

Savunma Uygulamaları için LS-DYNA'nın S-ALE Çözücüsüne Genel Bakış

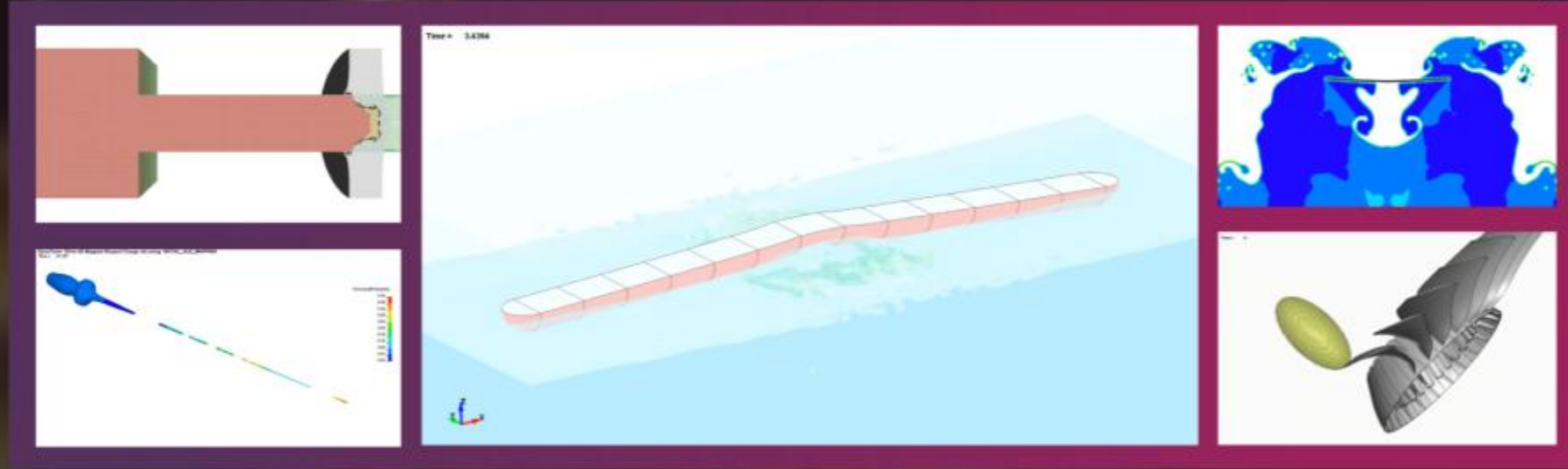
Online



12 HAZİRAN 2025



14.00



M. Emin Akça

Biz kimiz?

- Haziran 2024
- Ansys LS-DYNA çözümleri
 - Eğitim
 - Danışmanlık
 - Teknik destek
 - Projeler
- 'Non-linear Explicit Dynamics'
- Numesys ile LS-DYNA çözüm ortaklığı
- Bilkent Center - HANE, Çankaya/Ankara



Kabiliyetlerimiz

Explicit Dynamics

Impact Mechanics

Crashworthiness

Blast Modeling

Material Characterization

Advanced Meshing

Structural Analysis

Terminal Ballistics

Occupant Safety

Fluid-Structure Interaction

High Strain Rate Testing

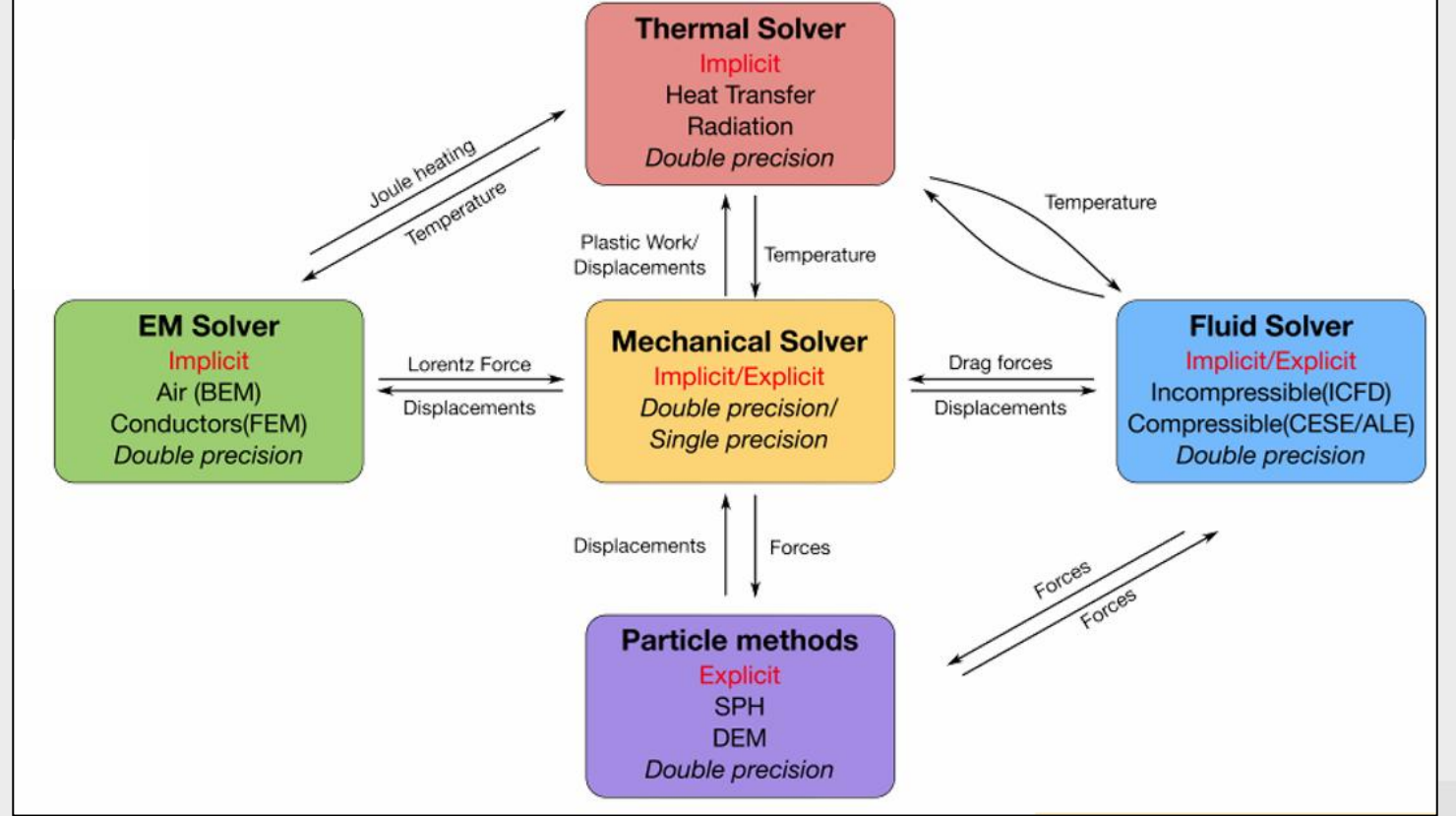
Meshless Methods



Giriş

LS-DYNA Multifizik Çözücüsü

- Hepsi için tek bir kod
 - Yapısal mekanik
 - 'Implicit'
 - 'Explicit'
 - Isı transferi
 - Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
 - Sıkıştırılamaz (ICFD)
 - Sıkıştırılabilir (DualCESE)
 - Elektromanyetik
 - Parçacık yöntemleri



Giriş

Genel bakış

- Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE)
- S-ALE Temelleri
- S-ALE 'Keyword' Ailesi
- Model Kurulumu
 - Örnek model
 - S-ALE 2D
 - 'Biased mesh'
 - 'Mesh trimming'
 - 'Mesh' hareketi
 - *SET... tanımları
- Savunma Uygulamaları



Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)

Perdenin ardındaki

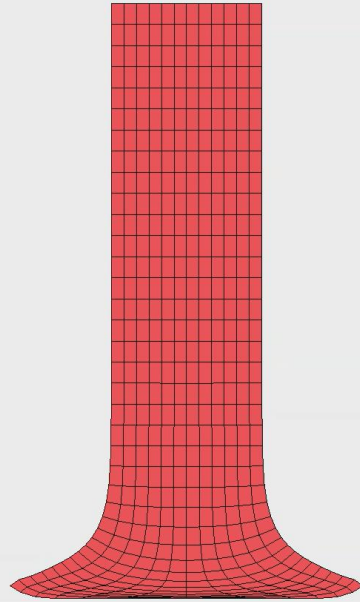


Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)

Neden ALE?

Problem

- Yüksek deformasyon
- Elemanlarda çarpılma
- Eleman kalitesinde düşür



Çözüm

- 'Mesh-adaptivity'
 - 'Remeshing'
- ALE yaklaşımı

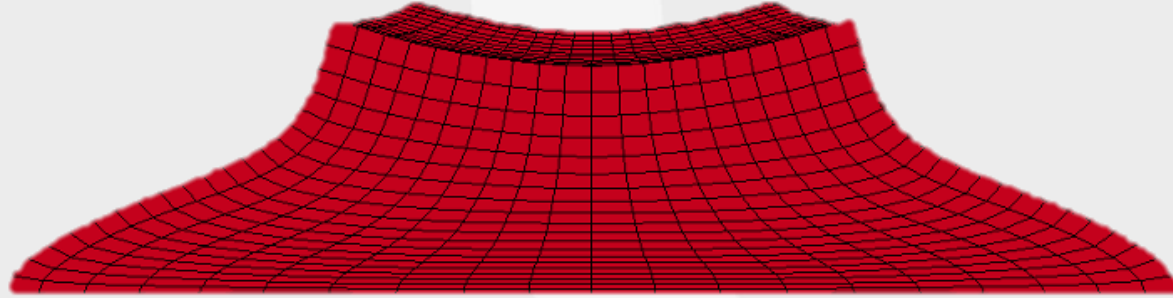


Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)

Hangi çözüm: Lagrangian – ALE?

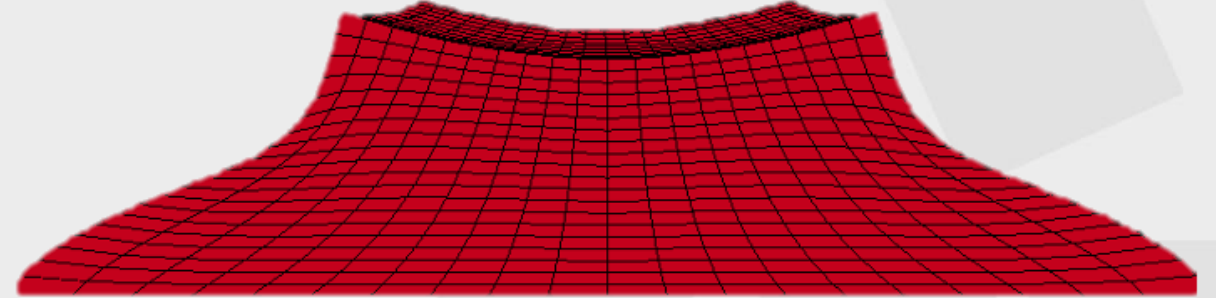
Lagrangian Formülasyon

- Düğüm noktaları (node) malzeme ile bağlıdır
- 'Mesh' malzeme ile birlikte deforme olur
- Çok yüksek deformasyonlar için uygun değildir
 - Dövme, ekstrüzyon, vb.
 - Patlama/detonasyon
 - Malzeme akışı



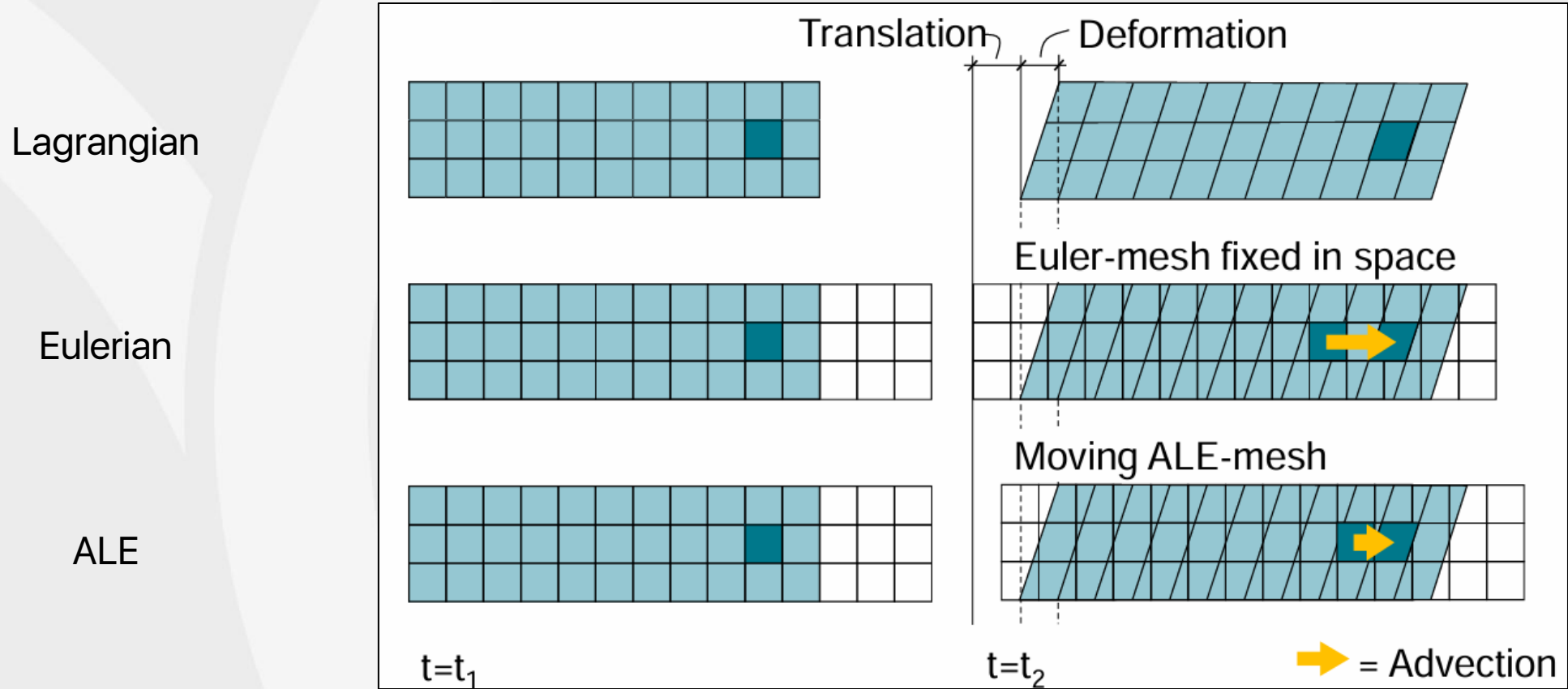
ALE Formülasyonu

- Düğüm noktaları malzeme ile bağlı değildir
- Düğüm noktaları yeniden pozisyon edilir
 - Aşırı 'mesh' bozulması önlenir
- Malzeme ve 'mesh' göreceli hareket eder



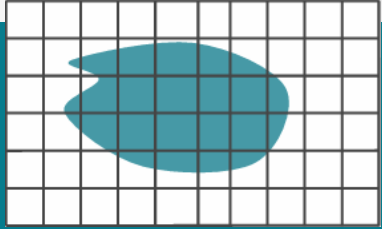
Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)

Sürekli ortam mekaniği: Lagrangian – Eulerian – ALE



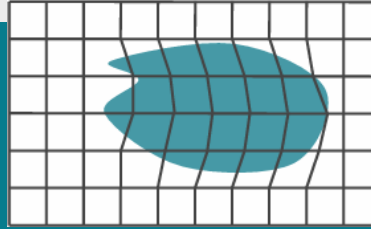
Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)

Çözüm adımları



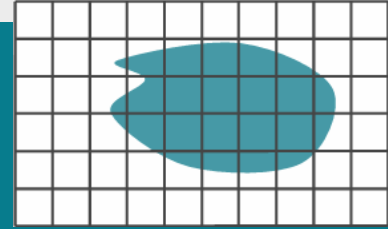
FEA adımı

- Tamamen Lagrangian



ALE ara adımları

- 'Mesh smoothing'
- 'Advection'

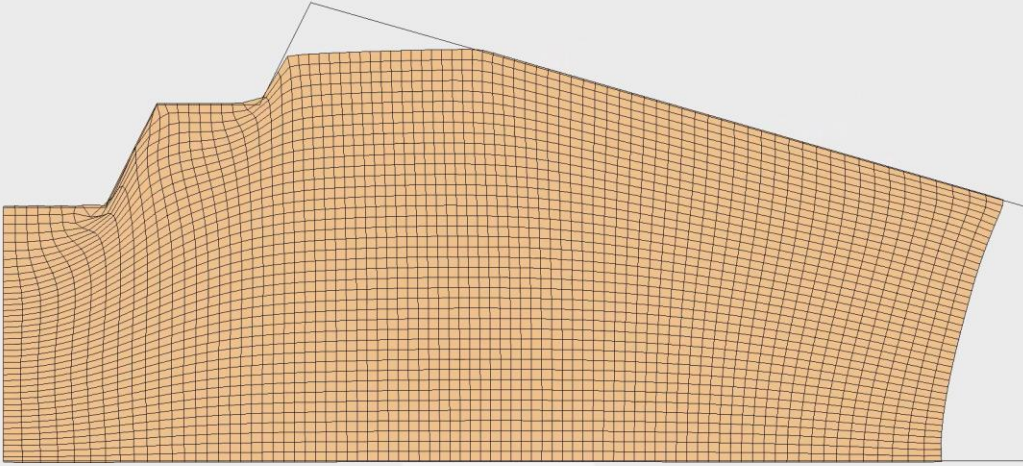


- FEA adımı
 - **Lagrangian**: Düğüm noktaları malzeme hareketini takip edeceği için 'mesh' deforme olur
- Ara ALE adımları
 - **Mesh smoothing**
 - **Advection**: Malzeme akışı ('Donor cell', van-Leer metodu, vb.)
- Zaman adımı
 - 'Explicit' FEM'de olduğu gibi **CFL stabilite koşulu**yla hesaplanır



Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)

Lagrangian – ALE karşılaştırması



Lagrangian



ALE



S-ALE Temelleri

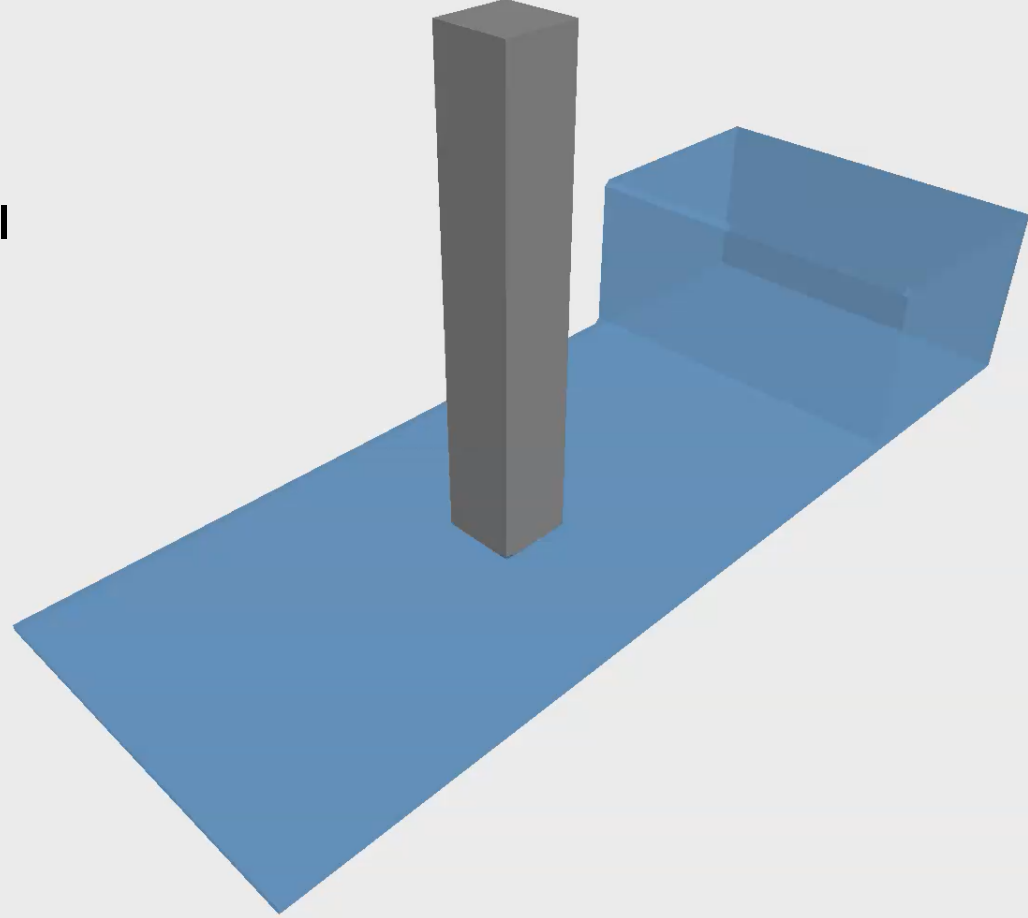
Kullanıcı dostu ALE



S-ALE Temelleri

Giriş

- S-ALE = Structured ALE
- Blok 'mesh'lerin otomatik oluşturulması
- 2017, LS-DYNA R10
- SMP/MPP
- 2D/3D
- Farklı implementasyon
 - Daha verimli ve temiz bir kod
 - Daha düşük RAM kullanımı
 - Daha hızlı çözücü
 - Daha stabil ve kullanıcı dostu



S-ALE Temelleri

Giriş

■ Avantajları

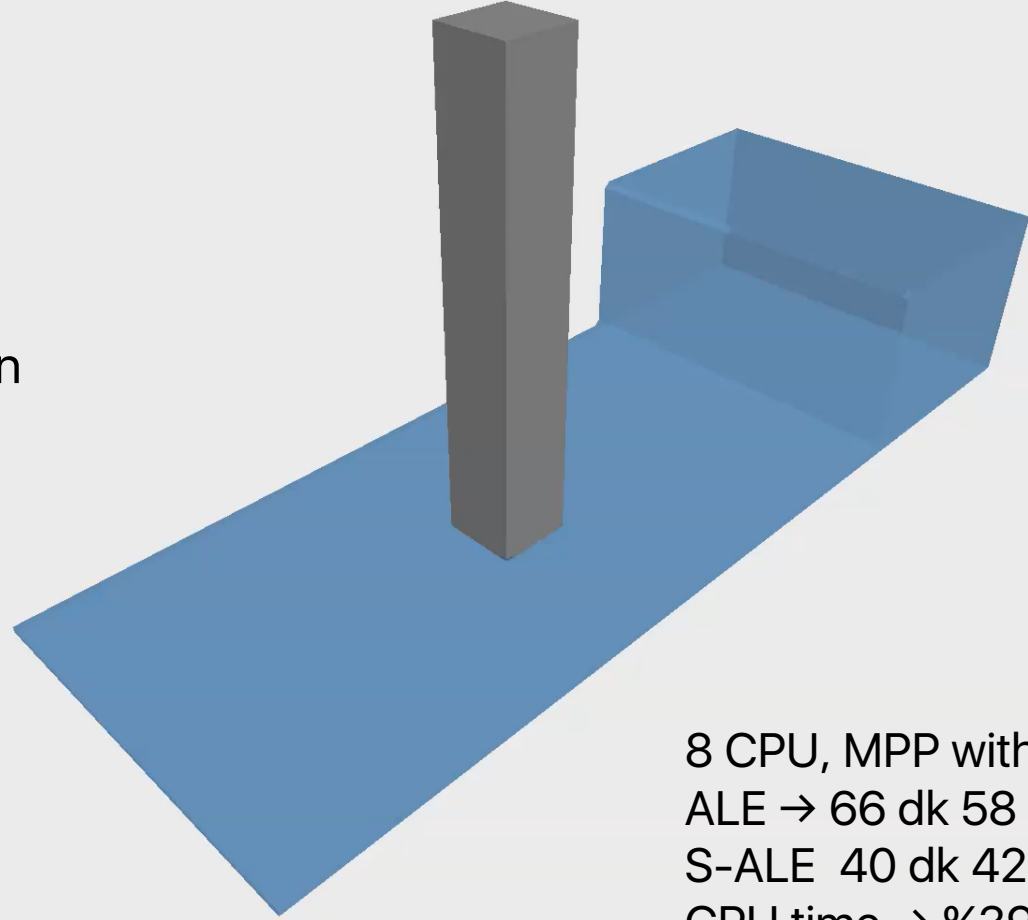
- Otomatik 'mesh' oluşturma
- Daha **küçük girdi dosyaları**
- Kolay ALE 'mesh' modifikasyonları
- **MPP** çözümler için iyileştirilmiş paralelizasyon
- Daha hızlı '**sorting**' ve **arama** işlemleri

■ Dezavantajları

- Kompleks ALE mesh oluşturma
- ALE ile Lagrangian elemanları birleştirilemez

■ ALE'den temel farkı

- ALE parçası aynı anda 'mesh' ve malzemeyi temsil edemez
- *`SET_...` oluşturmak için yeni opsiyonlar



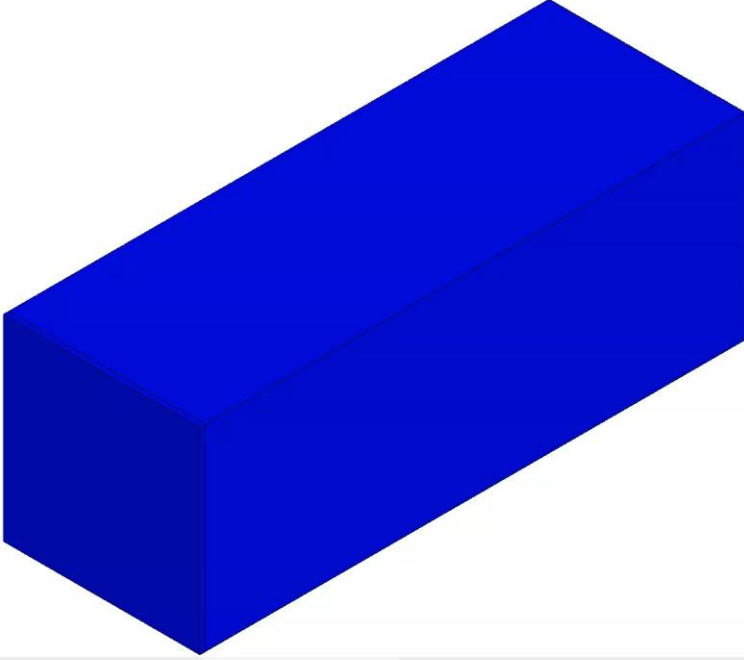
8 CPU, MPP with IntelMPI
ALE → 66 dk 58 s
S-ALE 40 dk 42 s
CPU time → %39.2 azalma



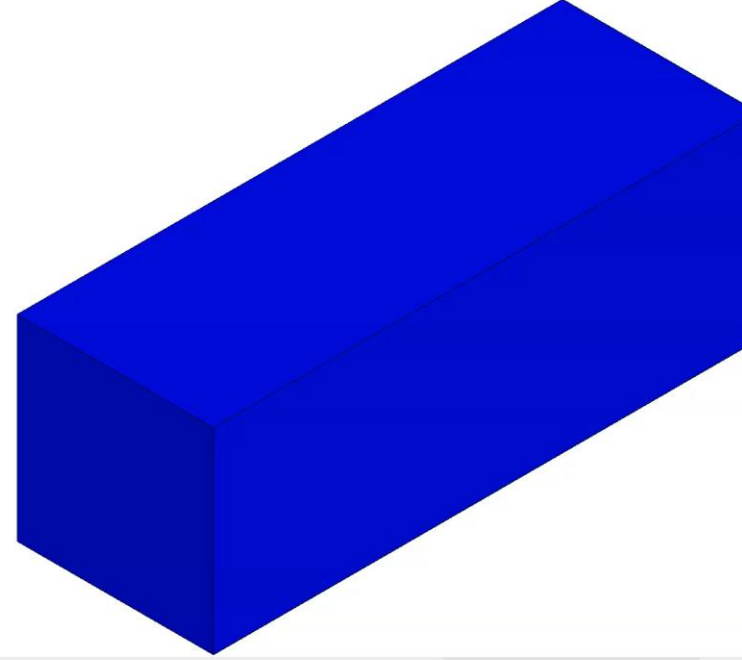
S-ALE Temelleri

ALE vs. S-ALE

- Hao Chen, Ansys



LBE/ALE Coupling



LBE/S-ALE Coupling

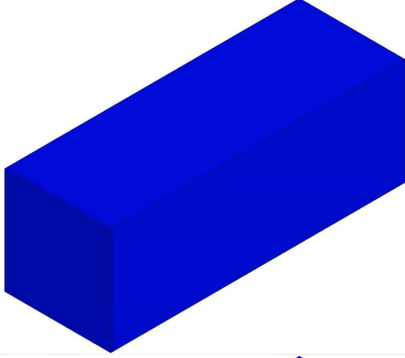


S-ALE Temelleri

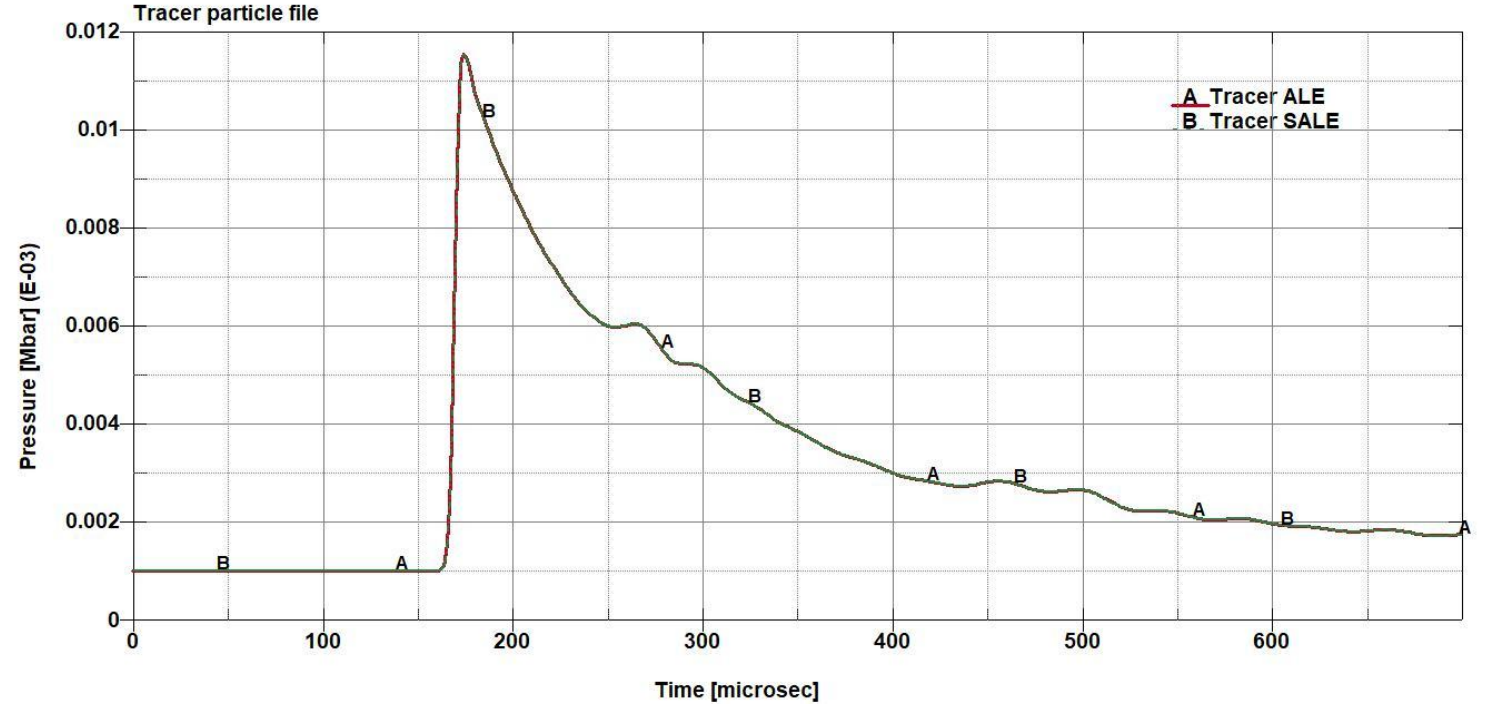
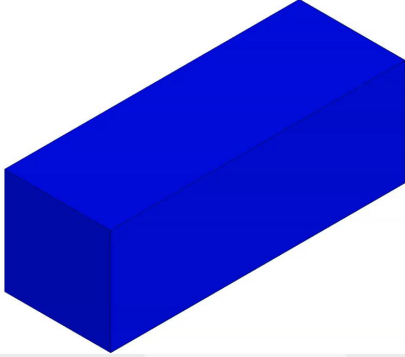
ALE vs. S-ALE

- Hao Chen, Ansys

LBE/ALE



LBE/S-ALE



S-ALE Temelleri

ALE vs. S-ALE

- Birebir aynı 'tracer' basınç sonuçları
- Dosya boyutları
 - ALE .k dosyası 21206 KB
 - S-ALE .k dosyası 853 KB
- CPU zamanı
 - 1 CPU çözüm
 - S-ALE çözümü 1.46 kat daha hızlı

ALE

```
Problem time      =      7.0007E+02
Problem cycle     =      2672
Total CPU time    =      445 seconds (    0 hours  7 minutes 25 seconds)
CPU time per zone cycle =      1244.695 nanoseconds
Clock time per zone cycle=      1245.364 nanoseconds
```

```
Number of CPU's   1
NLQ used/max      192/ 192
Elapsed time      445 seconds for    2672 cycles using  1 SMP thread
                  (          0 hour   7 minutes 25 seconds)
```

N o r m a l t e r m i n a t i o n

SALE

```
Problem time      =      7.0007E+02
Problem cycle     =      2672
Total CPU time    =      305 seconds (    0 hours  5 minutes  5 seconds)
CPU time per zone cycle =      851.338 nanoseconds
Clock time per zone cycle=      852.939 nanoseconds
```

```
Number of CPU's   1
NLQ used/max      192/ 192
Elapsed time      304 seconds for    2672 cycles using  1 SMP thread
                  (          0 hour   5 minutes  4 seconds)
```

N o r m a l t e r m i n a t i o n



S-ALE Keyword Ailesi

Kartlar yeniden dağıtılıyor



S-ALE Keyword Ailesi

*ALE_STRUCTURED...

■ _FSI

■ _MESH

- _CONTROL_POINTS
- _JOIN
- _MOTION
- _REFINE
- _TRIM
- _VOLUME_FILLING

■ _MULTI-MATERIAL_GROUP

- _PLNEPS
- _AXISYM

- Otomatik FSI (*CLIS'i baz alarak)
- Otomatik 'mesh' ve S-ALE çözücüsünün çağırılması
 - 'Mesh' diskritizasyon ayarları
 - Birbirine bağlanan farklı S-ALE 'mesh'leri
 - 'Mesh' hareketi
 - Eleman boyutlarını küçültmek
 - Gereksiz S-ALE elemanlarını kırmak
 - ALE hacimlerinin malzeme ile eşleştirilmesi
- ALE akışkan malzemelerinin tanımlanması
 - 2D 'plane strain' eleman formülasyonu
 - 2D eksenel simetrik eleman formülasyonu



n.b. *ALE_STRUCTURED_MESH içerisinde CPIDX=-1 girilirse S-ALE çözücüsü aktive edilir.

S-ALE Keyword Ailesi

Diğerleri

- *AIRBAG_SALE
- *BOUNDARY
 - _AMBIENT
 - _SALE_MESH_FACE
 - FIXED
 - NOFLOW
 - SYM
 - NONREFL
 - PRES
- *DATABASE_SALE
- *SET..._GENERAL
- Hava yastığı modellerinde gazın S-ALE ile modellenmesi
- Sınır koşulları
 - *LBE 'coupling' için S-ALE 'ambient' eleman tanımı
 - S-ALE yüzeylerine sınır koşulu tanımları için makro
 - Sabitlenmiş S-ALE eleman düğüm noktaları
 - Yüzeydeki akışın kısıtlanması
 - Simetrik sınır koşulları
 - Empedans sınır koşulu, dalga'nın yüzeyden yansımaması
 - Yüzeylere zamana bağlı basınç yüklemesi
- 'Post-processing' verisinin d3plot'tan d3sale'ye ayrılması
- Düğüm noktası, eleman, segment setlerinin tanımlanması



Model Kurulumu

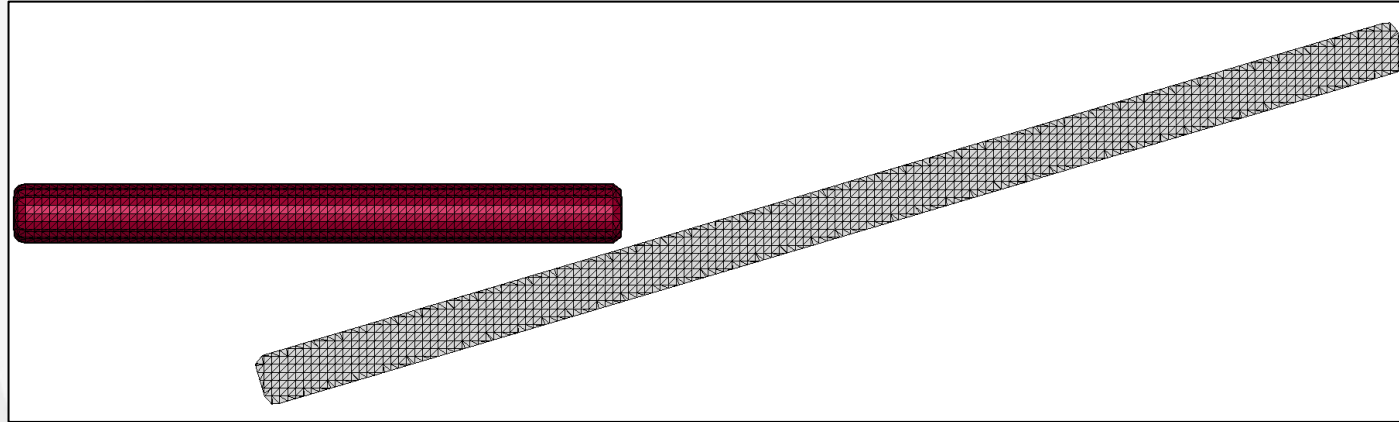
Basit bir örnek ve özellikler



Model Kurulumu

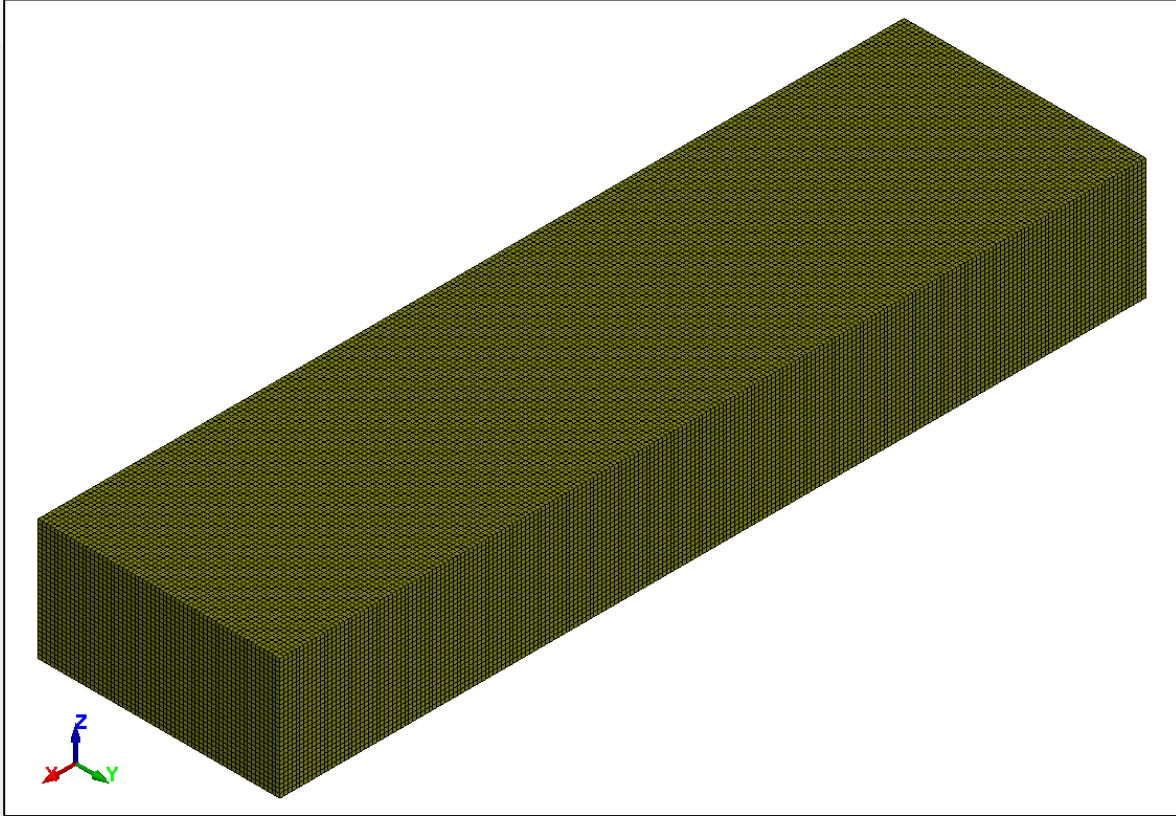
Eğimli yüksek hızlı çarpma analizi

- Uzun bir rodun eğimli çelik plakaya çarpması (Fugelso & Taylor, 1978)
- Model boyutları ARL-TR-2173 (Schraml & Kimsey 2000)
- Malzeme modelleri *MAT_JOHNSON_COOK ve *EOS_LINEAR_POLYNOMIAL
 - "Numerical Simulation of High-Velocity Oblique Impacts of Yawed Long Rod Projectile Against Thin-Plate"
 - Yo-Han Yoo, 2002



Model Kurulumu

S-ALE 'mesh' oluşturma



```
*ALE_STRUCTURED_MESH
$#      mshid      dpid      nbid      ebid
          1        101      10001      10001
```

```
$#      cpidx      cpidy      cpidz
          1001      1002      1003
```

```
*ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS
```

```
$#      cpid
          1001
```

```
$#              n              x
                  1             -107.5
                216             107.5
```

```
$#      cpid
          1002
```

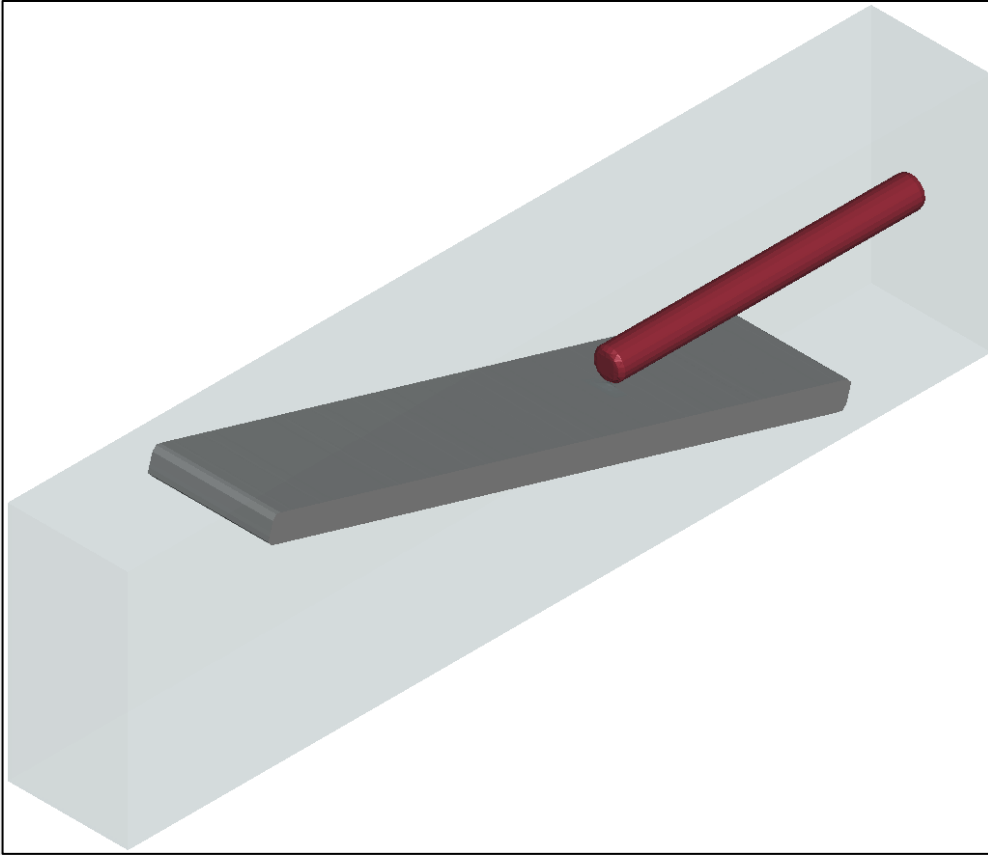
```
$#              n              x
                  1             -30.0
                 61             30.0
```

```
$#      cpid
          1003
```

```
$#              n              x
                  1             -15.0
                 31             15.0
```

Model Kurulumu

'Multi-material' fraksiyonlar



*ALE_STRUCTURED_MULTI-MATERIAL_GROUP

```
$#   ammgnm      mid      eosid
      rod         1         1
    vacuum         2
    plate         3         3
```

*ALE_STRUCTURED_MESH_VOLUME_FILLING

```
$#   mshid      unused      ammgt      unused      nsample      vid
      1
      geom
      ALL
      vacuum      3
```

*ALE_STRUCTURED_MESH_VOLUME_FILLING

```
$#   mshid      unused      ammgt      unused      nsample      vid
      1
      geom      in/out      boxid
      BOXCOR      0         1
      plate      3         1
```

*ALE_STRUCTURED_MESH_VOLUME_FILLING

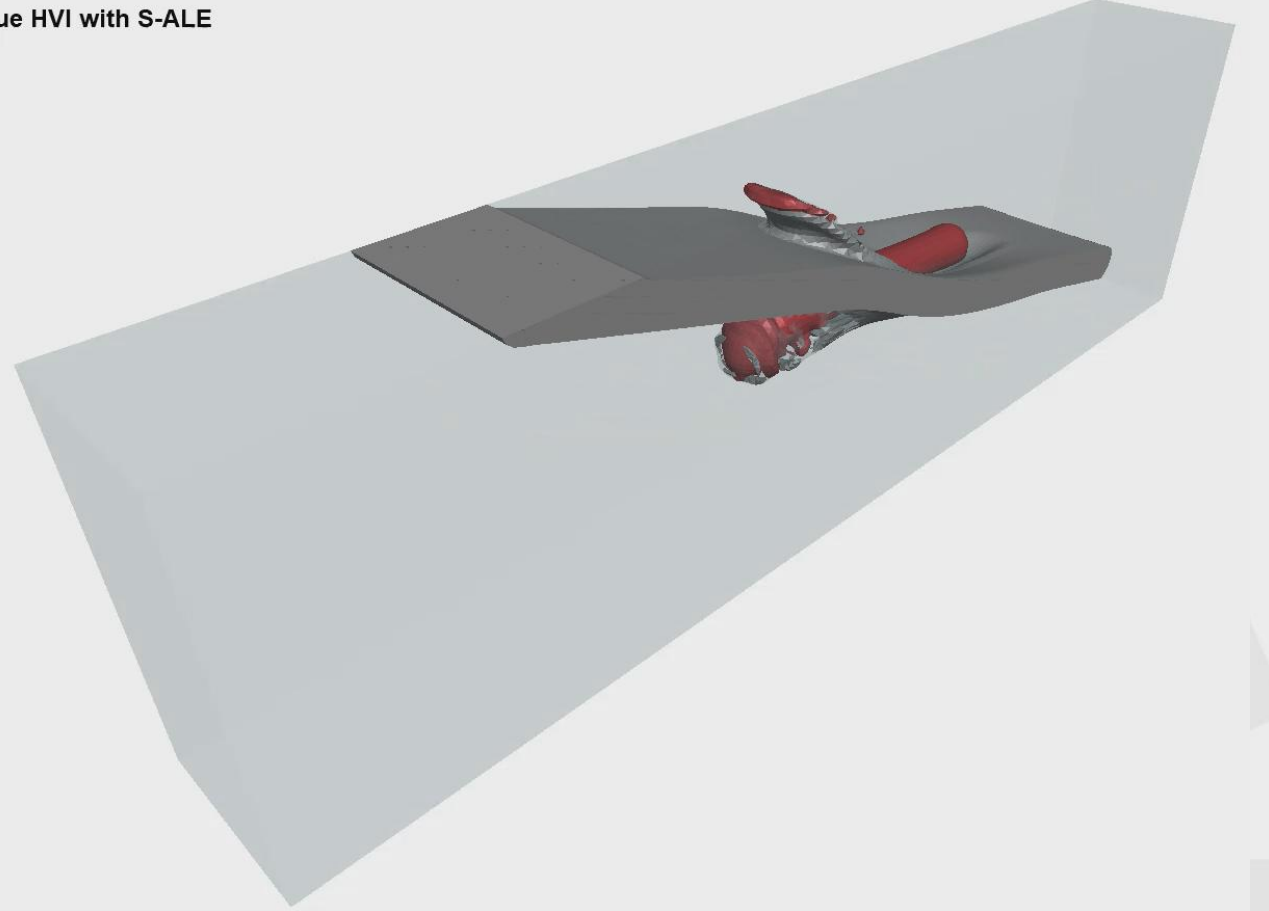
```
$#   mshid      unused      ammgt      unused      nsample      vid
      1
      geom      in/out      nid1      nid2      radii1      radii2
      CYLINDER      0         1         2      3.835      3.835
```

Model Kurulumu

Sonuç

- 1 mm HEX, 387.000 eleman
- 0.1 saniye analiz
 - 8 CPU MPP
 - Intel MPI decomposition
 - R16 çözücü
 - 1 dakika 4 saniye

DynaTeam: Oblique HVI with S-ALE
Time = 0.050427



Model Kurulumu

S-ALE 2D

- *ALE_STRUCTURED_MULTI-MATERIAL_GROUP...
 - _PLNEPS → *SECTION_ALE2D, 'plane strain' eleman formülasyonu
 - _AXISYM → *SECTION_ALE2D, eksenel simetri, 'area-weighted' eleman formülasyonu
 - _AXIVOL → *SECTION_ALE2D, eksenel simetri, 'volume-weighted' eleman formülasyonu
- 1 kg TNT'nin 1 m mesafeden AA6061-T6 plakaya karşı patlama analizi



Model Kurulumu

S-ALE 2D

*ALE_STRUCTURED_MESH

\$#	mshid	dpid	nbid	ebid	tdeath
	1	101	1000001	1000001	1.000000E16

\$#	cpidx	cpidy	cpidz	nid0	lcsid
	1001	1002	0	0	0

*ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS

\$#	cpid	unused	icase	sfo	unused	offo
	1001		0	1.0		0.0

\$#	n	x	ratio/xl
	1	0.0	0.0
	151	1500.0	0.0

*ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS

\$#	cpid	unused	icase	sfo	unused	offo
	1002		0	1.0		0.0

\$#	n	x	ratio/xl
	1	-500.0	0.0
	151	1000.0	0.0

MESHID: SALE mesh ID.
DPID: Default part ID for SALE part.
NBID: Starting node number.
EBID: Starting element number.
CPID_{XYZ}: Control point IDs in XYZ-space.
ICASE: Selection of progressive mesh spacing algorithm.
N: Control point node number.
X: Control point position.
RATIO/XL: Ratio for progressive mesh spacing.

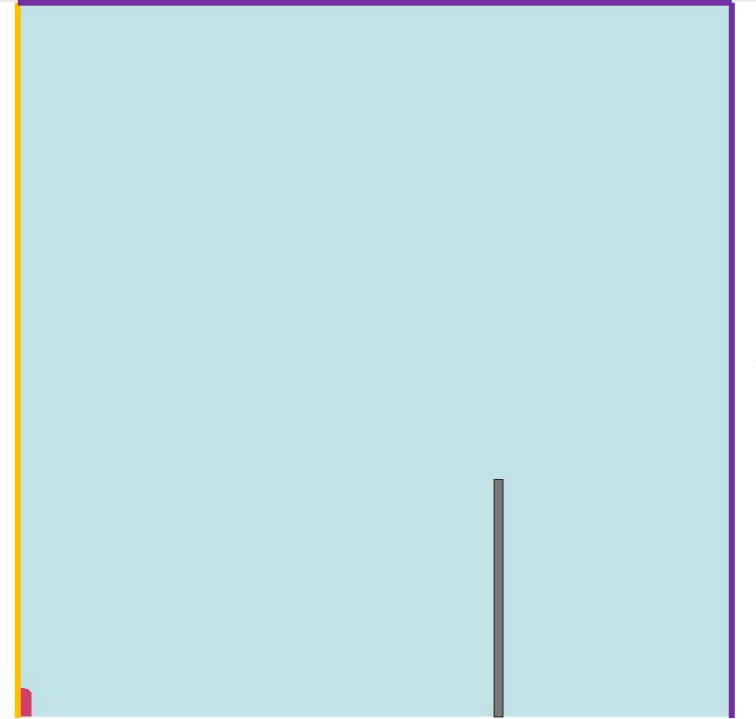
Model Kurulumu

S-ALE 2D

```
*ALE_STRUCTURED_MULTI-MATERIAL_GROUP_AXISYM
$# ammgnm mid eosid unused unused unused unused pref
   tnt      11      11 unused unused unused unused 0 0
$# ammgnm mid eosid unused unused unused unused pref
   air      12      12 unused unused unused unused 0.101325

*ALE_STRUCTURED_MESH_VOLUME_FILLING
$# mshid unused ammgtto unused nsample unused unused- vid
   1          air      3          0
$# geom in/out e1 e2 e3 e4 e5
ALL 0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
*ALE_STRUCTURED_MESH_VOLUME_FILLING
$# mshid unused ammgtto unused nsample unused unused- vid
   1          tnt      3          0
$# geom in/out boxid e2 e3 e4 e5
BOXCOR 0 1 0.0 0.0 0.0 0.0

*BOUNDARY_SALE_MESH_FACE
$# bctype mshid negx posx negy posy negz posz
NONREFL 1 0 1 1 0 0 0
SYM 1 0 0 0 1 0 0
```

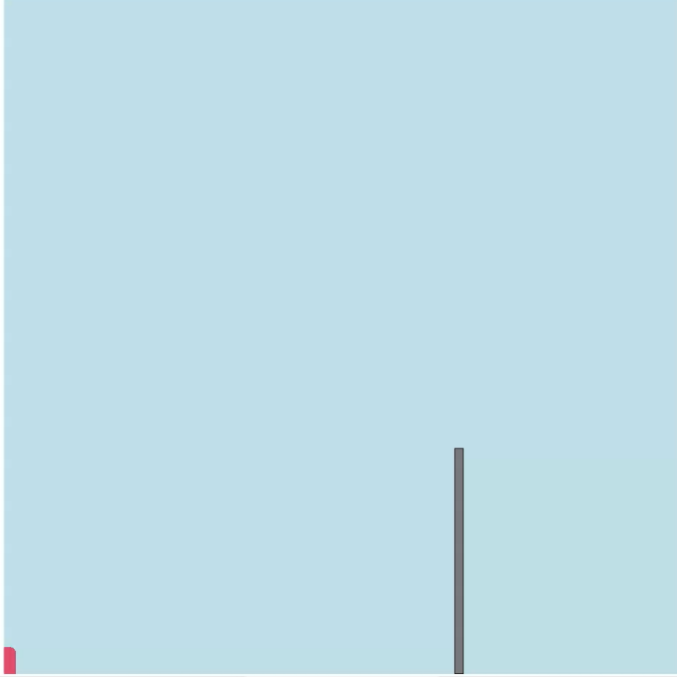


NONREFL
SYM

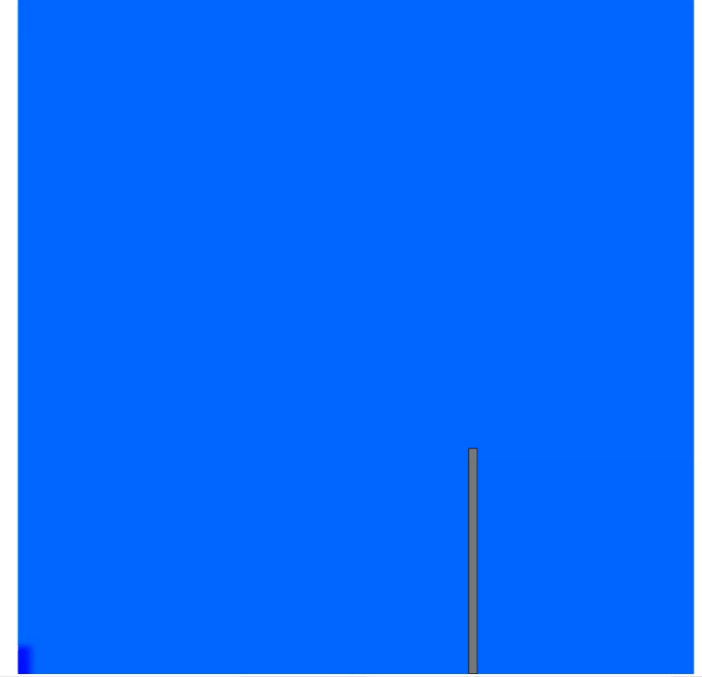


Model Kurulumu

S-ALE 2D



Volume fractions

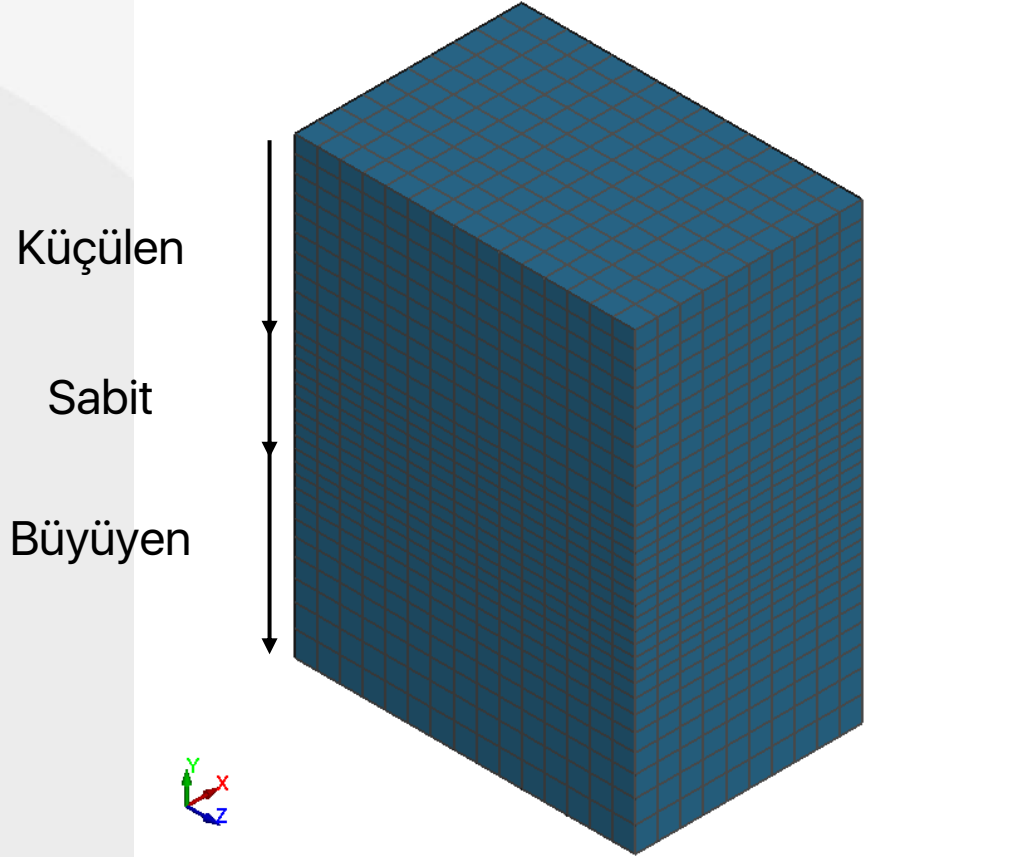


Blast wave



Model Kurulumu

'Biased mesh'



```
*ALE_STRUCTURED_MESH
$#   mshid      dpid      nbid      ebid
      1          0          1          1
$#   cpidx      cpidy      cpidz      nid0      lcsid
      10         20         30          0          0

*ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS
$#   cpid      unused      icase      sfo      unused      offo
      10          0          0          1.0          0.0
$#          n          x          ratio/xl
          1          0.0          0.0
          11         100.0          0.0

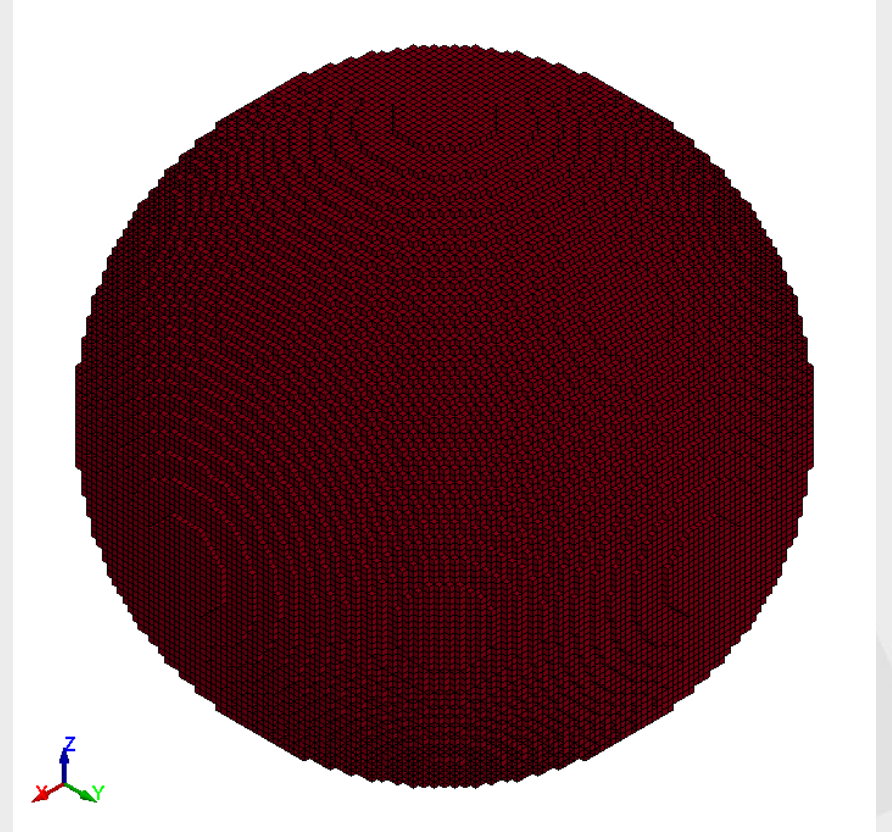
*ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS
$#   cpid      unused      icase      sfo      unused      offo
      20          0          0          1.0          0.0
$#          n          x          ratio/xl
          1          0.0          -0.1
          11         75.0          0.0
          21        125.0          0.0
          31        200.0          0.1

*ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS
$#   cpid      unused      icase      sfo      unused      offo
      30          0          0          1.0          0.0
$#          n          x          ratio/xl
          1          0.0          0.0
          16        150.0          0.0
```

Model Kurulumu

'Mesh trimming'

```
*ALE_STRUCTURED_MESH
$#  mshid      dpid      nbid      ebid
      1         1      1001      1001
$#  cpidx      cpidy      cpidz      nid0      lcsid
      123       123       123         0         0
*ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS
$#  cpid      unused      icase      sfo      unused      offo
      123         0         1.0         0.0
$#              n              x              ratio/xl
              1             -100.0             0.0
              201            100.0             0.0
*ALE_STRUCTURED_MESH_TRIM
$#  mshid      option      oper      out/in      nid      r
      1      SPHERE         0         0         1      50.0
```



Opsiyonlar: **PARTSET**, **SEGSET**, **PLANE**, **CYLINDER**, **BOXCOR**, **BOXCPT**, **SPHERE**

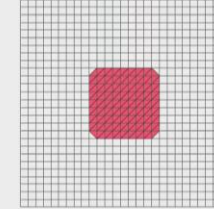


Model Kurulumu

'Mesh' hareketi

***ALE_STRUCTURED_MESH_MOTION**

```
$#      mshid      option      ammgSid      explim
          1 FOLLOW_GC          1          2.0
```



■ Opsiyonlar

- FOLLOW_GC: 'Mesh' bir ALE akışkanının kütle merkezini takip eder
- COVER_LAG: 'Mesh' bir Lagrangian parçayı takip eder

■ Geleneksel ALE'deki *ALE_REFERENCE_SYSTEM_GROUP

■ Kuş çarpması, 'sloshing' gibi problemler



Model Kurulumu

*SET_... tanımları

- *SET_NODE_GENERAL
- *SET_SEGMENT_GENERAL
- *SET_SOLID_GENERAL

■ İki opsiyon

- SALEFAC → Yüzey seçimi
- SALECPT → Kutu ile seçim

■ Simetrik sınır koşulu örneği

*BOUNDARY_SPC_SET

\$#	nsid	cid	dofx	dofy	dofz	dofrx	dofry	dofrz
	0	0	0	0	1	0	0	0

*SET_NODE_GENERAL

\$#	sid	da1	da2	da3	da4	solver	its	-
	1	0.0	0.0	0.0	0.0	MECH	1	-

\$#	option	mshid	-x	+x	-y	+y	-z	+z
	SALEFAC	0	0	0	0	0	0	1



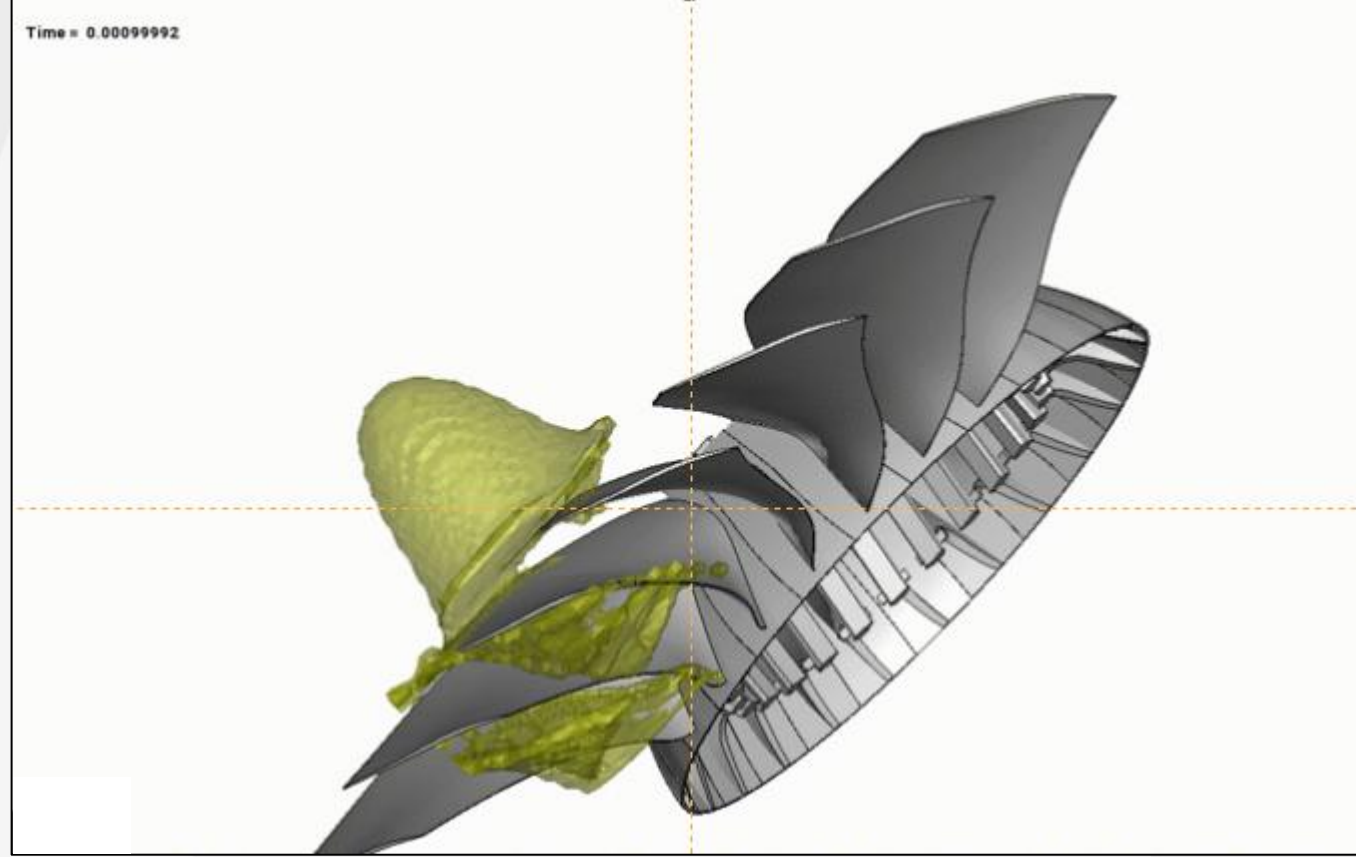
Savunma Uygulamaları

Gerçek dünya problemlerinde S-ALE'nin yeri



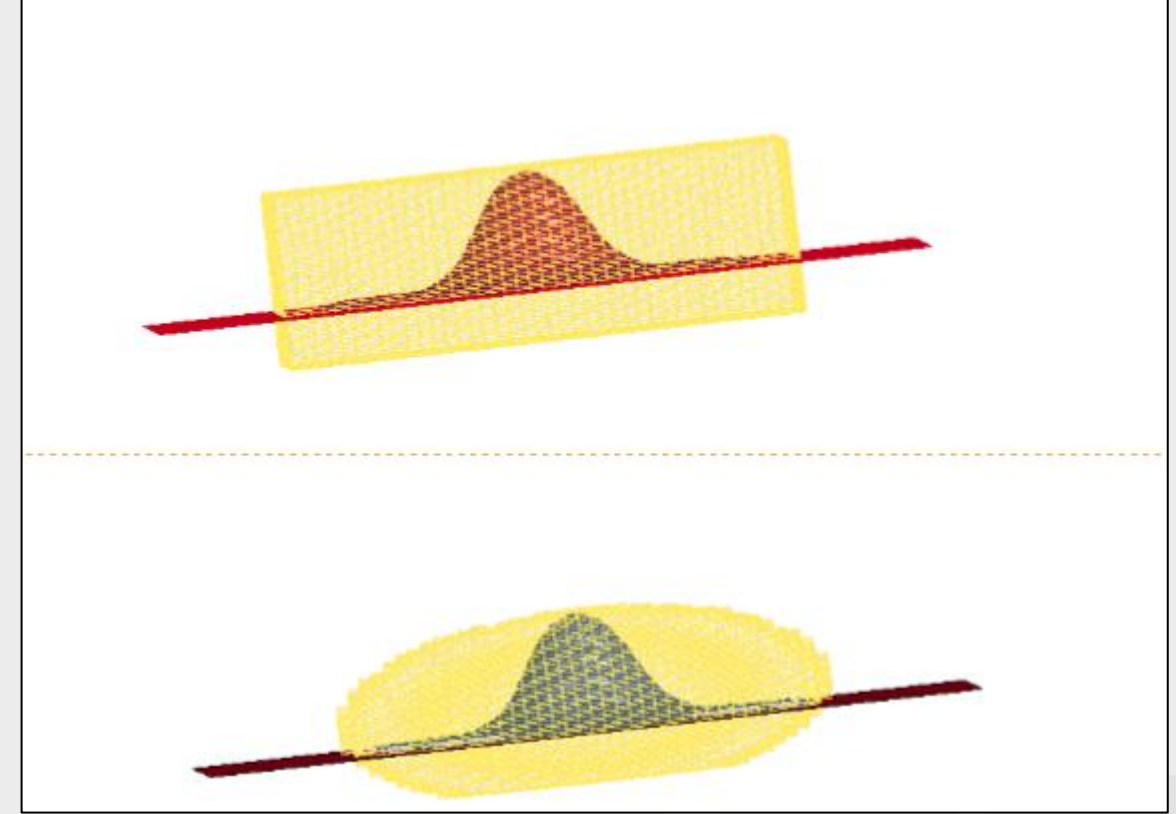
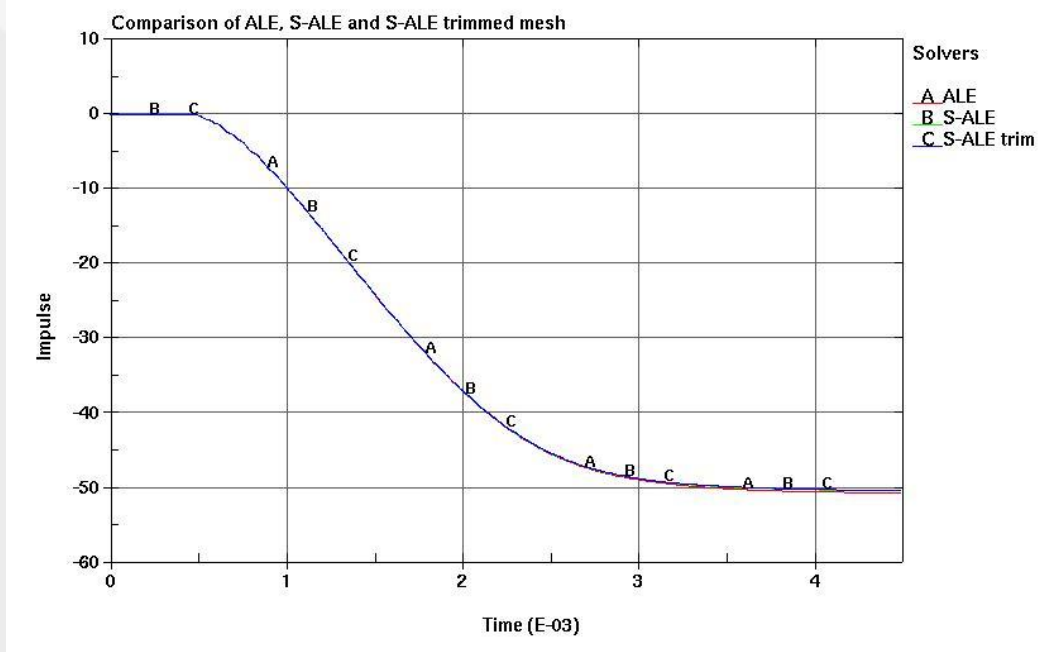
Savunma Uygulamaları

Kuş çarpması



Savunma Uygulamaları

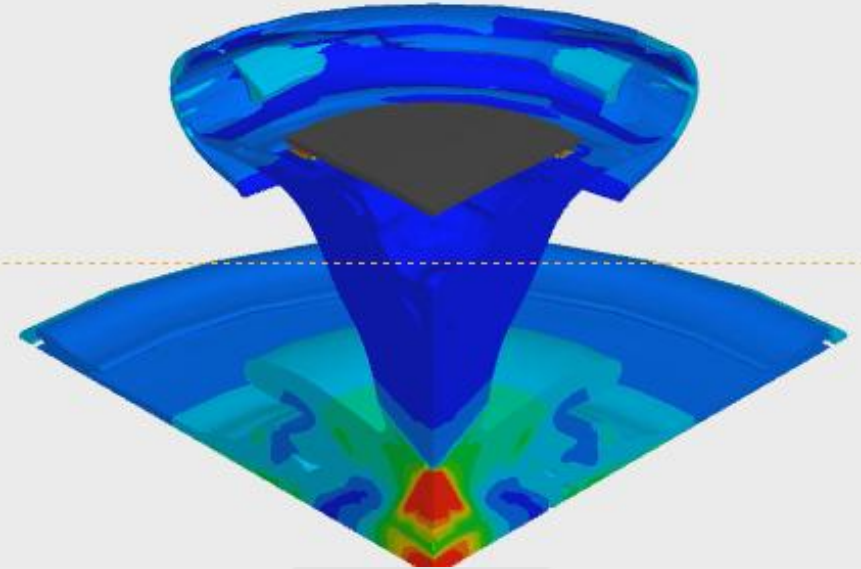
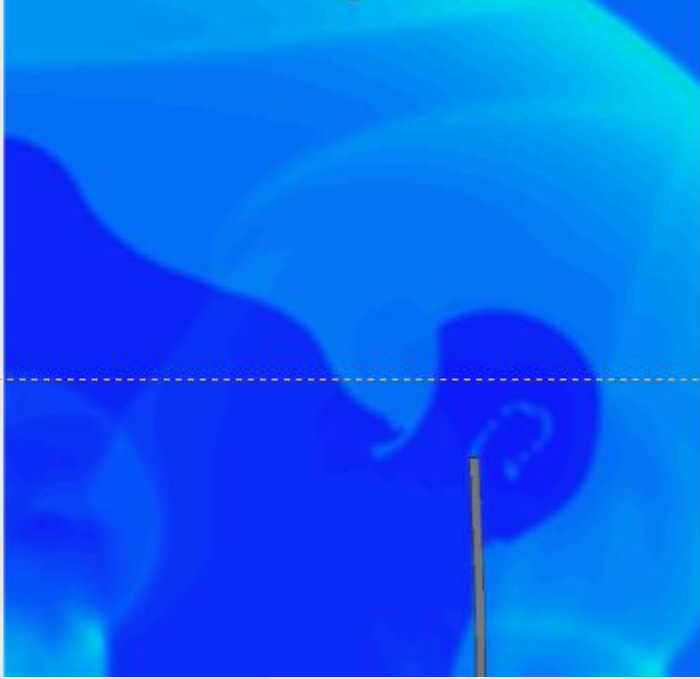
Kuş çarpması



Savunma Uygulamaları

Patlama/Detonasyon

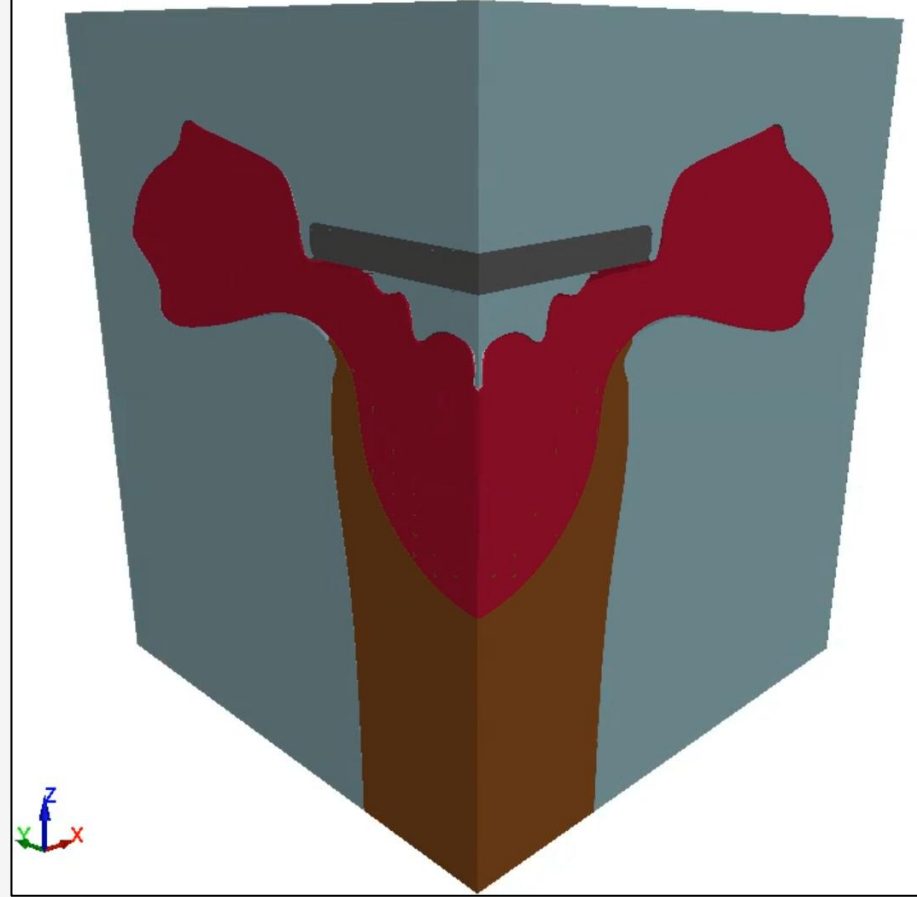
Açık havada patlama: 2D/3D



Savunma Uygulamaları

Patlama/Detonasyon

Mayın patlaması

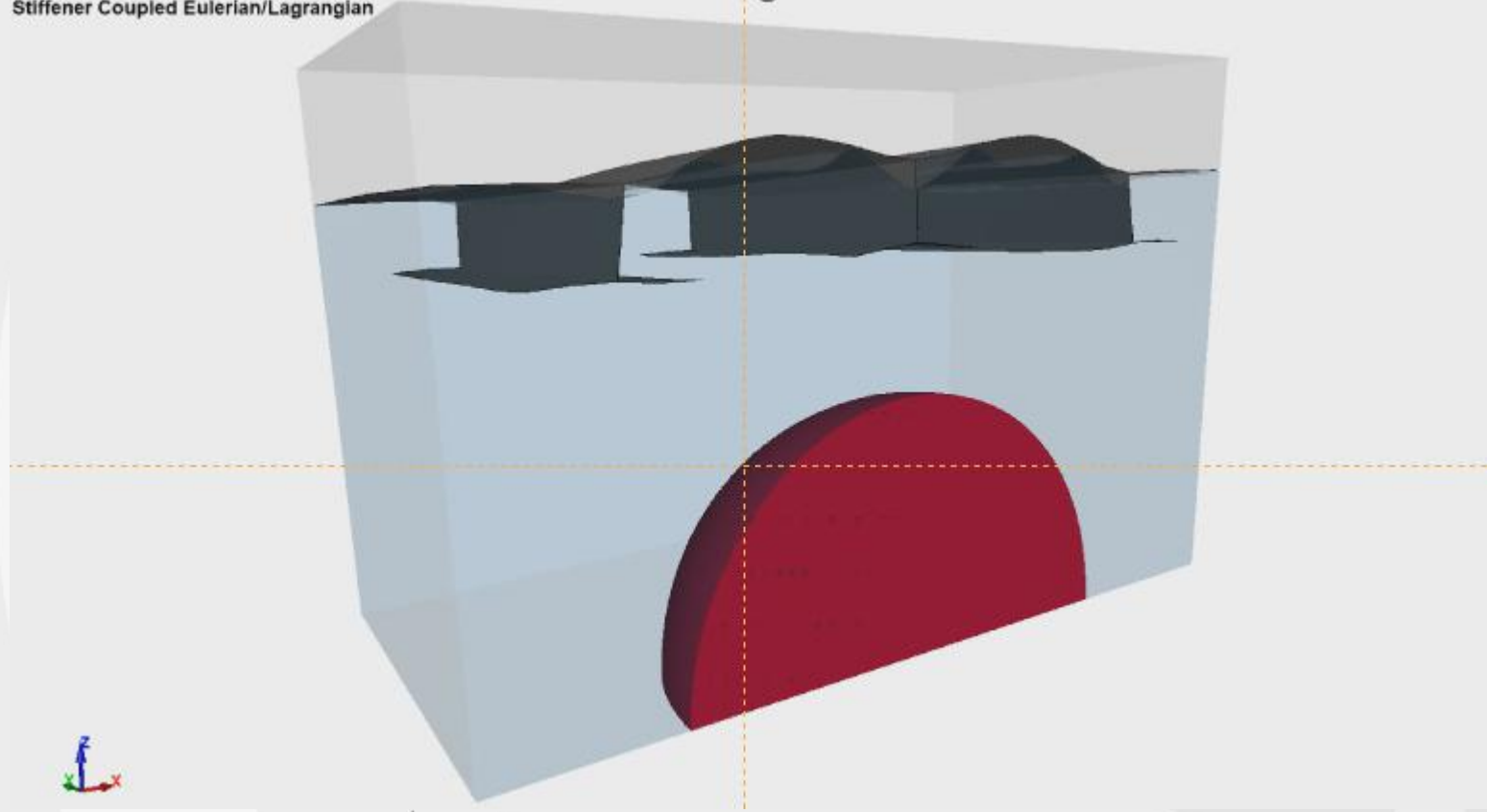


Savunma Uygulamaları

Patlama/Detonasyon

Su altı patlamaları

Stiffener Coupled Eulerian/Lagrangian

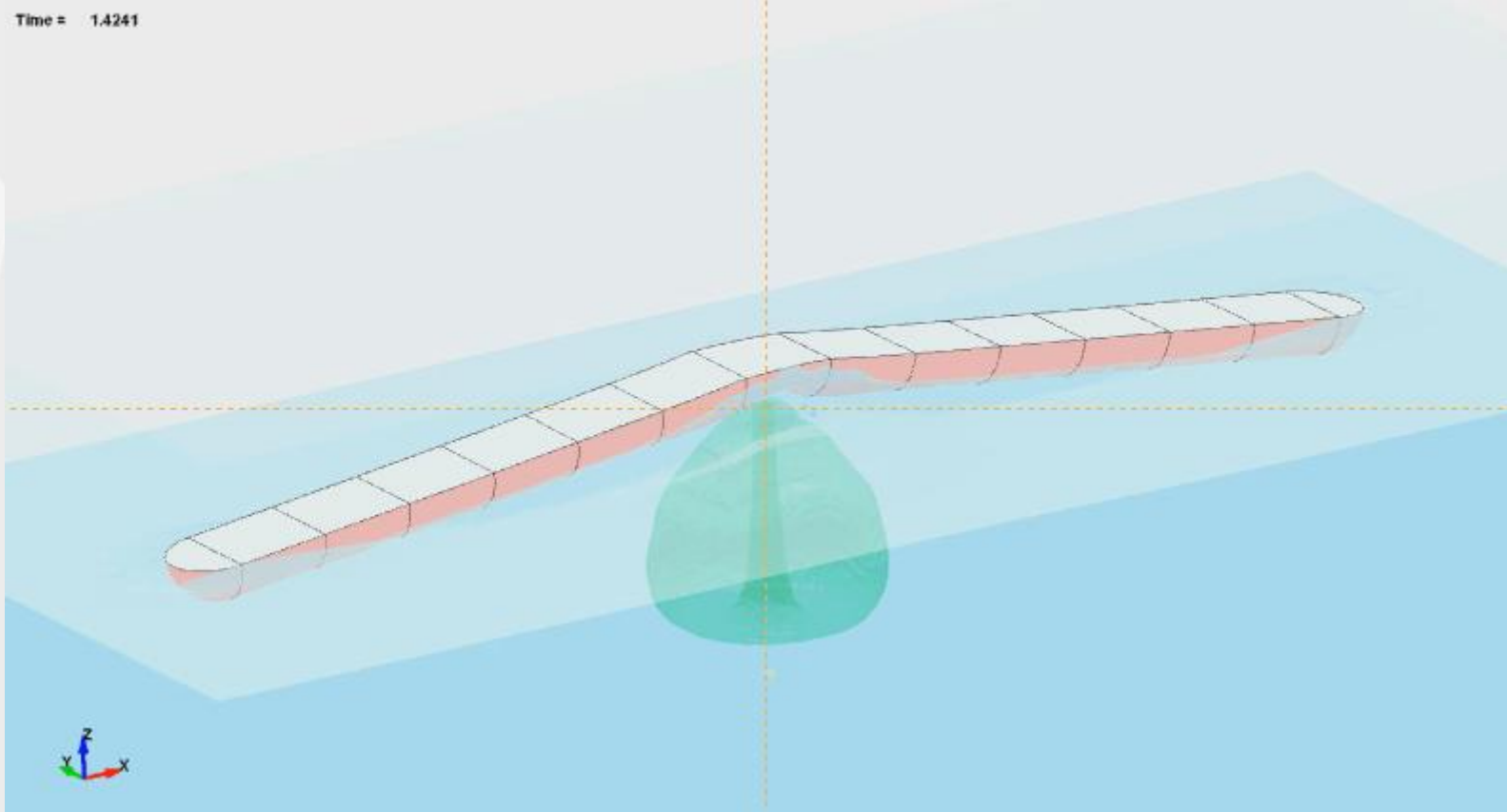


Savunma Uygulamaları

Patlama/Detonasyon

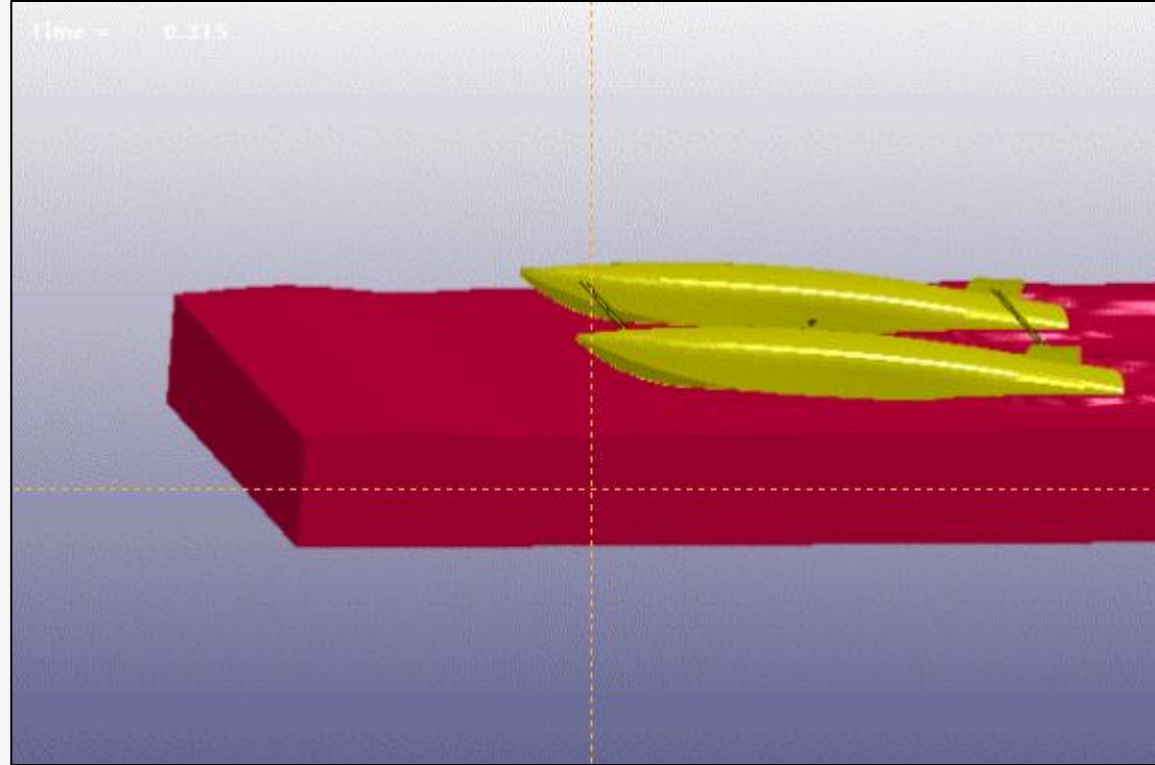
Su altı patlamaları

Time = 1.4241



Savunma Uygulamaları

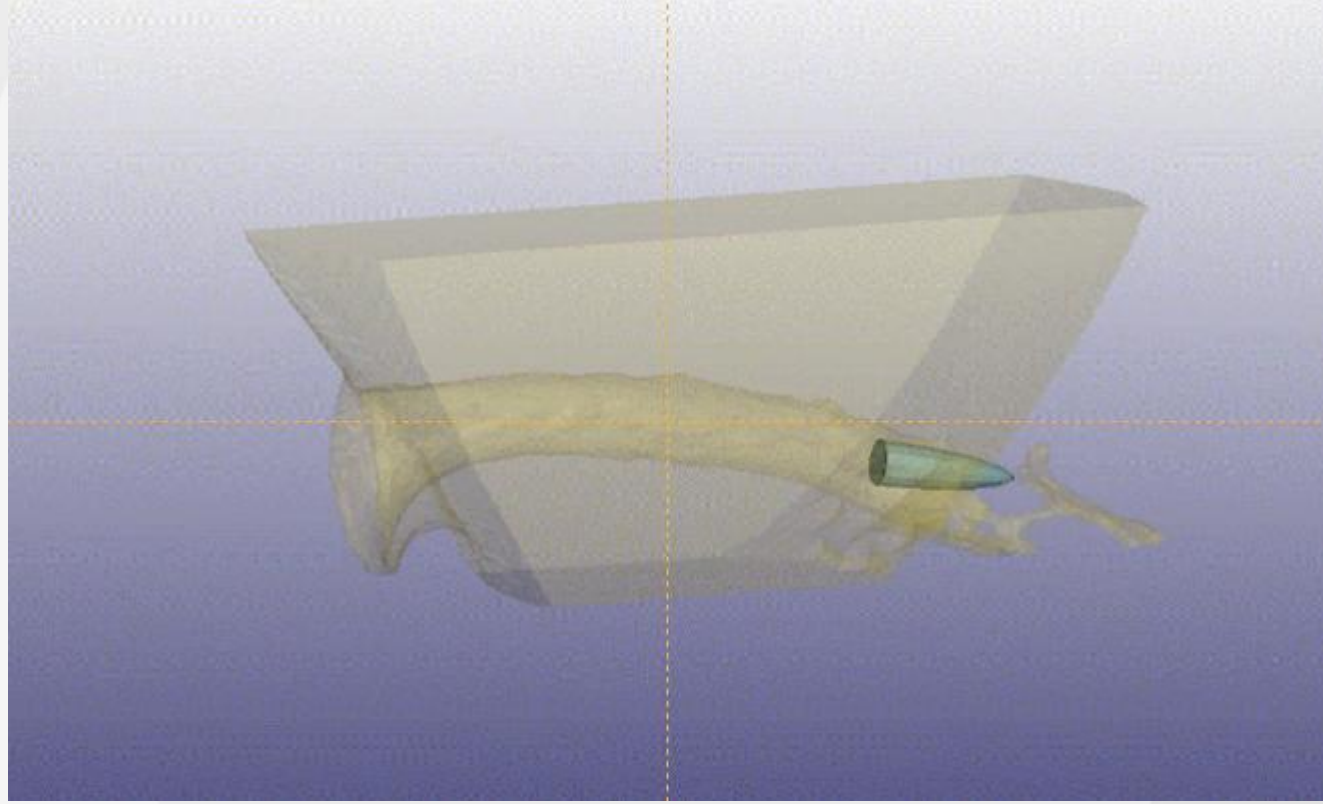
Suya iniş analizleri



Savunma Uygulamaları

Balistik

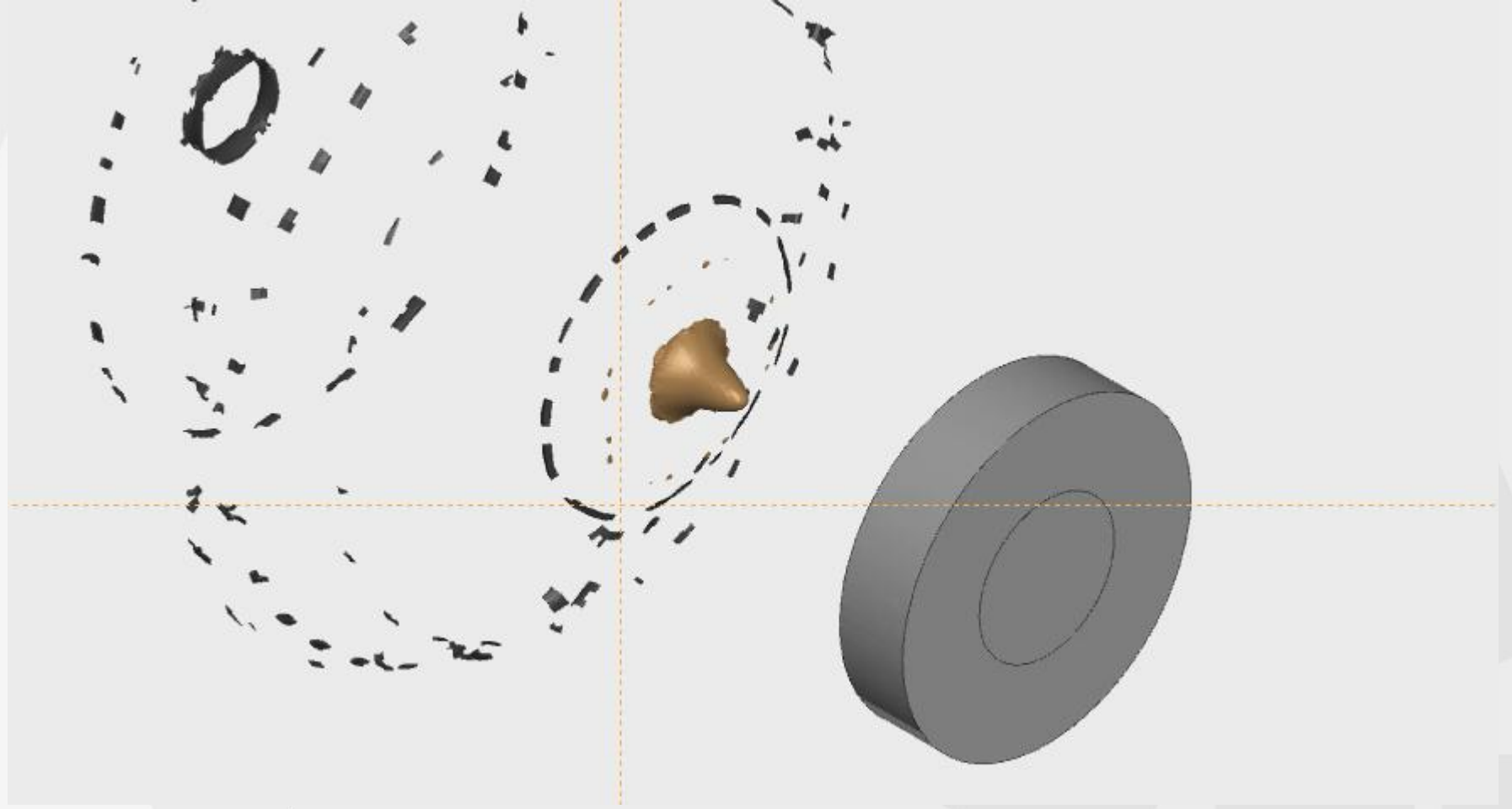
Yumuşak dokular



Savunma Uygulamaları

Balistik

El yapımı patlayıcılar



Savunma Uygulamaları

Balistik

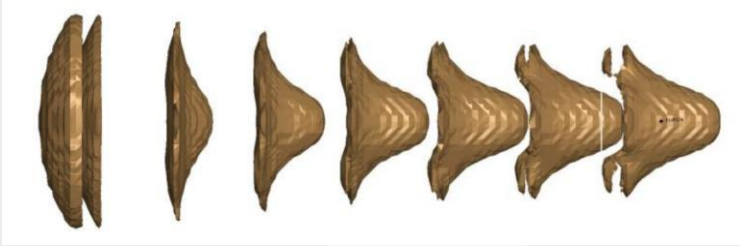
El yapımı patlayıcılar

14th European LS-DYNA Conference 2023, Baden-Baden, Germany

A Numerical Investigation on the Ballistic Performance of Ceramic Composite Armors against EFP Threats

M. Emin Akca¹, M. Bartu Ünal², Koray Kaya³, H. Hüseyin Türkmen⁴

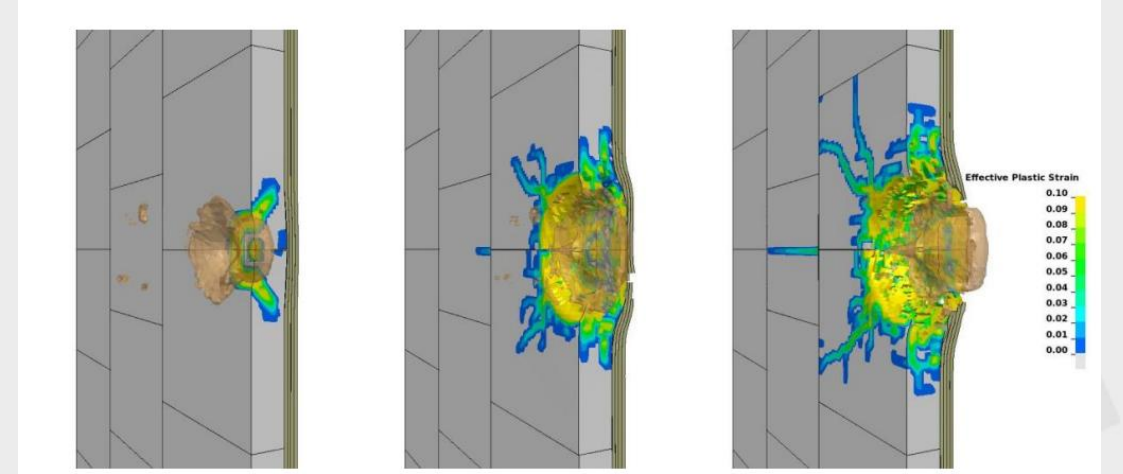
dynamalook.com



'Slug' oluşumu



Patlama sonrası 'casing' ile S-ALE FSI



'EFP slug' ile kompozit zırh arasında S-ALE FSI

Savunma Uygulamaları

Balistik

Harp başlıkları

2B eksenel simetri
Jet oluşumu



*INITIAL_ALE_MAPPING

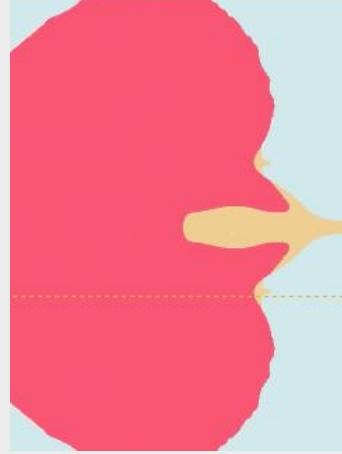


3B 'mapped' tehdit

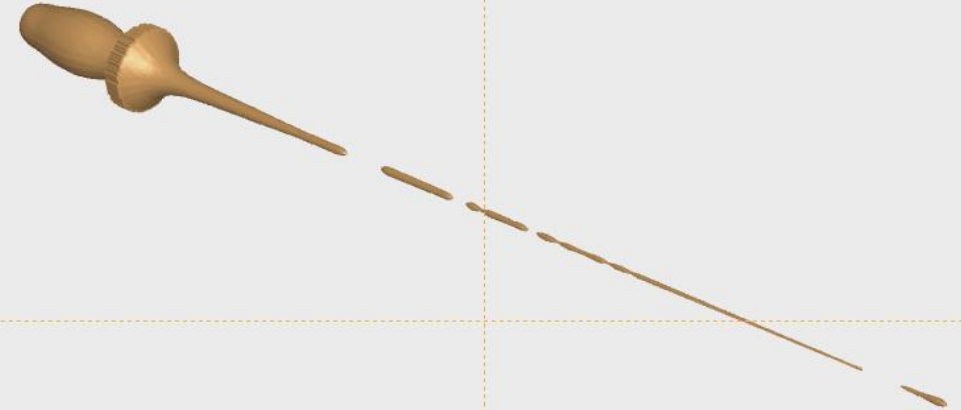


Hedef etkileşimi

2D-Axisymmetric Shaped Charge Jet Formation
Time = 29.793



DynaTeam: 2D-to-3D Mapped Shaped Charge Jet using *INITIAL_ALE_MAPPING~
Time = 43.63



Özet

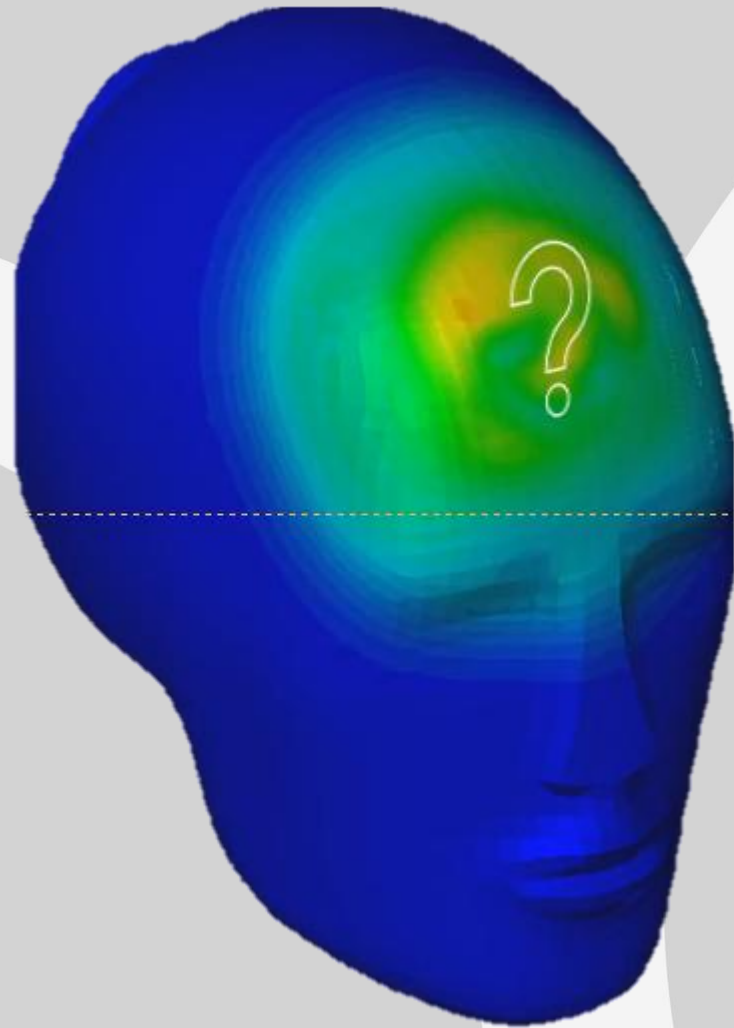
Toparlayalım



Özet

- ALE uzay ve zaman diskritizasyonunu FEA ve CD çerçevesinde Lagrangian ve Eulerian mekaniklerini birlikte kullanarak gerçekleştirir
 - Lagrangian FEM çözümü ile 'mesh' deforme olur
 - Deforme olan yapı 'mesh smoothing' ile düzeltilir
 - 'Advection' adımı ile düzeltilen 'mesh'e karşı malzeme akışı çözülür
- Structured ALE (S-ALE) yaklaşımı, ALE'nin temellerini koruyacak şekilde geliştirilmiştir
- Bu yöntemde LS-DYNA'nın keyword yapısı içerisinde 'mesh' bilgisi yalnızca parametrelerle tanımlanır, geometrik olarak oluşturulmaz
- Analiz çözümü başlamadan önce LS-DYNA, S-ALE 'mesh'ini yapılan tanımlara göre otomatik olarak oluşturur
- ALE çözücüsüne kıyasla daha hızlı, daha verimli ve daha stabil çözümler sağlar





meakca@dynateam.com.tr

destek@dynateam.com.tr

info@dynateam.com.tr

Teşekkürler.

