

# MSC Nastran'da Element Strain Energy (ESE) Çıktısı İncelemeleri

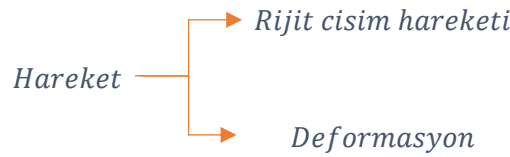
HAZIRLAYAN	DÜZENLEYEN
YASİN OĞUZHAN GÖKCE <i>Aday Mühendis</i>	GÖKHAN ÖZEL <i>Lider Yapısal Analiz Mühendisi</i>

Yayın Tarihi: 27.12.2022

Yapıların dinamik davranışlarını anlamak ve bu davranışlara göre tasarımların revize edilmesi bir ürünün ortaya çıkma aşamasında önemli bir yere sahiptir. Modal Analiz (MSC Nastran SOL103) yapıların dinamik davranışını anlamak amacıyla en sık kullanılan sonlu eleman metodu tabanlı çözüm yöntemlerinden birisidir. Element strain energy (ESE), modal analiz sırasında MSC Nastran tarafından istenebilen bir çıktıdır. Bu yazı kapsamında element strain energy (ESE) çıktısının modal analiz sonrasında nasıl yorumlanabileceği incelenmiştir.

## 1. STRAIN ENERGY

Bir yapı üzerine uygulanan kuvvet ve momentler, yapının sınır koşullarına bağlı olarak 2 farklı sonuca sebep olabilir.



Rijit cisim hareketi sırasında yapı bir bütün olarak hareket ederken, deformasyon sırasında yapının kendi içindeki parçaların bağlı mesafesi değişir. Bu deformasyon sonucunda yapılan iş, yapı tarafından strain energy olarak korunur. Strain energy temel olarak aşağıda gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$\text{Strain Energy} = \frac{1}{2} k \Delta^2$$

Sonlu eleman metodunda ise eleman bazlı strain energy şöyle ifade edilebilir.

$$ESE = 0.5 \{u_e\}^T [K_{ee}] \{u_e\}$$

## ESE Element Strain Energy Output Request

Requests the output of the strain energy in selected elements.

### Format:

$$ESE \left[ \left( \begin{array}{l} \text{PRINT, PUNCH} \\ \text{PLOT} \end{array} \right) \left[ \begin{array}{l} \text{AVERAGE} \\ \text{AMPLITUDE} \\ \text{PEAK} \end{array} \right] \left[ \text{THRESH} = p \right] \left[ \text{NOPERCENT} \right] \right] = \left\{ \begin{array}{l} \text{ALL} \\ n \end{array} \right\}$$

### Examples:

```
ESE=ALL
ESE (PUNCH, THRESH=.0001)=19
```

**THRESH** Energies for elements having an energy value of less than p% will be suppressed in all output files: print, punch, plot, .op2, and .xdb. THRESH overrides the value of TINY described in Remark 1. (Default = 0.001).

Görsel 1: MSC Nastran ESE kartı

ESE çıktısı alabilmek için yukarıdaki görselde belirtilen kartın MSC Nastran girdi dosyasının (bdf) Case Control kısmına eklenmesi gerekmektedir.

THRESH parametresi yapının toplam strain energy çıktısının yüzde kaçını altındaki strain energy değerine sahip elemanların çıktısının alınmayacağını belirler. Yüksek eleman yoğunluğuna sahip modeller için bu parametrenin 1e-10 olarak değiştirilmesi önerilir.

ELEMENT STRAIN ENERGIES			
ELEMENT-TYPE = QUAD4		* TOTAL ENERGY OF ALL ELEMENTS IN PROBLEM	= 1.132268E+06
MODE 1		* TOTAL ENERGY OF ALL ELEMENTS IN SET	-1 = 1.132268E+06
ELEMENT-ID	STRAIN-ENERGY	PERCENT OF TOTAL	STRAIN-ENERGY-DENSITY
5977	1.030189E+02	0.0091	1.305740E+00
5978	1.602635E+02	0.0142	1.418455E+00
5979	1.261676E+02	0.0111	1.084564E+00
5980	1.395351E+02	0.0123	1.624274E+00
5981	5.315361E+02	0.0469	7.065747E+00

Görsel 2: f06 ESE çıktısı

Görsel 2' de görüldüğü üzere 3 farklı ESE çıktısı bulunmaktadır. Bu değerler şöyle açıklanabilir:

- **Strain Energy:** Elemana ait strain energy değeridir.
- **Percent of Total:** Elemandaki strain energy değerinin toplam strain energy' e olan oranını gösterir.
- **Strain Energy Density:** Elemanın strain energy değerinin eleman hacmine bölünmesiyle elde edilir.

## 2. MODAL ANALİZDE ESE ÇIKTISI

Modal analiz sonucunda yapının doğal frekansları ve bu doğal frekanslara karşılık gelen mod şekilleri elde edilir. Elde edilen bu veriler dinamik yükleme altındaki yapıların çalışma frekanslarıyla, yapının doğal frekanslarının karşılaştırılmasında kullanılabilir. Dinamik yükleme altındaki yapıların çalışma frekanslarının yapının herhangi bir doğal frekansına yakın olması halinde yapı bu yüklemenin etkisini artıracığından, bu durumdan kaçınılması gerekir. Bu duruma çözüm olarak ise mod ötelenmesi genel olarak kullanılan bir yöntemdir.

Tek serbestlik dereceli kütle-yay sisteminin doğal frekansı aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Çoklu serbestlik derecesine sahip bir sistem için yukarıdaki bağlantının direkt olarak uygulanması mümkün olmamasına rağmen, sistemin temel işleyişi aynıdır. Modun ötelenmesi katılığın artırılması (k) veya kütlenin (m) azaltılmasıyla elde edilebilir. **Burada dikkat edilmesi gereken nokta ise katılık artırılırken yapıya aynı zamanda kütle de eklenebileceğinden, yapılan modifikasyonun etkisinin azalmasıdır.**

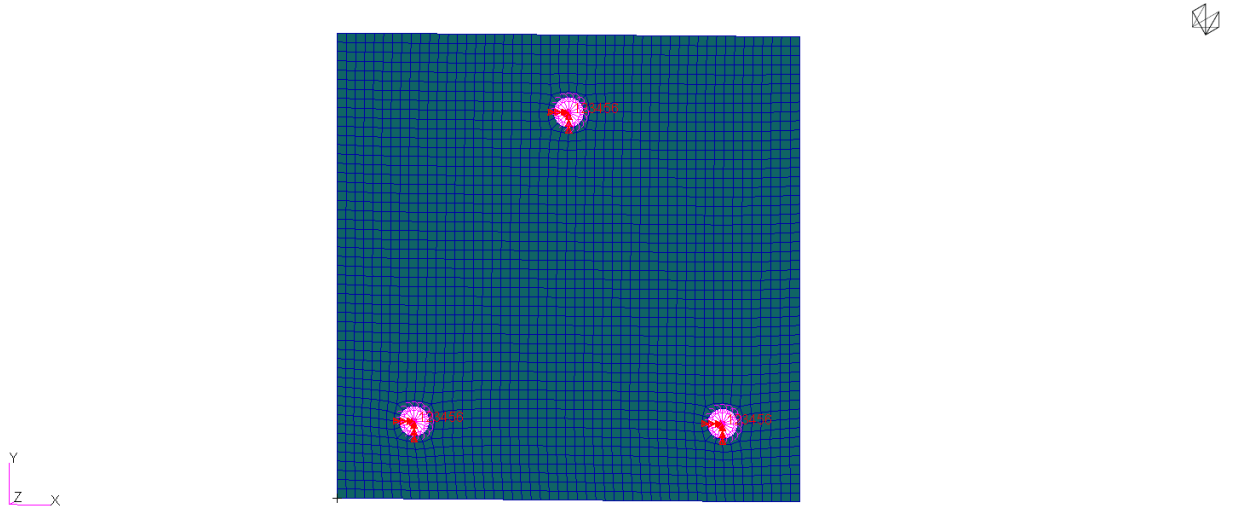
ESE çıktısı yukarıda bahsedilen mod ötelenmesi amacıyla yapılacak modifikasyonların yapıda hangi lokasyonlara yapılmasının en etkili olacağını gösterir. Temel olarak doğal frekans değerlerinin yükseltilmesi amacıyla ESE çıktısının yorumlanması şöyledir:

- En yüksek element strain energy (ESE) sahip olan bölgelerde **strain'in yüksek olduğu yönde** katılığını artırılması
- Element strain energy (ESE) düşük olduğu bölgelerde kütlenin azaltılması

### 3. ÖRNEK MODEL

ESE çıktısının kullanımını incelemek amacıyla aşağıda gösterilen plaka modeli delik merkezlerinden tutularak modal analizi yapılmıştır.

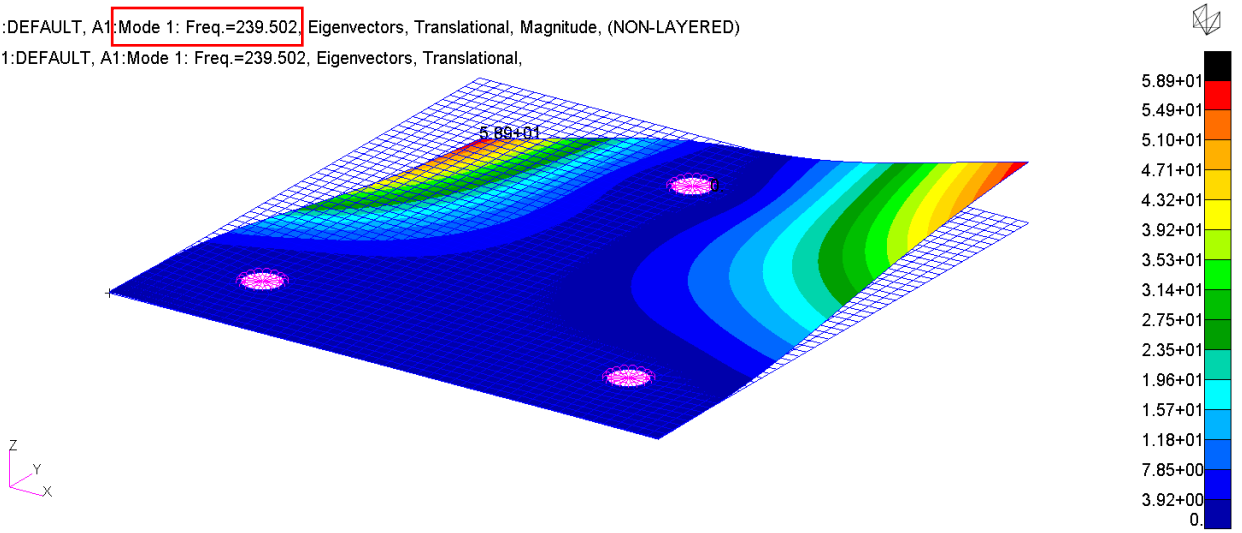
Malzeme	Young's Modulus	Poisson's Ratio	Yoğunluk	Kalınlık	Model Boyutları
Çelik	200,000 MPa	0.30	7.8E-9 ton/mm <sup>3</sup>	5 mm	300 × 300 mm



Görsel 3: Analiz modeli ve sınır koşulları

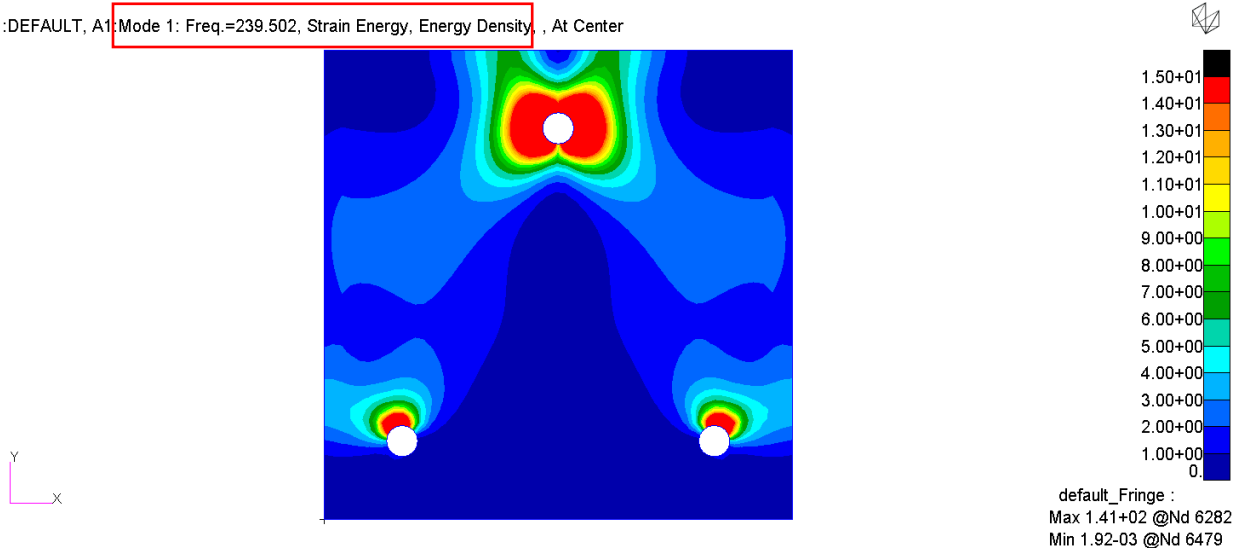
Yapının modal analizi yapıldıktan sonra ilk doğal frekansına ait Mode Shape ve Element Strain Energy Density çıktıları çizdirilmiştir. Burada ESE yerine Eleman Strain Energy Density çıktısının tercih edilmesinin sebebi, elemanların hacimlerindeki farklılıklarından kaynaklanabilecek yanlış yorumlamayı en aza indirmektir.

Fringe: SC1:DEFAULT, A1:Mode 1: Freq.=239.502, Eigenvectors, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)  
 Deform: SC1:DEFAULT, A1:Mode 1: Freq.=239.502, Eigenvectors, Translational,



Görsel 4: İlk doğal frekansa ait Mode Shape

Fringe: SC1:DEFAULT, A1:Mode 1: Freq.=239.502, Strain Energy, Energy Density, , At Center

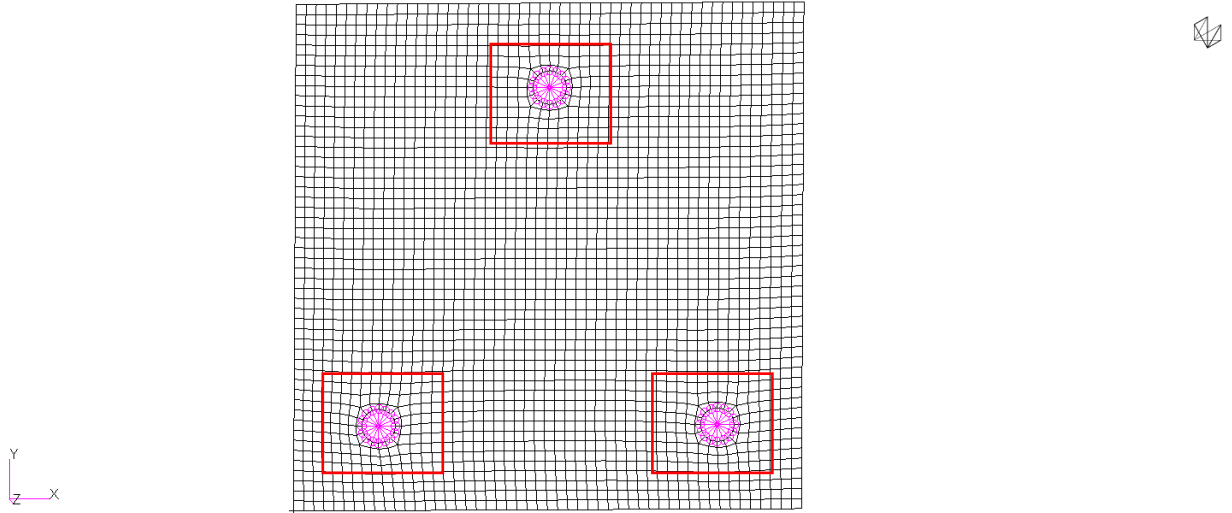


Görsel 5: İlk modun Element Strain Energy Density dağılımı

Görsel 5' de kırmızı tonları yüksek element strain energy density gösterirken, mavi tonları düşük element strain energy density'ye işaret etmektedir. Bu çıktı referans alınarak ilk modun ( $\omega_1 = 239.5 \text{ Hz}$ ) ötelenmesi sağlanacaktır.

### 3.1 KATILIK MODİFİKASYONU

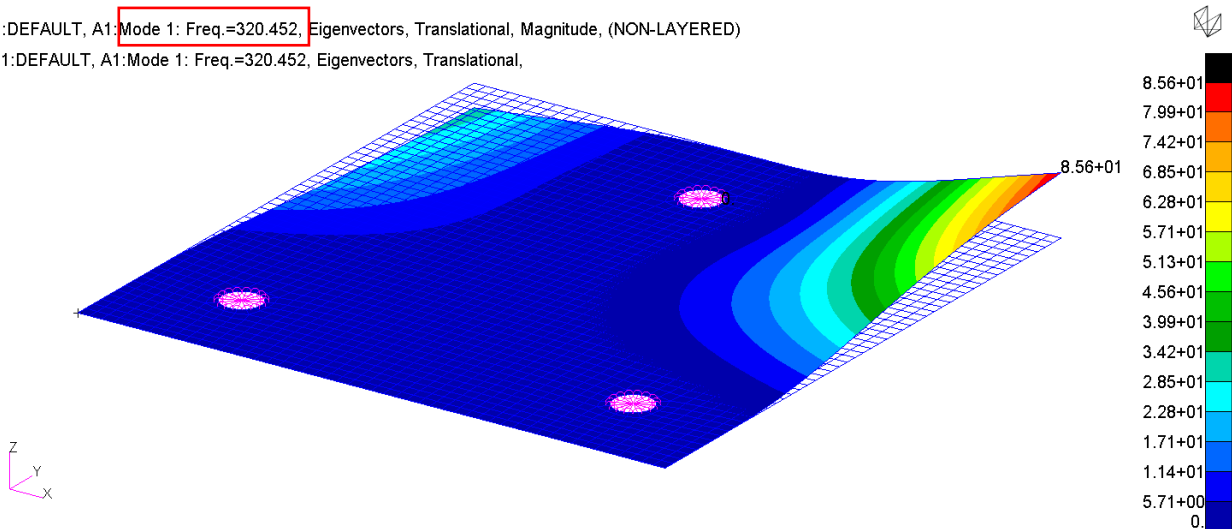
Bu kısımda plaka modelinin ilk modunun katılık bazlı modifikasyonlar yapılarak nasıl ötelenebileceği gösterilecektir. Görsel 5' de görüldüğü üzere özellikle sınır koşullarının uygulandığı delik çevrelerinde yüksek strain energy gözlemlenmektedir. Bu bölgelerde gerininin yüksek olduğu yönde katılığın artırılmasının modun ötelenmesini sağlaması beklenmektedir. Bu nedenle Görsel 6' de vurgulanan **elemanların kalınlığı 2 katına çıkarılarak 10 mm girilmiştir.**



Görsel 6: Katılık modifikasyonu yapılan bölgeler

Yapılan değişikliklerden sonra tekrardan modal analiz koşturulmuş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Fringe: SC1:DEFAULT, A1:Mode 1: Freq.=320.452, Eigenvectors, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)  
Deform: SC1:DEFAULT, A1:Mode 1: Freq.=320.452, Eigenvectors, Translational,

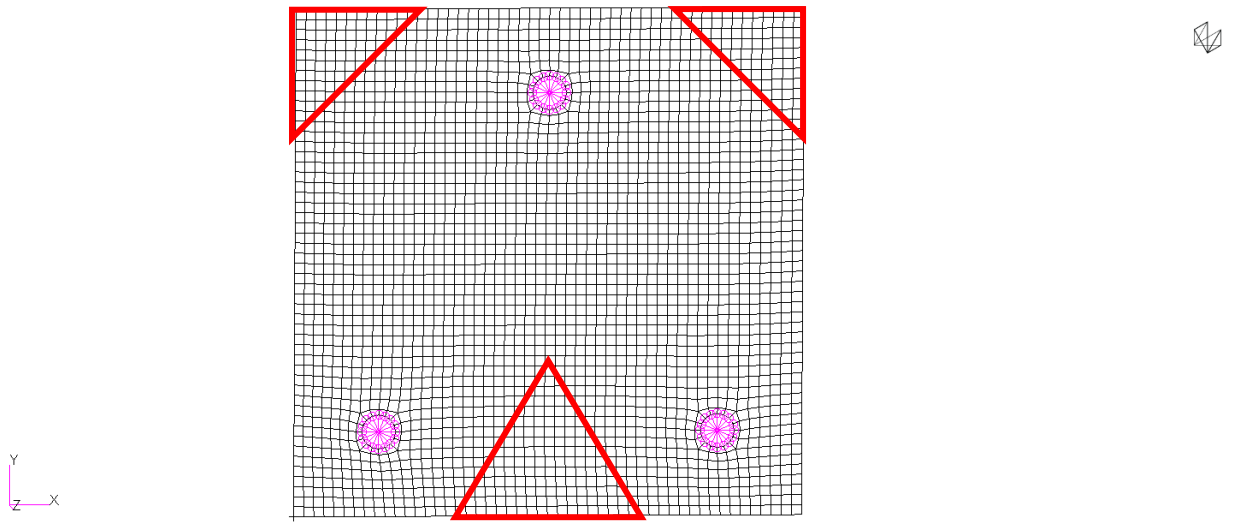


Görsel 7: İlk doğal frekansa ait Mode Shape [Katılık Modifikasyonu Sonrası]

Görsel 7' de görülebildiği gibi yapının ilk modu  $\omega_1 = 320.45 \text{ Hz}$  seviyesine yükselmiştir. Strain energy çıktısı kullanılarak yapılan katılık değişimi sayesinde **33%** civarında bir öteleme kolaylıkla elde edilmiştir.

### 3.2 KÜTLE MODİFİKASYONU

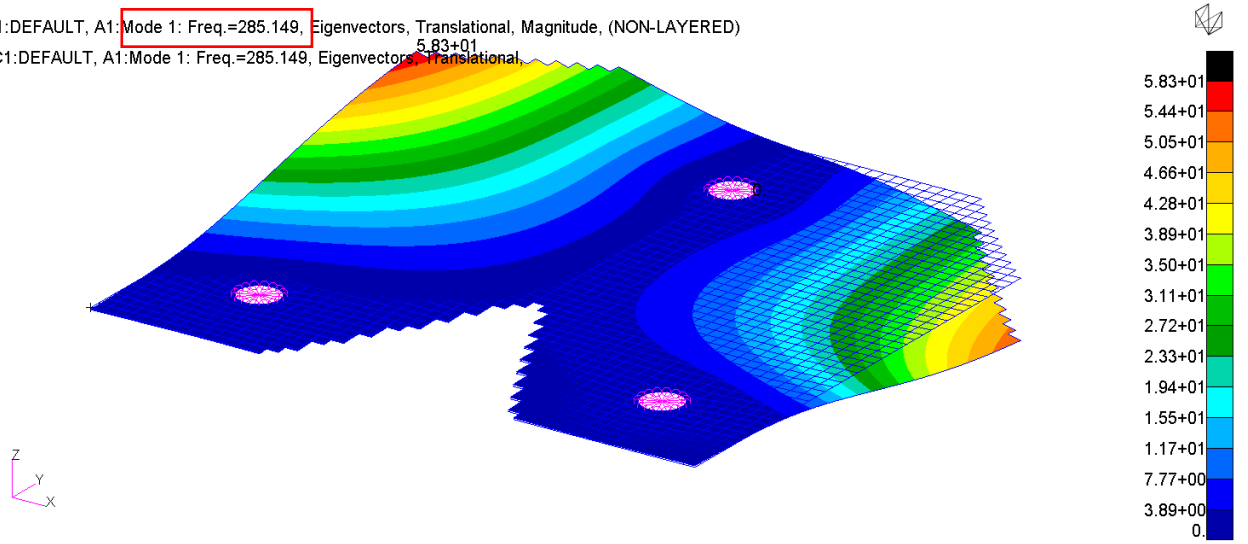
Bu kısımda ise plaka modelinin ilk modunun kütle bazlı modifikasyonlar yapılarak nasıl ötelenebileceği gösterilecektir. Görsel 5' de görülen strain energy çıktısının düşük olduğu bölgeler yapıdan çıkartılarak modun ötelenmesinin sağlanması beklenmektedir. Aşağıdaki görselde belirtilen bölgeler yapıdan çıkarılmıştır.



Görsel 8: Kütle modifikasyonu yapılan bölgeler

Yapılan değişikliklerden sonra tekrardan modal analiz koşturulmuştur ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Fringe: SC1:DEFAULT, A1: Mode 1: Freq.=285.149, Eigenvectors, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)  
 Deform: SC1:DEFAULT, A1: Mode 1: Freq.=285.149, Eigenvectors, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)



Görsel 9: İlk doğal frekansa ait Mode Shape [Kütle Modifikasyonu Sonrası]

Görsel 9' de görülebildiği gibi yapının ilk modu  $\omega_1 = 285.15 \text{ Hz}$  seviyesine yükselmiştir. Strain energy çıktısı kullanılarak yapılan kütle değişimi sayesinde **19%** civarında bir öteleme elde edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen sonuçlardan da görülebileceği üzere ESE çıktısı bir yapının modunu ötelemek amacıyla kullanılabilecek en etkin araçlardan birisidir. Yapının isterlerine bağlı olarak kütle ya da katılık modifikasyonlarında herhangi birisi tercih edilebilir. Bunun yanında kütle modifikasyonu yapılmak istendiğinde ESE çıktısına ek olarak kinetik enerji çıktısına bakılarak değişikliğe gidilmesi daha tutarlı sonuçlar alınmasına yardımcı olur.

#### 4. KAYNAKÇA

- I. MSC Nastran 2022.2 Quick Reference Guide
- II. MSC Nastran 2022.2 Dynamic Analysis User's Guide