



SAVTEK2026

12.SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ

09-11 EYLÜL 2026

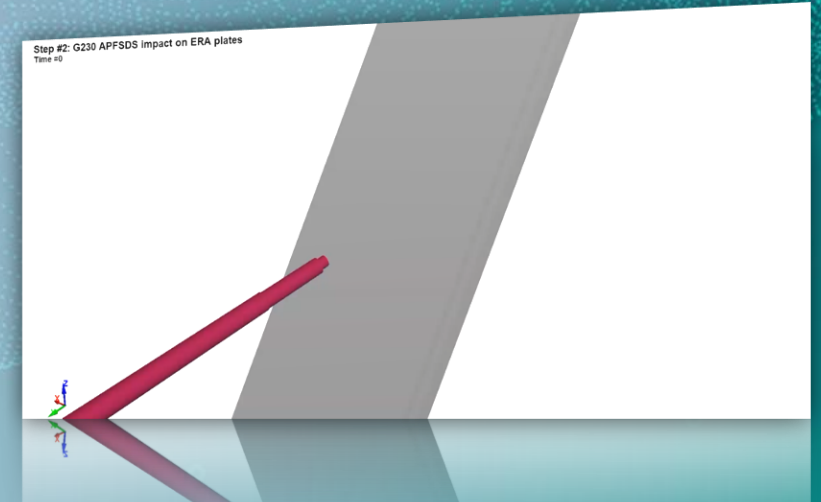
ODTÜ KÜLTÜR KONGRE MERKEZİ
ANKARA

<http://www.savtek.metu.edu.tr>

Patlayıcı Reaktif Zırh Detonasyonu ve Kinetik Enerji Penetratör Etkileşiminin LS-DYNA ile Çok Aşamalı Modellemesi

M. Emin Akca

Kıdemli Analiz Mühendisi



- DynaTeam, Kıdemli Analiz Mühendisi, 2024 - ...
- Roketsan, Tank Zırh Sistemleri Analiz Mühendisi, 2023-2024
- Nurol Teknoloji, Analiz ve Simülasyon Mühendisi, 2022-2023

- M.S., ODTÜ METE, 2022 – 2025
- B.S., ODTÜ METE, 2019 – 2022
- B.S., ODTÜ CE, 2016 – 2019

Firmamız

Biz kimiz?

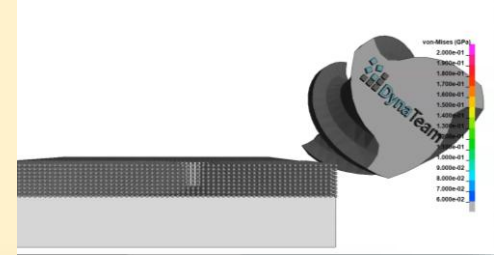
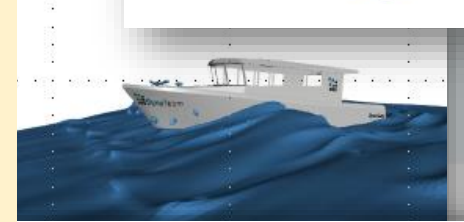
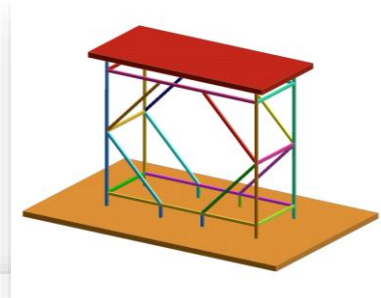
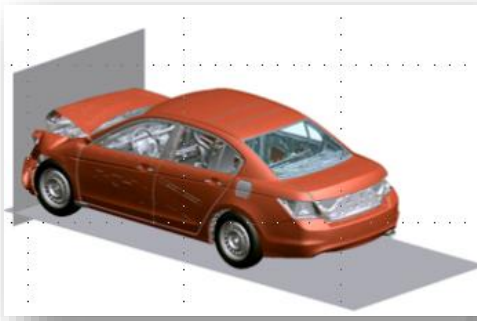


- Haziran 2024
- Ansys LS-DYNA çözümleri
 - Eğitim
 - Danışmanlık
 - Teknik destek
 - Proje desteği
- 'Non-linear Explicit Dynamics'
- Resmi **Ansys LS-DYNA** Türkiye çözüm partnerliği
- Resmi **Oasys LS-DYNA Environment** (ARUP) Türkiye temsilciliği
- Bilkent Center - HANE, Çankaya/Ankara



Firmamız

Teknik kabiliyetlerimiz



Explicit Dinamik

Darbe Mekaniği

Kaza Dayanımı

Patlama & Şok

Malzeme Karakterizasyonu

İleri Mesh Oluşturma

Yapısal Analiz

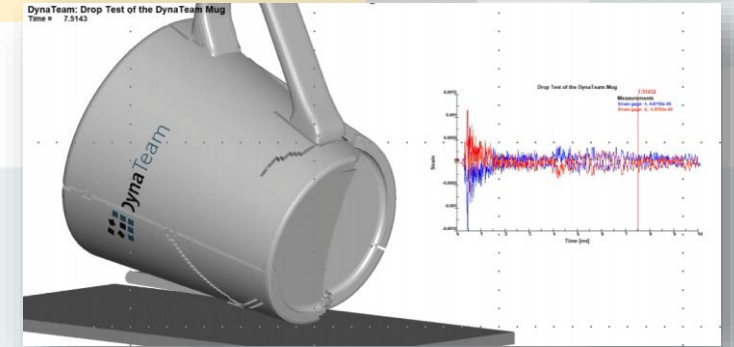
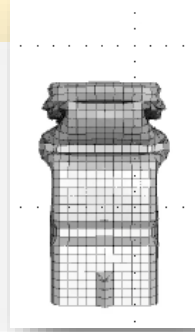
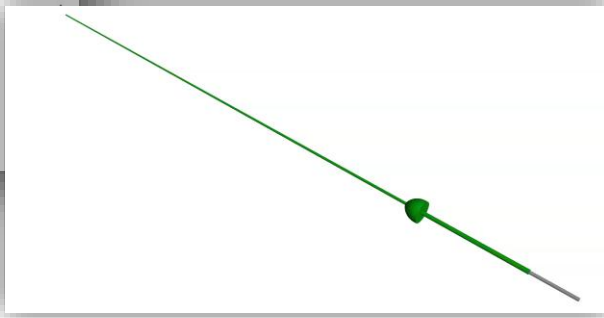
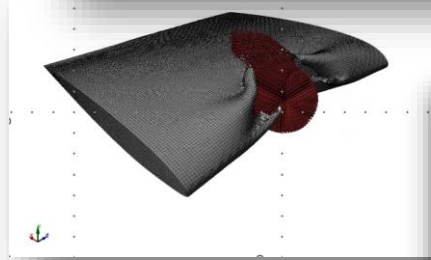
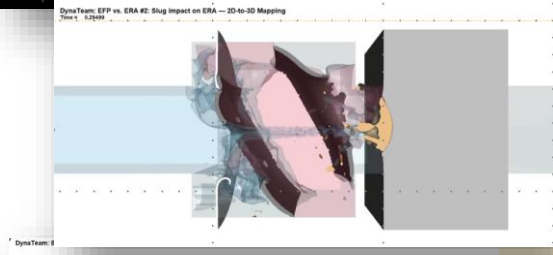
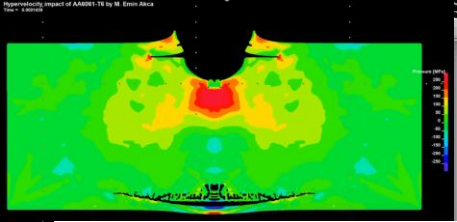
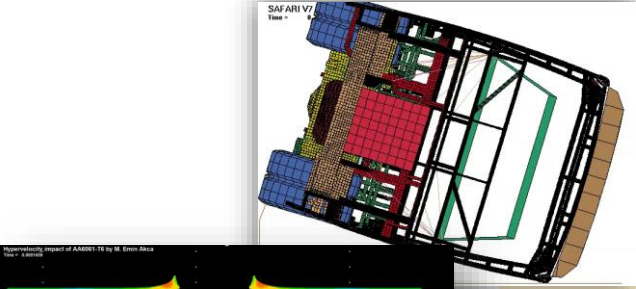
Terminal Balistik

Yolcu & Yaya Güvenliği

Akışkan-Yapı Etkileşimi (FSI)

Yüksek Hızlı Malzeme Testi

Parçacık Yöntemleri



izlence

- Problem Tanımı
- Deneysel Çalışmalar
- Nümerik Modelleme
 - Aşama 1: Detonasyon
 - Aşama 2: Penetrasyon
- Sonuçlar
- Kapanış

Problem Tanımı

Penetratör ve zırh

Problem tanımı

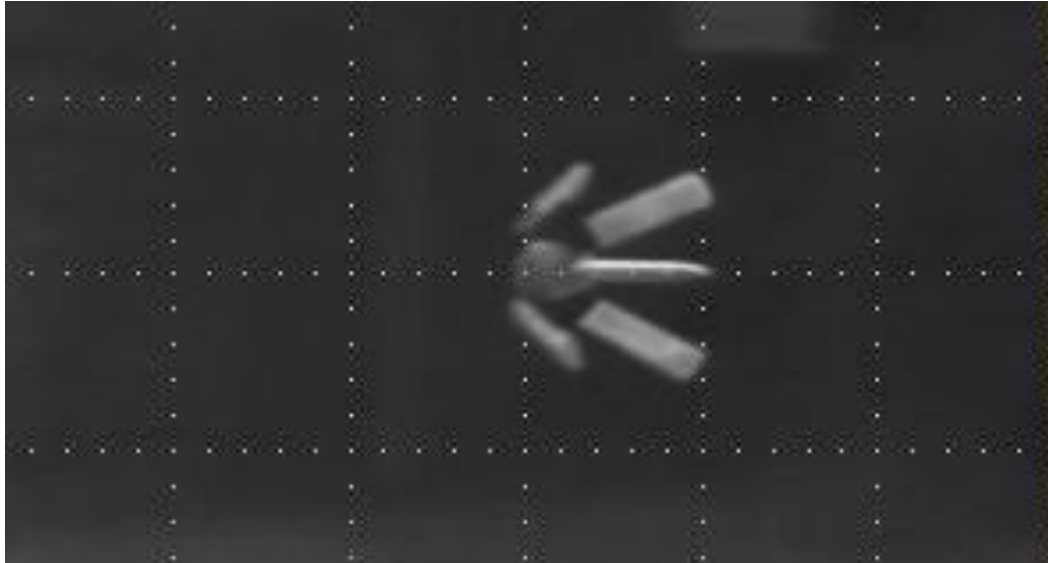
Kinetik enerji penetratörleri

■ APFSDS

- **Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot**
- Zırh Delici, Kanatçıkla Stabilize, Ayrılmalı Kovanlı Sabot

■ Modern anti-tank mühimmatları

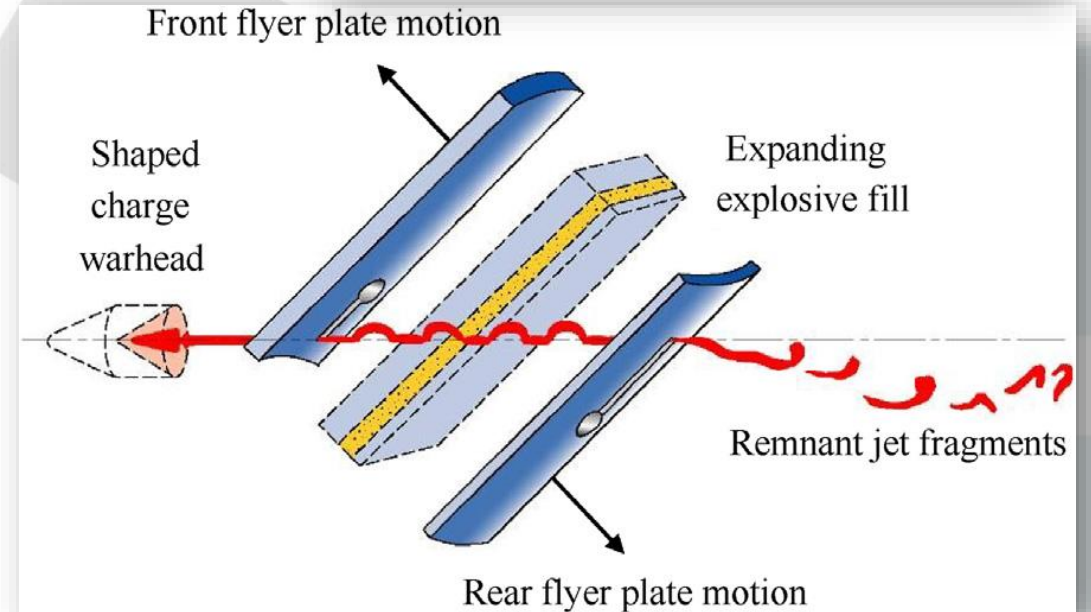
■ 1500 m/s ve üzeri hızlar



Problem Tanımı

Reaktif zırh

- Modern tank zırh sistemleri
- Çukur imla hakkı ve KE penetratörlerine karşı
- **Explosive Reactive Armor** (ERA)
- **Self-Limiting Explosive Reactive Armor** (SLERA)
- **Non-Energetic Reactive Armor** (NERA)
- **Non-Explosive Reactive Armor** (NxRA)



Deneysel Çalışmalar

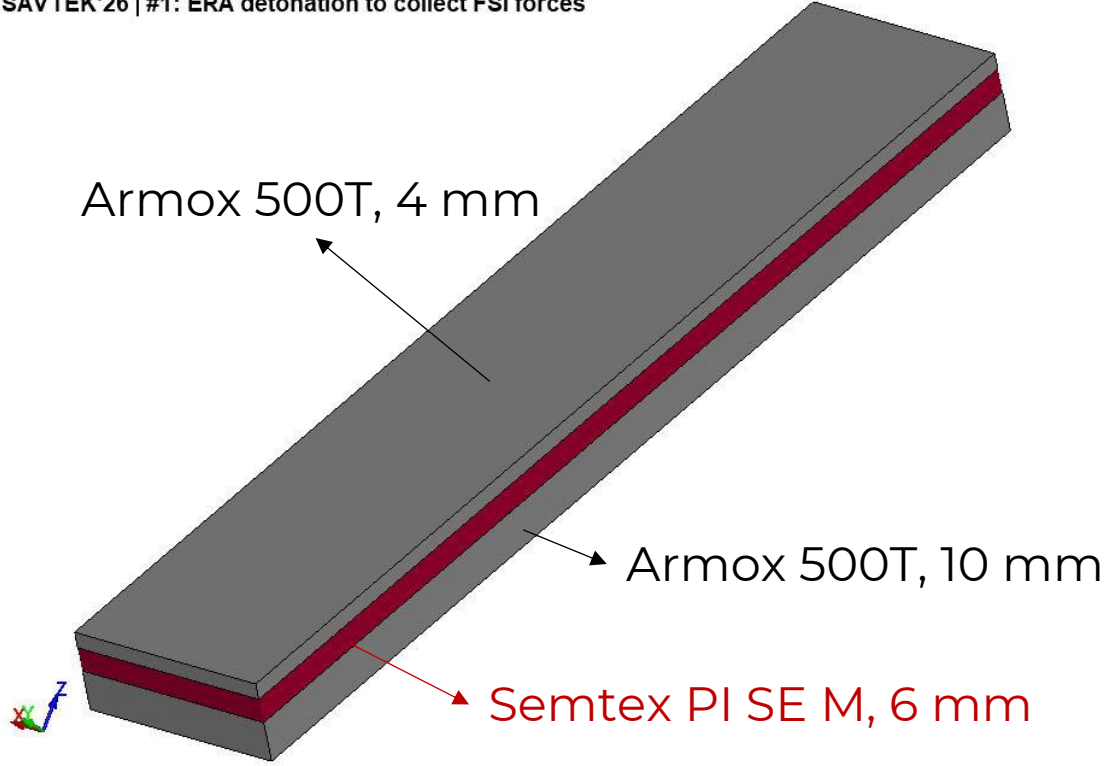
Terminal balistik

Nümerik Modelleme

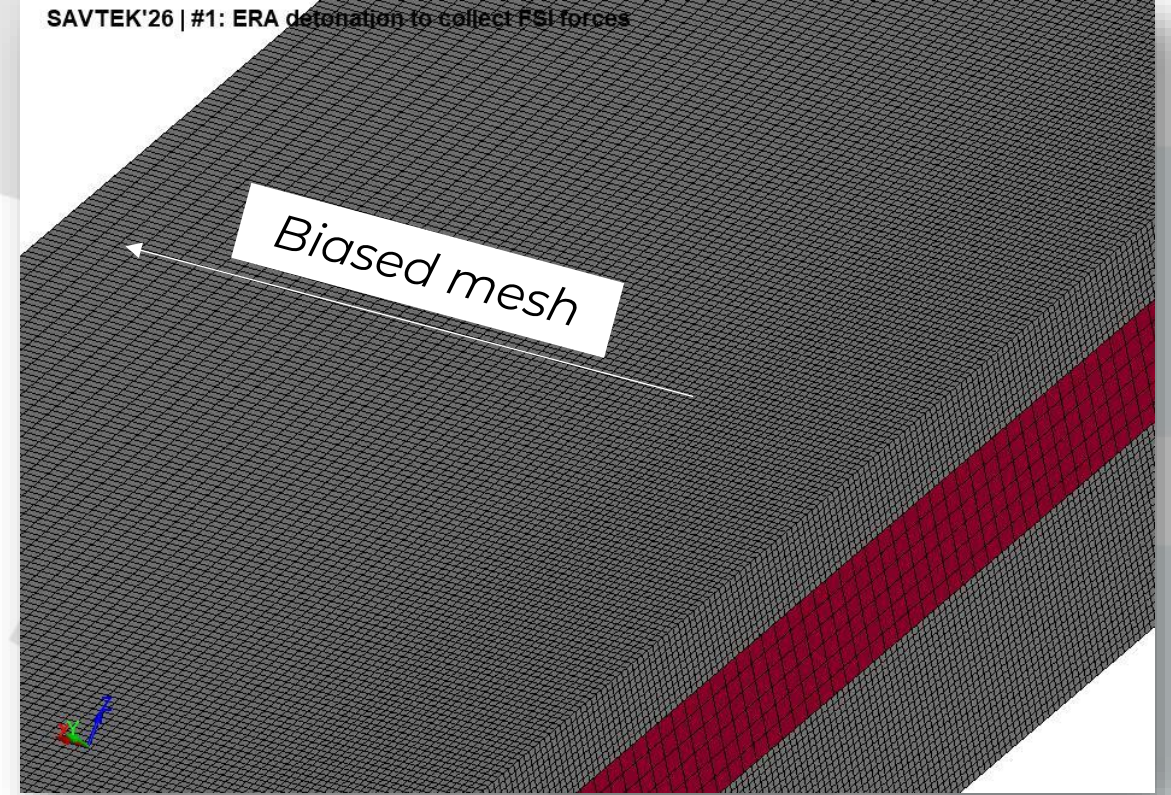
Sonlu Eleman Analizleri

Aşama 1: PRZ detonasyonu — Geometrik özellikler

SAVTEK'26 | #1: ERA detonation to collect FSI forces



SAVTEK'26 | #1: ERA detonation to collect FSI forces



- 100x260x4 mm ön plaka, Lagrangian FE
- 100x260x10 mm arka plaka, Lagrangian FE
- 100x261x6 mm PRZ patlayıcı, ALE
- 0.4 mm eleman boyutu + *biased mesh*

- 140x260x50 mm ALE uzayı
- 1,651,500 Lagrangian FE
- 1,381,250 ALE elemanı
- 3B yarı-simetrik sınır şartları

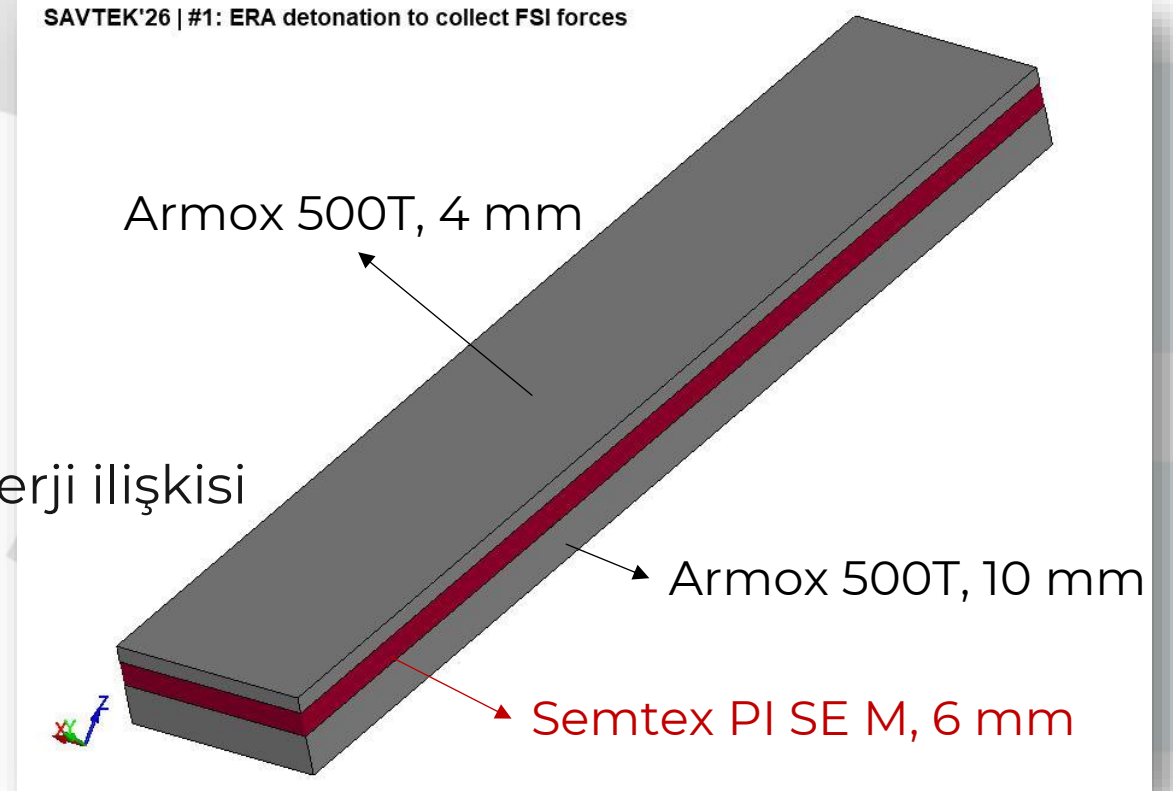
Aşama 1: PRZ detonasyonu — Malzeme özellikleri

■ Armox 500T

- *MAT_MODIFIED_JOHNSON_COOK
- Johnson–Cook metal plastisite
- Cockroft–Latham hasar modeli

■ Semtex PI SE M

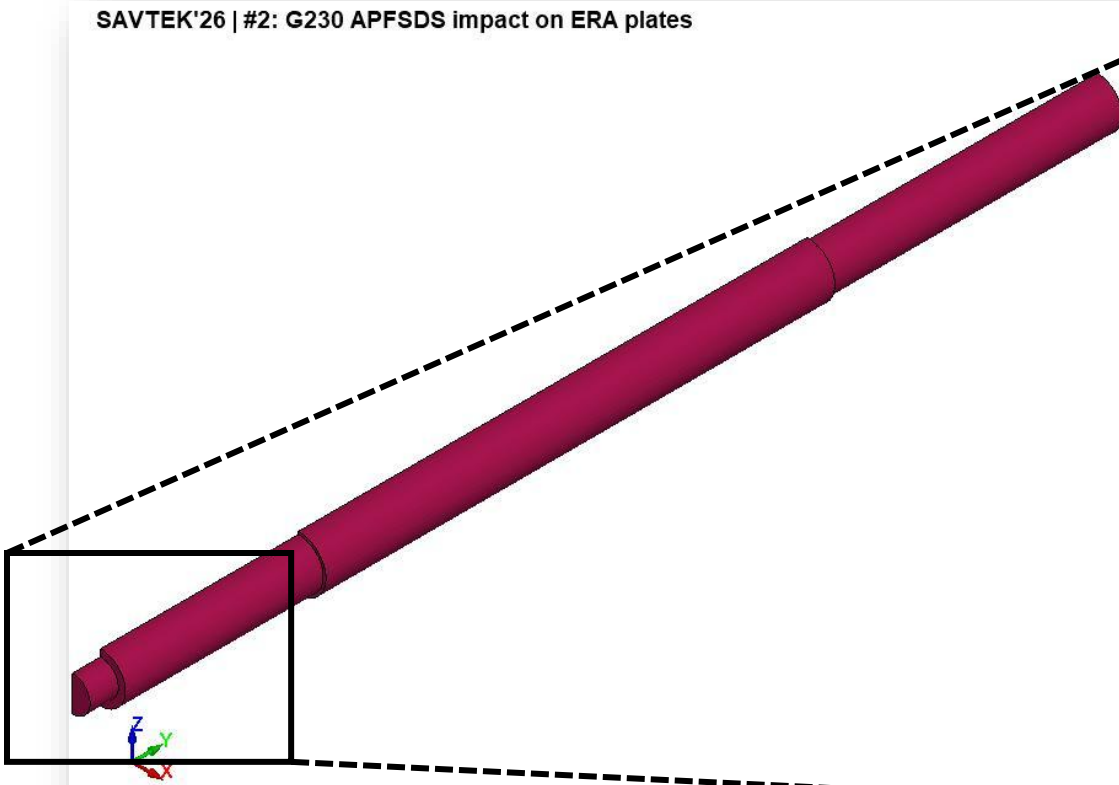
- *MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN
- *EOS_JWL
- Detonasyon hızı, basıncı, basınç-hacim-enerji ilişkisi



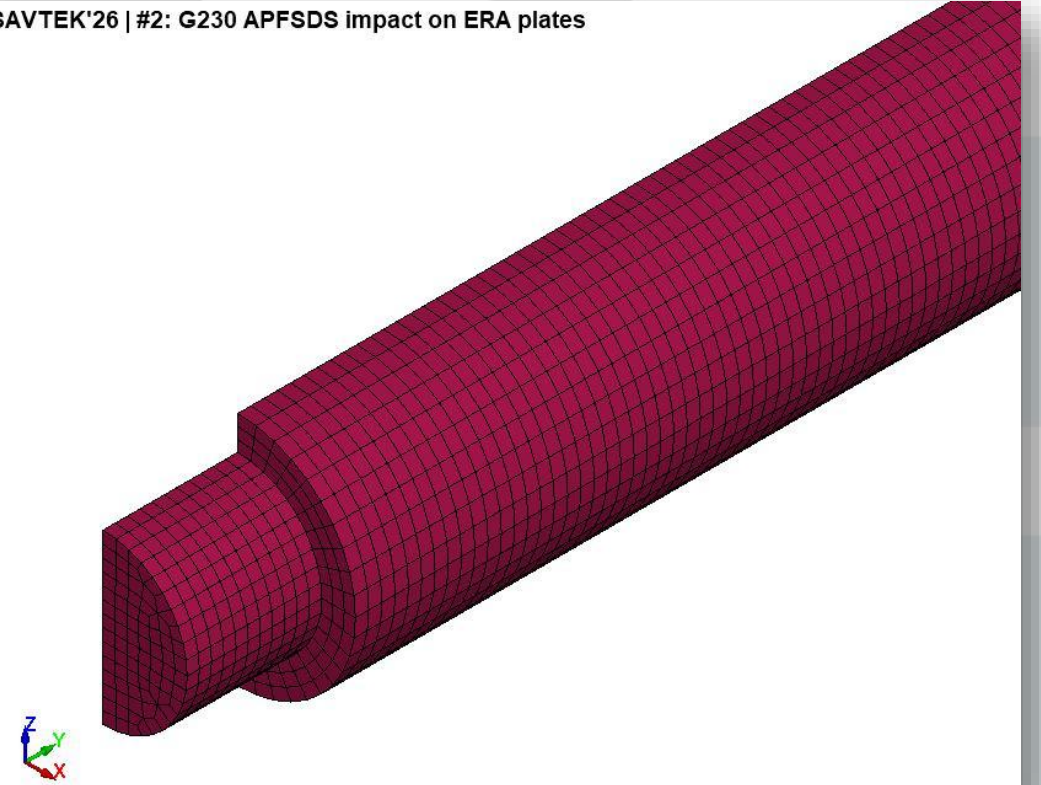
Aşama 1: PRZ detonasyonu — S-ALE LS-DYNA keyword yapısı

- *ALE_STRUCTURED_MESH
 - *ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS
 - *ALE_STRUCTURED_MULTI-MATERIAL_GROUP
 - *ALE_STRUCTURED_MESH_VOLUME_FILLING
 - *ALE_STRUCTURED_FSI
 - *ALE_FSI_TO_LOAD_NODE
 - *INITIAL_DETONATION
- S-ALE *mesh* bilgisi
- S-ALE malzeme bilgisi
- S-ALE uzayında hacim bilgisi
- FSI çözücüsü ve analiz sonunda FSI kuvvet-zaman bilgilerini 1 μ s aralıklarla yazma girdisi
- Detonasyon koordinat girdileri için başlangıç koşulu

SAVTEK'26 | #2: G230 APFSDS impact on ERA plates



SAVTEK'26 | #2: G230 APFSDS impact on ERA plates



- 53,310 Lagrangian FE
- 0.4 mm eleman boyutu
- 3B yarı simetrik sınır şartları

- Tungsten ağır alaşımı
- *MAT_MODIFIED_ZERILLI_ARMSTRONG
- *EOS_GRUNEISEN

Aşama 2: Balistik penetrasyon — LS-DYNA keyword yapısı

■ *LOAD_NODE

- Detonasyon analizi PRZ plaka yüzeyleri üzerinden alınan FSI kuvvet-zaman girdisi

■ *INITIAL_VELOCITY_GENERATION

- Mühimmat hızı olarak 1400 m/s tayini

■ *CONTACT_ERODING_SURFACE_TO_SURFACE

- Mühimmat ve PRZ plakaları arasında temas algoritması

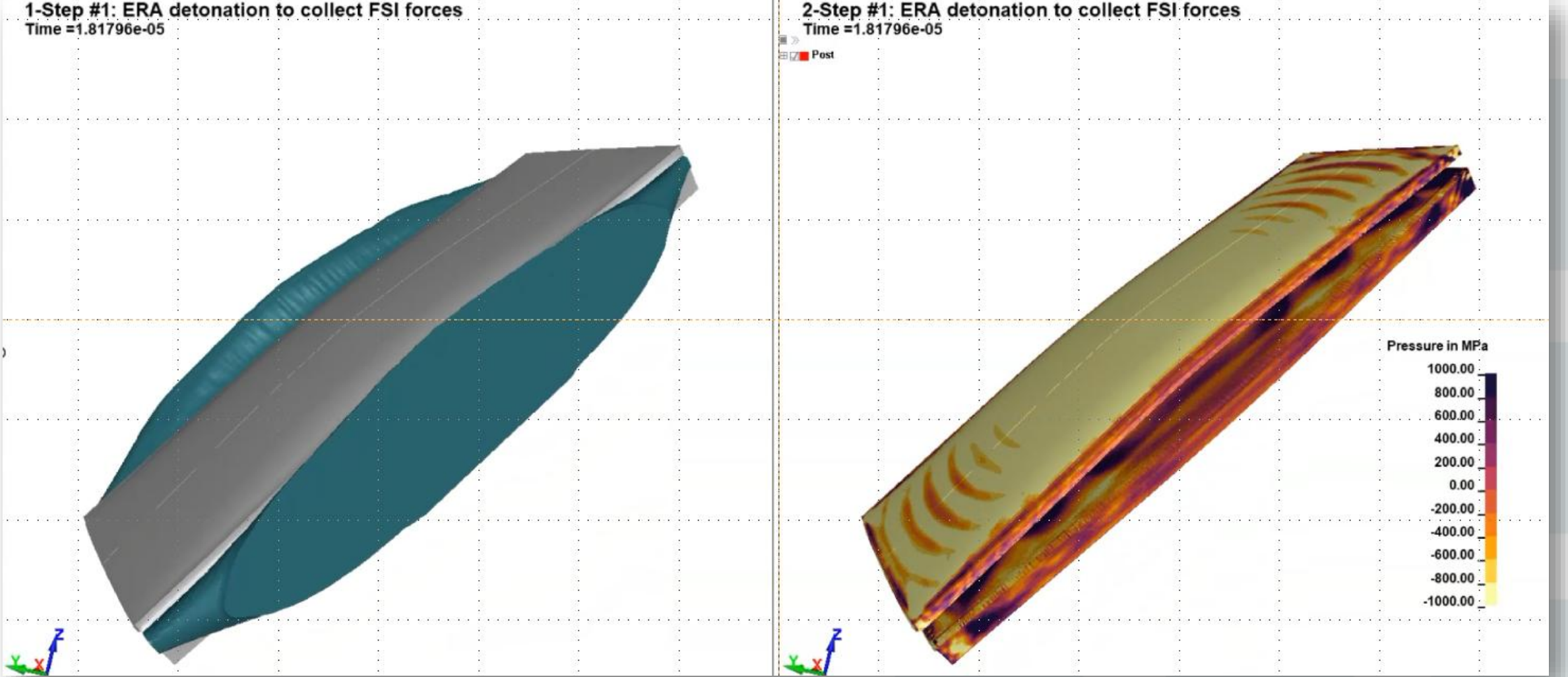
■ *CONTACT_ERODING_SINGLE_SURFACE

- Analiz boyunca oluşacak mühimmat fragmentlerinin kendi içindeki temasları

Sonuçlar

Sonuçlar

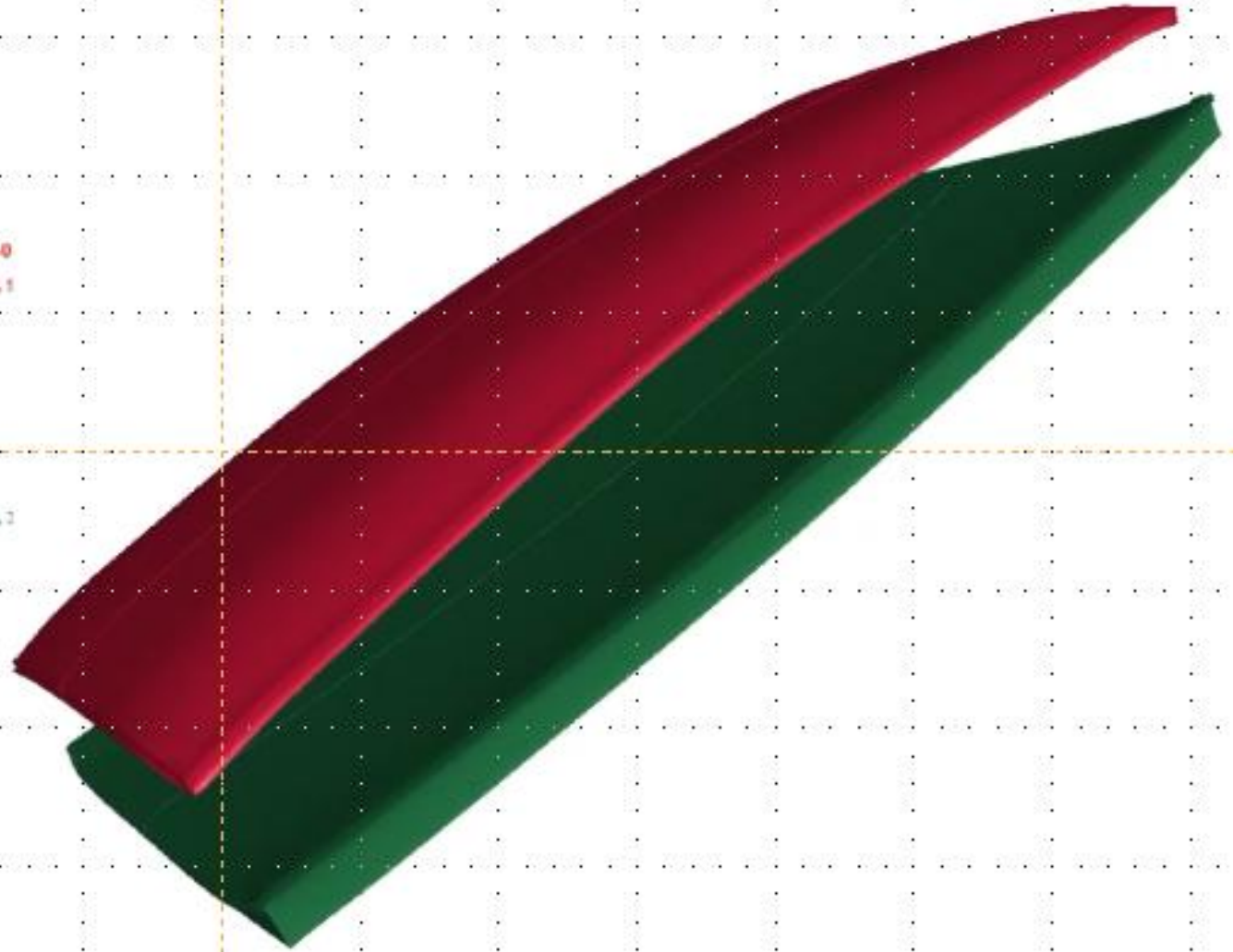
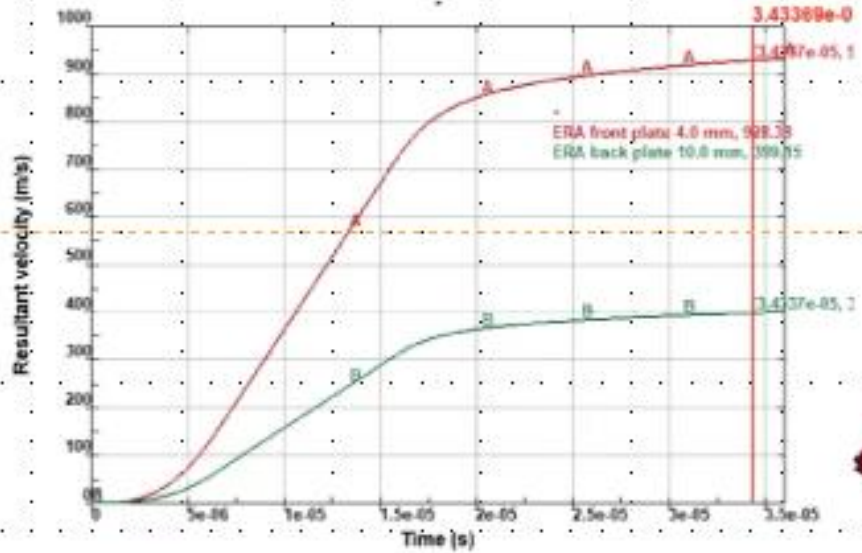
Aşama 1: PRZ detonasyonu



Sonuçlar

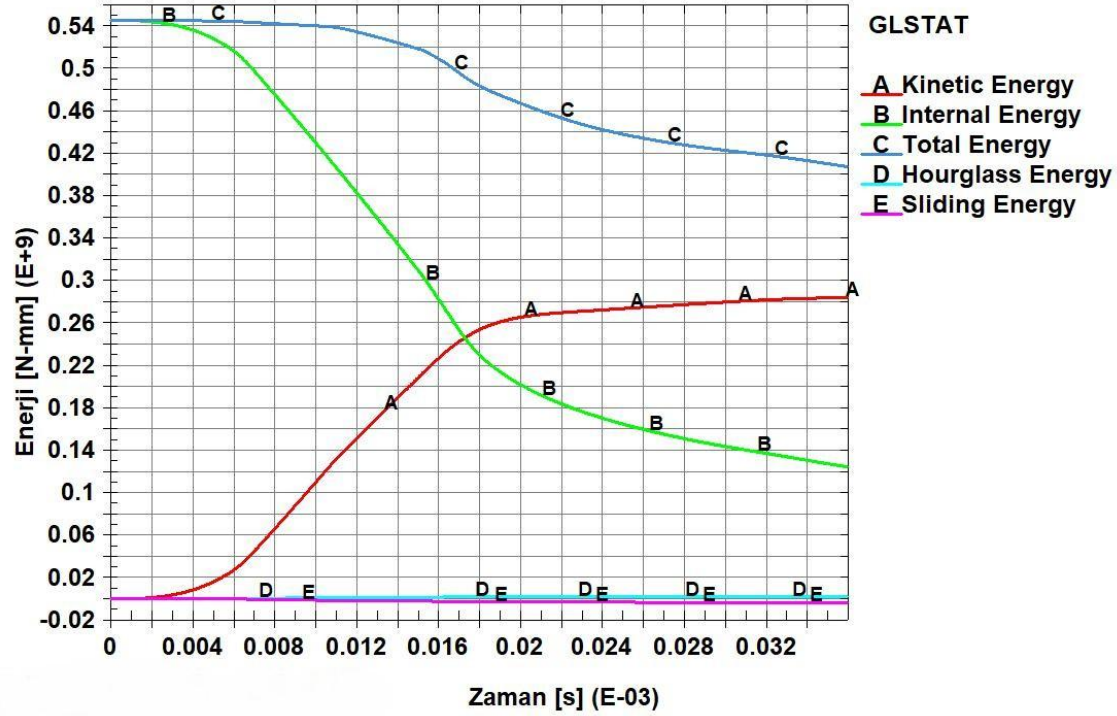
Aşama 1: PRZ detonasyonu

SAVTEK'26 | #1: ERA detonation to collect FSI forces
Time = 3.43369e-05

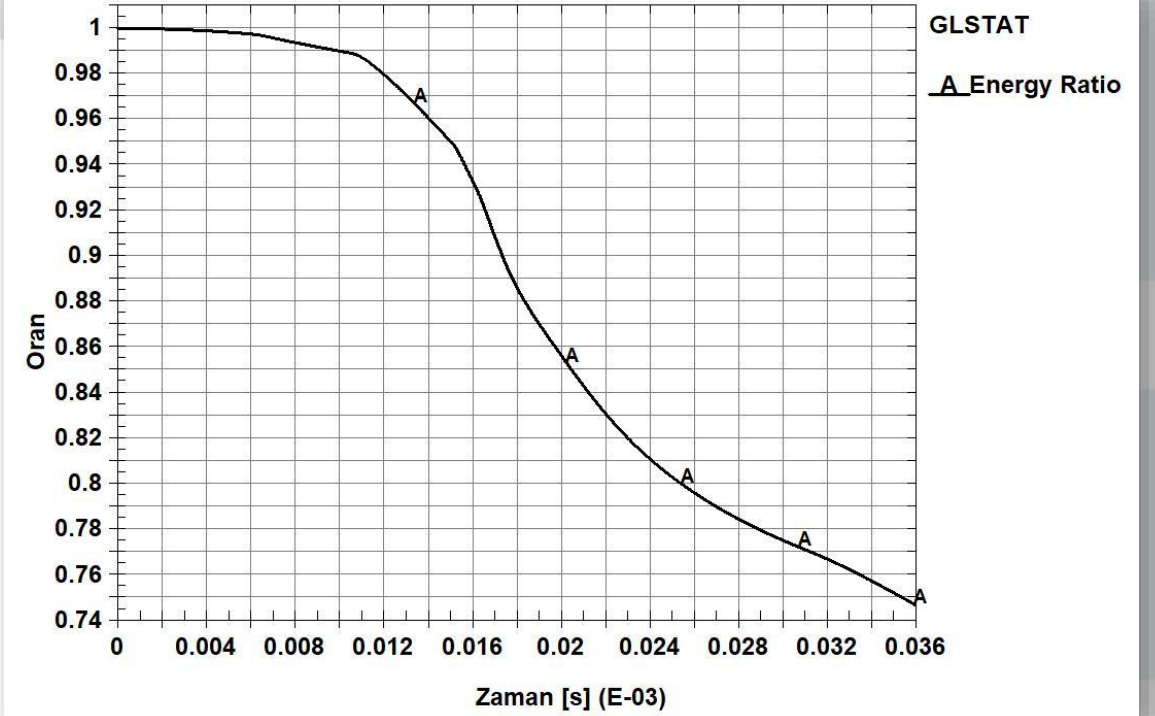


Sonuçlar

Aşama 1: PRZ detonasyonu



Detonasyon: Global enerji-zaman grafikleri

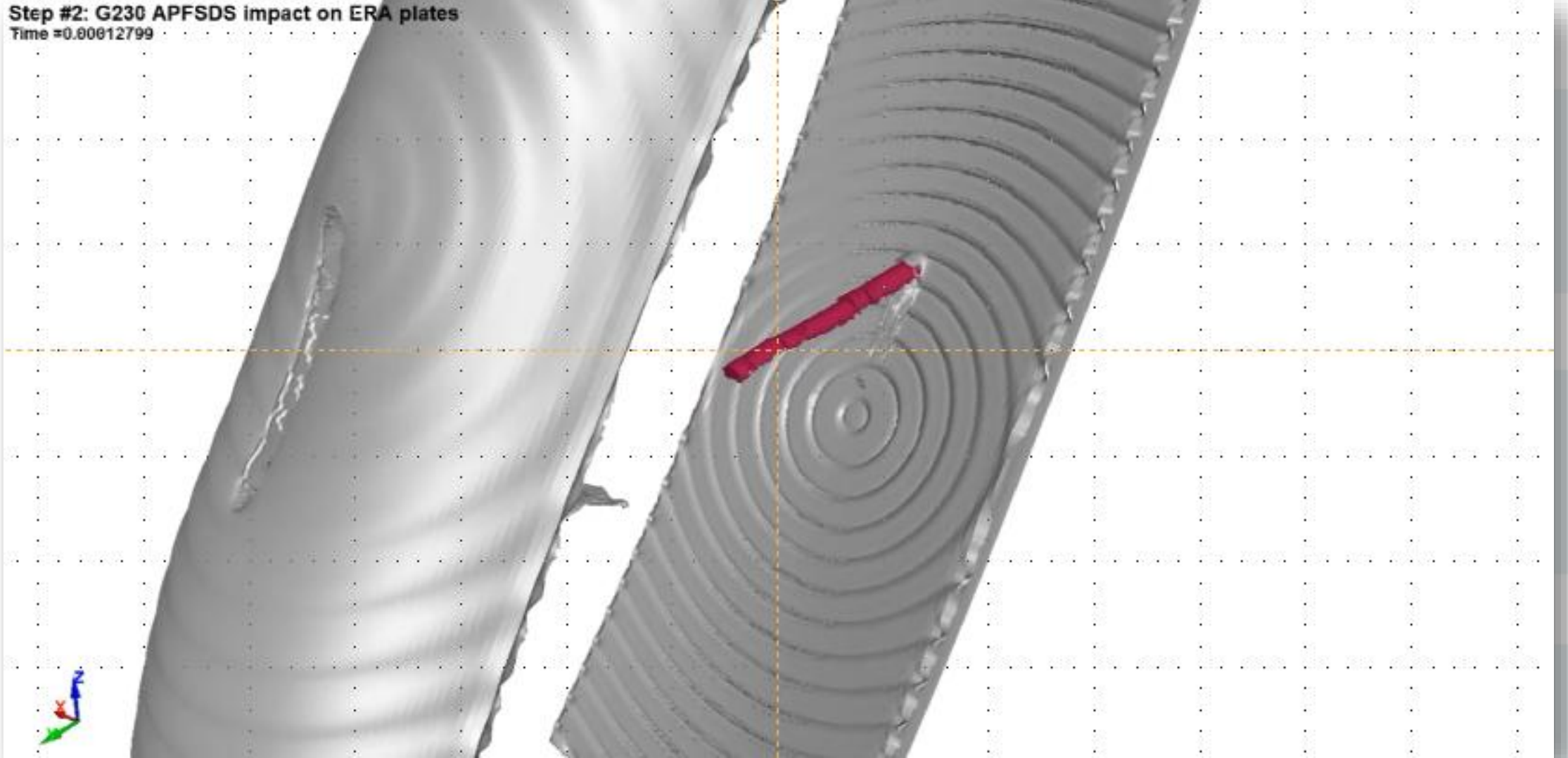


Detonasyon: Anlık/ilk enerji oranı

Sonuçlar

Aşama 2: Balistik penetrasyon

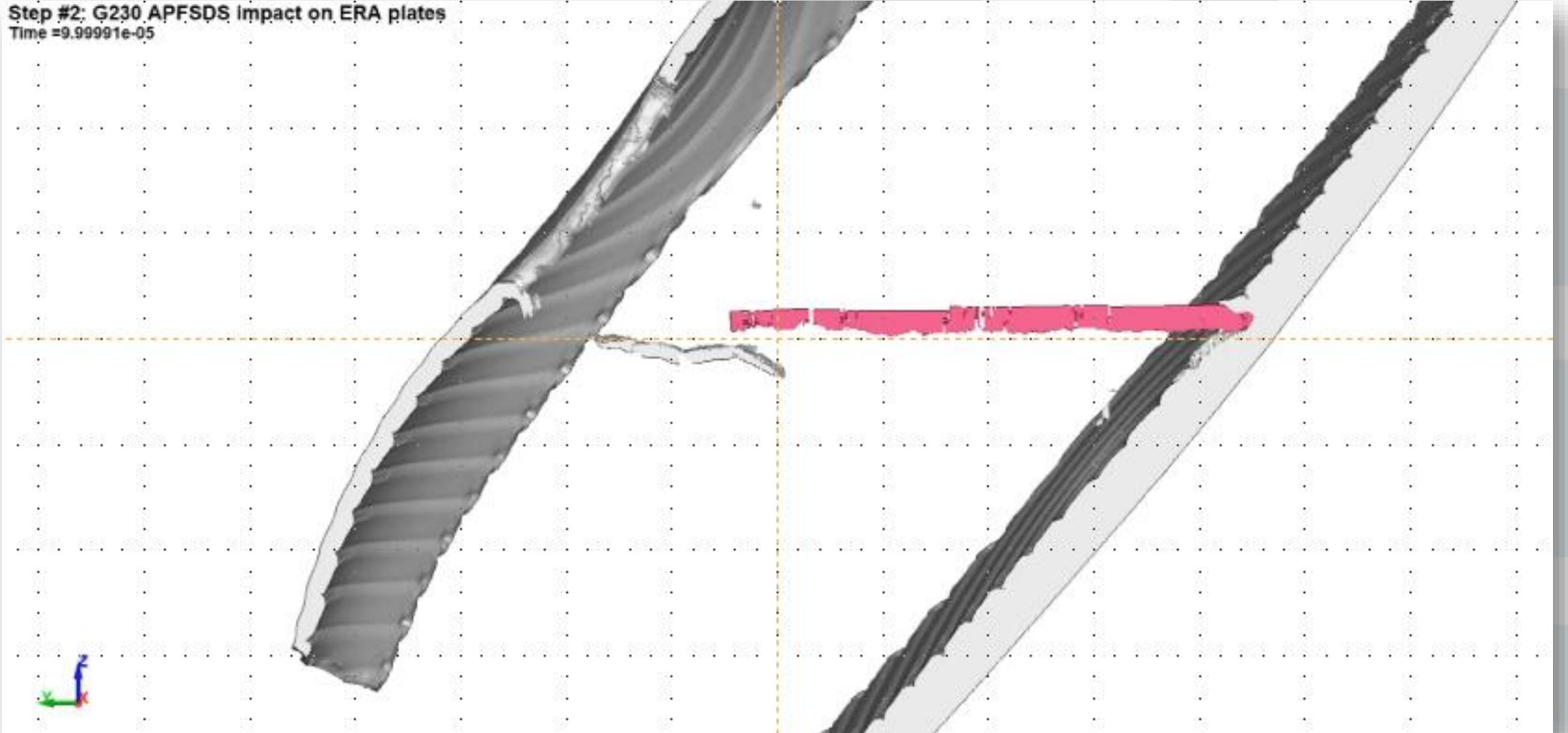
Step #2: G230 APFSDS impact on ERA plates
Time =0.00012799



Sonuçlar

Aşama 2: Balistik penetrasyon

Step #2: G230 APFSDS impact on ERA plates
Time =9.99991e-05



Sonuçlar

Aşama 2: Balistik penetrasyon

t = 0



t = 40 μ s



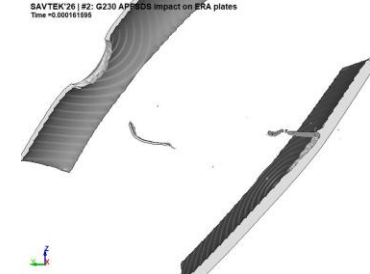
t = 80 μ s



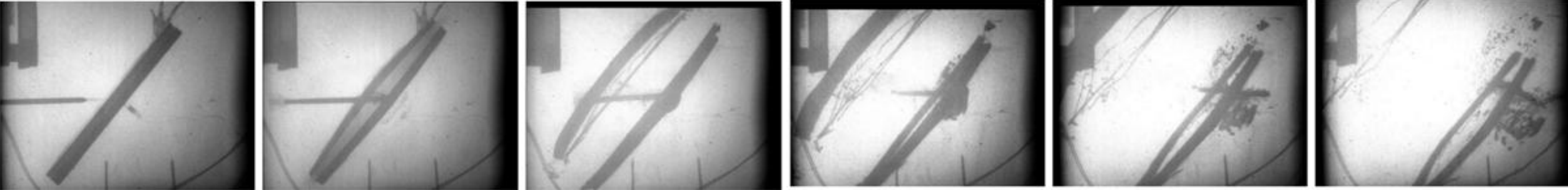
t = 120 μ s



t = 160 μ s



t = 200 μ s

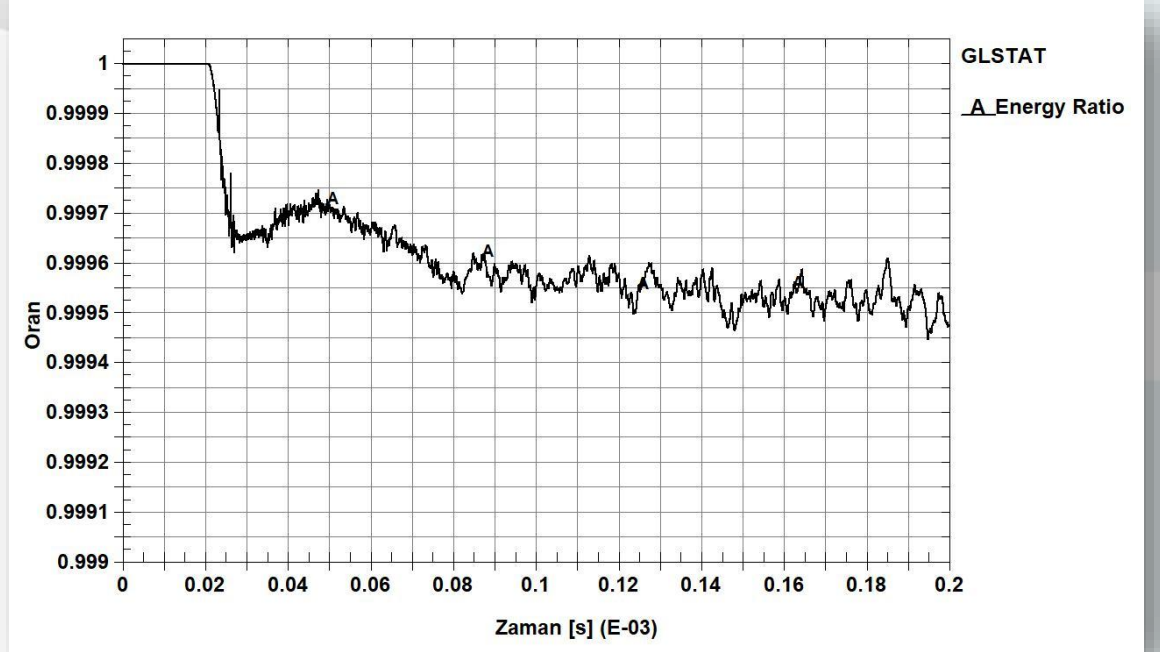
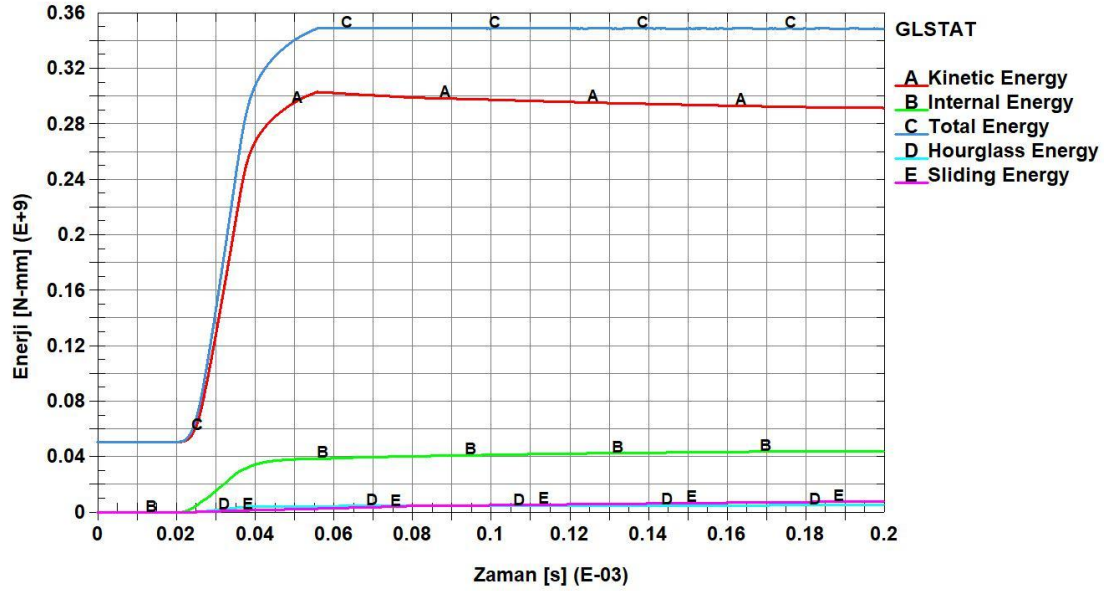


0-200 μ s arasında tungsten KE penetratör ve PRZ plakaları etkileşimleri: nümerik analiz ve FXR görüntülerinin kıyaslanması.

P. Moldtmann, J. Limido, A. Klavzar, S. Ryan, "ERA Targets Against Different Threats: Numerical Simulations and Experimental Results", 33. Uluslararası Balistik Sempozyumu, Bruges, Belçika, 2023

Sonuçlar

Aşama 2: Balistik penetrasyon



Balistik penetrasyon: Global enerji-zaman grafikleri

Balistik penetrasyon: Anlık/ilk enerji oranı

Kapanış

Kıssadan hisse

- LS-DYNA R16.1.1 MPP, 8 CPU
- PRZ-APFSDS detonasyon ve çarpışma analizi
- PRZ detonasyonu için LS-DYNA S-ALE çözücüsü
- S-ALE FSI kuvvetleri toplanıp sonraki analizlere girdi sağlanması
- Total Lagrangian balistik penetrasyon analizi
- Flash X-ray deney görüntüleri ile nümerik analiz kıyaslaması
- Mühimmat değişikliği, çarpma açısı değişikliği, vb. için tek PRZ detonasyon çözümü



Yarının simülasyonu, bugünün gerçeği.

Bilgi ve destek için

info@dynateam.com.tr
destek@dynateam.com.tr

www.dynateam.com.tr