

# MSC NASTRAN İLE ATALET SALINIMI (INERTIA RELIEF) ÇÖZÜMLERİ VE ÖRNEKLENDİRİLMESİ

HAZIRLAYAN
OĞUZ KAAN ÇAKIR <i>Yapısal Analiz Mühendisi</i>

Yayın Tarihi: 11.02.2022

## 1. GİRİŞ

MSC Nastran ile Lineer Statik Analiz (SOL101) problemleri çözümlenirken bazı kabuller yapılmaktadır, ve bu kabuller sağlanamaz ise hata mesajı ile karşılaşılmaması olasıdır. Bu kabullerden bazılarını, yapı üzerine etkiyen kuvvet ve momentlerinin toplamının yani net kuvvetin sıfır olması ve yapının herhangi bir yönde mekanizma davranışı, diğer bir ifade ile katı cisim hareketi göstermemesi şeklinde açıklayabiliriz. Mekanizma davranışı sonucu, oluşturulan katılık matrisi (Stiffness Matrix) tekil (Singular Matrix) bir yapıda olup, Lineer Statik Analiz çözümüne engel olmaktadır. Bu durum herhangi bir şekilde üzerinde kısıtlama (Constraint) bulundurmeyen ve yapı üzerindeki net kuvvetin sıfıra eşit olmadığı, diğer bir ifade ile katı cisim hareketinin gözlemlendiği modellere Lineer Statik Analiz uygulanmasını engellemektedir. Bu yapılara örnek olarak bir roketin itki kuvveti ile ivmelenmesi, bir uçağın kanatlarına etki eden aerodinamik kuvvetler sonucu irtifa kazanması, veya yörüngede bulunan bir uydu verilebilir. Bu tipteki yapılarda herhangi bir kısıt, diğer bir ifade ile reaksiyon kuvveti oluşacak bir sabitleme bulunmamaktadır.

MSC Nastran ile bu gibi problemler “Atalet Salınımı” (Inertia Relief) metoduyla Lineer Statik Analiz çözümüne uygun hale getirilebilmektedir. Atalet salınımı metodu ile yapı üzerine etkiyen kuvvetler, sonlu eleman modelinde bulunan node'lara ivme uygulanarak dengelenir, bunun sonucunda yapı üzerindeki net kuvvet sıfıra eşitlenmektedir. Daha sonra belirlenen referans node'a göre sırasıyla deplasman, gerinim ve gerilim hesaplamaları gerçekleştirilmektedir. Unutulmamalıdır ki atalet salınımı metodunu uygulayabilmek için yapının sahip olduğu serbestlik derecesi yönlerinde, modeli oluşturan nodeların kütle ve atalet momenti tanımlarının yapılması gerekmektedir. Bu durum genel olarak malzeme kartlarına yoğunluk (RHO) tanımı yapılarak sağlanabilir. Atalet salınımı metodunu çağırmak için üç farklı yöntem bulunmaktadır, herbir yöntemin kullanımı arasında küçük farklar bulunmaktadır.

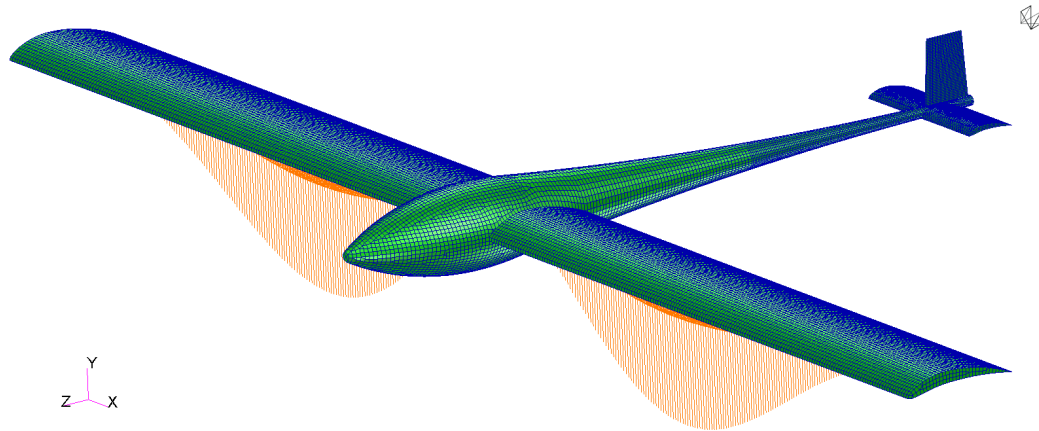
## 2. ATALET SALINIMI YÖNTEMLERİ ve UYGULAMASI

Üç boyutlu katı bir model 6 serbestlik derecesine sahiptir, mekanizmalar ise daha fazla serbestlik derecesine sahip olabilir. Kullanılacak olan atalet salınımı yöntemi yapının serbestlik derecesi ile doğrudan ilişkilidir. Atalet salınımını çağırmak için bdf dosyası içerisinde bulunan bulk data bölümüne “PARAM,INREL,x” satırı eklenmelidir. Kullanılacak yöntem göre “x” yerine “-1”, “-2” veya “-4” yazılmalıdır.

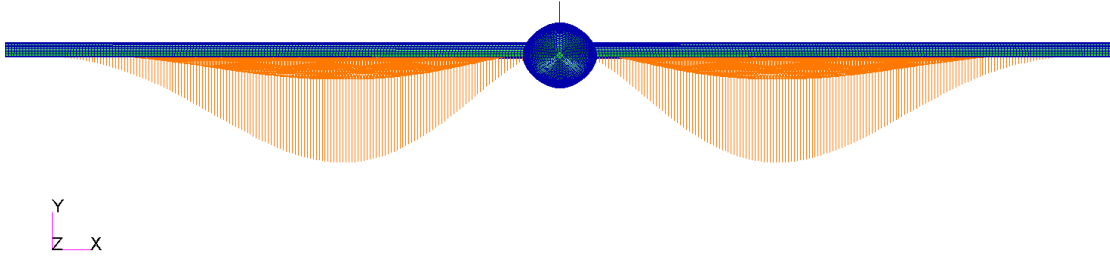
- “PARAM,INREL,-1” ifadesi atalet salınımı işlemi manuel olarak yapmayı sağlamakta ve incelenen yapının serbestlik derecesi 6’dan küçük ve 6’ya eşit ise kullanılabilir.
- “PARAM,INREL,-2” otomatik atalet salınımı olarak tanımlanabilir ve incelenen yapının serbestlik derecesi 6’ya eşit ise kullanılabilir.
- “PARAM,INREL,-4” atalet salınımını manuel olarak yapmayı sağlarken herhangi bir serbestlik derecesi sınırı bulunmamaktadır. Bu yöntem ile beraber serbestlik derecesi 6’dan fazla olan mekanizmalara ve yapılara atalet salınımı metodu uygulanabilir.

### 2.1. SONLU ELEMAN MODELİ

Atalet salınımı kullanımını örneklemek amacıyla bir planör geometrisinin sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Görsel 1’de görüldüğü üzere model sadelik amacıyla sadece 2 boyutlu elemanlar ile oluşturulup malzeme ve kalınlık bilgileri tanımlanmıştır. Kanat kesitinin alt ve üst yüzelerindeki basınç farkı node’lara uygulanan ve kanat boyunca büyüklüğü değişen kuvvetler ile modellenmekte, ve model üzerinde herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır.



Görsel 1 – Sonlu Eleman Modeli



Görsel 2 – Kanatların Alt Yüzeyindeki Node'lara Uygulanan Kuvvetler

## 2.2. PARAM,INREL,-1

Atalet salınımlarını manuel olarak tanımlamak için “PARAM,INREL,-1” ifadesi bulk data bölümüne eklenmelidir. Bunun yanısıra katı cisim hareketini ortadan kaldırmak için SUPORT kartı da bulk data bölümünde yer almalıdır. SUPORT kartına ait Nastran girdisinin detayları Görsel 3’de bulunmaktadır.

### **SUPPORT** Fictitious Support

Defines determinate reaction degrees-of-freedom in a free body.

#### **Format:**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SUPPORT	ID1	C1	ID2	C2	ID3	C3	ID4	C4	

#### **Example:**

SUPPORT	16	215							
---------	----	-----	--	--	--	--	--	--	--

Describer	Meaning
IDi	Grid or scalar point identification number. (Integer > 0)
Ci	Component numbers. (Integer 0 or blank for scalar points. Any unique combination of the Integers 1 through 6 for grid points with no embedded blanks.)

Görsel 3 – SUPORT Kartı Tanımı

SUPPORT kartı ile istenilen node'lara hayali kısıtlama (Fictitious Support) tanımlanmakta, ve model üzerindeki nodelerin yer değiştirmeleri SUPPORT kartı ile belirtilen node'lar referans alınarak hesaplanmaktadır. SUPPORT kartının hanelerine Grid Point ID'leri ve uygun serbestlik dereceleri yazılmalıdır. Olası serbestlik derecelerinden bir tanesi dahi eksik belirtildiğinde, katılık matrisi tekil matris şeklinde oluşturulup, modelin çözümü yapılamayacaktır.

Modeli oluşturan elemanların serbestlik dereceleri ile SUPPORT kartına yazılan serbestlik dereceleri uyumlu olmalıdır, aksi takdirde hata mesajı alınması muhtemeldir. Bu duruma örnek olarak bünyesinde sadece üç boyutlu hex elemanlar bulunan bir model verilebilir. Böyle bir modelde rotasyon yönlerini temsil eden 4,5,6 ifadeleri SUPPORT kartında kullanılamaz. Bunun sebebi üç boyutlu hex elemanlara ait node'ların sadece öteleme yönünde(1,2,3) serbestlik derecesine sahip olması ve rotasyon yönlerinde herhangi bir katılığa sahip olmamasından kaynaklanmaktadır.

SUPPORT kartında belirtilecek olan node'lar yapının yüksek katılığa sahip, güçlü ve dengeleyici kısımlarından seçilmesi tavsiye edilmektedir. SUPPORT kartına alternatif olarak SUPPORT1 kartı da kullanılabilir. Bu kartın temel kullanımı birden fazla analiz senaryosuna sahip bir analiz setinde, analiz senaryosuna özel olarak Rigid Body Support tanımlamasına yöneliktir, bu kartı kullanabilmek için bdf dosyası içerisinde bulunan case control bölümünde SUPPORT1 case control komutu da eklenmelidir. SUPPORT1 kartının detayları Görsel 4'te belirtilmektedir.

#### **SUPPORT1** Fictitious Support, Alternate Form

Defines determinate reaction degrees-of-freedom (r-set) in a free body-analysis. SUPPORT1 must be requested by the SUPPORT1 Case Control command.

#### **Format:**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SUPPORT1	SID	ID1	C1	ID2	C2	ID3	C3		
	ID4	C4	-etc.-						

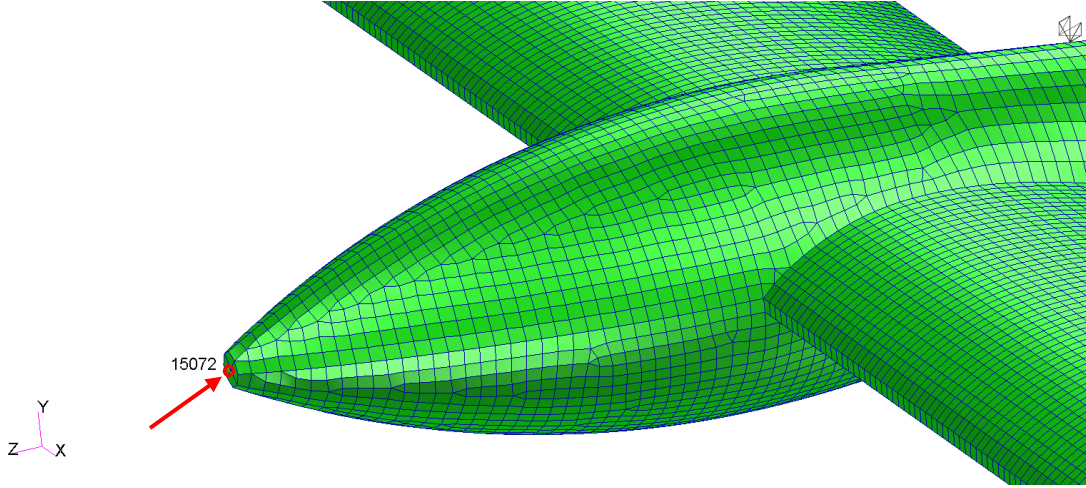
#### **Example:**

SUPPORT1	5	16	215						
----------	---	----	-----	--	--	--	--	--	--

Describer	Meaning
SID	Identification number of the support set. See Remark 1. (Integer > 0)
IDI	Grid or scalar point identification number. (Integer > 0)
CI	Component numbers. (Integer 0 or blank for scalar points. Any unique combination of the Integers 1 through 6 for grid points with no embedded blanks.)

Görsel 4 – SUPPORT1 Kartı Tanımı

Örnek sonlu eleman modelinde, Görsel 5'te belirtilen 15072 numaralı node SUPORT kartında tanımlanmış ve 6 yöndeki serbestlik dereceleri "123456" ifadesi ile belirtilmiştir. "123" X,Y ve Z yönlerindeki ötelemeyi; "456" ise X,Y, ve Z yönlerindeki rotasyon serbetlik derecelerini temsil etmektedir. Görsel 6'da planör modeline ait bdf dosyalarına işlenmiş "PARAM,INREL,-1", SUPORT ve SUPORT1 ifadeleri görülmektedir. SUPORT VE SUPORT1 kartlarının kullanımına yönelik iki adet bdf örneği gösterilmektedir. İki kartın kullanımı arasında analiz sonuçlarını etkileyen herhangi bir fark bulunmamaktadır. SUPORT1 kartında belirtilen support setine "999" numaralı ID atandığına ve "SUPORT1=999" ifadesinin case control bölümüne eklendiğine dikkat edilmelidir.



Görsel 5 – SUPORT Kartında Tanımlanacak Olan Node

```
SOL 101
CEND
ECHO = NONE
SUBCASE 1
$ Subcase name : INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  SUBTITLE=INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  LOAD = 2
  DISPLACEMENT(SORT1,REAL)=ALL
  SPCFORCES(SORT1,REAL)=ALL
  STRESS(SORT1,REAL,VONMISES,BILIN)=ALL
BEGIN BULK
MDLPRM   HDF5   0
PARAM    WTMASS 1.
PARAM    PRTMAXIM YES
PARAM,INREL,-1
SUPORT,15072,123456
```

```
SOL 101
CEND
ECHO = NONE
SUBCASE 1
$ Subcase name : INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  SUBTITLE=INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  LOAD = 2
  DISPLACEMENT(SORT1,REAL)=ALL
  SPCFORCES(SORT1,REAL)=ALL
  STRESS(SORT1,REAL,VONMISES,BILIN)=ALL
  SUPORT1=999
BEGIN BULK
MDLPRM   HDF5   0
PARAM    WTMASS 1.
PARAM    PRTMAXIM YES
PARAM,INREL,-1
SUPORT1,999,15072,123456
```

Görsel 6 – "PARAM,INREL,-1" Yöntemi için Bdf'e Eklenen Satırlar

### 2.3. PARAM,INREL,-2

Atalet salımını otomatik olarak uygulayabilmek için sadece “PARAM,INREL,-2” ifadesinin bulk data bölümüne eklenmesi yeterlidir, SUPORT kartının oluşturulmasına gerek duyulmamaktadır. “PARAM,INREL,-2” ifadesi ile otomatik atalet salımını uygulayabilmek için yapının sadece 6 serbestlik derecesine sahip olması gerekir, bu gibi durumlarda “PARAM,INREL,-2” en kararlı yöntem olmakla beraber kullanımı tavsiye edilmektedir. Planör modeline ait bdf’e eklenen “PARAM,INREL,-2” ifadesi Görsel 7’de görülmektedir.

```
SOL 101
CEND
ECHO = NONE
SUBCASE 1
$ Subcase name : INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  SUBTITLE=INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  LOAD = 2
  DISPLACEMENT(SORT1, REAL)=ALL
  SPCFORCES(SORT1, REAL)=ALL
  STRESS(SORT1, REAL, VONMISES, BILIN)=ALL
BEGIN BULK
MDLPRM   HDF5      0
PARAM    WTMASS    1.
PARAM    PRTMAXIM  YES
PARAM    INREL, -2
```

Görsel 7 – “PARAM,INREL,-2” Yöntemi Bdf’e Eklenen Satır

### 2.4. PARAM,INREL,-4

Yapının sahip olduğu serbestlik derecesinden etkilenmeyecek şekilde atalet salımını çağırarak için “PARAM,INREL,-4” ifadesi bulk data bölümüne eklenerek kullanılabilir. “PARAM,INREL,-1” ve “PARAM,INREL,-2” ile atalet salımını uygulamaya karşı işlemci kullanımı artmaktadır; fakat serbestlik derecesi 6’dan büyük olan modellerde kullanılabilen tek seçenek durumundadır. SUPORT veya SUPORT1 kartlarının “PARAM,INREL,-1” ifadesinde olduğu gibi bulk data bölümüne eklenmesi, belirlenen node’ların ve uygun serbestlik derecelerinin kart içerisinde belirtilmesi gerekmektedir. Kullanımı “PARAM,INREL,-1” ifadesi ile aynı olduğundan, ve genelde serbestlik derecesi 6’dan büyük olan modellerde kullanıldığından dolayı örnek model üzerinde analizine gerek duyulmamıştır.

```
SOL 101
CEND
ECHO = NONE
SUBCASE 1
$ Subcase name : INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  SUBTITLE=INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  LOAD = 2
  DISPLACEMENT(SORT1,REAL)=ALL
  SPCFORCES(SORT1,REAL)=ALL
  STRESS(SORT1,REAL,VONMISES,BILIN)=ALL
BEGIN BULK
MDLPRM   HDF5   0
PARAM    WTMASS 1.
PARAM    PRTMAXIM YES
PARAM, INREL, -4
SUPORT, 15072, 123456

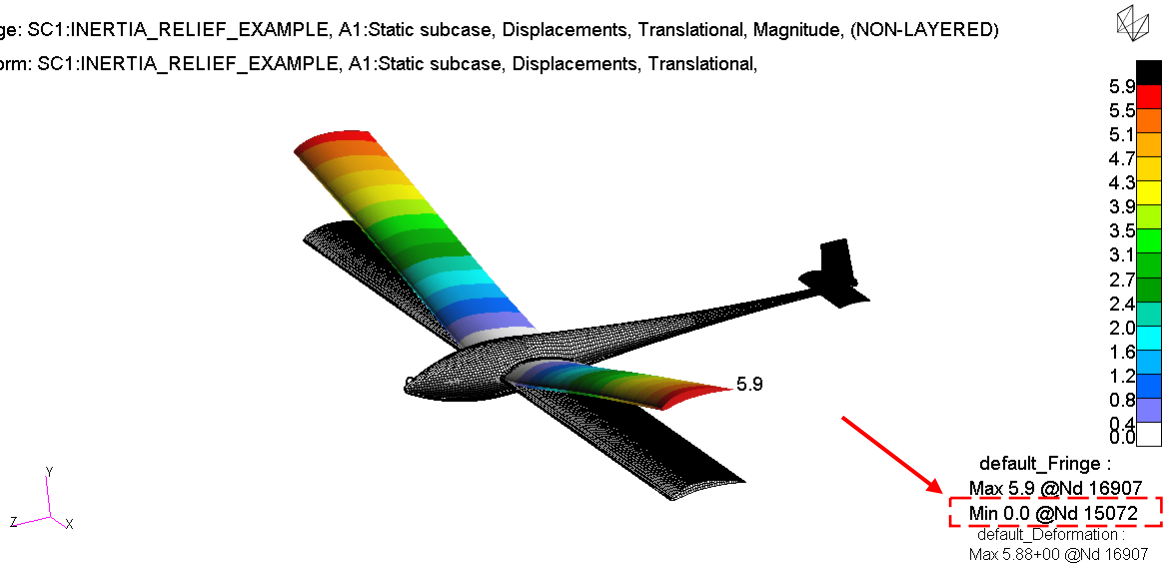
SOL 101
CEND
ECHO = NONE
SUBCASE 1
$ Subcase name : INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  SUBTITLE=INERTIA_RELIEF_EXAMPLE
  LOAD = 2
  DISPLACEMENT(SORT1,REAL)=ALL
  SPCFORCES(SORT1,REAL)=ALL
  STRESS(SORT1,REAL,VONMISES,BILIN)=ALL
  SUPORT1=999
BEGIN BULK
MDLPRM   HDF5   0
PARAM    WTMASS 1.
PARAM    PRTMAXIM YES
PARAM, INREL, -4
SUPORT1, 999, 15072, 123456
```

Görsel 8 – “PARAM,INREL,-4” Yöntemi için Bdf'e Eklenen Satırlar

### 3. ANALİZ SONUÇLARI

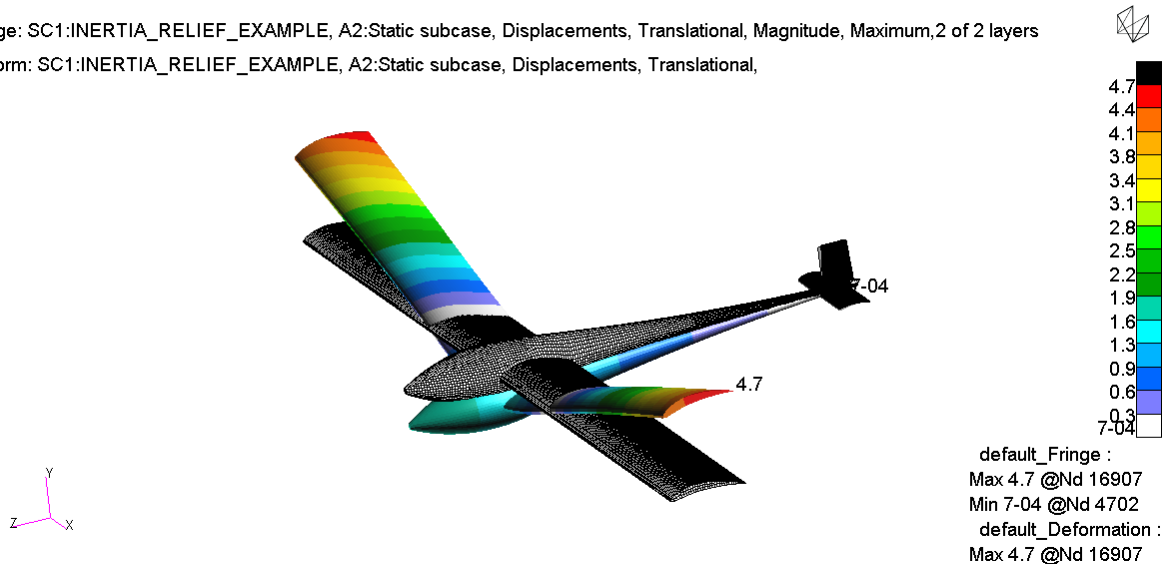
“PARAM,INREL,-1” ve “PARAM,INREL,-2” yöntemleri ile oluşturulan ile oluşturulan lineer statik analizlere ait deplasman ve Von Mises gerilimi sonuçları aşağıdaki görsellerde görülmektedir. Deplasman sonuçları incelendiğinde ilk göze çarpan durum sonuçların aynı olmamasıdır. Bunun sebebi “PARAM,INREL,-1” ifadesi bulunan ile beraber SUPORT kartına node tanımlaması yapılmasından kaynaklanır. Görsel 9’da görüldüğü üzere SUPORT kartında belirtilen node’un (GRID 15072) deplasman değerinin sıfır olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki yer değiştirme hesaplaması SUPORT kartında belirtilen node referans alınarak yapılmaktadır. Buna kanıt olarak iki analizin Von Mises gerilim sonuçları gösterilebilir. Görsel 11 ve 12’de görüleceği üzere gerilim sonuçları birebir olarak aynı gözükmemektedir. Bu durumun sebebi gerilim sonuçları hesaplanırken node’lar arasındaki yer değiştirmenin aynı olması ile açıklanabilir.

Fringe: SC1:INERTIA\_RELIEF\_EXAMPLE, A1:Static subcase, Displacements, Translational, Magnitude, (NON-LAYERED)  
 Deform: SC1:INERTIA\_RELIEF\_EXAMPLE, A1:Static subcase, Displacements, Translational,



Görsel 9 – "PARAM,INREL,-1" Deplasman Sonucu

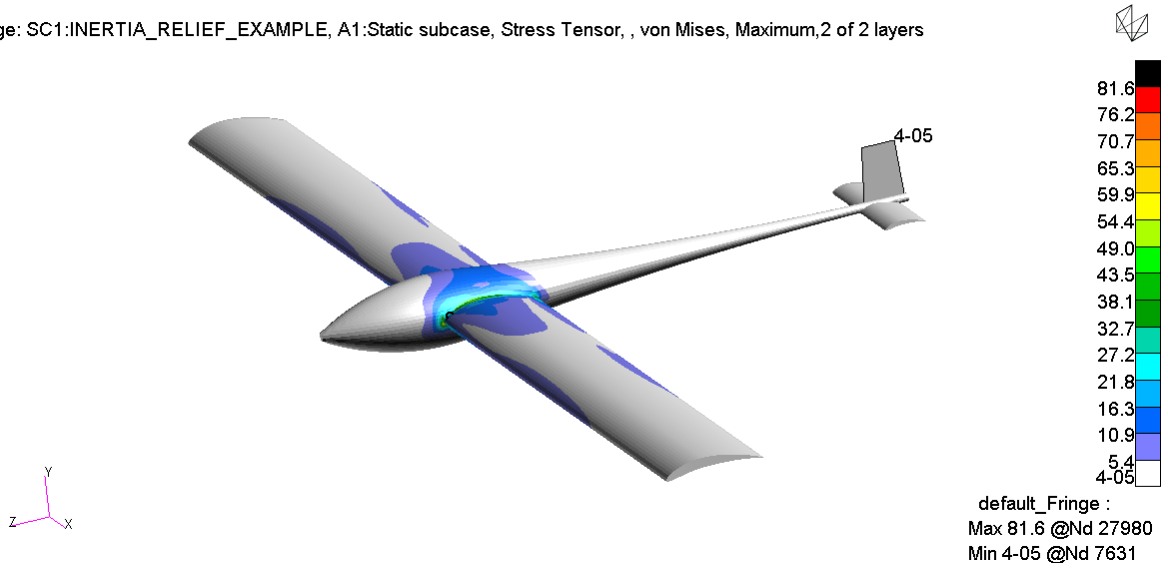
Fringe: SC1:INERTIA\_RELIEF\_EXAMPLE, A2:Static subcase, Displacements, Translational, Magnitude, Maximum,2 of 2 layers  
 Deform: SC1:INERTIA\_RELIEF\_EXAMPLE, A2:Static subcase, Displacements, Translational,



Görsel 10 – "PARAM,INREL,-2" Deplasman Sonucu

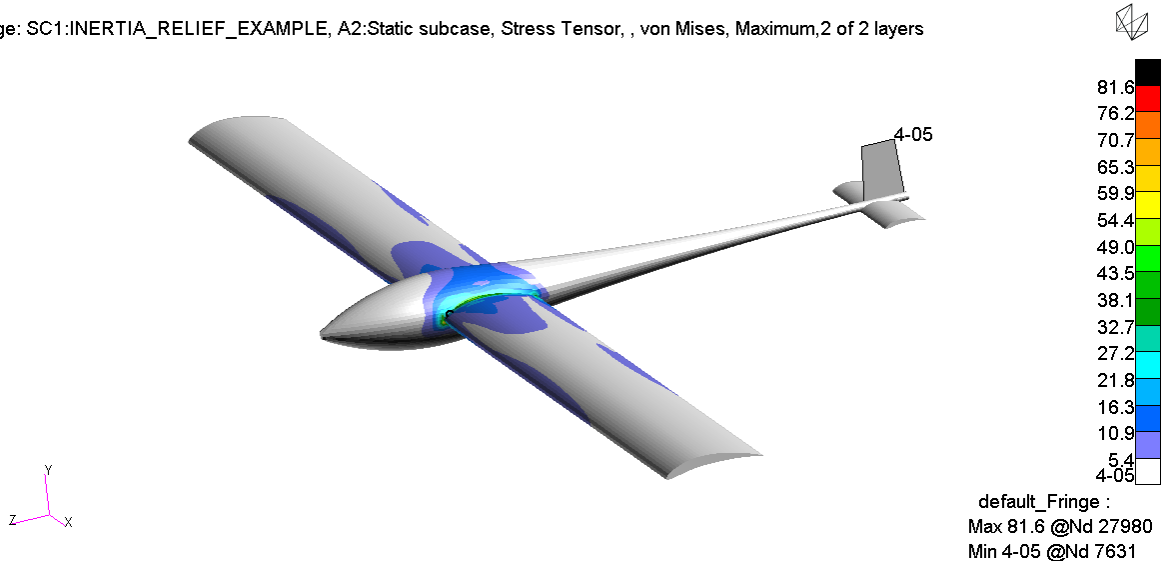


Fringe: SC1:INERTIA\_RELIEF\_EXAMPLE, A1:Static subcase, Stress Tensor, , von Mises, Maximum,2 of 2 layers



Görsel 11 – “PARAM,INREL,-1” Von Mises Gerilimi

Fringe: SC1:INERTIA\_RELIEF\_EXAMPLE, A2:Static subcase, Stress Tensor, , von Mises, Maximum,2 of 2 layers



Görsel 12 – “PARAM,INREL,-2” Von Mises Gerilimi

#### 4. KAYNAKÇA

- I. MSC Nastran 2021.3 Quick Reference Guide
- II. MSC Nastran 2021.3 Linear Static Analysis User's Guide