

HAVA TAŞITLARINA UYGULANAN GÜÇLENDİRİLMİŞ, SİLİNDİRİK BİR DIŞ DEPONUN YAPISAL ANALİZİ

Caner TAŞ

ASELSAN, MST Mekanik Tasarım Müdürlüğü, Macunköy 06370, ANKARA,
tas@aselsan.com.tr

Yavuz YAMAN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ANKARA,
yyaman@metu.edu.tr

Altan KAYRAN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ANKARA,
akayran@metu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, hava taşıtlarına uygulanan güçlendirilmiş bir dış deponun yapısal özellikleri I-DEAS® CAD/CAM/FEM programı kullanılarak araştırılmıştır. Dış deponun üç boyutlu katı modeli yaratılmış ve iki boyutlu ince kabuk elemanlar ve üç boyutlu katı elemanlar kullanılarak sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Uygun sınır şartları atandıktan sonra, güçlendirmenin ve yüklemenin dış deponun yapısal davranışına olan etkisini araştırmak amacıyla değişik konfigürasyonlara sahip dış depolar üzerinde dinamik ve statik analizler yapılmıştır. Sonuçlar dinamik analizler için doğal frekanslar ve bunlara karşılık gelen titreşim biçimleri, statik analizler için yerdeğiştirmeler, Von Mises gerilmeleri ve Von Mises gerinimleri şeklinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi, gerilme analizi, doğal frekans, titreşim biçimi, silindirik dış depo

STRUCTURAL ANALYSIS OF AN AIRBORNE, STIFFENED, CYLINDRICAL EXTERNAL STORE

ABSTRACT

In this study, the structural characteristics of an airborne, stiffened cylindrical external store are investigated by using a CAD/CAM/FEM program called I-DEAS®. The three-dimensional solid model of the external store is modeled and a mesh is generated by using two-dimensional thin shell elements and three dimensional solid elements. After assigning the appropriate boundary conditions, the dynamic and static analyses are performed on different configurations in order to find the effects of stiffening and the loading on the structural characteristics of the external store. The results are presented in terms of the natural frequencies and the corresponding mode shapes for the dynamic analysis and the displacements, Von Mises stresses and Von Mises strains for the static analysis.

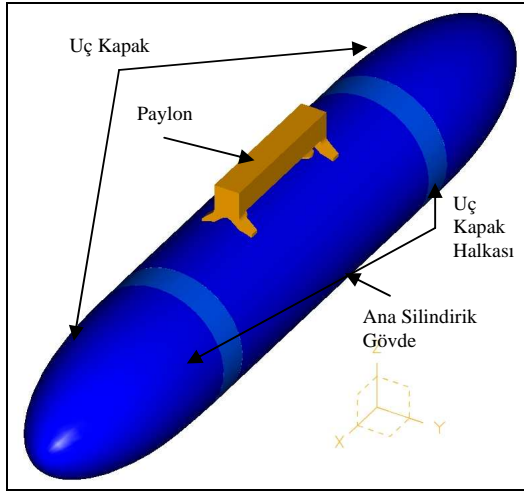
Keywords: 3-D FEM, stress analysis, natural frequency, mode shape, cylindrical external store

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, hava taşıtlarına uygulanan, güçlendirilmiş bir dış deponun yapısal özellikleri I-DEAS® isimli CAD/CAM/FEM programı kullanılarak araştırılmıştır.

İncelenen dış depo silindirik bir ana gövde ve birbiriyle aynı iki uç kapaktan oluşmaktadır. Uç

kapaklar ana silindirik yapıya uç kapak halkaları yardımıyla monte edilmektedir. Deponun dış yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Dış depo, uçağa birbirinin aynı iki adet üst destek yardımıyla paylon üzerinden bağlanmaktadır. Bu destekler aynı zamanda alt destekler yardımıyla faydalı yüklerin yerleştirildiği şasiyi de taşımaktadır.

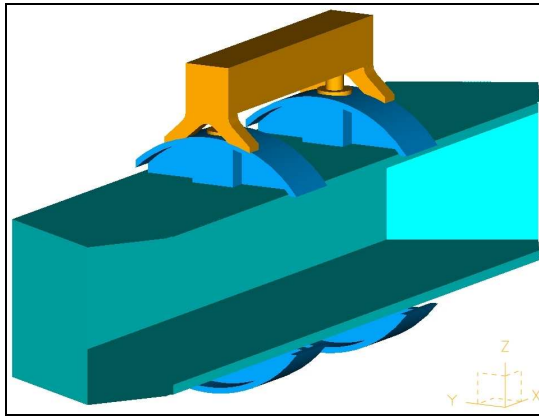


Şekil 1. Dış deponun genel görünümü

2. KATI MODELLEME

Dış deponun katı modellemesine öncelikle ana silindirik gövdenin modellemesiyle başlanmıştır [1]. Uç kapaklar ve uç kapakların halkalarının modellenmesiyle deponun dış yapısının katı modeli Şekil 1’de görünen şekliyle elde edilmiştir.

Dış deponun iç yapısının katı modellemesine üst ve alt desteklerin modellenmesiyle başlanmıştır. Yararlı yüklerin yerleştirildiği yer olan şasinin katı modelinin oluşturulmasının ardından, dış depoyu uçağa bağlayan paylon ve bağlantı elemanları modellenmiştir. Dış deponun iç yapısı Şekil 2’de verilmiştir.



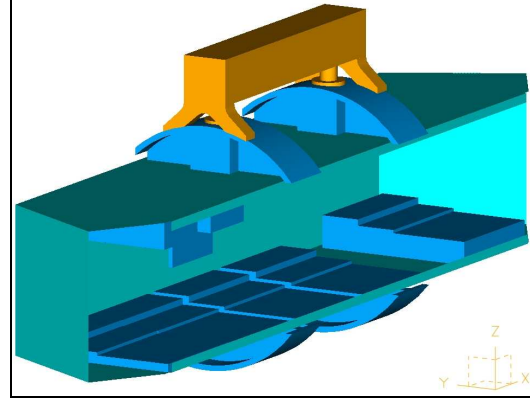
Şekil 2. Boş dış deponun iç yapısı

Bu çalışmada dış deponun, yararlı yük taşıma ve yapısının güçlendirilmiş olma durumları da incelenmiştir. Böylece tüm analizler dört farklı konfigürasyon için gerçekleştirilmiştir. Bu konfigürasyonlar:

1. Boş depo
2. Yararlı yük taşıyan depo
3. Yapısal olarak güçlendirilmiş boş depo
4. Yapısal olarak güçlendirilmiş ve yararlı yük taşıyan depo

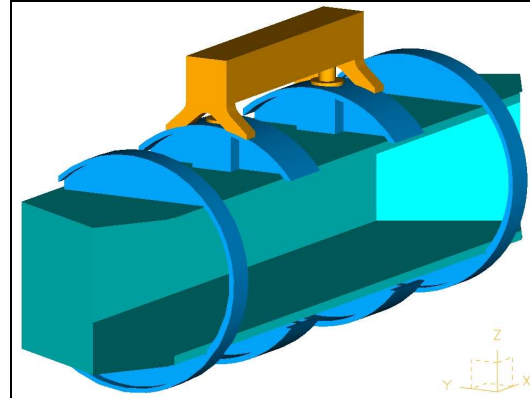
olarak tanımlanmışlardır.

Yararlı yüklerin modellenmesinin ardından, yararlı yük taşıyan dış depo konfigürasyonu oluşturulmuştur. Bu konfigürasyona sahip deponun iç yapısı Şekil 3’te verilmektedir.

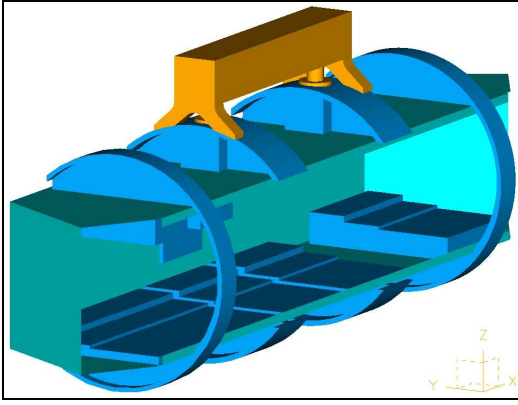


Şekil 3. Yararlı yük taşıyan dış deponun iç yapısı

Güçlendiricilerin katı modellerinin oluşturulmasının ardından, güçlendirilmiş boş dış depo ve yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış depo katı modelleri de oluşturulmuştur. Bu konfigürasyonlar sırasıyla Şekiller 4-5’te verilmiştir.



Şekil 4. Yapısal olarak güçlendirilmiş, boş dış deponun iç yapısı



Şekil 5. Yapısal olarak güçlendirilmiş ve yararlı yük taşıyan dış deponun iç yapısı

3. DIŞ DEPONUN SONLU ELEMANLAR MODELİ

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması sırasında, ağ yapısı oluşturulmuş ve I-DEAS® programının ağ yapısı kontrol rutinleri kullanılarak kontrol edilmiştir [2].

Dış deponun sonlu elemanlar modeli oluşturulurken iki çeşit eleman kullanılmıştır. Ana silindirik gövdede, uç kapaklarda, uç kapaklarının halkalarında ve şaside parabolik dört kenarlı ince kabuk elemanlar kullanılmıştır. Destekler, yararlı yükler, paylon ve mekanik bağlantı elemanlarında ise parabolik dört yüzlü elemanlar kullanılmıştır.

I-DEAS® programı serbest ağ yapısı ve planlı ağ yapısı olmak üzere iki çeşit ağ yapısı oluşturmaya olanak tanımaktadır. Planlı ağ yapısının, yüzeyler, bölmeler ve hacimlerde kullanılabilmesine karşın, delikler içeren, karmaşık geometrilere kullanılamaması nedeniyle sonlu eleman modelinde serbest ağ yapısı tercih edilmiştir. Tablo 1’de dış depoyu oluşturan parçalarda kaç adet sonlu eleman kullanıldığı gösterilmektedir.

Tablo 1. Dış depoyu oluşturan parçalarda kullanılan eleman sayıları

Parça	Eleman sayısı
Ana silindirik yapı	1193
Ön uç kapak	636
Arka uç kapak	658
Ön kapak halkası	121
Arka kapak halkası	136
Ön üst destek	410

Arka üst destek	404
Alt ön destek	317
Alt arka destek	316
Şasi	1361
Paylon	791
Ön bağlantı kulakçığı	109
Arka bağlantı kulakçığı	111
Yararlı yükler	2126
Üst ön güçlendirici	400
Üst arka güçlendirici	392
Alt ön güçlendirici	400
Alt arka güçlendirici	393

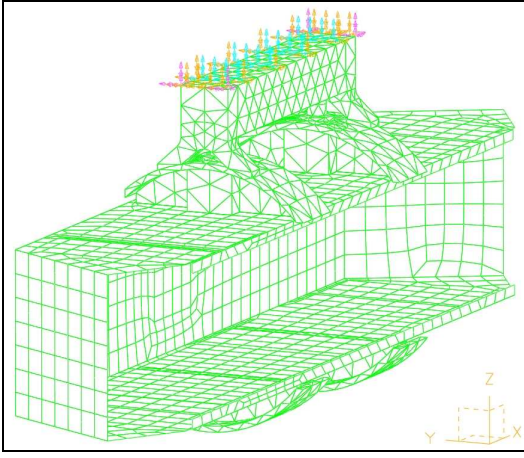
Malzeme özellikleri sonlu eleman ağına atanmıştır. Tipik bir çelik alaşımı malzeme özellikleri atanan bağlantı kulakçığı elemanları haricinde, tüm elemanlara tipik bir alüminyum alaşım malzeme özellikleri atanmıştır.

Analizlerin yapıldığı dört farklı konfigürasyonun toplam eleman sayıları Tablo 2’de, bu konfigürasyonların sonlu eleman modelleri ise Şekiller 6-9 da verilmiştir.

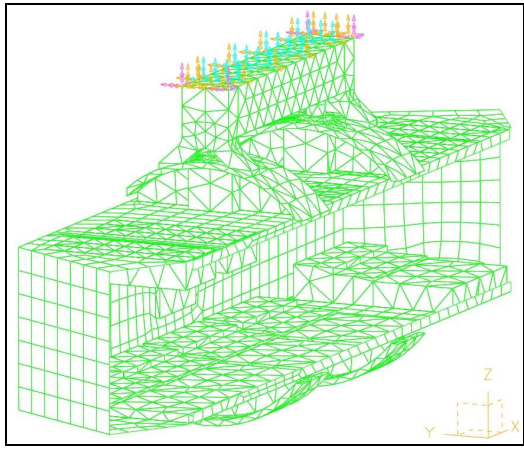
Dış depo, uçağa paylonun üst kısmından sıkıca bağlanmaktadır. Bu bağlantı şekli nedeniyle sonlu eleman modelinde paylonun üst yüzeyindeki tüm elemanların tüm hareket serbestlikleri tüm yönlerde kısıtlanmıştır.

Tablo 2. Farklı konfigürasyonlar için toplam sonlu eleman sayıları.

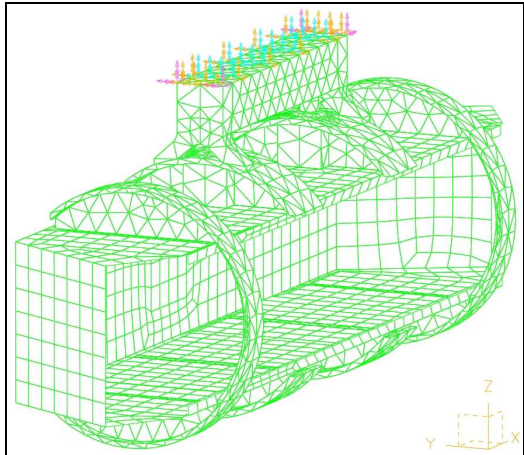
Konfigürasyon	Toplam eleman sayısı
Boş dış depo	8689
Yararlı yük taşıyan dış depo	6563
Güçlendirilmiş, boş dış depo	8148
Güçlendirilmiş, yararlı yük taşıyan dış depo	10274



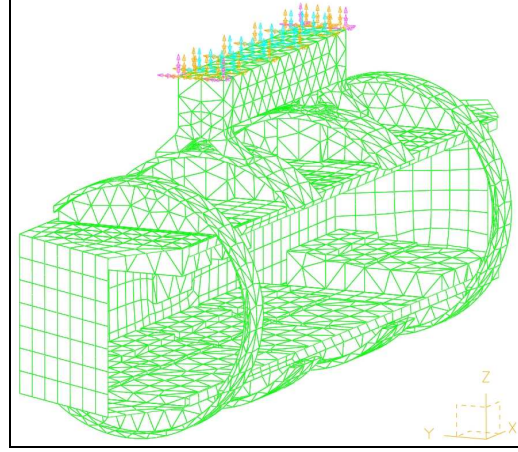
Şekil 6. Boş dış deponun iç yapısının sonlu eleman modeli



Şekil 7. Yararlı yük taşıyan dış deponun iç yapısının sonlu eleman modeli



Şekil 8 Güçlendirilmiş boş dış deponun iç yapısının sonlu eleman modeli



Şekil 9 Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun iç yapısının sonlu eleman modeli

4. DIŞ DEPONUN DİNAMİK ANALİZLERİ

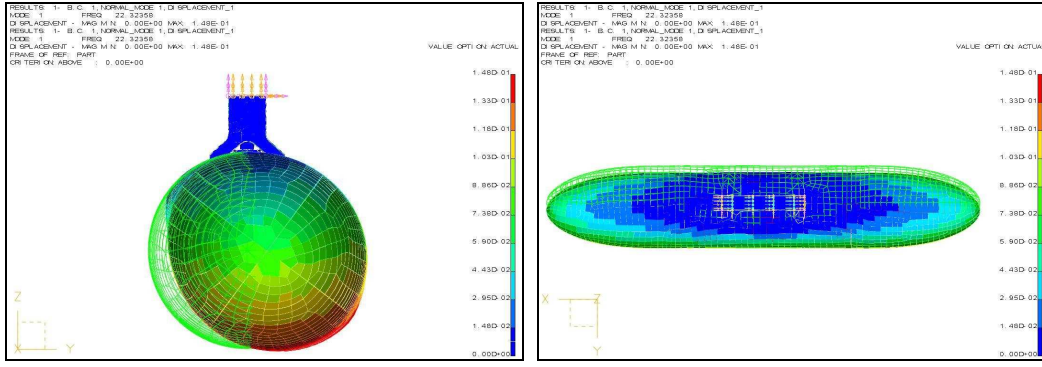
Dış deponun incelenen dinamik özellikleri doğal frekanslar ve bu doğal frekanslara ait titreşim biçimleridir. Dış deponun dinamik analizleri Lanczos metodu kullanılarak dört farklı konfigürasyon için de yapılmıştır [2].

4.1. Boş Dış Deponun Dinamik Analizleri

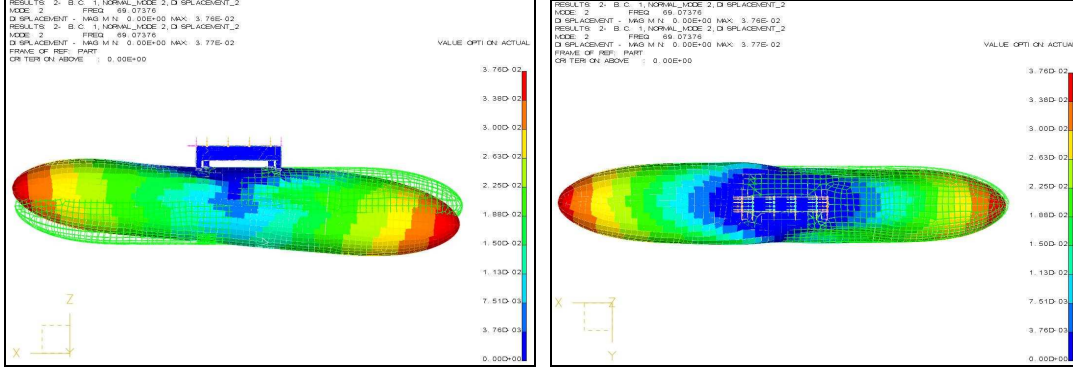
Dış deponun dinamik analizi sonucunda, doğal frekanslar ve bunlara karşılık gelen titreşim biçimleri elde edilmiştir. Dış deponun doğal frekansları Tablo 3'te, bu doğal frekanslara karşılık gelen titreşim şekilleri ise Şekiller 10-13 de verilmiştir.

Tablo 3. Boş dış deponun doğal frekansları

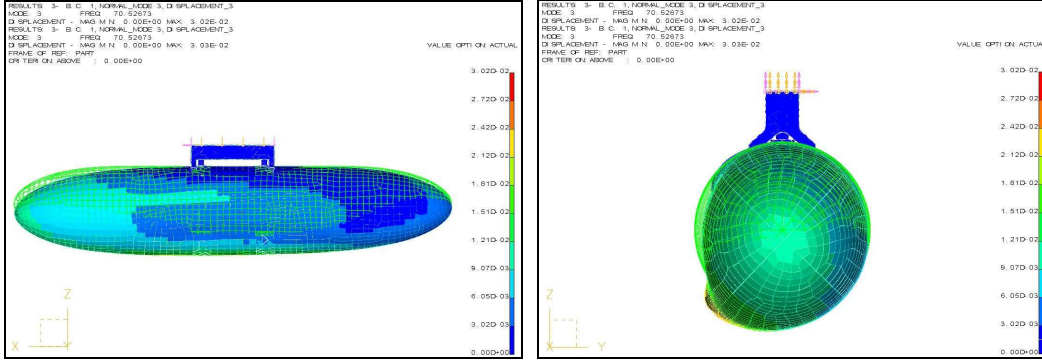
Titreşim Biçimi	Doğal Frekans (Hz)
1	22.3
2	69.1
3	70.5
4	74.2



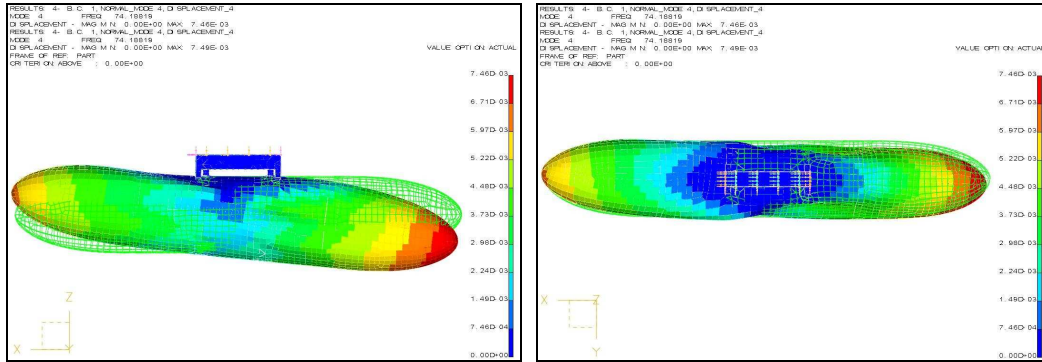
Şekil 10. Boş dış deponun birinci titreşim biçimi



Şekil 11. Boş dış deponun ikinci titreşim biçimi



Şekil 12. Boş dış deponun üçüncü titreşim biçimi



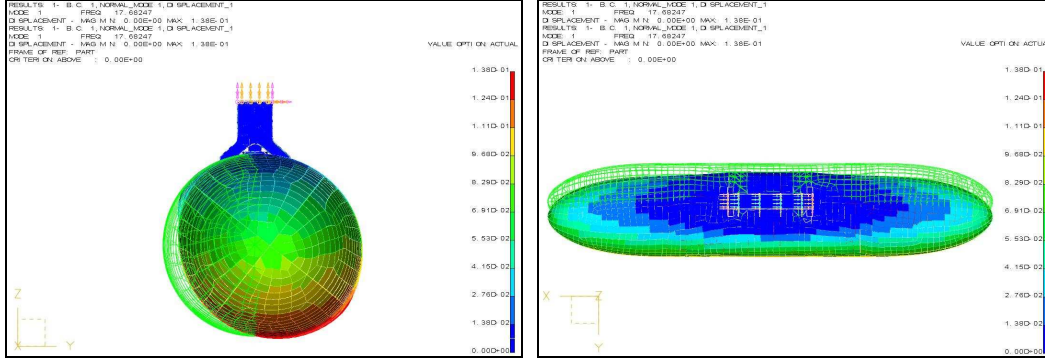
Şekil 13. Boş dış deponun dördüncü titreşim biçimi

4.2. Yararlı Yük Taşıyan Dış Deponun Dinamik Analizleri

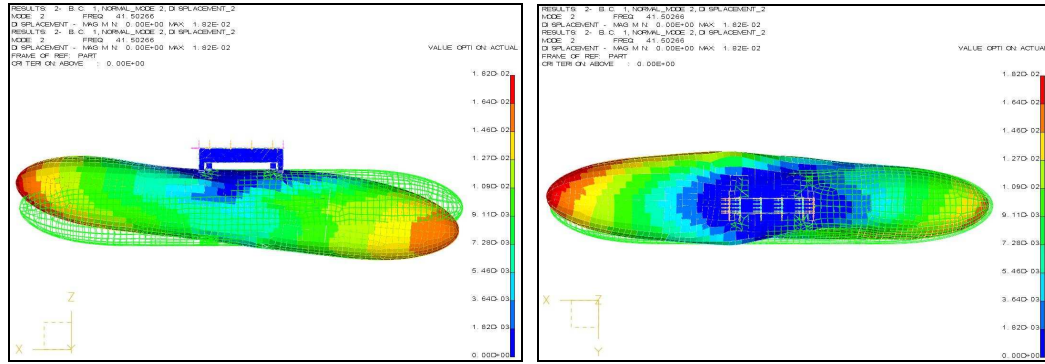
Yararlı yük taşıyan dış deponun doğal frekansları Tablo 4'te, bu doğal frekanslara karşılık gelen titreşim biçimleri ise Şekiller 14-17'de verilmiştir.

Tablo 4. Yararlı yük taşıyan dış deponun doğal frekansları

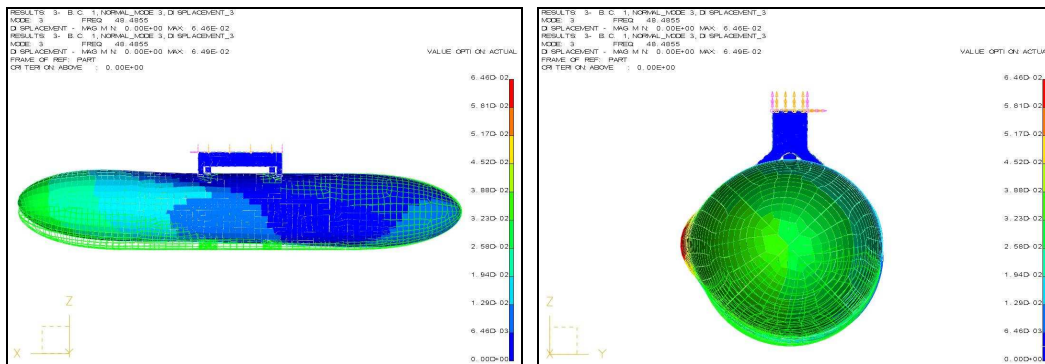
Titreşim Biçimi	Doğal Frekans (Hz)
1	17.7
2	41.5
3	48.5
4	61.2



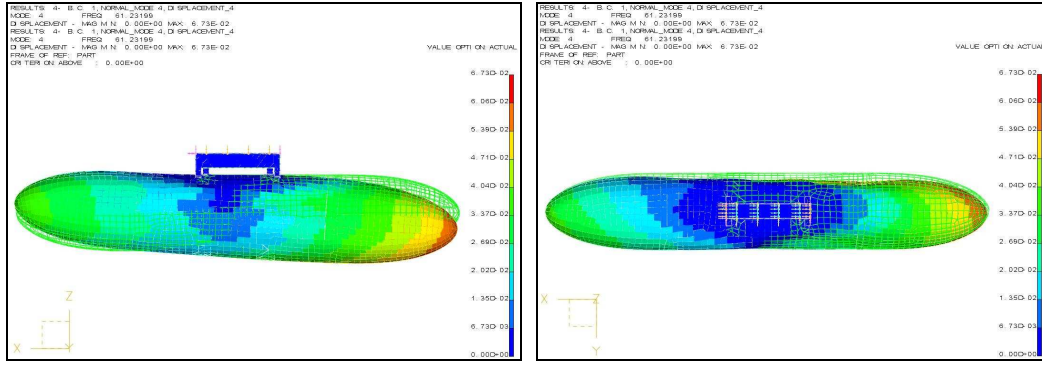
Şekil 14. Yararlı yük taşıyan dış deponun birinci titreşim biçimi



Şekil 15. Yararlı yük taşıyan dış deponun ikinci titreşim biçimi



Şekil 16. Yararlı yük taşıyan dış deponun üçüncü titreşim biçimi



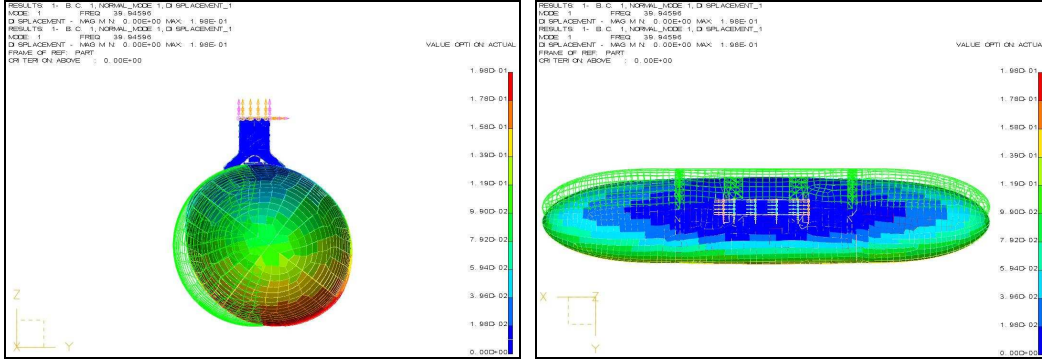
Şekil 17. Yararlı yük taşıyan dış deponun dördüncü titreşim biçimi

4.3. Güçlendirilmiş Boş, Dış Deponun Dinamik Analizleri

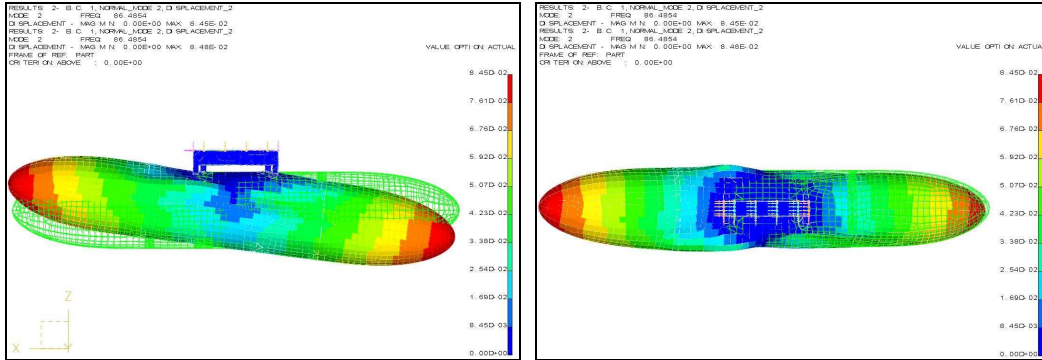
Güçlendirilmiş dış deponun doğal frekansları Tablo 5'te bu doğal frekanslara karşılık gelen titreşim biçimleri ise Şekiller 18-21 de verilmiştir.

Tablo 5. Güçlendirilmiş dış deponun doğal frekansları

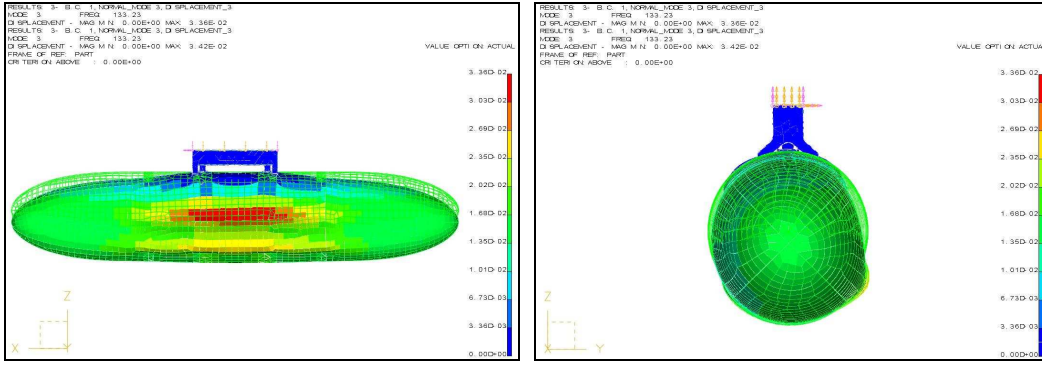
Titreşim Biçimi	Doğal Frekans (Hz)
1	39.9
2	86.5
3	133.2
4	140.1



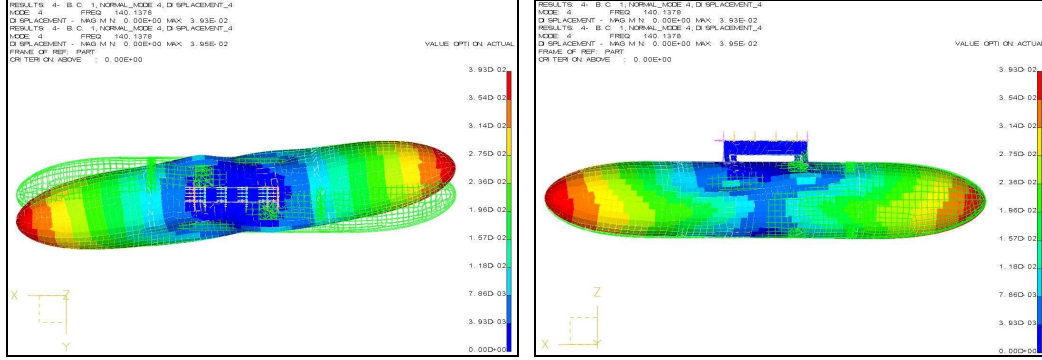
Şekil 18. Güçlendirilmiş boş dış deponun birinci titreşim biçimi



Şekil 19. Güçlendirilmiş boş dış deponun ikinci titreşim biçimi



Şekil 20. Güçlendirilmiş boş dış deponun üçüncü titreşim biçimi



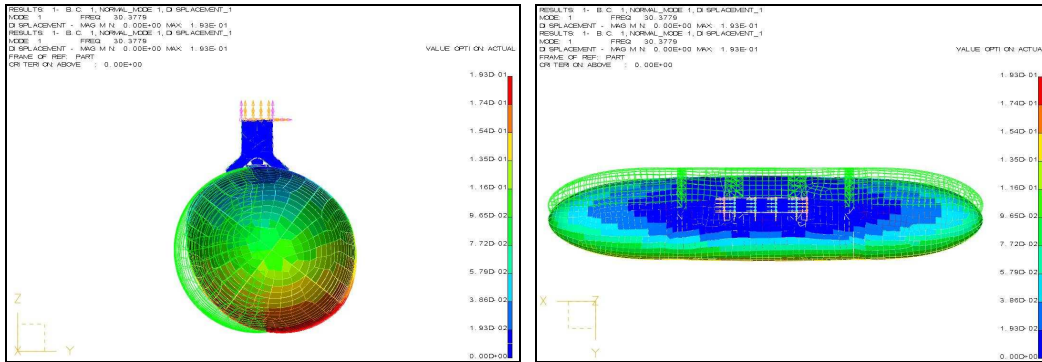
Şekil 21. Güçlendirilmiş boş dış deponun dördüncü titreşim biçimi

4.4. Yararlı Yük Taşıyan Güçlendirilmiş Dış Deponun Dinamik Analizleri

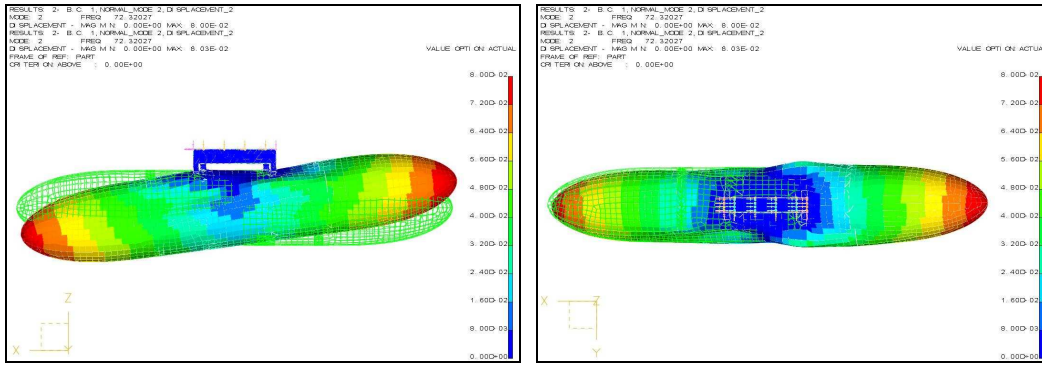
Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun doğal frekansları Tablo 6'da, bu doğal frekanslara ait titreşim biçimleri ise Şekiller 22 - 25'te verilmiştir.

Tablo 6. Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun doğal frekansları

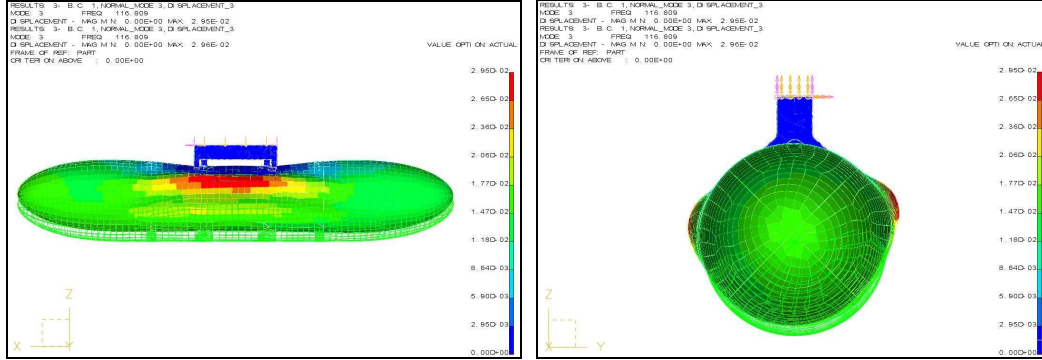
Titreşim Biçimi	Doğal Frekans (Hz)
1	30.4
2	72.3
3	116.8
4	120.2



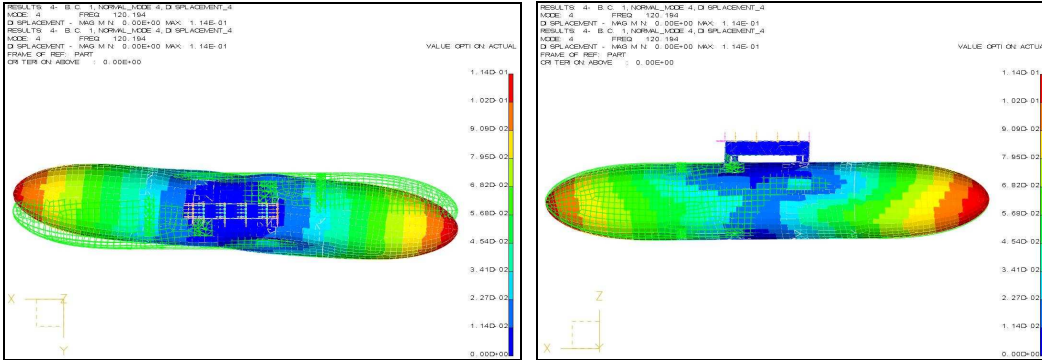
Şekil 22. Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun birinci titreşim biçimi



Şekil 23. Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun ikinci titreşim biçimi



Şekil 24. Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun üçüncü titreşim biçimi



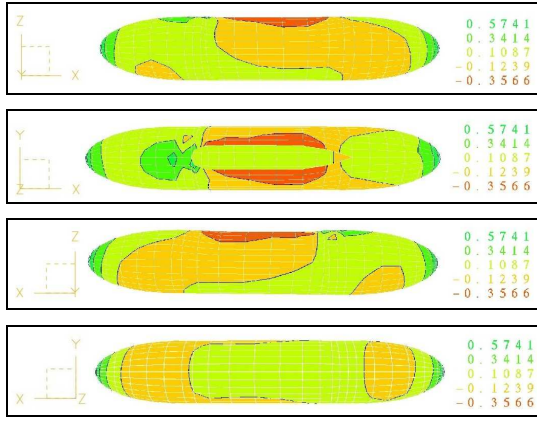
Şekil 25. Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun dördüncü titreşim biçimi

5. DIŞ DEPONUN STATİK ANALİZLERİ

Aerodinamik yüklere maruz kalan dış deponun yerdeğiştirme, Von Mises gerilme ve Von Mises gerinim dağılımları incelenmiştir. Dış depo üzerinde gerçekleştirilen statik analizler, daha önce tanımlanan dört konfigürasyon için de tekrarlanmıştır.

5.1. Dış Deponun Üzerindeki Aerodinamik Yük

Dış depoya etkiyen aerodinamik yük VSAERO® adlı CFD programının [3] sonuçlarından elde edilmiştir. Bu program dış depo üzerindeki basınç sabiti (c_p) dağılımını vermektedir. Basınç sabiti dağılımı Şekil 26'da değişik açılardan verilmiştir.



Şekil 26. Dış depo üzerindeki basınç sabiti dağılımı

CFD program çıktısı olan basınç sabiti dağılımı basınç değerlerine dönüştürülüp sonlu eleman modeline uygulanmıştır. Bu dönüşüm sırasında şu denklem kullanılmıştır:

$$(P-P_{\infty}) = \Delta P = (0.5 \cdot \rho \cdot V^2) \cdot C_p \quad (1)$$

Bu denklem içinde kullanılan tipik uçuş değerleri Tablo 7’de verilmiştir [1].

Tablo 7. Uçuş değerleri

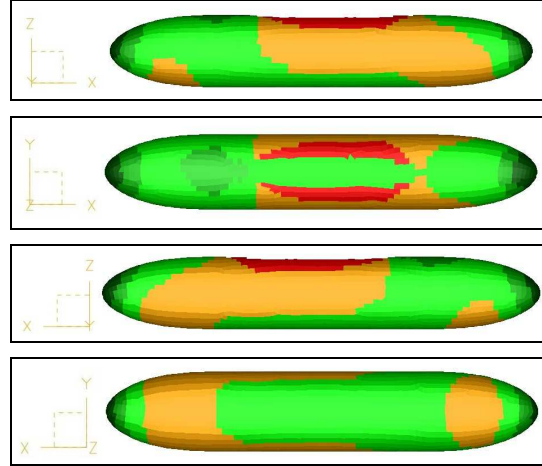
Uçuş Hızı (V)	136 m/s
Hava yoğunluğu (ρ)	1.225 kg/m ³

1 numaralı denkleme Tablo 7’deki uçuş değerleri girilerek hesaplanan basınç değerleri ise Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Eş basınç alanlarındaki basınç değerleri

Alan Rengi	ΔP (Pa)
Kırmızı	-4040
Turuncu	-1404
Yeşil	1231
Koyu Yeşil	3868
Zeytin Yeşili	6504

Üzerine aerodinamik yük uygulanan dış depo üzerindeki yük dağılımı Şekil 27’de verilmiştir.



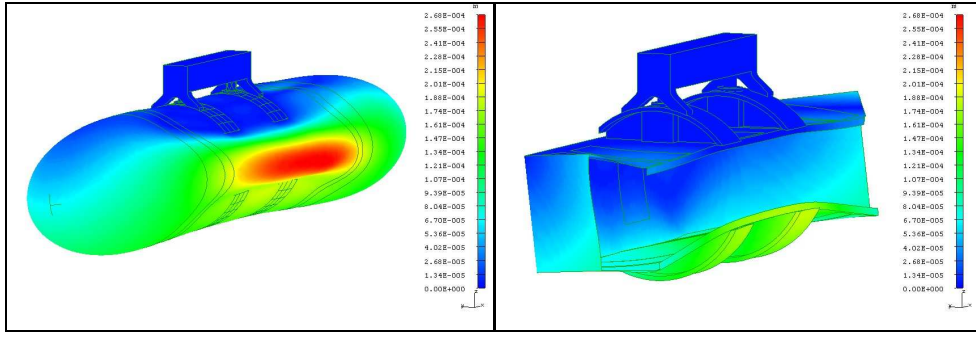
Şekil 27. Dış depo üzerindeki aerodinamik yük dağılımı

5.2. Dış Deponun Statik Analizleri

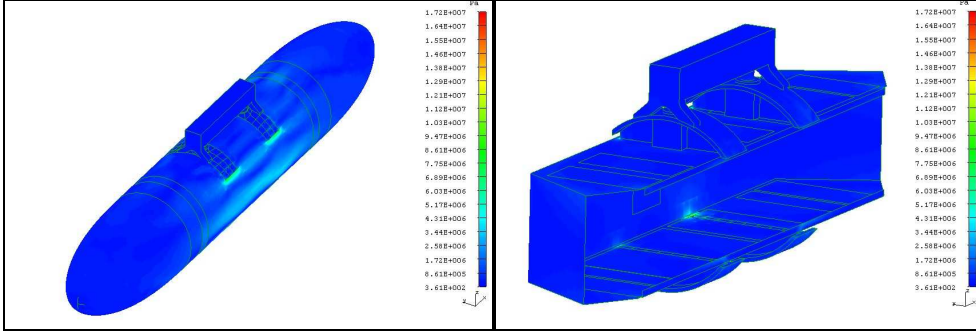
Statik analizler dört değişik konfigürasyon için de incelenmiştir. Boş dış depo ve yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun dış ve iç yapılarında oluşan yer değiştirme, Von Mises gerilme ve gerinim dağılımları Şekiller 28-33’te gösterilmiştir. Yerçekimi, Z yönünde 1g değerinde ivme atanarak modele yansıtılmıştır. Bu dağılımlara ait en yüksek değerler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Aerodinamik ve yer çekimi yükü altında dört konfigürasyon için statik analiz sonuçları

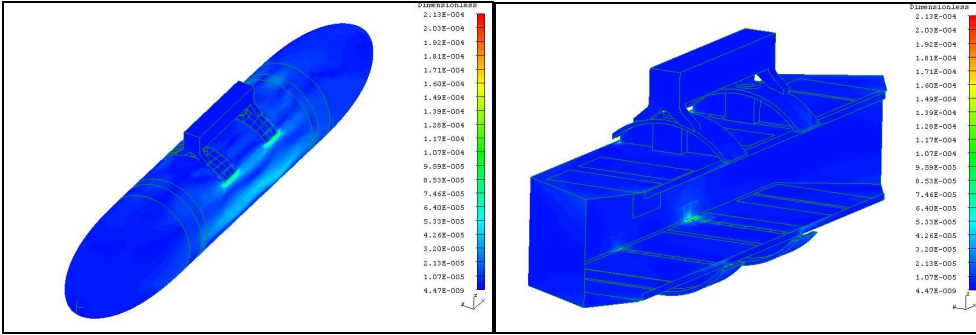
	1. Boş Dış Depo	2. Yararlı Yük Taşıyan Dış Depo	3. Güçlendirilmiş Boş Dış Depo	4. Güçlendirilmiş, Yararlı Yük Taşıyan Dış Depo
Yer Değiştirme (mm)	0.268	0.216	0.0464	0.0368
Maksimum Gerinim	2.13 x 10 ⁻⁴	2.03 x 10 ⁻⁴	1.14 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁴
Maksimum Gerilme (MPa)	17.2	16.4	9.2	8.1



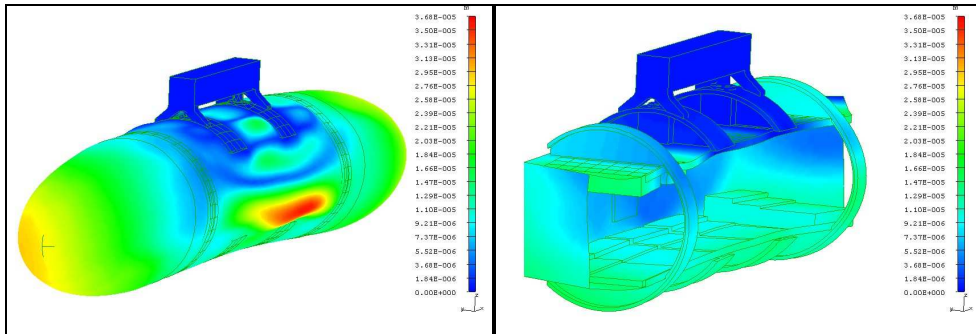
Şekil 28. Boş dış deponun aerodinamik yük ve yerçekimi altındaki yer değiştirmesi



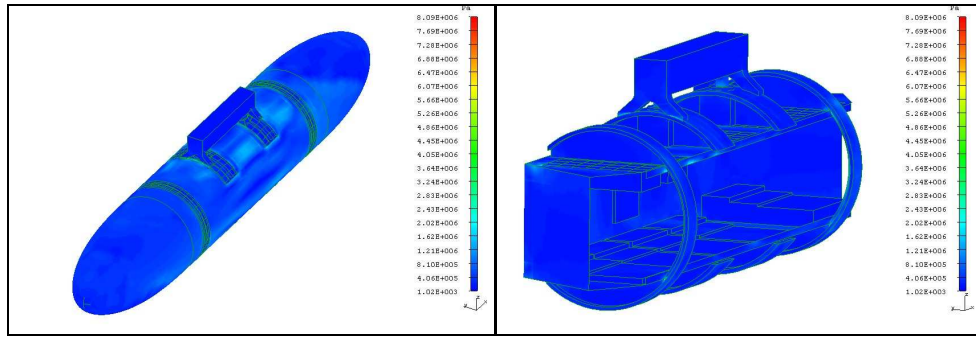
Şekil 29. Boş dış deponun aerodinamik yük ve yerçekimi altındaki Von Mises gerilmeleri



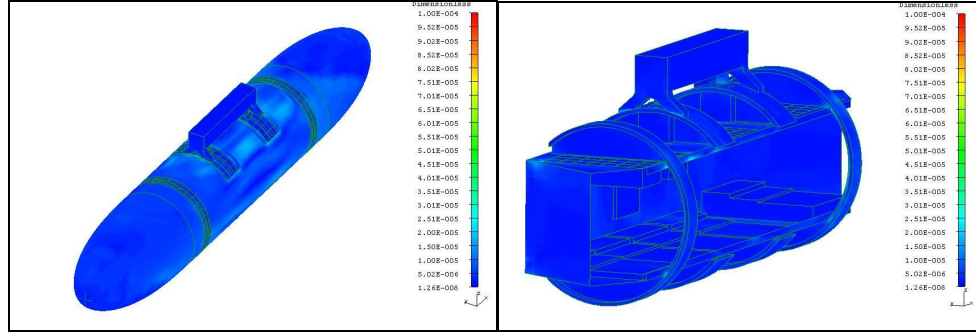
Şekil 30. Boş dış deponun aerodinamik yük ve yerçekimi altındaki Von Mises gerinimleri



Şekil 31. Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun aerodinamik yük ve yerçekimi altındaki yer değiştirmesi



Şekil 32 Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun aerodinamik yük ve yerçekimi altındaki Von Mises gerilmeleri



Şekil 33. Yararlı yük taşıyan güçlendirilmiş dış deponun aerodinamik yük ve yerçekimi altındaki Von Mises gerinimleri

6. SONUÇ

Bu çalışmada, havacılıkta çok sık kullanılan silindirik, güçlendirilmiş bir dış deponun statik ve dinamik özellikleri I-DEAS® CAD/CAM/FEM programı kullanılarak incelenmiştir.

Dış depo üç boyutlu katı modelleme teknikleri ile modellenmiş, parabolik dört kenarlı ince kabuk elemanlarla ve parabolik dört yüzlü katı elemanlarla sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Dış deponun uçağa bağlandığı paylonun üst yüzeyindeki elemanların tüm yönlerdeki yer değiştirmeleri sıfırlanarak sınır koşulları atanmıştır.

Dinamik analizlerin sonuçları incelendiğinde, yararlı yük taşıyan dış deponun doğal frekanslarının dış deponunkilere oranla daha az olduğu görülmüştür. Sisteme güçlendiriciler eklendikçe doğal frekansların, beklendiği şekilde arttığı gözlenmiştir.

Statik analizlerde yararlı yük ve güçlendiricilerin eklenmesi durumunda yer değiştirme, Von Mises gerilme ve gerinimlerinin azaldığı görülmüştür. Yararlı yükün artması durumunda, yer değiştirme, Von Mises gerilme ve gerinimlerinin azalmasının nedeni aerodinamik yük ile yerçekimi kuvvetinin birbirleri ile ters orantılı etkilemeleridir.

7. KAYNAKLAR

1. Taş, C., Hava Taşıtlarına Uygulanan Güçlendirilmiş, Silindirik Bir Dış Deponun Yapısal Analizi , Y. Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
2. The Online I-DEAS® Help Library, Release 8, Structural Dynamics Research Corporation (SDRC), 2000.
3. VSAERO Kullanıcı Kılavuzu