# PATLAMA KAYNAKLI YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ AYAKLI ÇELİK SU DEPOLARININ DİNAMİK ANALİZİ

**K. Hacıefendioğlu[1] ve O. Köksal[2]**

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun*
[2] *Öğretim Görevlisi, Yapı Denetim Programı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun*
*Email: olgun_koksal@hotmail.com*

**ÖZET:**

Patlatma işlemi, karayollarında tünel açmada, şev düzenlemede, baraj inşaatlarında hafriyat çalışmalarında, maden ocaklarında, eski binaların yıkılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Yeryüzünde ya da yeryüzüne çok yakın yerlerde patlatma gerçekleştirildirildiğinde büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Bu enerji nedeniyle yer hareketi meydana gelmektedir. Bu çalışmada, patlama kaynaklı oluşan yer hareketlerinin (hava şoku etkili ve direkt etkili) ayaklı çelik su depolarının dinamik davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla hesaplarda kullanılan yer hareketi ivme değerleri stokastik bir yöntem ile tahmini olarak elde edilmiştir. Patlama kaynaklı yer hareketinin elde edilmesi için, patlama merkezine olan dik uzaklığa ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak elde edilen pik ivme değerinden ve patlama basıncının zaman zarf eğrisinden yararlanılmıştır. Patlama kaynaklı yer hareketinin üretilmesi için yazarlar tarafından BlastGM (Artificial Generation of Blast Induced Ground Motion) adlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde patlamanın merkezine olan dik uzaklığa ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak yapay ivme değerleri oluşturulabilmektedir. Bu çalışma ile ayaklı çelik su depolarının yakınında meydana gelen patlamaların, zeminde yüksek frekanslı yer hareketlerine (hava şoku etkili ve direkt etkili), yapı elemanlarında ise gerilmelerin ve yerdeğiştirmelerin artışına neden olduğu görülmektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Patlama kaynaklı yer hareketi, rastgele işlem, zarf fonksiyonu, ayaklı çelik su deposu.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada inşaat, madencilik, petrol, tarım ve ormancılık alanlarında teknolojinin de gelişmesiyle birlikte birçok patlatma işlemi yapılmaktadır. Konut, demiryolu, karayolu, baraj, havaalanı, liman inşaatlarına hammadde temini, çeşitli amaçlara yönelik tünel açılması, çeşitli temel kazıları, bina ve yapıların kontrollü yıkımı gibi pek çok inşaat mühendisliği uygulamasında, patlatma işlemi sık sık gerçekleştirilmektedir. Ancak patlatma işleminin getirdiği olumlu etkiler yanında, birçok olumsuz etki de bulunmaktadır. Patlatma işlemi sırasında yer hareketi, hava şoku, doğal malzeme fırlaması (kaya parçacıkları, zemin partikülleri) gibi olumsuz etkiler meydana gelmektedir. Bu çalışmada, patlatma işleminin en olumsuz etkilerinden olan yer hareketi incelenmiştir.

İnşaat sahasına yakın yerleşim yerlerindeki mevcut alt ve üst yapılar patlatma işleminin ortaya çıkardığı enerjiden etkilenmektedir. Yeryüzeyinde veya yeryüzeyinin çok yakınında bir patlatma gerçekleştiğinde ortaya çıkan enerjinin bir kısmı serbest hava yoluyla bir kısmı da direkt yer boyunca iletilmektedir. Hava yoluyla iletilen enerji hava şoku etkili yer hareketini oluştururken, direkt olarak yer boyunca iletilen enerji de direkt etkili yer hareketini oluşturmaktadır (UFC, 2008).

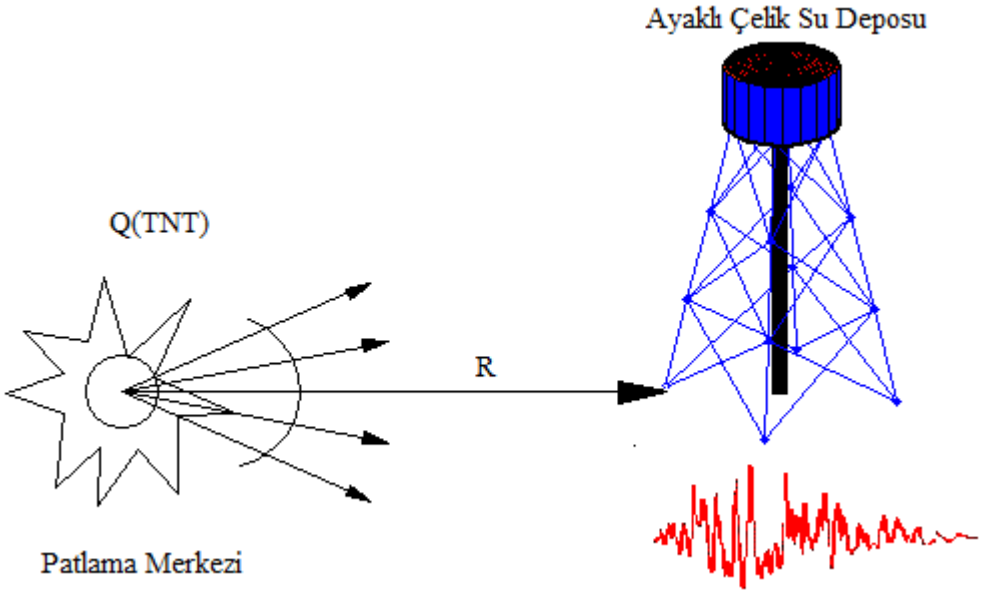
Patlatma sırasında havada oluşan basınç, zemine bir gerilme uygulayarak hava şoku etkili yer hareketini oluşturmaktadır. Zemindeki gerilmenin büyüklük ve süresi, zemin cinsine ve hava basıncının özelliğine bağlıdır. Genellikle, hava şoku etkili yer hareketi aşağıya doğru devam etmektedir. Hava şoku etkili yer hareketleri,

yeryüzeyinde en büyüktür ve derinlikle azalmaktadır. Bununla birlikte, sığ su tabakası, sığ kaya zemin arayüzeyi veya diğer süreksizliklerin bulunması normal azalış süresini değiştirmektedir (UFC, 2008).

Direkt etkili yer hareketi, zemin tabakaları boyunca doğrudan iletilen patlama enerjisinin sonucu oluşmaktadır. Direkt etkili yer hareketi, hava şoku etkili yer hareketinden daha uzun sürer ve dalga biçimi sinüzoidaldir. Patlama işlemi gerçekleştiğinde, yeryüzeyinde bir noktadaki net yer hareketi, hava şoku etkili ve direkt etkili yer hareketinin birleşiminden oluşmaktadır (UFC, 2008).

## 2. PATLAMA KAYNAKLI YER HAREKETİNİN MODELLENMESİ

Patlama kaynaklı yer hareketleri yüksek frekanslı ve çok kısa süreli yer hareketleridir. Bu yer hareketlerinin davranışını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler şunlardır; patlayıcı ağırlığı, patlama merkezi ile yapı arasındaki dik uzaklık, patlama merkezi derinliği, zemin ve kayanın geoteknik özellikleri. Depremin oluşturduğu yer hareketi ile yapılarda oluşacak etkiler sürekli araştırılmaktadır. Gerek meydana gelmiş deprem kayıtları ile gerekse de yapay üretilen deprem kayıtlarıyla yapılar dinamik olarak analiz edilmektedir. Benzer olarak patlama kaynaklı oluşacak yer hareketlerinin, mevcut yapılara etkisi de büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, deprem için yapıların dinamik analizi yapıldığı gibi patlama için de dinamik hesapların dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Dünya literatüründe patlama kaynaklı yer hareketi çalışmalarının hızla devam etmesi nedeniyle bu çalışma önem taşımaktadır (Wu ve diğ., 2004; Ma ve diğ., 2004; Hao ve Wu, 2005; Lu ve Wang, 2006; Özmen, 2006; Wu ve Hao, 2007; Özcan, 2010; Singh ve Roy, 2010; Hacıefendioğlu ve diğ., 2012) . Şekil 1'de patlama merkezinden R dik uzaklığındaki yapı görülmektedir.




Şekil 1. Patlama merkezi, TNT patlayıcı ve patlama merkezine R dik uzaklığındaki ayaklı çelik su deposu.

Patlama kaynaklı yer hareketinin modellenmesinde, patlama merkezine olan dik uzaklığa ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak elde edilen pik ivme değerinden ve patlama basıncının zaman zarf eğrisinden yararlanılmaktadır (Wu ve Hao, 2005). Patlama kaynaklı yer hareketi modelinin oluşturulması için stasyoner olmayan rastgele işlem yeterli bir yöntem olarak sunulmaktadır (Ruiz ve Penzien, 1969). Patlama kaynaklı yer hareketini temsilen, yer hareketi ivme değerlerinin tahmin edilebilmesi için yazarlar tarafından BlastGM (Artificial Generation of Blast induced Ground Motion) adlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde patlama merkezine olan dik uzaklığa ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak yapay ivme değerleri oluşturulabilmektedir. Ayrıca zamana bağlı

hız, yerdeğiştirme, patlama basıncı değerleri de elde edilebilmektedir. Patlama kaynaklı yer hareketinin modellenmesi için, arazi deneylerinden elde edilen ampirik formüllerden yararlanılmıştır.

### *2.1. Hava Şoku Etkili Yer Hareketi*

Hava şoku etkili yer hareketi için zamana bağlı ivme kayıtlarının üretilebilmesi için aşağıdaki denklemle elde edilen maksimum yatay ivme kullanılmaktadır.

$$A_H = \frac{100.P_{so}}{\rho.C_p.g} \quad (g) \qquad (1)$$

Bu denklemde, $P_{so}$=Patlama basıncının en büyük değeri (psi), $A_H$ = Yeryüzeyinin maksimum yatay ivmesi (g), g = Yerçekimi sabiti (32.2 ft/sn$^2$) ile gösterilmektedir. (1) formülünde yer alan ρ, zeminin kütle yoğunluğu Tablo-1'de ve $C_p$, zeminin sismik dalga hızı Tablo-2'de zemin türüne göre verilmektedir (UFC, 2008). $P_{so}$ patlama basıncı ise BlastGM yazılımı ile hesaplanmaktadır(Wu ve Hao, 2005). BlastGM yazılımı Amerikan birim sistemi ile SI birim sistemi arasındaki dönüşümü yaparak yer hareketi ivmesini g cinsinden hesaplamaktadır. Ayrıca sonuçlar her iki birim sistemi ile elde edilebilmektedir.

Tablo 1. Tipik zeminler ve kayaçlar için kütle yoğunlukları.

| Malzeme | Kütle yoğunluğu, ρ(kg-sn$^2$)/m$^4$ |
|---|---|
| Gevşek, kuru kum | 154.746 |
| Gevşek, doygun kum | 195.067 |
| Sıkı, kuru kum | 179.810 |
| Sıkı, doygun kum | 220.132 |
| Kuru kil | 122.053 |
| Doygun kil | 179.810 |
| Kuru, kumlu silt | 171.092 |
| Doygun, kumlu silt | 212.503 |
| Bazalt | 278.979 |
| Granit | 269.171 |
| Kalker | 245.196 |
| Kumtaşı | 228.850 |
| Killi şist | 236.478 |
| Beton | 245.196 |

Tablo 2. Zeminler ve kayaçlar için tipik sismik hızlar.

| Malzeme | Sismik hız(m/sn) |
|---|---|
| Gevşek ve kuru zeminler | 182.880-1005.840 |
| Kil ve yaş zeminler | 762.000-1920.240 |
| İri ve sıkıştırılmış zemin | 914.400-2590.800 |
| Kumtaşı ve çimentolu zeminler | 914.400-4267.200 |
| Killi şist ve kireçli kil | 1828.800-5334.000 |
| Kireçtaşı-tebeşir | 2133.600-6400.800 |
| Metamorfik kayaçlar | 3048.000-6400.800 |
| Volkanik kayaçlar | 3048.000-6858.000 |
| Sağlam plutonik kayaçlar | 3962.400-7620.000 |
| Çatlak granit | 243.840-4572.000 |
| Ayrışmış kayaçlar | 609.600-3048.000 |

### *2.2. Direkt Etkili Yer Hareketi*

Direk etkili yer hareketini temsilen, granit zemine ait zamana bağlı ivme kayıtlarının üretilebilmesi için (2) nolu denklem

$$PPA = 3.979R^{-1.45}Q^{1.07} \qquad \text{(g)} \tag{2}$$

olarak ifade edilmektedir (Wu ve Hao, 2005). Burada, PPA, en büyük parçacık ivmesi, R, patlama merkezinden dik uzaklığı (m), Q, TNT patlayıcı ağırlığını (kg) göstermektedir.

Görüldüğü gibi patlayıcı ağırlığına, patlama merkezinden dik uzaklığa ve zemin özelliğine bağlı olarak hava şoku etkili ve direkt etkili yer hareketlerinin maksimum ivmeleri hesaplanabilmektedir. Patlama kaynaklı yer hareketi hava şoku etkili ve direkt etkili yer hareketlerinin birleşimi olduğundan, (1) ve (2) 'deki ivme değerleri g cinsinden toplanmıştır (UFC, 2008). Yapıların dinamik analizinde ise, yer hareketini temsilen ivmenin zamana bağlı değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu çalışmada, patlamanın dinamik etkilerinin her zaman deneysel olarak belirlenemediği durumlarda dikkate alınabilecek ivme-zaman değerleri geliştirilen yazılım ile elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların hem güvenlik hem de ekonomi sorunu nedeniyle sürekli olarak yapılamaması, patlama kaynaklı yer hareketlerinin yapay olarak üretilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

Patlama kaynaklı yer hareketinin modellemesinde stasyoner olmayan rastgele işlem yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, yer hareketi ivme değerleri, deterministik şekil fonksiyonu (zaman yoğunluk zarf fonksiyonu) *p(t)* ve stasyoner işlem, *w(t)* parametreleri kullanılarak hesap edilmektedir (Bolotin, 1960; Jennings ve diğ., 1969; Ruiz ve Penzien, 1969; Sólnes, 1997 ). Patlama kaynaklı stasyoner olmayan yer hareketi (Amin ve Ang, 1968) tarafından da (3) denklemiyle ifade edilmiştir.

$$a_b(t) = p(t)w(t) \tag{3}$$

Şekil fonksiyonu deprem mühendisliğinde zamanlama bakımından sismik yer titreşiminin durağan (stasyoner) olmayan özelliğini belirlemede kullanılmaktadır. (3) nolu denklem için şekil fonksiyonu Hilbert dönüşümünden elde edilmektedir (Kanasewich, 1981). Benzer olarak bu şekil fonksiyonu patlama kaynaklı yer hareketlerinin zarfını exponansiyel biçimde modelleyebilmektedir. Bu fonksiyon (Wu ve Hao, 2005);

$$p(t) = \begin{cases} 0, & t \le 0, \\ mte^{-nt^2} & t > 0, \end{cases} \tag{4}$$

biçimindedir (Şekil 2b). m ve n yer hareketinin durağan olmayan özelliğine bağlı parametrelerdir. e doğal logaritmadır, m ve n parametreleri $t_p$ ile belirlenmektedir. $t_p$, $t_a$'dan ivmenin maksimum değerine ulaşması için geçen süredir (Wu ve Hao, 2005).

$$t_p = \sqrt{1/2n} \tag{5}$$

$$m = \sqrt{2ne} \tag{6}$$

Yapılan deneylerden patlama merkezinden R uzaklığı ile yeryüzeyindeki bir noktada titreşim dalgasının varış zamanı (Wu ve Hao, 2005),

$$t_a = 0.91R^{1.03}Q^{-0.02}/c_s \tag{7}$$

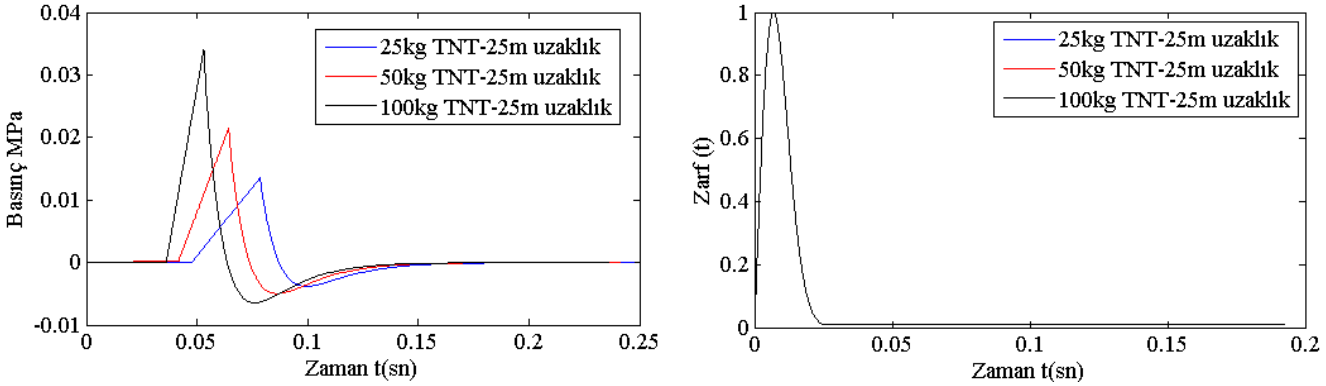
ile basitçe tahmin edilebilmektedir. $c_s$ granit zeminin P dalga hızıdır. $t_p$ tahmin edilen zaman için ampirik bağıntı (Wu ve Hao, 2005),

$$t_p = 5.1x10^{-4}Q^{0.27}(R/Q^{1/3})^{0.81} = 5.1x10^{-4}R^{0.81} \qquad \text{(s)} \tag{8}$$

olarak elde edilmektedir. Görüldüğü gibi, $t_p$ yalnızca R uzaklığına bağlıdır. Yer hareketi dalgasının süresi, yapısal etkiye tesir eden çok önemli bir parametredir. Bu çalışmada, sarsıntı dalgası süresi $t_d$,

$$t_d = t - t_a \tag{9}$$

olarak tanımlanmaktadır. BlastGM yazılımı kullanılarak, Şekil 2a'da patlama sonucu ortaya çıkan basınç değişimleri ve Şekil2b'de patlamaya ait tipik bir zaman zarf fonksiyonu gösterilmektedir.




(a) (b)

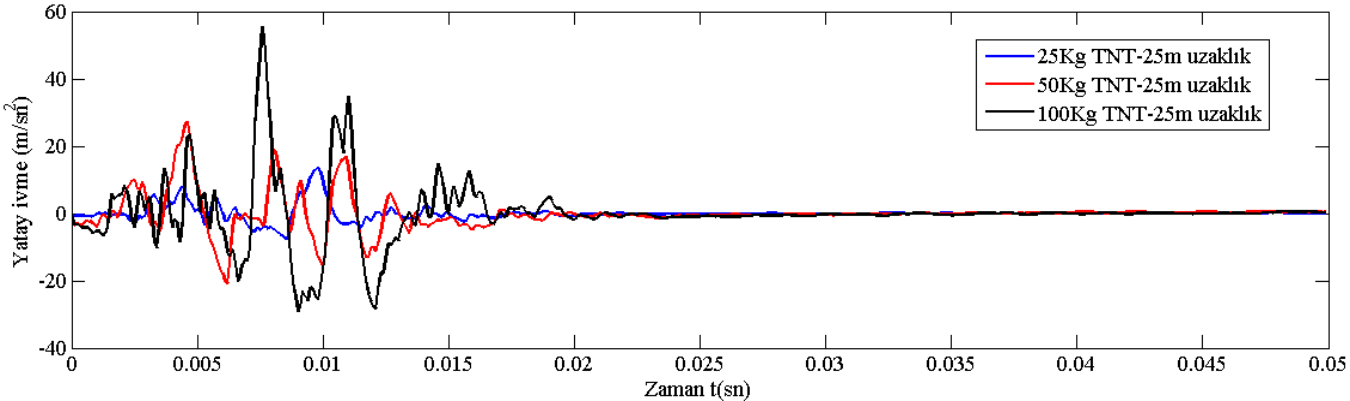
Şekil 2. (a)Patlama basınç grafiği ve (b) patlama kaynaklı yer hareketinin tipik bir zaman zarf fonksiyonu.

Anakayadaki ivme, p(t), zamanın deterministik fonksiyonunun, $S_0$ beyaz gürültü fonksiyonuna bağlı olarak elde edilen w(t) çarpımı ile ifade edilen Gauss shot gürültüsü ile benzetim yapılmaktadır. Zemin tabakasının filtre etkisi, $\omega_0$ sönümsüz açısal frekans ve $\xi$ sönüm oranı ile ifade edilen sönümlü tek serbestlik dereceli doğrusal sistemle benzeşim yapılmaktadır. $a_g(t)$ yer hareketi ivmesi,

$$\ddot{z} + 2\xi\omega_0 \dot{z} + \omega_0 z = -a_b(t) \tag{10}$$

$$a_g(t) = -2\xi\omega_0 \dot{z} + \omega_0^2 z \tag{11}$$

(10) ve (11) denklemlerinin çözülmesi ile elde edilmektedir (Ruiz ve Penzien, 1969). Şekil 3'de sırasıyla 25Kg, 50kg ve 100Kg TNT (patlayıcı madde) ve patlama merkezinden 25m uzaklık için, BlastGM yazılımı ile yapay olarak elde edilen zamana bağlı yatay ivme değerleri gösterilmektedir. Patlama kaynaklı yer hareketinin zamana bağlı ivmelerini yapay olarak üreten BlastGM yazılımı, MATLAB programlama dilinde geliştirilmiştir. Yazılıma, giriş verisi olarak, patlayıcı ağırlığı, patlama merkezine dik uzaklık, zaman aralığı, zemin cinsi( sismik hız, sönüm oranı) değerleri girilmektedir.



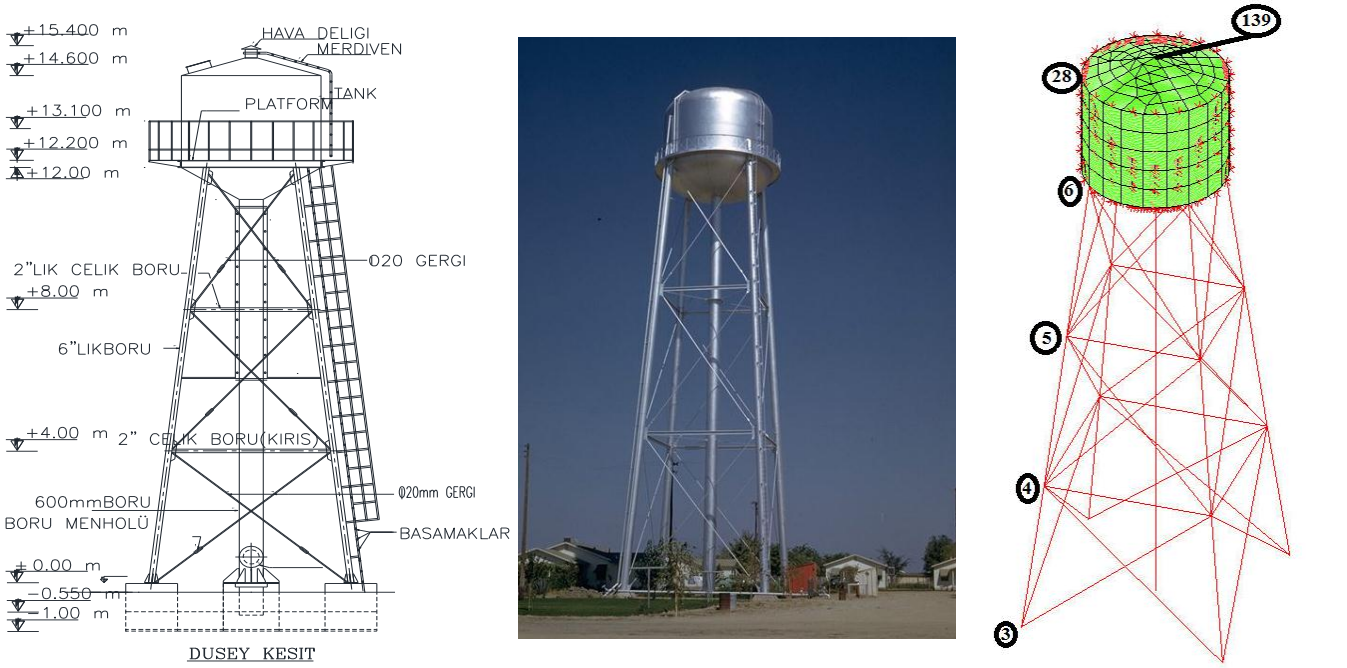

Şekil 3. Patlama merkezine 25m mesafede, 25Kg, 50Kg ve 100Kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.

## 3. AYAKLI ÇELİK SU DEPOLARININ DİNAMİK ANALİZİ

### *3.1. Ayaklı Çelik Su Depoları*

Su getirme projelerinde su basıncının yeterli düzeyde olmadığı durumlarda, su basıncını artırmak için ayaklı su depoları tercih edilmektedir. Ülkemizdeki resmi kurumlar çoğunlukla ayaklı betonarme su depolarını kullanmaktadır. Ancak diğer ülkelerde tamamen çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı çelik su depoları inşa edilmektedir. Çelik taşıyıcı sistem, beton agregası olmayan yerlerde, montajın ve demontajın hızlı olması gereken yerlerde tercih edilmektedir. Bu olumlu yanları yanında çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depolar korozyona uğraması nedeniyle belli periyotlarda bakım istemektedir. Bu durum da betonarme ayaklı depolara göre, çelik depoların işletim masraflarının fazla olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, patlama kaynaklı yer hareketi etkisinde ayaklı çelik su deposu ele alınarak dinamik etkiler incelenmiştir. Şekil 4'de ayaklı çelik su deposunun (a) düşey kesiti, (b) bitmiş hali, (c) sonlu eleman modeli verilmektedir.




(a) (b) (c)

Şekil 4. Ayaklı çelik su deposunun (a) düşey kesiti (URL -1), (b) bitmiş hali (URL -2), (c) sonlu eleman modeli.

Ayaklı çelik su deposu, sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS yazımıyla Şekil 4c'deki gibi modellenmiştir. Deponun hazne hacmi 30m$^3$'tür. Hazne su kotu 14.60m ve deponun tepe kotu 15.40m'dir. Eğik kolonlar 6" çapında, yatay kirişler 2" çapında, boru menholü 60cm çapında çelik borulardan imal edilmiştir. Diyagonal gergi çubuklarda ise Ø20'lik inşaat demiri kullanılmıştır. ANSYS yazılımında eğik kolonlar ve kirişler BEAM188, gergi çubukları LINK180, hazne kabuğu SHELL63 ile, haznedeki su FLUID80 sonlu elemanı ile modellenmiştir. Ayaklı çelik su deposu granit zemine ankastre mesnetle bağlanmıştır. Granit zemin homojen kabul edilmiştir.

### *3.2. Hareket Denklemi*

Ayaklı çelik su deposu sıvı-yapı etkileşim sistemlerine örnektir. Bu tip yapılarda dinamik etki altındaki sıvı yapının, yapı da sıvının davranışını önemli derecede etkilediğinden, patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su deposunda bu durum dikkate alınmalıdır. Sıvı-yapı etkileşim sisteminin ortak hareket denklemleri her iki sisteme ait eşitliklerin arayüzey şartı dikkate alınarak birleştirilerek elde edilmektedir.

Arayüzey şartları dikkate alınarak, Lagrange yaklaşımına dayalı "n" serbestlik dereceli sıvı-yapı sistemlerinin yer hareketi altındaki sönümlü hale ait ortak hareket denklemi (Chopra, 1996).

$$[M]\{\ddot{U}\}+[C]\{\dot{U}\}+[K]\{U\}=\{F\} \tag{12}$$

şeklinde yazılabilir. Burada $[M],[C],[K]$ sırasıyla ortak sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; $\{\ddot{U}\},\{\dot{U}\},\{U\}$ise sırasıyla toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini, $\{F\}$ ise dış yük vektörünü göstermektedir.
Patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su depolarının dinamik analizi, (12) eşitliğinin Newmark-β yöntemi kullanılarak çözümlenmesiyle yapılabilmektedir. Bu sayısal yöntemde

$$\begin{Bmatrix} u_{k+1} \\ \dot{u}_{k+1} \\ \ddot{u}_{k+1} \end{Bmatrix} = F_N \begin{Bmatrix} u_k \\ \dot{u}_k \\ \ddot{u}_k \end{Bmatrix} + H_N F_{k+1} \tag{13}$$

$$F_N = \frac{1}{\beta}\begin{bmatrix} \beta-\omega_n^2\alpha(\Delta t)^2 & \beta\Delta t-2\zeta\omega_n\alpha(\Delta t)^2-\omega_n^2\alpha(\Delta t)^3 & \frac{1}{2}\beta(\Delta t)^2-\alpha(\beta+\gamma)(\Delta t)^2 \\ -\omega_n^2\delta\Delta t & \beta-2\zeta\omega_n\delta\Delta t-\omega_n^2\delta(\Delta t)^2 & \beta\Delta t-\delta(\beta+\gamma)\Delta t \\ -\omega_n^2 & -2\zeta\omega_n-\omega_n^2\Delta t & -\gamma \end{bmatrix} \tag{14}$$

$$H_N = \left(\frac{1}{m\beta}\right)\begin{Bmatrix} \alpha(\Delta t)^2 \\ \delta\Delta t \\ 1 \end{Bmatrix} \tag{15}$$

$$q_k = \begin{Bmatrix} u_k \\ \dot{u}_k \\ \ddot{u}_k \end{Bmatrix} \tag{16}$$

$$q_{k+1} = F_N q_k + H_N F_{k+1} \tag{17}$$

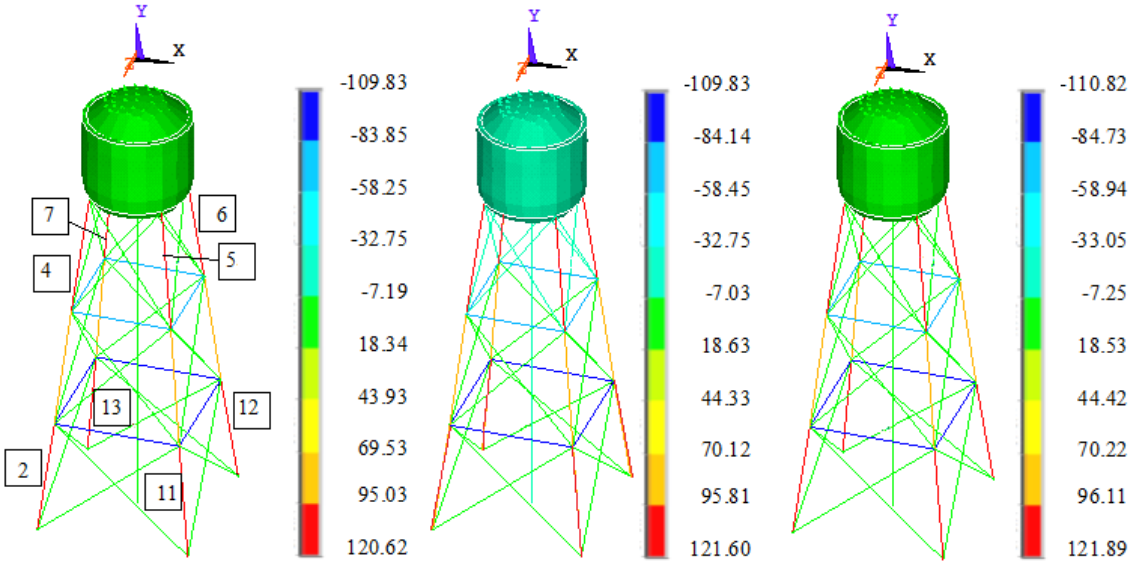
(13), (14), (15), (16) ve (17) denklemleri kullanılarak sayısal çözümleme yapılmıştır (Hart ve Wong, 1999).

### *3.3. Sayısal Uygulamalar*

Yapay olarak elde edilen patlama kaynaklı yer hareketlerinin dinamik etkileri, ANSYS sonlu elemanlar yazılımında modellenen ayaklı çelik su deposu üzerinde incelenmiştir. Ayaklı çelik su deposunun yüksekliği boyunca yer alan 3, 4, 5, 6, 28 ve 139 nolu düğüm noktaları (Şekil 4c) için elde edilen x yönündeki yerdeğiştirme değerleri Tablo 3'de görülmektedir. Ayaklı çelik su deposunda 2,4,5,6,7,11,12,13 nolu elemanlara ait normal gerilmeler Tablo 4'te görülmektedir. Bu elemanların kritik elemanlar olduğu Şekil 5a,5b,5c'den de anlaşılmaktadır. Tablo 3'ten de görüldüğü gibi patlama sonucu oluşan yerdeğiştirmeler, patlayıcı miktarı arttıkça artmaktadır. Benzer olarak Tablo 4'te ve Şekil 5a,5b,5c'de patlama sonucu oluşan normal gerilmeler, patlayıcı miktarı arttıkça artmaktadır. Patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su deposunun dinamik analizinde, deponun 1.periyodu $T_1$=0.723sn, 2. periyodu $T_2$=0.720sn olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. Patlama merkezine dik uzaklık R=25m iken, Q=25kg, Q=50Kg ve Q=100Kg patlayıcı ile meydana gelen patlama kaynaklı yer hareketinin ayaklı çelik su deposunun yüksekliği boyunca oluşturduğu x yönündeki yerdeğiştirmeler.

| Yükseklik(m) | Düğüm Noktası | X Yönündeki Yerdeğiştirme (mm) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Q=25kg | Q=50kg | Q=100kg |
| 0.00 | 3 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4.00 | 4 | 1.1263 | 1.1443 | 1.1460 |
| 8.00 | 5 | 0.6321 | 0.7120 | 0.6300 |
| 12.00 | 6 | 13.9180 | 13.8247 | 13.8757 |
| 14.60 | 28 | 6.7984 | 6.7983 | 6.7983 |
| 15.20 | 139 | 0.5463 | 0.4646 | 0.5322 |




(a) (b) (c)

Şekil 5. Patlama merkezine dik uzaklık R=25m iken, (a) Q=25Kg,(b) Q=50Kg, (c) Q=100Kg patlayıcı ile meydana gelen patlama kaynaklı yer hareketinin depoda oluşturduğu normal gerilmeler(MPa).

Tablo 4. R=25m uzaklık ve Q=25kg, Q=50kg ve Q=100kg patlayıcı için, patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su deposunun kritik elemanlarına ait normal gerilmeler.

| Eleman No | Normal Gerilmeler (MPa) | | |
|---|---|---|---|
| | Q=25kg | Q=50kg | Q=100kg |
| 2 | 100.12 | 100.76 | 101.28 |
| 4 | 117.78 | 118.56 | 118.61 |
| 5 | 120.62 | 121.60 | 121.89 |
| 6 | 117.62 | 118.34 | 118.77 |
| 7 | 100.27 | 100.46 | 101.23 |
| 11 | 100.42 | 100.43 | 101.20 |
| 12 | 98.52 | 98.75 | 99.43 |
| 13 | 97.96 | 98.26 | 98.90 |

## 4. SONUÇLAR

Patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su deposunun dinamik analizinin yer aldığı bu çalışmada aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

Yeryüzünde veya yeryüzüne çok yakın yerlerde gerçekleştirilen patlatmalar sonucu büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Bu enerji nedeniyle hava şoku etkili yer hareketi ve direkt etkili yer hareketi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, bu iki yer hareketinin birleşiminden oluşan patlama kaynaklı yer hareketi incelenmiştir. Patlama kaynaklı yer hareketini temsilen stasyoner olmayan rastgele işlem yöntemi kullanılmıştır. Yapay yer hareketleri için, granit zeminde yapılmış olan deneysel çalışmalardan yararlanılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen pik ivmeler yardımıyla, yazarlar tarafından geliştirilen BlastGM yazılımı kullanılarak patlamaya ait ivme değerleri elde edilmiştir. Ayaklı çelik su deposu sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS yazılımı ile modellenmiştir. Daha sonra patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su deposunun dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizler sonucu, patlama merkezine dik uzaklık sabitken, patlayıcı ağırlığı arttıkça yerdeğiştirmelerin ve gerilmelerin arttığı görülmüştür. Yerleşim yerlerine yakın yerlerde patlatma çalışmaları yapılırken, yapıların patlama kaynaklı yer hareketlerine karşı davranışlarının da dikkate alınması gerekmektedir. Aksi durumda, yerdeğiştirmeler ve gerilmeler sınır değerleri aştığında taşıma gücünün sona ermesi gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkacaktır.

## KAYNAKLAR

ANSYS Finite Element Analysis System(2011). SAS IP, Inc., U.S.

Amin, M., Ang, A.H.S. (1968). A non-stationary stochastic model of earthquake motion., J. Eng. Mech. Div. 94(2), 559–583.

Hacıefendioğlu, K., Köksal, O.(2012).BlastGM (Artificial Generation of Blast Induced Ground Motion).

Bolotin, V.V.(1960), Statistical theory of the aseismic design of structures, In:Proceedings of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo, 2, 1365-1374.

Chopra, A.K. (1996). Dynamics of Structures: Theory and Applications of Earthquake Engineering, 2nd Edition, Prentice Hall, 844 s.

Earthquake Engineering Research Center (1969). PSEQN - Artificial generation of earthquake accelerograms, , Report No EERC 69-3, P. Ruiz and J. Penzien, University of California, Berkeley, California.

Hacıefendioğlu, K., Kurtuluş, S., Birinci, F. (2012) Numerical investigation of stochastic response of an elevated water tank to random underground blast loading, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, Vol. 26, 599-607.

Hart C.G. ve Wong K. (1999). Structural dynamics for structural engineers, John Wiley&Sons, Inc.,Toronto,

Jennings, P.C., Housner, G.W.ve Tsai, N.C. (1969). Simulated earthquake motions for design purposes, In: Proc. 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 1, 145–160.

Kanasewich, ER.(1981). Time sequence analysis in geophysics, The University of Alberta Press; Edmonton, Alberta, Canada.

Lu, Y. ve Wang, Z. (2006). Characterization of structural effects from above-ground explosion using coupled numerical simulation. Computers & Structures 84(28), 1729-1742.

Ma, H. J., Quek, S. T., Ang K. K. (2004).Soil–structure interaction effect from blast-induced horizontal and vertical ground vibration. Engineering Structures 26(12), 1661-1675.

MATLAB. (2009). The MathWorks, Natick, MA.

Köksal O.(2013). Patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su depolarının dinamik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 459956.

Özcan D.M.(2010). Yapıların Patlatma Kaynaklı Doğrusal Olmayan Davranışlarının Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Dokrora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 276440.

Özmen, H.(2006). Patlatma Kaynaklı Yer Hareketinin Modellenmesi ve Yapı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Singh, P.K. ve Roy, M.P. (2010).Damage to surface structures due to blast vibration, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 47(6), 949-961.

Sólnes, J.(1997). Stochastic Processes and Random Vibrations: Theory and Practice, England.

Unified Facilities Criteria (UFC).(2008). Structures To Resist The Effects Of Accidental Explosions, Technical Manual. US Department of the Army, Navy, and Air Force, Washington.

URL-1:http://hossinhassany.blogfa.com/post-320.aspx, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2012).

URL-2: http://vis.eng.uci.edu/~curee/e3/Elevated%20water%20tank.jpeg, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2012).

Wu, C., Hao, H., Lu, Y.ve Sun, S. (2004). Numerical simulation of structural responses on a sand layer to blast induced ground excitation. Computers & Structures 82 (9-10), 799-814.

Wu, C.ve Hao, H. (2005). Modeling of simultaneous ground shock and airblast pressure on nearby structures from surface explosions. International Journal of Impact Engineering 31(6), 699-717.

Wu, C. ve Hao, H. (2007). Numerical simulation of structural response and damage to simultaneous ground shock and airblast loads. International Journal of Impact Engineering 34(3), 556–572.