

## MSC Nastran ile “Smart Superelement”

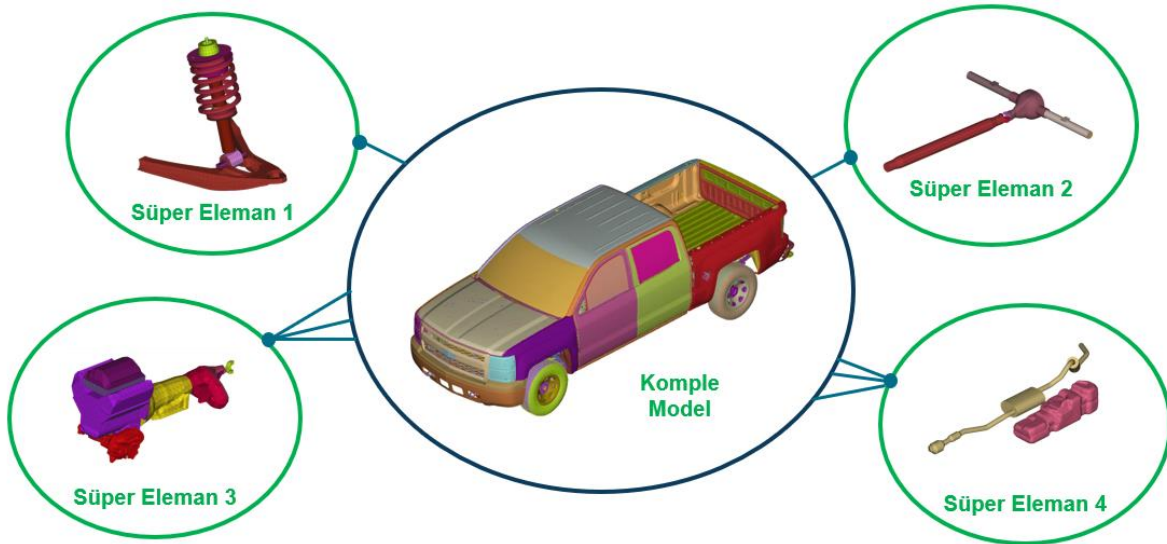
Hazırlayan

Fatih Furkan BARUT  
Yapısal Analiz Mühendisi

Tarih: 22/01/2024

Süper elemanlar fiziksel ve matematiksel bir gösterim olarak tanımlanabilir. Fiziksel olarak, bir yapının belirli bir bölümü veya bütün bir sistem içerisinde yer alan alt sistemlerin modellenmesi denebilir. Örneğin bir taşıtın gövdesi ile ilgileniliyorsa ancak motor, şanzıman vb. parçaların da etkileri bu analize dahil edilmek isteniyorsa, modeli basitleştirmek ve analiz sürelerini kısaltmak için alt sistemler süper eleman olarak modellenebilir.

Matematiksel anlamda ise yukarıda bahsedilen parçaların yük, katılık, sönüm ve kütle matrisleri olarak tanımlanmasıdır. Burada analiz çözümü sınır nodlara indirgenir. Şekil 1’de örnek bir görsel görülmektedir.



Şekil 1. Süper Eleman Örneği

Her bir süper elemanın işlenmesi, indirgenmiş bir matris seti (kütle, sönümlleme, katılık ve yükleme) ile sonuçlanır. Burada bir indirgeme işlemi söz konusudur. Bu indirgeme işleminde eğer dayanım analizleri yapılıyorsa program arka planda standart olarak “Statik İndirgeme (Guyan Reduction)” metodunu kullanır ancak dinamik bir analiz gerçekleştiriliyorsa program arka planda standart olarak “Dinamik İndirgeme (Component Modal Synthesis/Craig Bampton)” metodu kullanılır. Her bir süper eleman bir kere işlendikten sonra ana yapıya eklenebilir ve analiz çözümü gerçekleştirilebilir.

Süper elemanların aşağıdaki gibi avantajları bulunmaktadır:

- Temel olarak analiz verimliliğini artırır.
- Tekrarlı analizlerde kullanıldığı zaman çözüm süresini kısaltmaktadır.
- Eğer süper elemanda bir değişiklik yapılmayacaksa, her analiz tekrarında süper eleman için baştan analiz yapılmasına gerek yoktur. Yani süper eleman için yalnızca bir kere analiz yapıldıktan sonra başka analizler için bu adım tekrarlanmaz.
- Disk kullanımını ve depolama boyutunu azaltır.
- Farklı birimler arasındaki bilgi aktarımını kolaylaştırır.
- Model güvenliğini sağlar.

Bunun yanında bir çok analiz türünde süper elemanlar kullanılabilir. Bunlar Şekil 2’de görülmektedir.

| SOL Number | SOL Name  | Description   |
|------------|-----------|---|
| 101        | SESTATIC  | Statics with options:<br>Linear steady state heat transfer.<br>Alternate reduction.<br>Inertia relief.      |
| 103        | SEMODES   | Normal modes.   |
| 105        | SEBUCKL   | Buckling with options:<br>Static analysis.<br>Alternate reduction.<br>Inertia relief.                       |
| 106        | NLSTATIC  | Nonlinear or linear statics   |
| 107        | SEDCEIG   | Direct complex modes  |
| 108        | SEDFREQ   | Direct frequency response   |
| 109        | SEDTRAN   | Direct transient response   |
| 110        | SEMCEIG   | Modal complex eigenvalues   |
| SOL Number | SOL Name  | Description   |
| 111        | SEMFREQ   | Modal frequency response  |
| 112        | SEMTRAN   | Modal transient response  |
| 128        | SENLRHM   | Nonlinear harmonic response   |
| 129        | NLTRAN    | Nonlinear or linear transient response  |
| 144        | AESTAT    | Static Aeroelastic response   |
| 145        | SEFLUTTER | Aerodynamic flutter   |
| 146        | SEAERO    | Aeroelastic response  |
| 153        | NLSCSH    | Static structural and/or steady state heat transfer analysis with options:<br>Linear or nonlinear analysis. |
| 159        | NLTCSH    | Transient structural and/or transient heat transfer analysis with options:<br>Linear or nonlinear analysis. |
| 200        | DESOPT    | Design Optimization   |
| 400        | NONLIN    | Nonlinear static and transient analysis   |

Şekil 2. Süper Eleman Kullanılabilecek Analiz Çeşitleri

## 1. SMART SÜPER ELEMAN

Smart süper elemanlar, tasarım revizyonlarının değerlendirilmesinde, parametrelendirilmesine ve sonraki analizlere beslenmesine olanak tanır. Yani bir alt sistem smart süper eleman olarak modellendikten sonra üzerinde gerçekleştirilen değişiklikler daha kolay bir şekilde üst sistemlere aktarılabilir.

Parametrik olarak bir süper elemanın modellenmesi için “Smart Süper Elemanlar”, “ODYSSEE” ile birlikte kullanılmaktadır. Geometrik özellikler, malzemeler vb. parametreler üzerinde değişiklikler yapılabilir. Otomatikleştirilmiş araçlar sayesinde manuel bir şekilde düzenlemelerin yapılmasına gerek kalmamaktadır. Smart süper elemanın desteklendiği çözümler aşağıdaki gibidir:

- SOL 101: Doğrusal Statik Analizler
- SOL 103, 107 ve 110: Modal analiz ve kompleks modal analizler
- SOL 108, 109: Doğrusal direkt frekans-cevap ve zamana bağlı dinamik analizler
- SOL 111, 112: Doğrusal modal frekans-cevap ve zamana bağlı dinamik analizler
- SOL400: Doğrusal olmayan analiz çözümleri

Bir smart süper eleman oluşturmak için aşağıdaki adımlar izlenebilir:

1. MSC Nastran “EXTSEOUT” kartı kullanılarak klasik bir süper eleman BDF’i oluşturulmalıdır. Bu aşamada standart olarak yapıya ait matrisleri elde etmek için kullanılan MSC Nastran kartlarını kullanmak yeterlidir. İlk adımda dikkat edilmesi gereken tek şey çıktı dosyalarının (OTM) formatıdır. Burada ODYSSEE programına girdi sağlayabilmek için HDF5 formatında analiz sonuç dosyası elde edilmelidir. Örnek bir “EXTSEOUT” kartı Şekil 3’de görülmektedir. Bu aşamada kurgulanan BDF çözülmez yalnızca ODYSSEE programına girdi olarak sağlanır.

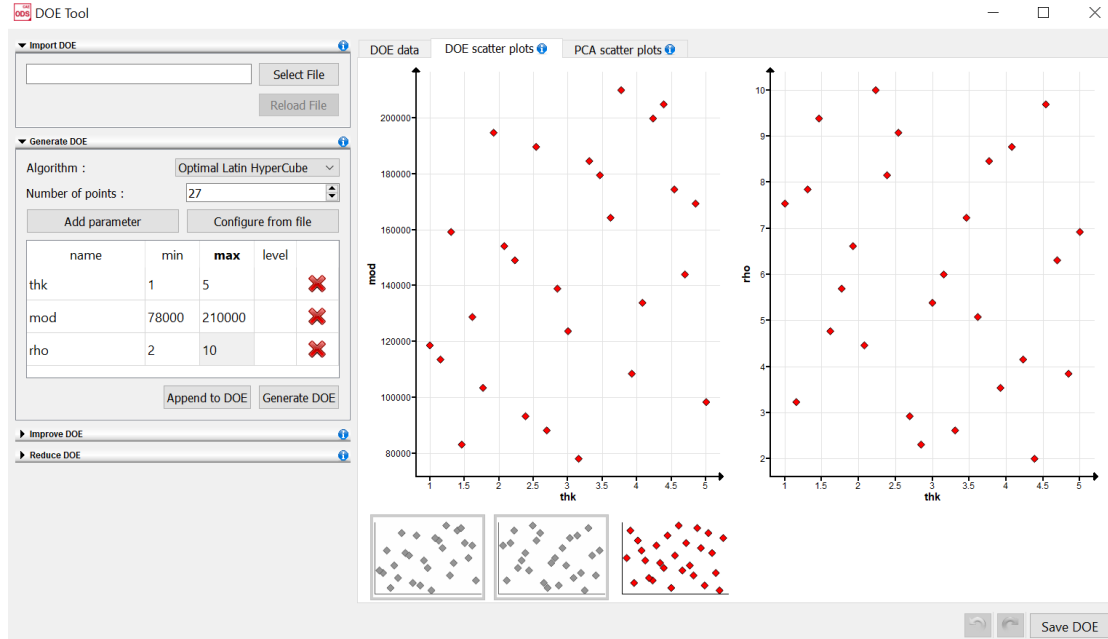
**EXTSEOUT (ASMBULK, EXTBULK, EXTID=40, HDF5)**

Şekil 3. Örnek EXTSEOUT Kartı Kullanımı

2. Süper eleman BDF’i hazırlandıktan sonra bu BDF, ODYSSEE programına aktararak analiz içerisinde değişiklik göstermesi istenen parametreler belirtilir ve deney tasarımı (Design of experiment / DoE) gerçekleştirilir. Deney tasarımı çalışması gerçekleştirildikten sonra yalnızca “.CSV” formatında bir çıktı gerektiği için bu çalışma, ister ODYSSEE içerisinde ister manuel olarak gerçekleştirilebilir. Ancak ODYSSEE programı içerisinde barındırdığı algoritmalar sayesinde daha düzgün data’lar elde edilmesini sağlamaktadır. Kullanılabilecek algoritmalar şu şekilde sıralanabilir:

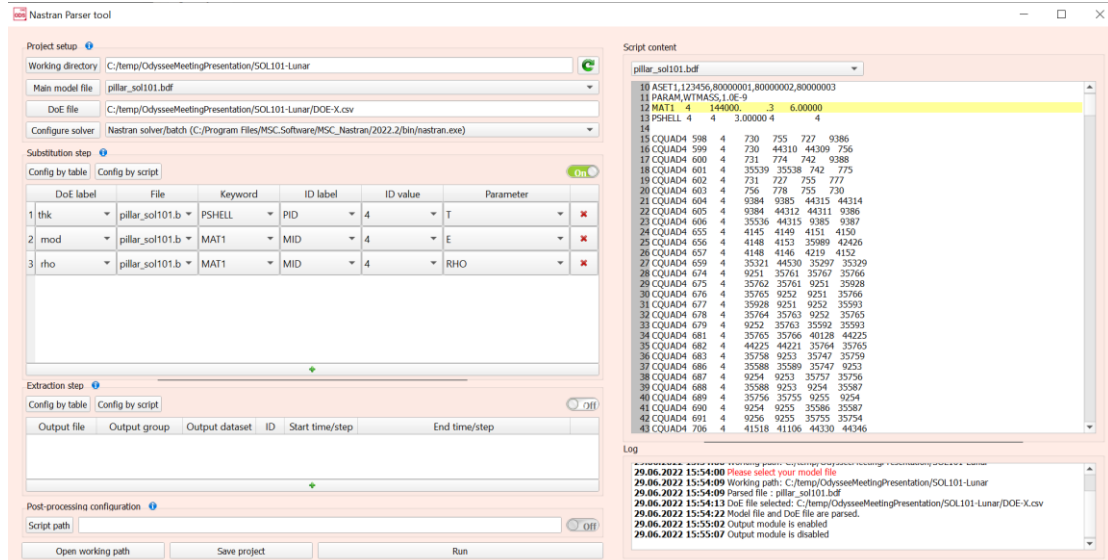
|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| A-Optimal      | Improved Latin HyperCube |
| Box Behnken    | Latin HyperCube          |
| Full Factorial | OLH Space Filling        |
| Halton         | Optimal Latin HyperCube  |
| Hammersley     | Voronoi                  |
| Monte Carlo    | Normal                   |

Şekil 4’de örnek bir “DoE” çalışması görülmektedir. Burada malzemeye ait yoğunluk ve elastisite modülü parametreye bağlanırken, yapının kalınlığı da parametreye bağlanmıştır.



Şekil 4. Örnek DoE (ODYSSEE)

3. Tasarım parametreleri belirlendikten sonra “Save DoE” butonuna tıklanarak tasarım bulutu “CSV” formatında çalışma klasörüne kaydedilir. Sonrasında burada belirtilen tasarım değişikliklerinin analizlerde kullanılması için (BDF’e yansıtılması için) ODYSSEE içerisinde yer alan “Nastran Parser” aracı kullanılabilir. Bu araç sayesinde bir önceki adımda belirlenen tasarım kriterleri **otomatik olarak** ,program tarafından, BDF içerisinde güncellenir ve **yine otomatik olarak** bu BDF’ler sırasıyla koşturulur. Şekil 5’de “Nastran Parser” görülmektedir.



Şekil 5. ODYSSEE Nastran Parser

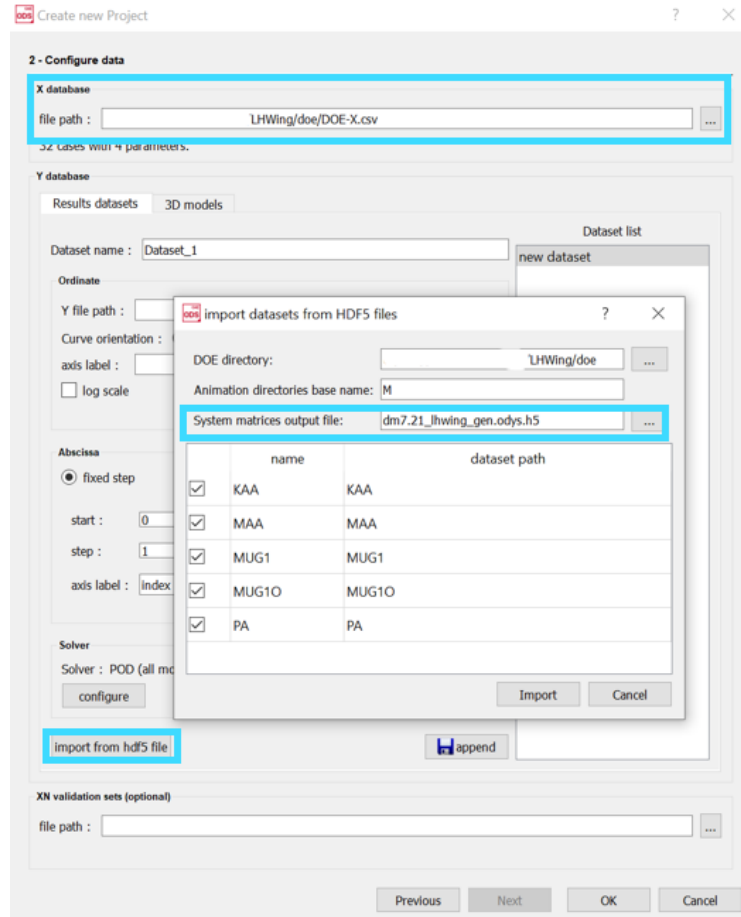
Burada ODYSSEE bütün BDF'leri otomatik olarak koşturduktan sonra kütle, katılık ve sönüm gibi matrislerini oluşturur. Koşturulan analizler sonucu “.pch, .asm ve hdf5” formatında dosyalar oluşur.

4. Sonrasında oluşan bu HDF5 uzantılı sonuç dosyası **ODYSSEE CAE-Lunar** içerisine aktarılır ve buradan da **FMU (Functional Mockup Unit)** uzantılı bir dosya elde edilir. Bu işlemler gerçekleştirilirken programa “DoE” dataları ile birlikte bir önceki adımda elde edilen “HDF5” sonuç dosyası tanımlanır. FMU içerisine aşağıda yer alan matrisler yazılabilir:

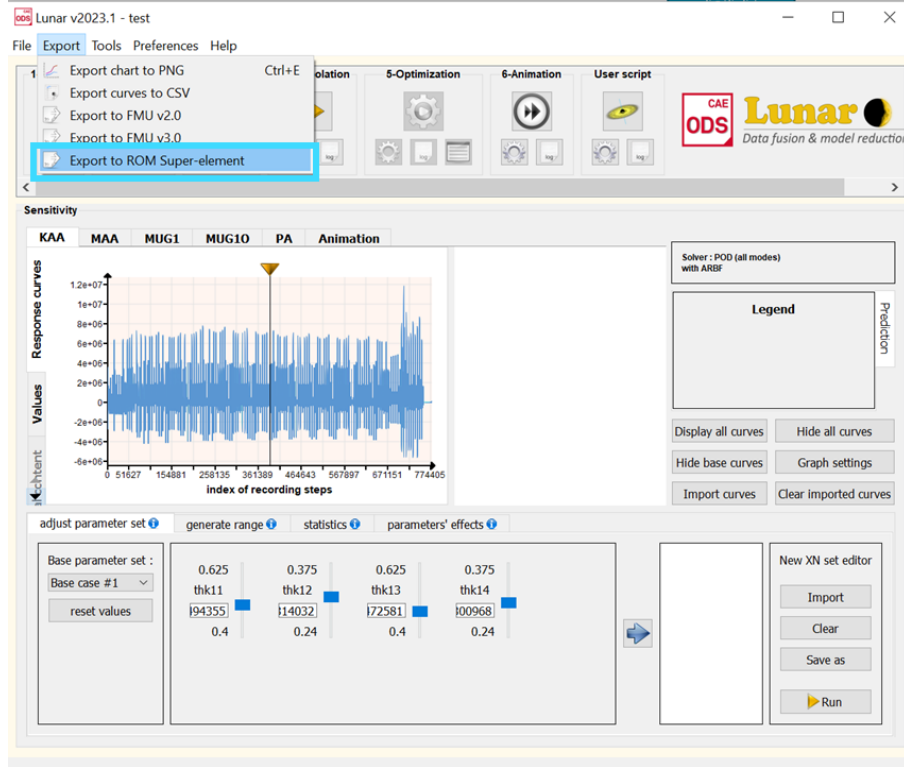
- $[M]_{axa}$ : İndirgenmiş kütle matrisi
- $[K]_{axa}$ : İndirgenmiş katılık matrisi
- $[B]_{axa}$ : İndirgenmiş viskoz sönüm matrisi
- $[K4]_{axa}$ : İndirgenmiş yapısal sönüm matrisi
- $[F]_{axnl}$ : İndirgenmiş yük vektörleri, burada yer alan “nl” yük sayısını temsil eder
- $[DISP - OTM]_{axa}$ : Çıktı matrisine (OTM) yazılan deplasmanlar

Doğrusal statik analizlerde yalnızca katılık, yük ve deplasman matrisleri oluşturulur.

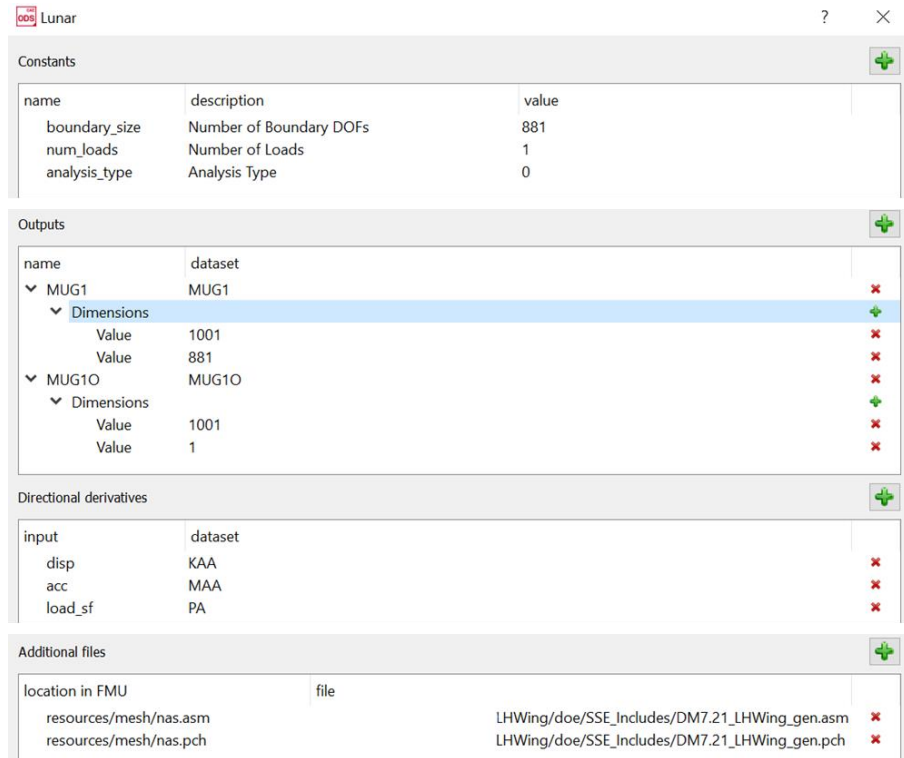
Şekil 6, 7 ve 8’de HDF5 dosyasının ODYSSEE programına aktarılması ve FMU uzantılı dosyanın nasıl elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 6. HDF5 ve DoE Dosyalarının Aktarımı



Şekil 7. Smart Süper Eleman Oluşturma



The screenshot shows the Lunar interface with the following sections:

- Constants:**

| name          | description             | value |
|---------------|-------------------------|-------|
| boundary_size | Number of Boundary DOFs | 881   |
| num_loads     | Number of Loads         | 1     |
| analysis_type | Analysis Type           | 0     |
- Outputs:**

| name       | dataset |
|------------|---------|
| MUG1       | MUG1    |
| Dimensions |         |
| Value      | 1001    |
| Value      | 881     |
| MUG10      | MUG10   |
| Dimensions |         |
| Value      | 1001    |
| Value      | 1       |
- Directional derivatives:**

| input   | dataset |
|---------|---------|
| disp    | KAA     |
| acc     | MAA     |
| load_sf | PA      |
- Additional files:**

| location in FMU        | file  |
|------------------------|---|
| resources/mesh/nas.asm | LHWing/dae/SSE_Includes/DM7.21_LHWing_gen.asm |
| resources/mesh/nas.pch | LHWing/dae/SSE_Includes/DM7.21_LHWing_gen.pch |

Şekil 8. FMU Dosyasının Çıkartılması

Şekil 8’de yer alan görseldeki “Constants” bölümünde “Number of Boundary DOFs” hanesinin olduğu bölgeye “ASET Sayısı x ASET DOF” miktarı yazılır. Örneğin analiz modelinde 8 adet ASET bulunuyorsa ve bu ASET’ler 6 yönde bağlandıysa, “Number of Boundary DOFs” hanesine 48 yazılmalıdır. Yine “Constants” bölümünde yer alan “Analysis Type” hanesine ise eğer doğrusal bir analiz gerçekleştirilecekse “0” tanımlanır.

Şekil 8’de yer alan görseldeki “Outputs” hanesinde ise çıktı olarak alınmak istenen matrisler belirtilir.

5. Elde edilen FMU uzantılı dosya BDF içerisine atanmalıdır. Ayrıca ilk adımda kurgulanan süper eleman BDF’i içerisinde yer alan “ID” burada belirtilmelidir. Şekil 9’da örnek olarak FMU ataması gösterilmiştir.

```
ASSIGN userfile='ODS_FMU_pillar', unit=64, STATUS=OLD,  
.....FORM=UNFORMATTED, DEFER
```

```
SEBULK 40 .....EXTROM .....MANUAL .....64
```

Şekil 9. FMU Dosyasının BDF İçerisinde Tanımlanması

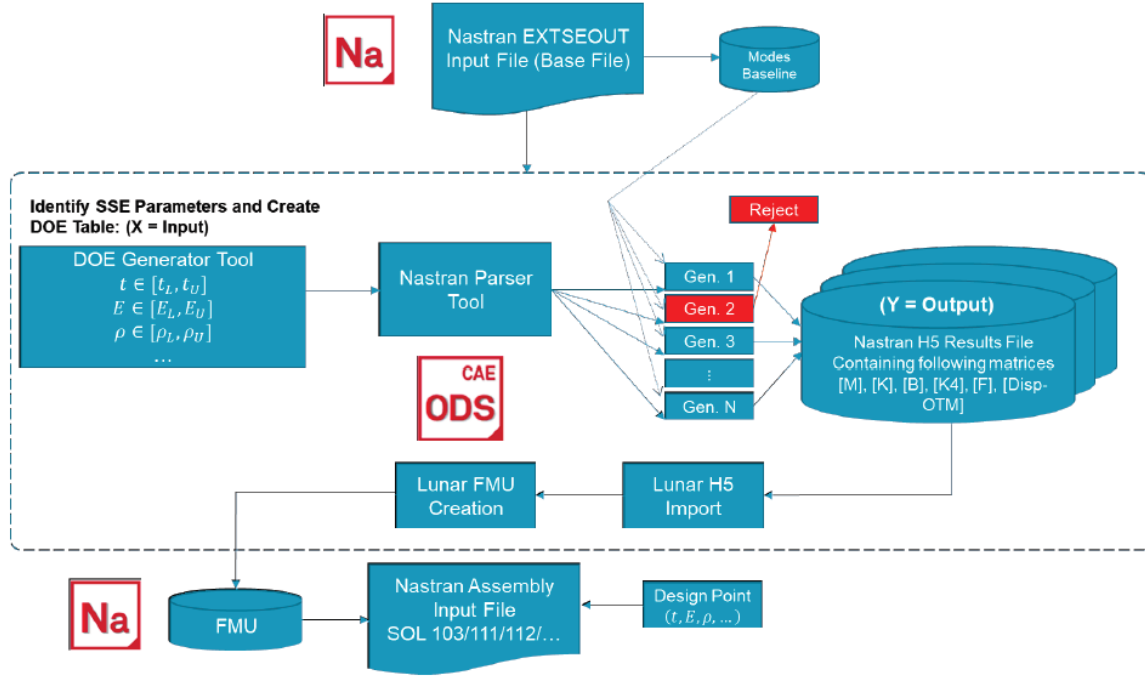
6. Ek olarak smart süper eleman parametreleri **DESVAR/DVMREL1** ya da **DESVAR/DVPREL1** kartları ile nihai yapının (Residual/Assembly) BDF’i içerisinde tanımlanabilir. Şekil 10’da örnek görülmektedir.

```
DESVAR, 41 , thk, 4.75  
DVPREL1, 41, PSHELL, 4, T  
 , 41, 1.0  
DESVAR, 42 , E, 110000.  
DVMREL1, 42, MAT1, 4, E  
 , 42, 1.0  
DESVAR, 43, rho, 3.  
DVMREL1, 43, MAT1, 4, RHO  
 , 43, 1.0
```

Şekil 10. DESVAR/DVMREL1 Kartlarının Tanımlanması

Özetlemek gerekirse ilk aşamada süper eleman BDF’i oluşturulur, tasarım kriterleri için deney tasarımı (DoE) gerçekleştirilir, her bir tasarım değişikliği için otomatik olarak BDF’ler elde edilir ve otomatik bir şekilde koşturulur. Analiz sonucunda elde edilen HDF5 dosyası ODYSSEE içerisine aktarılır ve FMU dosyası elde edilir. Elde edilen bu dosya nihai olarak koşturulmak istenen analizin BDF’i içerisine atanır. Şekil 11’de özet bir şema görülmektedir.





Şekil 11. Smart Süper Eleman Şeması

Smart süper eleman için dikkat edilmesi gereken bazı kurallar ve kısıtlamalar bulunmaktadır. Bunlar:

- İlk adımda süper eleman BDF'i oluşturulurken deplasman çıktısı mutlaka istenmelidir. Eğer oluşan sonuç dosyasının boyutunun büyük olması istenmiyorsa yalnızca ilgili düğüm noktaları üzerinde bulunan deplasmanlar istenebilir. Yani modal içerisinde yer alan bütün düğüm noktalarının sonuçlarına ihtiyaç yoktur. Burada dikkat edilmesi gereken şey ASET noktalarına ait sonuçların da deplasman değerlerinin elde edilmesidir.
- Modal analizler gerçekleştirilirken smart süper eleman içerisinde istenen mod sayısının, nihai yapı (Residual/Assembly) BDF'inde istenen mod sayısından fazla olmalıdır. Çünkü yapılan tasarım değişiklikleri neticesinde smart süper elemanın modları değişiklik göstermektedir.
- Smart süper elemanlar kopyalanarak başka bölümlere taşınamaz ya da aynalanamazlar. Bu tür işlemler için tekrardan FMU oluşturulmalıdır.
- FMU dosyaları ile MSC Nastran BDF dosyası aynı klasörde bulunmalıdır.

## 6. REFERANS

- MSC Nastran Superelements and Modules User's Guide
- ODYSSEE CAE – Lunar User's Guide
- MSC Nastran Quick Reference Guide