

MSC NASTRAN İLE ÖN GERİLMELİ MODAL ANALİZ

HAZIRLAYAN
Enes AKKUŞ YAPISAL ANALİZ MÜHENDİSİ

Yayın Tarihi: 05.09.2022

Kompleks yükleme koşulları MSC Nastran içerisinde modellenirken ön gerilmeli (preloaded) analizler gerektiren durumlarla karşılaşılabilir. Yapının dinamik davranışını temsil eden doğal frekans değerleri ve şekilleri üzerinde de ön gerilme önemli etkiye sahip olabilmektedir. Bu teknik yazıda MSC Nastran SOL103 – Normal Modes ile ön gerilmeli modal analizlerin bdf dosyası düzenlemeleri ve Patran menüleri üzerinden nasıl gerçekleştirildiği ve nelere dikkat edilmesi gerektiği incelenecektir.

Standart bir modal analiz için çözülen matris sistemi şu *Eşitlik 1-1'*de gösterilmiştir.

$$(-\omega^2[M] + [K])\{\phi\} = \{0\}$$

Eşitlik 1-1 Standart Bir Modal Analiz Matris Sistemi

Ancak Basıncılı Tanklar veya diğer yük altında çalışan yapıları düşündüğümüzde yapının katılığı ve dolayısıyla doğal frekansları bu yükten etkilenmektedir. *Şekil 1-1'*de gösterilen matris sistemdeki $[K]$ direngenlik matrisi ise yükten bağımsız olarak oluşturulmuştur ve uygulanan yükten etkilenmez. Bunu aşmak için uygulanan yükün bu direngenlik matrisine etkisi bir şekilde Matris sistemine uygulanması gereklidir. Bu durumda öncelikle Lineer Statik Analiz çözdürülerek "Differential Stiffness" $[K]_D$ matrisi elde edilerek *Şekil 1-1'*deki matris sisteminin direngenlik matrisine *Eşitlik 1-2'*deki gibi eklenir.

$$(-\omega^2[M] + ([K] + [K]_D))\{\phi\} = \{0\}$$

Eşitlik 1-2 Ön Gerilmeyi Temsil Eden Differential Stiffness Matrisi İçeren Matris Sistemi

1. MSC NASTRAN BDF İLE ÖN GERİLMELİ MODAL ANALİZ UYGULAMASI

BDF Dosya Yapısı

Bu kısımda Nastran Solution Sequence tanımlaması yapılmalıdır. Nastran'da Modal Analiz için kullanılan Solution Sequence, SOL103 ifadesi ile *Şekil 1-1*'deki gibi yapılmaktadır.

```
SOL 103
CEND
ECHO = NONE
$ Using Nastran default values for RESVEC
SUBCASE 1
$ Subcase name : Default
  SUBTITLE=Default
  SPC = 2
  LOAD = 3
  DISPLACEMENT (SORT1, REAL)=ALL
  SPCFORCES (SORT1, REAL)=ALL
  STRESS (SORT1, REAL, VONMISES, BILIN)=ALL
SUBCASE 2
$ Subcase name : Default
  SUBTITLE=Default
  METHOD = 1
  SPC = 2
  VECTOR (SORT1, REAL)=ALL
  SPCFORCES (SORT1, REAL)=ALL
  STATSUB = 1
```

Şekil 1-1 Ön Gerilmeli Modal Analiz BDF Yapısı (Bulk Data Hariç)

Case Control kısmında *Şekil 1-1*'deki gibi 2 adet Subcase tanımlaması yapılmaktadır.

Bu iki Subcase'den SUBCASE 1 ön gerilmeyi tanımlamak için Statik Subcase tanımlaması, SUBCASE 2 ise modal analizi gerçekleştirebilmek için uygulanan Modal Analiz Subcase tanımlamasıdır.

SUBCASE 1 için normal bir statik analizde olduğu gibi SPC ve LOAD Case Control kartları ile sınır koşulu ve uygulanacak yük kartlarına sırasıyla referanslanır. Yine SUBCASE 1 içerisinde ön gerilme için yapılan Linear Statik Analiz için çıktı istenilebilir. Bu örnekte, ön gerilme oluşturmak için yapılan lineer statik analiz için herhangi bir çıktı istenmemiştir. Bu nedenle sonuç dosyasında ön gerilme oluşturmak için yapılan lineer statik analiz için herhangi bir sonuç yazmayacaktır.

SUBCASE 2 için standart Modal analizinde olduğu gibi METHOD, SPC ve STATSUB kartları sırası ile EIGRL, SPCADD ve ön gerilme Subcase ID'si (Bu örnekte 1) ile referanslanır.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, kullanılan Subcase'lerdeki SPC'lerin aynı SPC olması gerekmektedir. Aynı SPC'lerin kullanılmaması durumunda matris boyutlarındaki farklılık nedeniyle hata mesajı alınır.

İlk olarak “METHOD” Kartı ile EIGRL kartı, Lanczos Methodu ile modal analiz gerçekleştirmek için referanslanır.

EIGRL	1	15	0	MASS
-------	---	----	---	------

Şekil 1-2 Örnekte Kullanılan EIGRL Kartının Yapısı

EIGRL kartı ile başlıca ilgilenilen doğal frekans aralığı veya istenilen doğal frekans sayısı belirtilebilir. Bu örnekte ilk 15 doğal frekans modunun çıkarılması istenmiştir.

“STATSUB” Kartı ise ön gerilme Subcase’inin ID’si ile aşağıdaki gibi referanslanır.

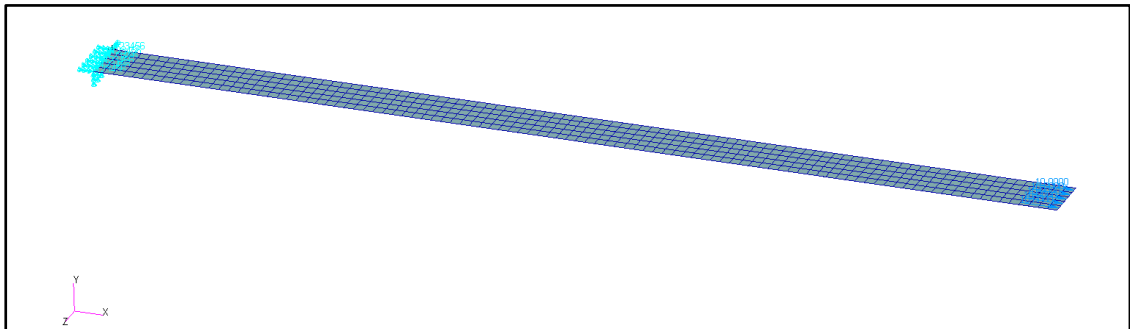
```
SUBCASE 1
$ Subcase name : Preload
  SUBTITLE=Preload
  SPC = 2
  LOAD = 1
$ Direct Text Input for this Subcase
SUBCASE 2
  SUBTITLE=Modal
  METHOD = 1
  SPC = 2
  VECTOR (PLOT, SORT1, REAL) =ALL
  SPCFORCES (PLOT, SORT1, REAL) =ALL
  STATSUB = 1
```

Şekil 1-3 Method Kartı İle Ön Gerilme Subcase'sinin Referanslanması

Not: Modelde kullanılan METHOD, EIGRL, STATSUB ve diğer kartlar ile ilgili daha detaylı bilgi “MSC Nastran Quick Reference Guide” içerisinde bulunabilir.

2. MSC PATRAN’DA ÖN GERİLMELİ MODAL ANALİZ UYGULAMASI

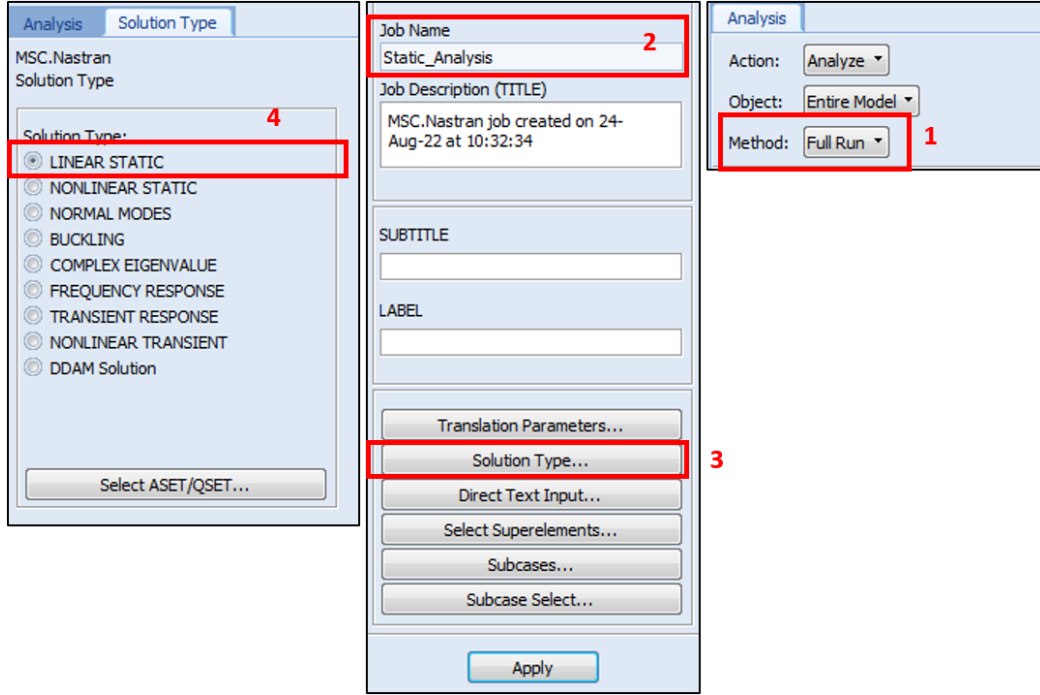
Patrandan ön gerilmeli modal analiz yapılırken şekil 2-1’deki model üzerinden uygulama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2-1 Ön Gerilmeli Modal Analiz Uygulama Modeli

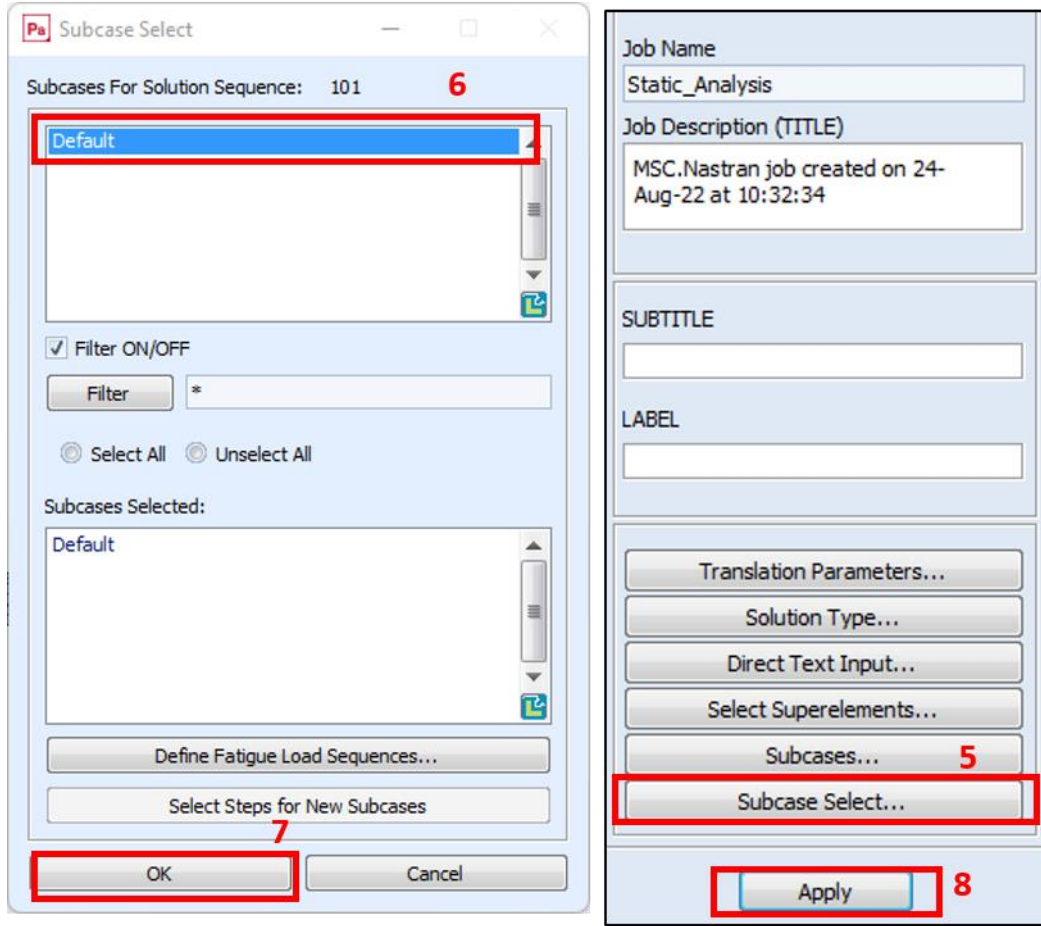
Şekil 2-1'deki modelde şerit şeklindeki 2 mm kalınlığındaki levha sol ucundan bütün dönme ve öteleme yönlerinden sabitlenip sağ ucundan toplamda 100 N +X yönünde ön gerilme verilmiştir.

Öncelikle Statik Analizin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için Şekil 2-2 ve Şekil 2-3'deki adımlar sırasıyla gerçekleştirilmelidir.



Şekil 2-2 Statik Analiz Adımları

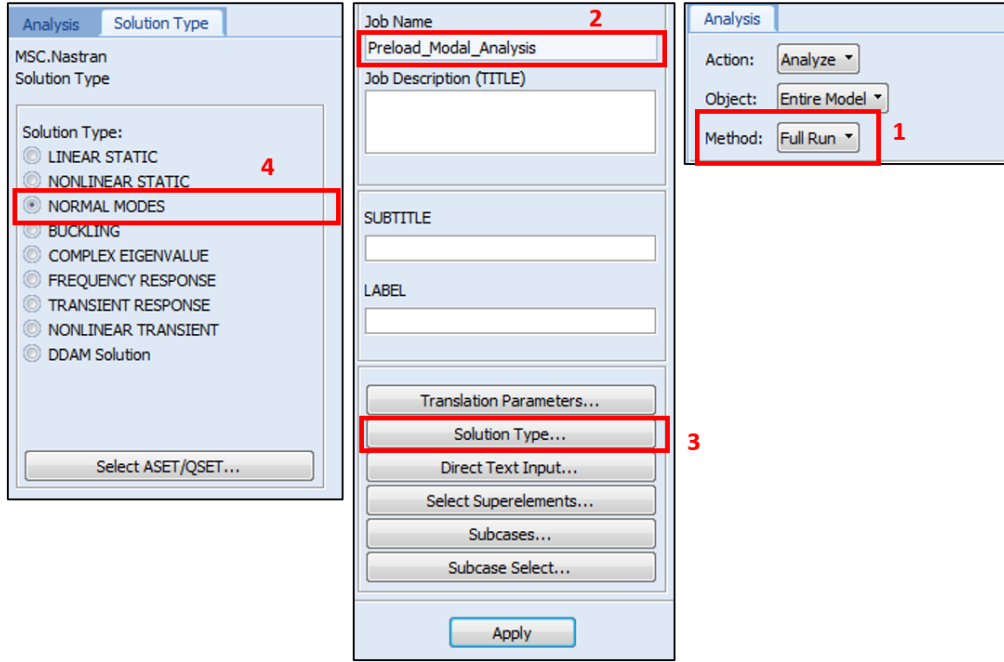
Şekil 2-2'de gösterildiği gibi Patran'dan Direkt Nastran'a Run verebilmek için Full Run Methodu seçilmiştir. Job Name olarak Static_Analysis ismi girilmiştir. Kullanıcı isterse başka bir isim de girebilir. "Solution Type" olarak ise "LINEAR STATIC" (SOL101) seçilmiştir.



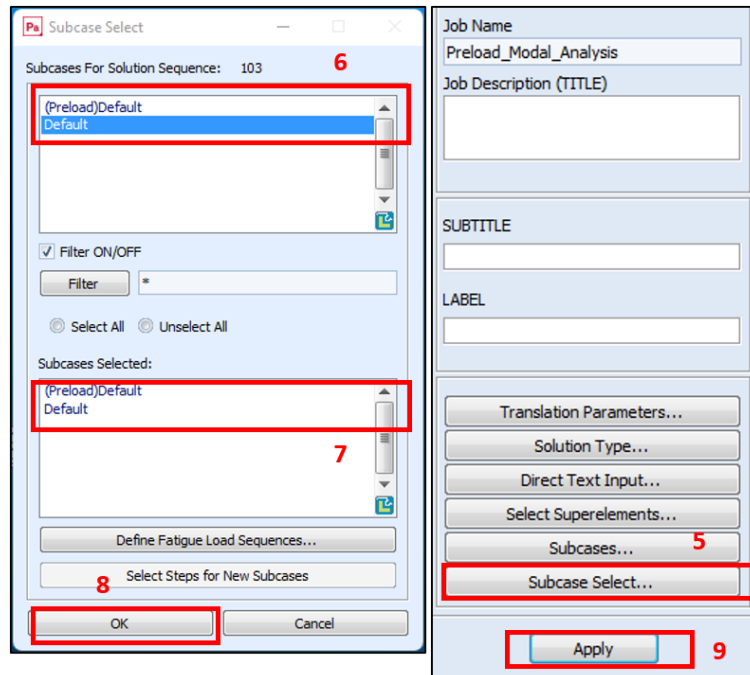
Şekil 2-3 Statik Analiz Adımları

Subcase seçimi ve analiz başlatılması Şekil 2-3’de gösterilmiştir. Subcase olarak seçilen “Default” yük koşulunun bütün yükleri ve sınır koşullarını içermesine dikkat edilmelidir.

Statik analiz bittikten sonra Şekil 2-4’de gösterildiği gibi “Job Name” değiştirildikten sonra “Solution Type” olarak “NORMAL MODES” (SOL103) seçilmiştir.



Şekil 2-4 Ön Gerilmeli Modal Analiz Adımları



Şekil 2-5 Ön Gerilmeli Modal Analiz Adımları

Şekil 2-5'deki gibi Subcase seçimi yapılırken sırasıyla "(Preload)Default" ve sonrasında "Default" Subcase'leri seçilmelidir. Bu sıralama önem arz etmektedir. "(Preload)Default Subcase"i Patran tarafından, statik çözüm adımından sonra otomatik olarak oluşturulmaktadır.

3. SONUÇ

Bu kısımda ön gerilmenin etkisi incelenecektir. Sonlu Elemanlar Modelini oluşturan şerit şeklindeki yapıyı ucundan 100N kuvvetle çekilmekteydi. Bu durumda yapının direngenliği artacağından bütün doğal frekans değerlerinde bir artış gözlemlenmesi beklenmektedir. Bunun için aynı modelin hem ön gerilmeli hem de ön gerilmemiş modal analiz sonuçları karşılaştırılacaktır.

MODE NO.	EXTRACTION ORDER	EIGENVALUE	REAL EIGENVALUES	
			RADIANS	CYCLES
1	1	1.881109E+05	4.337175E+02	6.902829E+01
2	2	4.667068E+06	2.160340E+03	3.438287E+02
3	3	7.380820E+06	2.716766E+03	4.323868E+02
4	4	5.781121E+07	7.603368E+03	1.210114E+03
5	5	1.791450E+08	1.338451E+04	2.130210E+03
6	6	2.217498E+08	1.489127E+04	2.370019E+03
7	7	2.328788E+08	1.526037E+04	2.428763E+03
8	8	6.051882E+08	2.460057E+04	3.915303E+03
9	9	1.348470E+09	3.672152E+04	5.844411E+03
10	10	1.355783E+09	3.682096E+04	5.860237E+03

Şekil 3-1 Ön Gerilmemiş Doğal Frekanslar

MODE NO.	EXTRACTION ORDER	EIGENVALUE	REAL EIGENVALUES	
			RADIANS	CYCLES
1	1	3.767229E+05	6.137775E+02	9.768573E+01
2	2	4.866931E+06	2.206112E+03	3.511137E+02
3	3	8.775148E+06	2.962288E+03	4.714627E+02
4	4	6.115516E+07	7.820176E+03	1.244620E+03
5	5	1.805257E+08	1.343598E+04	2.138403E+03
6	6	2.279262E+08	1.509722E+04	2.402798E+03
7	7	2.329783E+08	1.526363E+04	2.429282E+03
8	8	6.150366E+08	2.479993E+04	3.947032E+03
9	9	1.359021E+09	3.686490E+04	5.867231E+03
10	10	1.362830E+09	3.691653E+04	5.875448E+03

Şekil 3-2 Ön Gerilmeli Doğal Frekanslar

Görüldüğü gibi ön gerilmeli modal analiz sonucunda elde edilen doğal frekans değerleri ön gerilmemiş sonuçlara göre daha yüksektir.