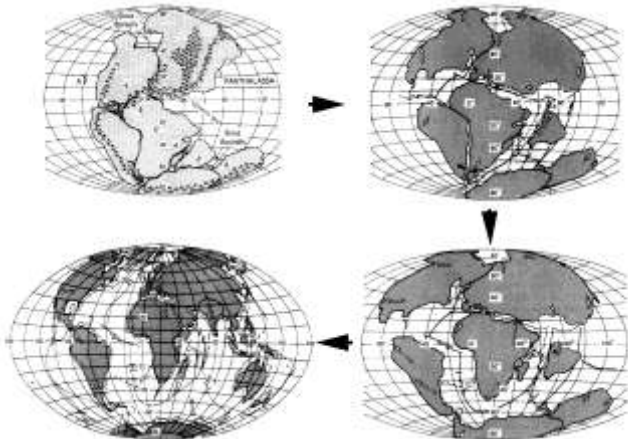


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

همه موجودات در عالم در حال تغییر و تحولند



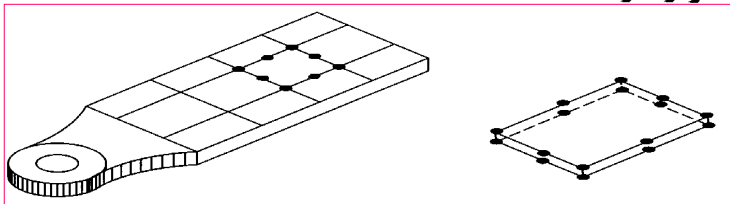
انواع تحلیل سازه ها به کمک روش اجزاء محدود

- حل مسائل ایستا یا پایا (*Equilibrium Problems*)
- حل مسائل جواب ویژه (*Eigen Value Problems*)
- حل مسائل گسترش (*Propagation Problems*)

مسائل ایستا یا پایا

Equilibrium Problems

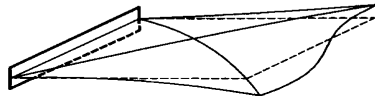
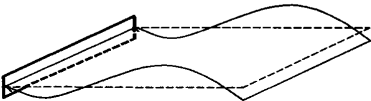
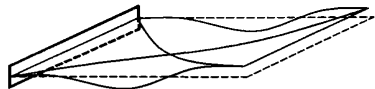
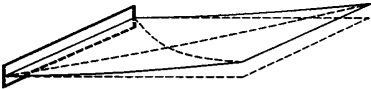
در اینگونه مسائل متغیر زمان در کار نیست. حل مسائل ارتجاعی خطی الکترواستاتیک الکترومغناطیس حالت‌های پایدار هدایت گرما و جریان سیالات در محیط‌های متخلخل رامی توان نام برد. در اینگونه مسائل شرایط ثابتی بر مساله حاکم است. کلیه سازه‌های ایستا و یا در حال حرکت با سرعت ثابت در این دسته قرار دارند



مسائل جواب ویژه

Eigen Value Problems

شرائط این گونه مسائل مشابه مسائل حالت ایستا است
با این تفاوت که هدف بدست آوردن جواب ویژه مساله
در یک حالت خاص است.

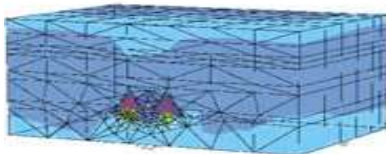
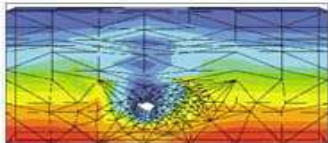
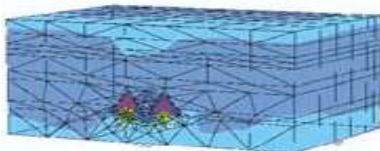
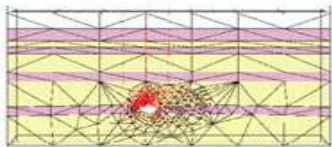
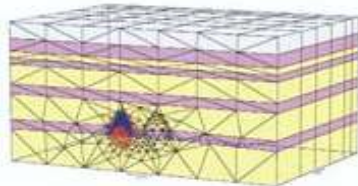
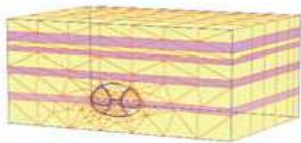


مسائل گسترش

Propagation Problems

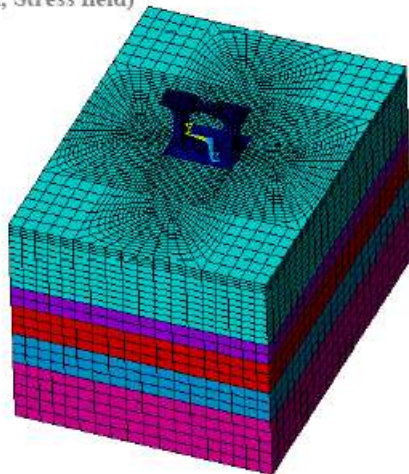
شرائط این مسائل وابسته به زمان است. کلیه مسائل پویا (دینامیک) اعم از هیدرودینامیک حالات گذرا درسازه ها و بررسی حرکات جذرومد سطح آب دریاها و..... در این دسته قرار می گیرند.

تحلیل شکل پذیری محیط اطراف تونل در اثر حفاری



تحليل تنش در اثر حرکت موج در زمین چند لایه

(wave propagation, Stress field)

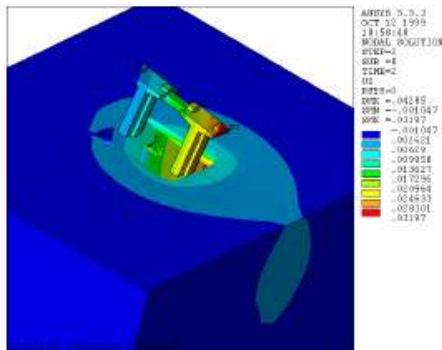


foundation profile

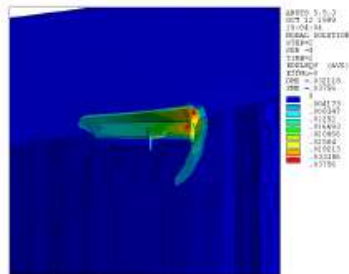
0-8 m Sand 1
8-10.5 m Sand 2
10.5-14.25 m Clay
14.25-18 m Coal
18-25 m dense Sand

تحليل ارتجاعي - خميري محيط اطراف تونل در اثر عبور قطار

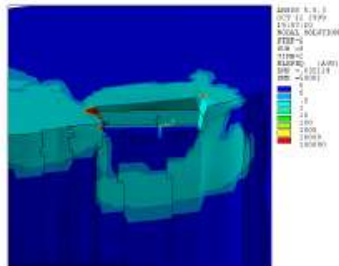
Non-linear coupled hydro-mechanical quasi static analysis of a transrapid train passage with elastic-plastic material models (Mohr Coulomb)



Total strain



Plastic strain

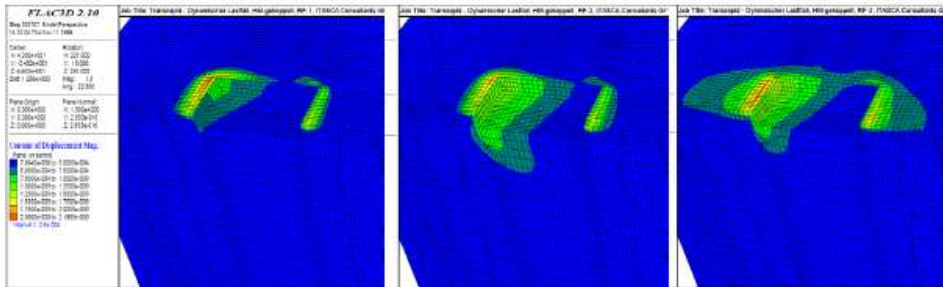


Failure of Yield criteria

تحليل ديناميكي فشار آب در محيط دوفازه زمين با الگوهاي مختلف (موهر-کلمب)

dynamic non-linear coupled fluid flow mechanical analysis with FLAC^{3D}

- dynamic non-linear (Mohr-Coulomb) with stationary pore pressure (PP)
- dynamic non-linear (Mohr-Coulomb) with in stationary pore pressure
- dynamic non-linear (Double Yield) with in stationary pore pressure



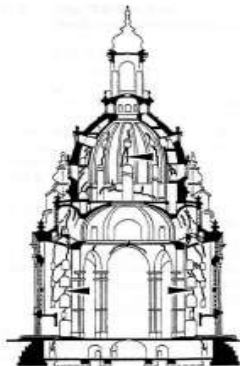
MC, stationary PP

MC instationary PP

DY instationary PP

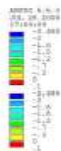
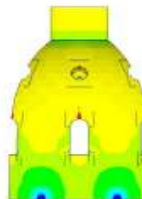
کنترل محاسباتی تاب تحمل آثار باستانی

dynardo



crack pattern R uth (1939)

elastic-plastic Masonry Analysis of the Church of our Lady in Dresden



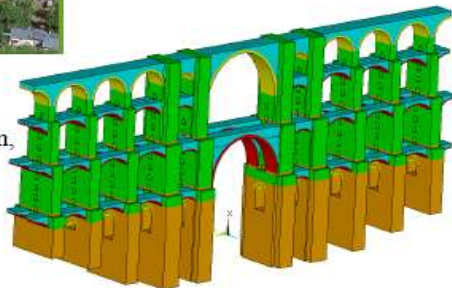
کنترل محاسباتی تاب تحمل پل‌های قدیمی

dynamdo world largest masonry bridge Göltzchtal Gemany

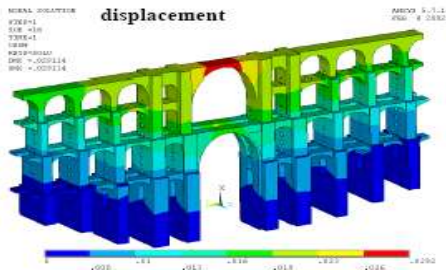


parameterized geometry model
verification of loading (dead loads, traffic, temperature, wind)
verification of masonry material model (GANZ Swiss masonry standard)

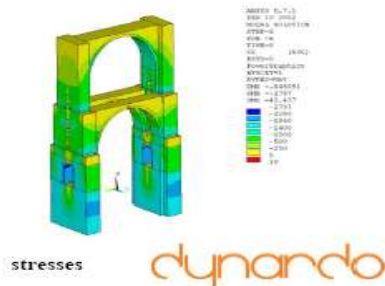
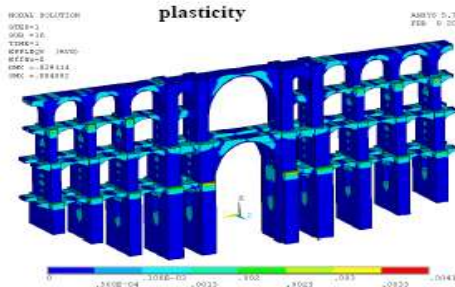
detailed geometry model with foundation, piles and arches made from granite, sandstone and masonry



نتایج حاصل از کنترل محاسباتی تاب تحمل پلهای قدیمی



For the first time stability and survivability of the structure according to actual German standards (DIN/DS) was proven.



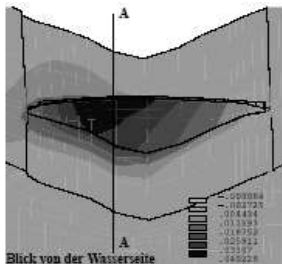
کنترل محاسباتی تاب تحمل سد

dynardo

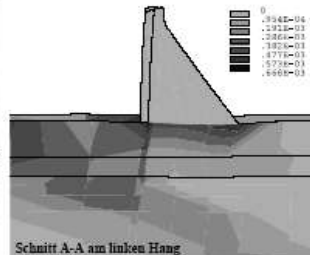
Geomechanics

2D/3D Stability analysis
of dams

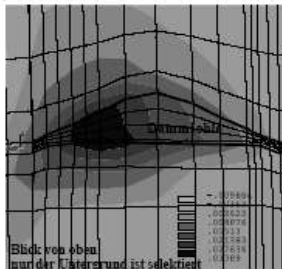
- non-linear mechanical analysis
- coupled fluid flow, thermal and mechanical analysis
- elastic-plastic material models of rock, jointed rock, masonry, concrete, soil



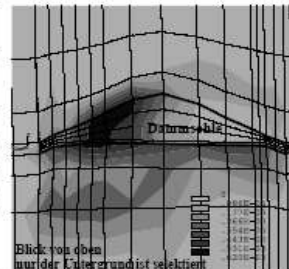
Verschiebungen in Talrichtung (cm)



Plastische Vergleichsdehnung (Elementwerte)



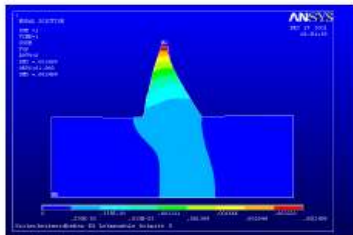
Verschiebungen in Talrichtung (cm)



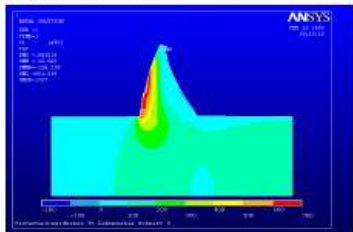
Plastische Vergleichsdehnungen (Knotenwerte)

نتایج حاصل از کنترل محاسباتی تاب تحمل سد

dynardo



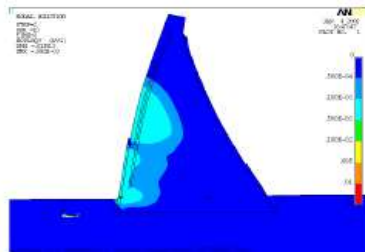
total deformation



tension stress

Earthquake analysis of dams

- often response spectra analysis is used
- then quasi-static elastic-plastic analysis with worst case modal superposition is performed
- with today's numerical power also non-linear transient analysis is possible



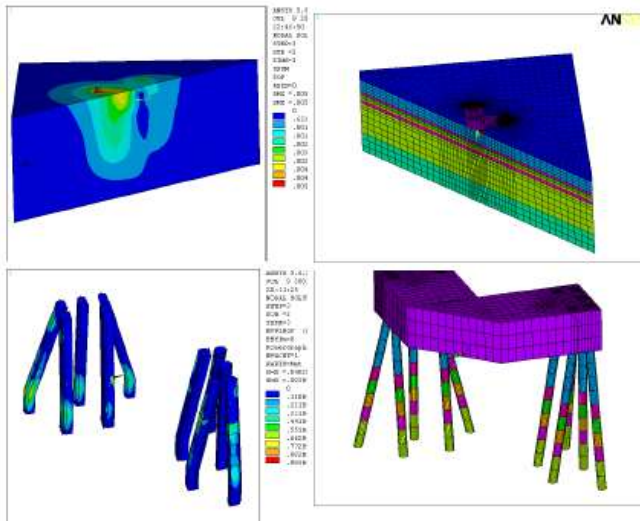
plastic strain

نتایج حاصل از کنترل محاسباتی تاب تحمل پی شمع دار

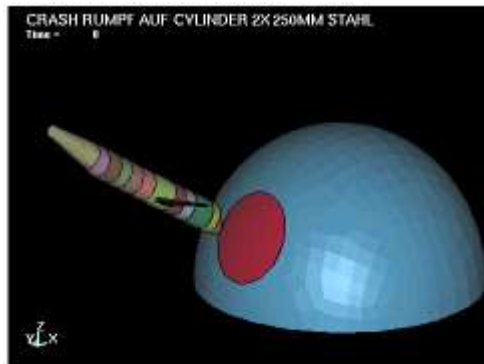
Geomechanics

Foundation Analysis

- non-linear load history
- non-linear static and dynamic analysis
- piles & plates

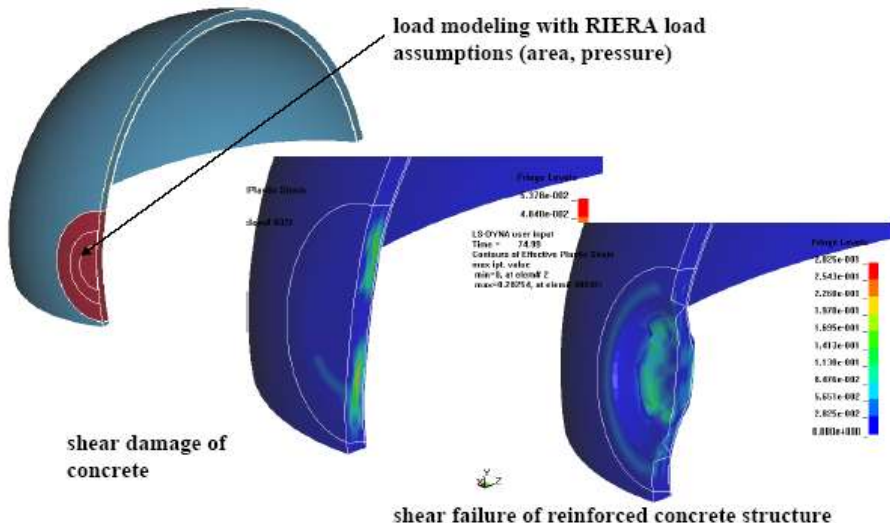


کنترل محاسباتی اثر ضربه پرتابه روی سازه پوسته ای نازک



نتایج حاصل از کنترل محاسباتی اثر ضربه روی سازه پوسته ای نازک

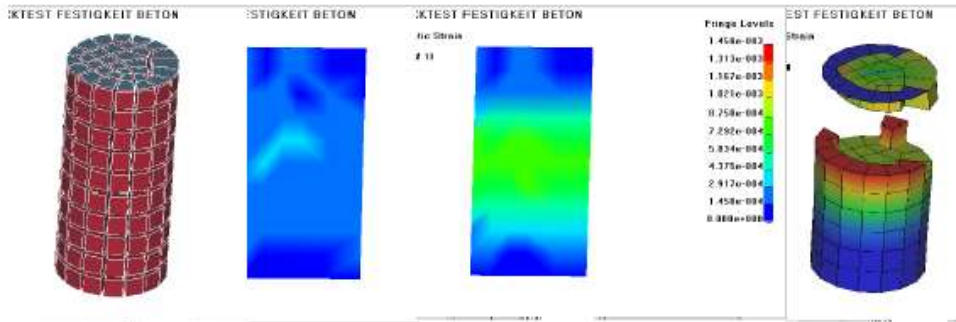
limit load analysis for airplane impact



نتایج حاصل از تحلیل تاب تحمل نمونه استوانه بتن

verification of the concrete model (plasticity & damage)

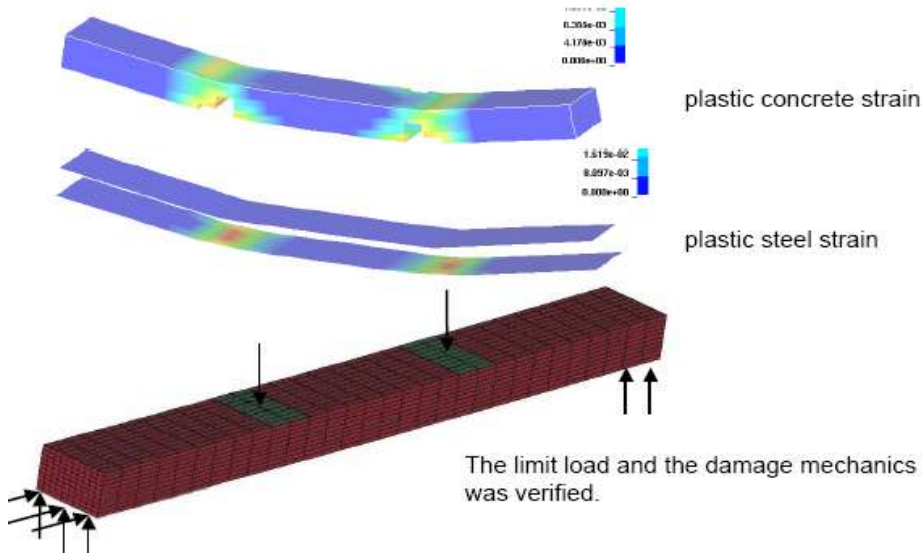
uniaxial compression test



The compression strength 0.045 KN/mm^2 and the damage mechanics was verified.

نتایج حاصل از تحلیل تاب تحمل تیر بتن آرمه

verification of reinforced concrete modeling (plasticity & damage)



بررسی چگونگی تمرکز صدمه در نمونه ماده متخلخل و مخزن عایق شده با باتیمان

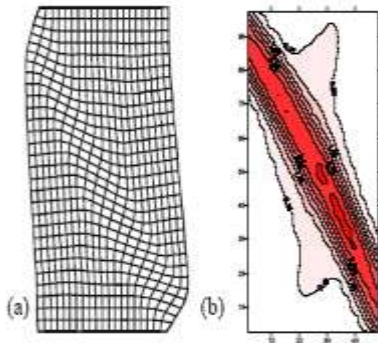


Fig. 1 Localization Simulation in a Test Specimen of a Porous Medium
(a). deformation (b). damage distribution

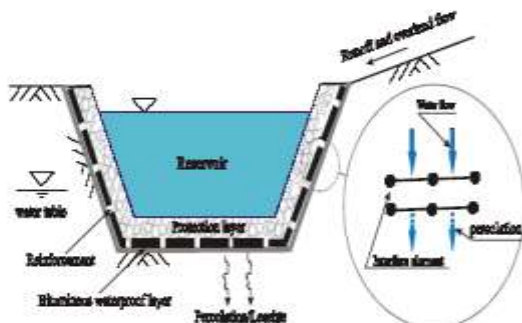


Fig. 2 Schematic of Bituminous Waterproof Lining System in a Reservoir



کاربریهایی
دیگر روش
اجزای
محدود
(تصاویر)
ماهواره ای)

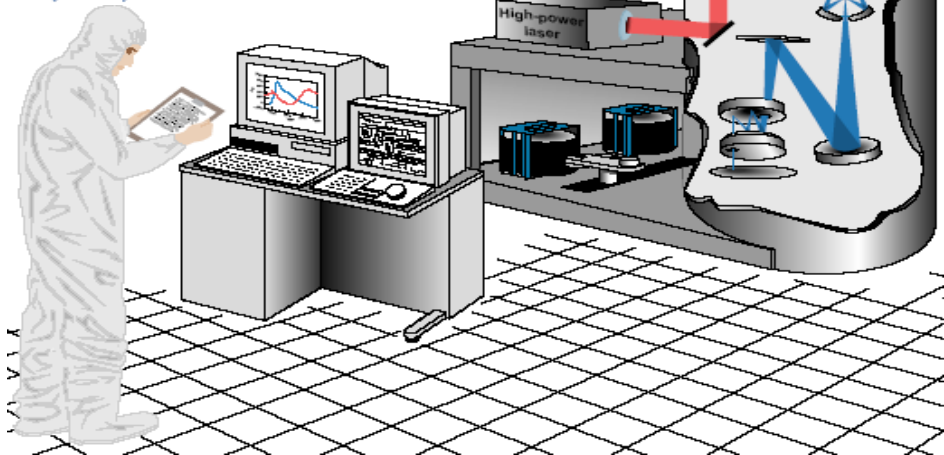
The Clementine Satellite sent back more than 1.5 million images of the moon at resolutions never before attained. These images were taken with cameras designed by the Laboratory.



کاربریهای
دیگر روش
اجزای محدود
(پرتاب موشک)

پیش بینی اثرات اشعه ایکس بر روی مواد

*Our vision of a modular, soft-x-ray,
projection-lithography facility that could
fabricate 0.13- μm design-rule devices
before the year 2000.*



پیش بینی های آثارناگوار زلزله



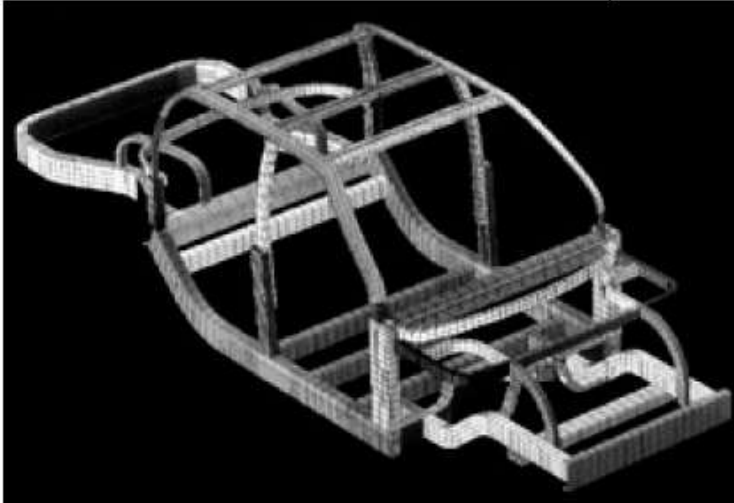
Teams of LLNL scientists go into the field after major earthquakes to study how and why structures are damaged. Our investigations included damage done by the January 1994 earthquake in Northridge, CA.



پیش بینی آثار الکتریسته برسیالات

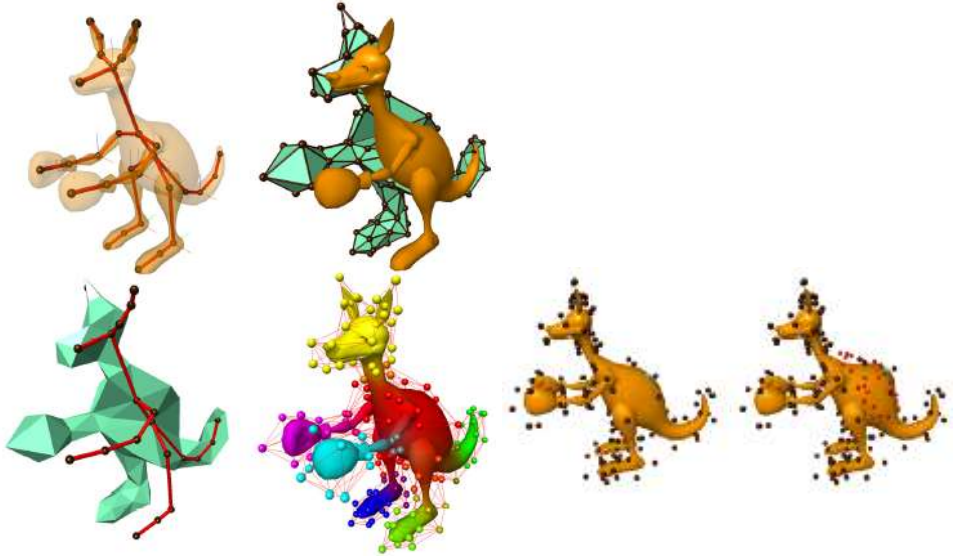
With 1 to 2 volts of input power, this 400- μ m-long intravascular microtool from the Microtechnology Center will curl up and stretch out in liquid. The Center's ongoing research into microscale actuators includes their use in areas such as optics, biomedical instruments, and micropart packaging.

پیش بینی آثار مخرب بر سازه خودرو



We are designing and analyzing a crashworthy aluminum frame that could be used for electric vehicles. We are working as part of the CALSTART consortium and in conjunction with Kaiser Aluminum and Chemical Corporation.

تحليل حركات حيوانات



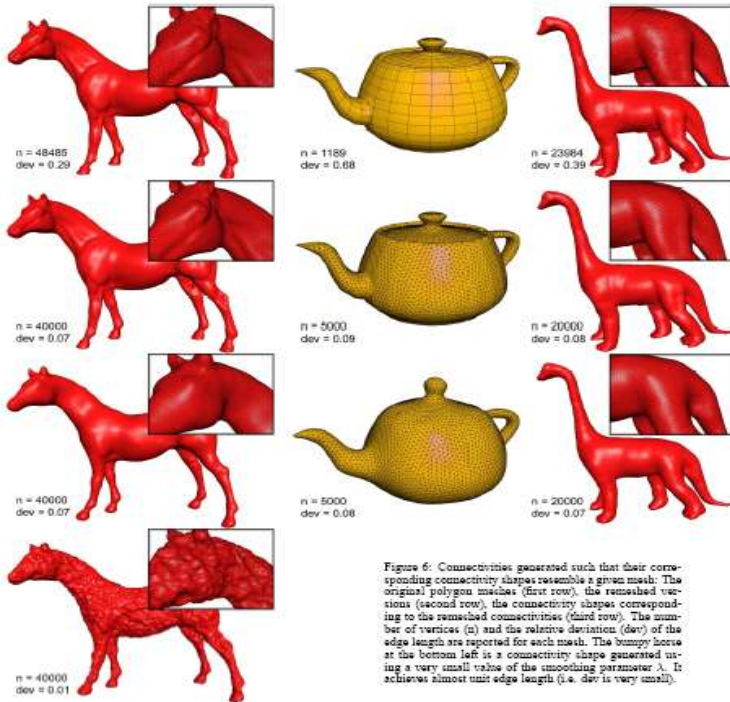
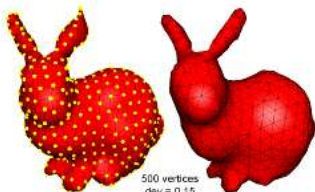


Figure 6: Connectivities generated such that their corresponding connectivity shapes resemble a given mesh: The original polygon meshes (first row), the remeshed versions (second row), the connectivity shapes corresponding to the remeshed connectivities (third row). The number of vertices (n) and the relative deviation (dev) of the edge length are reported for each mesh. The bumpy horse at the bottom left is a connectivity shape generated using a very small value of the smoothing parameter λ . It achieves almost unit edge length (i.e. dev is very small).

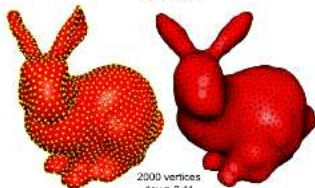
بررسی
ویژگیهای:
- حیاتی
- جسمی
- تخیلی

بررسی
اشکالات

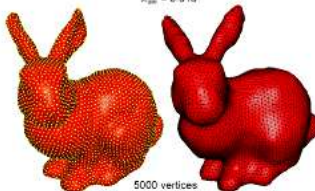
اساسی در بکار
گیری نظریه
ها؟



500 vertices
 $dev = 0.15$
 $\lambda_{dev} = 0.056$



2000 vertices
 $dev = 0.11$
 $\lambda_{dev} = 0.016$



5000 vertices
 $dev = 0.08$
 $\lambda_{dev} = 0.009$

Three bunnies remeshed with 500, 2000, and 5000 vertices (left) and their corresponding connectivity shapes (right). Reported are the relative deviation in edge length dev after remeshing and the smoothing parameter λ_{dev} .



(a) Engine Block



(b) Exhaust of Engine



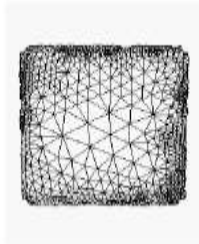
(c) Engine Configuration



(d) Brain of MRI scan



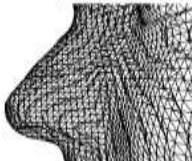
(e) Brain Scan from Below



(f) Adaptive Triangulation



(g) Head of MRI Scan

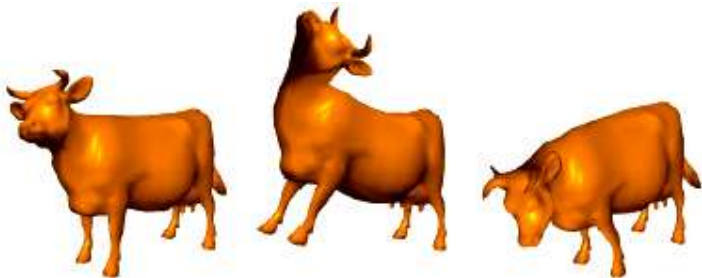


(h) Marching Cubes Mesh

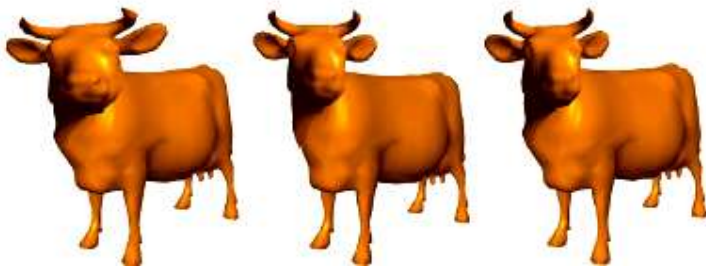


(i) Energy Minimizing Surface Mesh

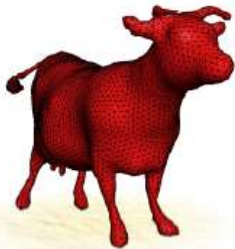
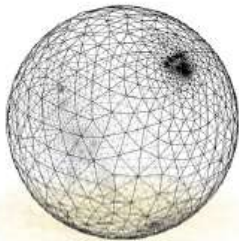
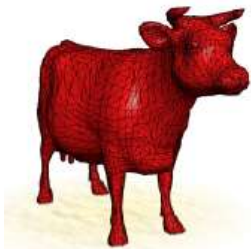
افزایش دقت
در تحلیل
قسمتها؟



Frames from an interactive animation. There is no noticeable warping due to strain linearization, and the different materials (e.g., ears, horns) behave distinctly.

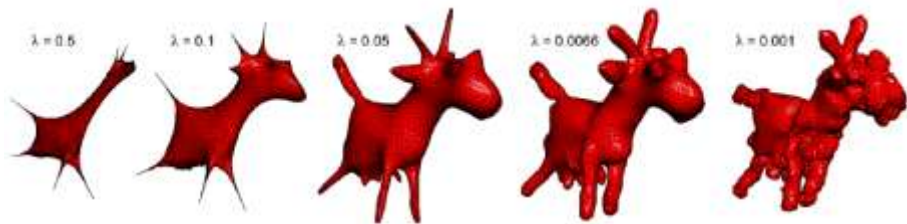


شناسایی
کیفی
اندرکنشها
ونظریه
پردازی؟؟؟؟

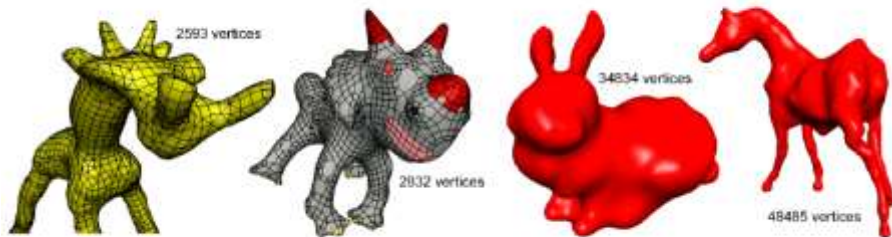


تعمیق
درمیزان دقت
نظریه ها؟؟؟؟

تطبيق نتائج نظريه ها با حقيقت؟؟؟

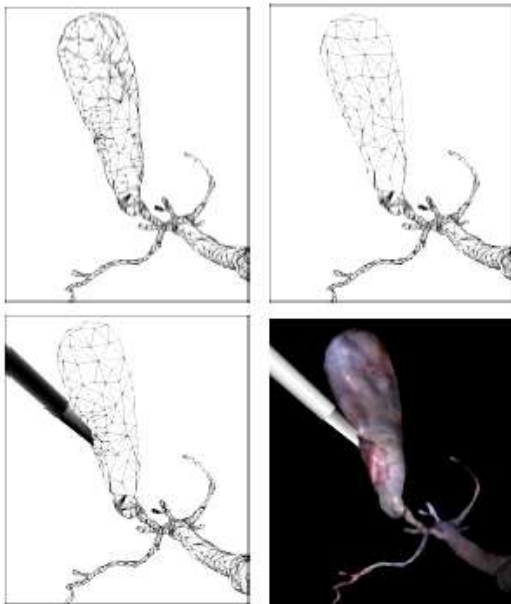


Family of connectivity shapes computed from the cow's connectivity with different smoothing parameters λ .



Connectivity shapes computed from the connectivity of (a) graffe, (b) triceratops, (c) Stanford bunny, and (d) horse.

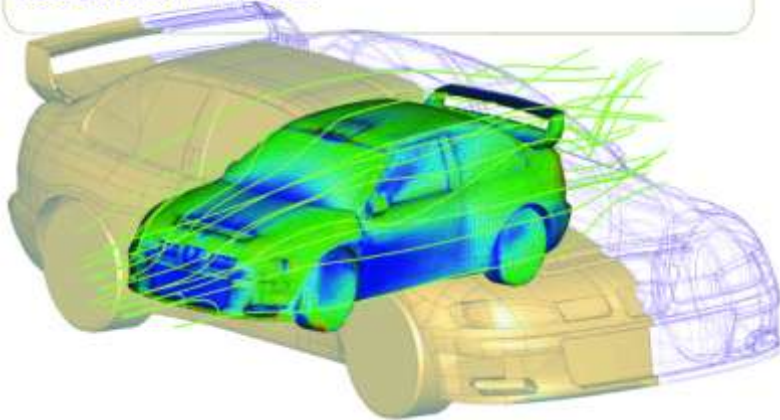
ضعفهاي
اجتناب ناپذير؟
(کيسه صفرا)



Upper left: A detailed mesh of the human gallbladder and bile ducts with 1900 vertices and 3772 faces. Upper right: The model with the gallbladder coarsened from 517 vertices to 117. Lower left: Where the instrument grasps the gallbladder, the mesh has been locally refined. Lower right: Texture mapped view of grasped gallbladder with local refinement.

شناسایی موارد عدم تطبیق

Issue's Photo



شناسایی اجزای

GiD Tutorials

Programs 1:
2D Tools
Basic 2D
Text and
Meshing



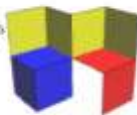
Programs 3:
Advanced 2D
& 3D
Techniques and
Meshing



Meshing 1:
Assigning
size to the
vertices of
a mesh



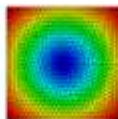
Meshing 2:
Types of
Mesh



Programs:
Structural analysis using CAE
-FEF and viewing
results in GiD

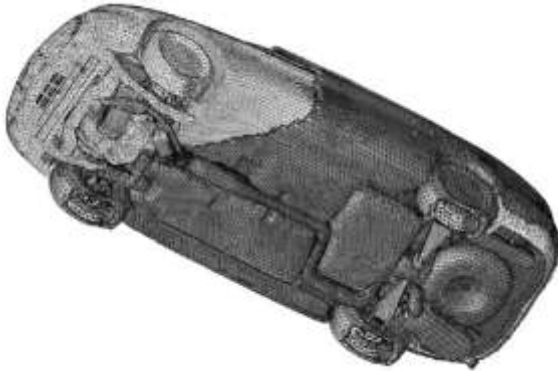


Importing:
Reading IGES files



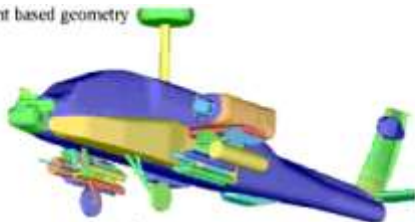
Problem Type:
Configuring GiD
for a
particular type of
analysis

تحلیل با در نظر گرفتن اندرکنشها

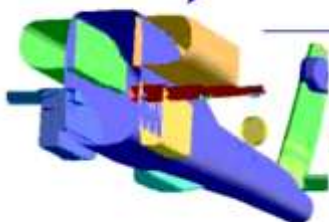


اجزای بالگرد

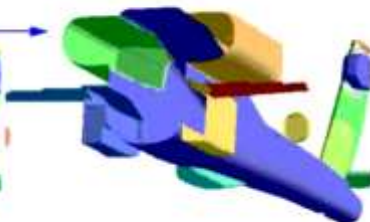
Original component based geometry



View inside original geometry
before intersection

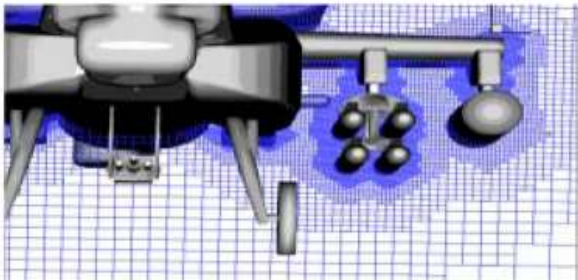
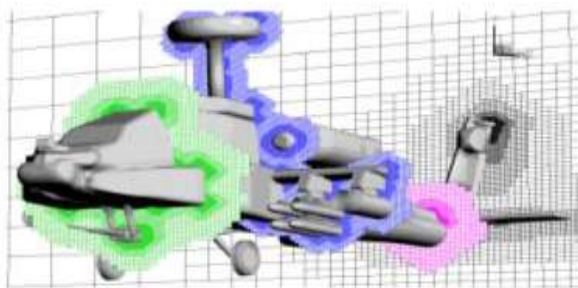


View inside geometry
after intersection



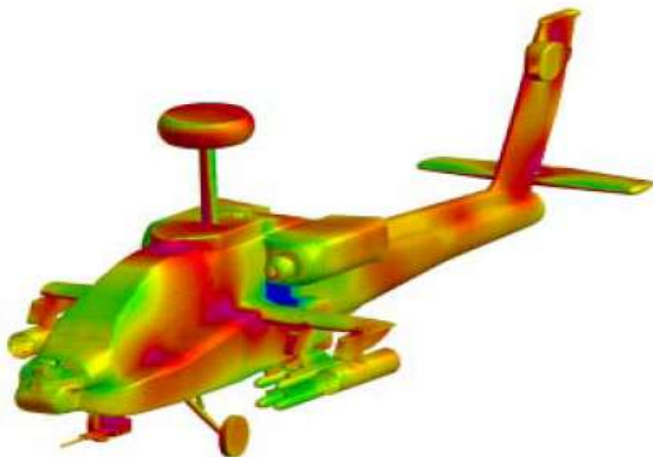
Helicopter example containing 82 components
including external stores and armaments.

شبکه تحلیل شرایط اطراف بالگرد



Upper: Cartesian mesh for attack helicopter configuration with 5.81M cells. Lower: Close-up of mesh through left wing and stores.

نتایج تحلیل توزیع فشار روی بدنه بالگرد



Isobars resulting from inviscid flow analysis of attack helicopter configuration computed on mesh with 1.2M cells

نتایج تحلیل توزیع فشار روی بدنه هواپیمای جت

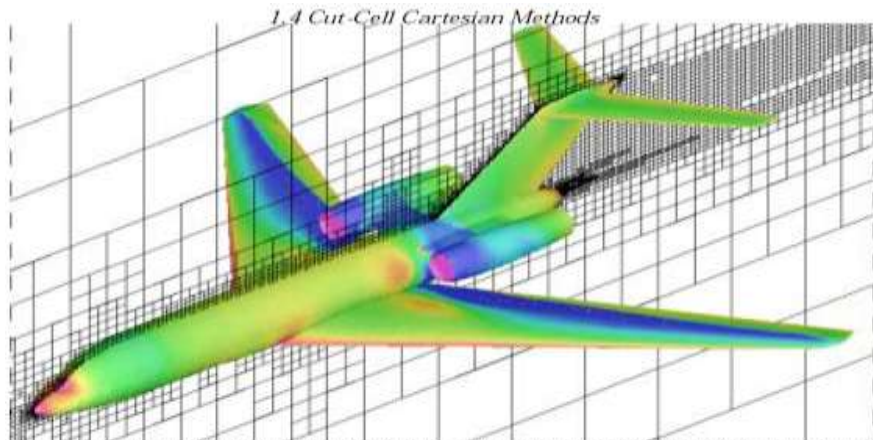
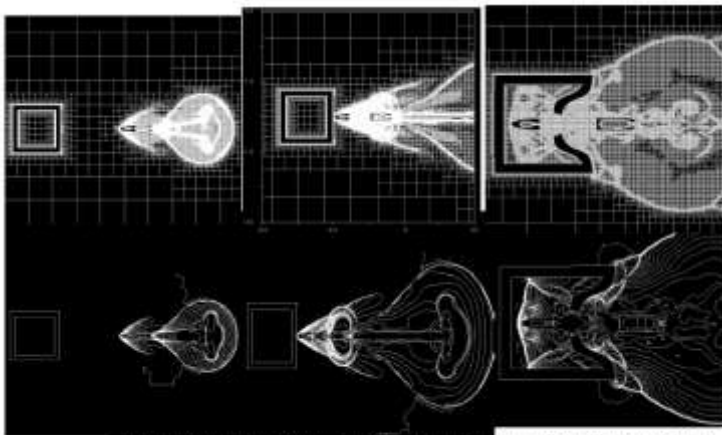


Figure 1-10: Isobars and mesh cuts on a business jet configuration computed with an octree based approach (reprinted from Ref. [25] with permission).

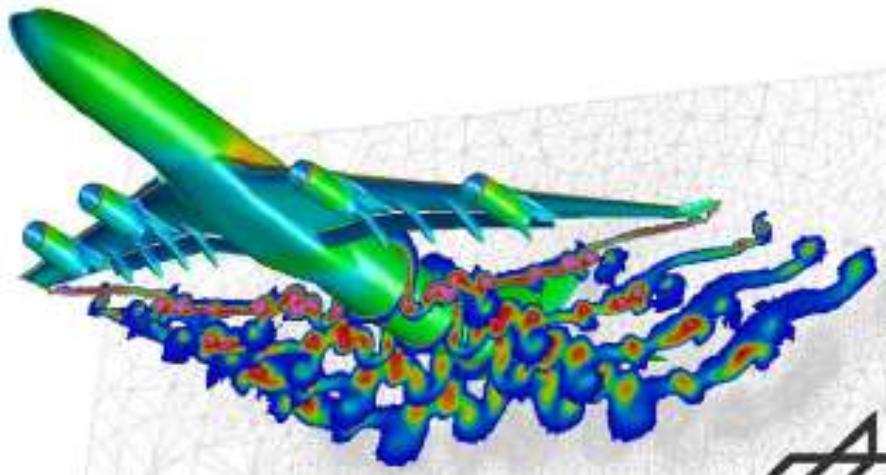
نمایش خطوط همتراز چگالی اطراف پرتابه حین برخورد و نفوذ

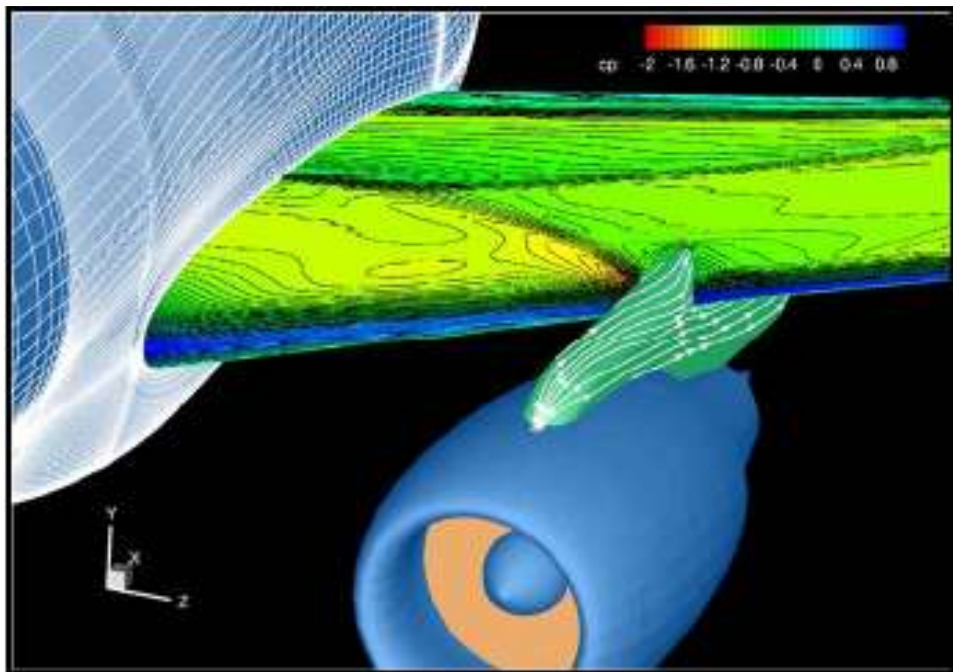


Density contours and adapted quadtree grids showing a time history of a projectile penetration problem (reprinted from Ref. [70] with permission).

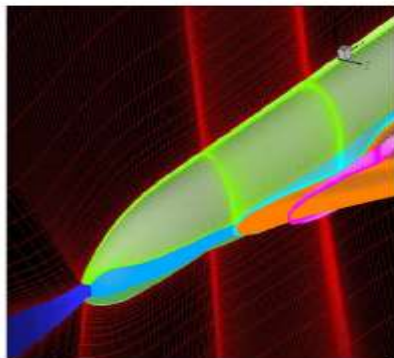
Unstructured RANS solver TAU

- hybrid grids
- very complex configurations
- grid adaptation
- fully parallel software
- adjoint option

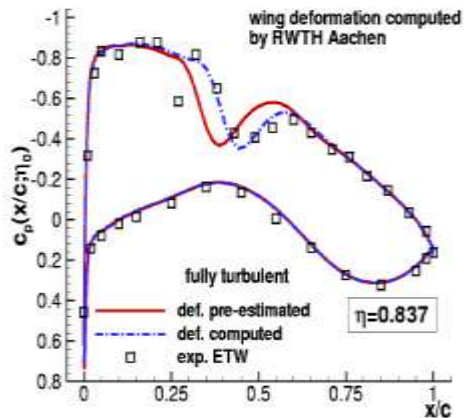




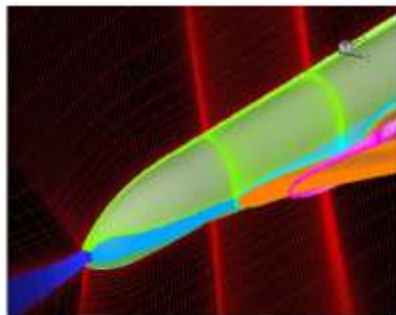
- $M_\infty=0.85$, $Re=32.5 \times 10^6$
- coupled CFD/structural analysis for wing deformation at $\alpha \approx 1.5^\circ$
- FLOWer, $k\omega$ turbulence model, fully turbulent



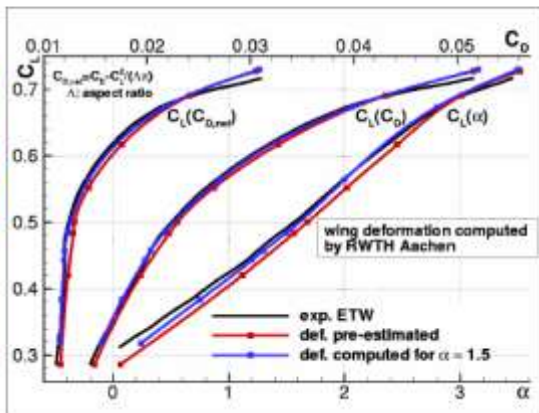
3.5 million grid points



- $M_\infty=0.85$, $Re=32.5 \times 10^6$
- coupled CFD/structural analysis for wing deformation at $\alpha \approx 1.5^\circ$
- FLOWer, $k\omega$ turbulence model, fully turbulent

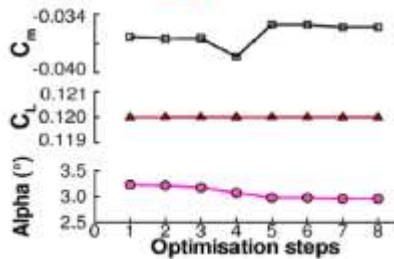
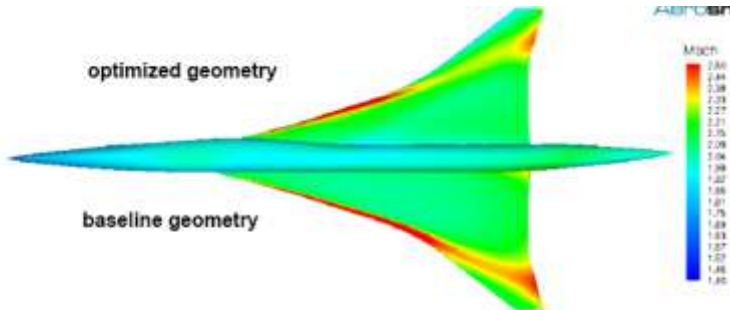


3.5 million grid points

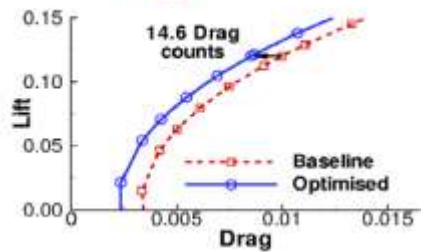
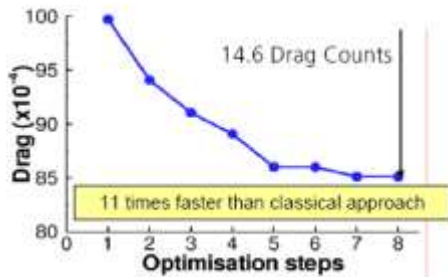
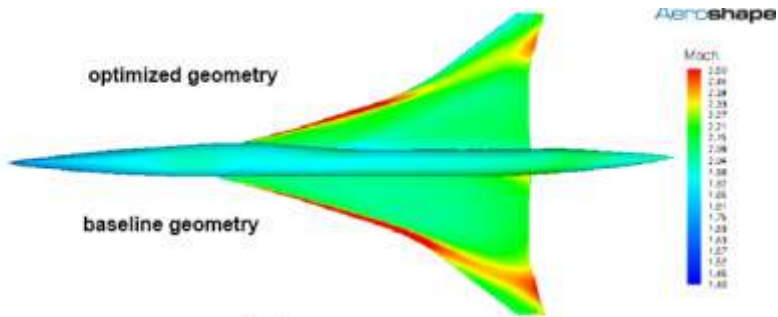


DLR

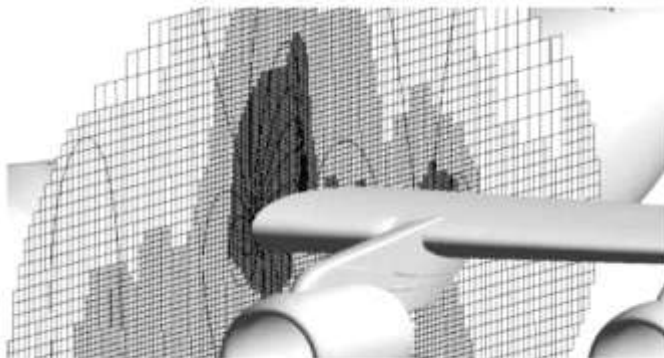
ASFC/airbag



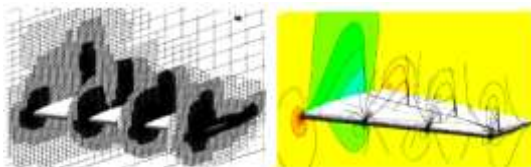
DLR



نتایج تحلیل توزیع فشار روی بدنه هواپیمای جت

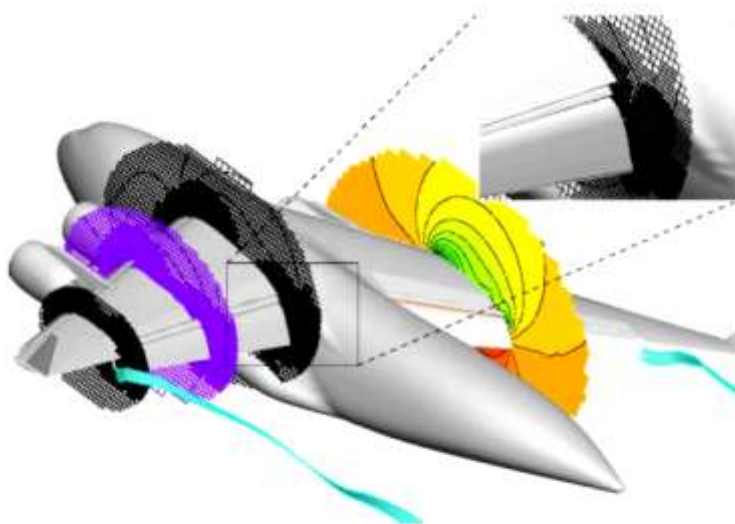


Adapted mesh, and computed isobars for inviscid flow over a High Wing Transport (HWT) configuration. The unstructured Cartesian mesh contained 2.9M cells with 10 adaptations.



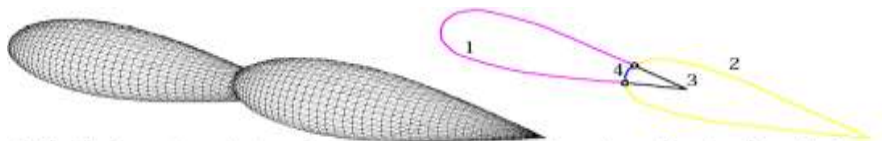
Adapted mesh, and computed isobars for inviscid flow over an ONERA M6 wing at $\alpha = 3.00^\circ$, and $M_\infty = 0.84$, computed using an unstructured representation of the Cartesian mesh.

نتایج تحلیل توزیع فشار روی بدنه هواپیمای جت

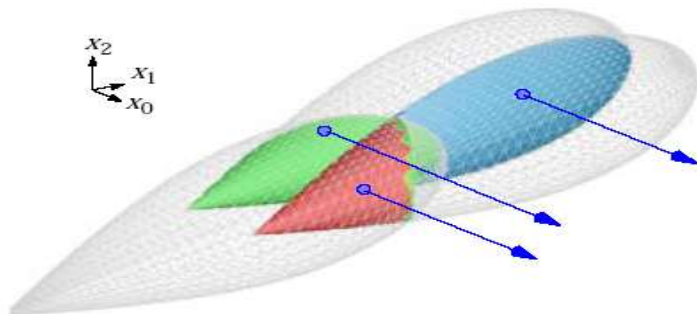


HWT example with high-lift system deployed. The mesh contains 1.65M cells at 10 levels of refinement. The mesh is presented by cutting planes at 3 spanwise locations and the cutting plane on the starboard wing is flooded by isobars of the discrete solution.

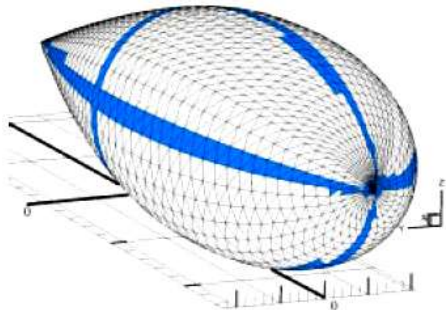
نمایش شبکه اجزای در سطح و درون جسم



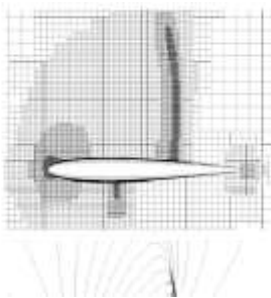
1-21: Surface triangulations for two intersecting teardrop shaped bodies. The labels on the sketch indicate regions painted by a single seed.



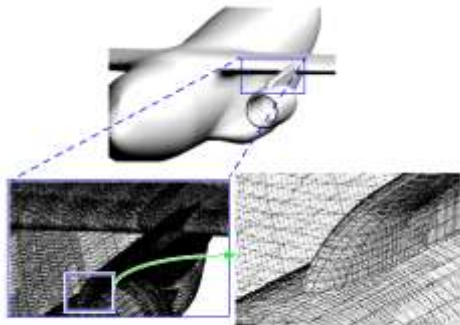
Example of ray-casting combined with mesh painting. The three internal regions shown were identified and painted using one ray per region.



The unshaded triangles may use the 3×3 form of the simplex determinant in eq. 2.3 without incurring round-off error due to the initial subtraction of coordinate data.



نمونه هایی از شبکه اجزای مختلف



Triangle polygons on surface of High Wing Transport configuration resulting from intersection of body-cut Cartesian cells with surface triangulation. The triangle-polygons shown here have been hierarchical triangulation for plotting purposes. This example included approximately 500000 body-cut Cartesian cells.

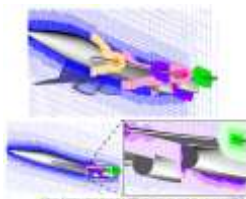
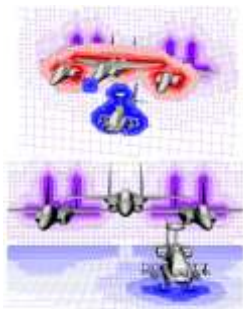


Figure 1. Training plane through cross-section of multiple aircraft configurations with 63,000 cells and 100,000 triangles to the triangulation of the winged surface.



Training plane through cross-section of multiple aircraft configurations with 63,000 cells and 100,000 triangles to the triangulation of the winged surface.

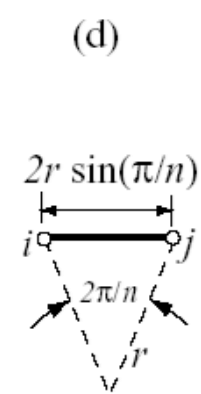
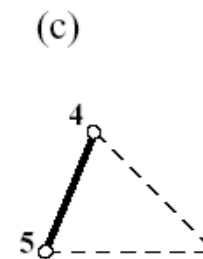
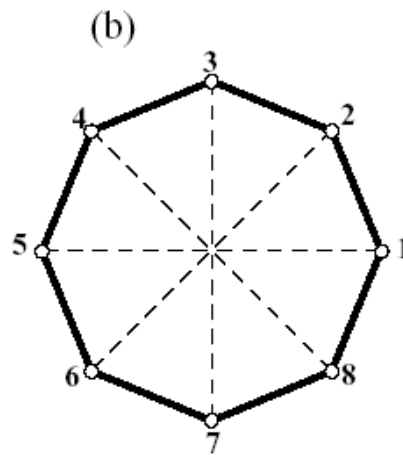
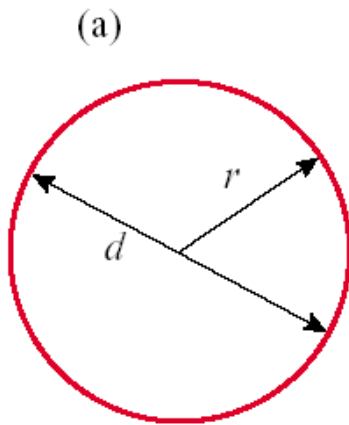
➤ پیچیدگی هندسی، رفتار پیچیده ماده و شرایط مرزی موجود در مسایل واقعی، رسیدن به حل دقیق را با دشواری روبرو ساخته است.

➤ استفاده از حل‌های تقریبی قابل قبول که در زمان محدود به دست می‌آید اجتناب ناپذیر است روش اجزای محدود یکی از این انتخاب‌ها است.

➤ روش اجزای محدود یک روش عددی برای رسیدن به حل تقریبی در بسیاری از مسایل فیزیکی و مهندسی است که رفتار حاکم بر آنها توسط یک (و یا یک دستگاه) معادله دیفرانسیل بیان می‌شود. در این روش از توابع پیوسته چند تکه‌ای و هموار برای تقریب کمیت مجهول مورد نظر سود برده می‌شود.



هدف اصلی در روش اجزای محدود، یافتن حل یک مسئله پیچیده از طریق جایگزینی آن با یک مدل ساده‌تر است. در روش اجزای محدود ناحیه حل به صورت مجموعه‌ای از زیر ناحیه‌های کوچک متصل به هم، به نام المان و یا اجزای محدود در نظر گرفته می‌شود. در ادامه برای هر قطعه یا المان یک حل تقریبی مناسب فرض می‌شود. با سوار نمودن این اجزاء و ... شرایط تعادل کلی سیستم (مانند سازه) استخراج می‌شود. با ارضای این شرایط جواب تقریبی برای کمیت مورد نظر (تغییر مکانها) به دست می‌آید.



$$S_i = (R \cos \theta_i / 2)(R \sin \theta_i / 2)$$

$$S_i = \frac{1}{2} R^2 \sin \theta_i$$

$$S_N = \sum S_i = \frac{1}{2} R^2 N \sin\left(\frac{2\pi}{N}\right) \rightarrow \pi R^2 \rightarrow as \quad N \rightarrow \infty$$

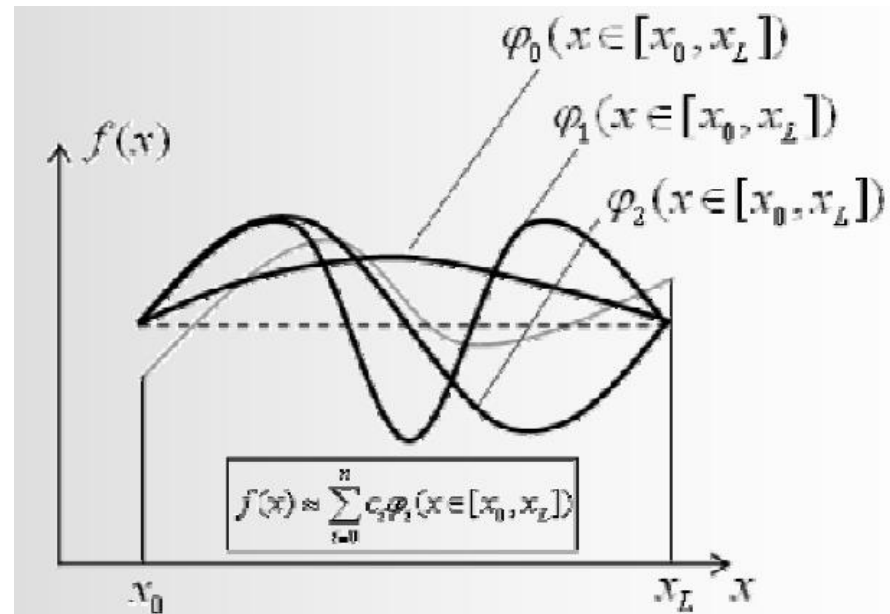
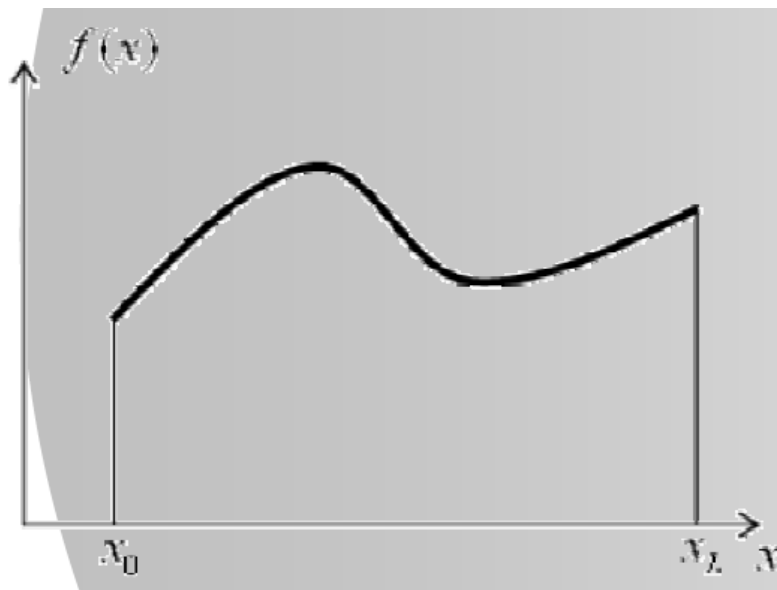


مقدمه: روش اجزای محدود

n	$\pi_n = n \sin(\pi/n)$	Extrapolated by Wynn- ϵ	Exact π to 16 places
1	0.0000000000000000		
2	2.0000000000000000		
4	2.828427124746190	3.414213562373096	
8	3.061467458920718		
16	3.121445152258052	3.141418327933211	
32	3.136548490545939		
64	3.140331156954753	3.141592658918053	
128	3.141277250932773		
256	3.141513801144301	3.141592653589786	3.141592653589793

Discretized approximation

تقریب گسسته سازی

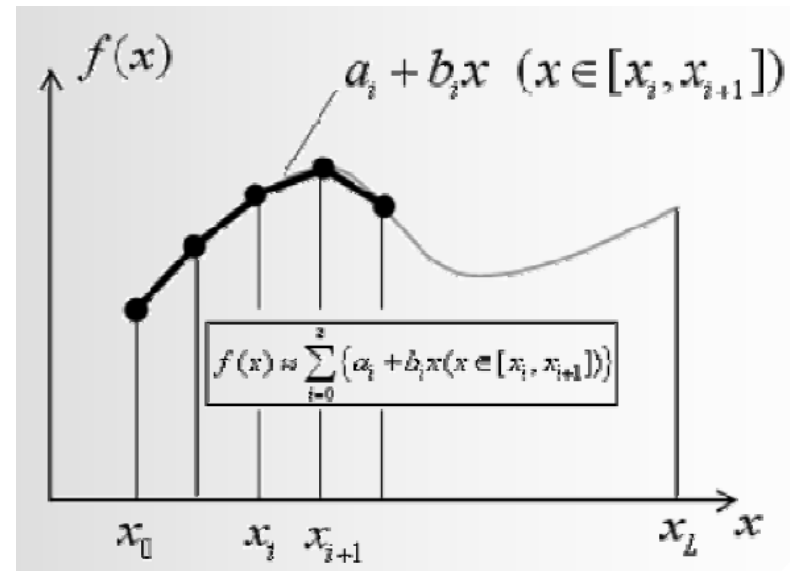
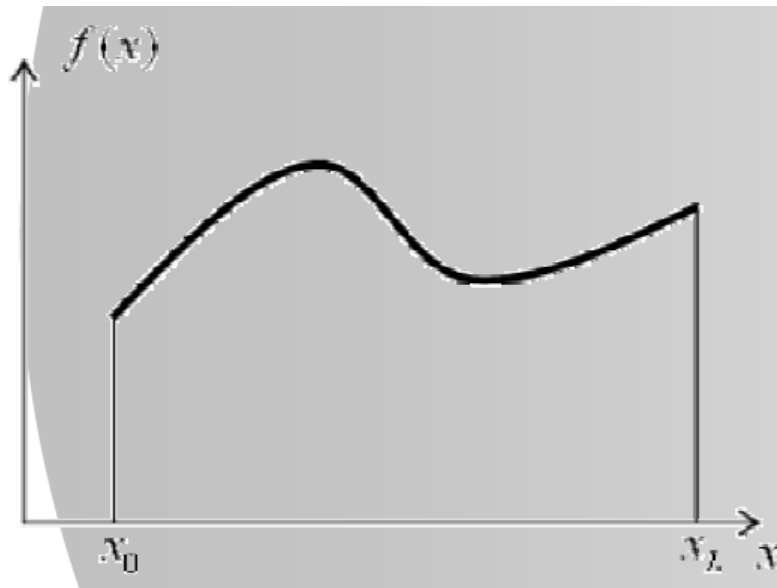


Rayleigh-Ritz principle

- Approximation in the whole domain
- Higher-order continuous function
- Fewer base functions

Discretized approximation

تقریب گسسته سازی

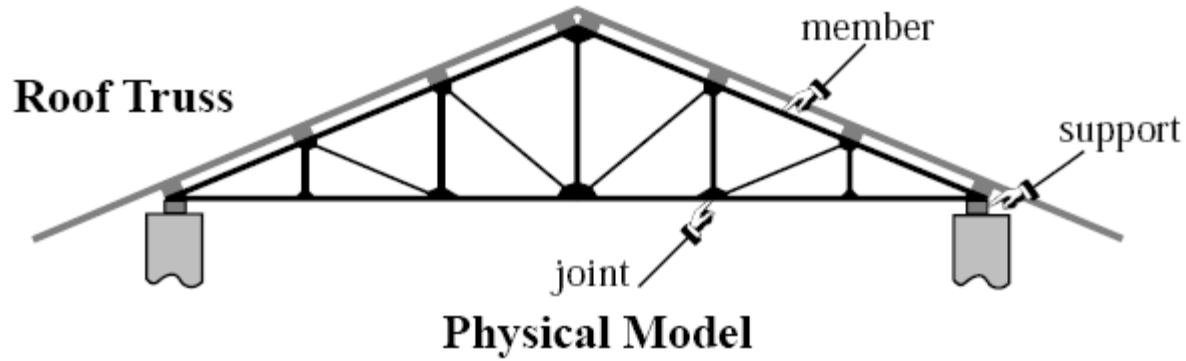


Another method

- Pieces function approximation in sub-domain
- Linear or polynomial function
- More base functions

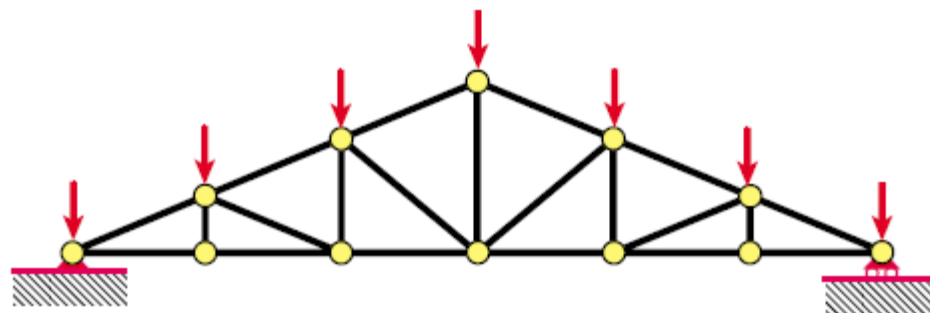


ایده اساسی روش اجزای محدود



IDEALIZATION & DISCRETIZATION

Mathematical *and* Discrete Model





FINITE

Finite Number

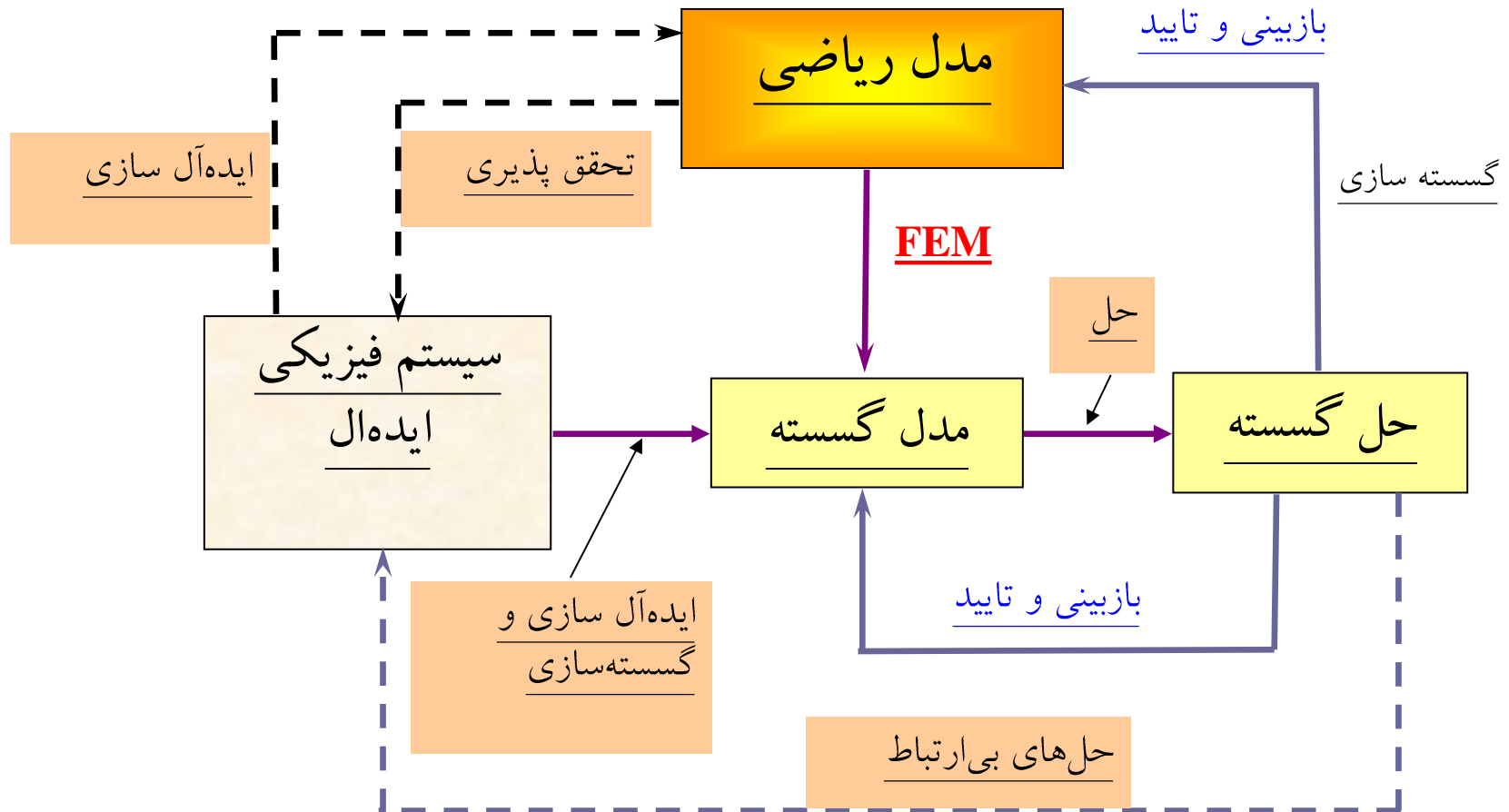
There is only finite number of elements in your analysis model, not infinite.

Finite Accuracy

The accuracy of your analysis is finite. Even for very fine model, it is not accurate solution.

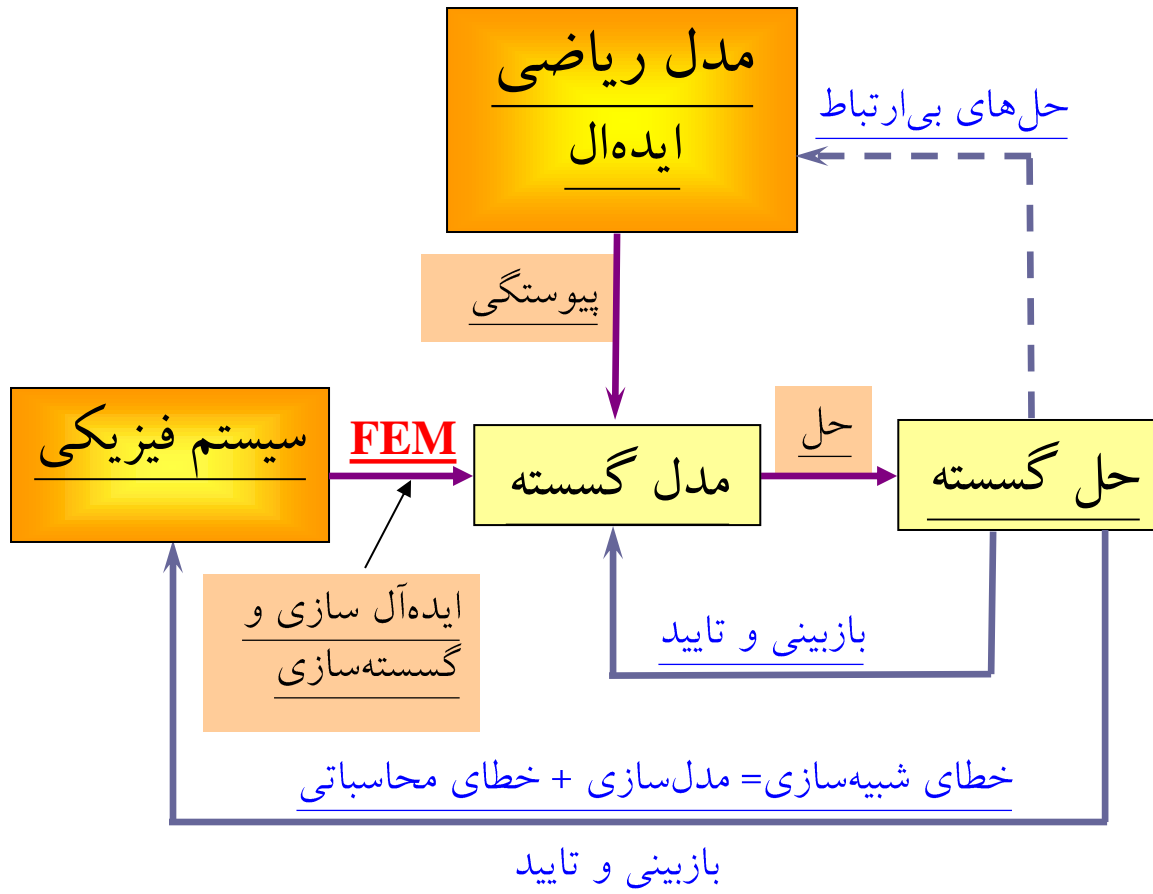


مدل سازی و شبیه سازی روش اجزای محدود بر مبنای مدل ریاضی



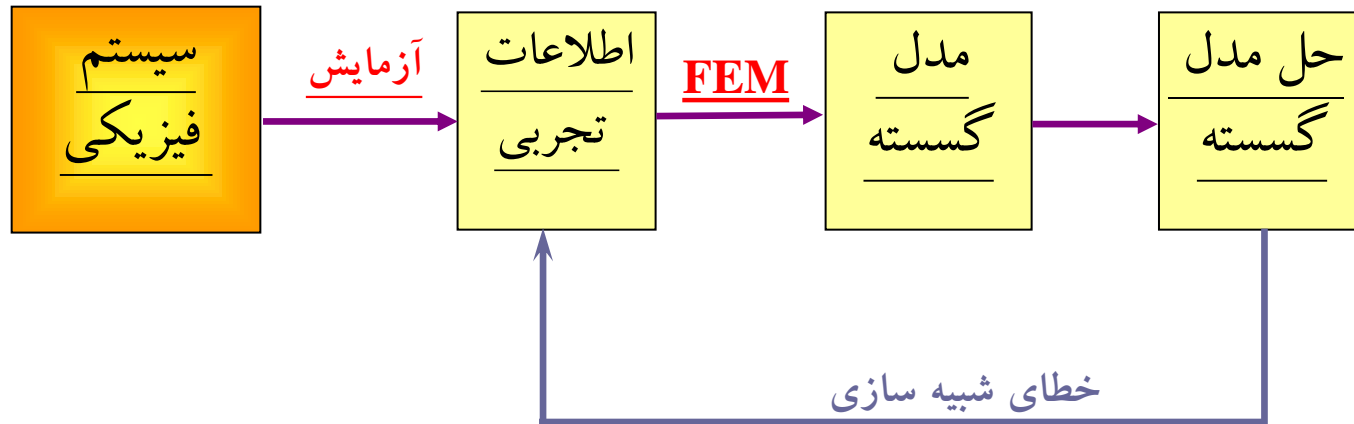


مدل سازی و شبیه سازی روش اجزای محدود بر مبنای مدل فیزیکی



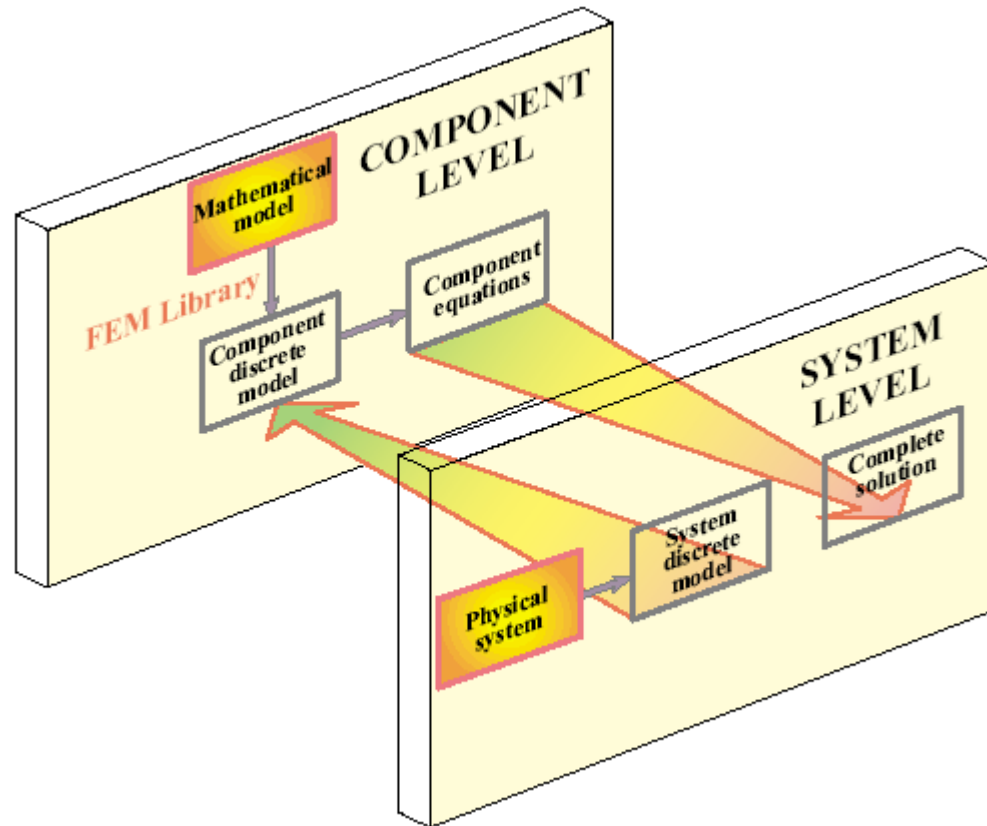


بهنگام نمودن روش اجزای محدود با مدل فیزیکی





ترکیب دو مدل فیزیکی و ریاضی در روش اجزای محدود





روش‌های گسسته سازی جهت شبیه‌سازی عددی

Finite Element method	روش اجزای محدود
Finite Difference method	روش تفاضل محدود
Boundary Element method	روش اجزای مرزی
Finite Volume method	روش حجم محدود
Mesh Free method	روش بدون المان
Spectral method	روش طیفی



Direct Method

۱- روش مستقیم

Variational

۲- روش حساب تغییرات

Method

۳- روش باقیمانده‌های وزنی *Weighted Method*

Residuals

۳-۱- روش گالرکین

۳-۲- روش حداقل مجذورات

Stiffness Method

۴- روش سختی



روش‌های استخراج معادلات روش اجزای محدود

۱- روش مستقیم: الف- این روش برای المان‌های ساده قابل اجراست.

ب- با توجه به بالا بردن مفاهیم فیزیکی، جهت مطالعه بسیار با ارزش است.

۲- روش حساب تغییرات: این روش برای مسایلی قابل پیاده سازی است که رفتار حاکم بر آن به فرم انتگرالی بیان شود.

۳- روش باقیمانده های وزنی:

این روش برای مسایلی که رفتار حاکم بر آن به فرم معادلات دیفرانسیل باشد و بیان انتگرالی آن در دسترس نباشد استفاده می شود.



توصیف عمومی روش اجزای محدود

مرحله (I) : گسسته (مجزا) سازی سازه

در این مرحله سازه مکانیکی یا ناحیه حل مورد نظر به بخش‌های کوچکتر (المان) تقسیم می‌شود. نقاط مشترک در مرز المان به نام گره شناخته می‌شود. در مورد نوع، تعداد و ترتیب المان باید تصمیم‌گیری نمود.

مرحله (II) : ارائه رفتار فیزیکی حاکم بر المان به صورت کمی

در این مرحله لازم است رفتار فیزیکی حاکم بر المانهای سازه مکانیکی به صورت یک (و یا چند) معادله بیان شود.



مرحله (III): انتخاب یک مدل درونیاب یا مدل جابجایی مناسب

از آنجا که تغییرات واقعی متغیر میدان (مانند جابجایی، تنش، دما، فشار یا سرعت) در داخل این محیط پیوسته مجهول است، تغییرات متغیر میدان در داخل یک المان محدود به وسیله یک تابع ساده تقریب زده می‌شوند و بر حسب مقادیر متغیرهای میدان در گره‌ها بیان می‌شوند. معمولاً مدل درونیاب (تابع تقریب، توابع شکل) را به شکل چند جمله‌ای در نظر می‌گیرند.



توصیف عمومی روش اجزای محدود

مرحله (IV) : به دست آوردن ماتریس سختی و بردارهای نیروی المان

هنگامی که معادلات میدان (مانند معادلات تعادل) برای یک المان نوشته شد، مجهولات مسئله، متغیر میدان در گره‌ها خواهند بود. در این مرحله ماتریس سختی و بردار نیروی المان محاسبه می‌شود.

مرحله (V) : سوار (جمع) کردن معادلات المانها برای به دست آوردن معادلات کلی تعادل

از آنجا که سازه از چندین المان تشکیل شده است، ماتریس سختی و بردارهای نیروی المانهای منفرد را با یک روش مناسب با یکدیگر جمع می‌شوند.

مرحله (VI): به دست آوردن متغیرهای میدان (جابجایی‌ها) در گره‌ها

معادلات کلی میدان (مانند معادلات تعادل) باید برای شرایط مرزی اصلاح شوند و پس از آن با استفاده از یک روش عددی مناسب مقادیر متغیرهای میدان استخراج شوند.

مرحله (VII): محاسبه متغیرهای وابسته (نظیر تنشها و کرنشهای المان)

در صورت نیاز با استفاده از متغیرهای میدان (نظیر جابجایی‌ها) میتوان متغیرهای وابسته (نظیر تنشها و کرنشهای المان) را با استفاده از معادلات مورد لزوم حاکم بر مسئله (نظیر معادلات مکانیک جامدات) محاسبه نمود.

مرحله (I) : پیش پردازش

در این مرحله مدل هندسی و مدل شبکه‌بندی شده مسئله ساخته می‌شود. سپس بارگذاری و شرایط مرزی به مدل اعمال می‌گردد.

مرحله (II) : حل مدل اجزای محدود

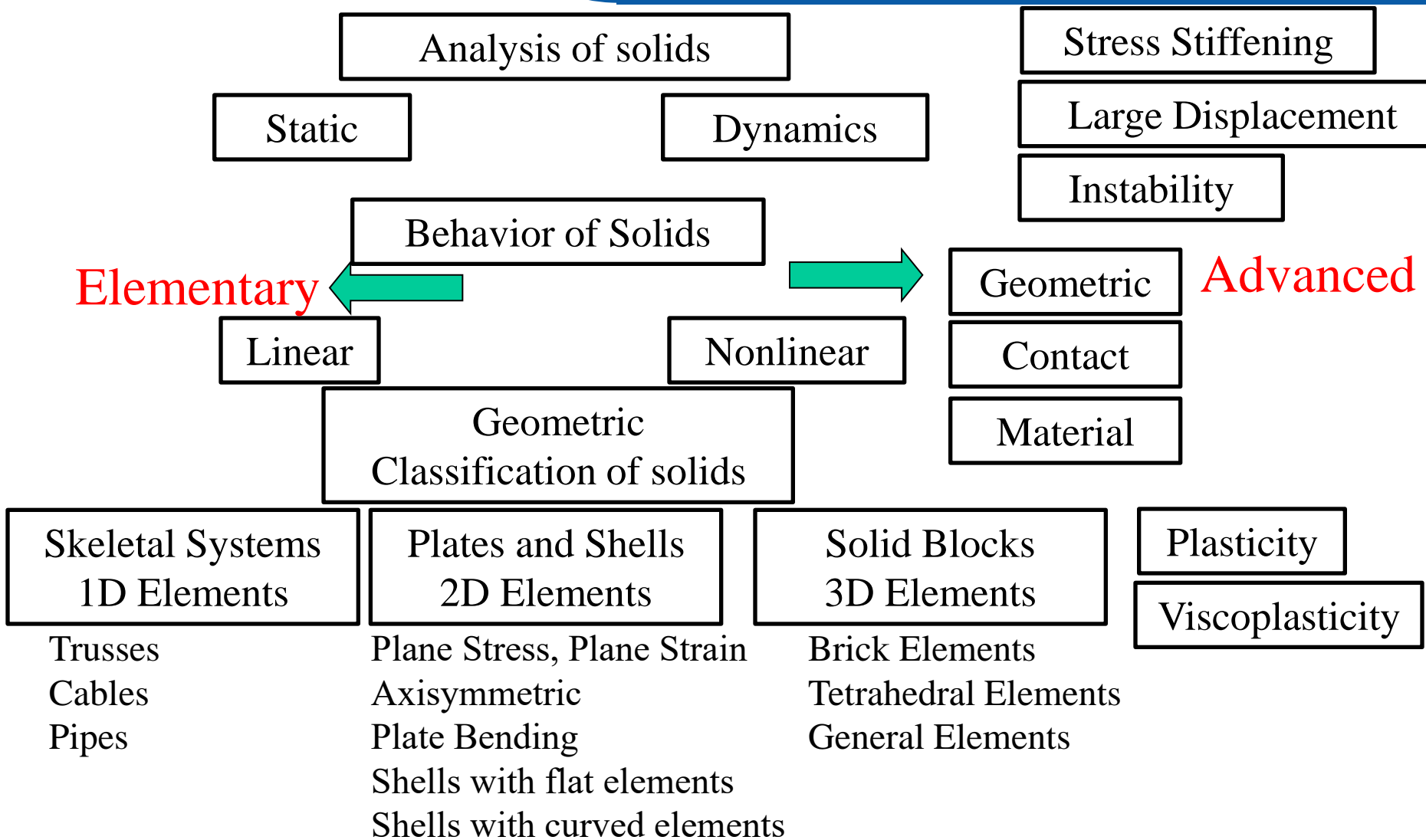
سوار کردن معادلات سیستم و حل معادلات کلی در این مرحله انجام می‌پذیرد.

مرحله (III) : پس پردازش

آماده نمودن و نمایش نتایج



تقسیم‌بندی مسایل مکانیک جامدات





تاریخچه روش اجزای محدود

Engineering ←

→ Mathematics

Trial function

Finite difference method

Variational method

Method of Weighted Residuals

Richardson 1910
Liebman 1918
Southwell 1946

Rayleigh 1870
Ritz 1909

Gauss 1795
Galerkin 1915
Biezeno-Koch 1923

Similar structure replacement

Continuous trial function

Variable finite difference method

Hrenikoff 1941
Mchenry 1943
Newmark 1949

Courant 1943
Prager-Synge 1947
Zienkiewicz 1964

Varga 1962

Direct continuum elements

Argyris 1955
Turner et al. 1956

Present Finite Element Method

First coined by Clough 1960



تاریخچه روش اجزای محدود

■ ۱۹۴۳ Courant : وی برای اولین بار روش مشابه روش اجزای محدود ارائه کرد که در آن از توابع دارای پیوستگی تکه‌ای که در نواحی مثلثی تعریف می‌شوند استفاده کرد.

■ ۱۹۵۶ Turner, Clough, Martin and Topp : آنان در یک مقاله کاربرد اجزای محدود ساده (شامل میله‌های مفصل شده) برای تحلیل سازه هواپیما استفاده نمودند. این تحلیل به‌عنوان یک پیشرفت کلیدی در توسعه روش اجزای محدود به حساب می‌آید.

- ۱۹۶۰ Clough : وی توانست با استفاده از المانهای مثلثی تحلیل یک بال سازه‌ی هواپیما را در شرایط تنش صفحه‌ای انجام دهد.
- دهه ۱۹۷۰ : در این دهه با ورود کامپیوترهای دیجیتال (با پردازنده مرکزی)، ابزار نیرومندی برای محاسبات مورد نیاز در اجزای محدود فراهم گردید و بطور عملی این روش را توسعه داد.
- دهه ۱۹۸۰ : در این دهه زمینه انجام مراحل پیش پردازش و پس پردازش روش اجزای محدود در کامپیوترهای شخصی فراهم شد.
- دهه ۱۹۹۰ : در این دهه تحلیل سازه‌های بزرگ به کمک روش اجزای محدود انجام گرفت.



تاریخچه روش اجزای محدود

درجات آزادی در روش اجزای محدود:

دهه ۱۹۵۰: تحلیل تا ۱۰۰ درجه آزادی

دهه ۱۹۶۰: تحلیل تا ۱۰۰۰ درجه آزادی

دهه ۱۹۸۰: تحلیل تا ۱۰۰۰۰ درجه آزادی

دهه ۱۹۹۰: تحلیل تا ۱۰۰۰۰۰ درجه آزادی

دهه ۲۰۰۰: تحلیل از ۵۰۰۰۰۰ تا چندین میلیون درجه آزادی



تاریخچه روش اجزای محدود

مقالات منتشر شده در زمینه روش اجزای محدود:

تا ۱۹۶۱: ۱۰ مقاله

تا ۱۹۶۶: ۱۳۴ مقاله

تا ۱۹۷۱: ۸۴۴ مقاله

تا ۱۹۷۶: ۷۰۰۰ مقاله

تا ۱۹۸۶: ۲۰۰۰۰ مقاله

.....



نرم افزارهای اجزای محدود

Year	Software	Company	Website
1965	ASKA (PERMAS)	IKOSS GmbH, (INTES), Germany	www.intes.de
1966	NASTRAN	MacNeal-Schwendler Corp., USA	www.macsch.com
1967	ASAS	Atkins Res.&Devel., UK	www.wsasoft.com
1970	ANSYS	Swanson Anal. Syst., USA	www.ansys.com
	SAP	NISEE, Univ. of California, Berkeley, USA	www.eerc.berkeley.edu
1975	ADINA	ADINA R&D, Inc., USA	www.adina.com



نرم افزارهای اجزای محدود

Year	Software	Company	Website
1976	NISA	Eng. Mech. Res. Corp., USA	www.emrc.com
1978	DYNA2D, DYNA3D	Livermore Softw. Tech. Corp., USA	www.lstc.com
1979	ABAQUS	Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., USA	www.abaqus.com
1980	LUSAS	FEA Ltd., UK	www.lusas.com
1982	COSMOS/M	Structural Res. & Anal. Corp., USA	www.cosmosm.com
1984	ALGOR	Algor Inc., USA	www.algor.com



- *ANSYS* (General purpose, PC and workstations)
- *NISA* (PC and workstation)
- *SDRC/I-DEAS* (Complete CAD/CAM/CAE package)
- *NASTRAN* (General purpose FEA on mainframes)
- *ABAQUS* (Nonlinear and dynamic analyses)
- *COSMOS* (General purpose FEA)
- *ALGOR* (PC and workstations)
- *PATRAN* (Pre/Post Processor)
- *HyperMesh* (Pre/Post Processor)
- *Dyna-3D* (Crash/impact analysis)
-



❖ Static analysis

- Deflection
- Stresses
- Strains
- Forces
- Energies

❖ Dynamic analysis

- Frequencies
- Deflection (mode shape)
- Stresses
- Strains
- Forces
- Energies

❖ Heat transfer analysis

- Temperature
- Heat fluxes
- Thermal gradients
- Heat flow from
convection faces

❖ Fluid analysis

- Pressures
- Gas temperatures
- Convection coefficients
- Velocities



❖ Automotive industry

- Static analyses
- Modal analyses
- Transient dynamics
- Heat transfer
- Mechanisms
- Fracture mechanics
- Metal forming
- Crashworthiness

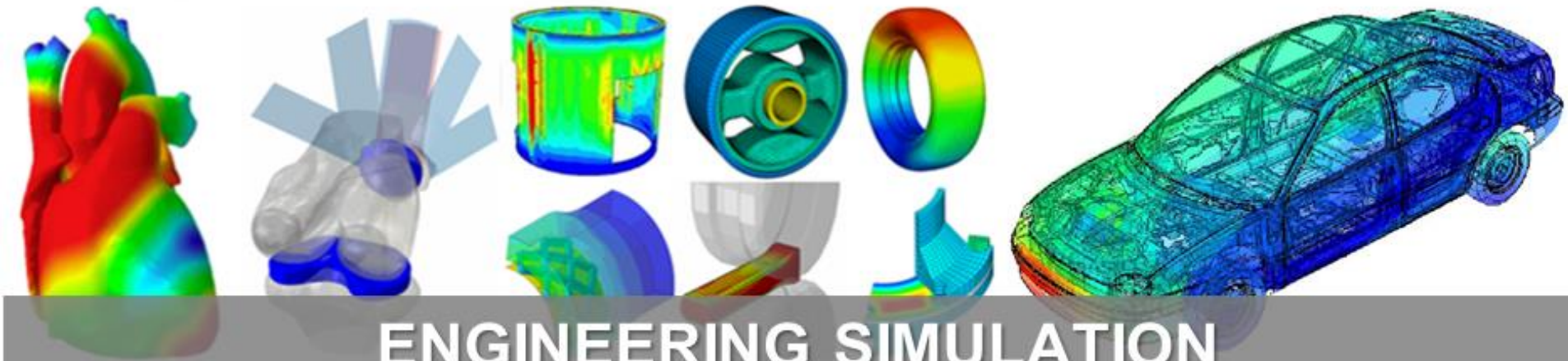
❖ Architectural

- Soil mechanics
- Rock mechanics
- Hydraulics
- Fracture mechanics

❖ Aerospace industry

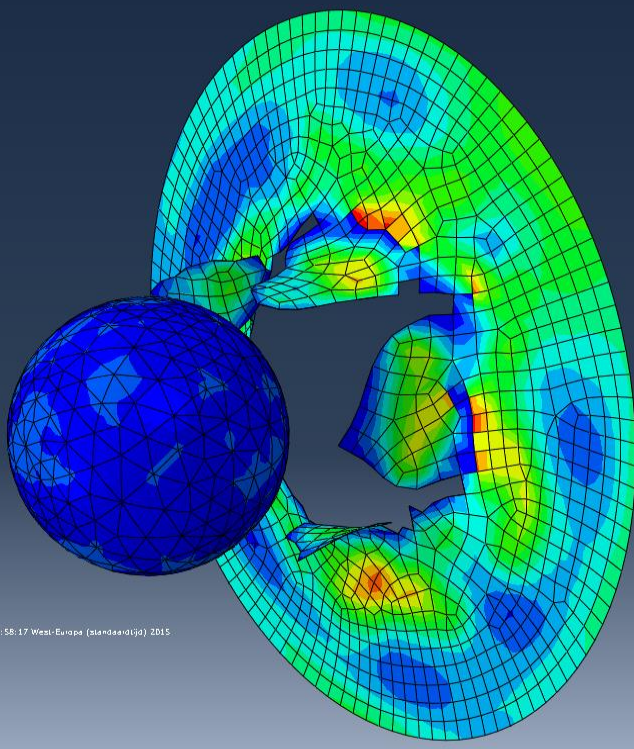
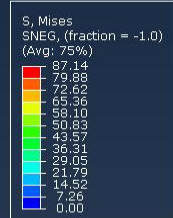
- Static analyses
- Modal analyses
- Aerodynamics
- Transient dynamics
- Heat transfer
- Fracture mechanics
- Creep and plasticity analyses
- Composite materials
- Aeroelasticity
- Metal forming
- Crashworthiness

ABAQUS



ENGINEERING SIMULATION
INNOVATION POWERED PRODUCT DEVELOPMENT

- Session Data
- Output Databases (1)
- Model Database (1)
- Spectrums (7)
- XYPlots
- XYData
- Paths
- Display Groups (1)
- Free Body Cuts
- Streams
- Movies
- Images



ODB: Ball_plate_impact.odb Abaqus/Explicit 6.14-2 Wed Mar 11 14:58:17 West-Europa (standard) 2015



Step: Impact
Increment: 26258; Step Time = 1.0000E-03
Primary Var: S, Mises
Deformed Var: U, Deformation Scale Factor: +1.00e+00
Status Var: STATUS

بخش های پردازش آباکوس

تمامی نرم افزارهای اجزای محدود تراز اول از سه بخش حیاتی تشکیل شده اند:

- بخش پیش پردازش یا مدلسازی که وظیفه آماده سازی مدل مورد نظر برای تحلیل اجزای محدود را دارد.
- بخش پردازش یا تحلیل اجزای محدود که قلب نرم افزار بوده و مجموعه حلگرهای مورد نیاز در تحلیل اجزای محدود را فراهم می آورد.
- بخش پس پردازش که وظیفه ارائه نتایج در قالب ابزارهای گرافیکی و نمودارها را داشته و خروجی مورد نیاز تحلیلگران را آماده می نماید.

نرم افزار Abaqus نیز با ارائه قابلیت های مدلسازی، تحلیل اجزای محدود و ارائه کانتورها و نمودارهای گرافیکی، مجموعه ای یکپارچه از نیازهای محققین را فراهم می آورد. بعلاوه بخش مدلسازی در نمونه های با هندسه پیچیده میتواند در نرم افزارهای CAD انجام شده و جهت تحلیل اجزای محدود به آباکوس فراخوانی شود. شرکت داسو سیستم نیز با ارائه یک بسته تحت عنوان Abaqus for CATIA، قابلیت های پردازش و پس پردازش را به نرم افزار محبوب و کاربرپسند CATIA (که خود یکی از قویترین نرم افزارهای پیش پردازش است) به ارمغان آورده است.

ویژگی های نرم افزار آباکوس

1. محیط کاربری بسیار زیبا و کاربرپسند
2. محیط مدل سازی دوبعدی و سه بعدی بسیار پیشرفته و در عین حال قابل درک
3. ارتباط جامع با نرم افزارهای طراحی تراز اول دنیا مثل کتیا (CATiA) و سالیدورکس (SOLIDWORKS)
4. کدهای حلگر قدرتمند و دقیق غیرخطی
5. قابلیت توسعه به کمک اسکریپت های پایتون (Python)، فایل متنی ورودی (.inp)
6. قابلیت ایجاد GUI
7. امکان کاربری زیربرنامه های زبان فرترن (FORTRAN)
8. قابلیت تحلیل به روش پردازش موازی
9. مقبولیت بسیار بالا در جوامع دانشگاهی

راهنمای نرم‌افزار آباکوس

محققین و کاربران آکادمیک و صنعتی همواره نیاز به دسترسی راحت به اطلاعات، فرمول بندی حل و روابط حاکم دارند. مسائل بی شماری در صنعت وجود دارد که مهندسين طراح نخستين بار با آن مواجه می شوند و به همین دلیل نیازمند راهنمایی های گسترده در مدلسازی، استفاده از حلگر و سایر موارد می باشند.

مجموعه [Abaqus Documentation](#) که شامل بانک کاملی از روش های حل، معرفی گام های تحلیل، مثال های متنوع و کاربردی و نیز تئوری ها و روابط ریاضی است، بدون شک یکی از کاملترین و بهترین مراجع راهنمای گام به گام در این نرم‌افزار است. طبقه بندی بسیار دقیق اطلاعات و مجموعه کم نظیر Help این امکان را فراهم آورده است که مبتدیان در خصوص نحوه مدلسازی، نحوه استفاده از دستورات و غیره پا به پای افراد خیره و دانشگاهی (درخصوص معادلات حاکم، فرمولبندی حل و پشت پرده نرم‌افزار) گام بردارند و نیازهای خود را مرتفع سازند.

رویه کلی حل در آباکوس

1. ترسیم هندسه دوبعدی در ماژول Sketch
2. ایجاد مدل هندسی سه بعدی با استفاده از ترسیمه مرحله قبل در ماژول Part
3. اختصاص خواص ماده و سطح مقطع در ماژول Property
4. مونتاژ مدل در ماژول Assembly
5. تنظیمات رویه آنالیز و تعیین پارامترهای خروجی در ماژول Step
6. تعریف تماس بین قطعات (در صورت وجود) در ماژول Interaction
7. اعمال بار و شرایط مرزی به قطعات در ماژول Load
8. مش بندی در ماژول Mesh
9. ایجاد یک دستور حل مسئله و ارسال آن برای تحلیل در ماژول Job
10. مشاهده نتایج آنالیز در ماژول Visualization

ترسیم هندسه مسئله در آباکوس

یکی از نقاط مثبت ABAQUS، امکان فراخوانی مدل‌های هندسی ساده و پیشرفته از نرم‌افزارهای تخصصی نظیر کتیا و سالیدورکس است که به کمک آن عملاً محدودیتی در تحلیل قطعات با هندسه‌های پیچیده و جزئیات بالا نخواهید.

1

تعریف ماده و تخصیص آن به قطعات

تعریف خواص مکانیکی، چگالی، خواص حرارتی و مغناطیسی، معیارهای آسیب و گسیختگی، تعریف پارامترهای سخت شوندگی در بارگذاری سیکلی، خواص وابسته به دما و... قابلیت برنامه‌نویسی User Material Subroutine : UMAT

2

مونتاژ و جایابی قطعات

به کمک ابزارها و قیود هندسی تعیبه شده در ماژول Assembly قادر خواهید بود تا به تعداد مورد نیاز از هر قطعه کپی کرده و آن‌ها را در موقعیت دلخواه مناسب برای تحلیل قرار دهید.

3

قلب تپنده تحلیل : انتخاب حلگر مناسب

امکانات ماژول STEP: ایجاد گام‌های آنالیز (تحلیل فرکانسی، گمانش، انتقال حرارت، شکل‌دهی، کوپل حرارتی-تنشی، تحلیل کوپل اولیری - لاگرانژی)، معین کردن خروجی‌های مورد نظر در History Output و Field Output

4

تعیین برهم‌کنش بین قطعات در حل

به کمک امکانات موجود در ماژول Interaction قادر خواهید بود به تعیین خواص برخورد، ایجاد قیود چند نقطه‌ای، اتصال دهنده‌ها، تشخیص نقاط برخورد و ... در تحلیل‌های حوزه مکانیک برخورد و مسائل تماسی بپردازید.

5

بارگذاری و اعمال شرایط مرزی و اولیه

6

مقید کردن قطعه، اعمال بارهای متمرکز و گسترده، تعریف دامنه اعمال بار، تعریف میدان دما یا تنش یا سرعت اولیه در قطعه، قابلیت Submodel، تعریف نیروی جاذبه، بارهای مغناطیسی، تعریف سرعت و فشار در تحلیل CFD.

شناخت دقیق المان‌ها، فرمول‌بندی حاکم، الگوریتم مش‌زنی

7

شناخت قواعد نامگذاری المان‌ها، شناخت المان‌ها با انتگرال‌گیری کامل و کاهش یافته، المان‌های هیبریدی، تکنیک‌های مش‌زنی، الگوریتم‌های مش‌زنی از موارد مهمی است که در ماژول Mesh قابل کنترل است.

Submit کردن حل در ماژول Job

8

در حین فرایند حل فایل‌های متنوعی ایجاد می‌شود که اطلاعات مفید و کاربردی در خصوص زمان حل، نتایج، گام‌های زمانی و ... را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. (همچون .inp، .fil، .sta، .msg، .dat، .res، .lck، .odb، .rec، .jnl، .cae، .rpy)

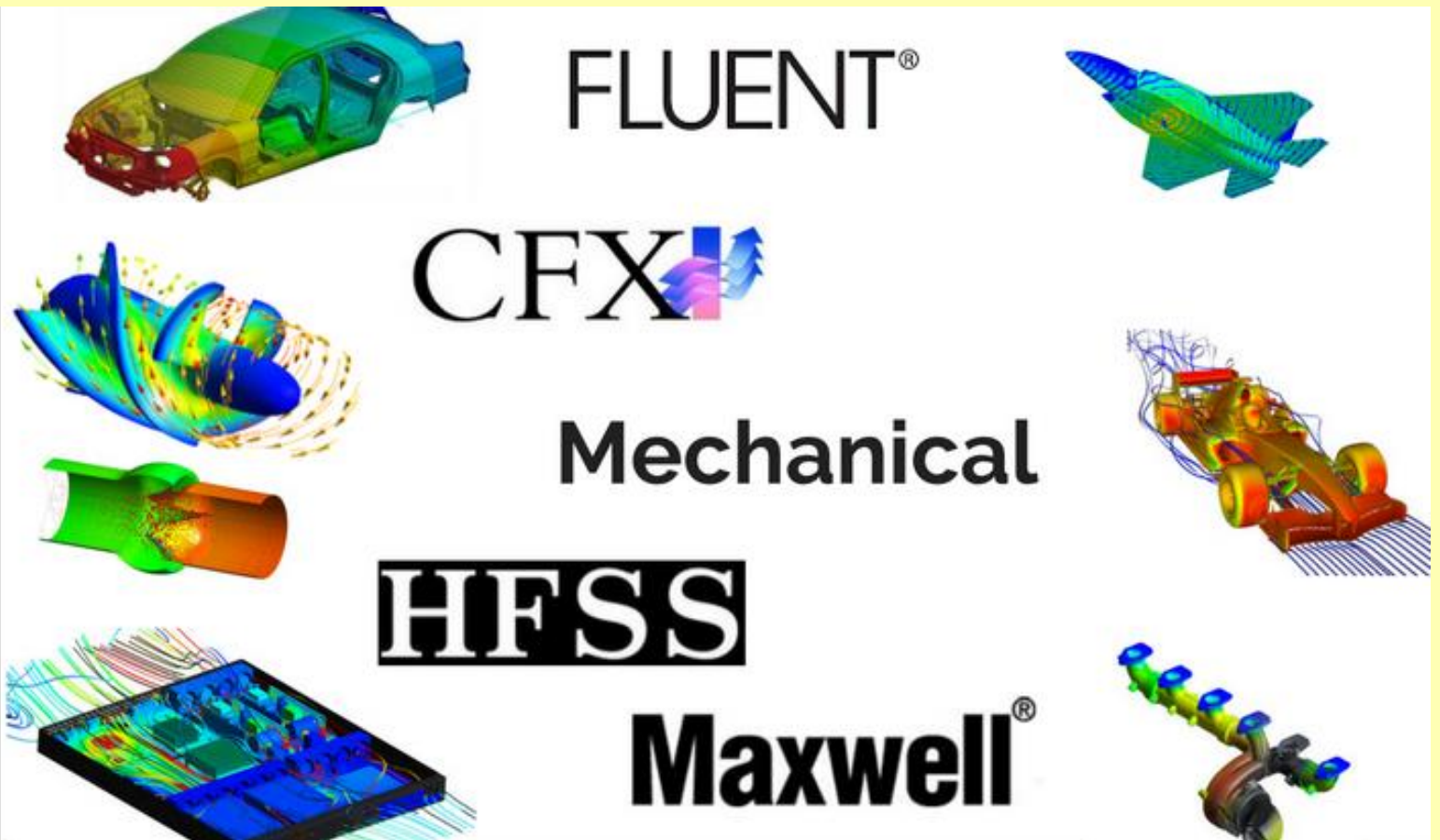
پس‌پردازش و مشاهده نتایج حل

9

پس از اتمام حل یک مسئله، می‌توانید نتایج مورد انتظار که در ماژول Step تعریف کرده‌اید را در قالب کانتورهای رنگی، فیلم و یا نمودار مشاهده کنید. همچنین می‌توانید با تعریف مسیر، مقادیر در یک مسیر خاص قرالت نمایید.

ANSYS

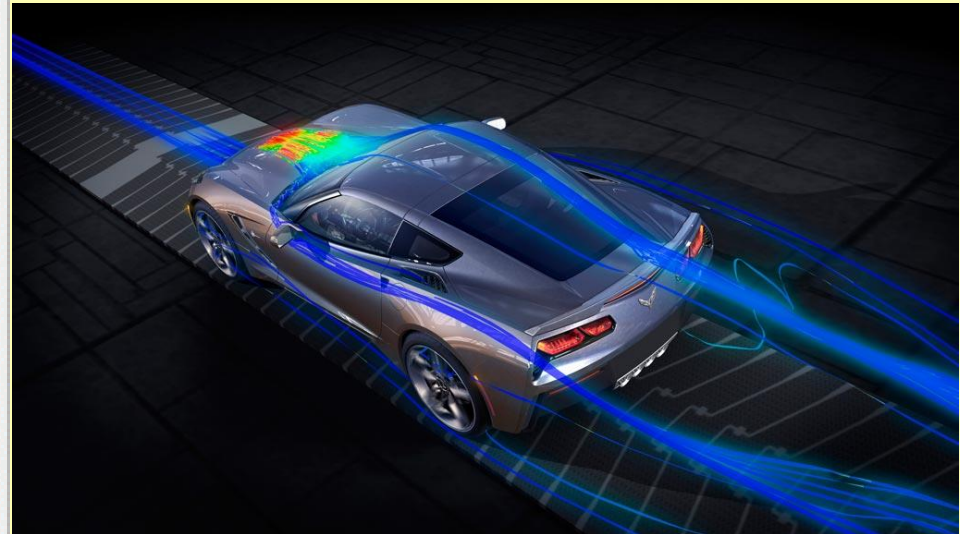
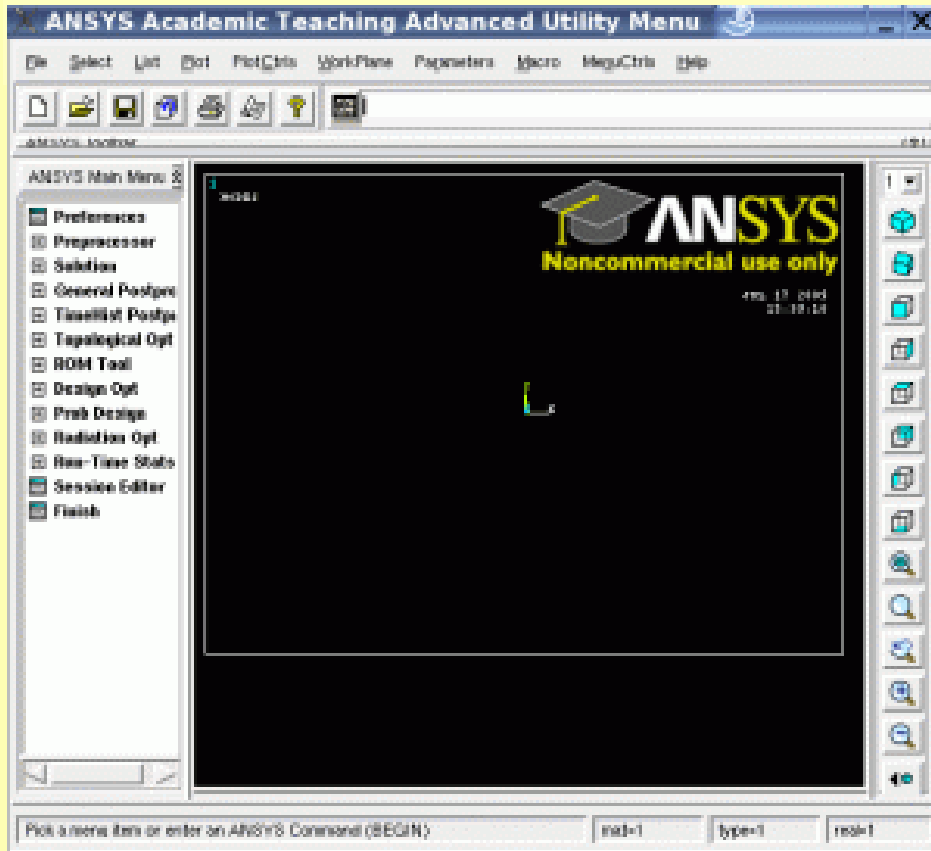
ANSYS[®]



نرم افزار انسیس ANSYS چیست؟

انسیس ANSYS یک نرم افزار مهندسی می باشد که محصول شرکت ANSYS Inc است. و از دسته ابزارهای تحلیلی است که از روش اجزاء محدود (FEM) برای مدل سازی و تحلیل در آن استفاده می شود.

نرم افزار انسیس مهندسین و طراحان را قادر می سازد تا به راحتی بهینه سازی ساختاری، حرارتی، دینامیکی، تعادل وزنی و عملکردی و همچنین شبیه سازی های مُد ارتعاشی و ضربه اطمینان و ایمنی را در طرح هایشان به صورت مرحله به مرحله اعمال کنند.



معرفی نرم افزار تحلیلی انسیس

ANSYS نرم افزار قدرتمند و شبیه ساز ساده ای می باشد که قدرت توانایی یک طراحی معتبر و استاندارد را به طراحان و مهندسين می دهد تا ایده هایشان را بر روی صفحه کامپیوترهایشان پیاده کنند.

در نرم افزار ANSYS از سیستم کارآمد و آسان اتوماسیون **پایگاه داده ها** استفاده می گردد و باعث کاربری بسیار آسان این نرم افزار گردیده که به گفته سازنده نرم افزار می تواند به قدری قدرتمند باشد که برای ۳۲ سال آینده جهت حل مشکلات طراحی موثر، مفید و قابل اعتماد واقع گردد.

با به کار بردن نرم افزار انسیس، مهندسين قادر به طراحی و تولید محصولاتی با کیفیت بهتر در زمانی کمتر خواهند بود. این نرم افزار مهندسين و طراحان را قادر می سازد تا به راحتی بهینه سازی ساختاری، حرارتی، دینامیکی، تعادل وزنی و عملکردی و همچنین شبیه سازی های مُد ارتعاشی و ضریب اطمینان و ایمنی را در طرح هایشان به صورت مرحله به مرحله اعمال کنند.

نرم افزار Design Space Ansys کاملاً بر آخرین ورژن نرم افزارهای اصلی CAD سه بعدی که شامل: **نرم افزار پرو اینجینیر Pro/ENGINEER** ، **نرم افزار سالیدورک SolidWorks** ، **نرم افزار اینونتور Autodesk Inventor** ، **نرم افزار مکانیکال دسکتاپ Mechanical Desktop** ، **نرم افزار ان ایکس NX (یونیگرافیکس Unigraphics)** ، **نرم افزار سالید اج Solid Edge** می شود منطبق است.

کاربردهای نرم افزار انسیس چیست؟

نرم افزار انسیس هم میتواند در مکانیک سیالات برای بررسی رفتار یک سیال و یا بررسی مسائل انتقال حرارت با استفاده از اجزای محدود بکار رود و هم در مکانیک جامدات با بررسی تنش ها و ارتعاشات در سازه ها و قاب ها مسائل را حل کند.

نرم افزار انسیس قابل استفاده برای دانشجویان و فارغ التحصیلان رشته مهندسی مکانیک و عمران میباشد.

نرم افزار ANSYS یک نرم افزار چند گانه است و قابلیت تحلیل مسائل گوناگون و متنوع مهندسی از قبیل حرارت ، سیالات ، مغناطیس ، الکترواستاتیک ، الکتریسیته ، سازه ، ارتعاشات ، استاتیک و ... را دارد.

ابزارهای تحلیلی در نرم افزار انسیس چیست؟

ابزارهای پیش بینی شده در انسیس امکان تحلیل انواع مختلف سازه ها مانند قاب، مخزن، سد، پل ... و اجزای سازه ای مانند اتصالات فولادی، اعضای فولادی یا بتنی، ایزولاتورها، ... را به روش های مختلف فراهم ساخته است. از آن جمله می توان به تحلیل های استاتیکی، بارگذاری رفت و برگشتی، مودال، تاریخچه زمانی، طیفی و ... اشاره کرد.

برای شبیه سازی شرایط مختلف تکیه گاهی گزینه های متعددی به صورت شتاب، جابجایی، نیرو و یا لنگر با الگوهای مختلف در دسترس هستند که به طور ثابت یا متغیر با زمان قابل استفاده اند.

همچنین مدل های رفتاری مختلفی از مصالح شکل پذیر و ترد مانند مدل های دو و چند خطی فولاد، مدل دراگر- پراگر و مدل شکست بتن در آن پیش بینی شده است که در حوزه رفتار غیر خطی بکار می روند.

ویژگی های مهم نرم افزار انسیس چیست؟

- ۱- انجام آنالیز در زمینه های گوناگون از قبیل: جامدات، سیالات، انتقال حرارت، الکترومغناطیس، الکترواستاتیک، الکترونیک و دینامیک.
- ۲- توانائی آنالیز توأمان مانند آنالیز سیالاتی - جامداتی.
- ۳- توانائی بهینه سازی مدل های طراحی شده.
- ۴- قابلیت برنامه نویسی به کمک زبان برنامه نویسی نرم افزار برای توسعه امکانات جدید.
- ۵- قابلیت تهیه گزارش و خروجی های مختلف به صورت فیلم ، عکس یا html
- ۶- توانایی تشخیص پارامترهای مختلف و بررسی میزان اهمیت هر کدام از آنها در رسیدن به جواب نهایی طراحی ها.
- ۷- امکان برقراری ارتباط با نرم افزارهای دیگر نظیر: پرو/اینجینیر، سالیدورک، اینونتور، مکانیکال دسکتاپ، یونیگرافیکس، کتیا

معرفی ماژول های نرم افزار انسیس

ماژول های نرم افزار انسیس به چهار بخش کلی تقسیم می شوند:

Electromagnetics و Systems & Multiphysics و Structural Mechanics و Fluid Dynamics

ANSYS Multiphysics -

ANSYS Mechanical -

ANSYS Structural -

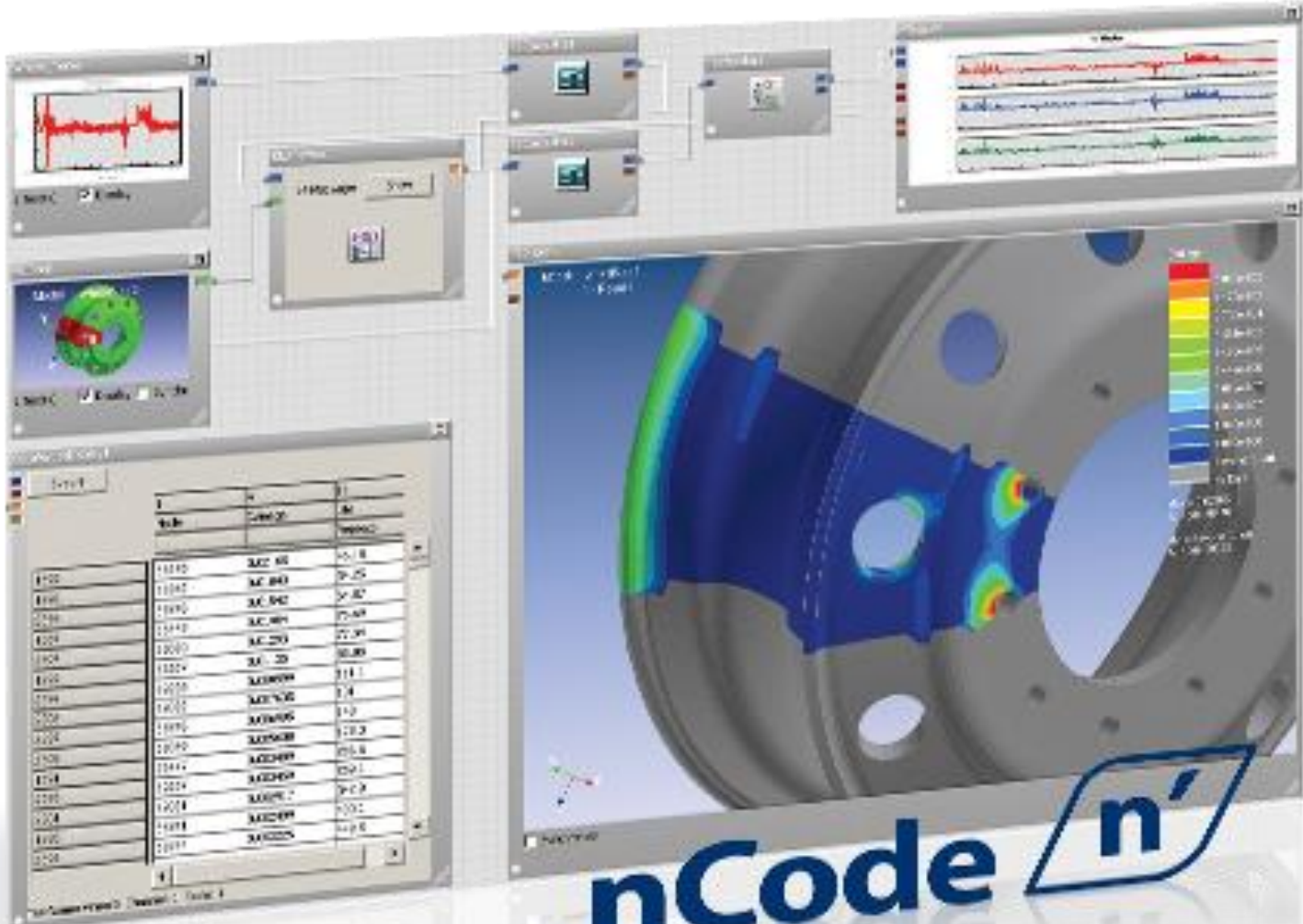
ANSYS Fluent -

ANSYS CFX -

ANSYS CFD-Flo -

ANSYS Maxwell -

ANSYS HFSS -



nCode n'

تفاوت نرم افزار انسیس و آباکوس چیست؟

مهمترین نکته ای که باید به آن توجه شود اینست که مبنای هر دو نرم افزار روش اجزاء محدود میباشد. لذا اینگونه نیست که گفته شود مثلا یک مسئله با آباکوس جواب های درست میدهد اما با انسیس جواب های غلط! به عبارت دیگر چنانچه یک مسئله را به دو اپراتور ماهر نرم افزارهای آباکوس و انسیس بدهیم تا آن را حل کنند، جواب های هر دو یکسان خواهد شد.

البته اختلاف اندکی در دقت جواب این دو نرم افزار وجود خواهد داشت که آن هم برمیگردد به الگوریتم و روش حل معادلات در این دو نرم افزار.

نرم افزار انسیس و نرم افزار آباکوس **Abaqus** به نوعی رقیب یکدیگر میباشند. لذا در هرکدام، برخی آپشنها وجود دارد که در دیگری نیست. مثلا مبحث XFEM که تئوری آن تازه در سال ۱۹۹۹ مطرح شده است، در نرم افزار آباکوس وجود داشته اما در نرم افزار انسیس وجود ندارد. و یا قابلیت تعریف مواد هوشمند - Smart Material در انسیس وجود دارد اما در آباکوس می بایست با کدنویسی آنرا تعریف کرد. البته تقریبا ۸۵% قابلیت های این دو نرم افزار یکسان است.

مهمترین مزیتی که نرم افزار آباکوس نسبت به انسیس دارد اینست که نرم افزار آباکوس بسیار کاربرپسندتر از نرم افزار انسیس میباشد. بدین معنی که روند مدلسازی یک مسئله مهندسی مشخصی که هر دو نرم افزار قابلیت تحلیل آن را داشته باشند، در آباکوس بسیار بسیار راحتتر از انسیس است.

در حال حاضر نرم افزارهای مهندسی کتیا، سالیدورکس و آباکوس متعلق به یک کمپانی می باشند. لذا ارتباط بسیار خوبی میان این سه نرم افزار مهندسی وجود دارد. شاید به همین علت است که:

نرم افزار ABAQUS را یک نرم افزار مهندسی و نرم افزار انسیس را یک نرم افزار آکادمیک و دانشگاهی می نامند. بنابراین در تحلیل مسائل صنعتی (در مقایسه با مسائل پژوهشی) نرم افزار آباکوس ترجیح داده میشود.

یکی از مزیت های نرم افزار انسیس، کاربری آسان با زبان برنامه نویسی پارامتریک آن یعنی APDL می باشد. بدین معنی که تحلیل پارامتریک مسائل به کمک این زبان بسیار راحت تر از تحلیل آنها به زبان Python در نرم افزار آباکوس می باشد.

البته ناگفته نماند که قابلیتهای تحلیل پارامتریک به زبان پایتون در آباکوس بسیار فراتر از APDL انسیس می باشد. اما کار کردن با Python آباکوس بسیار دشوارتر از APDL انسیس است.

OPENSYS



معرفی نرم افزار و توانایی های اپنسیس OpenSEES

Open System for Earthquake Engineering Simulation

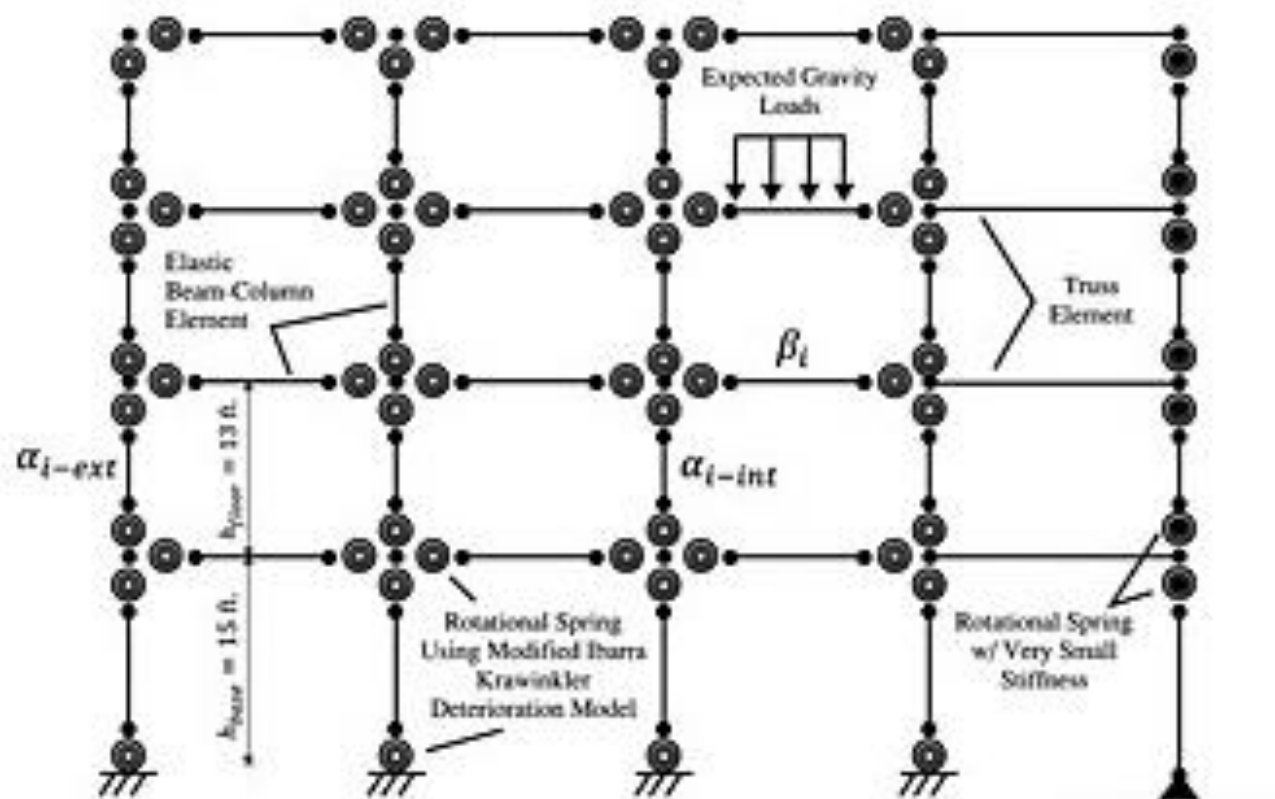
نرم افزار اپنسیس یک نرم افزار جامع تحلیل ماکرو است. این نرم افزار توسط محققین دانشگاه برکلی در سال ۱۹۹۸ بوجود آمد. نرم افزار اپنسیس یک نرم افزار رایگان و متن باز است و این بدان معنی است که هم نسخه قابل اجرا "executable" آن و هم کدهای برنامه "source" در اختیار عموم قرار دارد که پژوهشگران بتوانند تغییرات مورد نظر خود را در آن اعمال نمایند و یا قابلیت های جدید به آن بیافزایند.

این نرم افزار توانایی های مختلفی در زمینه تحلیل و بررسی انواع سازه های **Structural** و **Geotechnical** دارد و با داشتن کتابخانه قدرتمندی از رفتار مصالح به پژوهشگران ابزار لازم جهت تحقیقات را ارائه می نماید.

با وجود استفاده از زبان برنامه نویسی تیکل "tcl/tk" پژوهشگران میتوانند تمامی رفتارهای مورد نظر خود را در سازه های مورد بررسی خود شبیه سازی و اجرا نمایند.

مدل سازی سازه Structural

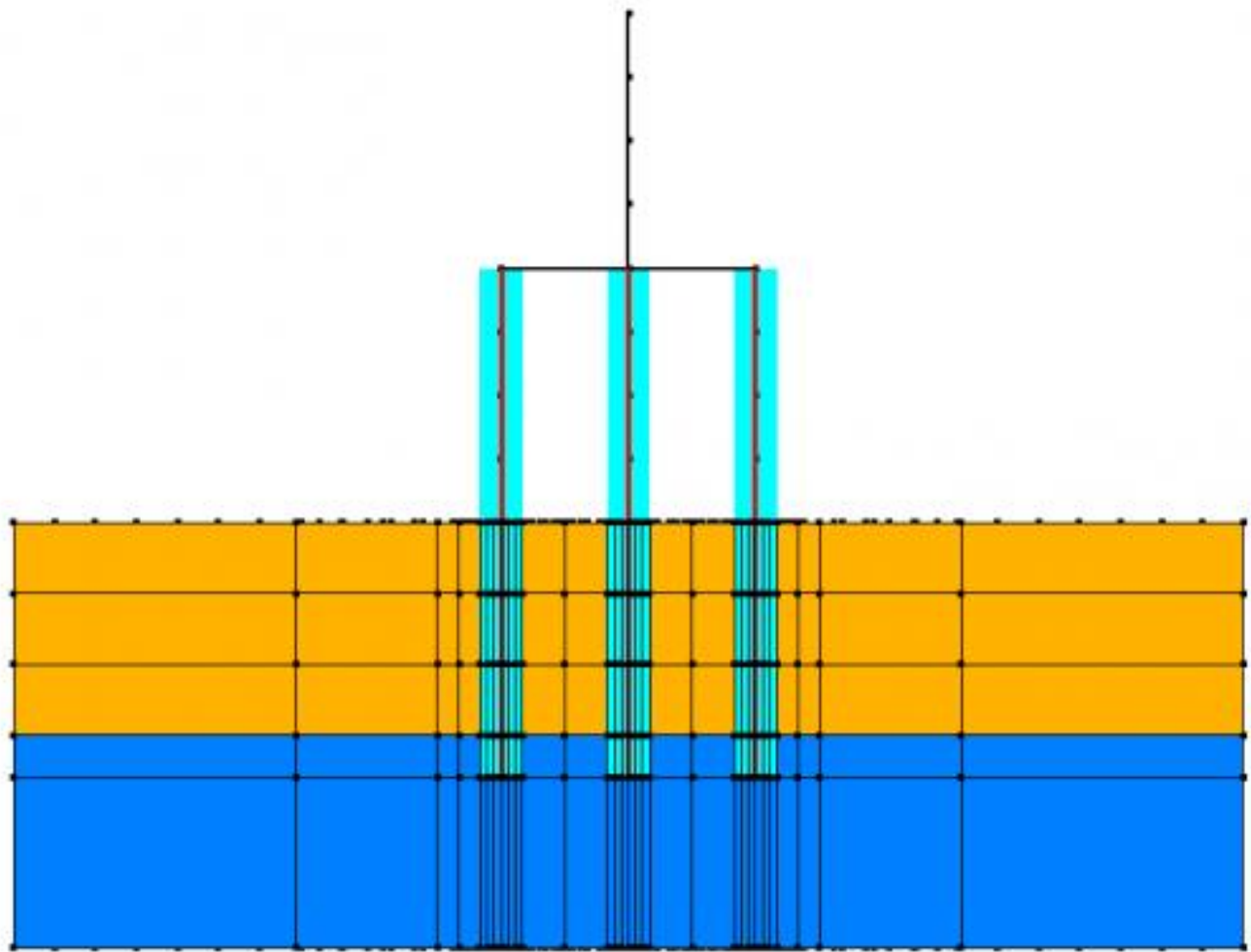
- مدل سازی انواع سازه های ساختمانی
- توانایی انجام انواع تحلیل های خطی و غیر خطی
- مدل سازی انواع مختلف رفتار مصالح
- کتابخانه قوی از المان ها و رفتارهای مصالح



(a)

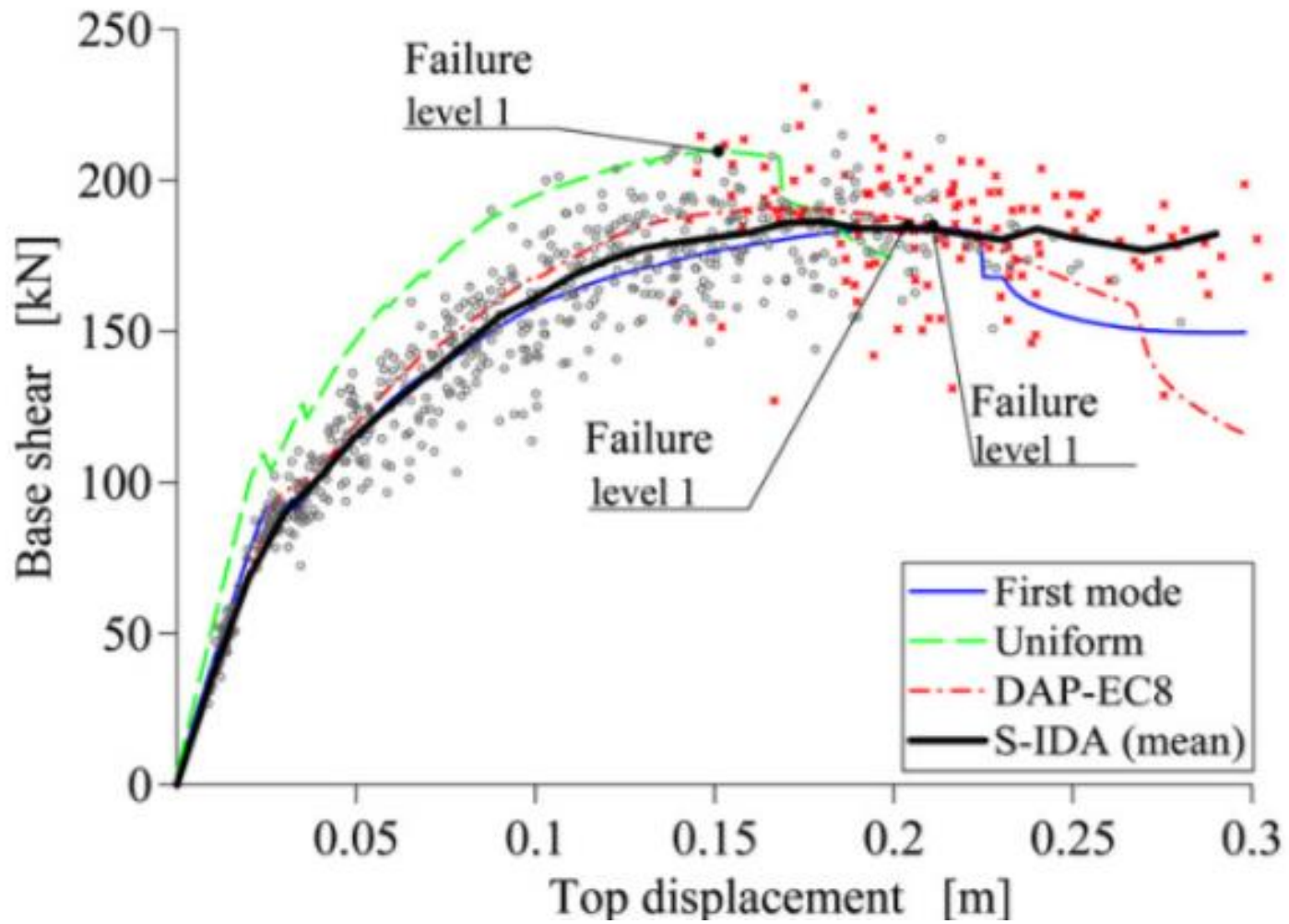
مدل سازی ژئوتکنیکی Geotechnical

- مدل سازی دو بعدی و سه بعدی خاک
- توانایی انجام انواع تحلیل های تک فاز و دوفازی محیط خاک
- مدل سازی انواع مختلف رفتار مصالح ماسه، رس ...
- کتابخانه قوی از المان ها و رفتارهای مصالح ژئوتکنیکی
- مدلسازی روانگرایی ...



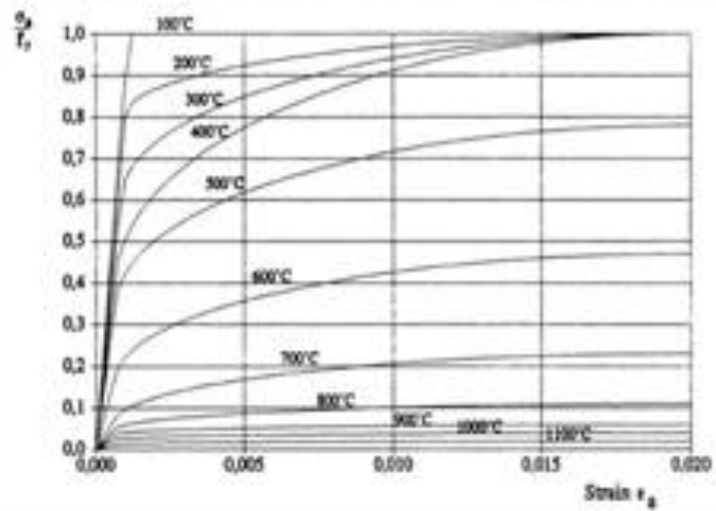
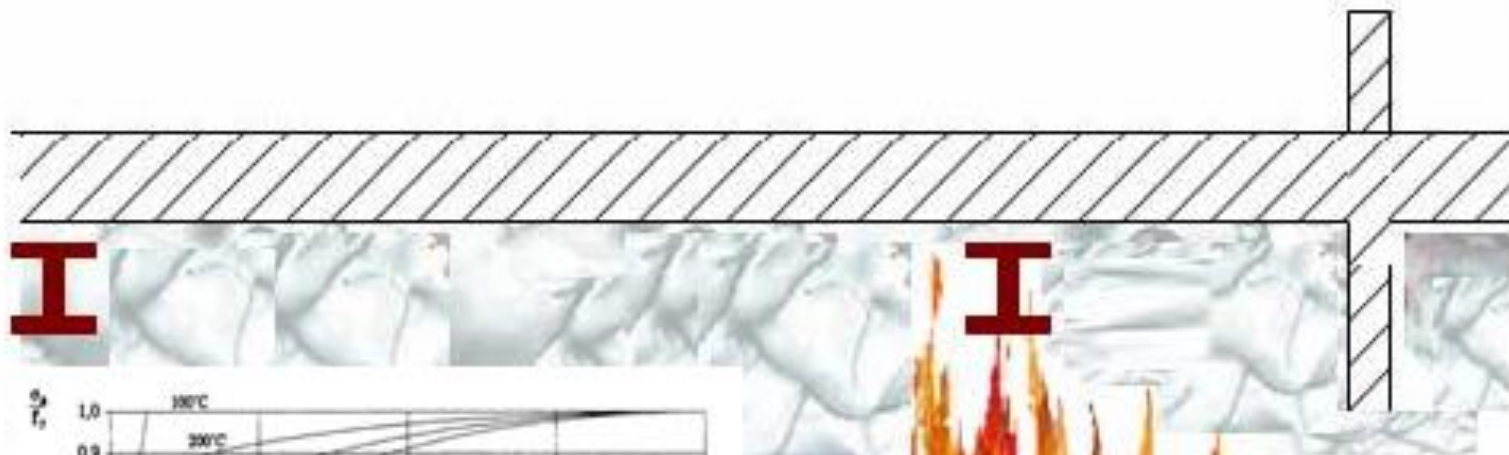
انجام تحلیل های مختلف OpenSEES

- تحلیل استاتیکی غیرخطی Pushover
- تحلیل دینامیکی فزاینده Incremental dynamic analysis یا IDA
- تحلیل های چرخه ای Cyclic
- تحلیل های چند تکیه گاهی Multiple Support Excitation
- ...



مدل سازی بارگذاری حرارتی و آتش در سازه

- مدل سازی بارهای حرارتی در سازه ها
- توانایی مدل سازی انتقال حرارت در سازه ها
- ارتقا انواع مصالح و مقاطع و توانایی ها به حالت **thermal**
- مدل سازی بسیار ساده به نسبت سایر نرم افزارها
- ...



انجام تحلیل های احتمالاتی و قابلیت اعتماد OpenSEES

- تحلیل قابلیت اعتماد Reliability Analysis

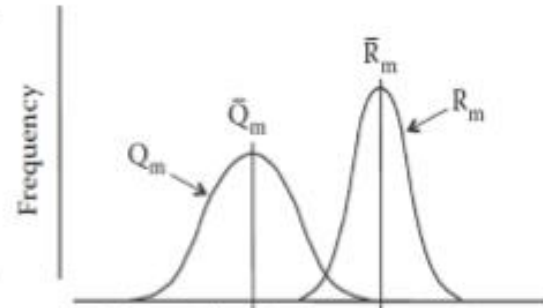
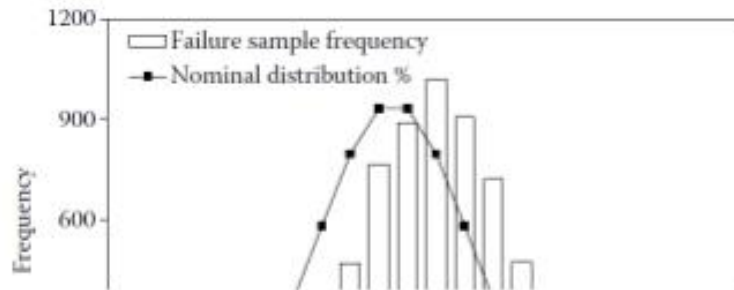
- تحلیل های مرتبه اول و ... FORM, SORM ...

- تحلیل های Monte Carlo

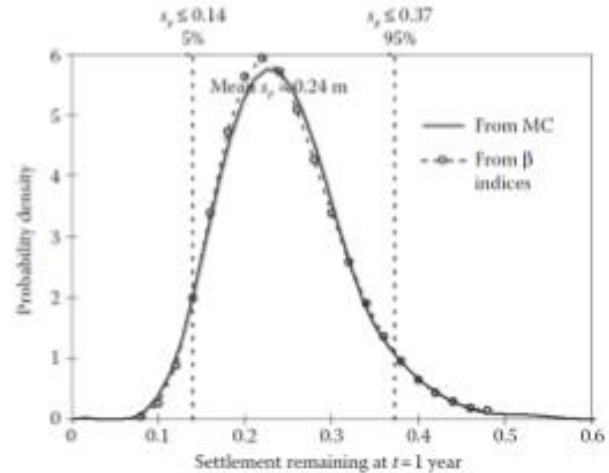
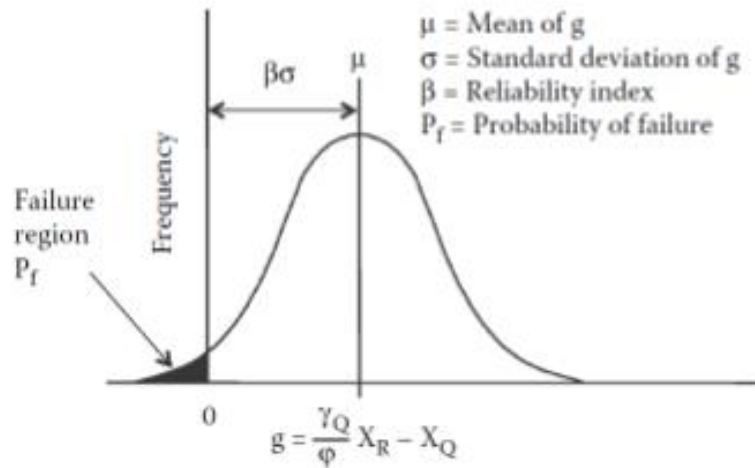
- تحلیل های حساسیت Sensitivity

- روش های Importance Sampling و ...

- ...

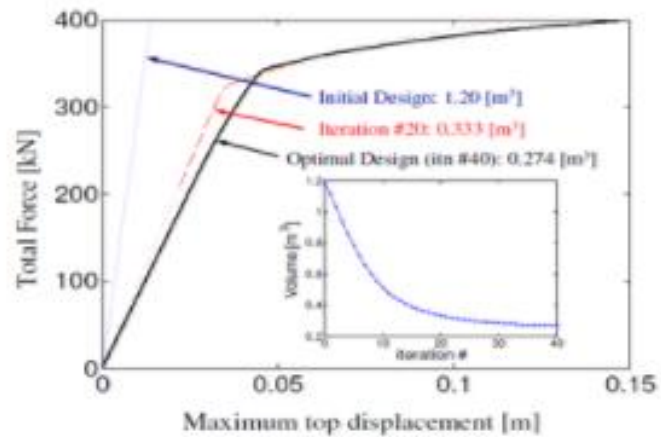
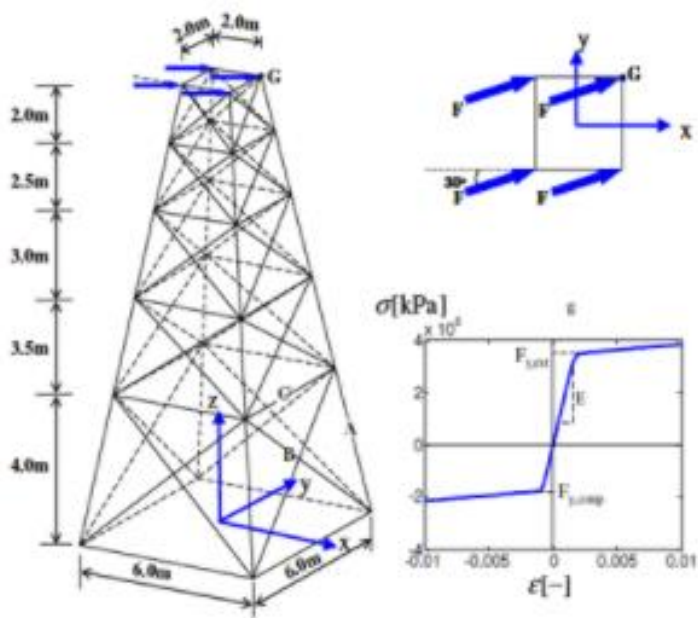


Measured load and resistance values



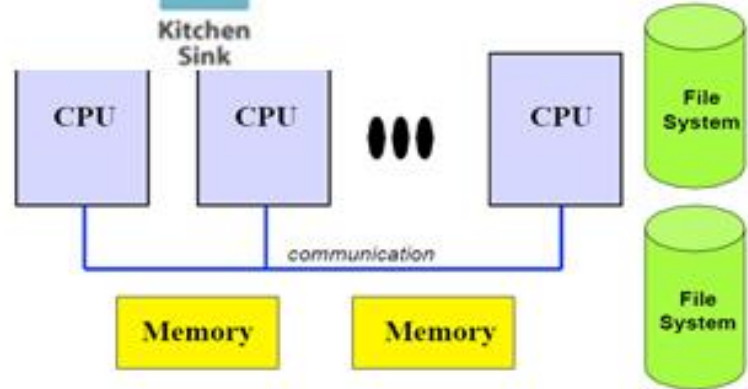
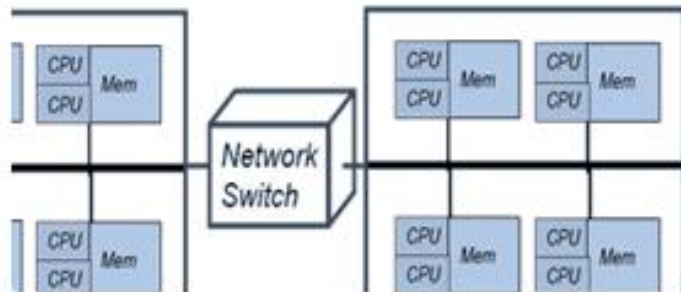
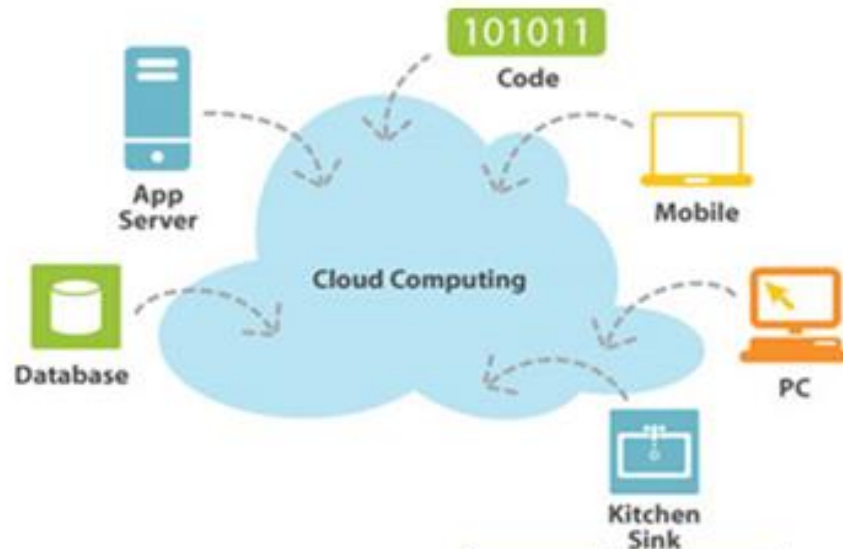
Opensees در سازه ها

- بهینه سازی ریاضی سازه ها
- توانایی بهینه سازی توابع گرادینان غیر پیوسته
- بهینه سازی بر اساس عملگر
- توانایی استفاده در ارتباط با سایر نرم افزارها جهت انجام بهینه سازی های Random Search
- Finite Element Model Updating
- کاربرد در شناسایی سیستم و خسارت
- ...



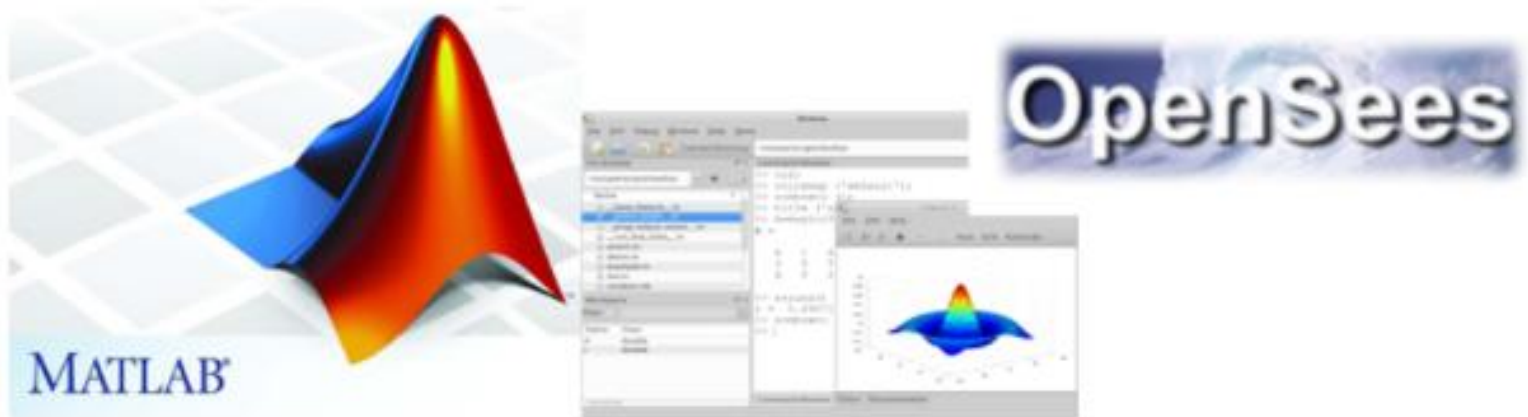
پردازش موازی OpenSEES Parallel Processing

- توانایی کار در فضاهای موازی
- افزایش توان و بهره‌وری در مدل‌سازی‌های حجیم
- کاهش زمان محاسبات در تحلیل‌های تکراری
- توانایی اجرا در سیستم‌عامل‌های مختلف
- ...



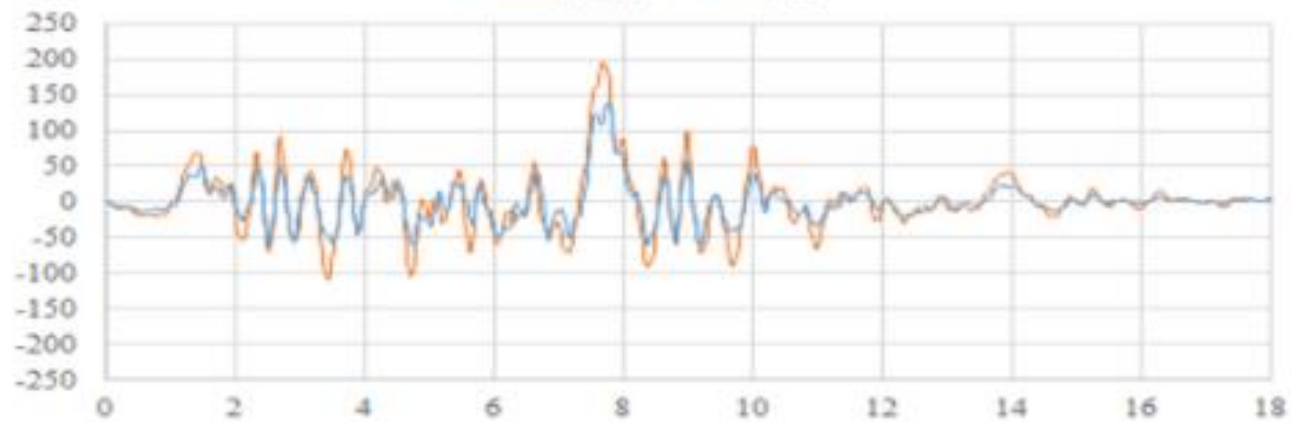
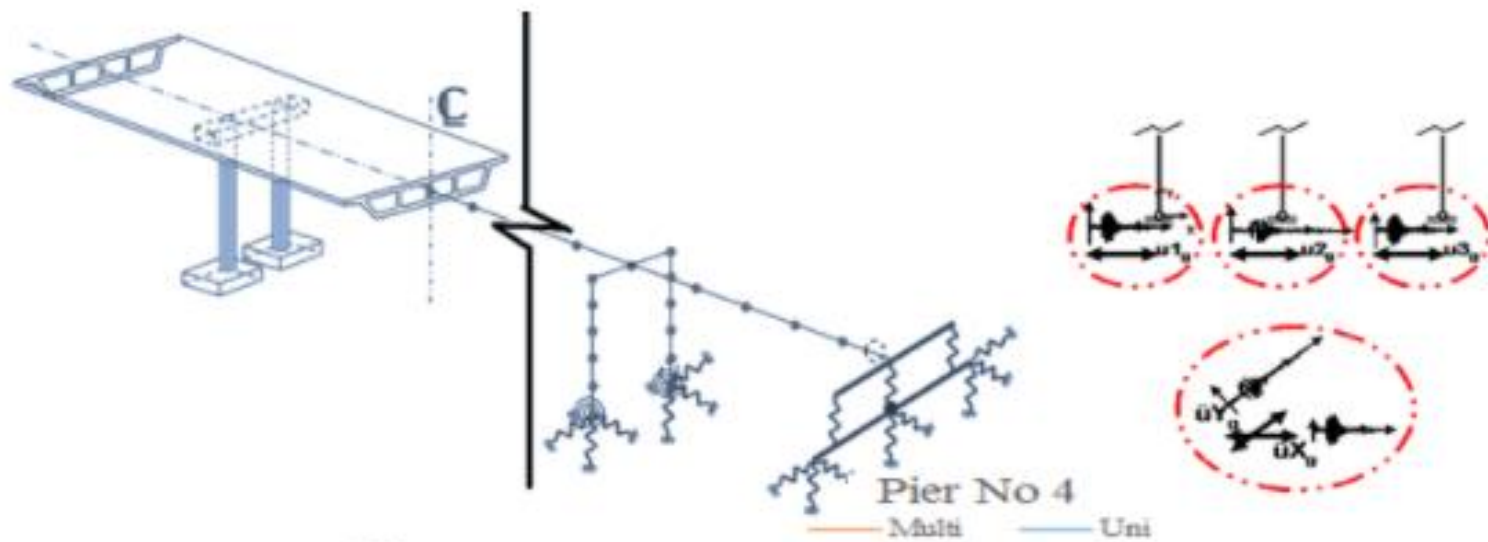
ارتباط با سایر نرم افزارها Opensees

- توانایی اجرا شدن در محیط سیستم عامل و ارتباط با سایر نرم افزارها
- ارتباط با نرم افزار **Matlab** و **Simulink** جهت انجام محاسبات
- استفاده از توانایی های سایر نرم افزارها و محیط های کدنویسی و تولبکس ها
- ...



مدلسازی و تحلیل سازه های طویل و اندرکنش OpenSEES

- مدل سازی پل و خطوط لوله
- مدلسازی رفتار تغییرات مکانی با استفاده از تحلیل چند تکیه گاهی
Multiple Support Excitation
- مدلسازی اندرکنش خاک سازه در حالت دینامیکی
Soil Structure Interaction
- ...



متن باز بودن Opensees

- متن باز بودن و توانایی افزودن قابلیت های جدید
- افزودن رفتارها و مصالح جدید با دانستن کمترین دانش از کل نرم افزار
- استفاده آزاد از کدهای نوشته شده نرم افزار در SVN
- ...

Open Source

C++ **Tcl/Tk**

Fortran **SVN**

Finite Element Trusses

3.0 Trusses Using FEA

We started this series of lectures looking at truss problems. We limited the discussion to statically determinate structures and solved for the forces in elements and reactions at supports using basic concepts from statics.

In this section, we will apply basic finite element techniques to solve general two dimensional truss problems. The technique is a little more complex than that originally used to solve truss problems, but it allows us to solve problems involving statically indeterminate structures.

3.1 Local and Global Coordinates

We start by looking at the beam or element shown in the diagram below. This element attaches to two nodes, 1 and 2. In the Figure we are showing two coordinate systems. One is a one dimensional coordinate system that aligns with the length of the element. We will call this the local coordinate system. The other is a two dimensional coordinate system that does not align with the element. We will call this the global coordinate system. The $\langle x', y' \rangle$ coordinates are the local coordinates for the element and $\langle x, y \rangle$ are the global coordinates.

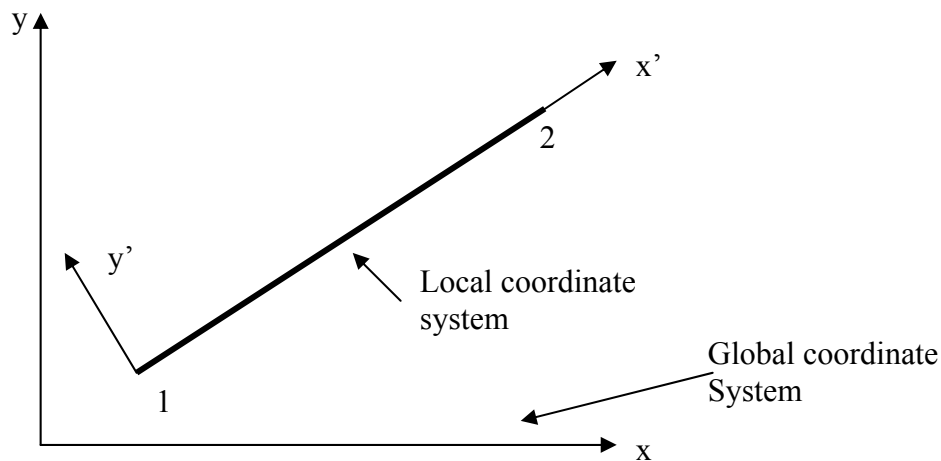


Figure 1 - Local and global coordinate systems

We can convert the displacements shown in the local coordinate system by looking at the following diagram. We will let q'_1 and q'_2 represent displacements in the local coordinate system and $q_1, q_2, q_3,$ and q_4 represent displacements in the x-y (global) coordinate system. Note that the odd subscripted displacements are in the x direction and the even ones are in the y direction as shown in the following diagram.

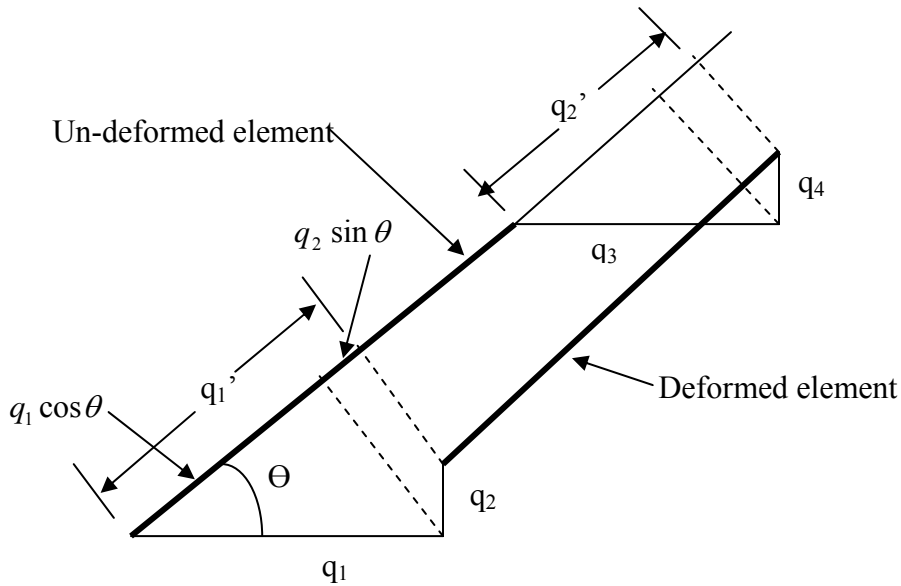


Figure 2 - The deformation of an element in both local and global coordinate systems.

We know that for small deformations in tension or compression a beam, acts like a spring. The amount of deformation is linearly proportional to the force applied to the beam. As the beam is stretched or compressed, we are added potential energy to the beam. This energy is called strain energy and it can be modeled with Hook's law. The law states that the force is directly proportional to the deformation.

$$F = k\Delta x \quad (3.1)$$

We can compute the energy by integrating over the deformation

$$u = k \int_0^Q x dx = \frac{1}{2} k Q^2 \quad (3.2)$$

where $k = \frac{AE}{L}$ the element stiffness, A = the cross sectional area of the element, E = Young's modulus for the material, and L = the length of the element. Q is the total change in length of the element. Note that we are assuming the deformation is linear over the element. All equal length segments of the element will deform the same amount. We call this a constant strain deformation of the element.

We can rewrite this change in length as

$$Q = (q_2' - q_1') \quad (3.3)$$

Substituting this into equation (3.2) gives us

$$u = \frac{1}{2} k (q_2' - q_1')^2 \quad (3.4)$$

or expanding

$$u = \frac{1}{2}k(q_2'^2 - 2q_2'q_1' + q_1'^2) \quad (3.5)$$

Rewriting this in vector form we let

$$q' = \begin{Bmatrix} q_1' \\ q_2' \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

and

$$k' = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

With this we can rewrite equation (3.5) as:

$$u = \frac{1}{2}q'^T k' q' \quad (3.8)$$

We can do the indicated operations in (3.8) to see how the vector notation works. We do this by first expanding the terms then doing the multiplication.

$$u = \frac{AE}{2L} \begin{Bmatrix} q_1' & q_2' \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1' \\ q_2' \end{Bmatrix} \quad (3.9)$$

$$u = \frac{AE}{2L} \begin{Bmatrix} q_1' - q_2' & -q_1' + q_2' \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1' \\ q_2' \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

$$u = \frac{AE}{2L} (q_1'(q_1' - q_2') + q_2'(q_2' - q_1')) \quad (3.11)$$

$$u = \frac{AE}{2L} (q_1'^2 - q_1'q_2' + q_2'^2 - q_1'q_2') \quad (3.12)$$

$$u = \frac{AE}{2L} (q_1'^2 - 2q_1'q_2' + q_2'^2) \quad (3.13)$$

Which is the same as equation (3.5).

Equation (3.7) is the stiffness matrix for a one dimensional problem.

6.2 Two Dimensional Stiffness Matrix

We know for local coordinates that

$$q' = \begin{Bmatrix} q'_1 \\ q'_2 \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

and for global coordinates (See Figure 2)

$$q = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{Bmatrix} \quad (3.14)$$

We can transform the global coordinates to local coordinates with the equations

$$q'_1 = q_1 \cos \theta + q_2 \sin \theta \quad (3.15)$$

and

$$q'_2 = q_3 \cos \theta + q_4 \sin \theta \quad (3.16)$$

This can be rewritten in vector notation as:

$$q' = Mq \quad (3.17)$$

where

$$M = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & s \end{bmatrix}, \quad (3.18)$$

$$c = \cos \theta, \text{ and } s = \sin \theta.$$

Using

$$u = \frac{1}{2} q'^T k' q' \quad (3.8)$$

we can substitute in equation (3.17)

$$u = \frac{1}{2} q^T [M^T k' M] q \quad (3.19)$$

Now we will let

$$k = M^T k' M \quad (3.20)$$

and doing the multiplication, our stiffness matrix for global two dimensional coordinates becomes

$$k = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

where:

E = Young's modulus for the element material

A = the cross sectional area of the element

L = the length of the element

$c = \cos \theta$

$s = \sin \theta$

3.3 Stress Computations

The stress can be written as

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3.22)$$

where ε is the strain, the change in length per unit of length. We can rewrite this as:

$$\sigma = E \frac{q'_2 - q'_1}{L} \quad (3.23)$$

In vector form we can write the equation as

$$\sigma = \frac{E}{L} \begin{Bmatrix} -1 & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} q'_1 \\ q'_2 \end{Bmatrix} \quad (3.24)$$

From our previous discussion, we know that in local coordinates

$$q' = \begin{Bmatrix} q'_1 \\ q'_2 \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

and in global coordinates

$$q = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{Bmatrix} \quad (3.14)$$

From equation (3.17) we know that

$$q' = Mq \quad (3.17)$$

where

$$M = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & s \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Substituting this in to the equation (3.24) yields

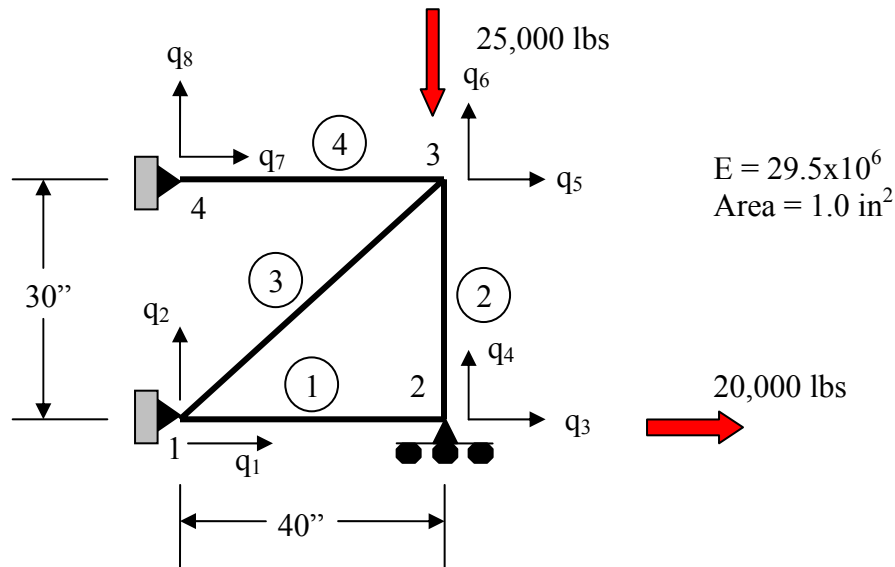
$$\sigma = \frac{E}{L} \{-1 \quad 1\} Mq \quad (3.25)$$

Now we multiply M by the vector

$$\sigma = \frac{E}{L} \{-c \quad -s \quad c \quad s\} q \quad (3.26)$$

3.4 Truss Example

We can now use the techniques we have developed to compute the stresses in a truss. Consider



Computing Displacements

There are 4 nodes and 4 elements making up the truss. We are going to do a two dimensional analysis so each node is constrained to move in only the X or Y direction. We call these directions of motion degrees of freedom or **dof** for short. There are 4 nodes and 8 degrees of freedom (two degrees of freedom for each node). We can number the degrees of freedom with the formulas:

$$\text{Vertical degree of freedom} \quad dof = 2 * node \quad (3.27)$$

$$\text{Horizontal degree of freedom} \quad dof = 2 * node - 1 \quad (3.28)$$

where *node* is the node number.

We can locate each node by its coordinates. The table below shows the coordinates of the nodes in the problem we are solving. We can use these coordinates to determine the lengths and angles of the elements.

Node	X	Y
1	0	0
2	40	0
3	40	30
4	0	30

Table 1 - Coordinates of the nodes in the truss.

Each element can be described as extending from one node to another. This also can be defined in a table below.

Element	From Node	To Node
1	1	2
2	3	2
3	1	3
4	4	3

Table 2 - The elements and the nodes they connect in the truss.

From these two tables we can derive the lengths of each element and the cosine and sine of their orientation. This is shown in the table below.

Element	Length	Cosine	Sine
1	40	1	0
2	30	0	-1
3	50	0.8	0.6
4	40	1	0

Table 3 - Elements with sines and cosines to be used in the stiffness matrix.

In the previous sections we developed the stiffness matrix for an element. This is shown in equation (3.21) below.

$$k = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

This stiffness matrix is for an element. The element attaches to two nodes and each of these nodes has two degrees of freedom. The rows and columns of the stiffness matrix correlate to those degrees of freedom.

Using the equation shown in (3.21) we can construct that stiffness matrix for element 1 defined in the table above. The stiffness matrix is:

$$k_1 = \frac{29.5 \times 10^6}{40} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \quad (3.29)$$

Global dof

Element 2

$$k_2 = \frac{29.5 \times 10^6}{30} \begin{matrix} & \begin{matrix} 5 & 6 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{matrix} & \begin{matrix} 5 \\ 6 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \end{matrix} \quad (3.30)$$

Element 3

$$k_3 = \frac{29.5 \times 10^6}{50} \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} .64 & .48 & -.64 & -.48 \\ .48 & .36 & -.48 & -.36 \\ -.64 & -.48 & .64 & .48 \\ -.48 & -.36 & .48 & .36 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \end{matrix} \quad (3.31)$$

Element 4

$$k_4 = \frac{29.5 \times 10^6}{40} \begin{matrix} & \begin{matrix} 7 & 8 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \end{matrix} \quad (3.32)$$

The next step is to add the stiffness matrices for the elements to create a matrix for the entire structure. We can facilitate this by creating a common factor for Young's modulus and the length of the elements.

For element 1, we divide the outside by 15 and multiply each element of the matrix by 15. Multiplying and dividing by the same number is the same as multiplying and dividing by 1.

$$k_1 = \frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 15 & 0 & -15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -15 & 0 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \end{matrix} \quad (3.33)$$

We multiply and divide element 2 by 20.

$$k_2 = \frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{matrix} & 5 & 6 & 3 & 4 \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & -20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -20 & 0 & 20 \end{bmatrix} & 5 \\ & 6 \\ & 3 \\ & 4 \end{matrix} \quad (3.34)$$

Multiply and divide element 3 by 12.

$$k_3 = \frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{matrix} & 1 & 2 & 5 & 6 \\ \begin{bmatrix} 7.68 & 5.76 & -7.68 & -5.76 \\ 5.76 & 4.32 & -5.76 & -4.32 \\ 7.68 & 5.76 & 7.68 & 5.76 \\ -5.76 & -4.32 & 5.76 & 4.32 \end{bmatrix} & 1 \\ & 2 \\ & 5 \\ & 6 \end{matrix} \quad (3.35)$$

We do the same for element 4 by multiplying and dividing it by 15.

$$k_4 = \frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{matrix} & 7 & 8 & 5 & 6 \\ \begin{bmatrix} 15 & 0 & -15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -15 & 0 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & 7 \\ & 8 \\ & 5 \\ & 6 \end{matrix} \quad (3.36)$$

The coefficient for each stiffness matrix is the same so we can easily add the matrices. We add the degree of freedom for each element stiffness matrix into the same degree of freedom in the structural matrix. The resulting structural stiffness matrix is shown below.

$$K = \frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \begin{bmatrix} 22.68 & 5.76 & -15.0 & 0 & -7.68 & -5.76 & 0 & 0 \\ 5.76 & 4.32 & 0 & 0 & -5.76 & -4.32 & 0 & 0 \\ -15.0 & 0 & 15.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20.0 & 0 & -20.0 & 0 & 0 \\ -7.68 & -5.76 & 0 & 0 & 22.68 & 5.76 & -15 & 0 \\ -5.76 & 4.32 & 0 & -20.0 & 5.76 & 24.32 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -15.0 & 0 & 15.0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & 1 \\ & 2 \\ & 3 \\ & 4 \\ & 5 \\ & 6 \\ & 7 \\ & 8 \end{matrix} \quad (3.37)$$

Remembering our basic equation

$$KQ = F \quad (3.38)$$

where K is the structural or global stiffness matrix, Q is the displacement of each node, and F is the external force matrix. This results in

$$\frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{bmatrix} 22.68 & 5.76 & -15.0 & 0 & -7.68 & -5.76 & 0 & 0 \\ 5.76 & 4.32 & 0 & 0 & -5.76 & -4.32 & 0 & 0 \\ -15.0 & 0 & 15.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20.0 & 0 & -20.0 & 0 & 0 \\ -7.68 & -5.76 & 0 & 0 & 22.68 & 5.76 & -15 & 0 \\ -5.76 & 4.32 & 0 & -20.0 & 5.76 & 24.32 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -15.0 & 0 & 15.0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \\ q_7 \\ q_8 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 20,000 \\ 0 \\ 0 \\ -25,000 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.39)$$

We have boundary conditions at the fixed supports. Our assumption is that these joints will not move in the constrained direction. We remove these from our matrix. The constrained displacements are dof 1, 2, 4, 7, and 8. The lines in equation (3.40) show the rows and columns that are removed.

$$\frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{bmatrix} \cancel{22.68} & \cancel{5.76} & -15.0 & \cancel{0} & \cancel{-7.68} & \cancel{-5.76} & \cancel{0} & \cancel{0} \\ \cancel{5.76} & \cancel{4.32} & 0 & \cancel{0} & \cancel{5.76} & \cancel{4.32} & \cancel{0} & \cancel{0} \\ -15.0 & 0 & 15.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cancel{0} & \cancel{0} & 0 & \cancel{20.0} & \cancel{0} & \cancel{20.0} & \cancel{0} & \cancel{0} \\ -7.68 & -5.76 & 0 & 0 & 22.68 & 5.76 & -15 & 0 \\ -5.76 & 4.32 & 0 & -20.0 & 5.76 & 24.32 & 0 & 0 \\ \cancel{0} & \cancel{0} & 0 & \cancel{0} & \cancel{-15.0} & \cancel{0} & \cancel{15.0} & \cancel{0} \\ \cancel{0} & \cancel{0} & 0 & \cancel{0} & \cancel{0} & \cancel{0} & \cancel{0} & \cancel{0} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \cancel{q_1} \\ \cancel{q_2} \\ q_3 \\ \cancel{q_4} \\ q_5 \\ q_6 \\ \cancel{q_7} \\ \cancel{q_8} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cancel{0} \\ \cancel{0} \\ 20,000 \\ \cancel{0} \\ 0 \\ -25,000 \\ \cancel{0} \\ \cancel{0} \end{Bmatrix} \quad (3.40)$$

The resulting matrix is:

$$\frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{bmatrix} 15 & 0 & 0 \\ 0 & 22.68 & 5.76 \\ 0 & 5.76 & 24.32 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_3 \\ q_5 \\ q_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 20,000 \\ 0 \\ -25,000 \end{Bmatrix} \quad (3.41)$$

We can use Gaussian elimination or any number of other solution techniques to solve the system of equations shown above. Doing so yields

$$\begin{Bmatrix} q_3 \\ q_5 \\ q_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 27.12 \times 10^{-3} \\ 5.65 \times 10^{-3} \\ -22.25 \times 10^{-3} \end{Bmatrix} \quad \text{inches} \quad (3.42)$$

Computing Stresses

Previously we showed that

$$\sigma = \frac{E}{L} \{-c \quad -s \quad c \quad s\}q \quad (3.26)$$

We use this equation to compute the stress in each element.

$$\sigma_1 = \frac{29.5 \times 10^6}{40} \{-1 \quad 0 \quad 1 \quad 0\} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 27.12 \times 10^{-3} \\ 0 \end{Bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \quad \leftarrow \text{dof} \quad (3.43)$$

or

$$\sigma_1 = 20,000 \text{ psi} \quad (3.44)$$

$$\sigma_2 = \frac{29.5 \times 10^6}{30} \{0 \quad 1 \quad 0 \quad -1\} \begin{Bmatrix} 5.65 \times 10^{-3} \\ -22.25 \times 10^{-3} \\ -27.12 \times 10^{-3} \\ 0 \end{Bmatrix} \begin{matrix} 5 \\ 6 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \quad (3.45)$$

$$\sigma_2 = -21,875 \text{ psi} \quad (3.46)$$

Using a similar technique we get

$$\sigma_3 = -5,208 \text{ psi} \quad (3.47)$$

and

$$\sigma_4 = 4,167 \text{ psi} \quad (3.48)$$

Computing the Reactions

The last step is to compute the support reactions. We need to determine the reaction forces along dof 1, 2, 3, 7, and 8 which correspond to the fixed supports. These are obtained by substituting Q into the original finite element equation.

$$R = KQ - F \quad (3.48)$$

We only need to use those rows of the structural stiffness matrix that correspond to the fixed supports. At these supports, we are not supplying an external force so $F=0$. Our equation becomes

$$R = KQ \quad (3.50)$$

or

$$\begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_4 \\ R_7 \\ R_8 \end{Bmatrix} = \frac{29.5 \times 10^6}{600} \begin{bmatrix} 22.68 & 5.76 & -15.0 & 0 & -7.68 & -5.76 & 0 & 0 \\ 5.76 & 4.32 & 0 & 0 & -5.76 & -4.32 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & -20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -15.0 & 0 & 15.0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 27.12 \times 10^{-3} \\ 0 \\ 5.65 \times 10^{-3} \\ -22.25 \times 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.51)$$

We multiply the stiffness matrix K and the deformation vector Q to get the reactions. They are shown in the following equation.

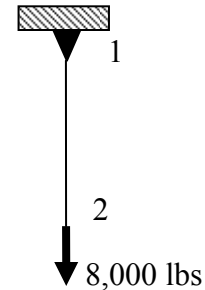
$$\begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_4 \\ R_7 \\ R_8 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -15,833.3 \\ 3,126 \\ 21,879 \\ -4,167 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.52)$$

Problems

1. Element area = 1.5 in^2 $E=30,000,000$

Element length = 5 feet

Write the stiffness matrix for the structure. The bar is vertical. Show all work.



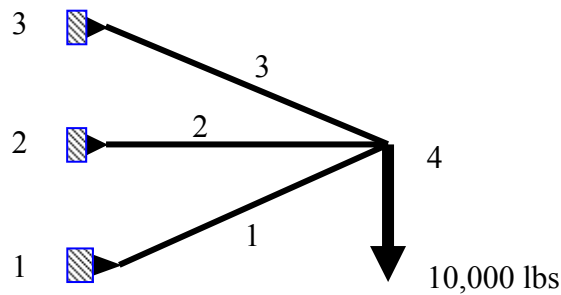
2. Using a different load, the element shown in Problem 1 deforms by 0.02 inches in length. What is the stress in the material? Use a finite element approach to solve the problem. Show all work.

3. Use a finite element approach, solve for the stress, joint displacement, and reaction force on the element shown in Problem 1. Use the 8,000 lbs force as shown in the diagram. Show all work.

4. The structure shown in the diagram results in the stiffness matrix shown in the table. Manually solve for the displacement of node 4. Show all work.

1.0e+006 *

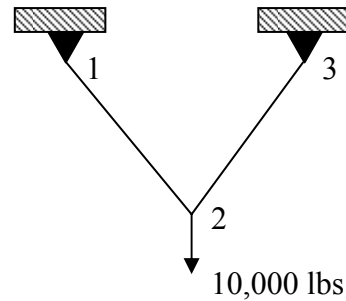
0.6293	0.4720	0	0	0	0	-0.6293	-0.4720
0.4720	0.3540	0	0	0	0	-0.4720	-0.3540
0	0	0.6146	0	0	0	-0.6146	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.6293	-0.4720	-0.6293	0.4720
0	0	0	0	-0.4720	0.3540	0.4720	-0.3540
-0.6293	-0.4720	-0.6146	0	-0.6293	0.4720	1.8733	0
-0.4720	-0.3540	0	0	0.4720	-0.3540	0	0.7080



Element	Area	E
1	2 in^2	$29.5e6$
2	1 in^2	$29.5e6$
3	2 in^2	$29.5e6$
Node	X feet	Y feet
1	0	0
2	0	3
3	0	6
4	4	3

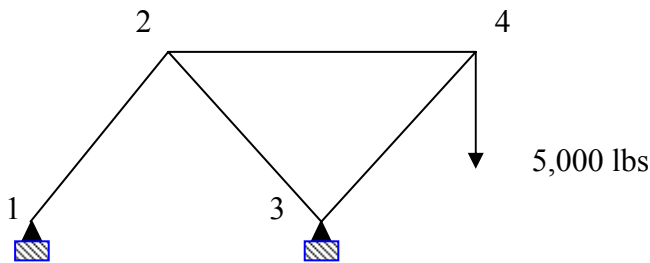
5. Element area = 1 in² Material = steel

Node	X	Y
1	0	40
2	30	0
3	60	40



- A. Find the joint displacements
 B. Find the stress in the elements
 C. Find the reactions

6. Element area = 1 in² Material = steel



Node	X	Y
1	0	0
2	4	3
3	8	0
4	12	3

Element	From Node	To Node
1	1	2
2	2	3
3	2	4
4	3	4

- D. Find the joint displacements
 E. Find the stress in the elements
 F. Find the reactions

Write a Matlab program that uses the finite element technique discussed in class to solve for the displacements, stresses, and reactions in a finite element truss. You may want to modify the static stress program you wrote earlier to create this new program. The two programs should be able to use the same input file.

Solve the problem shown above to turn in. Use both this new program and the static truss program to run the data file. Compare the results.