



SU ALTI PATLAMALARININ SAYISAL MODELLEMESİNDE ALE VE SPH METOTLARININ KARŞILAŞTIRMASI

Doğukan Kaymak

Kıdemli İş Geliştirme Mühendisi

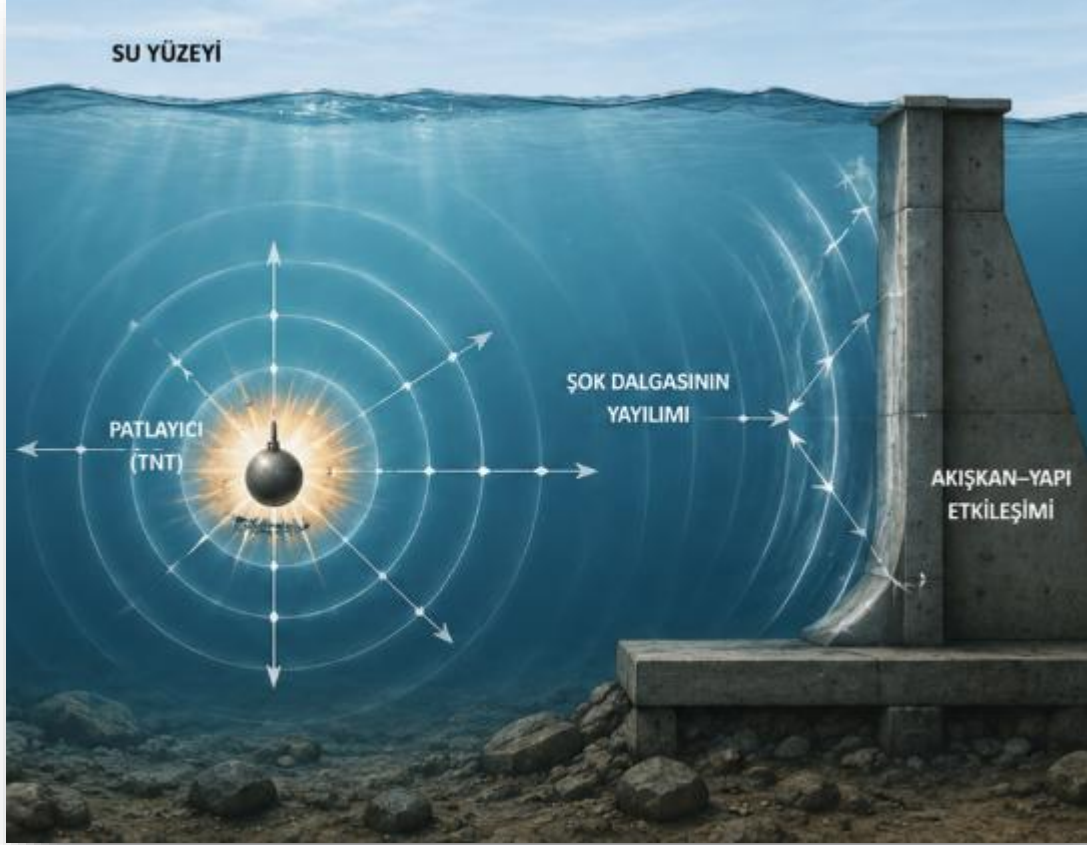
M. Emin Akca

Kıdemli Analiz Mühendisi

Eylül 2026, Ankara

- ❑ Giriş
- ❑ Yöntemler: ALH ve SPH Yaklaşımları
- ❑ Sayısal Modelleme (LS-DYNA)
 - ❑ Genel Model Tanımı
 - ❑ Malzeme Modelleri ve Durum Denklemleri
 - ❑ ALE Yöntemi ile Oluşturulan Sayısal Model
 - ❑ SPH Yöntemi ile Oluşturulan Sayısal Model
- ❑ Sonuçlar ve Karşılaştırma

Görsel yapay zeka ile oluşturulmuştur!



Yüksek Genlikli Basınç Dalgaları

Patlama enerjisinin su ortamına ani aktarımı sonucunda çok kısa sürede yüksek basınçlar oluşur.



Şok Dalgasının Yayılımı

Oluşan yüksek basınçlı dalga, akışkan ortam içerisinde radyal olarak ilerler.



Akışkan-Yapı Etkileşimi

Şok dalgası yapı yüzeyine ulaştığında yansıma ve yük aktarma mekanizmaları ile yapı üzerinde ciddi yüklemelere neden olur.

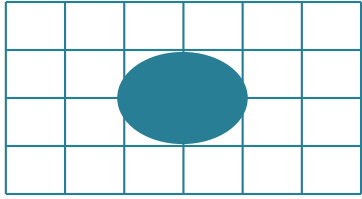
Su altı patlamalarının doğru modellenmesi, yapıların patlama yükleri altındaki davranışının güvenilir biçimde öngörülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir.



AMAÇ: Aynı başlangıç ve sınır koşulları altında ALE ve SPH yöntemlerinin su altı patlamalarının modellenmesindeki performanslarının karşılaştırılması.

ALE

Arbitrary Lagrangian–Eulerian



Mesh ve malzeme hareketi ayrıştırılabilir

- Mesh tabanlı hibrit yaklaşım
- Mesh hareketi malzeme hareketinden bağımsız tanımlanabilir
- Büyük deformasyonlarda mesh bozulmasını azaltır
- Şok dalgası yayılımının modellenmesine uygundur

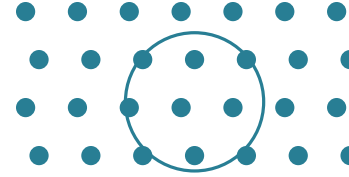
Sınırlamalar

İnce mesh gereksinimi • Adveksiyon kaynaklı sayısal yayılma

VS

SPH

Smoothed Particle Hydrodynamics



Komşu parçacıklar kernel ile etkileşir

- Mesh-free / parçacık tabanlı yaklaşım
- Fiziksel büyüklükler komşu parçacıklar üzerinden hesaplanır
- Büyük deformasyon ve serbest yüzeylerde avantajlıdır
- Mesh bozulması problemi içermez

Sınırlamalar

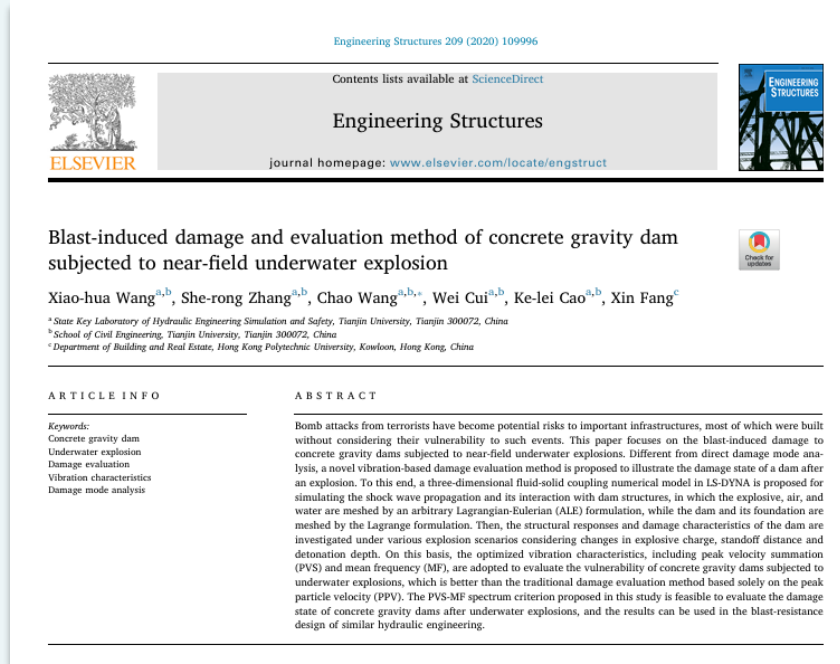
Parçacık aralığına duyarlılık • Sınır koşulları • Hesaplama maliyeti

TEMEL FARK: ALE: Mesh Tabanlı ↔ SPH: Parçacık Tabanlı

Wang et al. (2020)

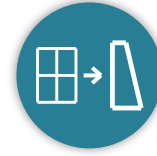
“Blast-induced damage and evaluation method of concrete gravity dam subjected to near-field underwater explosion”

Referans Çalışma



Yakın alan su altı patlamasına maruz kalan baraj.

Referans Çalışmanın Bu Bildirideki Rolü



ALE MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Referans ALE modeli esas alındı

Geometri, yükleme yaklaşımı ve beton malzeme tanımları

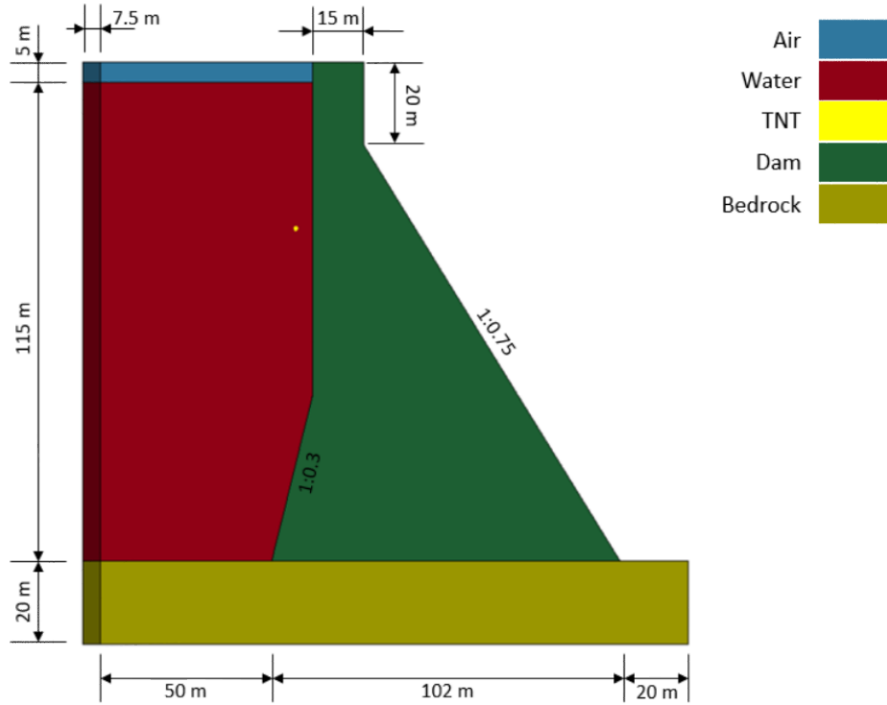


SPH MODELİ VE KARŞILAŞTIRMA

Aynı fiziksel problem SPH ile kuruldu

ALE ↔ SPH • Şok yayılımı • Basınç • Çözüm davranışı

Referans çalışma → ALE modelinin kurulması → Aynı modelin SPH ile oluşturulması → Yöntemlerin karşılaştırılması



Ortak geometrik model • Akışkan ortam • Patlayıcı yük • Beton baraj • Temel

Toplam Patlayıcı Kütlesi

500 kg TNT

Modelleme Yaklaşımı

½ Simetri

Sayısal Modelde TNT

250 kg

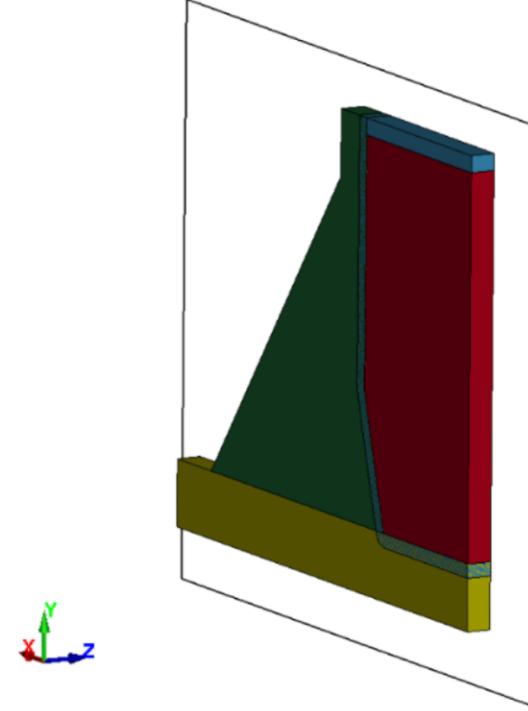
Kullanılan Yazılım

LS-DYNA

ORTAK MODEL: ALE ve SPH analizlerinde aynı geometri, başlangıç koşulları ve sınır şartları kullanılmıştır.



Orijinin model üzerindeki konumu.



Modele uygulanan simetri koşulunun 2 boyutlu gösterimi.

SİMETRİ KOŞULU: Orijin noktası ve analizde kullanılan simetri düzlemi gösterilmektedir.

TNT

***MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN**

EOS_JWL

Detonasyon ürünlerinin basıncı; hacim değişimi ve iç enerjiye bağlı olarak tanımlanır.

SU

***MAT_NULL**

EOS_GRUNEISEN

Sıkıştırılabilir akışkan yaklaşımı. Şok yükleri altında basınç-yoğunluk-enerji ilişkisini temsil eder.

HAVA

***MAT_NULL**

EOS_LINEAR_POLYNOMIAL

İdeal gaz yaklaşımı altında düşük yoğunluklu ve sıkıştırılabilir hava ortamını temsil eder.

BARAJ

***MAT_CSCM_CONCRETE**

Continuous Surface Cap (CSC)

Betonun ezilme, çatlama ve hasar gelişimi.

$f_c = 20 \text{ MPa}$ • $\text{agrega} = 80 \text{ mm}$ • $\rho = 2320 \text{ kg/m}^3$

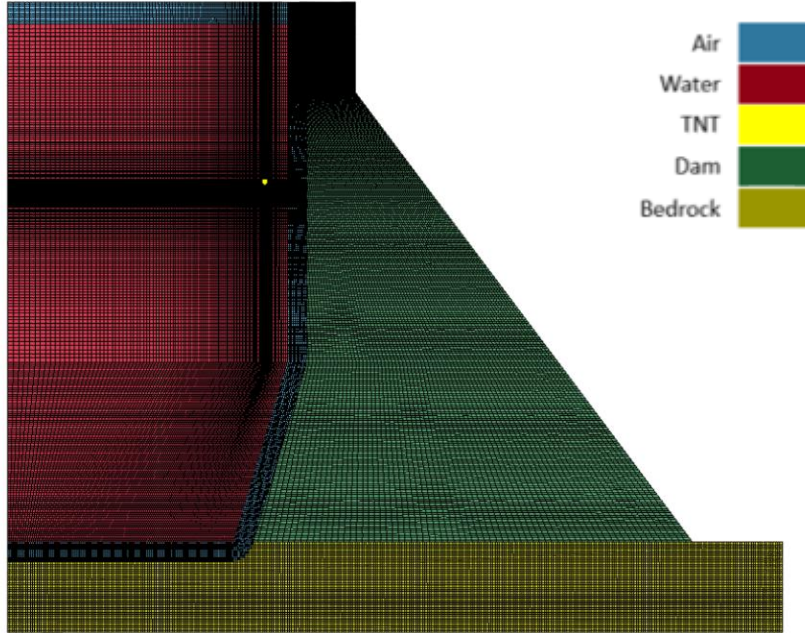
BEDROCK

***MAT_JOHNSON_HOLMQUIST_CONCRETE**

Holmquist-Johnson-Cook (HJC)

Kaya malzemenin yüksek basınç ve darbe altındaki dinamik davranışının modellenmesi.

MODELLEME YAKLAŞIMI: Akışkan ve patlayıcı bölgelerde durum denklemleri, katı bölgelerde gelişmiş malzeme modelleri kullanılmıştır.



Patlayıcı çevresinde yoğunlaştırılmış mesh → uzak bölgelerde kademeli seyrelme

AKIŞKAN ORTAM

Eulerian ağ (~ 560 Bin)

Su, Hava ve TNT sabit eleman ağı üzerinde tanımlandı.

KATILAR

Lagrangian ağ (~ 510 Bin)

Baraj ve Bedrock Lagrangian elemanlarla modellenmiştir.

PATLAYICI TANIMI

*INITIAL_VOLUME_FRACTION_GEOMETRY

Küresel hacim • $r_0 = 0.418$ m

KONUM

(7.0, 80.0, 3.75) m

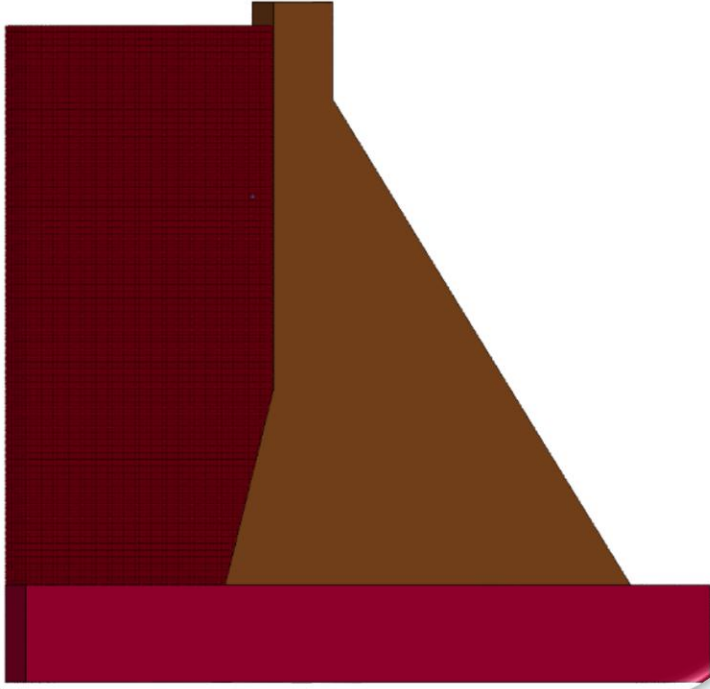
Patlayıcı merkez koordinatları

SİMETRİ

½ model • 250 kg TNT

$z = 3.75$ m simetri düzlemi

ALE MODELİ: Şok dalgasını çözebilmek için patlayıcı çevresinde yüksek mesh çözünürlüğü kullanılmıştır.



Hava ortamı ayrıca modellenmedi • Serbest yüzey SPH ile doğal olarak temsil edildi

AKIŞKAN ORTAM

SPH parçacıkları (~ 820 Bin)

Su ve TNT parçacık tabanlı olarak modellendi.

PARÇACIK ARALIĞI

0.4 m

Tüm akışkan ortamda sabit ve homojen dağılım

SPH FORMÜLASYONU

FORM = 6

Fluid particle with renormalization approximation

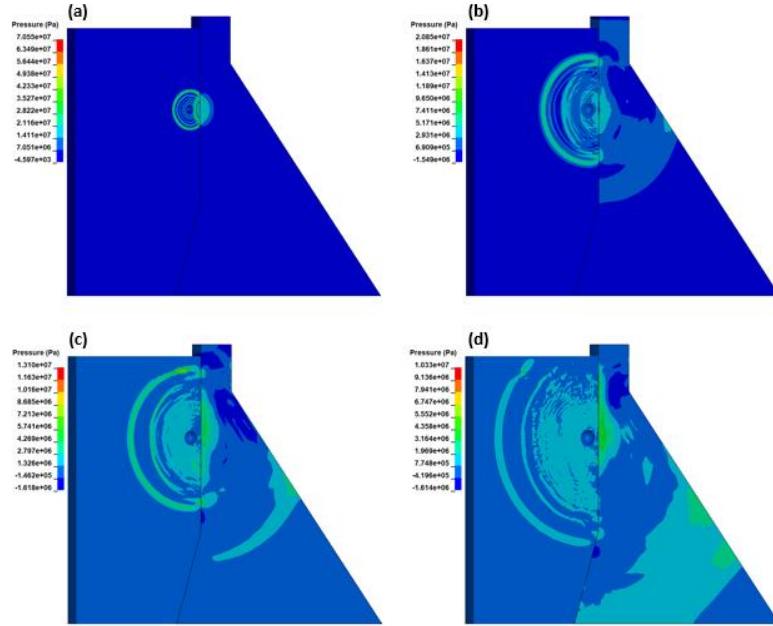
ETKİLEŞİM YARIÇAPI

CLSH = 1.15

Parçacıklar arası etkileşim mesafesini belirler

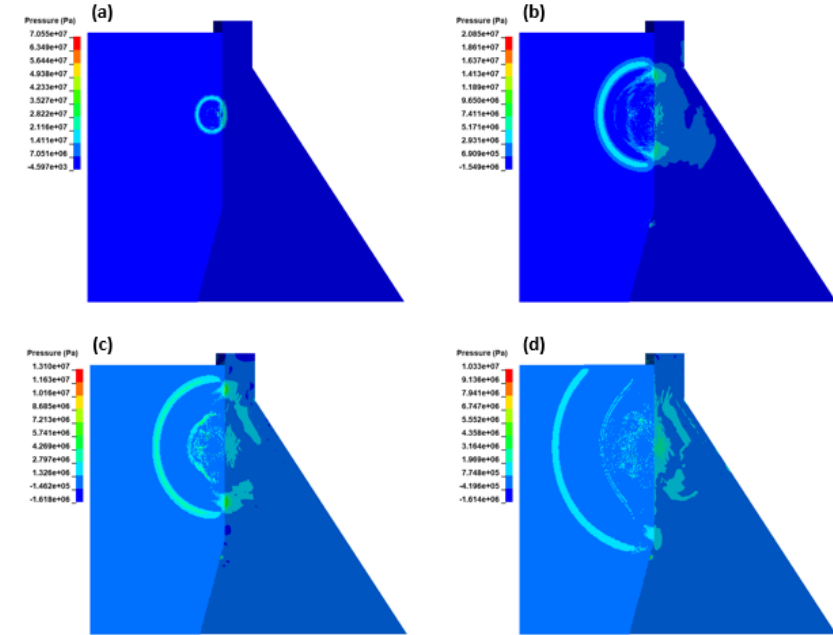
SPH MODELİ: Sabit 0.4 m parçacık aralığı ile akışkan ortamda homojen çözünürlük sağlanmıştır.

ALE



5 ms • 15 ms • 20 ms • 30 ms

SPH

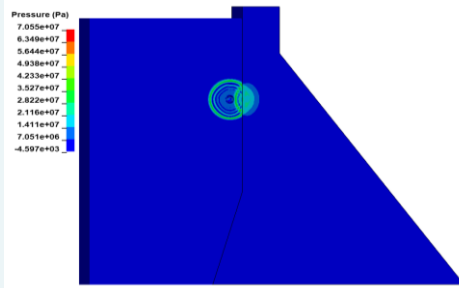


5 ms • 15 ms • 20 ms • 30 ms

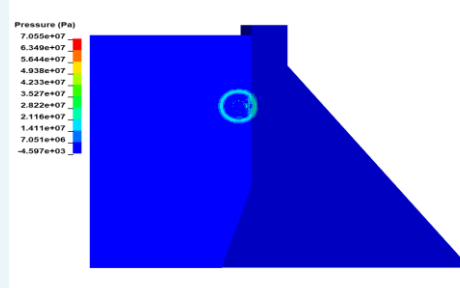
ORTAK DAVRANIŞ: Her iki yöntemde şok dalgası küresel olarak yayılmakta ve zamanla genliği azalmaktadır.

5 ms

ALE



SPH



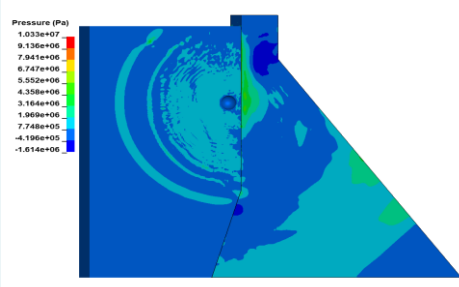
GÖZLEM

ALE çözümünde şok cephesi daha düzgün ve simetrik.

SPH çözümünde patlama çevresinde lokal parçacık düzensizlikleri görülüyor.

30 ms

ALE



SPH



GÖZLEM

ALE dalga cephesinin keskinliğini ve sürekliliğini koruyor.

SPH'de dalga cephesi daha yayılmış, dağınık ve gürültülü hale geliyor.

TEMEL BULGU: ALE, şok dalgası cephesini SPH' ye kıyasla daha keskin ve kararlı biçimde yakalamaktadır.



TEŞEKKÜRLER