MSC NASTRAN'DA ÇÖZÜM DİZİLERİ (SOL)

HAZIRLAYAN
Betül ABLAY *Yapısal Analiz Mühendisi*

Yayın Tarihi: 22.01.2023

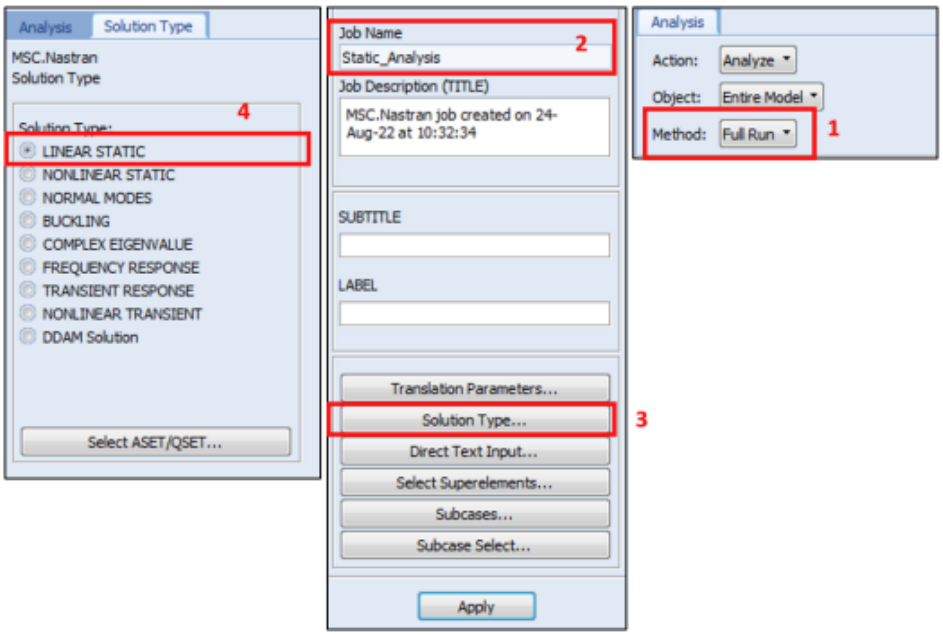
MSC Nastran, modül adı verilen çok sayıda yapı taşından oluşur. Bir modül, model geometrisini işleme, matrisleri birleştirme, kısıtlamaları uygulama, matrisleri çözme, çıktı miktarlarını hesaplama, veri tabanıyla iletişim kurma, çözümü yazdırma gibi belirli bir görevi yerine getirmek üzere tasarlanmıştır. Modüller Doğrudan Matris Soyutlama Programı (DMAP) adı verilen dahili bir dil tarafından kontrol edilir. MSC Nastran'da mevcut olan her analiz türüne çözüm dizisi (Solution Sequences) denir ve her çözüm dizisi yüzlerce veya binlerce DMAP komutunun önceden paketlenmiş bir koleksiyonudur. Bir çözüm dizisi seçildiğinde, DMAP komutlarının belirli bir seti, istenen çözümü gerçekleştirmek için gereken modüllere talimatlar gönderir. Tüm bunlar, bir çözüm dizisi seçmenin ötesinde sizin hiçbir çabanız olmadan otomatik olarak gerçekleşir. Bunlar 100 ile 200, 400, 600 ve 700 arasında değişen sayılarla adlandırılır. MSC Nastran'da mevcut olan analiz türlerini aşağıda inceleyebilirsiniz.

SOL Name	Description
SOL 101	Linear Statics
SOL 103	Normal Modes
SOL 105	Buckling
SOL 106	Nonlinear Static
SOL 107	Direct Complex Eigenvalues
SOL 108	Direct Frequency Response
SOL 109	Direct Transient Response
SOL 110	Modal Complex Eigenvalues
SOL 111	Modal Frequency Response
SOL 112	Modal Transient Response
SOL 114	Cyclic Statics with Option
SOL 115	Cyclic Normal Modes
SOL 116	Cyclic Buckling
SOL 118	Cyclic Direct Frequency Response
SOL 129	Nonlinear Transient Response
SOL 144	Static Aeroelasticity
SOL 145	Aeroelastic Flutter
SOL 146	Dynamic Aeroelasticity
SOL 153	Steady Nonlinear Heat Transfer
SOL 159	Transient Nonlinear Heat Transfer
SOL 200	Design Optimization
SOL 400	Nonlinear Static and Transient Analysis
SOL 700	Explicit Nonlinear

SOL 101 (Doğrusal Statik Analizi)

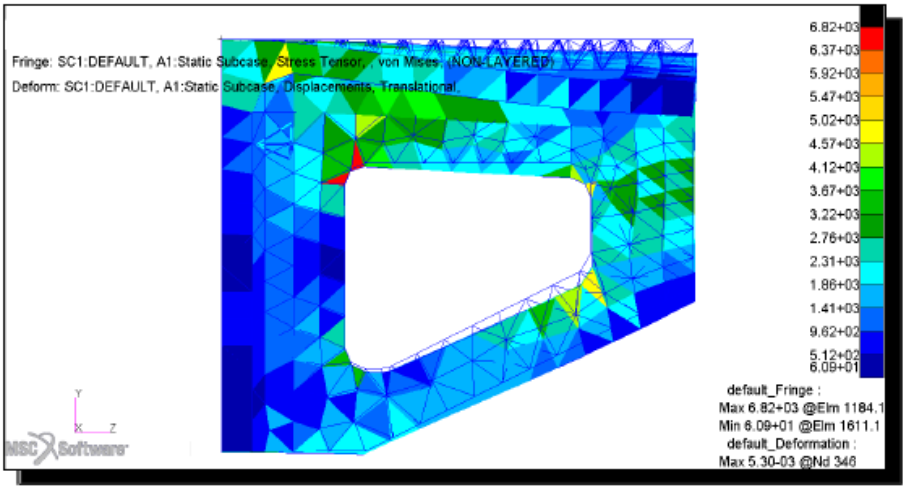
Doğrusal statik analiz, uygulanan kuvvetler ve yer değiştirmeler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu bir analizdir. Pratikte bu, gerilmelerin kullanılan malzemenin doğrusal elastik aralığında kaldığı yapısal problemler için geçerlidir. Bu durumda, yapının tepkisi (deformasyon, gerilme ve şekil değiştirme) yükün büyüklüğü (kuvvet, basınç, moment, tork, sıcaklık vb.) ile doğrusal olarak orantılıdır. Kısacası, doğrusal analiz katılık matrisindeki herhangi bir değişikliği dikkate almaz.

Patran arayüzünde "SOL 101" doğrusal statik analiz gerçekleştirilecekse, görseldeki aşamalar uygulanmalıdır.



Görsel 1 – Statik Analiz Adımları

Patran'dan Direkt Nastran'a "Run" verebilmek için "Full Run Methodu" ya da bdf çıktı alacaksanız "Analysis Deck" seçebilirsiniz. "Job Name" olarak "Static_Analysis" ismi girilmiştir. Kullanıcı isterse başka bir isim de girebilir. "Solution Type" olarak ise "LINEAR STATIC" (SOL101) seçilmiştir.

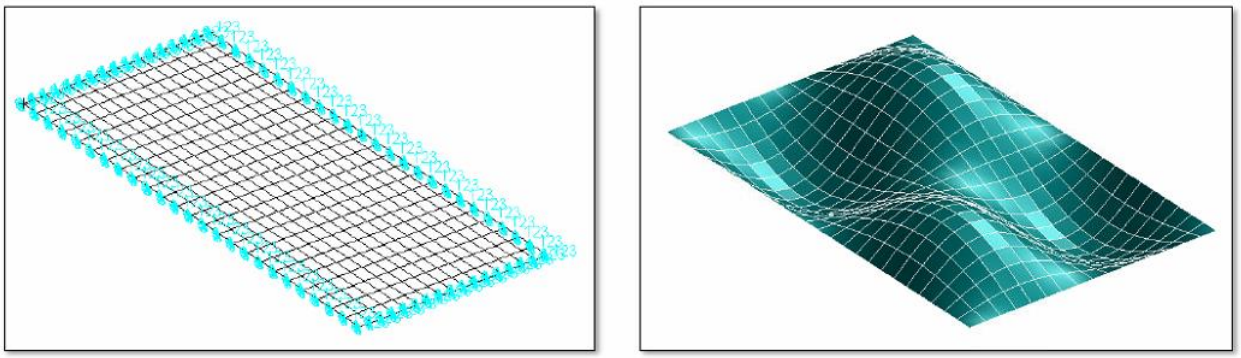


Görsel 2 – Patran Arayüzünde Destekli Braket Modelinin Statik Analiz Sonucu

SOL 103 (Modal Analiz)

Özdeğer analizi veya özdeğer çıkarımı olarak da adlandırılan Modal analiz, bir yapının sergileyeceği titreşim şekillerini ve ilgili frekansları hesaplamak için kullanılan bir tekniktir. Modal analizinin amacı, bireysel karakteristik şekilleri (normal modlar) ve bunlara karşılık gelen doğal frekansları belirlemektir.

Bu frekansları bilmek önemlidir, çünkü bu frekanslarda döngüsel yükler uygulanırsa, yapı rezonansa girerek hasara uğrayabilir. Yüklerin rezonans durumuna neden olacak noktalara uygulanmadığından emin olmak için şekillerin bilinmesi de önemlidir. Modal analiz, modal frekans cevap ve modal transient durum analizi için de gereklidir.

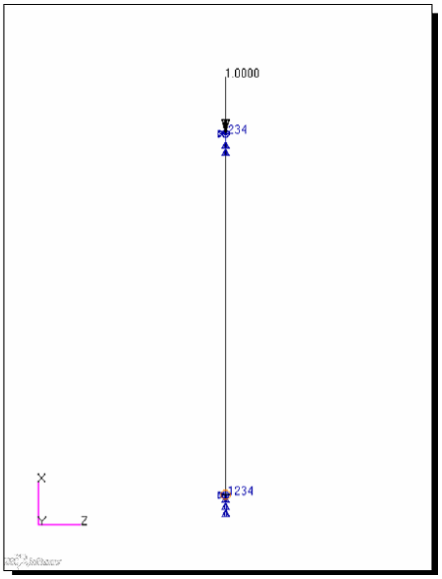


Görsel 3 – Patran Arayüzünde Pimli Dikdörtgen Plakanın Normal Modu

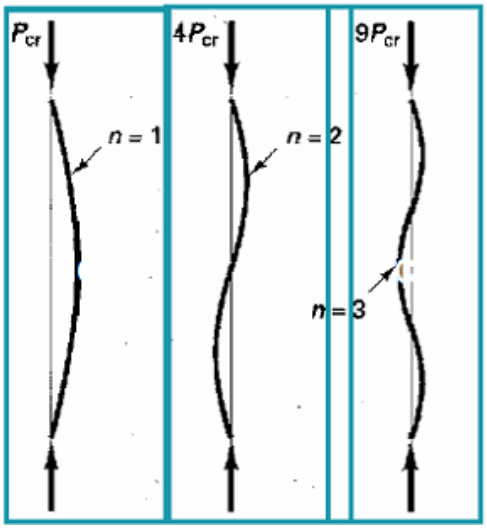
SOL 105 (Burkulma Analizi)

Ekseninden baskıya zorlanan ince bir sütunun kesitinin boyuna oranı küçük ise, bu sütunda burkulma oluşabilir. Burkulmanın meydana geldiği yük, yapının dayanımına değil, katılığına (stiffness) bağlıdır. Parçanın geometrisi hiç bir zaman ideal bir şekilde olmayacağı ve kuvvet de hiç bir zaman tam ağırlık merkezi ekseninden etkisini göstermeyeceği için, basma yükleri altında her zaman burkulma olayı oluşabilmektedir.

Basma yüklerine maruz kalan yapıların analizleri yapılarak kritik burkulma kuvvetleri ve gerilmeleri hesaplanabilmektedir. Burkulma analizi, basınçlı yükleme koşulları altında bir yapının stabilitesini değerlendirir.



n	P_{cr} (N)
1	6.5731E+05
2	2.6292E+06
3	5.9158E+06
4	1.0517E+07
5	1.6433E+07



Görsel 4 – Patran Arayüzünde İnce Kolon Burkulması

SOL 106 (Doğrusal Olmayan Statik Analizi)

Doğrusal olmayan (Nonlinear) statik analizlerde, doğrusal statik analizlerdeki gibi girdi ve çıktı arasındaki doğrusal olan bağ yoktur. Mühendislik tasarımında da bu girdi genelde yük, çıktılar ise gerilme, şekil değiştirme gibi değerler olmaktadır.

Doğrusal olmayan statik analizlerde, kuvvet arttıkça malzeme daha kolay esneyebilir veya esnemez hale gelir. Bunun anlamı Stiffness matrisi değişebilir. Bir analizde geometrik kaynaklı, malzeme kaynaklı ve kontak kaynaklı doğrusal olmama durumları ile karşılaşabiliriz. Ek olarak, SOL 106 analizlerinde yalnızca geometrik doğrusal olmama durumu incelenebilir. Tasarımlarınızı analiz ederken, yapıda eğer doğrusal olmayan bir davranış var ise Nonlinear analiz yaparak daha doğru ve hassas sonuçlar elde edilebilir.

Doğrusal bir analizde, “stepler” bağımsız bir yükleme koşulunu temsil eder. Her bir step diğerlerinden farklıdır. Doğrusal olmayan bir analizde, bir step‘in sonu bir sonraki step için başlangıç koşuludur veya başka bir deyişle, Step 2, Step 1'in devamıdır ve Step 3, Step 2'nin devamıdır. Doğrusal olmayan statik analiz, her çalışma için yalnızca bir bağımsız yükleme koşuluna (independent loading condition) izin verir. Ancak, bu yüklemenin büyüklük veya konum olarak sabit olması gerekmez. Yüklemeler stepden step’e değişebilir.

SOL 106 için gereken yakınsama kriterleri ve analiz adımı verileri NLPARM girişinde sağlanır, artımlı ve yinelemeli çözüm süreçlerini kontrol eder. Başarılı doğrusal olmayan statik çözümler için en önemli verilerin, artımlı (incremental) ve yinelemeli (iterative) çözüm süreçleri için stratejileri tanımlayan NLRPARM girişinde yer alması önemlidir. NLPARM kartı ile ilgili detayları Nastran dokümanlarından Quick Reference Guide’da inceleyebilirsiniz.

NLPARM Parameters for Nonlinear Static Analysis Control

Defines a set of parameters for nonlinear static analysis iteration strategy. NLSTEP is the preferred option for SOL 400.

Format:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NLPARM	ID	NINC	DT	KMETHOD	KSTEP	MAXITER	CONV	INTOUT	
	EPSU	EPSP	EPSW	MAXDIV	MAXQN	MAXLS	FSTRESS	LSTOL	
	MAXBIS				MAXR		RTOLB	MINITER	

Example:

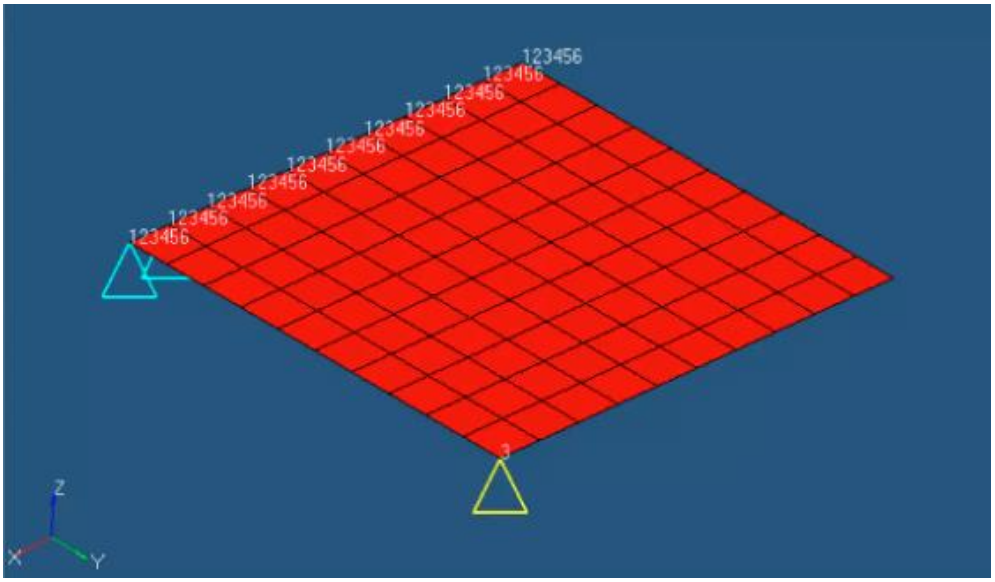
NLPARM	15	5		ITER					

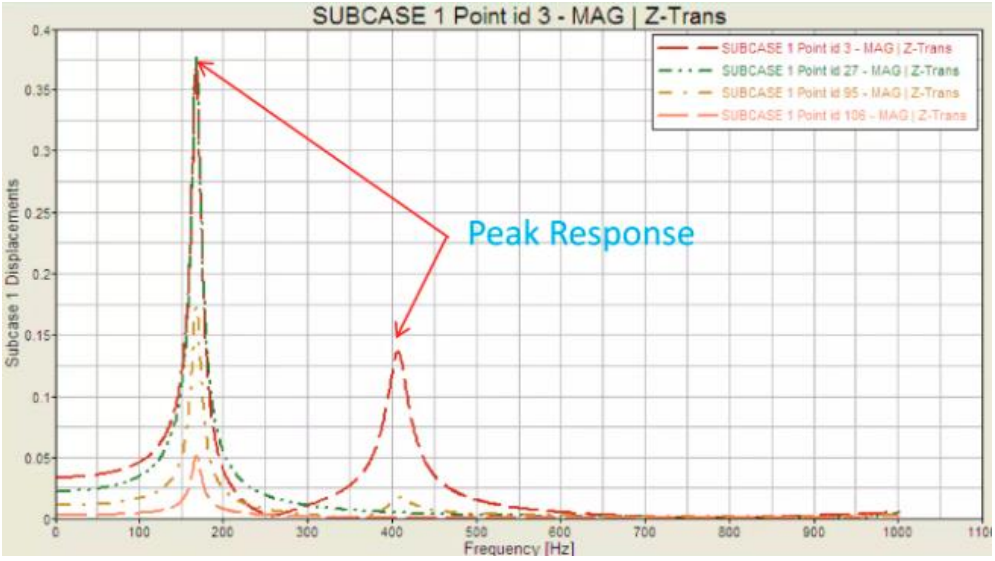
Görsel 5 – Quick Reference Guide’da NLPARM kartı

SOL 108 (Doğrudan Frekans Cevap Analizi)

Frekans Cevap Analizi, bir yapının veya sistemin frekans alanındaki dinamik davranışını değerlendirmek için Sonlu Elemanlar Analizinde (FEA) kullanılan bir tekniktir. Yapının farklı frekanslardaki harmonik uyarımlara nasıl tepki verdiğini analiz etmeyi içerir. Doğrudan ve Modal Frekans Cevap Analizi olarak iki metodu vardır.

Doğrudan Frekans Cevap Analizi, yapısal tepkinin karmaşık cebir kullanılarak bir dizi birleşik matris denkleminin çözülmesiyle ayrık uyarma frekanslarında hesaplandığı analizdir. Doğrudan yöntem, yüksek frekanslı uyarımın çok sayıda modun çıkarılmasını gerektirdiği modeller için daha verimli olabilmektedir. Doğrudan (Direct) metotta yapının hareketi global koordinat sistemine göre ölçülmektedir.





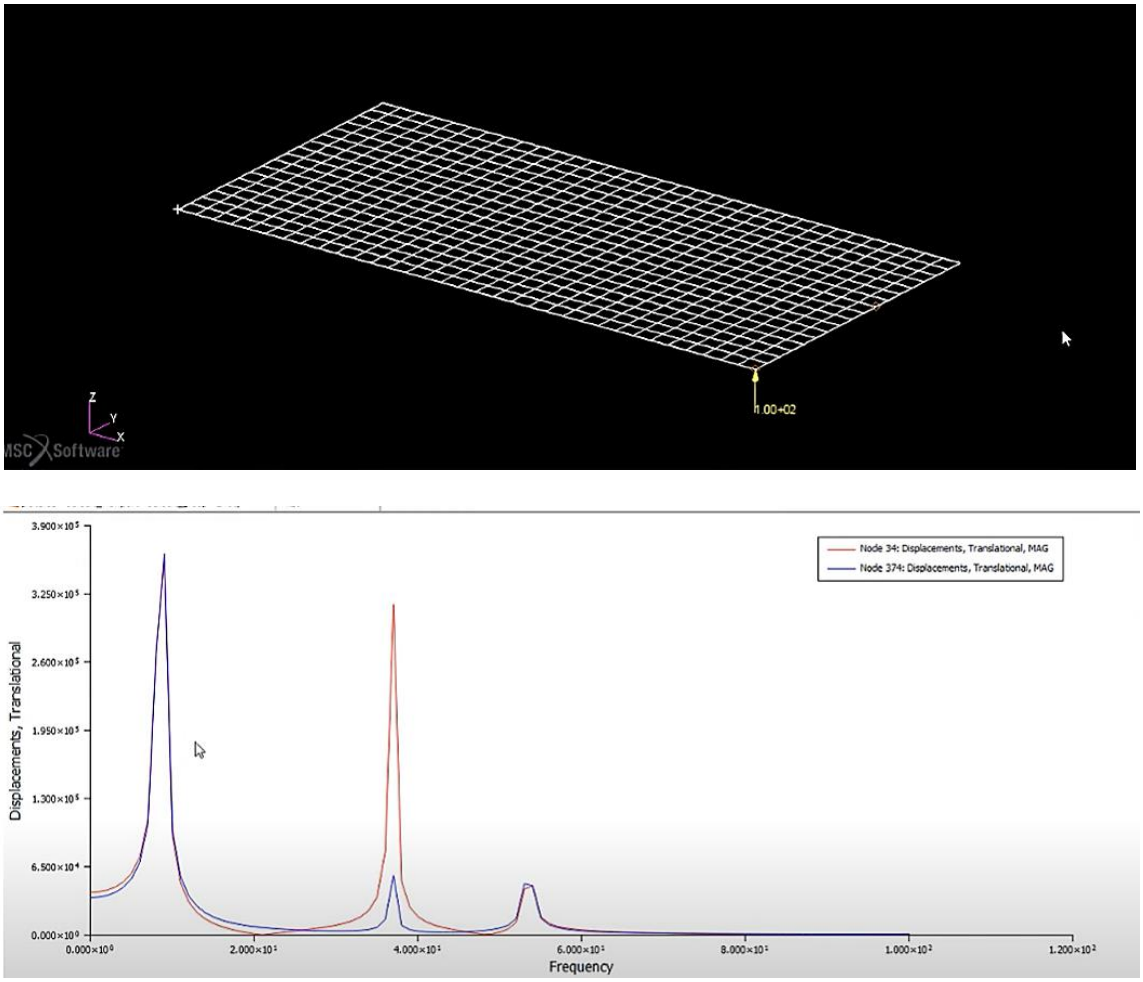
Görsel 6 – Plakanın Doğrudan Frekans Cevap Analizi (SOL 108) Deplasman – Frekans Grafiği

SOL 111 (Modal Frekans Cevap Analizi)

Modal Frekans Cevap Analizi, frekans tepkisini hesaplamak için alternatif bir yöntemdir. Bu analizde eigenvector çözülür ve her düğüm noktasına ait bir vektör çözümü elde edilir. Sonra bu vektörlerin yapının hangi yönüne doğru hareket ettiğini gösterir.

Bu yöntem, hareket denklemlerini ayırmak için yapının mod şekillerini kullanır. Bu yöntemi kullanırken yalnızca modal sönüm tanımlaması yapılmalıdır aksi takdirde direkt metot kullanılarak çözüm gerçekleştirilir. Hesaplanan ve tutulan modların sayısına bağlı olarak problem boyutu azalmış olur. Bu faktörlerin her ikisi de modal frekans cevap analizini doğrudan frekans tepkisi analizinden hesaplama açısından daha verimli hale getirme eğilimindedir. Çok sayıda çözüm frekansının belirlendiği büyük modeller için kullanılır.

Ek olarak, fiziksel serbestlik derecelerini (DOF) azaltılmış sayıda modal serbestlik derecesi ile değiştirir. Daha az serbestlik derecesi daha hızlı bir çözüm anlamına gelir. Modal frekans cevap analizi bir yapının mod şekillerini kullandığından, modal frekans cevap analizi normal mod analizinin doğal bir uzantısıdır.



Görsel 7 – Plakanın Modal Frekans Cevap Analizi (SOL 111) Deplasman – Frekans Grafiği

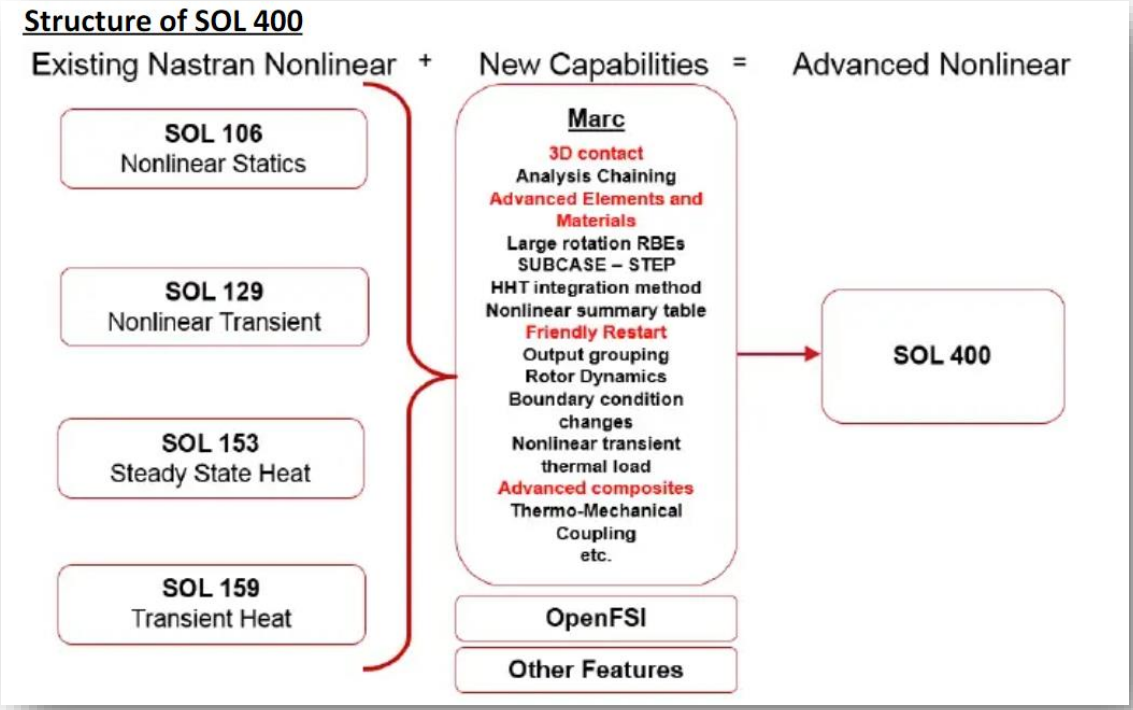
SOL 400 (İleri Seviye Doğrusal Olmayan Statik Analiz)

MSC Nastran Advanced Nonlinear (SOL 400) modülü, daha yüksek verimlilik içeren tek bir çözücünün ek avantajlarıyla birlikte, zorlu problemlerinizi ele almak için gereken örtük doğrusal olmayan yetenekleri sağlar.

Doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme (constitutive) davranışı sergileyen malzemeleri modelleyebilmek, bir yapının doğru tepkisini elde etmek için önemlidir. MSC Nastran, mühendislik yapılarınızın karmaşık davranışlarını modellemek için kullanabileceğiniz birden fazla doğrusal olmayan malzeme modeli sunar:

- Metal plastisitesi
- Doğrusal olmayan esneklik
- Hiperelastisite (kauçuk esneklik)
- Viskoelastisite

Oldukça esnek bileşenler veya çoklu bileşenlerden oluşan yapısal montajlar düşünüldüğünde, aşamalı deformasyon, kendi kendine veya bileşenden bileşene temas olasılığına yol açabilir. Bu çeşitli bileşenler arasındaki doğru etkileşimi simüle etmek, sağlam temas algoritmaları gerektirir, çünkü bu analizler hesaplama açısından yoğun olabilmektedir.



Görsel 8 – SOL 400 Kabiliyetleri

SOL 400, büyük yer değiştirme, gerinim problemlerini çözmek için kullanılır. Malzeme plastisitesini ve diğer ciddi doğrusal olmayan özellikleri işlemek için daha donanımlıdır. SOL 400, doğrudan kısıtlama algoritması aracılığıyla gerçekçi temas yaklaşımını kullanır. Bu nedenle malzeme, geometrik ve temas doğrusal olmayanlığını ele almak için daha donanımlıdır.

Ayrıyeten Nastran SOL 400, çeşitli doğrusal olmayan ve sıcaklığa bağlı özellikler de dahil olmak üzere termal problemlerinizi çözmek için eksiksiz bir dizi yetenek sağlar. Termal değişimler genellikle yapısal tepkiyi etkiler ve bunun tersi de fiziğin daha iyi anlaşılması için birleşik bir analiz gerektirir. Örneğin, fren sistemlerindeki sürtünme ısı üretir ve sıcaklık gradyanları eğrilmeye yol açabilir ve bu da istenmeyen gürültünün kaynağı olabilir. MSC Nastran SOL 400, tek bir modelde birden fazla fiziği simüle etmenize yardımcı olarak mühendislere yapısal ve termal yüklerin etkileşimini aynı anda simüle etme yeteneği verir.

REFERANS

I. PATRAN 2022.4

II. MSC Nastran 2022.4 Reference Guide

III. NAS120 Course Notes

IV. NAS400 Course Notes