

SAKARYA / HENDEK İLÇESİNDE MEYDANA GELEN HAVAİ FİŞEK FABRİKASI PATLAMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

03 Temmuz 2020 tarihinde Hendek ilçesi Yukarı Çalica Mahallesi, Tepeaçma mevkinde faaliyet gösteren, Büyük Coşkunlar Piroteknik Kimya Sanayi Havai Fişek Oyuncak Pazarlama Tic. ve Ltd. Şti. isimli şirkete ait fabrikada ard 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. Bu değerlendirmede, sismik kayıtlar kullanılarak patlamaların kronolojik olarak zamanları ve 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 patlama le 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.

1. GİRİŞ

İnsan kaynaklı patlamalar, depremlere benzer titreşimler oluşturmaktadır. Bu yer sarsıntıları, 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 büyüklüğü bu sayede diğer ülkeler tarafından belirlenebilmiştir. Sismik kayıtlar, nükleer testlerin izlenebilmesinin yanı sıra; bombalı terörist saldırıları, maden kazaları, uçak kazaları, yakıt boru hattı patlamaları ve yakıt deposu patlamaları gibi birçok sıra dışı ve toplumsal etkisi büyük olan olaylarda kullanılmıştır. Özellikle son yıllarda, büyük endüstriyel kazaların ve büyük ölçekli terör saldırılarının artması nedeniyle yüzey patlamalarında, patlamanın büyüklüğünü ve infilak eden patlayıcı miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu konu hakkında son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) ve İsrail tarafından deneysel çalışmaları da içeren kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Türkiye'de ise bu konu ile ilgili deneysel araştırma ve akademik yayın hemen hemen bulunmamaktadır. 1995 yılında ABD'nin Oklahoma Federal Hükümet Binası'na düzenlenen bombalı saldırı, 1998'de El Kaide terör örgütü tarafından A.B.D'nin Kenya-Nairobi Büyükelçiliği Binası'na düzenlenen bombalı saldırı, 2000 yılında Rus Nükleer Denizaltısı Kursk gemisinin Barents Denizi'nde patlaması ve batması, 2004 yılında İngiltere Buncefield kentindeki yakıt deposu patlaması, 2010 yılında Güney Kore'ye ait korvetin patlaması ve batması sismograf kayıtlarının kullanıldığı diğer ülkelerdeki önemli olaylardan bazılarıdır. Bu olaylarda, patlayıcının miktarının yanı sıra, bazen saldırı veya kazanın zamanı çok önemli olurken, bazı olaylarda ise coğrafik konumu daha önemli olabilmektedir.

2. 3 TEMMUZ 2020 SAKARYA HENDEK HAVAİ FİŞEK PATLAMASI VE PATLAMAYA AİT SİSMİK-AKUSTİK KAYITLAR

03 Temmuz 2020 tarihinde Sakarya ili Hendek ilçesi Yukarı Çalica Mahallesi Tepeaçma mevkinde faaliyet gösteren, Büyük Coşkunlar Piroteknik Kimya Sanayi Havai Fişek Oyuncak Pazarlama Tic. ve Ltd. Şti. isimli şirkete ait fabrikada ard 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 istasyonlar 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/sn'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/sn olup, bu hız sıcaklık, rüzgar hızı ve doğrultusu ile patlayıcı miktarına göre değişebilmektedir. Patlamalar sonucu oluşan sismik ve akustik dalga fazları Şekil 2-4 arasında verilmektedir.

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 sn, 3,26 sn., 9,28 sn., 93,90 sn., 96,27sn. ve 111,17 sn. 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 bilirkişi 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 rüzgar 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. Rüzgar 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 sönümlenmesi 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 istasyonunun ulaşan ses dalgalarının doğrultusunun, rüzgar 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



Şekil 2. SAUV istasyonu tarafından kaydedilen sismik ve akustik dalga fazları



Şekil 3. SAHE istasyonu tarafından kaydedilen sismik dalga ve akustik dalga fazları (Ex.1 ve Ex.6 olmak üzere iki ayrı patlamaya ait sismik dalga)



Şekil 4. GULT istasyonu tarafından kaydedilen sismik ve akustik dalga fazları

Görsel basında yayınlanan bir işyeri kamerasına ait video görüntüsünde, bir işyerine ait pencere camındaki titreşimlerden ilk patlamalar açıkça gözükmemektedir. Video görüntüsünün anlık fotoğrafı Resim 1'de verilmektedir. Video görüntüsünün özel bir yazılım ile analizinden, ilk patlamadan 3,2 sn ve 9,2 sn. 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 Ex 1. 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 içermediğinde bu patlamalara ait bir değerlendirme yapılamamıştır.



Resim 1. Video görüntüsünden alınan resim

3. SİSMİK VE AKUSTİK KAYITLAR KULLANILARAK PATLAYICI MİKTARININ BELİRLENMESİ

Özellikle son yıllarda büyük endüstriyel kazaların ve büyük ölçekli terör saldırılarının artması nedeniyle yüzey patlamalarında patlamanın büyüklüğünü ve infilak eden patlayıcı miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu konu hakkında son 10 yıldır özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve İsrail tarafından deneysel çalışmaları da içeren kapsamlı araştırmalar yapılmıştır.

3.1. Yapay Depremın Magnitüt Büyüklüğü Parametresi

Patlama sonrası ölçülen magnitüt değeri ile patlayıcı miktarı arasındaki ilişki, patlamanın su altında, karada, yada havada olmasına göre büyük değişkenlik göstermektedir. Denizlerde meydana gelen patlamalarda karadakilere göre daha az patlayıcı miktarı ile daha büyük sismik dalga genliği oluşmaktadır. Diğer bir ifade ile daha büyük yer sarsıntısı meydana getirmektedir (Rogers ve Koper; Gitterman vd., 2007). Karadaki patlamalarda, patlamanın yerin altında mı yoksa yüzeyde mi gerçekleştiği de son derece önemlidir. Patlamanın yüzeyde ve derinde olması, ortaya çıkan sismik enerji ile patlayan miktar arasındaki ilişkiyi değiştirmektedir (Gitterman ve Hofstetter, 2012). Yüzey patlamalarında enerjinin büyük bir kısmı, etrafındaki cisimlere ve şok dalgası (airblast) olarak atmosfere yayılmakta, zemine aktarılan sismik enerji azalmaktadır. Bu nedenlerle, infilak eden patlayıcının miktarını hata oranı düşük olarak hesaplamak çoğu durumda sorunlu olabilmektedir.

3.2. Krater Boyutları Parametresi

Patlayıcı miktarının hesaplanmasında kullanılan klasik yöntem, patlama sonucunda oluşan kraterin (patlama çukuru) çapı ve derinliğinin ölçülmesi ve geliştirilen görgül (ampirik) denklemler kullanılarak hesaplanmasıdır. Oluşan kraterin çapı ve derinliği, patlayıcının türüne, yüzeyden yüksekliğine, zeminin yapısına, zeminin kuru veya suya doymun 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

3.3. Akustik Şok Dalgası Varış Zamanı Parametresi

ABD'nin Oklahoma Federal Hükümet Binasına yapılan bombalı saldırı ve El Kaide terör örgütünün Kenya Nairobi Büyükelçiliği'ne düzenlediği bombalı saldırı sonrası Koper vd. (2002) tarafından patlayıcı miktarını sismik ve akustik kayıtlar kullanılarak tespit edebilmek için New Mexico'daki White Sand Missile Range alanında büyük miktarda patlayıcılar kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada eşdeğer TNT miktarını belirlemek için kullanılan parametrelerden birisi de akustik dalgaların kayıt istasyonuna varış zamanıdır (travel time-tt parametresi). Daha önce de belirtildiği üzere, büyük miktarda yüzey patlamalarında şok dalgası atmosfere dağılmakta ve bu şok dalgaları sismik kayıtçılar tarafından kaydedilebilmektedir. Şok dalgası hızı patlayıcı miktarına bağlı olarak artmakta, daha sonra enerji kaybederek elastik dalga hızına düşmektedir. Öncelikle şok dalgasının kayıt istasyonu arasındaki ortalama hızı $\sigma=r/tt$ denkleminden hesaplanmaktadır. σ ortalama şok dalgası hızı (m/s), r patlamanın istasyona olan mesafesi (m), tt şok dalgasının istasyona varış süresidir (s).

3.4. 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.

3.5. İkincil Şok Dalgası Parametresi

Gitterman (2013), Gitterman ve Hofstetter (2012), İsrail'de Negev Çölü, Sayarim Vadisi'nde deneysel olarak yapılan büyük ölçekli yüzey patlamalarından elde edilen veriler ışığında, patlayıcı miktarını belirlemek için ikincil şok dalgası parametresi tanımlamıştır. 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 ve dördüncül dalgalar da gözlenebilmektedir.

4. PATLAMALARDA İNFİLAK EDEN PİROTEKNİK MALZEME MİKTARLARI

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.

Havai fişeklerde kullanılan elementlerin kullanım amaçları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Havai Fişek Üretiminde Kullanılan Elementlerin İşlevleri

Sembol	Kimyasal Adı	Havai Fişeklerdeki Kullanımı
Al	Alüminyum	Alüminyum gümüş ve beyaz renkli alev ve kıvılcım üretiminde kullanılır. Kıvılcım için kullanılan en yaygın kimyasaldır.
Ba	Baryum	Baryum yeşil renk üretmek için ve kararsız maddelerin daha kararlı hale getirilmesinde kullanılır.
C	Karbon	Karbon havai fişeklerde itici gücü oluşturan kara barutun ana maddesidir. Karbon havai fişekler için yakıt sağlar. Karbonun havai fişeklerdeki ana formları siyah karbon, şeker ve nişastadır.
Ca	Kalsiyum	Kalsiyum havai fişeklerin rengini koyulaştırmak için kullanılır. Kalsiyum tuzu turuncu renk üretiminde kullanılır.
Cl	Klor	Klor havai fişekler içerisindeki oksitlenme için önemli bir kimyasaldır. Renk üreten pek çok metal tuzu içerisinde klor bulunur.
Cu	Bakır	Havai fişeklerde mavi renk üretiminde kullanılır.
Fe	Demir	Demir kıvılcım çıkartmak için kullanılır. Metalin sıcaklığı kıvılcımın rengini belirler.
K	Potasyum	Potasyum havai fişek karışımlarında oksitlenmeye yardım eder. Potasyum nitrat, potasyum klorat ve potasyum perklorat önemli oksitleyicilerdir.
Li	Lityum	Lityum metali havai fişeklerde kırmızı renk üretiminde kullanılır. Özellikle lityum karbonat en önemli renk vericidir.
Mg	Magnezyum	Magnezyum yandığında çok parlak ışık üretir. Böylece beyaz kıvılcım eklemek ve havai fişeklerin bütün rengini parlatmak için kullanılır.
Na	Sodyum	Sodyum havai fişeklerde altın ve sarı renk üretiminde kullanılır. Renk o kadar parlak olur ki diğer renkleri kapatır.
O	Oksijen	Havai fişeklerin yanma reaksiyonları oksitlenme içerir. Oksitler genellikle nitratlar, kloratlar ve perkloratlardır. Bağzen bu kimyasallar oksijen ve renk üretmek için de kullanılır.
P	Fosfor	Fosfor havada anında yanar ve bazı karanlık efektlerin korunu oluşturur. Havai fişekin bileşimindeki yakıt olarakta kullanılabilir.
S	Kükürt	Kükürt itici yakıt olan kara barutun elemanlarından biridir.
Sb	Antimon	Havai fişeklerdeki pırıltı efektini oluşturmak için kullanılır.
Sr	Stronsiyum	Stronsiyum tuzu havai fişeklerde kırmızı rengi verir. Stronsiyum bileşikleri havai fişek karışımlarının kararlılık seviyelerini ayarlamak için de oldukça önemli bir kimyasaldır.
Ti	Titanyum	Titanyum metali toz veya parçacık halinde yakıldığında gümüş renkli kıvılcım verir.
Zn	Çinko	Mavimsi beyaz bir metal olan çinko havai fişek ve diğer proteknik malzemelerde duman efekti yapımında kullanılır.

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 Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması) kapsamında yayınlanan “Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik” gereği “Patlayıcı” sınıfı malzemeler 6 ana grupta tanımlanmaktadır. Bunlar sırasıyla;

Alt Grup 1.1: Kütle olarak patlama tehlikesi olan maddeler ve nesnelere (Kütle olarak patlama, bir anda hemen hemen tüm yükü etkileyebilecek bir patlamadır).

Alt Grup 1.2: Fırlama tehlikesi olan ancak kütle olarak patlama tehlikesi olmayan maddeler ve nesnelere.

Alt Grup 1.3: Yangın tehlikesi veya hafif bir patlama ya da hafif bir fırlama tehlikesi veya her ikisi birden olan, ancak toplu patlama tehlikesi olmayan madde ve nesnelere. Bu madde ve nesnelere: (a) Yandıklarında önemli miktarda radyan ısıya neden olur veya (b) Birbirleri ardı sıra yanarak hafif bir patlama veya fırlama etkisi oluşturur.

Alt Grup 1.4: Taşıma sırasında tutuşma veya tepkimenin başlaması durumunda sadece düşük bir patlama riski taşıyan madde ve nesnelere. Etkileri, büyük ölçüde, sadece ambalaj ile sınırlıdır ve dikkate alınabilecek ölçüde büyük parçacıkların, dikkate alınabilecek uzaklıklara fırlatılması beklenmez. Harici bir yangın ambalajın hemen hemen tüm içeriğinin bir anda patlamasına neden olmaz.

Alt Grup 1.5: Toplu patlama tehlikesi taşıyan, ancak, normal taşıma koşullarında, tepkimenin başlaması veya yanma halinden patlama haline geçme olasılığı bakımından çok düşük olan duyarsız maddeler. Asgari bir zorunluluk olarak, harici yangın testinde patlamamaları gerekir.

Alt Grup 1.6: Kütle olarak patlama tehlikesi olmayan, aşırı derecede düşük hassaslık düzeyindeki nesnelere. Bu nesnelere, ağırlıklı olarak aşırı derecede duyarsız maddeler içerir ve kazara ateşleme veya yayılma olasılıkları ihmal edilebilir düzeydedir.

Alt Grup 1.6'daki nesnelere oluşturduğu risk, sadece tek bir nesnenin patlaması ile sınırlıdır. 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, maytaflar, Bengal çubuğu, topaç, fırladıklar, havai fırladık, kestane fişegi, 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 2^{nci} sınıflar için 75 gr, 3^{ncü} 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 yapılar 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, palmiye 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 infilak eden patlayıcı miktarları

Basında, bilirkişi raporuna atıf yapılarak, 7 ayrı patlama ve krater (patlama çukuru) oluşturduğu bilgisi verilmektedir. Bu patlama çukurlarının boyutları ve Denklem 2, Denklem 3 ve Denklem 4'e göre hesaplanan TNT eşdeğeri ağırlıklar ve piroteknik karışım ağırlığı Tablo 7'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 7'den görüldüğü üzere krater çapına göre farklı araştırmacılar tarafından önerilen denklemler kullanılarak hesaplanan eşdeğer TNT ağırlıkları arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Bunun temel nedeni olarak, elde edilen denklemlerde 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, Denklem 2 ile elde edilmektedir. Bu nedenle Denklem 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 infilak ettiği hesaplanmıştır. Basında bilirkişi raporuna atıf yapılarak verilen bilgilerdeki TNT ağırlıkları, muhtemelen aynı denklem kullanıldığından, Denklem 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 7. Krater çapı ve eşdeğer TNT ağırlıkları ve eşdeğer çarpanı 0,5 alınarak hesaplanan piroteknik malzeme ağırlıkları

Krater	Krater çapı (m)	Denk.2 (TNT-kg)	Denk.3 (TNT-kg)	Denk.4 (TNT-kg)	Piroteknik malzeme ağırlığı (kg)-(Denk.2'den)
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

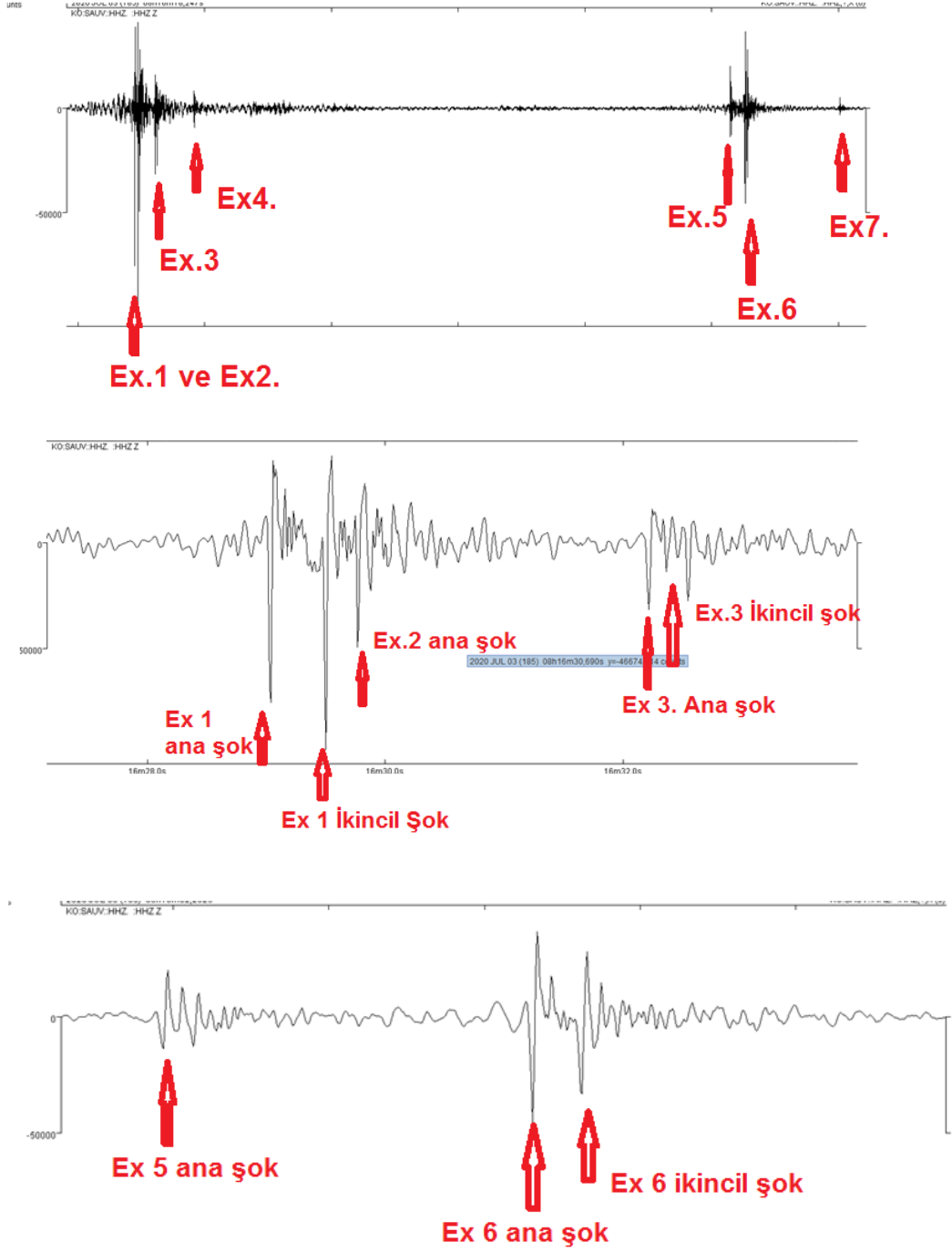
4.3. Hava şoku basıncı parametresine göre infilak eden patlayıcı miktarları

Patlama yerine en yakın mahallelerde meydana gelen yapısal hasarların dağılımından, özellikle cam kırılması, tavanlardaki hasarlar veya yapısal elemanlardaki diğer hasarlara bağlı infilak 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. Patlama sonucunda çevre yerleşim yerlerinde yerinde inceleme yapılmamış olmasına 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 Yukarıçağıl Mahallerinde ise, basından elde edilen hasar bilgilerine göre, en büyük patlamada 2 kPa hava şoku basıncı olduğu değerlendirilmiştir (Tablo 4). Kuşkusuz bu değerlendirmenin en sağlıklı yolu yerinde inceleme yapılması ve hasar dağılımının belirlenmesidir. Denklem 6 kullanılarak, 1800 metre mesafedeki Sukenarı Mahallesinde 1 kPa hava şoku basıncı oluşturan patlayıcı miktarı, TNT ağırlığı olarak yukarıdaki denklem kullanılarak 10000 kg olarak hesaplanmıştır. 900 metre mesafedeki Akarca ve Yukarıçağıl 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 olacağından, benzer analizi yapmak anlamsızdır. Eşdeğer TNT çarpanı 0.5 alındığında Ex.1 kodlu en büyük patlamada infilak eden piroteknik malzeme ağırlığı 20000 kg olmaktadır.

4.4. İkincil şok dalgası parametresine göre infilak 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 7'de 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. 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 kızılötesi piroteknik malzeme deney sonuçları baz alınarak, yoğunluk 1300 kg/m^3 , patlama hızı 6000 m/s olarak alınarak infilak eden malzemenin ağırlıkları hesaplanmıştır (Tablo 8). İnilak eden piroteknik malzemenin, patlama sonucu oluşan çevresel etkiler dikkate alındığında, Tanaka (1996) tarafından havai fişeklerde deneysel olarak bulunan patlama hızı 2000 m/sn 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/sn arasında) olduğu değerlendirilmektedir. Patlama hızına bağlı olarak, hesaplanacak miktarlar da değişecektir.



Şekil 7. Hendek Havai Fişek Fabrikası patlamasına ait 25.27 km. uzaklıktaki SAUV sismik istasyonu kaydının düşey bileşenin ana şok ve ikincil şok dalgaları

Tablo 8. İkincil şok dalgası gecikme zamanına göre infilak eden piroteknik ağırlıkları

Patlama Kodu	Patlama Zamanı (Yerel saat)	İkincil Şok Dalgası Gecikme Zamanı, Δt (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 6000 m/sn olarak alındığında 28750 kg piroteknik malzemenin infilak ettiği hesaplanmıştır. İkincil şok dalgası gecikme zamanına göre hesaplanan patlayıcı miktarının daha fazla olmasının nedeninin 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. Meydana gelen patlamalar, 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.

4. 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

sn, 3,26 sn., 9,28 sn., 93,90 sn., 96,27sn. ve 111,17 sn. 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 5.400 m/sn 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, 40 ton olduğu değerlendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında açıklanan bu hesaplamalar, olayın gerçekleşmesinden çok kısa bir sürede ve herhangi bir ilave yatırım yapılmasına gerek olmaksızın yapılabilecek hesaplamalardır. Patlamanın hemen ardından kriz ortamı devam ederken olayın tam olarak coğrafi konumu, zamanı, kaç kez olduğu ve ne kadar büyüklükte bir patlamanın olduğu gibi bilgiler acil durum yönetimi için son derece yararlı olmaktadır. Bu bilgilerin elde edilmesi adli ve idari soruşturmalar açısından da çok faydalı olacaktır.

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

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

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

Kuran, F. (2014-a) "Three Massive Explosions and Seismology" 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2nd ECEES), 25-29 August 2014, Istanbul

Kuran, F. (2014-b) "Suriye İç Savaşının İstihkâmcılık Açısından İrdelenmesi" MSI Dergisi, Sayı:113, Sayfa 58-69

Kuran, F. ve Polat, S. (2015) "5 Eylül 2012 Afyonkarahisar Mühimmat Deposu Patlamasının Sismik Kayıtlar Kullanılarak İrdelenmesi" 3.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim 2015 – DEÜ – İZMİR

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>

<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>

Süleyman POLAT

Kimya Mühendisi, Mühimmat ve Patlayıcı Uzmanı

KMO İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Komisyonu Üyesi