Patlamaya Ait Sismik-Akustik Kayıtlar

03 Temmuz 2020 tarihinde Sakarya ili Hendek ilçesi Yukarı Çalica Mahallesi Tepeaçma mevkiinde faaliyet gösteren, Büyük Coşkunlar Piroteknik Kimya Sanayi Havai Fişek Oyuncak Pazarlama Tic. ve Ltd. Şti. isimli şirkete ait fabrikada art arda patlamalar meydana gelmiştir. Yaşanan olay sonucunda 7 kişi vefat etmiş, 127 kişi ise yaralanmıştır. Patlama yerine yakın olan sismik istasyonların incelenmesi sonucunda, AFAD ve Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından işletilen GULT, MDUB, SAUV, SAHE, KAYN ve GEYV kodlu sismik istasyonları tarafından patlamaların kaydedildiği görülmektedir (Tablo 2). Patlamaya ait sayısal veriler, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Türkiye Deprem Veri Merkezi Sistemi (TDVMS) sistemi kullanılarak temin edilmiştir.

**Tablo 2. Patlamanın Kaydedildiği Sismik İstasyonlar ve Patlama Yerine Olan Mesafeleri**

Sismik İstasyon	Patlama Yerine Mesafesi (metre)
GULT	41600
MDUB	61160
SAUV	25270
SAHE	20890
KAYN	29730
GEYV	44190

Yüzey patlamaları sonucunda sismik istasyonlar tarafından kaydedilen titreşim dalgaları iki ana dalga fazından oluşmaktadır. Bunlardan ilki ve sismik istasyona ilk gelen dalga fazı olan sismik dalgalarıdır. Sismik P dalgası hızı yaklaşık 5000 m/s'dir. İkincisi ve sismik istasyonda daha sonra gelen dalga ise, akustik dalga fazıdır. Akustik dalga hızı, diğer bir ifade ile ses dalgası hızı, yaklaşık 340 m/s olup, bu hız sıcaklık, rüzgâr hızı ve doğrultusu ile patlayıcı miktarına göre değişebilmektedir. Patlamalar sonucu oluşan sismik ve akustik dalga fazları Şekil 2-4 arasında verilmektedir.



Şekil 2. SAUV İstasyonu Tarafından Kaydedilen Sismik ve Akustik Dalga Fazları



Şekil 3. SAHE İstasyonu Tarafından Kaydedilen Sismik Dalga ve Akustik Dalga Fazları (Ex.1 ve Ex.6 olmak üzere iki ayrı patlamaya ait sismik dalga)



Şekil 4. GULT İstasyonu Tarafından Kaydedilen Sismik ve Akustik Dalga Fazları

Eğer bir patlamanın coğrafi konumu ve sismik istasyonların patlamaya olan mesafeleri biliniyorsa, doğrudan P dalgaları hızı hesaplanarak patlamanın zamanı kolayca hesaplanabilmektedir. Sismik kayıtların analizi sonucunda ilk patlamanın zamanı yerel saat ile 11:15:16,73 olarak hesaplanmıştır. Patlama sonucu oluşan sismik ve akustik dalgaların analizinden 7 ayrı patlama tespit edilmiştir. Tablo 3’de olayda meydana gelen patlamaların

zamanları verilmektedir. İlk patlama en büyük patlama olup, yerel saat ile 11:15:16,73'de meydana gelmiştir. Diğer altı patlamalar, ilk patlamadan sırası ile 0,76 s, 3,26 s, 9,28 s, 93,90 s, 96,27s ve 111,17 s sonra meydana geldiği hesaplanmıştır. Bu patlamalar büyüklük sırasıyla Ex.1, Ex.2, Ex.6, Ex.3, Ex.5, Ex. 4 ve Ex.7 olarak sıralanmaktadır. Yazılı basında konu hakkındaki haberlerde de 7 ayrı patlama çukuru olduğu bilgisi verilmektedir. Bu bakımdan sismik kayıtlar ile örtüşmektedir. Yine yazılı basında, ilk patlamanın birlikişi raporuna atıf yapılarak, 11:16,22'de meydana geldiği bilgisi bulunmaktadır. Sismik kayıtlar ile hesaplanan ilk patlama zamanı ile basında verilen patlama zamanı arasında yaklaşık 65 saniye fark bulunmaktadır.

Sismik kayıtların analizinden P dalgası ortalama hızı 5500 m/s civarında hesaplanmıştır. Patlama mahallinde kaza anındaki hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı bilinmemesine karşılık hava sıcaklığı 27 derece alındığında, ses hızı 347,4 m/s olmaktadır. Patlama ile birlikte oluşan hava şoku ile ses hızı artmaktadır. Rüzgâr hızı ve doğrultusuna bağlı olarak da, bu ses hızında değişim (artış/azalış) olmaktadır. Sismik ve akustik kayıtların analizinden SAUV istasyonu için ortalama ses dalgası varış hızı 349,7 m/s olarak hesaplanmıştır. Patlama sonrası ses dalgası hızı, hava şokunun sönmülmesi ile atmosferik koşullarındaki ses hızına düşmektedir. 41,6 km. uzaklıktaki GULT istasyonuna ses dalgası varış ortalama hızı, ses hızının altında, 342,4 m/s hesaplanmıştır. Bu durumun nedeni ise, GULT istasyonuna ulaşan ses dalgalarının doğrultusunun, rüzgâr hızı doğrultusuna zıt yönde olmasından kaynaklanmaktadır.

**Tablo 3. Patlamaların Sismik Kayıtların Analizinden Hesaplanan Oluş Zamanları**

Patlama Kodu	Patlama Zamanı (Yerel saat)
Ex.1	11:15:16,73
Ex.2	11:15:17,49
Ex.3	11:15:19,99
Ex.4	11:15:26,01
Ex.5	11:16:50,63
Ex.6	11:16:53,00
Ex.7	11:17:07,90

Görsel basında yayınlanan bir işyeri kamerasına ait video görüntüsünde, bir işyerine ait pencere camındaki titreşimlerden ilk patlamalar açıkça gözükmemektedir. Video görüntüsünün anlık fotoğrafı Şekil 5'de verilmektedir. Video görüntüsünün özel bir yazılım ile analizinden, ilk patlamadan 3,2 s ve 9,2 s sonra pencere camında hava şoku ile meydana gelen titreşim açıkça gözükmemektedir. Bu patlamalar sismik ve akustik kayıtlardan elde edilen Ex.1, Ex.3 ve Ex.4'e karşılık gelmektedir. Ex.2 ile Ex1. arasında 0,76 sn. gibi çok kısa bir zaman farkı bulunmasından dolayı, penceredeki titreşimden birinci ve ikinci patlama ayrımı yapılamamıştır. Görüldüğü üzere sismik ve akustik kayıtlar ile bu video görüntüsünden elde edilen zaman farkları birebir örtüşmektedir. Video kaydı daha sonraki patlamaları içermediğinden bu patlamalara ait bir değerlendirme yapılamamıştır.



**Şekil 5. Video Görüntüsünden Alınan Patlama Anı Fotoğrafı**

#### 4. Patlamalarda İnfalak Eden Piroteknik Malzeme Miktarları

##### 4.1. Havai Fişek Üretiminde Kullanılan Patlayıcı Miktarı ve TNT Eşdeğeri Çarpanı

Havai fişek üretiminde kullanılan piroteknik karışımlar beş ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla;

- Yakıt: Yıldızların yanmasını sağlar
- Oksitler: Bu bileşim oksijen üreterek yakıtın daha iyi yanmasını sağlar.
- Renk: Kimyasallar tarafından üretilir.
- Tutkal: Yıldızları oluşturan kimyasalların bir arada kalmasını sağlar.
- Klor verici: Renkli alevin gücünü artırır. Bazen oksitlerde bu işlevi yerine getirir.

Oksitleyici olarak kullanılan kimyasalın yanma enerjisinin patlama şiddetine etkisi ile itici ve yakıcı olarak kullanılan kimyasalın yanma enerjisinin patlama şiddetine etkisi aynı değildir. Bu nedenle havai fişekler şiddetli patlayıcı grubunda değerlendirilmezler. ADR (Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığa İlişkin Avrupa Anlaşması) kapsamında yayınlanan “Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik” gereği “Patlayıcı” sınıfı malzemeler 6 ana grupta tanımlanmaktadır. ADR Yönetmeliği bölüm: 2.2.1.1.7.5’de havai fişek gruplaması verilmektedir. Bu çizelgeye göre Roma kandili, roket, küre veya silindir, torpil, şelale, çağlayan, maytaplar, Bengal çubuğu, topaç, fırladıklar, havai fırladık, kestane fişeği, hızlı fırlatıcı gibi havai fişekler 1.3G veya 1.4.G grubunda sınıflandırılmaktadır.1.3 ve 1.4 Grup patlayıcılar “toplu patlama tehlikesi olmayan madde ve nesnelere” olarak tanımlanmaktadır.

Havai fişeklerin atım mesafelerine göre kullanılan kara barut miktarı değişmesi nedeniyle patlama sesi barutu, perklorat/metal esaslı bileşenler veya nitrat/metal esaslı bileşimlerden oluşan net patlayıcı muhtevası TS EN 15947 gereği ortalama 2nci sınıflar için 75 gr, 3ncü sınıflar için 300 gr’dan fazla olamaz. Bu tanımlamalara göre havai fişeklerin TNT eşdeğer hesaplamasında her bir kimyasalın patlamada üretilen enerjilerin toplamı kullanılmamaktadır. Bu yöntemle hareket edilmesi durumunda TNT den daha güçlü hatta PETN değerinde patlayıcı tanımlı yapılır ki, bu da havai fişek kullanım amacına uygun olmaz. Yapılan hesaplamalara göre belirlenen TNT eşdeğerleri; atom bombası görünümünde patlayan havai fişekler için mesafeye göre 0,06 ile 0,26 arası, çin imali havai fişekler için mesafeye göre 0,04 ile 0,23, palmye görünümünde patlayan havai fişekler için mesafeye göre 0,03 ile 0,15 arası, çiçek görünümünde patlayan havai fişekler için mesafeye göre 0,10 ile 0,50 arası TNT eşdeğeri çarpanı bulunmuştur. Kanada patlayıcı maddeler yönetmeliğinde, taşıma ve depolama için güvenlik önlemlerinin belirlenmesinde, havai fişek ürünün ağırlığının % 75’i kadar piroteknik malzeme karışımı olduğu, patlayıcı sınıfına bağlı olarak bu ağırlığın % 50-70’i kadar da eşdeğer TNT ağırlığı olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda 100 kg havai fişek ürününde, 75 kg piroteknik malzeme karışımı olmaktadır. Eşdeğer TNT ağırlığı ise, çarpan bu yönetmelikte tanımlanan 0,5 ve 0,7 olarak alındığında, 37,5-52,5 kg arasında olmaktadır. Tanaka (1996) tarafından yapılan deneysel çalışmada havai fişeklerin eşdeğer TNT çarpanı 0,5 olarak verilmektedir. Bu nedenle, TNT ağırlığı olarak verilen denklemler kullanılarak elde edilen miktarlar piroteknik karışım ağırlığına dönüştürürken, TNT eşdeğer çarpanı 0,5 olarak alınmıştır.

##### 4.2. Krater Çapı Parametresine Göre İnfalak Eden Patlayıcı Miktarları

Basında, bilirkişi raporuna atıf yapılarak, 7 ayrı patlama ve krater (patlama çukuru) olduğu bilgisi verilmektedir. Bu patlama çukurlarının boyutları ve Eşitlik(2), Eşitlik(3) ve Eşitlik(4)’e göre hesaplanan TNT eşdeğeri ağırlıklar ve piroteknik karışım ağırlığı Tablo 4’de verilmektedir. Yukarıda da değinildiği üzere eşdeğer TNT ağırlıklarından piroteknik karışım ağırlığına dönüştürülürken 0,5 çarpanı kullanılmıştır. Buna göre, 1 kg piroteknik karışımın patlaması 0,5 kg TNT’ye eşdeğer olmaktadır

Tablo 4’den görüldüğü üzere krater çapına göre farklı araştırmacılar tarafından önerilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan eşdeğer TNT ağırlıkları arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Bunun temel nedeni olarak, elde edilen eşitliklerde patlayıcıların küresel formda istiflenmesi ve zemin yapısındaki değişkenlik olduğu değerlendirilmektedir. Kazada havai fişekler küresel formda değil, dikdörtgen planda (yapı planında) istiflenmektedir. Daha önce de değinildiği üzere, zeminin sertliği veya daneli olmasına göre de krater çapı büyük değişkenlik göstermektedir. En düşük eşdeğer TNT ağırlığı, Eşitlik(2) ile elde edilmiştir. Bu nedenle Eşitlik(2) kullanılarak hesaplanan eşdeğer TNT ağırlıkları, eşdeğer TNT çarpanı 0,5 ile bölünerek, piroteknik karışım ağırlıklarına dönüştürülmüştür. Krater çapı parametresine göre toplamda (7 ayrı patlamada) 47867 kg piroteknik karışım infalak ettiği hesaplanmıştır. Basında bilirkişi raporuna atıf yapılarak verilen bilgilerdeki TNT ağırlıkları, muhtemelen aynı eşitlik kullanıldığından, Eşitlik(2) kullanılarak hesaplanan eşdeğer TNT ağırlıkları ile aynıdır. Ancak piroteknik malzeme ağırlığına dönüştürüldüğünde yaklaşık 2,35 kat daha düşük (gök bombası olarak) verilmektedir. Örnek olarak basında verilen bilgilerde 13396 kg TNT eşdeğeri, 5700 kg gök bombası olarak verilirken, bu çalışmada aynı TNT eşdeğeri ağırlığı 26793 kg piroteknik olarak hesaplanmıştır. En kuvvetli



patlayıcılarda bile bu çarpan 1,37 (C4 patlayıcı türü için) mertebesindedir. Piroteknik malzemelerin TNT'den daha kuvvetli bir patlayıcı türü olması mümkün değildir. Piroteknik malzemelerin eşdeğer TNT çarpanı, TNT'ye göre daha etkisiz olduklarından, aksine 1,0'dan küçüktür.

**Tablo 4. Krater Çapı, Eşdeğer TNT Ağırlıkları ve Eşdeğer Çarpanı 0,5 Alınarak Hesaplanan Piroteknik Malzeme Ağırlıkları**

Krater	Krater çapı (m)	Eşitlik(2) (TNT-kg)	Eşitlik(3) (TNT-kg)	Eşitlik(4) (TNT-kg)	Eşitlik(2)'ye Göre Piroteknik Malzeme Ağırlığı (kg)
KR1	19	13396	92579	22050	26793
KR2	10	1953	13497	3264	3906
KR3	10	1953	13497	3264	3906
KR4	11	2599	17965	4335	5199
KR5	10	1953	13497	3264	3906
KR6	10	1953	13497	3264	3906
KR7	4	125	864	214	250
Toplam		23934	165398	39655	47867

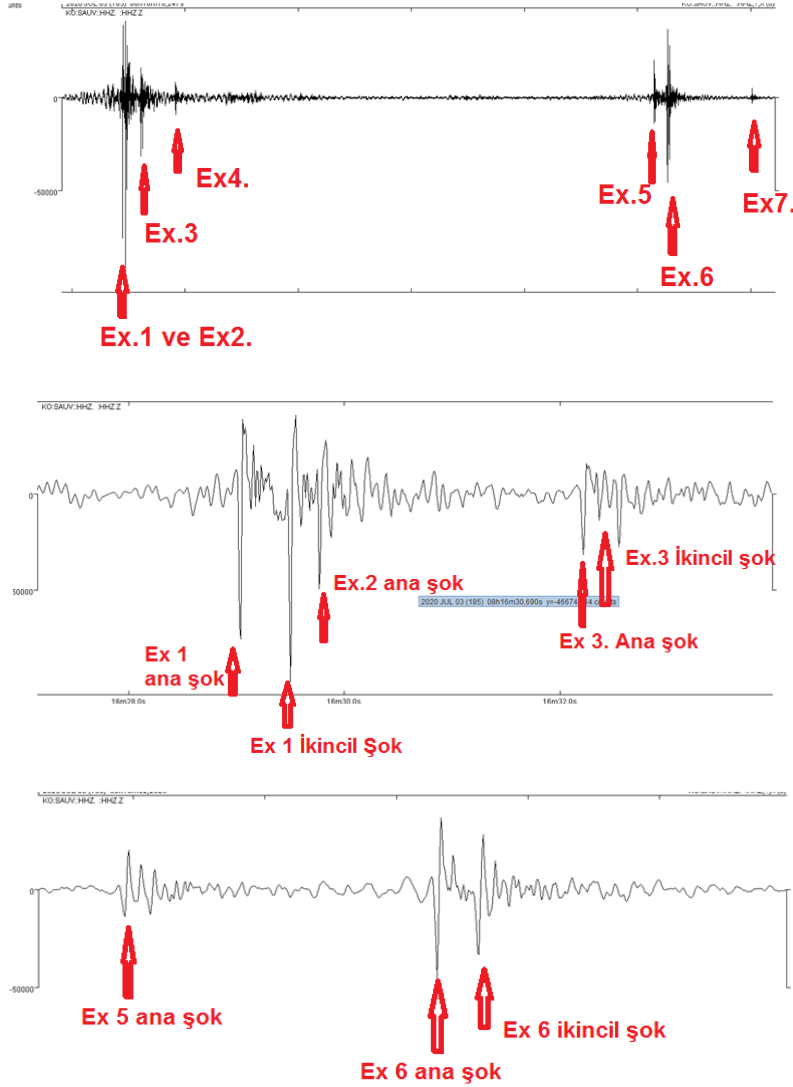
#### 4.3. Hava Şoku Basıncı Parametresine Göre İnfalak Eden Patlayıcı Miktarları

Patlama yerine en yakın mahallelerde meydana gelen yapısal hasarların dağılımından, özellikle cam kırılması, tavanlardaki hasarlar veya yapısal elemanlardaki diğer hasarlara bağlı infalak eden patlayıcı miktarının TNT eşdeğeri miktarı hesaplanmıştır. Çevresel etkilere göre tanımlanan sınır basınç değerlerinde önemli sınır durumu, cam kırılmalarının olduğu 1 kPa hava şoku basınç değeridir. Diğer bir sınır değer ise cam kırıklarının daha yoğun olmasının yanı sıra tavanlarda gözlenen hasarların olması ve can güvenliği için güvenli mesafe olarak tanımlanan 2 kPa basınç sınır değeridir (Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs, 1994). Patlama sonucunda çevre yerleşim yerlerinde yerinde inceleme yapılmamış olmamasına karşılık, basından elde edilen verilere göre bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır. Cam kırıklarının gözlemlendiği en uzak mahalle Sukenarı Mahallesi, patlama yerine yaklaşık 1800 metre mesafededir. Bu mahallede oluşan hasar göz alındığında en büyük patlamada 1 kPa civarında hava şoku basıncı olduğu kabul edilmiştir. Patlama yerine yaklaşık 900 metre uzaklıktaki Akarca ve Yukarıcağıl Mahallerinde ise, basından elde edilen hasar bilgilerine göre, en büyük patlamada 2 kPa hava şoku basıncı olduğu değerlendirilmiştir. Kuşkusuz bu değerlendirmenin en sağlıklı yolu yerinde inceleme yapılması ve hasar dağılımının belirlenmesidir. Eşitlik(6) kullanılarak, 1800 metre mesafedeki Sukenarı Mahallesinde 1 kPa hava şoku basıncı oluşturan patlayıcı miktarı, TNT ağırlığı olarak 10000 kg olarak hesaplanmıştır. 900 metre mesafedeki Akarca ve Yukarıcağıl Mahallelerinde 2 kPa hava şoku basıncı oluşturan patlayıcı miktarı TNT ağırlığı olarak 9600 kg olarak hesaplanmıştır. Her iki duruma göre en büyük hasara neden olacak en büyük patlamada (Ex.1 kodlu) 10000 kg TNT ağırlığı hesaplanmıştır. Diğer patlamalar daha küçük olduğundan hasar da daha az olacak, oluşan hava şoku da daha küçük olduğundan, benzer analizi yapmak anlamsızdır. Eşdeğer TNT çarpanı 0,5 alındığında Ex.1 kodlu en büyük patlamada infalak eden piroteknik malzeme ağırlığı 20000 kg olmaktadır.

#### 4.4. İkincil Şok Dalgası Parametresine Göre İnfalak Eden Patlayıcı Miktarları

SAUV istasyonunda patlama sonucu oluşan 7 patlamaya ait akustik dalgalar net olarak görülmektedir. Bu sismik istasyonda 7 ayrı patlamaya ait akustik dalga fazları Şekil 6'da verilmektedir. Bu kayıtlar kullanılarak en büyük patlama olan Ex.1 ile birlikte Ex.3 ve Ex.6 patlamalarındaki ikincil şok dalgası gecikme zamanları akustik dalga fazından ölçülmüştür. Ex.2 ile Ex.1 arasındaki patlama zaman farkı çok kısa olduğundan Ex.2 için ikincil şok dalgası gecikme zamanı çok belirgin olmadığından kayıtlardan ölçülemediği görülmüştür. Havai fişeklerin imalatında çok farklı karışımlar bulunmakta ve her bir karışımın yoğunluğu ve patlama hızı arasında büyük farklılık bulunmaktadır. Scheutzow (2012), farklı karışımlara ait patlama hızını deneylerle belirlemeye yönelik çalışmasında da piroteknik maddelerin yoğunlukları ve patlama hızları arasında büyük değişkenlik bulunmuştur. Üretimin yapıldığı fabrika depolarındaki piroteknik maddelerin patlama hızı bilinmemesine karşılık, patlayıcı türünün TNT ve ANFO olması, Tanaka (1996) tarafından havai fişeklerdeki piroteknik malzeme karışımlarının patlama hızı 2000 m/s mertebesinde ve Scheutzow (2012) tarafından verilen kıvılcığı piroteknik malzeme deney sonuçları baz alınarak, yoğunluk 1300 kg/m<sup>3</sup>, patlama hızı 6000 m/s olarak alınarak ve Eşitlik(9) kullanılarak

infilak eden malzemenin ağırlıkları hesaplanmıştır (Tablo 5). İnfilak eden piroteknik malzemenin, patlama sonucu oluşan çevresel etkiler dikkate alındığında, Tanaka (1996) tarafından havai fişeklerde deneysel olarak bulunan patlama hızı 2000 m/s olması mümkün değildir. Zira bu durumda 3 patlamada (Ex.1,Ex.3 ve Ex.6) toplam 896 kg infilak etmiş hesaplanmaktadır. Kazada infilak eden patlayıcının patlama hızının TNT ve ANFO'nun arasında (4400 ila 6930 m/s arasında) olduğu değerlendirilmektedir. Patlama hızına bağlı olarak, hesaplanacak miktarlar da değişecektir.



Şekil 6. Hendek Havai Fişek Fabrikası Patlamasına Ait 25,27 km. Uzaklıktaki SAUV Sismik İstasyonu Kaydının Düşey Bileşenin Ana Şok ve İkincil Şok Dalgaları

**Tablo 5. İkincil Şok Dalgası Gecikme Zamanına Göre İnfilak Eden Piroteknik Ağırıkları**

Patlama Kodu	Patlama Zamanı (Yerel saat)	İkincil Şok Dalgası Gecikme Zamanı, $\Delta t$ (sn.)	TNT W (kg)	ANFO W (kg)	Piroteknik karışım, VoD=2000m/s W (kg)	Piroteknik karışım, VoD=6000m/s W (kg)
Ex.1	11:15:16,73	0,474	36300	14500	700	28750
Ex.2	11:15:17,49	N*	N*	N*	N*	N*
Ex.3	11:15:19,99	0,154	795	320	16	630
Ex.4	11:15:26,01	N*	N*	N*	N*	N*
Ex.5	11:16:50,63	N*	N*	N*	N*	N*
Ex.6	11:16:53,00	0,318	9270	3730	180	7350
Ex.7	11:17:07,90	N*	N*	N*	N*	N*
Toplam			46365	18550	896	36730

N\*: ikincil şok dalgası belirgin değildir.

#### 4.5. Patlayıcı Miktarı Hakkında Genel Değerlendirmeler

Yukarıda da değinildiği üzere çevresel etkiler dikkate alınarak hava şoku basıncına göre en büyük patlama olan Ex.1 kodlu patlamada eşdeğer TNT çarpanı 0,5 alınarak, 20000 kg piroteknik malzemenin infilak ettiği hesaplanmıştır. Krater çapına göre ise en büyük patlamada (Ex.1), eşdeğer TNT çarpanı 0,50 alınarak 26793 kg piroteknik malzemenin infilak ettiği hesaplanmıştır.

İkincil şok dalgası gecikme zamanına göre ise piroteknik malzemenin patlama hızı, 2000 m/s olarak alındığında 896 kg, 6000 m/sn olarak alındığında 28750 kg piroteknik malzemenin infilak ettiği hesaplanmıştır. İkincil şok dalgası gecikme zamanına göre hesaplanan patlayıcı miktarındaki bu değişim patlama hızındaki kabulden kaynaklanmaktadır. Daha öncede değinildiği üzere, bu tür malzemelerin patlama hızı deneysel olarak ölçülmesi durumunda detaylı bir hesaplama yapılabilir. Ancak hava şoku ve krater çapına göre hesaplanan miktarlara göre, piroteknik malzemenin patlama hızının 5400 m/s mertebesinde olduğu değerlendirilmektedir. Özellikle madencilikte kullanılan ANFO'nun patlama hızı 4250-4400 m/s, TNT'nin ise 6930 m/s'dir. Kazada infilak eden piroteknik malzemenin patlama hızı ise bu iki kuvvetli patlayıcı türleri arasındadır. Hesaplanan 5400 m/s patlama hızının, havai fişek üretimi için kullanılan piroteknik malzemelerin patlama hızına göre oldukça yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Tanaka (1996), havai fişeklerin patlama hızını deneysel olarak 2000 m/s mertebesinde belirlemiştir. Meydana gelen patlamaların patlama hızına göre, ANFO'ya göre daha etkili, TNT'ye göre ise daha zayıf olduğu değerlendirilmektedir.

Patlama hızının 5400 m/s alındığında Ex.1 kodlu patlamada 20000 kg, Ex.3 kodlu patlamada 450 kg, Ex.6 kodlu patlamada 5000 kg piroteknik malzemenin infilak ettiği hesaplanmıştır. Bu durumda ikincil şok dalgası gözlenen bu üç patlamada infilak eden toplam piroteknik malzemenin miktarı 25450 kg olmaktadır. Akustik kayıtlardan ikincil şok dalgası ölçülemeyen diğer patlamalar dikkate alındığında bu miktar daha da artacaktır.

#### 5. Sonuç

Patlama sonucu oluşan sismik ve akustik dalgaların analizinden, kazada 7 ayrı patlama olduğu, ilk ve en büyük patlamanın zamanı yerel saat ile 11:15:16,73'de meydana geldiği hesaplanmıştır. Diğer altı patlamalar, ilk patlamadan sırası ile 0,76 s, 3,26 s, 9,28 s, 93,90 s, 96,27s ve 111,17 s sonra meydana geldiği hesaplanmıştır. Bu patlamalar büyüklük sırasıyla Ex.1, Ex.2, Ex.6, Ex.3, Ex.5, Ex.4 ve Ex.7 olarak sıralanmaktadır.

Patlamada infilak eden malzemenin patlama hızının 5400 m/s mertebesinde olduğu, bu hızın da ANFO ile TNT arasında patlama hızına sahip patlayıcılara ait olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan bu patlama hızı, havai fişek üretiminde kullanılan piroteknik karışımların literatürdeki deneysel olarak bulunan patlama hızından çok fazladır. Hava şoku basıncı, krater çapı ve ikincil şok dalgası gecikme zamanı parametreleri kullanılarak, kazada meydana gelen 7 ayrı patlama sonucunda infilak eden piroteknik malzemenin toplam ağırlığının, en az olmak üzere, 30 ton olduğu değerlendirilmektedir.

Büyük patlamalar veya terör saldırılarında, olayın hemen sonrasındaki birkaç saat süre içerisinde, sismik kayıtlar kullanılarak patlamanın büyüklüğü, zamanı, lokasyonu ve infilak eden patlayıcının miktarı hesaplanabilmektedir. İkincil şok dalgası parametresi ile patlayıcının türü de, olay yerinde inceleme yapılmasına ihtiyaç duyulmaksızın belirlenebilmektedir. Bu bilgiler acil durum yönetiminin yanı sıra, adli ve idari soruşturmalar açısından da yararlı olmaktadır.

### **Kaynaklar**

Adushkin, V. And Khristoforov, B. (2004) “Craters of Large-Scale Surface Explosions”, Combustion, Explosion, and Shock Waves, Vol. 40, No. 6, pp. 674–678

Ambrosini D., Luccioni B., Danesi R. (2004) “Influence of the Soil Properties on Craters Produced by Explosions on The Soil Surface,” Mecanica Compitacional, Vol.XXIII, pp. 571-590  
*Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions,*

Brocher T.M. (2003), “Detonation Charge Size Versus Coda Magnitude Relations in California and Nevada,” Bulletin of The Seismological Society of America, Vol.3, No:5, pp. 2089-2015

Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs (1994), American Institute of Chemical Engineers

Gitterman, Y., Pinsky, V. and Hofstetter, A. (2007) “Seismic Energy Generation and Partitioning into Various Front Different Seismic Sources in the Middle East Region”, Israel Air Force Research Laboratory, Final Report, September

Gitterman, Y. and Hofstetter, R. (2012) “GT0 Explosion Sources for IMS Infrasound Calibrations: Charge Design and Yield Estimation from Near-Source Observation,” Pure and Applied Geophysics, Published online, 06 September

Gitterman, Y. (2013) “Secondary Shock Features for Large Surface Explosions: Results from the Sayarim Military Range, Israel and other Experiments” Shock Waves,DOI 10.1007/s00193-013-0487-y

Karlos V., Solomos, G. (2013) “Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components”, European Commission Joint Research Centre Technical Report, Institute for the Protection and Security of the Citizen, Pavia, Italy

Kuran, F. ve Polat, S. (2016) “Terör Saldırılarının Mühendislik Açısından İncelenmesi: 10 Ekim 2015 Ankara Tren Garı Kavşağı Canlı Bomba Saldırısından 15 Temmuz 2016 Darbe Girişimine” MSI Dergisi, Sayı:135, Sayfa 62-76

Kuran, F., Polat,S. (2017) “15 Temmuz 2016 Darbe Girişimindeki F-16 Hava Saldırılarının Sismik-Akustik Kayıtlar Kullanılarak Kronolojisinin Belirlenmesi”, 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017 Çukurova Üniversitesi, Ekim 25-27, 2017, Adana

Rigby, S., E., and Gitterman, Y. (2016) “Secondary Shock Delay Measurements from Explosive Trials”, Proceedings of the 24th Military Aspects of Blast and Shock. 24th Military Aspects of Blast and Shock, 19-23 Sep 2016, Halifax, Nova Scotia, Canada

Scheutzwow, S. (2012) Investigations of Near and Mid Infrared Pyrotechnics, Detonation Velocities of New Secondary Explosives, Phd Thesis, Ludwig Maximilians-Universität München

Tanaka, K. (1996) “Detonation and Deflagration Properties of Pyrotechnic Mixtures”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 418, Materials Research Society

<http://www.deprem.gov.tr.3.07.2020>

### **Conflict of Interest / Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.