T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÖNER KANATLI HAVA ARAÇLARI İÇİN UÇUŞ VERİLERİ KAYIT CİHAZI TASARIMI

İLHAN YAPAR

ARALIK 2016

Makine Anabilim Dalında İlhan YAPAR tarafından hazırlanan UÇUŞ VERİLERİ KAYIT CİHAZI TASARIMI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Sadettin ORHAN

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Barış KALAYCIOĞLU

21/12 /2016

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme

ÖZET

DÖNER KANATLI HAVA ARAÇLARI İÇİN UÇUŞ
VERİLERİ KAYIT CİHAZI TASARIMI

YAPAR, İlhan
Kırıkkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN
Aralık 2016, 117 sayfa

Bu çalışmada, helikopterlerde kullanılmak üzere Uçuş Verileri Kayıt Cihazı tasarlanmış, üretilmiş ve uluslararası havacılık standartlarına uyum göstermesi için testleri yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, SOLİDWORKS programı kullanılarak hafıza modülünün katı modellemesi yapılmış ve sonra ANSYS programı kullanılarak dinamik, statik ve ısıl analizleri gerçekleştirilmiştir.

Dinamik analizde, ANSYS 16.2 Dinamik Explicit modülü kullanılarak serbest düşme analizi yapılmış, deneysel çalışmada ise 227 kg ağırlık 3 m yükseklikten ağırlık altında pim olacak şekilde model üzerine düşürülmüştür. Parça üzerindeki kalıcı şekil değişimi deneysel testte 2.12 mm ölçülmüş, sayısal analizde 1.99 mm olarak hesaplanmıştır. Değerler arasındaki yaklaşık % 6 sapma kabul edilen sınır şartlarının gerçeğe yakın olduğunu göstermiştir.

Statik analizde, ANSYS 16.2 Statik Yapısal modülü kullanılarak model üzerine 4500 kg yük uygulanmış ve sonuç incelenmiştir. Sistemin analitik çözümü yapılmış ve son aşamada deneysel testler yapılarak modele hidrolik presle 4500 kg uygulanmıştır. Alınan veriler sonucu sayısal analiz ve basma testinde deformasyon olmadığı, şekil değişiminin elastik bölgede kaldığı görülmüştür.

Isıl analizde, ANSYS 16.2 Kısa Süreli Isıl Analiz modülü ile model üst cidarına 1100 ^{0}C sıcaklık uygulanmış ve model içerisindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Sistemin sayısal çözümü yapılmış ve hazırlanan test düzeneğinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sayısal çözüm ve deneysel çalışmalar sonucu; hafıza modülü içerisindeki 150 ^{0}C dereceye dayanıklı kartın 90 ^{0}C sıcaklığa maruz kaldığı görülmüştür.

Tasarlanan Uçuş Verileri Kayıt Cihazı üzerinde yapılan mekanik ve ısıl test sonuçlarının uluslararası havacılık standartları ile uyumlu olduğu görülmüş ve Uçuş Verileri Kayıt Cihazı helikoptere takılarak uçuş testleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçuş Verileri Kayıt Cihazı, dinamik analiz, statik analiz, serbest düşme testi, ısı analizi.

ABSTRACT

FLIGHT DATA RECORDER DESING OF
ROTARY WING AIRCRAFT

YAPAR, İlhan
Kırıkkale University
Graduate School of Natural And Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis
Adviser: Asst. Prof. Hakan ARSLAN
December 2016, 117 pages

In this study, a Flight Data Recorder to be used on helicopters was designed, produced and tested to show compliance to international aviation standards. At the first phase of the study, SOLIDWORKS Program has been used for modeling, and then ANSYS 16.2 Program has been used for dynamic, static and thermal analysis.

In the dynamic analysis, drop analysis has been done by using ANSYS 16.2 Explicit Dynamic Module and in the experimental study 227 kg weight with a pin at the bottom has been dropped to the model from 3m height. The plastic deformation on the test specimen has been measured as 2.12 mm and calculated as 1.99 mm in the numerical analysis the 6% difference between the values show that accepted limit conditions are close to reality.

In the static analysis, 4500 kg load has been applied on the model by using ANSYS 16.2 Static structural module and the results have been examined. System has been analytically resolved and in the final phase, 4500 kg has been applied to the specimen in hydraulic press for experimental testing. In accordance with the received data in numerical analysis and press test, it was seen that deformation didn’t occur and strain was just in elastic region.

In the thermal analysis, the external wall of the model has been exposed to 1100 ^{0}C using ANSYS 16.2 Transient Thermal module and temperature distribution has been

investigated. The system has been numerically resolved and experimental studies have been done on the prepared test setup. In accordance with the numerical solution and experimental study's results, it was seen that the card in the memory module which is endurable up to 150 ^{0}C has been exposed to 90 ^{0}C.

It was seen that, the results of mechanical and thermal tests which have been performed on designed Flight Data Recorder are compliant with international aviation standards and after installation of Flight Data Recorder on the helicopter, flight tests have been performed.

Keywords: Flight Data Recorder, dynamic test, static test, thermal test, drop test.

TEŞEKKÜR

Tezi hazırlarken yaptığım araştırmalarda bana yol gösteren, bilgi, tecrübe ve görüşlerinden yararlandığım değerli danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN'a, değerli arkadaşım Doç. Dr. Ercan DEĞİRMENCİ'ye, Yrd. Doç. Dr. Barış KALAYCIOĞLU'na ve Uçuş Verileri Kayıt Cihazının elektronik parçalarını hazırlayan Elkt. Y. Müh. Mehmet TİKEN'e, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER DİZİNİ ix

ŞEKİLLER DİZİNİ xii

ÇİZELGELER DİZİNİ xvii

SİMGELER DİZİNİ xviii

KISALTMALAR DİZİNİ xix

1.GİRİŞ 1

1.1.Uçuş Verileri Kayıt Cihazı İçin Minimum Operasyonel Performans Gereksinimleri (ED-112) 3

1.2.Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Tarihsel Gelişimi 3

1.3.Amaç ve Kapsam 4

2.LİTERATÜR ÖZETLERİ 6

3.MATERYAL VE YÖNTEM 10

3.1. ANSYS Programının Özellikleri: 10

3.2. Sonlu Eleman Analiz Adımları 13

3.2.1. Ön İşleme 14

3.2.2. Çözüm 15

3.2.3. Son İşleme 16

3.3. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı 17

3.3.1. Serbest Düşme Testi 19

3.3.2. Statik Basınç Testi 21

3.3.3. Yüksek Sıcaklık Testi 21

3.3.4. Daldırma Testi 22

3.4. Teorik Çalışmalar 23

3.4.1. Serbest Düşme Testi 23

3.4.1.1.Serbest Düşme Testi Analitik Çözüm……..…..23

3.4.1.2.Serbest Düşme Testi Sayısal Çözüm……..……...27

3.4.2. Statik Basma Testi 52

3.4.2.1.Statik Basma Analitik Çözüm……52

3.4.2.2.Statik Basma Sayısal Çözüm……..…60

3.4.3. Yüksek Sıcaklık Testi 67

3.4.3.1.Yüksek Sıcaklık Testi Analitik Çözüm 67

3.4.3.2.Yüksek Sıcaklık Testi Sayısal Çözüm 69

4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR 80

4.1. Deneyler İçin Parçaların Üretim Aşaması 80

4.1.1. Hafıza Modülü 80

4.1.2. Hafıza Modülü Serbest Düşme Testi İçin Kule Tasarımı 81

4.2. Testler 83

4.2.1. Serbest Düşme Testi 83

4.2.2. Statik Basınç Testi 89

4.2.3. Yüksek Sıcaklık Testi 91

4.2.4. Daldırma Testi 94

4.3. Hafıza Modülü Dışındaki Güç Kartlarının Yerleştirileceği Elektronik Kontrol Bölümünün Tasarım ve İmalatı 95

5.BULGULAR VE TARTIŞMALAR 98

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 103

7.KAYNAKLAR 105

8.EKLER 109

EK-1 Uçuş Verileri Kayıt Cihazı ve Helikopter Montaj Resimleri 109

AS 532 Cougar Helikopter Montajı 109

S70 Sikorsky Helikopter Montajı 111

UH-1H Helikopter Montajı 112

EK-2 Uçuş Verileri Kayıt Cihazından Simülasyon Programı ile Alınan Veriler .. 114

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Örnek 1[1] 1

1.2. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı-Örnek 2[1] 2

1.3. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı-Örnek 3[1] 2

3.1. Kartezyen Koordinat Sisteminin ANSYS Autodyn Programında Tanımlanması 11

3.2. Eleman Özellikleri Ve Ağ Deformasyonu [7,8,] 12

3.3. Euler Çözücüsünde Malzeme Özelliklerinin Ağ İçerisinde İletimi [7,8] 13

3.4. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Görünüşü 17

3.5. Serbest Düşme Test Düzeneği [2] 19

3.6. Serbest Düşme Testinde Kullanılan Delici İğnenin Montaj Şekli [2] 20

3.7. Yüksek Sıcaklık Test Düzeneği [2] 22

3.8 Düşme Testinin Bir Boyutlu Matematiksel Modeli [21] 24

3.9 Sistemin Serbest Cisim Diyagramı 25

3.10. Açık Dinamik Çözüm 27

3.11. Analiz İşlemleri İçin Malzeme Seçimi 28

3.12. Plastik Bölgenin Doğrusallığının Tanımlanması 29

3.13. Doğrusal Olmayan Etkinin Tanımlanması 30

3.14 Bağlantı Elemanlarının Tanımlanması 31

3.15. Elemanların Birbirleriyle Etkileşmesinin Tanımlanması 32

3.16. Sürtünme Katsayısının Tanımlanması 33

3.17. Silindirin Ağ Örgüsü 35

3.18. Kum Saati Hatasının Temsili Gösterimi [7,8] 36

3.19. Katı Ağ Yapısının Kum Saati İle Temsili [7, 8] 37

3.20. Ağ Örüntüsü Seçimi 38

3.21. Modelin Düğüm ve Eleman Sayıları 39

3.22. Bölgesel Ağ Örgüsü Ayarlarının Yapılması 40

3.23. Pimin Silindire Teması Hızının Tanımlanması 41

3.24. Yerçekimi İvmesinin Tanımlanması 42

3.25. Pim Ağırlığının Tanımlanması 43

3.26. Temas Gerçekleşme Süresi 44

3.27. Temas Anındaki Sürtünmeler Ve Diğer Kayıplara Harcanan Enerji Hata Oranı 45

3.28. Eleman Silinmesi Seçeneği 46

3.29. Silindirik Parçanın Sabitlenmesi 47

3.30. Eşdeğer Gerilmenin Görüntüsü 48

3.31. Eşdeğer Gerilme Grafiği 48

3.32 Eşdeğer Plastik Gerinme 49

3.33 Eşdeğer Plastik Deformasyonun Görüntüsü 50

3.34 Eşdeğer Plastik Deformasyonun Zamana Göre Değişimi 50

3.35 *y* Eksenindeki Çökme 51

3.36. Mühendislik Çekme Gerilmesi Şekil Değişimi Eğrisi 54

3.37. Metalik Bir Malzemenin Mühendislik Ve Gerçek Çekme Ve Basma Eğrilerinin Şematik Gösterimi 56

3.38. Yapısal Statik 60

3.39. Malzeme Seçimi 61

3.40. Geometrinin Oluşturulması 62

3.41. Silindir Üzerine Yük Tanımlaması 62

3.42. Silindirik Malzemenin Düğüm ve Eleman Sayısı 63

3.43. Yer Çekimi İvmesinin Tanımlanması 64

3.44. Modelin Sabitlenmesi 65

3.45. Yük Tanımlanması 65

3.46. Gerilme Değerleri 66

3.47. Şekil Değiştirme 66

3.48. Silindirin Kesit Görüntüsü [34] 68

3.49. Anlık Isı Transferinin Tanımlanması 71

3.50. Silindir Yüzeyine Kaplı Boyanın Termal Özellikleri 72

3.51. Silindir Malzemenin Özellikleri 73

3.52. Cam Elyaf Malzeme Özellikleri 73

3.53. Modelin Geometrisi 74

3.54. Silindirin Düğüm ve Eleman Sayıları 75

3.55. Uygulanacak Sıcaklık Süresinin Girilmesi 76

3.56. Silindir Yüzey Sıcaklığının Tanımlanması 77

3.57. Silindirdeki Sıcaklık Dağılımı 78

3.58. Zamana Bağlı Olarak Sıcaklığın Değişimi 79

4.1. Hafıza Modülü Katı Modeli 80

4.2. Serbest Düşme Testi Kule Tasarımı (a), Tasarlanan Kulenin Görüntüsü (b) 81

4.3. Ağırlık Bırakma Mekanizması Tasarımı (a), Bırakma Mekanizması (b) 82

4.4. Düşme Testinde Kullanılan Pim 82

4.5. Pimin Ağırlık Altına Bağlanması 83

4.6. Serbest Düşme Deney Düzeneği Tasarımı 84

4.7. (a) Serbest Düşme Test Düzeneği, (b) Delme Pimi, (c) Test Edilecek Numune 85

4.8. Test Sonucunda Deforme Olmuş Numune 86

4.9. Serbest Düşme Test Düzeneği, Ağırlık ve Numune (Düşme Testi Öncesi) 87

4.10. Serbest Düşme Test Düzeneği, Ağırlık ve Numune (Düşme Testi Sonrası) 87

4.11. Test Sonrası Numune Üzerinde Oluşan Deformasyon 88

4.12. (a) Kumpasın Kalibresi, (b)Test Sonrası Numune Üzerinde Oluşan Deformasyon Ölçümü 89

4.13. Statik Basınç Testi Düzeneği (Yatay Konum) 90

4.14. Statik Basınç Testi Düzeneği (Dikey Konum) 90

4.15. Yanma Test Standı 91

4.16. 1100 °C de 30 Dakika Isıtma 92

4.17. Hafıza Modülünün Isı Esnasında Şişen Boya İle Kaplanması 92

4.18. Sıcaklık Testi Sonucu Termik Karttan Alınan Değerler 93

4.19. Sıcaklık Testi Sonucu Termik Karttan Okunan Değer 93

4.20. Daldırma Testinin Uygulaması 94

4.21. Daldırma Testi Sonrası Numune İç Bölgesi 95

4.22. Uçuş verileri Kayıt Cihazının Hafıza Modülü ve Elektronik Kontrol Modülü Montajı 96

4.23. Elektronik Aksam Resimleri 96

4.24. Uçuş Verileri Kayıt Cihazının Hafıza Modülü ve Elektronik Kontrol Modülü Montajı 97

5.1. Serbest Düşme Gerilme-Zaman Grafiği 98

5.2. Statik Basma Gerilme-Zaman Grafiği 99

5.3. Yüksek Sıcaklık Testi Sıcaklık-Zaman Grafiği 100

5.4. Katmanlardaki Sıcaklık Dağılımı 101

8.1. AS 532 Cougar Helikopteri Fotoğrafı 110

8.2. AS532 Cougar Uçuş Verileri Kaydedici Montaj Yeri ve Kablo Ensilasyonu .. 110

8.3. AS532 Cougar Helikopterine Prototip İmalatın Montajı 111

8.4. S 70 Uçuş Verileri Kaydedici Ensilasyon Güzergahı 111

8.5. S 70 Sikorsky Helikopterine Prototip İmalatın Montajı 112

8.6. UH-1H Helikopter Monte Yeri 113

8.7. UH-1H Hava Aracına Montaj Fotoğrafı 113

8.8. Ana Uçuş Gösterge Ekranı 114

8.9. Motor Göstergeleri ve Kabin Ekibi Uyarı Sistemi Görüntüsü 115

8.10. Hava Aracı Konumunun Haritada Görüntüsü 116

8.11. Hava Aracının Uçuş Süresince İzlediği Yol 117

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

3.1. Kütle, momentum ve enerjinin korunumunun Lagrange ve Euler ile ifadesi[7] 10

SİMGELER DİZİNİ

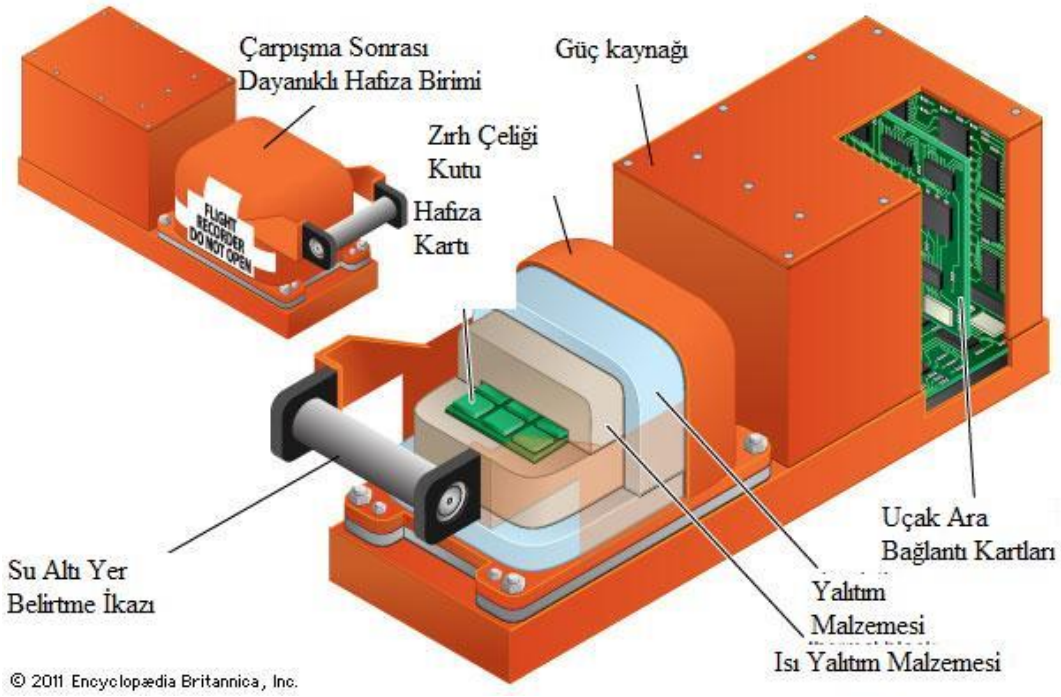
T	Sıcaklık
t	Zaman
P	Basınç
v	Hız
x	Konum
ρ	Yoğunluk
σ	Gerilme
ε	Birim Şekil Değişikliği
k	Katılık Değeri
m	Kütle
h	Yükseklik
P_1	Etki Kuvveti
g	Yer Çekimi İvmesi
A_0	Kesit Alanı

KISALTMALAR DİZİNİ

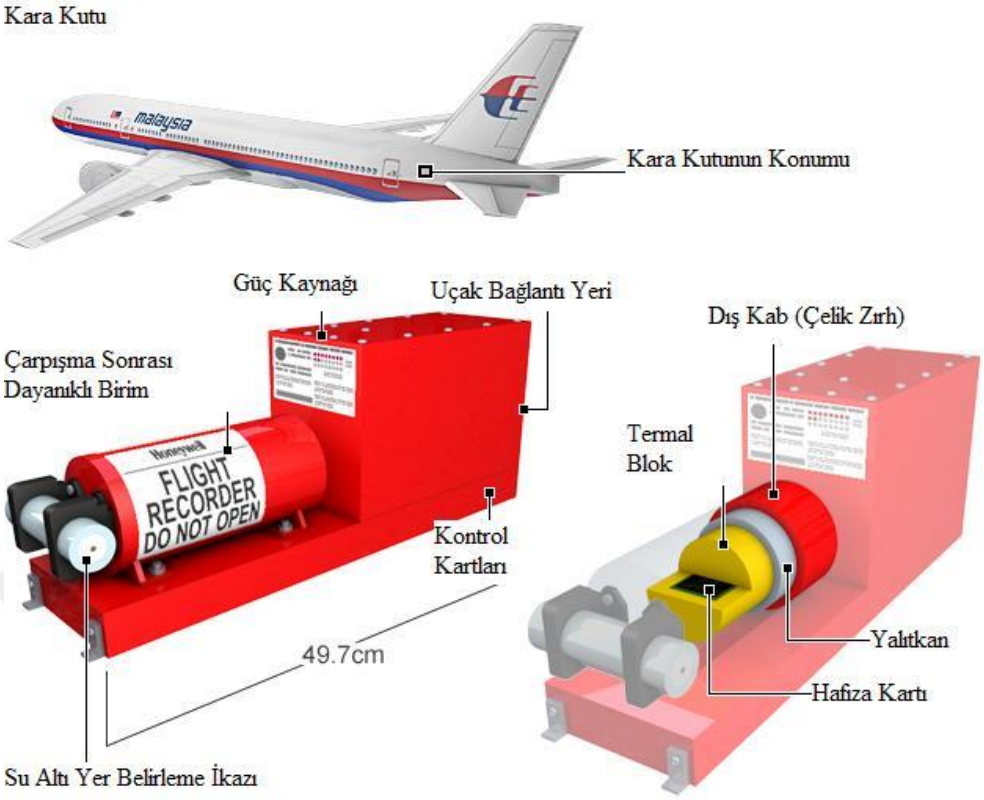
EASA	Avrupa Havacılık Güvenliği Ajansı
FAA	Federal Havacılık İdaresi
ICAO	Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu
EUROCAE	Avrupa Sivil Havacılık Ekipmanları Organizasyonu
ED	Avrupa Sivil Havacılık Ekipmanları Organizasyonu Dokümanı
FDR	Uçuş Verileri Kaydedici
CVR	Kokpit Ses Kaydedici
ATC	Hava Trafik Kontrol
PFD	Ana Uçuş Göstergeleri Ekranı
EICAS	Motor Göstergeleri Ve Kabin Ekibi Uyarı Sistemi Görüntüsü

1. GİRİŞ

Uçuş Verileri Kayıt Cihazı; uçuşlarda yaşanabilecek hava aracı olaylarının ve kaza kırımlarının daha sağlıklı değerlendirilebilmesi ve önleyici tedbirler alınabilmesi amacıyla uçak ve helikopter gibi hava araçlarında kullanılmaktadır. Uçuş verileri kayıt cihazları, halk arasında kara kutu (black box) olarak bilinir. Bu ismi almalarının sebebi kara haber vermelerinden kaynaklanmaktadır. Kara kutular isimlerinin aksine, uçaklarda bulunan bütün komponentlerinin dış yüzeyleri siyah veya gri renkte olmasına rağmen, sadece bu iki kayıt cihazı bütün diğer komponentlerden kolayca ayırt edilebilsin diye turuncu renkli dış yüzeye sahip olmak zorundadır. Diğer cihazlar uçağın burun kısmına yakın bölgede bulunmasına rağmen bu cihazlar yapılan analizler ve kaza tecrübeleri sonucu uçakların en az hasar aldığı arka kısmında bulunurlar. Dünyada üretimi yapılan Uçuş Verileri Kayıt Cihazı örnekleri Şekil 1.1., Şekil 1.2. ve Şekil 1.3.'te sunulmuştur.[1]



Şekil 1.1. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Örnek 1[1]



Şekil 1.2. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı-Örnek 2[1]

Şekil 1.3. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı-Örnek 3[1]

1.1. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı İçin Minimum Operasyonel Performans Gereksinimleri (ED-112)

Uçuş Verileri Kayıt Cihazı tasarımında kullanılacak ED-112 standardında; hafıza birimini dış etkenlerden koruyacak ve aşağıda belirtilen mekanik testleri geçebilecek bir dış kap tasarlanması gerekmektedir. İlgili standart, kaza ya da olaylarla ilgili inceleme yapabilmek amacıyla, kazadan kurtulabilen, Uçuş Bilgisini, Kokpit Seslerini, Görüntü ve CNS/ATM dijital mesajlarını kaydedebilen uçuş kayıt cihazlarının karşılanması gereken minimum şartnameyi tanımlamaktadır.[3]

Uçuş Verileri Kayıt Cihazının kazadan kurtulma test prosedürlerinde ana prensip olarak, kazadan kurtulma testlerine başlamadan önce ses ve data verileri kayıt altına alınmalı, test sonrasında kolayca alınabilmeli ve kayıt tekrar dinlenebilir olmalıdır. Test tamamlandığında, kayıt cihazı temizlenebilir ve kurutulabilir ancak testler arasında, ana kayıt sisteminde değişiklik ve tamir yapılmamalıdır.

1.2. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Tarihsel Gelişimi

Kaza önlemeye yönelik çok önemli bilgiler sağlayabilen uçak ve yer bazlı pek çok havacılık kayıt cihazları bulunmaktadır. Ana bilgi kaynakları; zorunlu kara kutular, uçak hızlı geçiş veri kayıt cihazları ve hava trafik kontrolün (ATC), radar dönüşümlerinin ve telsiz iletişimlerinin yer bazlı kayıtlarını içermektedir. Bu bilgi kaynaklarından kara kutuların tarihini kısaca inceleyecek olursak;

Kaza sonrası sağlam kalabilen kayıt cihazı ile ilgili ilk gereksinim 1940'larda meydana gelen uçak kazaları sonucu ortaya çıkmıştır. Bu durum Sivil Havacılık Kurumunu (CAB- Civil Aeronautics Board) kaza inceleme amaçlı bir uçuş kayıt cihazının gerekliliği için düzenleme yapmaya zorlamıştır. Ancak 2. Dünya savaşı ve uygun cihaz bulunamaması nedeni ile 1957 yılına kadar herhangi bir gelişme olmamıştır. 1957 yılında Sivil Havacılık Otoritesi (CAA- Civil Aviation Authority) uçuş kayıt cihazı düzenlemesini yayınlayarak 5670 kg'dan ağır olan ve yaklaşık

7600 m üstünde uçan tüm uçakların, 1 Temmuz 1958 tarihinden itibaren yükseklik, hava hızı, uçağın baş istikameti ve tırmanma ivmesini kaydeden bir kara kutu ile donatılmasının gerekliliğini karara bağlamıştır.[2-4]

Sivil Havacılık Kurumu (CAB) uçuş ekibinin konuşmalarını kaza inceleme amacıyla kaydedilmesini istemesi üzerine Federal Havacılık Dairesi (FAA- Federal Aviation Administration) Kokpit Ses Kaydedicisi (CVR) için fizibilite çalışmalarını tamamlayarak zorunlu olarak CVR kullanımını 1966 ve 1967 yıllarında yürürlüğe almıştır. Böylece Uçuş Verileri Kaydedicisi ve Kokpit Ses Kaydedicisi olarak iki sistem devreye alınmıştır.[4]

Uçuş verileri kaydetme cihazları gereksinimleri 1972 yılına kadar değişmemiştir. 1980 yılına kadar küçük çapta değişikler olmasına karşın 1980'lerin sonunda katı durum (Solid-State) uçuş kayıt cihazlarının ortaya çıkması uçuş kayıt cihazlarının evriminde çok önemli ilerlemelere yol açmıştır. Katı durum bellek araçlarının kullanımı, kayıt kapasitesini genişletmiş, çarpmaya, yangına karşı dayanıklılığı arttırmış ve cihazın güvenilirliğini geliştirmiştir.[2-4]

Tez çalışması kapsamında geliştirilen model, iki sistemi kapsayan Uçuş Verileri ve Kokpit Ses Kaydedicisi, Sivil Havacılık Ekipmanı Avrupa Organizasyonu (EUROCAE) tarafından yayımlanan güncel ED-112 standardı gereksinimlerini büyük ölçüde karşılayan cihaz olmaktadır.

1.3. Amaç ve Kapsam

Hava aracı kaza/kırımları çoğunlukla yanma ve büyük oranda parçalanma şeklinde meydana geldiğinden, kaza nedenlerinin tespiti için kullanılan klasik yöntemler yetersiz kalabilmekte ve önleyici tedbir alınamamaktadır. Sivil havacılık otoriteleri tarafından, kaza/kırım belirsizliklerini azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla yolcu sayısı ile motor cinsi ve sayısına bağlı olarak hava araçlarının kaza/kırım şartlarına dayanıklı Uçuş Verileri Kayıt Cihazı kullanımının zorunlu olduğu bildirilmektedir. Söz konusu kayıt cihazları, kaza öncesinden kaza anına kadar pilot

ve kabin görevlilerinin ses kayıtları ile hava aracının uçuş rotası, motor/yakıt ve ikaz bilgileri kaydedebildiğinden, kazaların somut nedenleri kolayca, daha az maliyetle ve daha kesin bilgiler ile ortaya konulabilmektedir. Ancak, askeri araçlar için yasal bir zorunluluk bulunmadığından askeri hava araçlarının (helikopterlerin) konfigürasyonunda bu amaçla kullanılan bir kayıt cihazı bulunmamaktadır. Bu cihazın standartlara uyularak, uçuş güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde tasarlanıp üretilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı; helikopterlerdeki uçuş verilerini ve kokpit seslerini kaydedebilecek ED-112 havacılık standardında yer alan gereksinimleri karşılayacak bir Uçuş Verileri kayıt Cihazı tasarımının gerçekleştirilmesi, imalatı yapılarak hava aracı üzerinde testleri yapılmasıdır. Uçuş Verileri Kayıt Cihazının hafıza kartını muhafaza edildiği kısmın kaza/kırım şartları için taşıması gereken minimum mekanik ve ısıl özellikler: Serbest ağırlık düşürme, Statik basma, Isı iletimi ve Sızdırmazlık testleri ile karşılanmalıdır.

Tez çalışmasının kapsamı ise; tasarım aşamasında ağırlık düşürme, statik basma ve ısı iletimi problemlerinin analitik çözümü, sayısal olarak hesaplamaları ve deneysel testleri gerçekleştirilerek; tasarımı, malzeme seçimi, imalatı ve tasarım doğrulaması (3 ayrı helikopter modeli için; AS532 Couger, S70 Skorsky, UH-1H) işlemlerini içermektedir.[2] Bu kapsamda, ED-112 (Kaza Kırıma Dayanıklı Hava Aracı Kayıt Sistemi İçin Minimum Operasyonel Performans Gereksinimleri) standardındaki test prosedürleri incelenmiş ve optimum seviyede olması gereken özellikler dikkate alınarak prototip model, çelik alaşımlı malzemeden ve silindirik geometri esas alınarak oluşturulmuştur. Modelin sayısal analizleri ANSYS 16.2 programının dinamik, statik ve ısıl modülleri kullanılarak ayrı ayrı yapılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında, prototip imali yapılan cihazın dinamik, statik ve ısıl testleri için test düzenekleri hazırlanmış ve testler gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Hava aracı uçuşa elverişlilik sertifikasyonu yüz yıllık bir geçmişe sahip olup, bu dönemde başta sivil havacılık olmak üzere havacılığın daha güvenilir kılınması için ICAO esas ve prensipleri dikkate alınarak oluşturulan havacılık otoriteleri (FAA, JAA, EASA ve milli otoriteler) esas itibariyle uçuşa elverişli ürünlerin tasarlanmasını, üretilmesini, bakımını ve işletilmesini garanti altına alan prosedür ve standartların oluşturulmasını sağlamakta ve bu prosedür ve standartlara uyumun kontrolünü yapmaktadır. Hava taşıtları ile ulaşım günümüz şartlarında en güvenli ulaşım yöntemi olmakla beraber kaza ihtimali sıfırlanamamaktadır.

Kaza verisi toplama, zarar gören bir uçakta kaza ile ilgili yeterli ipuçları bulma ihtimali son derece düşük olduğundan, kaza araştırmalarında karşılaşılan en büyük problemdir. Dolayısıyla kazaya giden anlarda belirli parametreleri kayıt altına alacak bir ekipman zorunluluk haline gelmiştir.[3]

Uçuş Veri Kayıt cihazlarının sivil uçaklarda kullanılmasına yönelik yasa ilk olarak Amerikan Sivil Havacılık Kurulu tarafından 1945-1954 yılında yayınlamıştır. Akabinde 1958 yılında ilk kez bir Uçuş Veri Kayıt Cihazı test edilerek kabul edilmiştir.[4]

Federal Havacılık İdaresi'nin 1977 yılında yayınlamış olduğu karara göre modern uçaklar hareket, hava veri değişkenleri, kontrol değişkenleri ve motor değişkenleri olacak şekilde başlıca dört ana grupta toplanabilecek en az 88 parametreyi kaydetmek ve olası bir kaza durumunda kaydedilmiş parametrelere koruma sağlamak zorundadır.[5, 6]

Tasarım ve tasarım doğrulama aşamasında gerçekleştirilen testler sayısal ve analitik metotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal yöntemlerde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi asıl olarak 1956 yılında uçaklara ait

karmaşık yapılardaki gerilmelerin hesaplanması için geliştirilmiş olsa da sonraları Isı Transferi, Akışkanlar Mekaniği, Akustik, Elektromanyetizma ve Biyomekanik gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.[7-10]

ANSYS, 3 boyutlu bir sonlu elemanlar analizi programı olup statik ve dinamik simülasyonlar için kullanışlı olduğundan pek çok akademik çalışmada kullanıldığı görülmektedir.[9,10]

Rich Bothmann tarafından yapılan ANSYS ve LS-DYNA'nın düşme testi performanslarını kıyaslayan çalışmasında, kapalı "implicit" çarpışmalar için hızın 0,001-10 m/s ve açık "explicit" çarpışmalar için 10-10000 m/s aralığında olması gerektiği belirtilmiştir. Analizler sonucunda genellikle çarpışma analizlerinde kullanılan Solid168 eleman tipinin yüksek hızlı çarpışmalarda (balistik çarpışmalar) doğruluk açısından elverişsiz olduğu gözlenmiştir. Bu eleman tipi düşük hızlı çarpışmalarda kullanılabilir.[11]

Zana EREN yüksek lisans tezinde, iç içe geçmiş farklı uzunluk ve geometrideki tüplerin deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Öncelikle, ezilme kutusunda kullanılacak olan metal malzemelerin çekme deneyleri farklı gerinim değişim hızlarında yapılarak gerilme-gerinim diyagramları elde edilmiştir. Çeşitli ezilme kutusu tasarımları geliştirilerek ve elde edilen malzeme test verileri kullanılarak sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Doğrusal olmayan açık (explicit) sonlu eleman yazılımı (LS-DYNA/Explicit) ve kapalı (implicit) sonlu eleman yazılımları (LS-DYNA/Implicit) kullanılarak tasarlanan ezilme kutularının çarpma sonrası ezilme davranışları analiz edilerek incelenmiştir.[12]

Leijten ve diğerleri, sandviç yapılarda düşük hızlı darbe yükünü deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, kullandıkları numunelerin darbe sonrası basma dayanımlarını incelemişler ve çekirdek malzeme hasarının basma dayanımı üzerinde önemli bir değişime neden olmadığını göstermişlerdir.[13]

Anderson ve Madenci, düşük hızlı darbeye maruz kalan, çekirdek malzemesi köpük olan sandviç yapıları incelemişlerdir. Yüzey malzeme kalınlığı ve/veya çekirdek malzeme yoğunluğu arttırılarak yapının darbe dayanaklığının geliştirilebileceğini göstermişlerdir.[14]

Meo ve diğerleri, düşük hızlı darbe etkisine maruz bırakılan sandviç yapının darbe enerji sönümlemesini ve darbe hasarını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlar ve sayısal sonuçlarla deneysel sonuçların uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Böylece, yapı tarafından sönümlenen darbe enerjisinin ve darbe hasarının Sonlu Eleman analizleri ile doğru bir şekilde hesaplanabileceğini göstermişlerdir.[15]

B. Berk tarafından, yüksek hızda darbe uygulamalarında, takviye tipinin etkisi ve farklı nümerik kompozit hasar modelleri incelenmiştir. Kompozit plakalarda, aramid ve karbon-aramid hibrid kumaşlar takviye elemanı olarak, epoksi ise reçine olarak kullanılmıştır. Enerji sönümleme mekanizması hem deneysel hem de nümerik yöntemlerle oluşturulmaya çalışılmıştır.[16]

B. Gerçekler tarafından, mühimmatların düşürme testleri ile ortaya çıkan yük mertebeleri deneysel ve sayısal (LS-DYNA) incelenmiştir. Deneysel veriler kullanılarak sayısal analiz doğrulaması yapılmıştır. Daha sonra daha riskli şartlar için sayısal model yardımı ile tahminler yapılmıştır. Sonuçlar benzer ise bir sonraki adımdır ve bu aşamada benzer mertebelere ulaşıldığı görülmüştür.[17]

Niemer ve arkadaşları, bir buzdolabı gövdesinin, düşürme testine karşı yapısal optimizasyon analizini yaparak, ürünün 12 yıllık üretimi boyunca gereğinden fazla dayanıklı yapıldığını saptamışlardır. Bu çalışma sonucu ürün başına 2 dolarlık bir maliyet düşüşü sağlanmıştır. Çalışmada düşürme testi için LS-DYNA programı, optimizasyon içinse ANSYS programı kullanılmıştır.[18]

Borealis firmasından Posch (2002), bir bulaşık makinasının iç haznesinin paslanmaz çelik yerine polypropilenden yapılması ile ilgili çalışmasında, bu şekildeki ürünün mekanik yeterliliğini görebilmek için MSC DYTRAN programı ile düşürme testinin analizini yaparak, uygulamalı teste ihtiyaç duymadan sonuca ulaşmıştır.[19]

Wang ve diğerleri elektronik cihazların düşürme testini incelemişlerdir. Üç farklı durumun incelendiği çalışmada ilk olarak, bir televizyonun paketleme straforlarının ve kasasının düşmeye karşı direnci araştırılmıştır. İkinci olarak, elektronik bir cihazın alüminyum ve plastik kap içinde olmak üzere iki farklı durumdaki dinamik analizi incelenmiştir. Üçüncü olarak, elektronik bir cihazın, test sırasında yerinden sökülüp sökülmediği araştırılmıştır.[20]

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. ANSYS Programının Özellikleri:

ANSYS sonlu elemanlar programı, lineer olmayan problemlerin (patlama, penetrasyon, parçacık tesiri, şok vb.) çözümünde başarılı bir biçimde kullanılmaktadır. Program dinamik problemi sonlu elemanlara ayırır ve zaman adımlarına bölerek çözer. Kütle, momentum ve enerjinin korunumu kanunları her bir zaman adımında uygulanır (Çizelge 3.1.). Gerilme ile deformasyon ve iç enerji arasındaki bağlantıların kurulmasını sağlar.

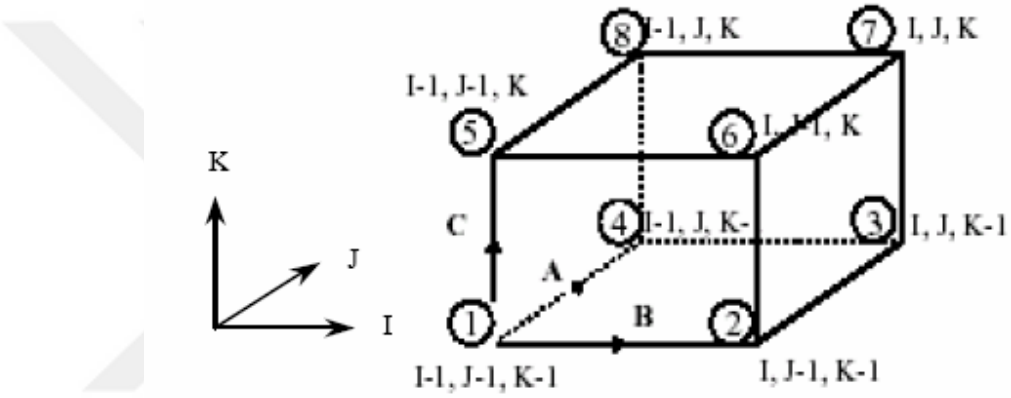
Çizelge 3.1. Kütle, momentum ve enerjinin korunumunun Lagrange ve Euler ile ifadesi [7]

	Lagrange Yaklaşımı	Euler Yaklaşımı
Kütlenin Korunumu	$\frac{dp}{dt}+\rho\frac{\partial v_i}{\partial \chi_i}=0$	$\frac{dp}{dt}+\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial \chi_i}=0$
Momentum Korunumu	$\frac{dv_i}{dt}=f_i+\frac{1}{\rho}\frac{\partial(\sigma_{ij})}{\partial \chi_i}$	$\frac{dv_i}{dt}+v_i\frac{dv_i}{d\chi_i}=f_i+\frac{1}{\rho}\frac{\partial(\sigma_{ij})}{\partial \chi_i}$
Enerjinin Korunumu	$\frac{dE}{dt}=-\frac{P}{\rho}\frac{dv_i}{d\chi_i}+\frac{1}{\rho}s_{ij}\,\dot{\varepsilon}_{ij}$	$\frac{\partial E}{\partial t}+v_i\frac{\partial E}{\partial \chi_i}=-\frac{P}{\rho^2}(\frac{\partial \rho}{dt}+v_i\frac{\partial \rho}{d\chi_i})+\frac{1}{P}s_{ij}\,\dot{\varepsilon}_{ij}$

Sembol	**Birimi**	**Açıklama**
t	s	Zaman
v	m/s	Hız
χ	m	Konum
P	Pa	Hidrostatik basınç
s	Pa	Sapma Gerilmesi
ρ	Kg/m^3	Yoğunluk

σ	Pa	Gerilme
$\dot{\varepsilon}$		Gerenimin zamana göre türevi

ANSYS, Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi dinamik problemi 6 köşeli karelere böler ve her düğümü i, j, k koordinat eksenine göre tanımlandırır.[7] Problem çözümünde bu bölünmüş elemanların boyutları önemli bir rol oynar. Eleman boyutları ne kadar küçülürse, problem için eleman sayısı artacak ve çözüm süresi uzayacaktır. Bu elemanların birbirine eklenmesi ile çözüm ağı elde edilir.



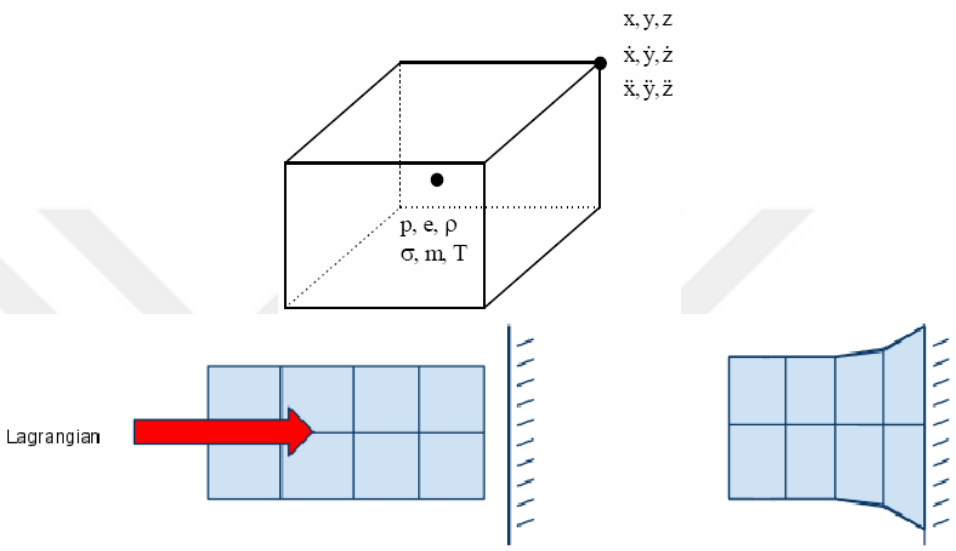
Şekil 3.1. Kartezyen Koordinat Sisteminin ANSYS Autodyn Programında Tanımlanması

ANSYS programı, içerisinde çok farklı çözücü tipleri bulunmakta olup, bu çözücülerden Lagrange, Shell ve Euler-FCT çözücülerinin kısa tanımını aşağıda yapılmıştır. Programda en optimum çözümü bulabilmek için uygun çözücünün kullanılması gerekmektedir.

Lagrange çözücü, ANSYS programının kullandığı temel çözücülerden biridir. Bu çözücüde çözüm ağı, tanımlanmış malzeme özellikleri ile birlikte hareket eder. Yani malzeme özellikleri elemanlar arasında, eleman yüzeyleri üzerinden transfer edilmez.

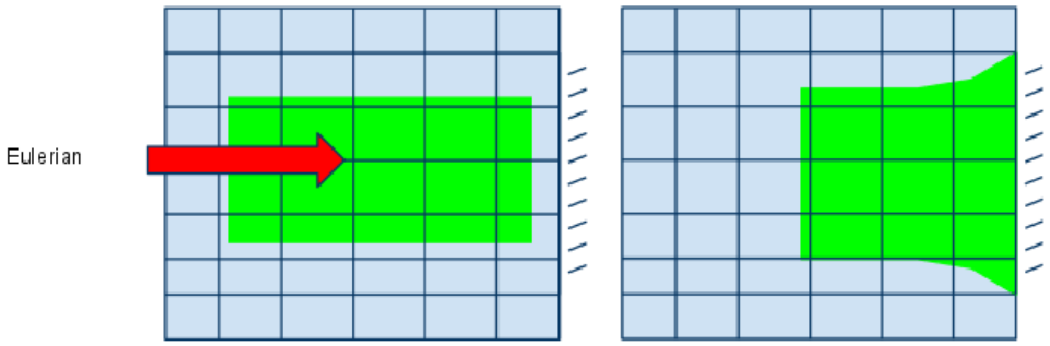
Özellikler her eleman için eleman köşe nodlarında x, y, z kartezyen koordinat, $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ hız, $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$ ivme ve eleman merkezinde m kütle, σ gerilme, ε gerinim, P

basınç, e iç enerji, ρ yoğunluk ve $T(^0K)$ sıcaklık olarak tanımlanmıştır. Çözüm anında ağ malzeme özellikleri ile birlikte deformasyona uğrar. (Şekil 3.2.) Deformasyonların fazla büyük olması beraberinde problemleri de getirir. Büyük deformasyonlar hesaplama zamanını arttırır ya da çözüm işleminin durmasına sebep olur.[8] ANSYS programı bu problemin üstesinden erozyon özelliğini kullanarak aşmıştır.



Şekil 3.2. Eleman Özellikleri Ve Ağ Deformasyonu [7,8,]

Euler çözücüde, çözüm ağı sabit tutulmakta, Şekil 3.3.'te görüldüğü gibi malzeme özellikleri ağ içerisinde hücreden hücreye taşınmaktadır. Malzeme özellikleri sıvı, gaz ve çok büyük deformasyonların meydana geldiği problemlerin çözümünde kullanılır. Büyük deformasyonlar çözüm zamanını arttırmadıkları gibi, çözüm işleminin durmasına sebep olmazlar. Ancak çözüm zamanı Lagrange çözücüye göre daha fazladır. Bunun nedeni, Lagrange çözücüye göre eleman sayısının fazla olmasıdır. Problem kadar problemin içerisinde bulunduğu ortamda modellenmelidir. Ancak bu sayede hücreler arasında malzeme özelliklerinin geçişi sağlanabilmektedir.



Şekil 3.3. Euler Çözücüsünde Malzeme Özelliklerinin Ağ İçerisinde İletimi [7,8]

Shell çözücü ise diğer boyutlarına göre eni çok ince olan yapıların modellenmesinde kullanılır. Bu çözücüde gerilme iki eksenli olarak kabul edilir. Bundan dolayı çözüm ağını oluşturan elemanların kalınlığı önemli değildir. Zaman adımı yalnızca bu elemanların boyu tarafından kontrol edilir.[7,8] Zaman adımının yalnızca eleman boyuna bağlı olmasından dolayı, program daha hızlı ve az çevrimle çalışır.

3.2. Sonlu Eleman Analiz Adımları

Modelin analizi, sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS programı ile yapılmış olup, program fiziksel problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu problemler; statik/dinamik yapısal analizler (lineer veya lineer olmayan), ısı transferi ve akış problemleri ile akustik ve elektromanyetik problemleri içerir. Genel olarak, ANSYS programı ile sonlu elemanlar analizleri üç kademede gerçekleştirilmektedir.

1. Ön işleme (Preprocessing): Problemin tanımlanması safhasıdır. Ana kademeleri; anahtar nokta/çizgi/alan/hacimlerin tanımlanması, eleman tipi ve malzeme/geometri özelliklerinin tanımlanması ve çizgi/alan/hacimlerin sonlu elemanlara bölünmesi işlemlerini içermektedir.

2. Çözüm (Solution): Yüklerin ve sınır şartlarının atanması ve çözümün gerçekleştirilmesi işlemlerini kapsamaktadır.

3. Son işleme (Postprocessing): Sonuçların değerlendirilmesi, bu safhada; düğüm noktası yer değiştirmelerinin listelenmesi, eleman kuvvet ve momentlerinin izlenmesi, yer değiştirme çizimleri, gerilme diyagramlarının alınma aşamasıdır.

Model analizine başlamadan önce analizin planlanması çok önemlidir ve simülasyonun başarısına direk etkisi vardır. Bir sonlu elemanlar analizinin amacı bilinen yükler altında sistem davranışının modellenmesidir. Analizin doğruluk derecesi planlama kademesine oldukça bağlıdır.

3.2.1. Ön İşleme

Modelin oluşturulması: Model genellikle 2D veya 3D uzayında uygun birimler (m., mm., in., vb.) kullanılarak çizilir. Model ANSYS ön işlemcisi kullanılarak oluşturulabileceği gibi başka bir CAD paketinde hazırlanmış bir dosyanın (IGES, STEP, Pro/E gibi) ANSYS ön işlemcisi tarafından okunması ile de sağlanabilir. Modelin oluşturulması esnasında dikkat edilmesi gereken konulardan biri çizimde kullanılan birim ile malzeme özellikleri ve uygulanan yük birimlerinin uyumlu olmasıdır. Örneğin; model mm olarak çizildi ise, malzeme özellikleri SI birimi ile tanımlandığı şekilde olmalıdır. Biz çalışmamızda Solidworks programında SI birimi kullanılarak çizilen malzememizi kullanacağız.

Eleman tipinin belirlenmesi: Eleman seçimi modelin geometrisine bağlı olarak 1D, 2D veya 3D olabileceği gibi yapılması düşünülen analizin tipine de bağlıdır (örneğin termal analiz gerçekleştirebilmek için termal eleman kullanımı). Çalışmamız 3D olarak programa aktarılmıştır.

Malzeme özelliklerinin tanımlanması: Malzeme özellikleri (Elastiklik modülü, Poisson oranı, yoğunluk ve gerekli olduğunda termal genleşme katsayısı, termal iletkenlik, özgül ısı vb.) tanımlamalarının gerçekleştirilmesi.

Modelin elemanlara bölünmesi: Modelin elemanlara bölünmesi işlemi, model sürekliliğinin belirli sayıdaki ayrı parçalara veya diğer bir ifade ile sonlu elemanlara bölünmesidir. Daha çok sayıda eleman genel olarak daha iyi sonuçlar fakat daha uzun analiz zamanı demektir. Modelin elemanlara bölünmesi kullanıcı tarafından tek tek tanımlanarak yapılabileceği gibi ANSYS tarafından uygun seçenekler kullanılarak otomatik olarak da yapılabilir. Kullanıcı tarafından tek tek tanımlayarak elamanlara bölme işlemi uzun ve zor bir işlemken otomatik olarak elamanlara bölme işleminde gerekli tek şey model kenarları boyunca eleman yoğunluğunun veya eleman büyüklüğünün belirlenmesidir. Ayrıca kullanılan elemanın tipine bağlı olarak eleman özelliklerinin de (gerçek sabitler) tanımlanması gerekir.

3.2.2. Çözüm

Analiz tipinin belirlenmesi: Çözümde kullanılmak üzere statik, doğal (modal), anlık (transient) gibi analiz tipleri belirlenir.

Sınır şartlarının tanımlanması: Eğer modele bir yük uygulanırsa, model bilgisayarın sanal dünyasında sonsuza kadar ivmelenir. Bu ivmelenme bir sınırlılık veya bir sınır şartı uygulanana kadar devam eder. Yapısal sınır şartları genellikle sıfır yer değiştirme, termal sınır şartları belirlenmiş bir sıcaklık, akışkan sınır şartları için bir basınç olarak tanımlanır. Bir sınır şartı bütün yönlerde (x, y ve z) uygulanabileceği gibi yalnızca belirli bir yönde de tanımlanabilir. Sınır şartları anahtar noktalarda, düğüm noktalarında, çizgi veya alanlarda tanımlanabilir. Sınır şartı, simetri veya antisimetri tipinde de olabilir.

Yüklerin uygulanması: Yüklemeler gerilme analizlerinde noktasal bir basınç veya yer değiştirme, termal analizlerde sıcaklık, akışkan analizlerinde hız formunda

olabilir. Yükler bir noktaya, bir kenara, bir yüzeye ve hatta toplam cisme uygulanabilir. Yükler model geometrisi ve malzeme özelliklerinde kullanılan birim cinsinden tanımlanmalıdır.

Çözüm: Genel olarak bir sonlu elemanlar çözücüsü üçe ayrılır. Bunlar ön-çözücü, matematik motoru ve son-çözücüdür. Ön-çözücü modeli okur ve modeli matematiksel şekilde formüle eder. Preprocessing kademesinde tanımlanan bütün parametreler ön-çözücü tarafından kontrol edilir ve herhangi bir şeyin eksik bırakıldığını bulursa matematik motorunun devreye girmesini engeller. Model doğruysa, çözücü devreye girerek eleman direngenlik matrisini oluşturur ve yer değiştirme, basınç gibi sonuçları üreten matematik motorunu çalıştırır. Matematik motoru tarafından üretilen sonuçlar son-çözücü kullanılarak düğüm noktaları için deformasyon miktarı, gerilme, hız gibi değerler üretilir.

3.2.3. Son İşleme

Bu bölüm; sonuçların okunduğu ve yorumlandığı bölümdür. Sonuçlar; tablo şeklinde, kontur çizimler şeklinde veya deforme olmuş cisim biçiminde sunulabilir. Ayrıca animasyon yardımı ile modelin yük altındaki davranışı da sunabilir. Yapısal tipteki problemlerin sunulmasında kontur grafikler genellikle en etkin yöntem olarak kullanılır. Son işleme, *x, y* ve *z* koordinatlarında hatta koordinat ekseninde belli bir açıdaki gerilme ve birim şekil değiştirmelerin hesaplanmasında kullanılabilir. Etkin gerilme ve birim şekil değiştirme sonuçları ile akma gerilmesi ve şekil değiştirme sonuçlarını da görmek mümkündür. Bunun dışında birim şekil değiştirme enerjisi, plastik şekil değiştirme miktarı da kolaylıkla görsel olarak elde edilebilir.

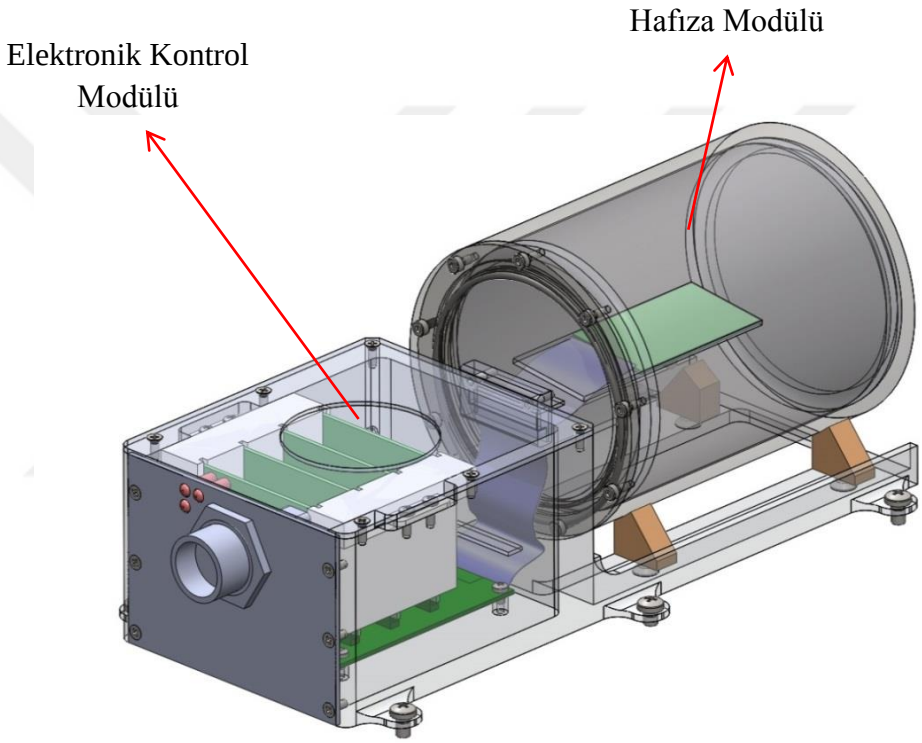
Sonuçlar görsel olarak çok etkileyici bir biçimde kontur grafikler olarak rahatlıkla elde edilebilse de sonuçların kalitesi modelin fiziksel problemi gerçekte ne kadar yansıttığına ve dolayısıyla analizi yapılan modelin kalitesine bağlıdır. Başarılı bir analiz için dikkatli bir planlamanın yapılması zorunluluğu göz ardı edilmemelidir.

3.3. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı

Uçuş Verileri Kayıt Cihazı çalışması temelde üç bölüme ayrılarak tasarlanmıştır:

1. Mekanik Tasarım
2. Elektronik Tasarım ve Yazılım
3. Simülasyon programı

Tezde mekanik tasarım ile ilgili çalışma yapılmış olup tasarımın diğer bölümleri ayrı ekipler ile koordine sağlanarak tamamlanmıştır.



Şekil 3.4. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Görünüşü

Cihazda, veri toplama kontrol modülü, hafıza modülü ve simülasyon programı olmak üzere üç temel kısım bulunmaktadır. Veri Toplama Kontrol Modülü: Girişler, üzerinde 4 Adet A-429 Veri Kanalı ve 1 Adet Ses Kanalı bulunan konnektör ile, çıkışlar, üzerinde ses ve uçuş verisi aktarımı için 2 adet çıkış bulunan konnektör ile sağlanmaktadır. Yazılım, Verilerin toplanması, hafıza modülüne kaydedilmesi ve

kaydedilen verilerin bilgisayara aktarılması için gömülü olarak geliştirilmiştir. Modül Al 2024 T6 malzemeden işlenmiştir.

Hafıza Modülü: 512 MB Ses ve 512 MB Uçuş Verisi kaydedilmektedir. Zırh çeliğinden üretilmiştir. Fark edilebilirliği için parlak turuncu renk ile boyanmıştır. ED-112 Standardı gereksinimlerini karşılamaktadır.

Simülasyon Programı: Dört ana bölümden oluşmaktadır;

1. Harita Sayfası, hava aracının anlık koordinat durum ve irtifa bilgilerine göre harita üzerinde gösterimidir.

2. PFD Sayfası, hava aracının uçuş göstergelerinin bulunduğu sayfadır.

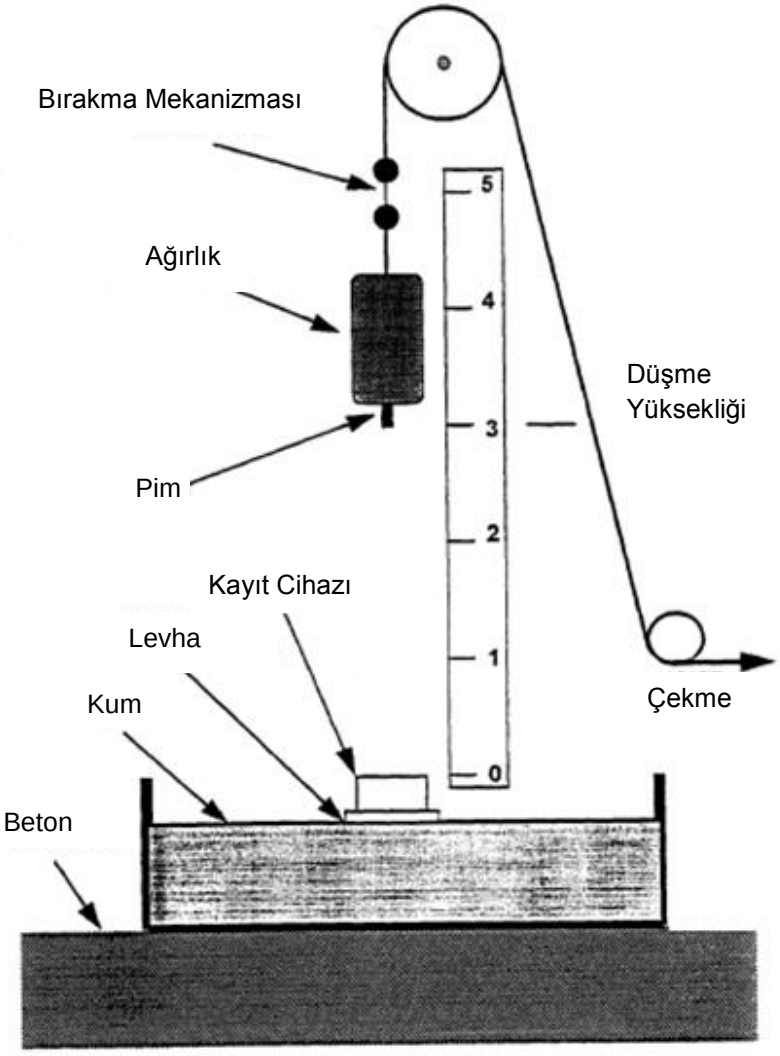
3. EICAS Sayfası, motor bilgilerinin ve ikazların gösterildiği sayfadır.

4. Uçuş Yolu, Hava aracının uçuş boyunca izlediği yolu irtifa bilgisi ile birlikte gösterir.

Mekanik tasarım aşamasında, Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi iki ana bölümden oluşmaktadır. Birincisi sesi ve veriyi toplayarak kaydedilmeye uygun formata dönüştüren elektronik kontrol birimi, ikincisi kazaya dayanıklı hafıza birimidir. Kaza kırımlarda önemli olan hafıza biriminin kurtarılmasıdır. Kaza kırıma dayanıklı hafıza birimi, ED-112 standardına uyumlu olmalıdır. Mekanik anlamda bu standart delme direnci (serbest ağırlık düşürme), statik basınç, düşük ve yüksek sıcaklık ile sıvıya dayanım testlerini kapsamaktadır. Hafıza modülünün testleri başarı ile geçebilmesi için, standartta verilen test prosedürlerinden türetilen gereksinimler göz önünde bulundurularak tasarım yapılmıştır.

3.3.1. Serbest Düşme Testi

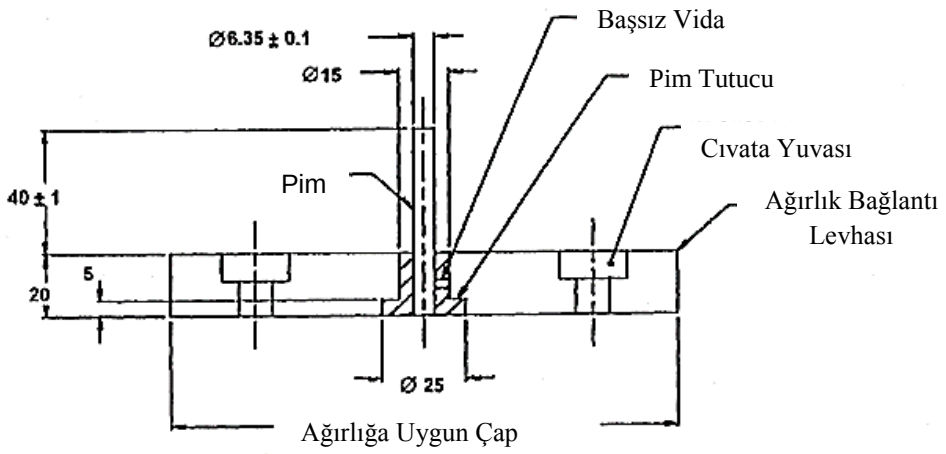
Uçuş Verileri Kayıt Cihazı, 3 m yükseklikten bırakılan 227.7 kg'lık ağırlık tarafından üretilmiş delme gücüne maruz bırakılmalıdır. Bu güç kayıt cihazının en fazla zarar görecek yüzeyine ve en kritik noktasına uygulanmalıdır. Ağırlığın temas noktası 6.35 mm ±0.1 mm (0.25 in ± 0.004 in) çapında dairesel çelik iğne olmalıdır. İğne malzemesinin sertliği ROCKWELL C39 ile C45 arasında olmalıdır. Ağırlığın boylamsal ekseni darbe noktasına dik olmalıdır. İğnenin korunmasız tarafı 40 mm ± 1 mm (1.57 in ± 0.04 in) uzunluğunda olmalıdır. Kaza korumalı hafıza modülü dışındaki elektronik bileşenler test sırasında çıkartılabilirler. Uygun test düzeneği standarda Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Serbest Düşme Test Düzeneği [2]

Kayıt cihazı 0.5 m derinliğindeki kum yatağı ile desteklenmelidir. Kum, yaklaşık olarak 15 litre kum 1 litre su oranı ile nemlendirilebilir. Çok fazla veya çok az su nedeniyle kayıt cihazının kumun içine gömülüp betonla temas etmesi ve dolayısıyla testin şiddetinin artmasına neden olması dışında su miktarının kritik bir etkisi bulunmamaktadır. Kayıt cihazının altında kalan kumun derinliği 0.5 m olmalıdır. Küçük kayıt cihazları, 0.06 m^2 alanında, 6.35 mm kalınlığında kare, çelik bir levhanın ortasına sıkıca monte edilmelidir. Bunun amacı kayıt cihazının altında standart bir direnç sağlama ve ağırlık çarptığında oluşacak sapmanın miktarını azaltmaktır.

İğnenin delmeyen ucu düz olmalı ve delen ucu ile aynı çapta olmalıdır. İğneyi zayıflatmayan herhangi bir tutturma metodu kabul edilebilir (örneğin emniyet pimi kullanılabilir ama vidalı iğne kabul edilemez). İğnenin girici ucu düz kesilmeli ve çapakları alınmalıdır. Şekil 3.6.'da iğnenin bağlanması için uygun bir metot göstermektedir.



Şekil 3.6. Serbest Düşme Testinde Kullanılan Delici İğnenin Montaj Şekli [2]

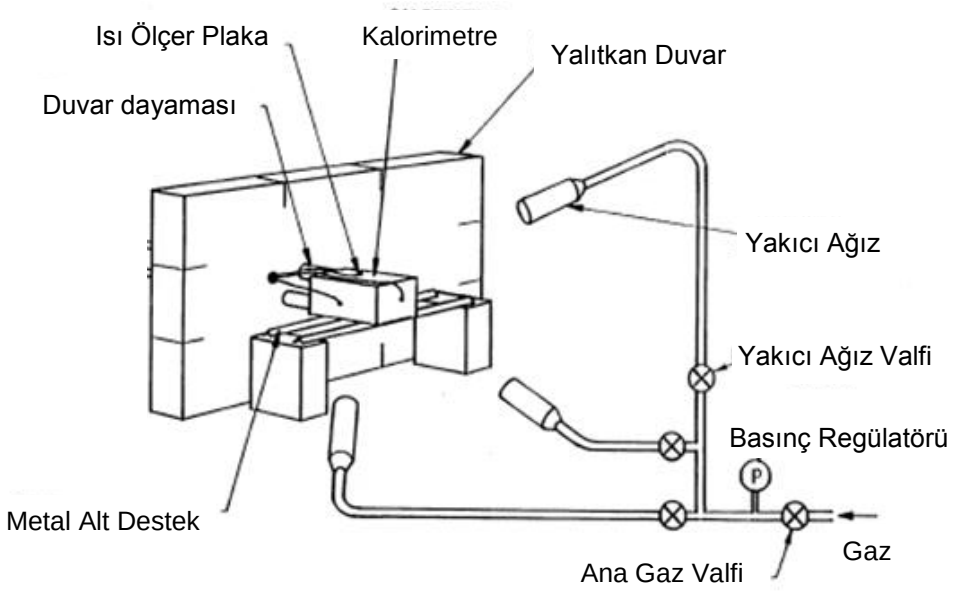
Ağırlık kaldırıldığında iğnenin ucu kayıt cihazından 3m yüksekte olmalıdır. Ağırlık, uygun bir şekilde ve güvenlik kafesi ile tutulabilir. Mekanizmayı serbest bırakmak için halat kullanılabilir. Darbe noktasında, iğne test edilen kayıt cihazına dik olmalıdır. Darbeden sonra, eğer iğne koruyucu zırha nüfuz etmiş ise de teste devam edilebilir, ancak bu durumda daha uzun iğnenin kayıt aracına zarar vermeyeceğinin ispat edilmesi gerekmektedir. Yalıtım veya zırha tamir yapmaya izin verilmez ve iğne gömüldüğü yerde bırakılmalıdır.

3.3.2. Statik Basınç Testi

Statik basınç testinde ezilmeye karşı korumalı hafıza modülüne, 22.25 kN değerinde statik ezme kuvvetine 5 dakikalık test süresi boyunca maruz bırakılır. Modülün şeklinden bağımsız olarak mümkünse her bir ana köşegen ve her bir ana yüzeyden olacak şekilde en az 4 noktadan test yapılmalıdır. Statik ezilme testi hidrolik pres ve basınç ölçme aleti kullanarak yapılabilir. Ezilmeye dayanıklı olmayan parçalar, sualtı yer gösterici feneri ve diğer ağır görev parçaları hariç, test sırasında modülden sökülebilirler. Ezme kuvveti oluşabilecek bir azalma durumunda toplamda gereken 5 dakikalık periyodu sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır.

3.3.3. Yüksek Sıcaklık Testi

Hafıza modülünün yerleştirildiği silindirik malzeme 950^0C-1100^0C sıcaklıkta 30 dakika sürekli olarak ısıtılmalıdır. Hafıza modülü test sonucu zarar görmeden, kayıtlı tüm veriler alınmalıdır. Uygun test düzeneği standartta Şekil 3.7.'deki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Yüksek Sıcaklık Test Düzeneği [2]

3.3.4. Daldırma Testi

Hafıza birimini muhafaza eden silindirik malzemenin sızdırmazlık testi için ED-112 test standartları gereği su-yağ karışımlı bir varil hazırlanarak malzeme varil içinde bekletilmelidir. Hafıza birimine sıvı sızdırabilecek yüzeyler kontrol edilmelidir. Hafıza birimine sıvı girişi olmamalıdır.

3.4. Teorik Çalışmalar

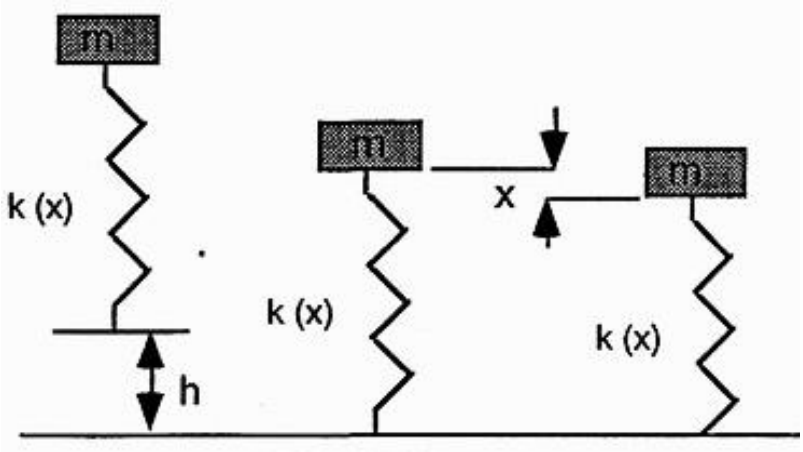
Hava araçlarında beklenmedik durumları incelemek, açığa kavuşturma, tedbirler almak maksadıyla uçuş verilerinin kaydedilerek incelenmesi gerekmektedir. ED-112 havacılık standardı gereği döner kanatlı hava araçlarındaki (helikopterler) uçuş verilerini ve kokpit seslerini kaydedilmesi gerekmektedir. Oluşması muhtemel hatalardan en az etkilenecek şekilde tasarlanması istenen uçuş veri kayıt cihazın bazı şartlar yerine getirmesi gerekir. Bu şartlar ED-112 de serbest düşme, statik basma, ısı iletimi ve sızdırmazlık testlerini kapsamaktadır. Teorik çalışmalar kısmında serbest düşme, statik basma, ısı iletimi problemleri analitik ve sayısal olarak incelenmiştir.

3.4.1. Serbest Düşme Testi

Uçuş Verileri Kayıt Cihazının serbest düşme testi, 3 m yükseklikten bırakılan 227 kg'lık ağırlık ile gerçekleştirilir. Bu ağırlığın ucunda delmeyi engelleyici düz bir yüzey ve basıncı bir noktaya yoğunlaştırmak üzere de bir çıkıntı vardır. Kayıt cihazı 0.5 m derinliğindeki nemli kum yatağı ile desteklenmelidir.

3.4.1.1. Serbest Düşme Testi Analitik Çözüm

Burada ifade edilecek analitik ifadeler, sistemin tek serbestlik dereceli olarak modellenmesi temeline dayanmaktadır. Modelleme örneği Şekil 3.8'de verilmiştir. Taşıyıcı kutu ve etkiyi azaltıcı bölüm olarak sistemi iki parçaya ayırmak suretiyle yapılabilir. Eğer bu parçalar yapısal olarak birbirinden farklı ise, parçalar arası bağlantı basitleştirilir, parçalar ayrı ayrı analiz edilir ve sadece ara yüz kuvvetleri ile birleştirme yapılır. Bu düşme testinde kayma gerilmesi, çarpma kuvvetinden çok daha düşük olması nedeniyle tek boyutlu bir analiz yapılması yeterlidir.



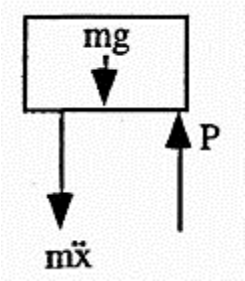
(a) (b) (c)

Şekil 3.8. Düşme Testinin Bir Boyutlu Matematiksel Modeli [21]

(a) Düşme başlamadan önceki durum, (b) zemine temas başlaması, (c) temas ilerliyor *x* mesafesi kadar deformasyon gerçekleşmiş

Şekil 3.8.'de *k* katılık (rijitlik) değerini, *m* toplam kütle değerini, *x* çökme mesafesini ve *h* ise zemine olan mesafeyi göstermektedir. Şekilde serbest düşme üç aşama ile modellenmiştir. Şekil 3.8. (a)'da görüldüğü üzere düşme hareketinin başlamadan *m* kütleli cisim *h* yüksekliğindedir. Şekil 3.8. (b)'de görüldüğü gibi düşme işlemi başlamış ve *m* kütleli cisim $t = 0$ anında zemine temas etmeye başlamıştır. Şekil 3.8. (c)'de ise; t > 0 anında temas ederken *m* kütleli cisim yaylanarak x mesafesi kadar deformasyon olmuştur.

Şekil 3.9.'da deformasyon anındaki serbest cisim diyagramı verilmiştir. Şekilde verilen $P(x)$ genelleştirilmiş etki kuvvetini göstermektedir.



Şekil 3.9. Sistemin Serbest Cisim Diyagramı

Serbest cisim diyagramına Newton'un II. yasası uygulandığında;

$$m\ddot{x} - P(x) + mg = 0 \tag{3.1}$$

$$F(x) = P(x) - mg \tag{3.2}$$

$$m\ddot{x} - F(x) = 0 \tag{3.3}$$

dx mesafesi kadar gerçekleşecek yer değiştirme işini bulabilmek için (3.3) ifadesi x yer değiştirmesine göre integrali alınarak aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\int_0^x m\ddot{x}dx - \int_0^x F(x)dx = 0 \tag{3.4}$$

Düsen cismin kütlesinin değişmediğinden m integral dışına alınabilir.

$$m\int_0^x \frac{d}{dt}(\frac{dx}{dt})dx - \int_0^x F(x)dx = 0 \tag{3.5.}$$

$$\frac{m}{2}\int_0^v d(\frac{dx}{dt})^2 dx - \int_0^x F(x)dx = 0 \tag{3.6.}$$

$$\frac{m}{2}v^2 - \int_0^x F(x)dx = 0 \tag{3.7}$$

Cisim serbest düşmeye maruz ise $P(x) = 0$ olur. Temas anında $x = 0$ olacağından, çarpma hızı;

$$v = \sqrt{2gh} \tag{3.8}$$

elde edilir. Burada hava direnci ihmal edildiğinde çarpma hızının hesaplanması için kütlenin bir önemi olmadığı görülmektedir. (3.8) ifadesine göre 227 kg'lık kütle 3 m yükseklikten bırakıldığında 7.67 m/s hızla çarpar. Bu durumda ise; x deformasyon miktarının maksimum olduğu değerde maksimum potansiyel enerjinin $F(x)$, tamamı harcanmış olur.

$$\int_0^{dm} F(x)dx = mgh \tag{3.9}$$

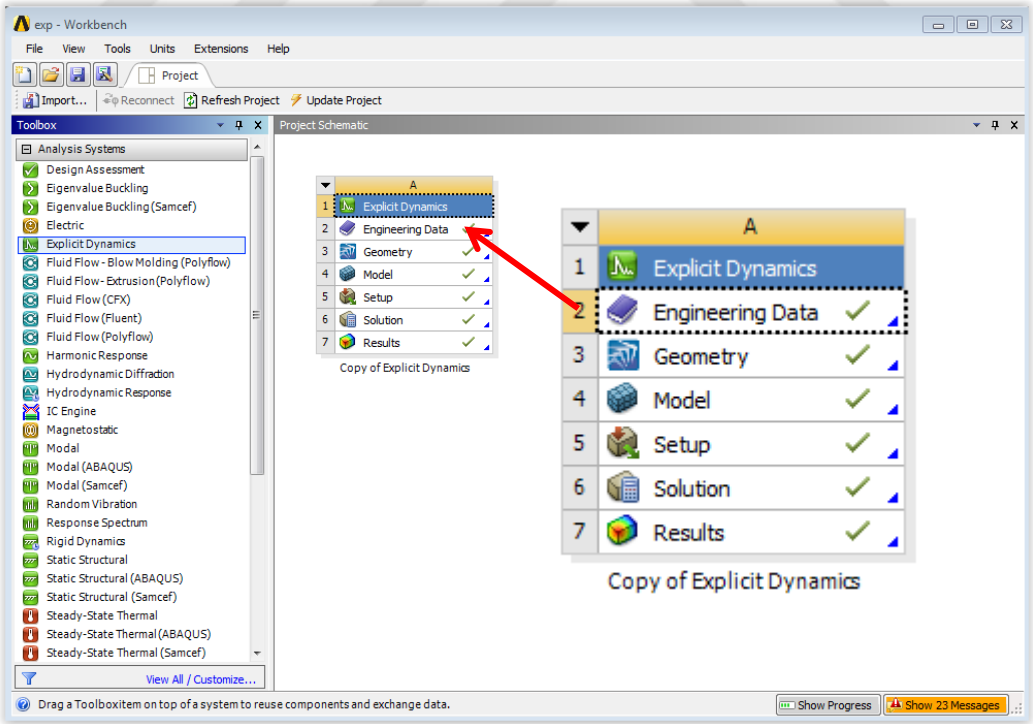
Temas anındaki kütlenin sahip olduğu potansiyel enerji (3.9) yardımı ile 6.680 Nm olarak hesaplanır. Çeşitli darbe teorileri ile temas anındaki şekil değişimleri hesaplanabilir. Literatürde mevcut darbe testleri pek çok parametreye bağlı olarak ampirik olarak hesaplandığından bu konuda analitik çözüm yapılmamış sadece ifade elde edilmiştir. Sayısal çözüm ile deneysel çözüm çok daha uygun bir sonuç verebilmektedir.

3.4.1.2. Serbest Düşme Testi Sayısal Çözüm

Modelin analizine başlamadan önce ED-112 standardı gereksinimleri dikkate alınarak SOLIDWORKS programında hafıza modülü kısmı silindirik olarak tasarlanmış, malzemesi seçilmiş ve analize başlanmıştır.

Açık Dinamik Çözüm (Explicit Dynamics):

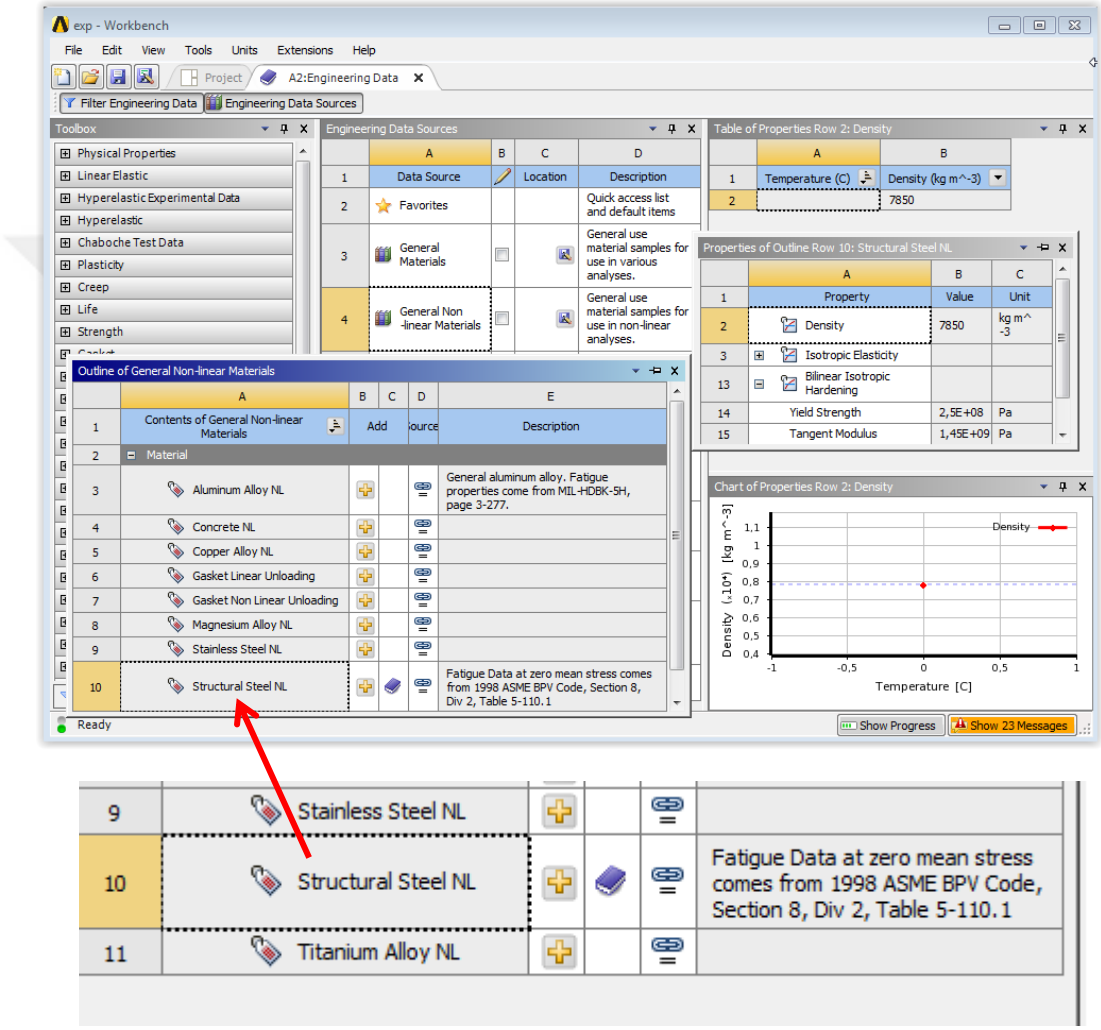
ANSYS Autodyn alt yapısını kullanan "Workbench" sekmesine girerek; metal şekillendirme, çarpışma, patlama, şok ve düşme testleri gibi yüksek deformasyon gerektiren senaryoların analizlerini yapabileceğimiz, küçük zaman aralıkları kullanılarak yüksek derecede lineer olmayan problemlerin/sistemlerin çözümlenmesinde kullanılan "Explicit Dynamics menüsünden Engineering Data" sekmesi seçilerek analiz edilecek malzemenin özellikleri girilmeye başlanmıştır. Ekran görüntüsü Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Açık Dinamik Çözüm

Malzeme Seçimi (Lineer Olmayan Yapısal Çelik):

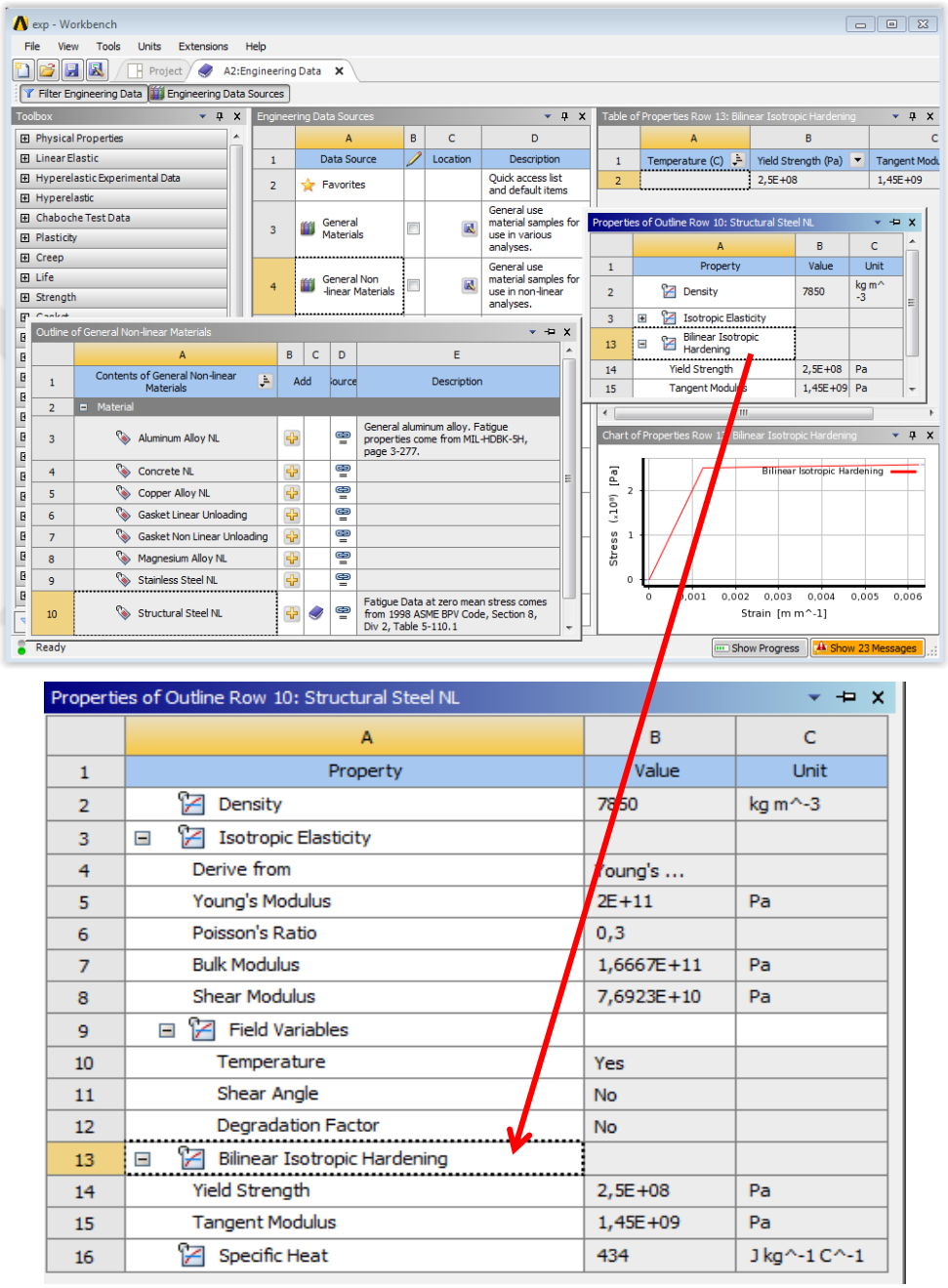
Malzeme seçiminde lineer olmayan yapısal çelik (Structural steel Non Linear) malzeme seçilmiştir. Ekran görüntüsü Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Analiz İşlemleri İçin Malzeme Seçimi

Plastik Bölgenin Doğrusallığının Tanımlanması (Bilinear Isotropic Hardening):

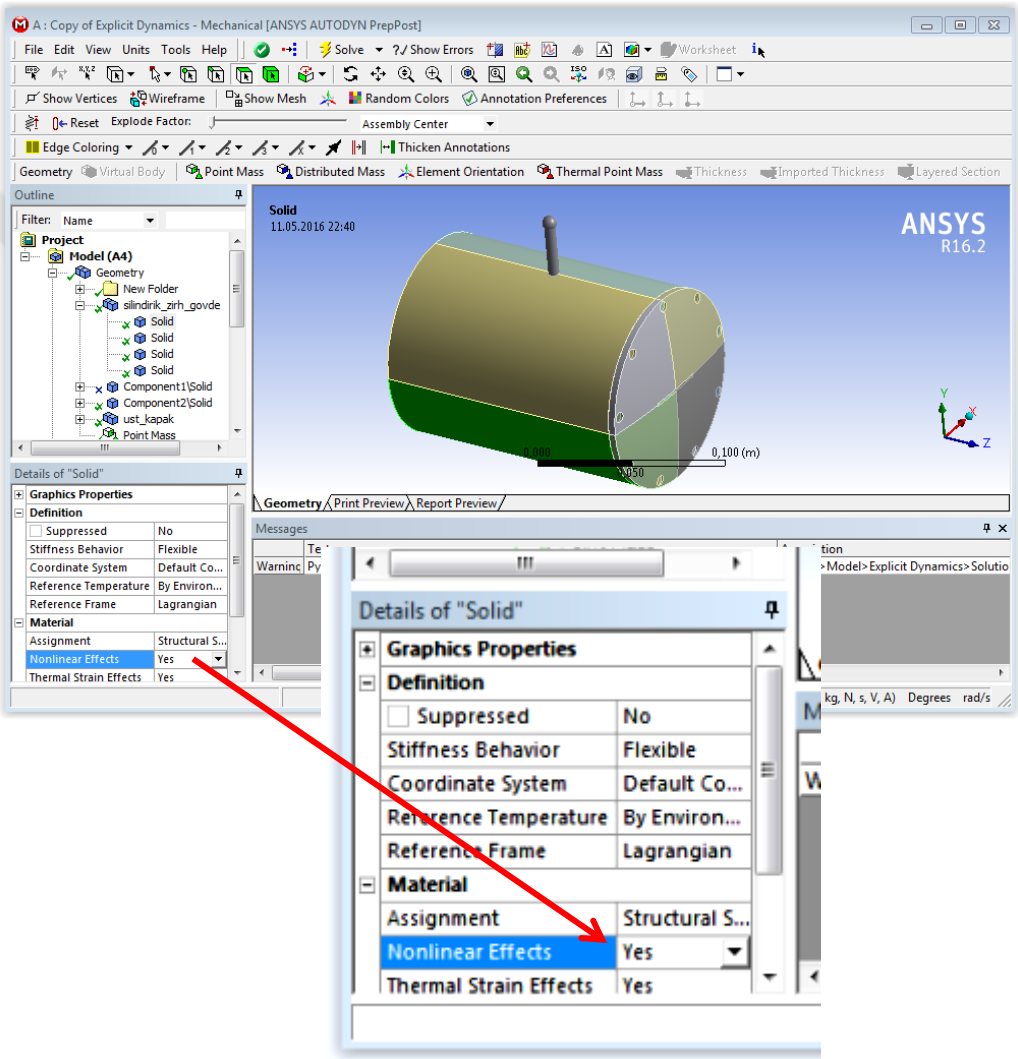
Lineer olmayan Explicit analizler plastik deformasyon bölgesinde yapıldığından "Structural Steel NL" Menüsü alt sekmesi olarak malzemede gerilme sabitlendikten sonra şekil değiştirme devam ettiğinden "Bilinear İsotropic Hardening" sekmesi seçilmiştir. (Şekil 3.12.)



Şekil 3.12. Plastik Bölgenin Doğrusallığının Tanımlanması

Doğrusal Olmayan Etkiler:

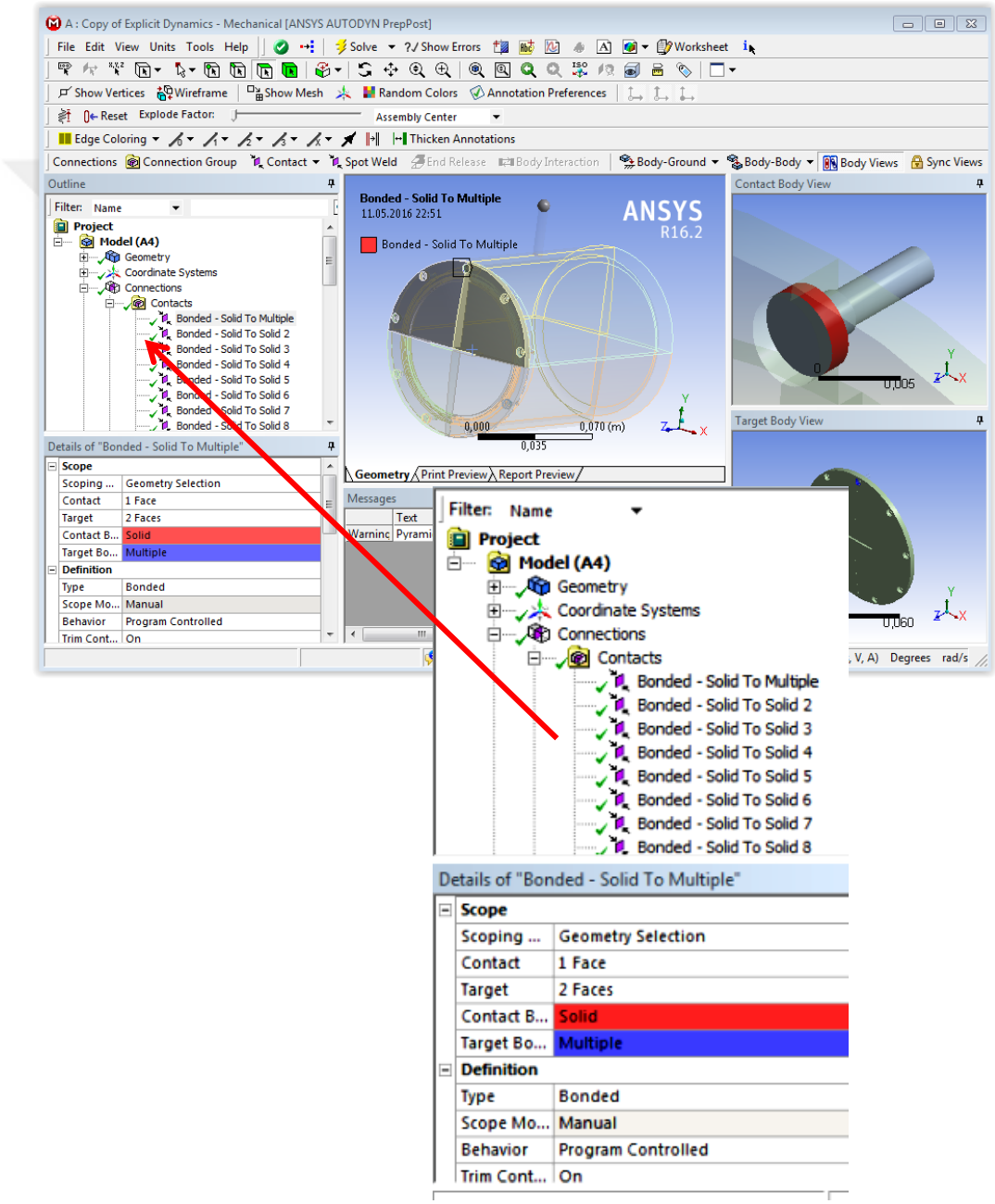
ANSYS programında analizi yapılacak olan model SOLIDWORKS programında hazırlanmıştır. Burada önem arz eden husus Doğrusal olmayan etkiler (Nonlinear Effects) sekmesinin Evet olarak işaretlenmesidir. Ekran görüntüsü Şekil 3.13.'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Doğrusal Olmayan Etkinin Tanımlanması

Bağlantı (Connection):

Bağlantı teması (Connection – Contact) seçilerek, malzemenin cıvata, kapak ve cidar kısmı sınır teması “Bonded Contact” ile bağlanmıştır. Cıvata kapak ile sabitlenerek oynaması engellenmiştir. Cıvatanın kapak ve cidarı tutması sağlanmıştır. Ekran görüntüsü Şekil 3.14.’te verilmiştir.



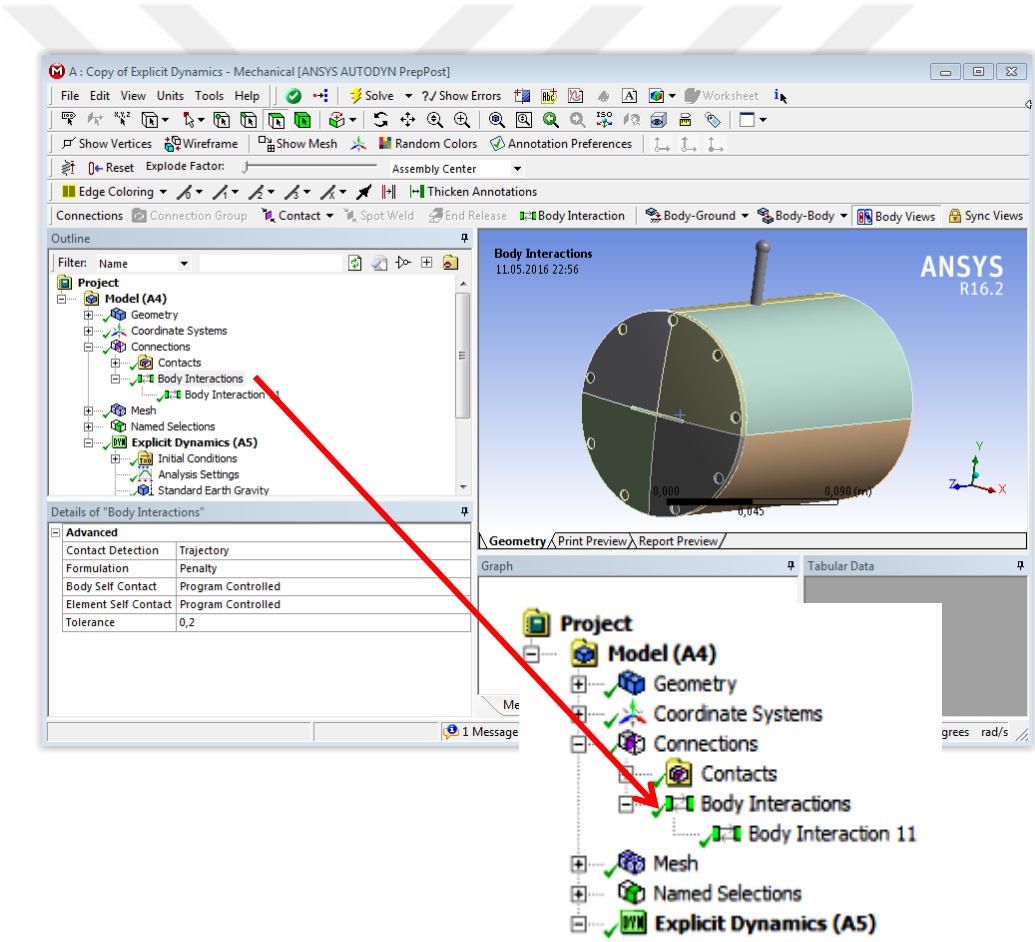
Şekil 3.14 Bağlantı Elemanlarının Tanımlanması

.

Cisim Etkileşmesi (Body Interaction):

Kütleler arası ilişki (Cıvatalar-Kapak-Silindir) Pim-Silindir ve Kapak-Silindir olarak "Body Interaction" sekmesi ile tanımlanmıştır. Ekran Görüntüsü Şekil 3.15.'te verilmiştir.

Cisim etkileşmesi "Body Interaction" komutunun görevi; Pim ve Silindir arası ağ örüntülerinin (meshlerin) birbiri içine geçmesini engellemesidir.

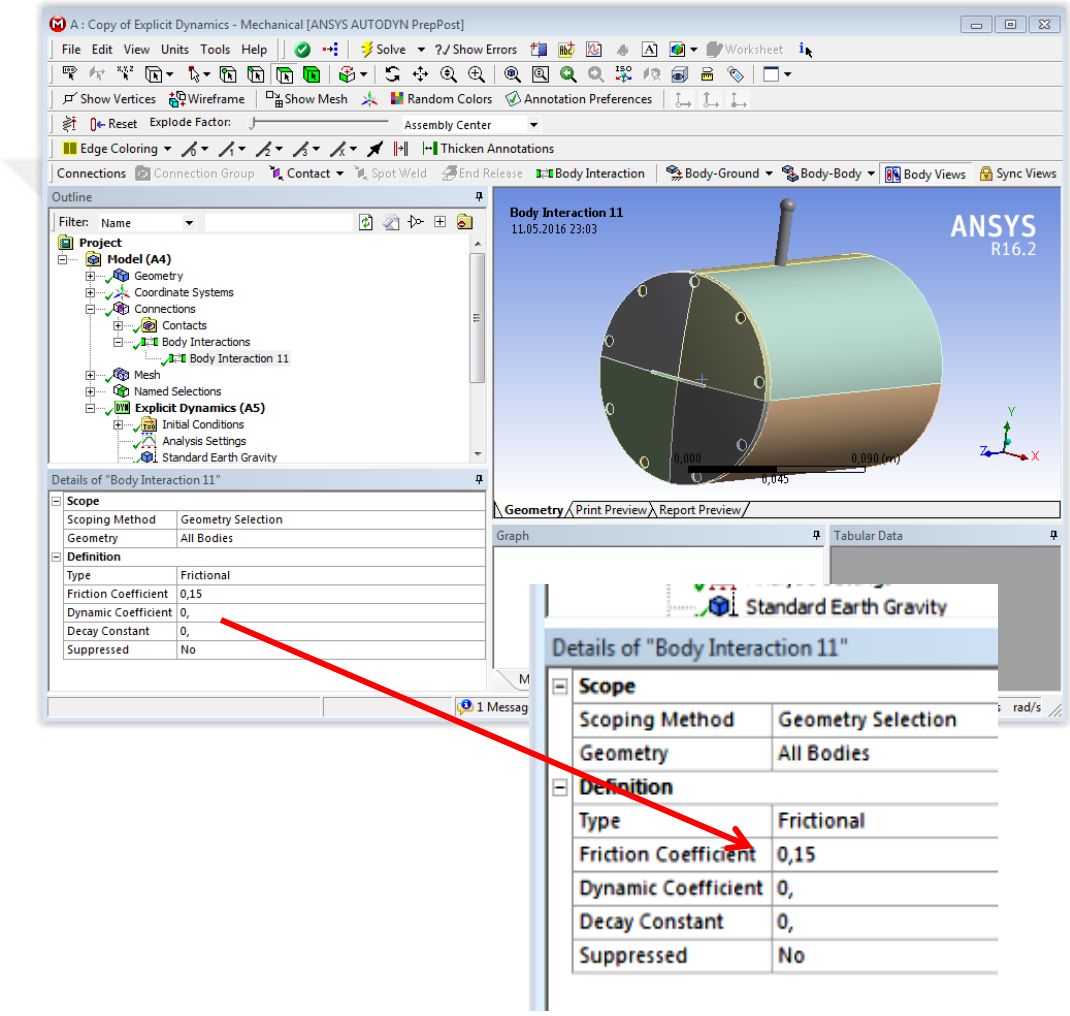


Şekil 3.15. Elemanların Birbirleriyle Etkileşmesinin Tanımlanması

Cisim Etkileşmesi II (Body Interaction II):

“Body Interaction II” komutu ile malzemeler arası (Çelik Malzeme) sürtünme tanımlanmaktadır. Ekran görüntüsü Şekil 3.16.’da verilmiştir.

Çelik Malzeme analizlerinde “Friction Coefficient” 0.15 olarak tanımlanmaktadır.

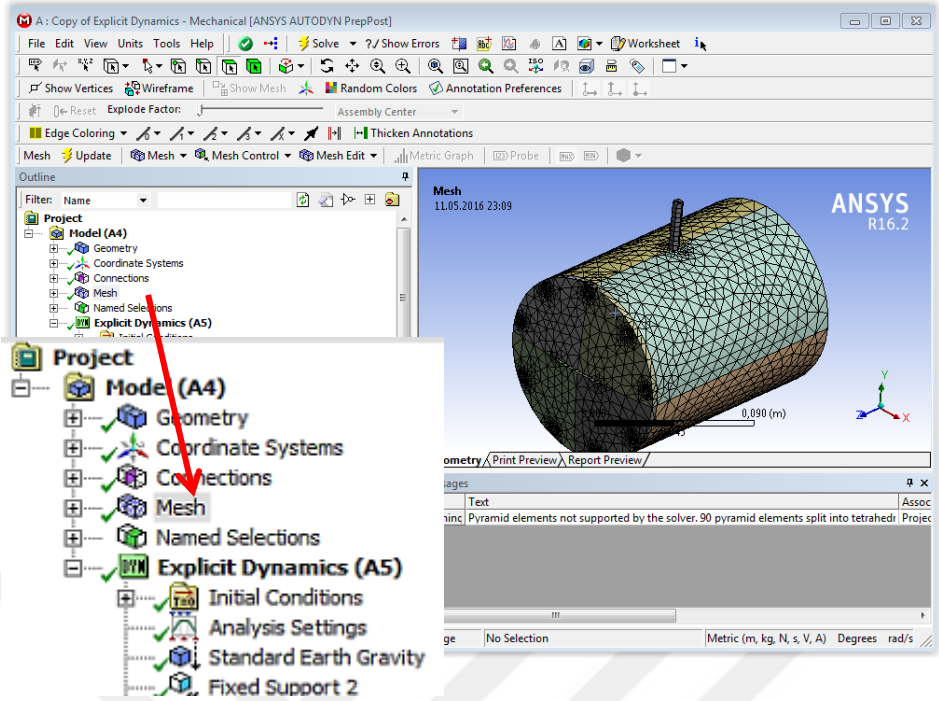


Şekil 3.16. Sürtünme Katsayısının Tanımlanması

Ağ Örgüsü Sonlu Eleman:

Modelin küçük parçalardan oluşan temel elemanlara ayırma işleminde (mesh) her elemanın köşelerinde düğümler (node) olacağından, hesaplamalarımız bu düğüm noktaları üzerinde gerçekleşecektir. Bu sebepten fiziksel ortam önce elemanlara (element) bölünür ve elemanların köşe noktaları ise fiziksel ortamı temsil eden noktalar uzayı olmuş olur. Elde edilen sonuçlar bu noktaların üzerindeki değerlerdir. Çalışmamızda Ağ Örgüsü (Mesh) ataması yapılmıştır. Ancak Ağ Örgüsünün boyutunu küçültmek çözüm işleminin süresini artırmasına rağmen çözüm sonucunun doğruluğunu arttırmak için kritik bölgede daha sık bir ağ örgüsü oluşturulmuştur. Mesh metodu ANSYS yazılımında "Mesh Control/ Method" bölümünde Automatic, Tetrahedron, Hex Dominant, Sweep veya Multizone olarak seçilebilir durumdadır. Bu çalışmada gövde Tetrahedron ağ örgüsü, olarak tanımlanmıştır. Üçgen prizma şeklindeki Tetrahedron ağ örgüsü kompleks geçişleri daha iyi yakalamak için kullanılmıştır.

Hızlı hesaplama yapabilmek için "Physics Preference →Explicit" olarak seçilmelidir. Böylece ara düğüm elemanı hesaplamaya dahil edilmez. Ara elemanların alınmaması ağ örgüsünün daha küçük seçilebilmesine olanak tanımaktadır. Ekran görüntüsü Şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Silindirin Ağ Örgüsü

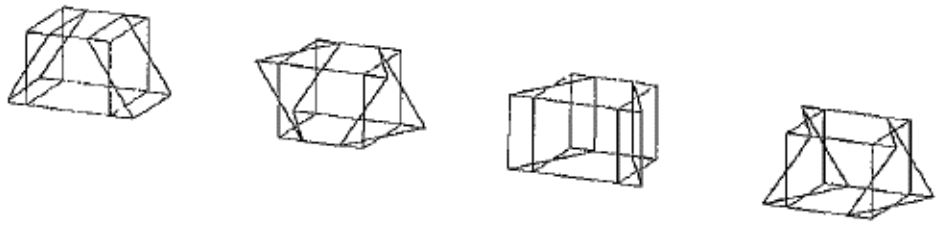
<u>Uygun Ağ Örüntüsü Seçimi (Sizing-Relevance Center):</u>

Global Mesh ayarı “Coarse-Medium-Fine” sekmelerinden “Medium” olarak seçilmiştir. Nedeni “Coars” alındığında enerji hataları oluşmaktadır. Bu ağ örgüsünden kaynaklı enerji hatası olup “Hourglass Eror” olarak karşımıza çıkmaktadır ve sebebi analizde ara elemanların alınmamasıdır. Seçimde “Medium ve Fine” üzerine yönleniyoruz. Fine, çok küçük ağ örgüsü olduğundan işlem süresini gereksiz uzatıp, yüksek donanımda, çözüm yapabilecek bilgisayar ihtiyacı karşımıza çıkarmaktadır.

Hourglass Eror (Kum Saati Durumları) Explicit analiz prosedüründe en çok süreyi ve işlemi elemanların işlenmesi alır. Bu yüzden hızlı eleman formülasyonları gereklidir. Elemanlardaki integrasyon noktalarının miktarı toplam CPU zamanını direk etkiler. Bu yüzden indirgenmiş elemanlar kullanılır. Standart tuğla (brick) elmanlar tam ortalarında bir adet hesap noktası içerir. Standart kabuk elemanlar, ortalama düzlemde bir adet hesap noktası içerir. İlave olarak kullanıcı tarafından tanımlanacak

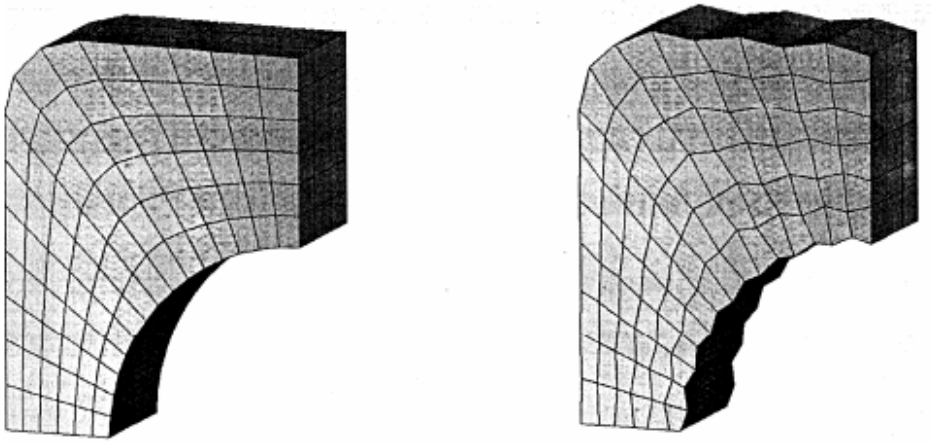
hesap noktaları kalınlığa eşit aralıklarla yerleştirilir. Tek hesaplama noktasının avantajları; bilgisayardaki hesaplama süresini kısaltmak ve büyük eleman deformasyonlarında sağlıklı sonuç elde etmektir. Tek hesaplama noktasının dezavantajı ise hiç enerji harcamadan deformasyonun mümkün olmasıdır.[22]

Tek hesaplama noktalı katı elemanlarda sıfır enerji deformasyonları Şekil 3.18.'de gösterilmiştir. (LS-DYNA, 1996)



Şekil 3.18. Kum Saati Hatasının Temsili Gösterimi [7,8]

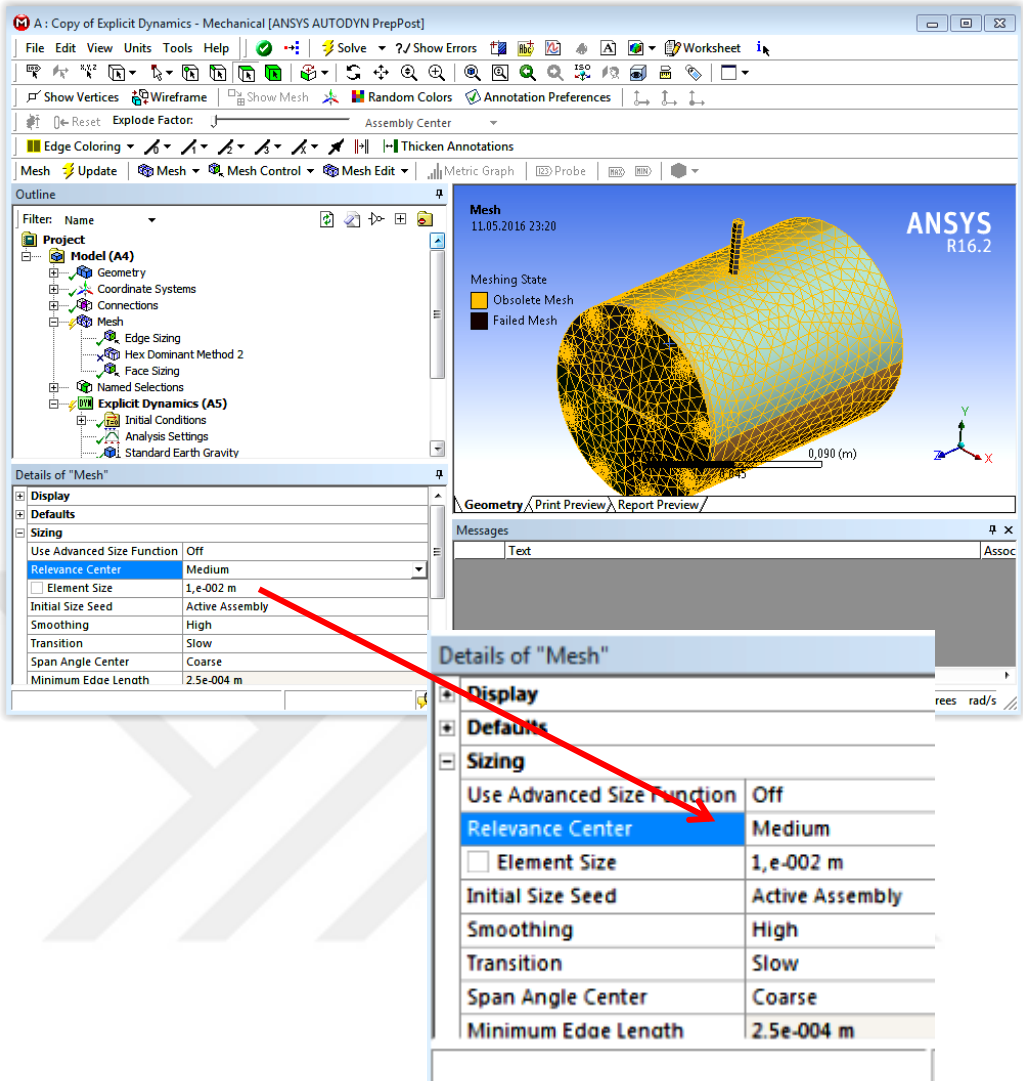
Sıfır enerji ile gerçeklesen deformasyonları kontrol altında tutmak analizin tutarlılığı açısından gereklidir. Bu olay Şekil 3.19.'da görüldüğü gibi kum saati durumu (Hourglass Modes) olarak adlandırılmıştır.[7, 8]



Şekil 3.19. Katı Ağ Yapısının Kum Saati İle Temsili [7, 8]

Kum saati durumunun kontrolü beraberinde ilave katılık veya viskoz sönümlemelere yol açmaktadır. Özellikle tek noktadan yapılan yüklemeler kum saati durumunun oluşmasına sebep olur. Kum saati durumu oluşan eleman bu etkiyi komşusu olduğu elemanlara da iletir. İşlemler esnasında tek noktadan uygulanan yüklere dikkat edilmelidir. Ayrıca bu yükleme durumu temas esnasında da oluşabilmektedir. ANSYS oluşan kum saati durumunu otomatik olarak kontrol eder ve kum saati enerjisinin zamana bağlı değişimini çıktı dosyasına (d3plot) yazar. Bu dosya incelenerek sonucun tutarlılığı gözden geçirilebilir. Hesaplama noktaları sayısını arttırmak, işlem süresini arttırmasına rağmen bir çözüm olabilir. Tam ara elemanlar dikkate alınarak hesaplanmış elemanlar tek noktada hesaplanmış elemanlarla bir arada kullanılarak kum saati durumundan uzak durulabilir[7, 8].

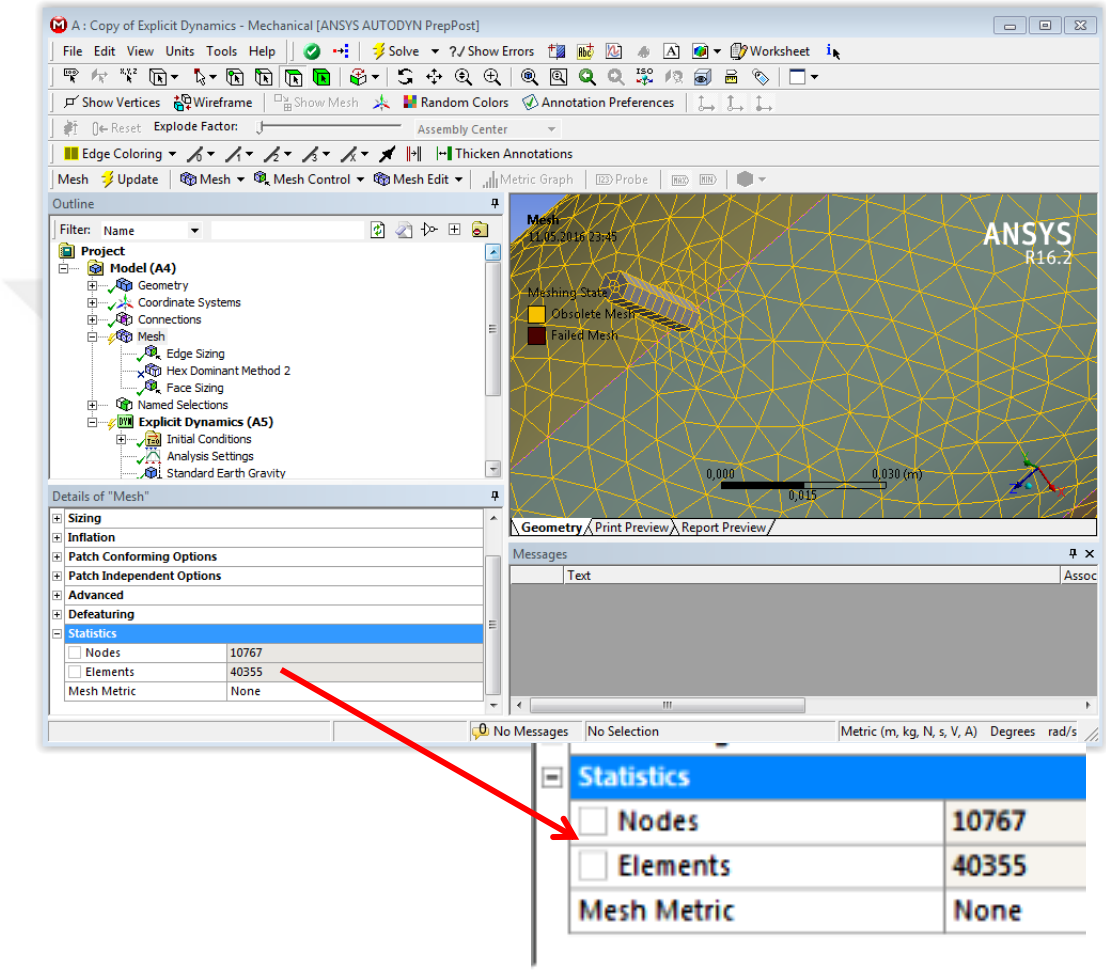
Çözüm için “Medium” seçeneği ile mesh işleminde ideal eleman boyutunu seçmiş oluyoruz. Şekil 3.20.’de görüldüğü gibi Medium’da “Element Size” 10 mm alınmaktadır.



Şekil 3.20. Ağ Örüntüsü Seçimi

Düğüm ve Eleman Sayısı:

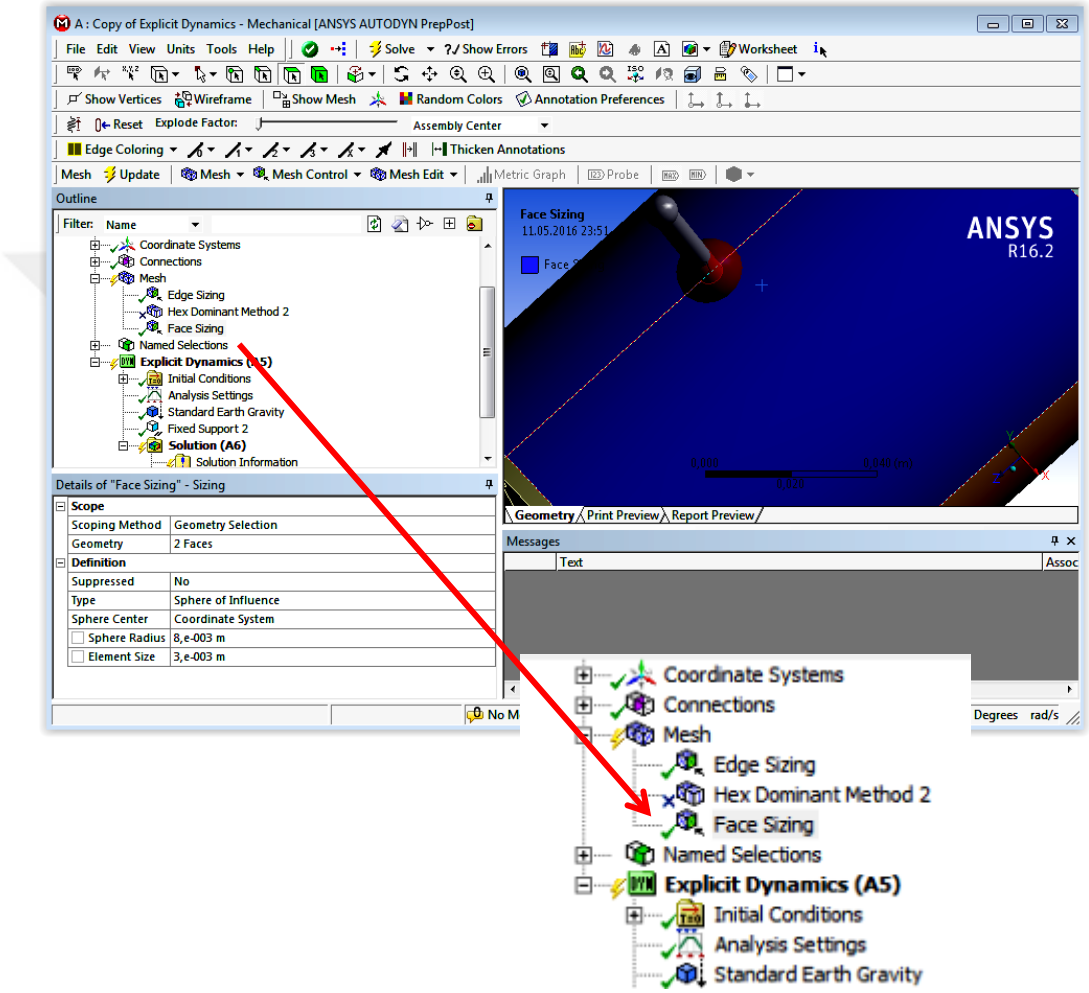
Sistemde toplam 10767 düğüm noktası ve 40355 eleman sayısı oluşturulmuş ve ekran görüntüsü Şekil 3.21.'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Modelin Düğüm ve Eleman Sayıları

Bölgesel Ağ Örgüsü Ayarları:

Şekil 3.22.'de görüldüğü gibi sadece üst yüzeydeki elemanlar iyileştirilerek daha küçük ağ örgüsü yapılmıştır.

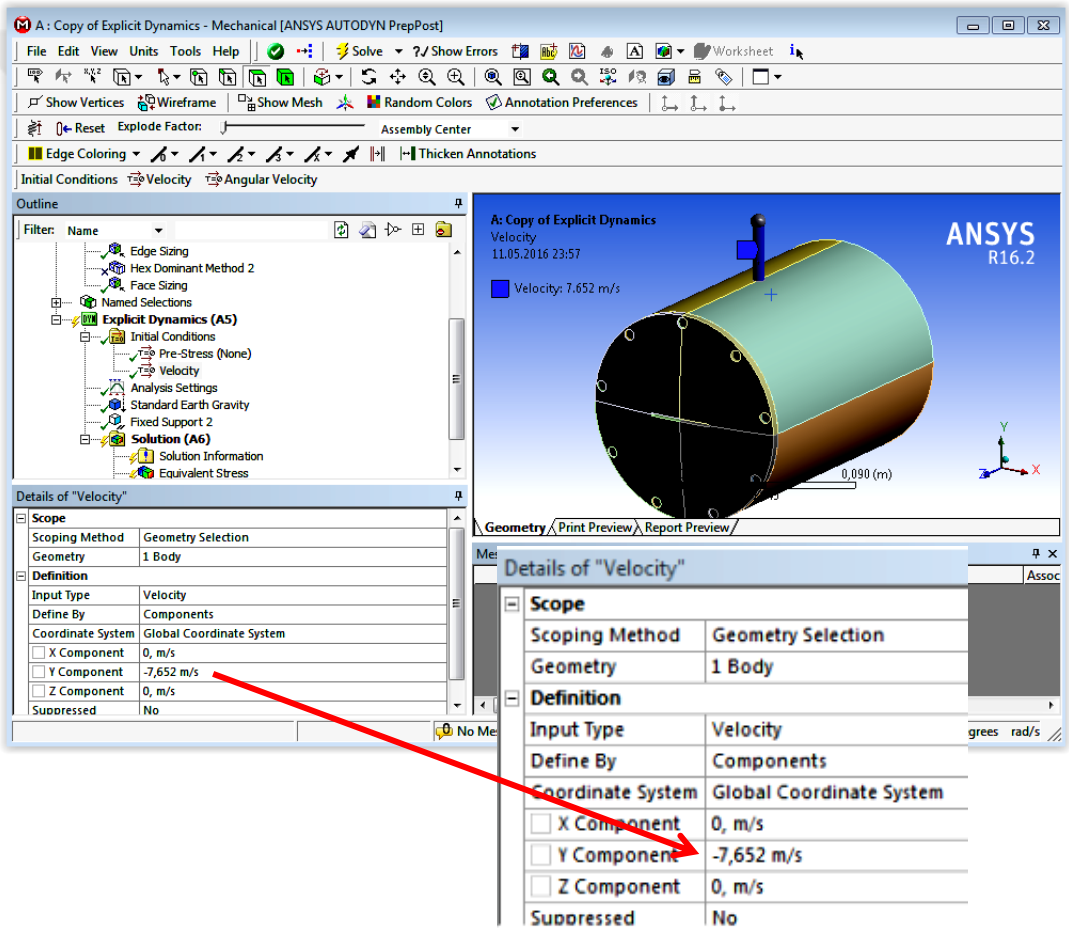


Şekil 3.22. Bölgesel Ağ Örgüsü Ayarlarının Yapılması

Sınır Koşullarının Tanımlanması:

Analizde pimi 3 m yükseklikten düşürmeyip aynı etkiyi yapacak hızı vererek simüle edilmiştir. Şekil 3.23.'te görüldüğü gibi pim silindir üzerine yaklaştırılıp o anki hız, sınır koşul olarak tanımlanmıştır.

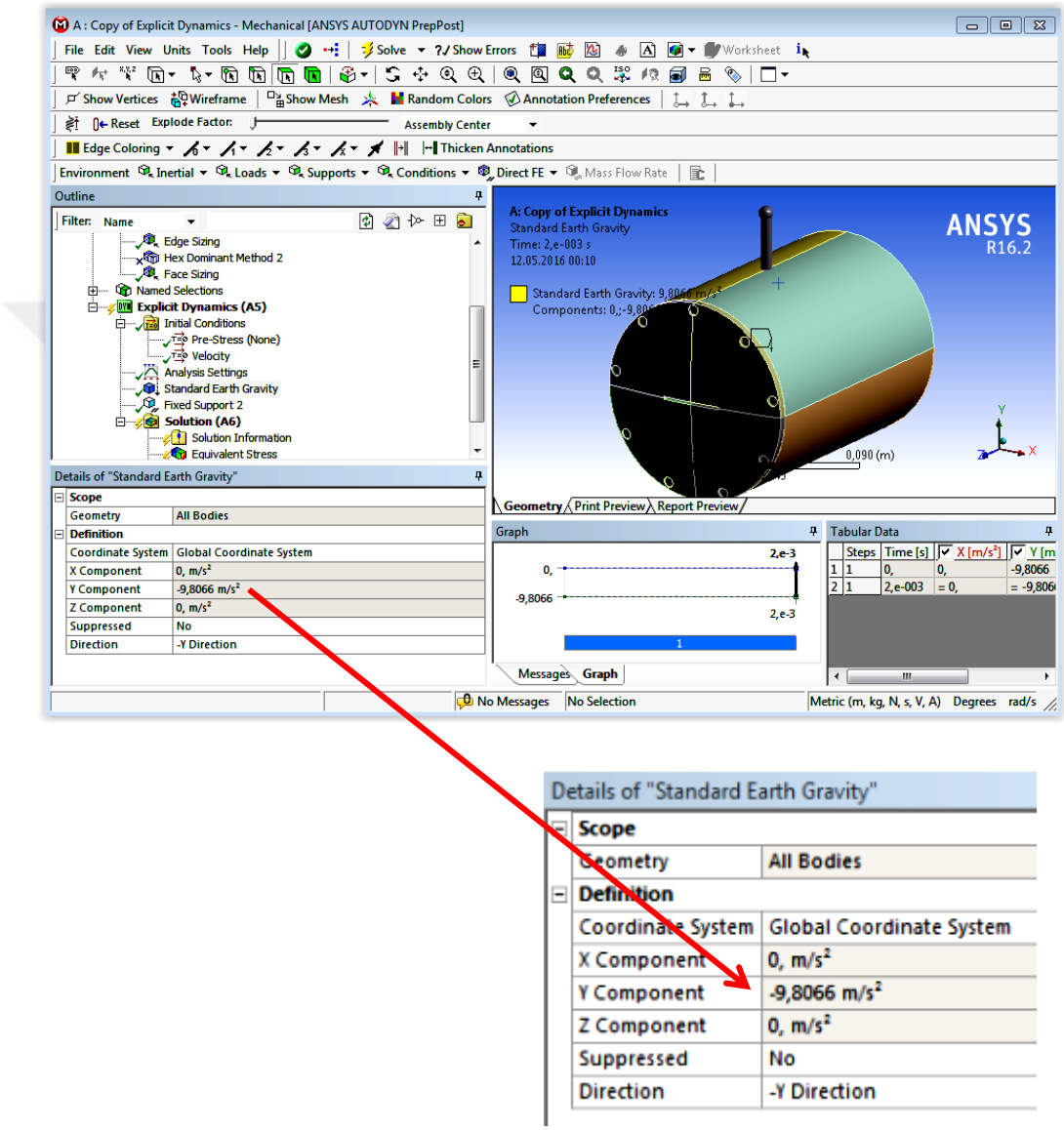
Temas hızı (3.8) ifadesinden $V = 7{,}652\ m/s$ olarak hesaplanır. Yerçekimi ivmesi $g = 9.81\ m/s^2$, yükseklik ise $h = 3m$ alınmıştır.



Şekil 3.23. Pimin Silindire Teması Hızının Tanımlanması

Yer Çekimi İvmesi:

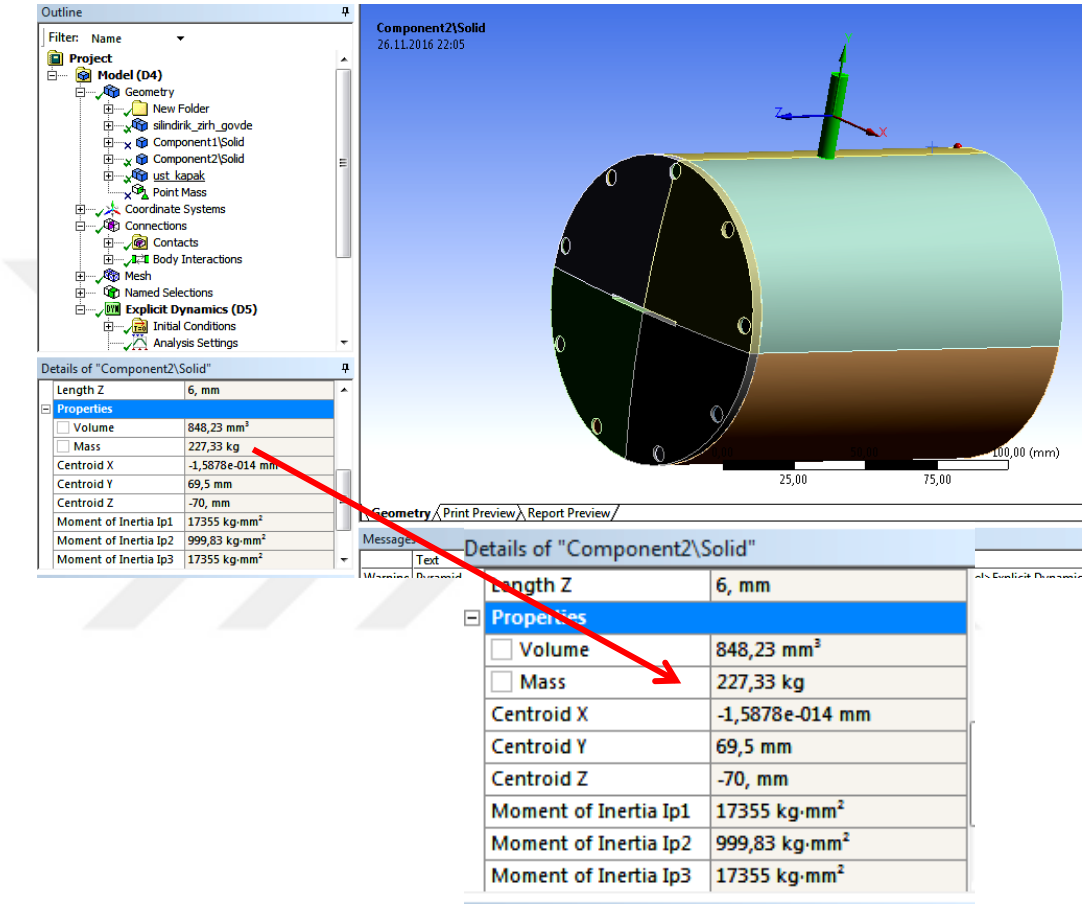
Sınır koşul olarak Şekil 3.24.'teki gibi yerçekimi ivmesi tanımlanmıştır.



Şekil 3.24. Yerçekimi İvmesinin Tanımlanması

Pim Ağırlığının Tanımlanması:

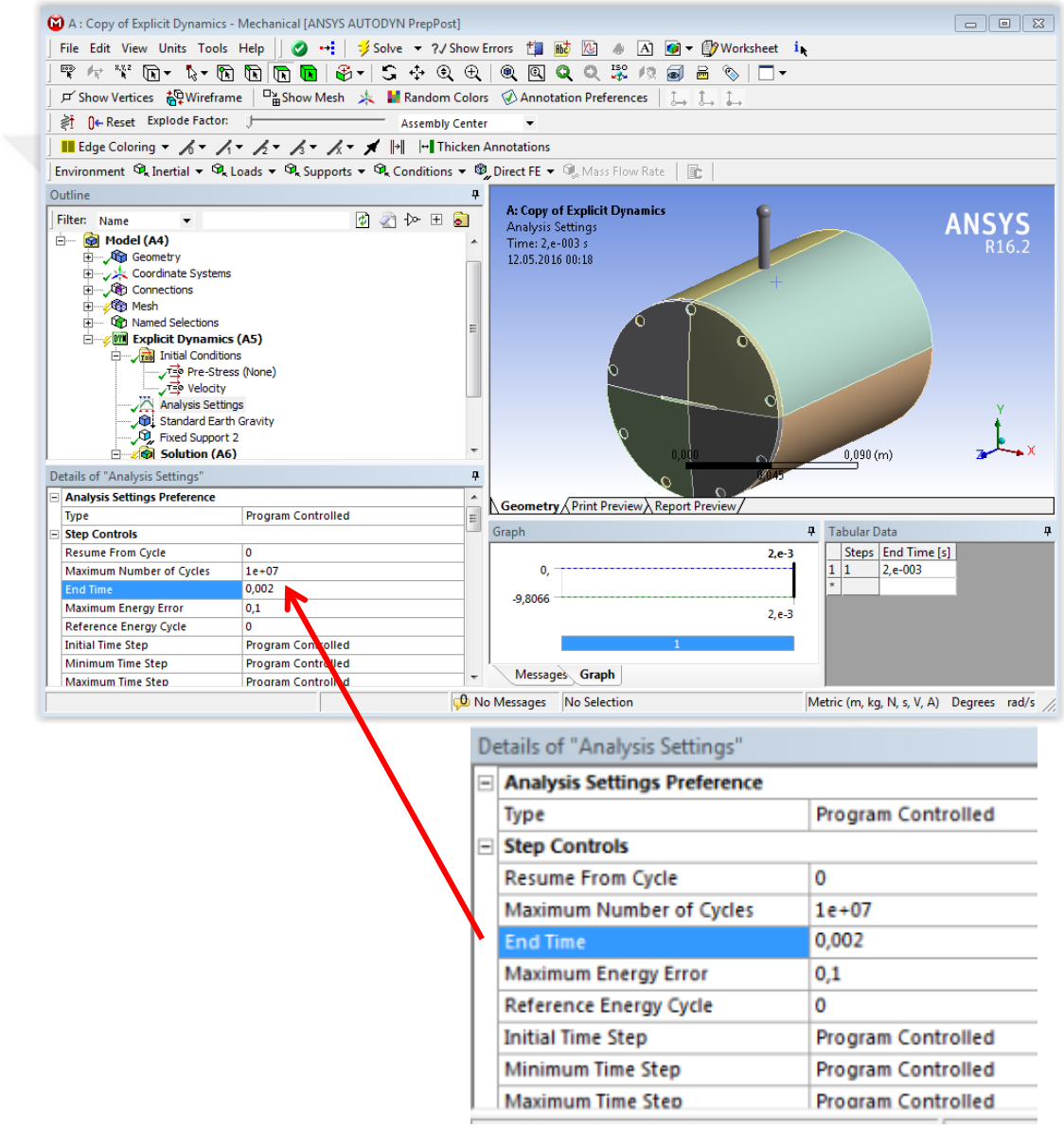
ED112 standardında belirtildiği gibi model üzerine düşürmemiz gereken 227 kg, işaretli bölgede Şekil 3.25.'te görüldüğü üzere, pim ağırlığı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.25. Pim Ağırlığının Tanımlanması

Analiz Ayarları:

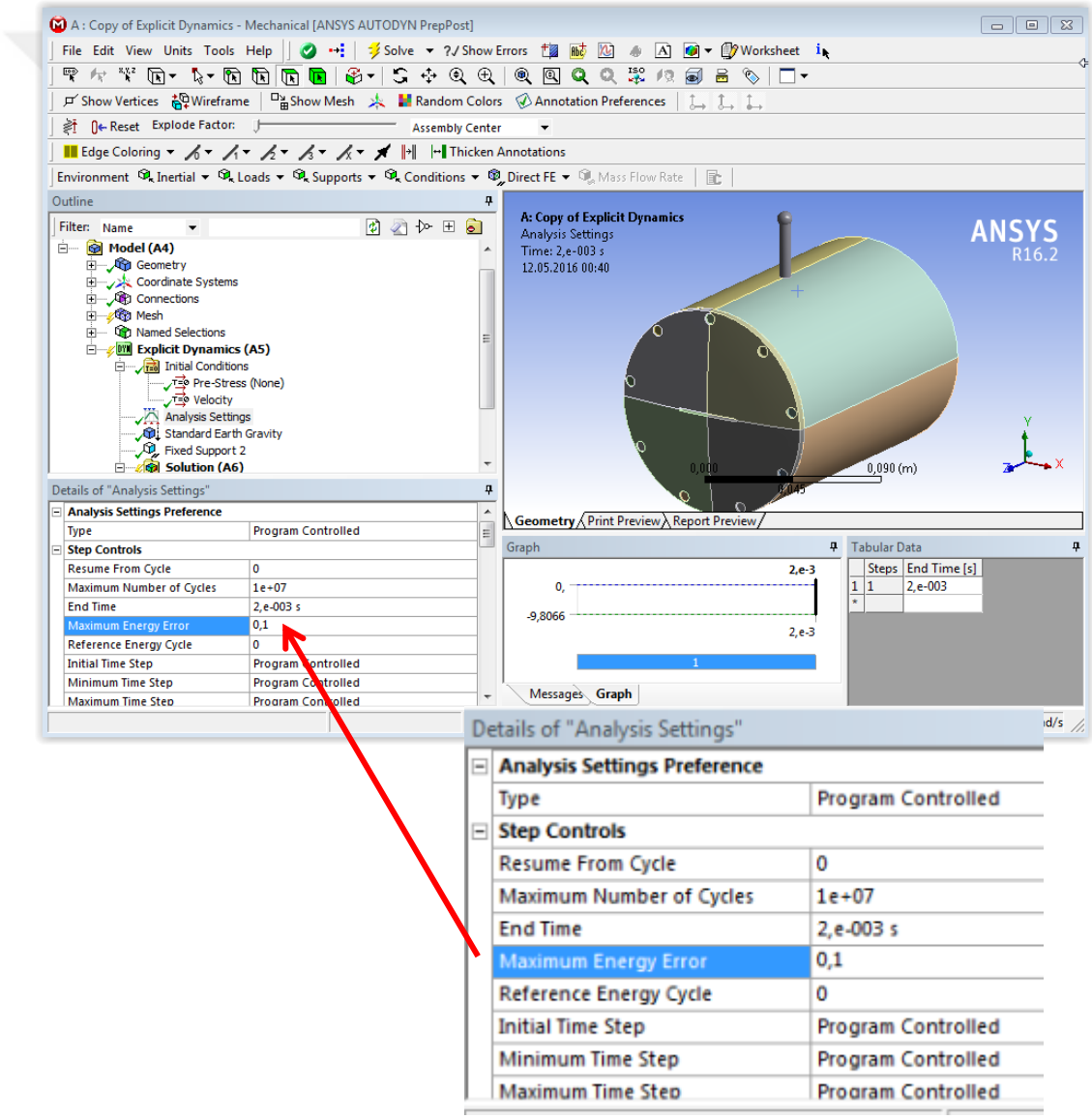
Zaman aralığı verilirken darbe ve düşme analizlerinde milisaniye ve mikro saniye seviyesine kadar inilmektedir. Analizimizde işlemin gerçekleştirilme zamanı 2 milisaniye olarak alınmıştır. Diğer ayarlarda, program tarafından atanan değerler kullanılmıştır. Ekran Görüntüsü Şekil 3.26.'da verilmiştir.



Şekil 3.26. Temas Gerçekleşme Süresi

Maksimum Enerji Hatası:

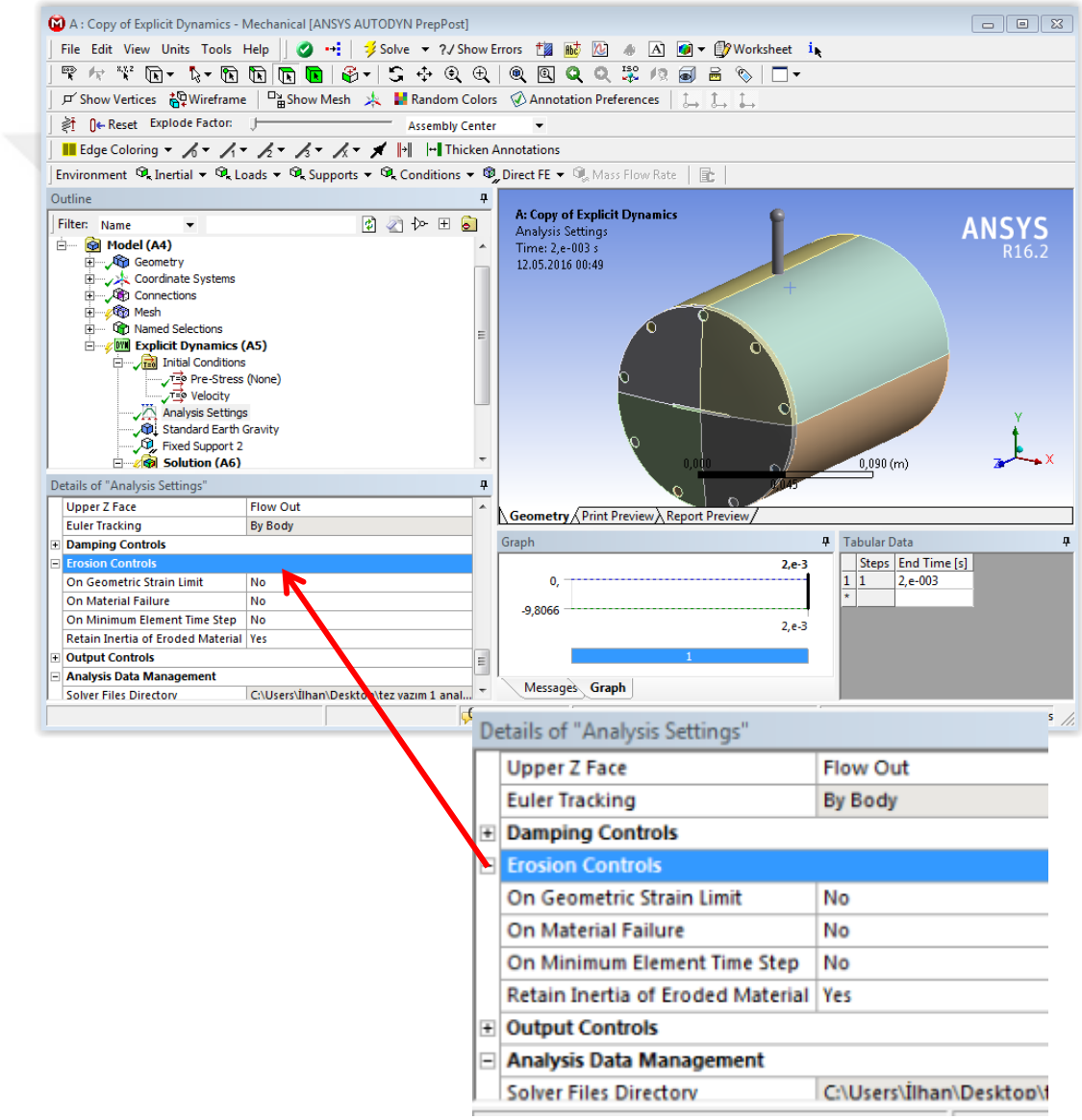
Enerji hatası sınırı % 10 olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama ile düşme analizi yapılırken sistemde enerji hatası %10'un üzerine çıktığında hata vermekte ve hesaplama yapılamamaktadır. Sistem üzerindeki toplam enerjinin maksimum %10'unun kaybolmasına izin verilerek, enerji kaybını yüzde 0 ile 10 arasında tutulmuştur. ANSYS programında düşme analizlerinde bu değer genellikle %10 olarak belirlenmiştir. Bu işlemin ekran görüntüsü Şekil 3.27.'de verilmiştir.



Şekil 3.27. Temas Anındaki Sürtünmeler Ve Diğer Kayıplara Harcanan Enerji Hata Oranı

Eleman Silinmesi:

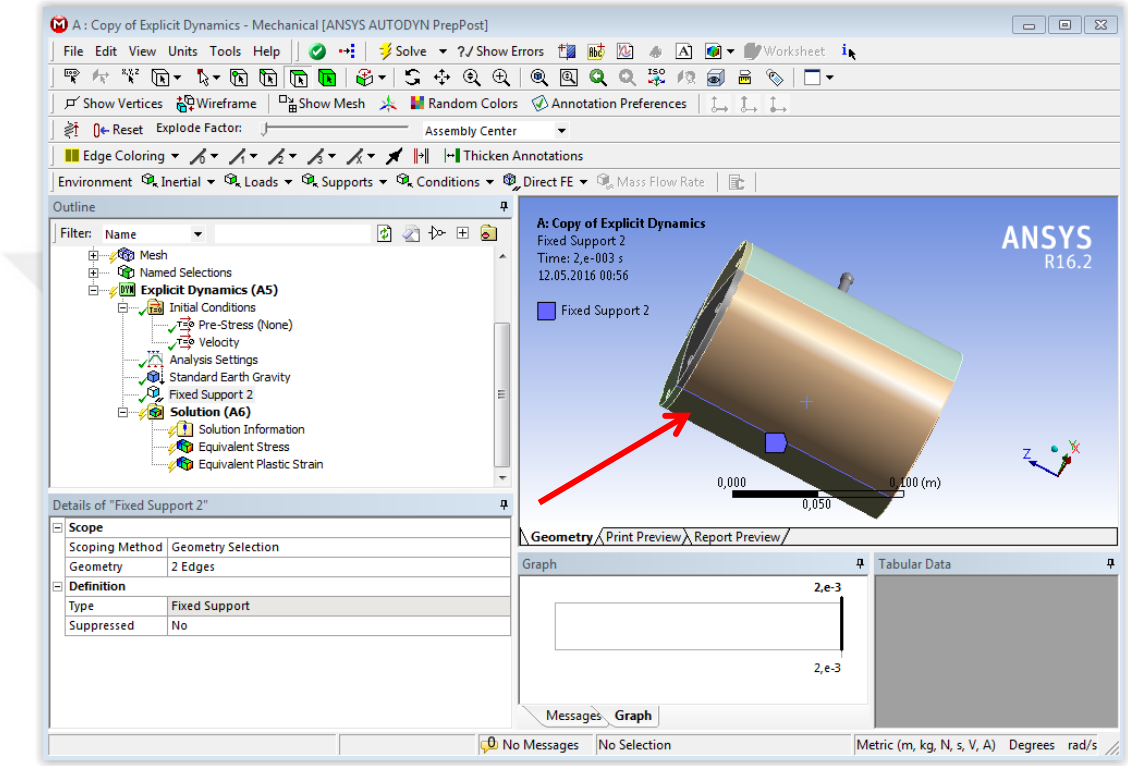
Malzeme yüksek deformasyona uğradığı zaman eleman silinmesini sağlayan ayarlardır. Eleman silinmesi delme analizleri için istenmeyen bir olaydır. Gerçek hayatta böyle bir şey gözlemlenmediğinden Şekil 3.28.'de görüldüğü gibi bu özellik açılmamıştır. Analizimizde eleman silinmesi olmamaktadır.



Şekil 3.28. Eleman Silinmesi Seçeneği

Parçanın Sabitlenmesi:

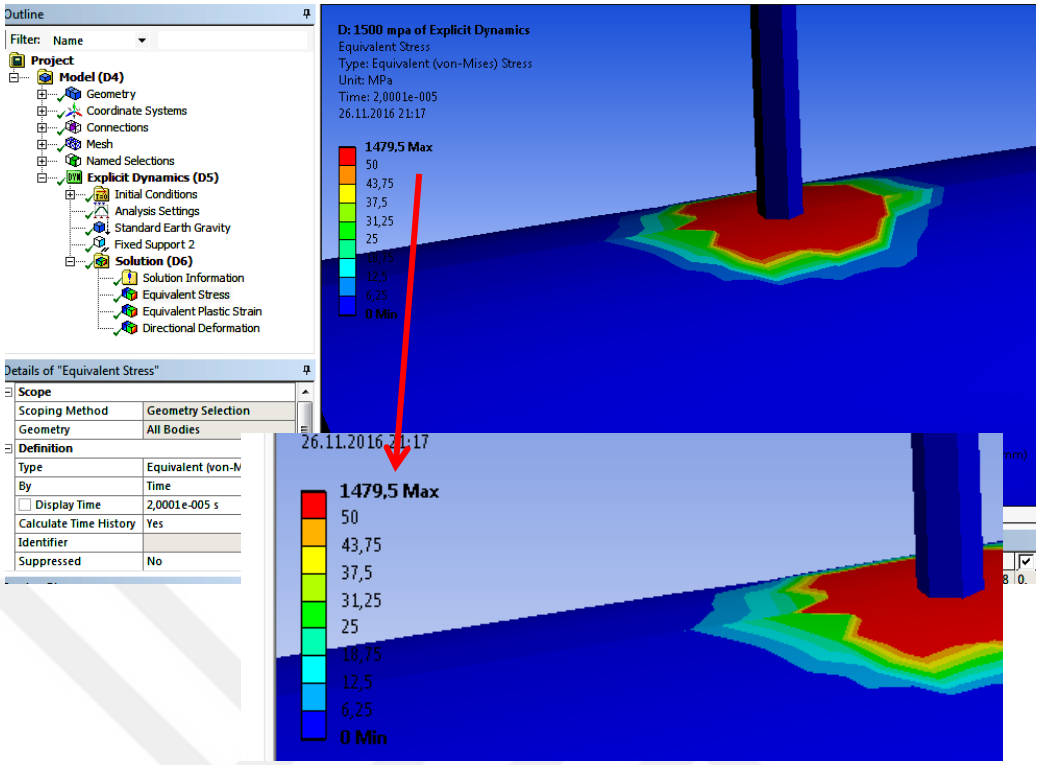
Parça, zemin modelinin simüle edilebilmesi için alt kenarlarından Şekil 3.29.'da görüldüğü gibi bağlanmıştır.



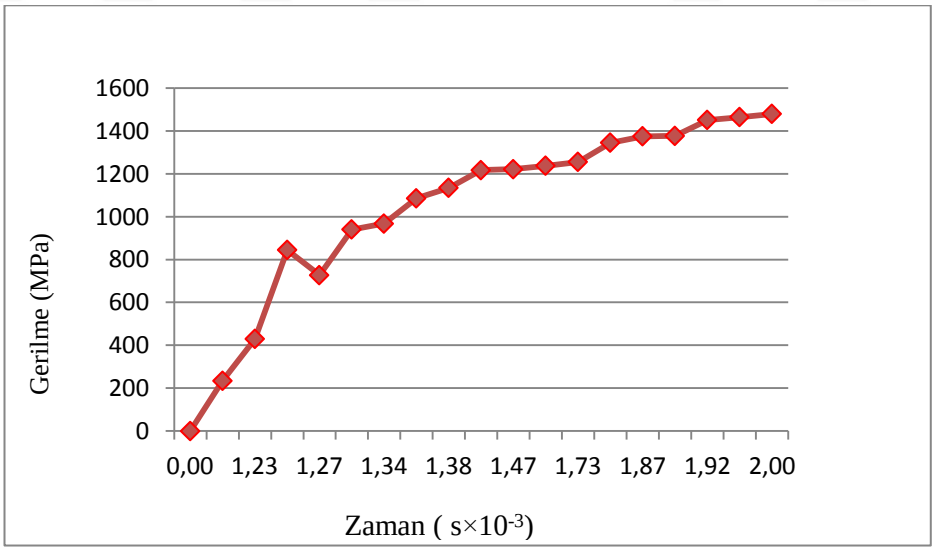
Şekil 3.29. Silindirik Parçanın Sabitlenmesi

Eşdeğer Gerilme (Çözümler)

Malzemenin akma sınırına göre yapılan hesaplama yöntemidir. Analiz sonucu ile çelik malzemelerde 1500 MPa akma sınırının üzerinde bir değer olup olmadığı kontrol edilir. Yapılan analizin sonucu 1479 MPa olup, isterleri karşılamaktadır. Temas sonrası Şekil 3.30.'da görüldüğü gibi problemli bir bölge oluşmamıştır. Eşdeğer gerilme grafiği Şekil 3.31.'de verilmiştir.



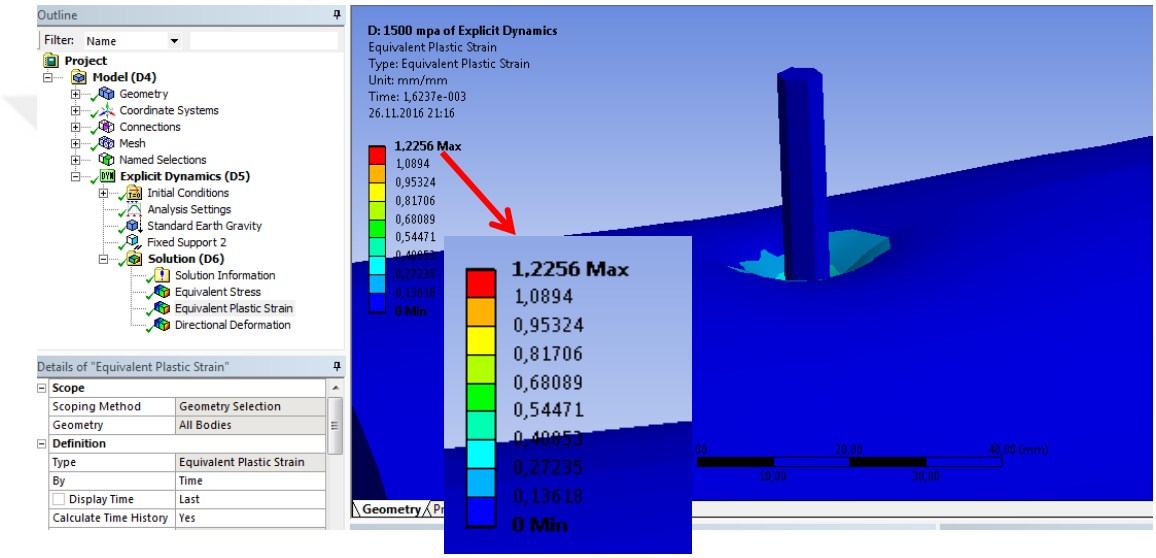
Şekil 3.30.. Eşdeğer Gerilmenin Görüntüsü



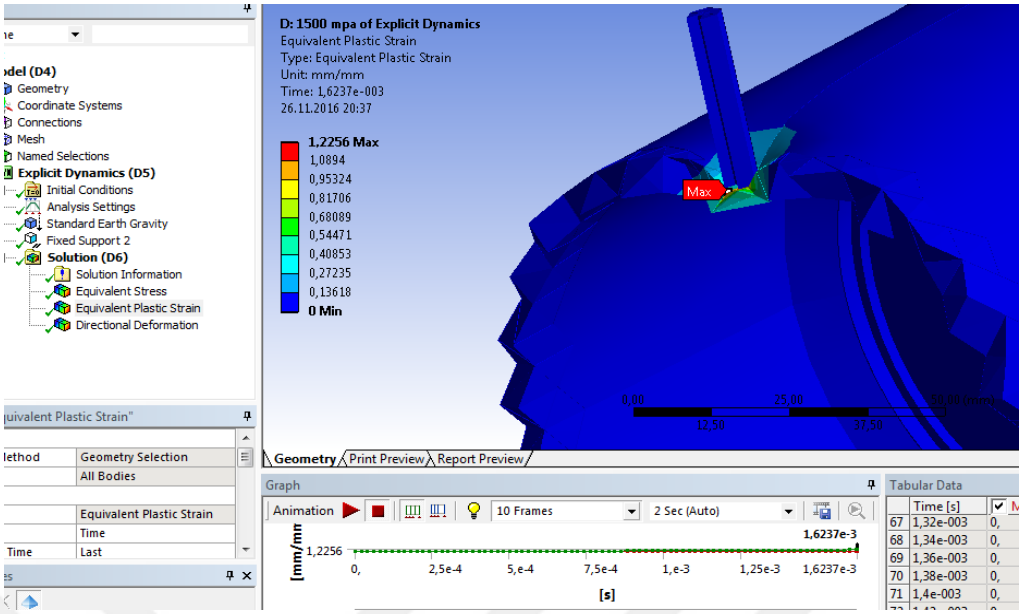
Şekil 3.31. Eşdeğer Gerilme Grafiği

Eşdeğer Plastik Gerinme:

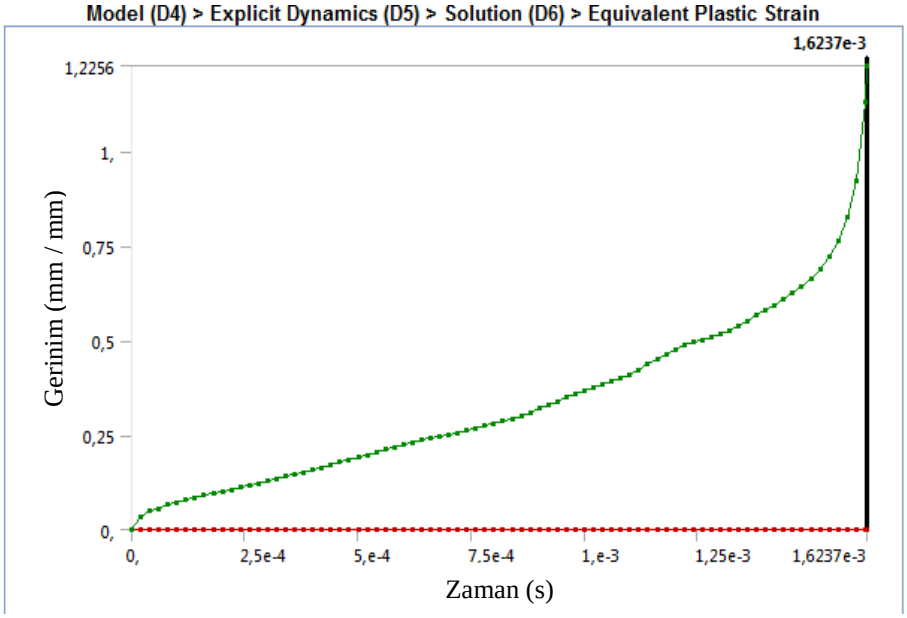
Analizin bu aşamasında parça üzerinde kalıcı deformasyon olup olmadığına bakılmakta olup, modelde 1.22 mertebesinde plastik deformasyon görülmektedir. Elde edilen analiz sonuçları Şekil 3.32.'de deformasyonun olduğunu ancak pimin silindiri delmediğini göstermektedir. Şekil 3.33.'te kesit görüntü Şekil 3.34.'te eşdeğer deformasyon grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.32 Eşdeğer Plastik Gerinme

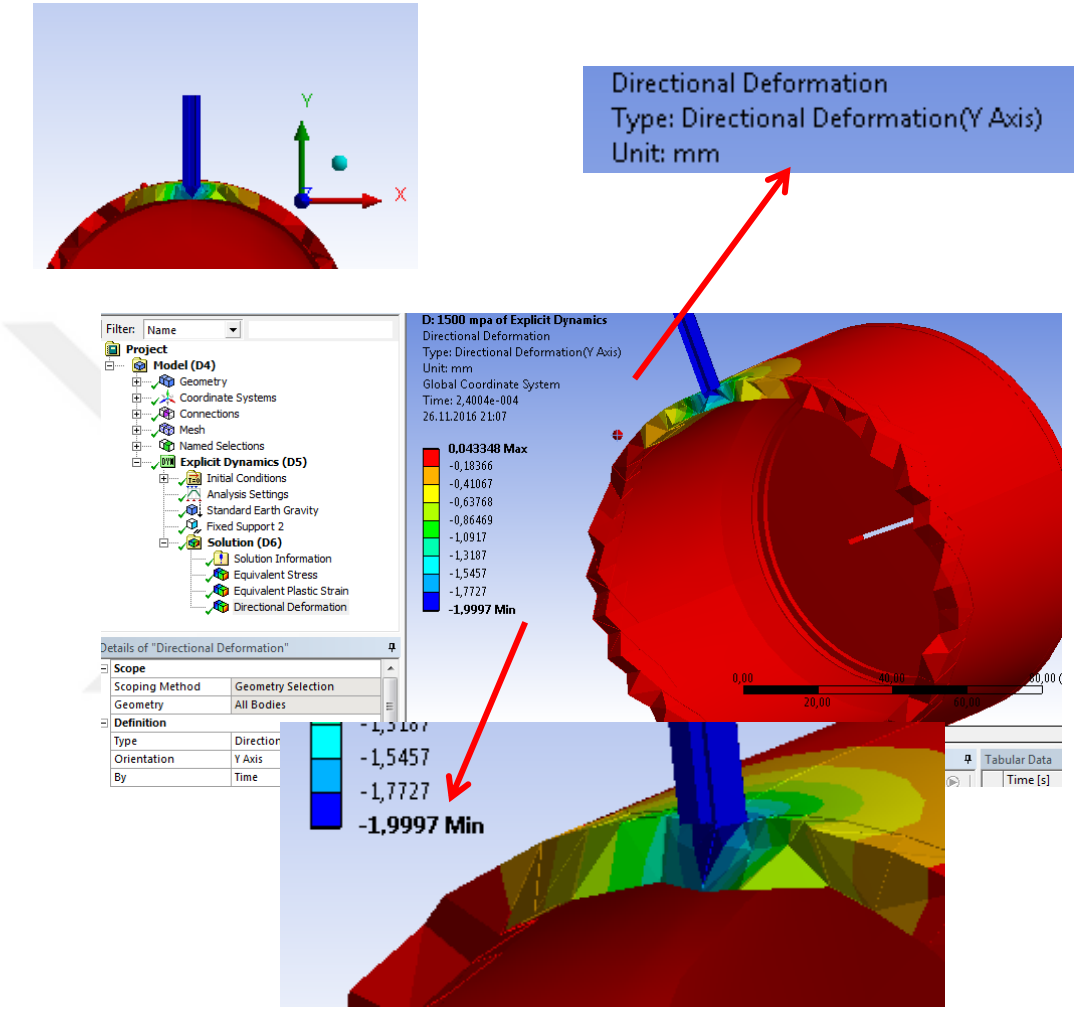


Şekil 3.33 Eşdeğer Plastik Deformasyonun Görüntüsü



Şekil 3.34 Eşdeğer Plastik Deformasyonun Zamana Göre Değişimi

Deneysel çalışmalarla sonuçların karşılaştırılabilmesi için analiz verilerinden ölçülebilecek *y* eksenindeki yer değişim, çözümün kesit görüntüsü alınarak Şekil 3.35.'te çıkarılmıştır. *y* eksenindeki çökme değeri 1.99 mm ölçülmüştür.



Şekil 3.35 *y* Eksenindeki Çökme

Hafıza birimi olarak tanımlanan ve modellenerek analiz edilen silindirik parça, en kritik noktasından serbest ağırlık düşürme darbe analizine tabii tutulmuştur. Modelde kapak üzerine düşme testi bilgisayar ortamında gerçekleştirilmemiş ancak mekanik testler sırasında serbest ağırlık düşürme testi yapılmıştır. Analizin yapılmamasının sebebi yapılan test sonuçlarına bağlı olarak kapak tasarımının kolaylıkla

iyileştirilebilmesidir. Analiz sonucu, modelin, havacılık standartlarına uygun olduğunu ve mekanik testlere başlanabileceğini göstermiştir.

3.4.2. Statik Basma Testi

3.4.2.1. Statik Basma Analitik Çözüm

Basma deneyi, yükün uygulanması ve bunun numune üzerindeki etkileri açısından çekme deneyinin tam tersidir. Basma deneyi de Üniversal basma cihazlarında yapılır ve iki basma kafası arasına yerleştirilen numuneye sabit hızla artan bir basma yükü uygulanır. Bu basma yükü neticesinde, numune boyu sürekli kısalırken, numunenin kesit alanı da sürekli artar.[23,24]

Uygulamada, basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılan malzemeler genellikle gevrek malzemelerdir. Gri dökme demir, yatak alaşımları gibi metalik malzemeler ile tuğla, beton gibi metal dışı malzemelerin basma mukavemetleri, çekme mukavemetlerinden çok daha yüksek olduğundan bu tür malzemeler basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılırlar ve basma deneyi ile muayene edilirler.[25-27]

Basma deneyi sonunda, cihaz tarafından Basma Yükü – Kısalma eğrisi çizilir. Bu eğri çekme deneyinde elde edilen Yük–Uzama eğrisiyle tamamen aynıdır. Ancak eksenler, basma yükünü ve bu yük neticesinde numunenin boyunda meydana gelen kısalmayı gösterir. Basma Yük–Kısalma eğrisi de, mühendislik hesaplamalarında doğrudan kullanılmayıp, çekme deneyinde olduğu gibi, mühendislik basma gerilmesi (σ) ve mühendislik birim şekil değişimi ($\%\varepsilon$) değerlerine dönüştürülür (Şekil 3.36.).

Basma gerilmesi;

$$\sigma = \frac{P_i}{A_0} \tag{3.10}$$

Basma birim şekil değişimi (ε),

$$\%\varepsilon = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \times 100 = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \tag{3.11}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Burada;

σ : Basma gerilmesi,

P_i : Basma yükü,

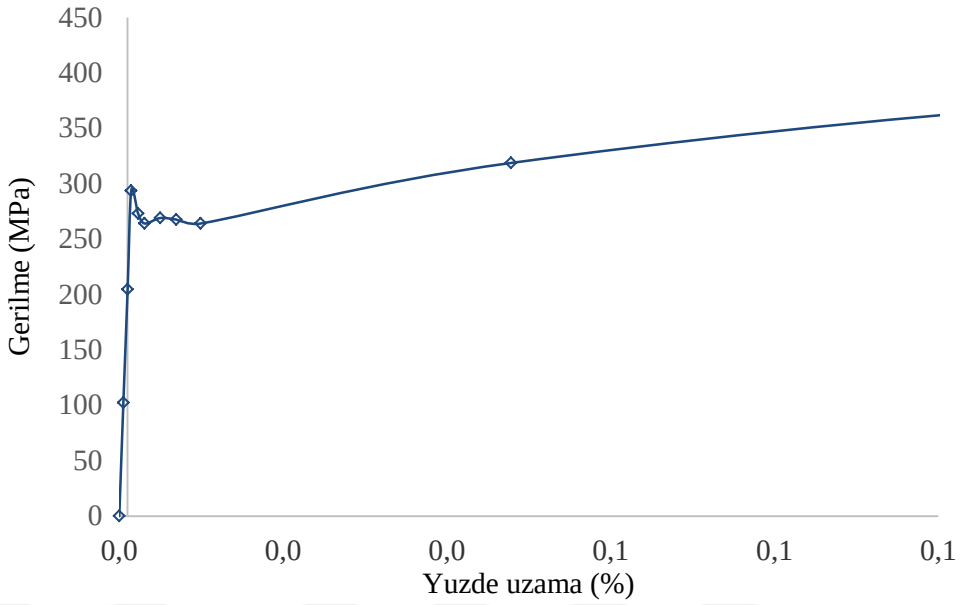
A_0 : Numunenin orijinal kesit alanı,

$\%\varepsilon$: % Birim şekil değişimi,

h_0 : Numunenin orijinal uzunluğu,

h_i : Numunenin P_i yükü altındaki uzunluğu,

Δh : Numunenin P_i yükü etkisi altında boyundaki kısalma miktarı olarak tanımlanır.



Şekil 3.36. Mühendislik Çekme Gerilmesi Şekil Değişimi Eğrisi

Gerilme ve birim şekil değişimi hesaplamalarında, numunenin orijinal kesit alanı ve orijinal uzunluğu esas alınmakta ve bu şekilde hesaplanan gerilme ve birim şekil değişimi değerleri, mühendislik gerilme ve mühendislik birim şekil değişimi değerleri olarak tanımlanmaktadır. Basma deneyinde, deney ilerlerken numune boyu kısalarak, numunenin kesit alanı sürekli olarak arttığı için, çekme deneyinde olduğu gibi gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değişimi değerleri de hesaplanır. Ancak gerçek gerilme değerleri hesaplanırken, yük, numunenin orijinal kesit alanından daha büyük "o anki" kesit alanına (A_i) bölündüğü için, basma gerçek gerilme-gerçek birim şekil değişimi eğrisi, basma mühendislik gerilme-birim şekil değişimi eğrisinden daha düşük değerler verir. Şekil 3.37.'den görüldüğü gibi metalik malzemelerin gerçek çekme ve basma eğrilerinde gerçek gerilme değerleri birbirine eşittir. Ancak mühendislik çekme ve basma eğrilerinde plastik bölgedeki mühendislik basma gerilmesi değerleri, çekme gerilmesi değerlerinden daha fazladır.

Basma deneyinde gerçek gerilmeler, çekme deneyinde olduğu gibi, herhangi bir andaki yük değerinin o andaki kesit alanına bölünmesiyle,

$$\sigma_g = \frac{P_i}{A_i} \tag{3.12}$$

şeklinde bulunur. Burada;

σ_g : Gerçek basma gerilmesi,

P_i : Herhangi bir andaki basma yükü,

A_i : P_i yükünün uygulandığı anda numunenin kesit alanı olarak tanımlanmıştır.

Mühendislik gerilme ve birim şekil değişimi değerlerinden,

$$\sigma_g = \sigma_m (1 + \varepsilon) \tag{3.13}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

σ_g : Gerçek basma gerilmesi,

σ_m : Mühendislik basma gerilmesi,

ε : Basma mühendislik birim şekil değişimi değeri olarak tanımlanmıştır.

Ancak, basma mühendislik birim şekil değişimi değerinin negatif olduğu göz önünde tutulmalıdır. Basma mühendislik birim şekil değişimi değerinin mutlak değeri alındığında gerçek basma gerilmesi,

$$\sigma_g = \sigma_m (1 - \varepsilon) \tag{3.14}$$

eşitliği ile hesaplanır.

Basmada gerçek birim şekil değişimi de yine çekmedekine benzer şekilde,

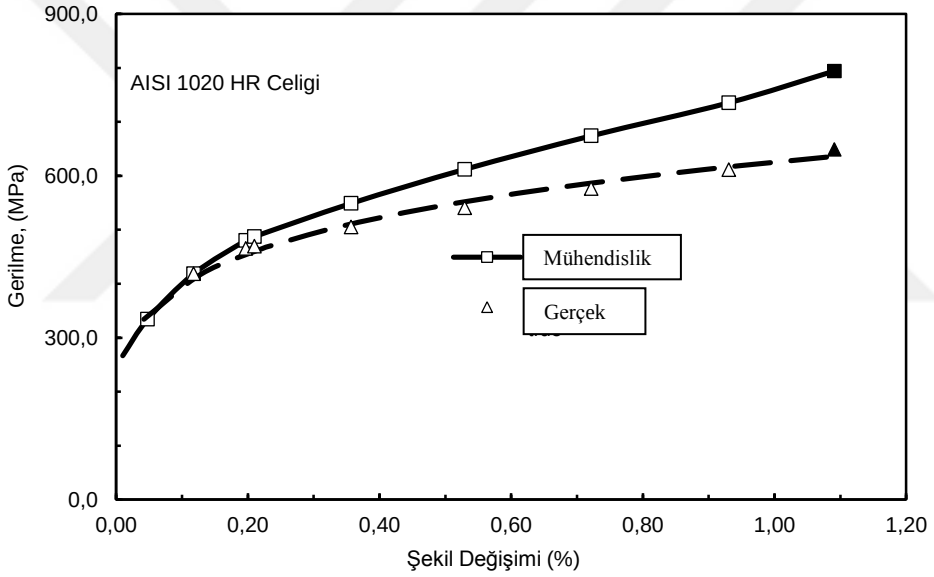
$$\in = \ln(1+\varepsilon) \tag{3.15}$$

eşitliği ile tanımlanır.

Burada;

$\in$: Gerçek birim şekil değişimi,

ε : Mühendislik birim şekil değişimi olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.37. Metalik Bir Malzemenin Mühendislik Ve Gerçek Çekme Ve Basma Eğrilerinin Şematik Gösterimi

Basma Deneyiyle Belirlenen Mekanik Özellikler

1. Akma Mukavemeti: Basma da akma yükünün, numunenin orijinal kesit alanına bölünmesiyle basmada akma mukavemeti hesaplanır[27]:

$$\sigma_a = \frac{P_{akma}}{A_0} \tag{3.16}$$

Burada;

σ_a : Basmada akma mukavemeti,

P_{akma} : Basmada akma yükü ve

A_0 : Numunenin orijinal kesit alanı olarak tanımlanmıştır.

Sürekli akma göstermeyen malzemelerin akma mukavemeti, çekme deneyinde olduğu gibi hesaplanır. Buna göre, basma gerilme-birim şekil değişimi eğrisi üzerindeki % 0.2 birim şekil değişimi değerinden elastik deformasyon bölgesine çizilen paralel eğrinin, basma gerilme-birim şekil değişimi eğrisini kestiği noktadaki gerilme değeri akma mukavemeti olarak alınır. Metalik malzemelerin çekme ve basma deneyiyle hesaplanan akma mukavemeti değerleri birbirine eşittir.

2. Basma Mukavemeti: Basma deneyindeki maksimum yük değerinin, numunenin orijinal kesit alanına bölünmesiyle,

$$\sigma_b = \frac{P_{maks.i}}{A_0} \tag{3.17}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

σ_b : Basma mukavemeti,

$P_{maks.i}$: Basmada maksimum yük ve

A_0 : Numunenin orijinal kesit alanı olarak tanımlanmıştır.

3. Elastiklik Modülü: Elastiklik modülü (E), çekme deneyinde olduğu gibi, Gerilme-Birim Şekil Değişimi eğrisinin başlangıçtaki elastik deformasyon bölgesinin eğimi olarak tanımlanır. Buna göre basma da elastiklik modülü (E),

$$E = \frac{\sigma}{e} \tag{3.18}$$

Eşitliği ile hesaplanır. Burada;

E : Elastiklik modülü,

σ : Elastik bölge içerisinde herhangi bir gerilme değeri,

e : Söz konusu gerilme değerine karşılık gelen birim şekil değişimi değeri olarak tanımlanır.

Elastik bölge içerisinde ise çekme ve basma değerleri eşit olduğundan, bir malzemenin çekme ve basmada Elastiklik modülü eşittir.

4. % Birim şekil Değişimi (% Yığılma): Basma deneyinde % birim şekil değişimi, numunenin boyundaki kısalmanın, orijinal boyuna oranının % olarak ifadesidir. Basma deneyinde numunenin yüksekliği azaldığından, % birim şekil değişimi negatif bir değerdedir ve % birim şekil değişimi % yığılma olarak da tanımlanır.

$$\%e = \frac{h_f - h_0}{h_0} \times 100 = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \tag{3.19}$$

Burada;

$\%e$: % birim şekil değişimi (% yığılma),

h_0 : Numunenin deney öncesindeki orijinal uzunluğu,

h_f : Numunenin kırılmadan sonraki uzunluğu olarak tanımlanmaktadır.

5. % Kesit Değişimi: Çekme deneyinde hesaplanan % kesit daralması, basma deneyinde % kesit değişimi olarak,

$$\%\ \text{Kesit Değişimi} = \frac{A_f - A_0}{A_0} \times 100 \tag{3.20}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

A_f : Numunenin kırılmadan sonraki kesit alanı,

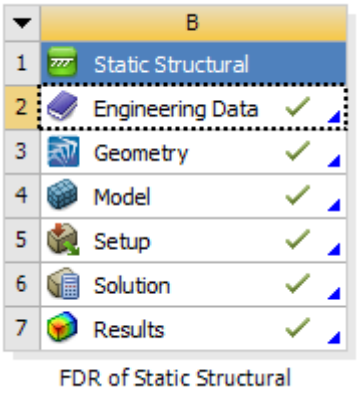
A_0 : Numunenin orijinal kesit alanı olarak tanımlanmıştır.

3.4.2.2. Statik Basma Sayısal Çözüm

ANSYS analiz programında statik basma testi sayısal analizi, modelin üzerine 4.5 ton yük uygulanarak gerçekleştirilmiş ve oluşan deformasyon izlenmiştir.

Yapısal Statik:

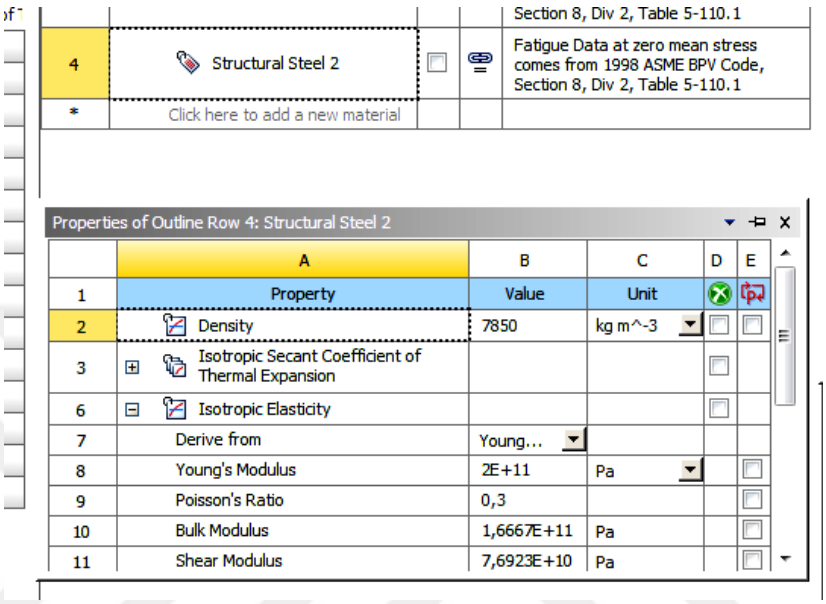
Yapısal Statik menüsü seçilerek analize başlanmıştır. (Şekil 3.38.)



Şekil 3.38. Yapısal Statik

Malzeme Bilgileri:

Modelin malzeme bilgisi Şekil 3.39.'da gösterildiği gibi seçilmiştir.



				Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Structural Steel 2			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

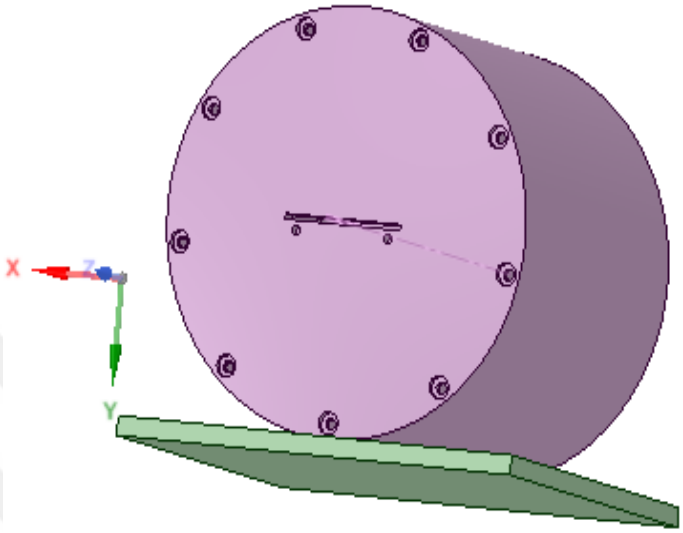
Properties of Outline Row 4: Structural Steel 2

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m^-3		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		

Şekil 3.39. Malzeme Seçimi

Geometri

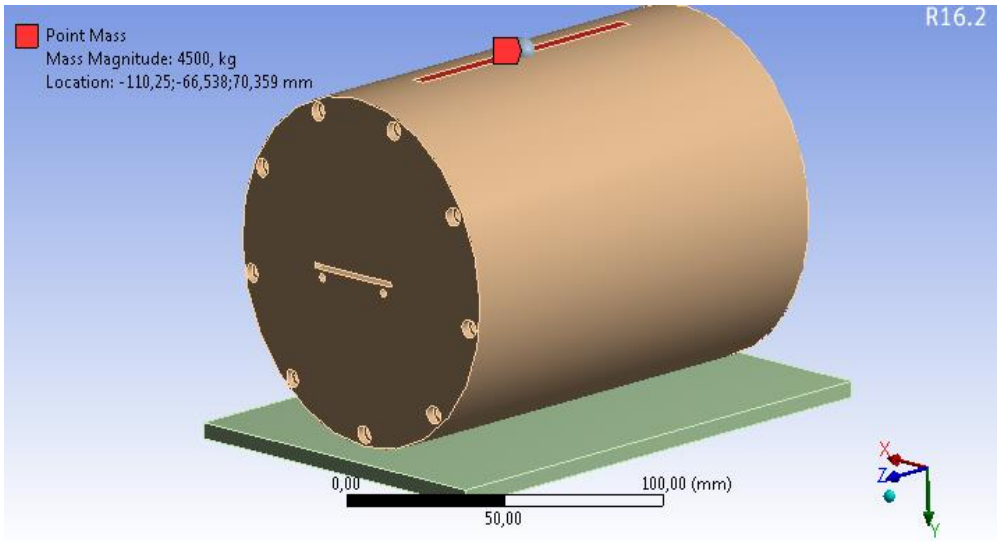
Analiz yapacağımız model altta sabitlenmiş parça ile birlikte Geometri menüsünden oluşturulmuştur. (Şekil 3.40.)



Şekil 3.40. Geometrinin Oluşturulması

Yük Tanımlaması:

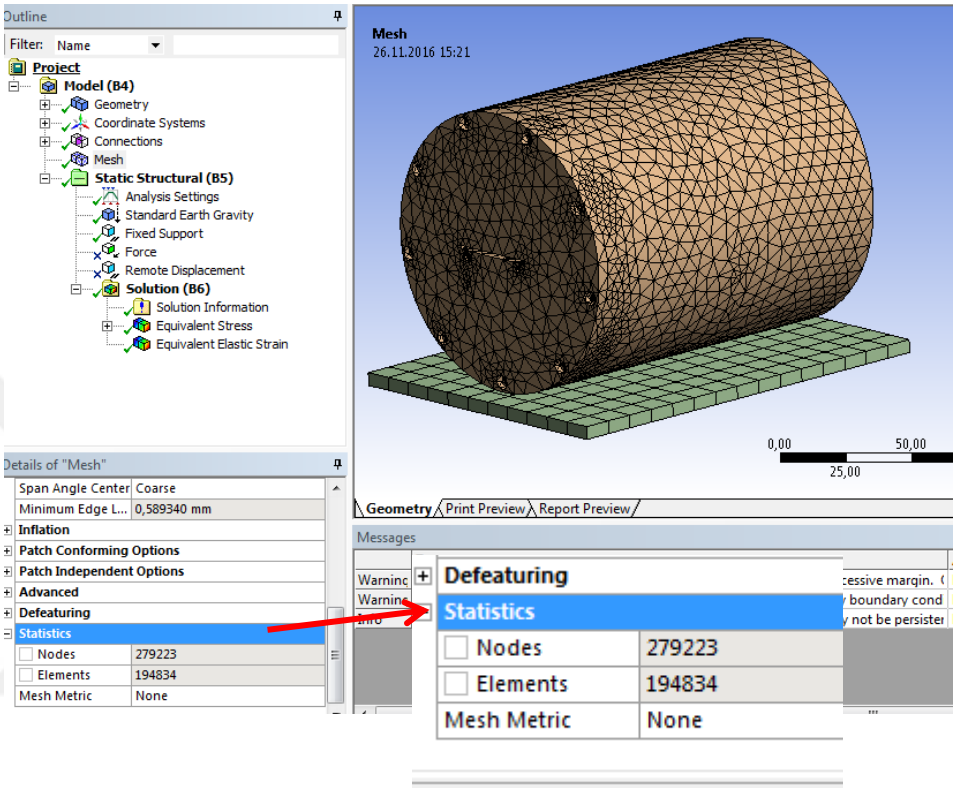
Silindir üzerine Şekil 3.41.'de gösterildiği şekilde 4500 kg yük tanımlanmıştır.



Şekil 3.41. Silindir Üzerine Yük Tanımlaması

Ağ Örgüsü:

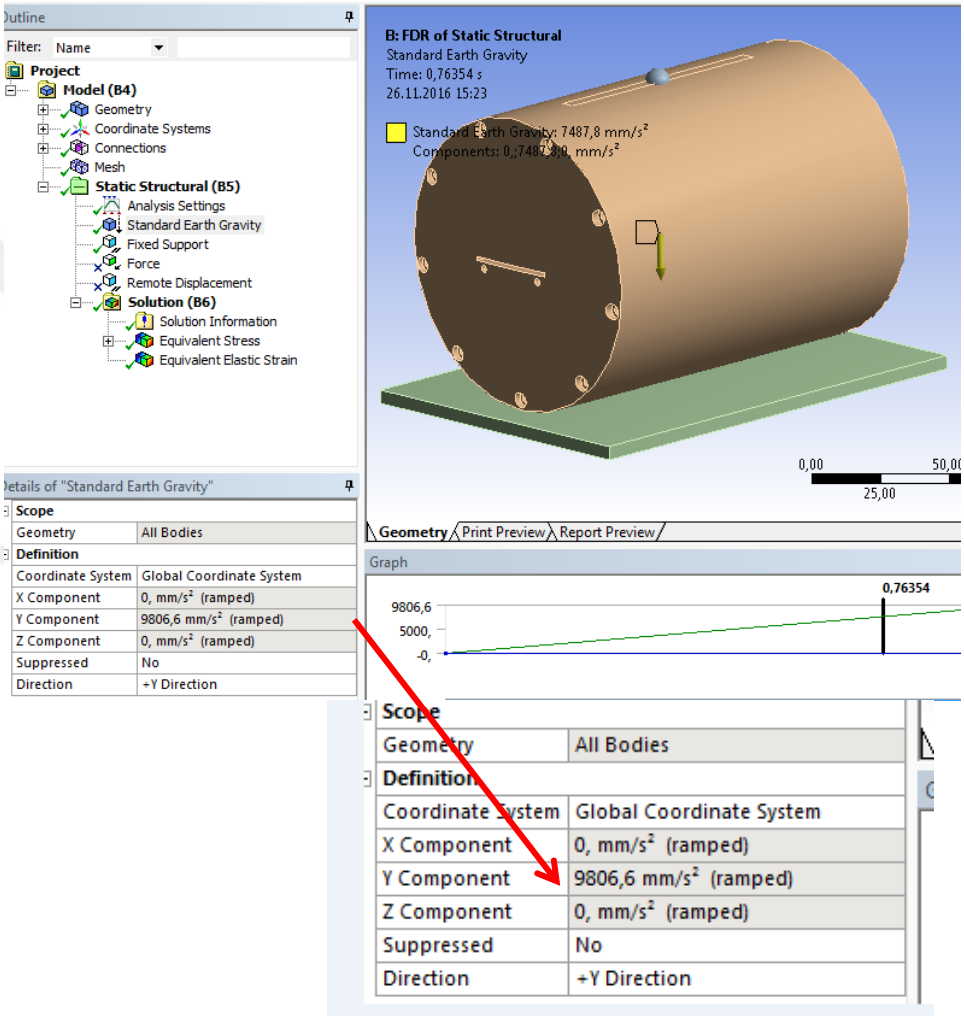
Malzeme ağ örgüsüne ayrılır. Modelde 279223 düğüm noktası ve 194834 eleman sayısı oluşmuştur. (Şekil 3.42.)



Şekil 3.42. Silindirik Malzemenin Düğüm ve Eleman Sayısı

Yer Çekimi İvmesinin Tanımlanması:

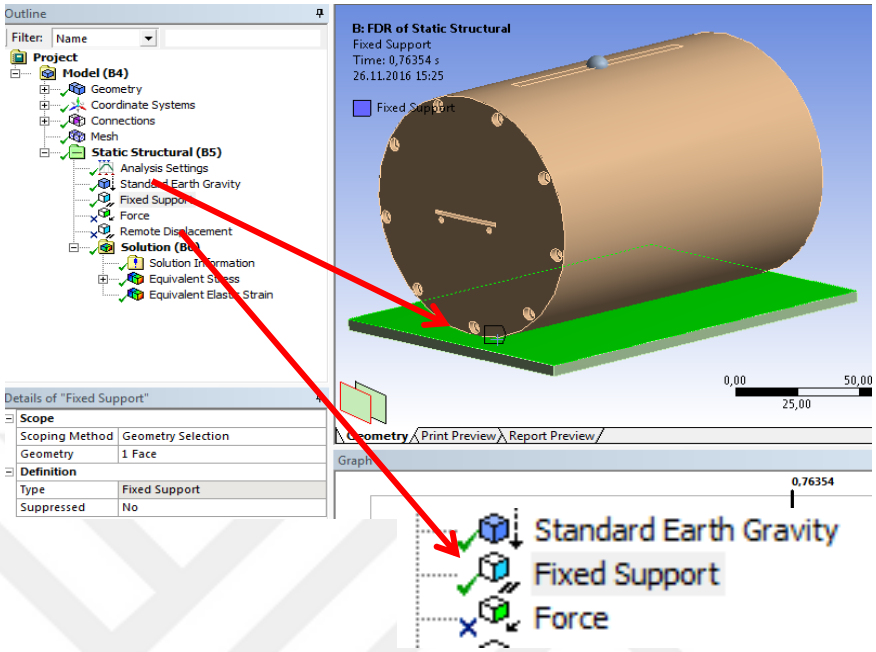
Yer çekimi ivmesi Şekil 3.43.'te tanımlanmıştır.



Şekil 3.43. Yer Çekimi İvmesinin Tanımlanması

Modelin Sabitlenmesi:

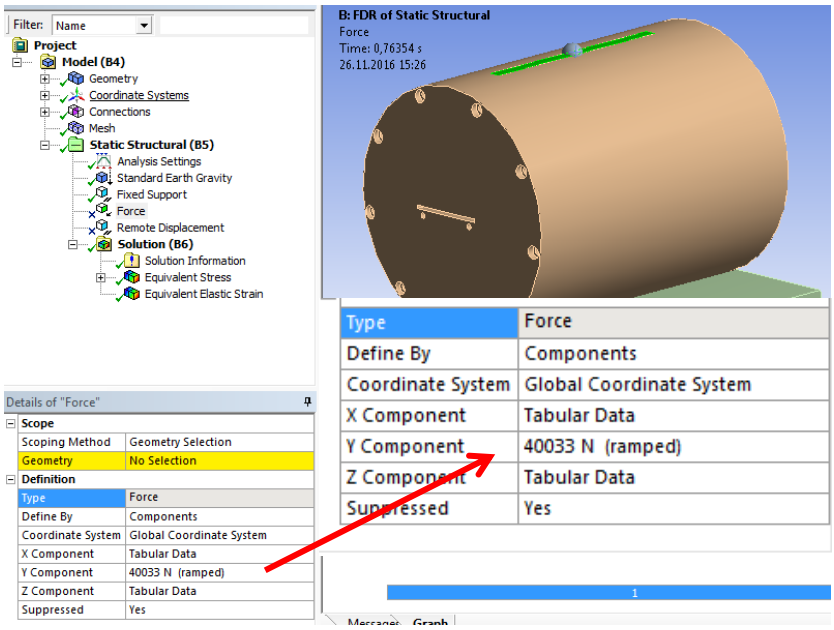
Model alt tablaya Şekil 3.44.'te görüldüğü gibi sabitlenmiştir.



Şekil 3.44. Modelin Sabitlenmesi

Yük Tanımlama:

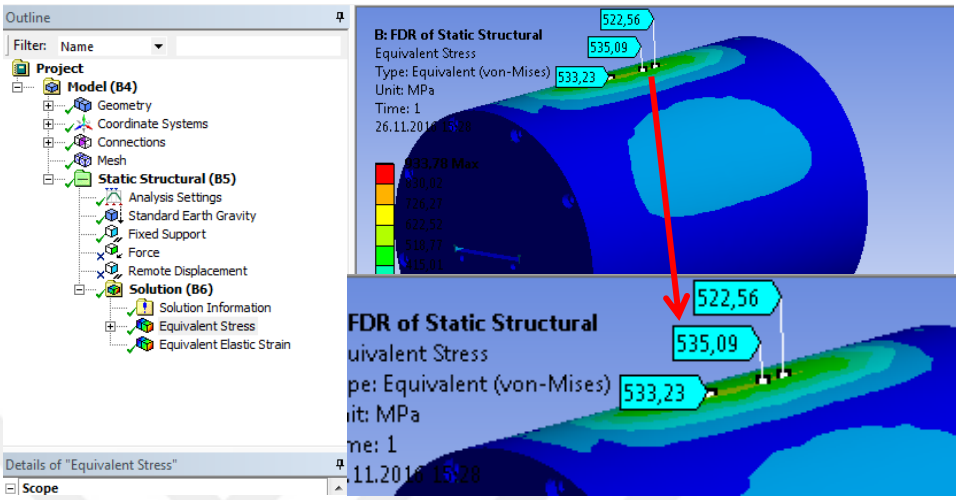
y ekseninde Şekil 3.45.'te görüldüğü gibi 40033 N yük tanımlanmıştır.



Şekil 3.45. Yük Tanımlanması

Çözüm:

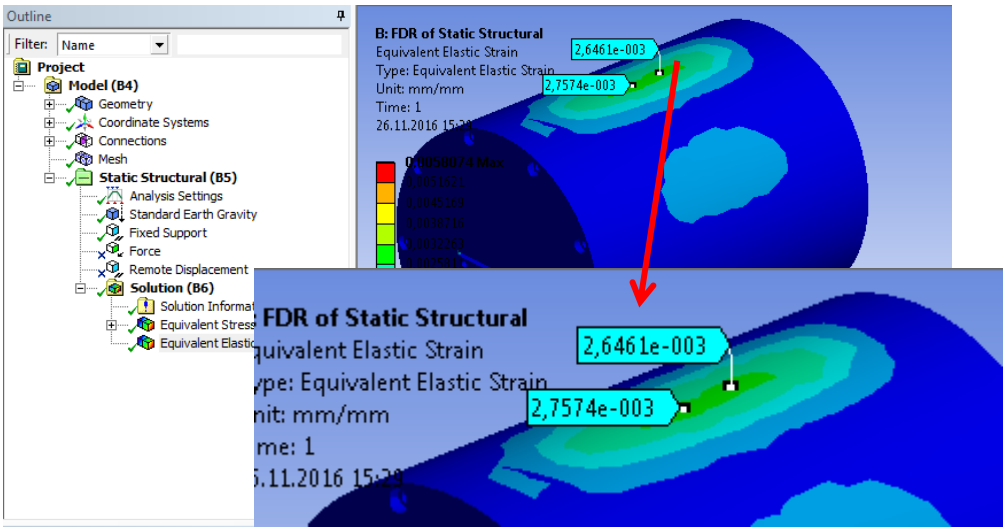
Çözüm yapıldığında malzemede maksimum gerilme değerinin 535 MPa olduğu görülür. (Şekil 3.46.)



Şekil 3.46. Gerilme Değerleri

Şekil Değiştirme:

Malzemedeki şekil değiştirme 0.002 mm olduğundan bu değer elastik bölge içerisinde kalmış ve malzemede kalıcı şekil değişikliği olmamıştır. (Şekil 3.47.)



Şekil 3.47. Şekil Değiştirme

3.4.3. Yüksek Sıcaklık Testi

3.4.3.1. Yüksek Sıcaklık Testi Analitik Çözüm

Varsayımlar; Isınma periyodu boyunca eksenel yöndeki ısı iletimi radyal yöndeki ısı iletimine nazaran çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir. Yerçekiminin taşınım ısı transferine etkisi ile ceket dış yüzeyinden atmosfere ışınım yolu ile olan ısı transferi ihmal edilmiştir. Katmanlardaki ara yüzeylerde ısıl temas direncinin olmadığı kabulü yapılmıştır.[31]

Silindirin et kalınlığı eksenel yön boyunca eşit olarak kabul edilmiştir. Silindirin malzeme özellikleri üniformdur. Bu kabuller ışığında açısal yöndeki sıcaklık değişimi ortadan kalkmıştır. Böylelikle problemi tek boyutlu aksi-simetrik durum olarak ele alınmıştır.[32]

Yapılan kabuller neticesinde; problem silindirik koordinatlarda zamanla değişen tek boyutlu ısı iletim denklemine dönüşmüştür. Denklem Eşitlik 3.21.'de verilmiştir.[33, 34]

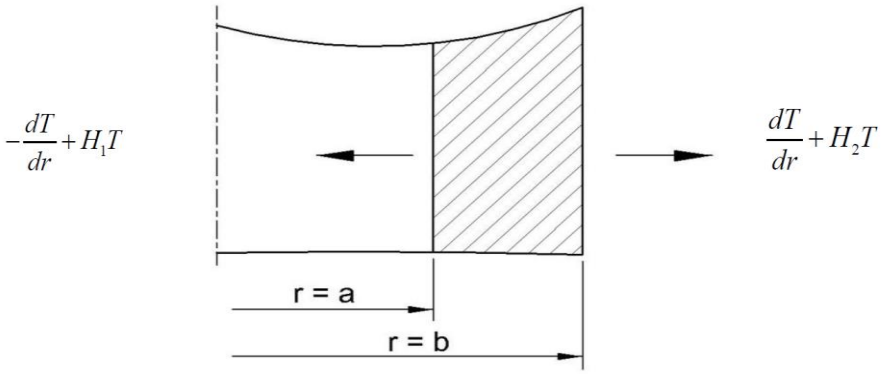
$$\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \tag{3.21}$$

$$\alpha=\frac{k}{\rho c_p} \tag{3.22}$$

Silindirik cisim açısal simetriye sahip olduğundan,

$$\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} \tag{3.23}$$

Seklinde bir boyutlu ısı transferi ifade edilebilir. Silindirin kesit görüntüsü Şekil 3.48.'deki gibi ele alınırsa;



Şekil 3.48. Silindirin Kesit Görüntüsü [34]

Sınır şartları ($t > 0$);

$$r = a \Rightarrow -\frac{dT}{dr} + H_1 T = 0 \tag{3.24}$$

$$r = b \Rightarrow \frac{dT}{dr} + H_2 T = 0 \tag{3.25}$$

Başlangıç şartları $(t = 0)$;

$$r = a \Rightarrow T = T_{ay} \tag{3.26}$$

$$r = b \Rightarrow T = T_{by} \tag{3.27}$$

(3.23) eşitliği değişkenlerine ayırma yöntemine göre çözülürse;

$$T(r,t) = R(r)\tau(t) \tag{3.28}$$

$$\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} = -\delta^2 \text{ olsun} \tag{3.29}$$

$$\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} = -\delta^2 \Rightarrow çözümü, \tau = e^{-\delta^2 \alpha t} \tag{3.30}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} = -\delta^2 \Rightarrow çözümü, R = AJ_0(\delta r) + BY_0(\delta r) \tag{3.31}$$

Genel çözüm;

$$T(r,t) = \sum_{n=1}^{\infty}[A_n J_0(\delta_n r) + B_n Y_0(\delta_n r)] \tag{3.32}$$

$A_n ve\ B_n$ katsayıları sınır ve başlangıç şartlarından çözülür. Bu problemin çözümü çok karmaşık olması nedeniyle sayısal çözümler önerilmektedir.[28, 31]

3.4.3.2. Yüksek Sıcaklık Testi Sayısal Çözüm

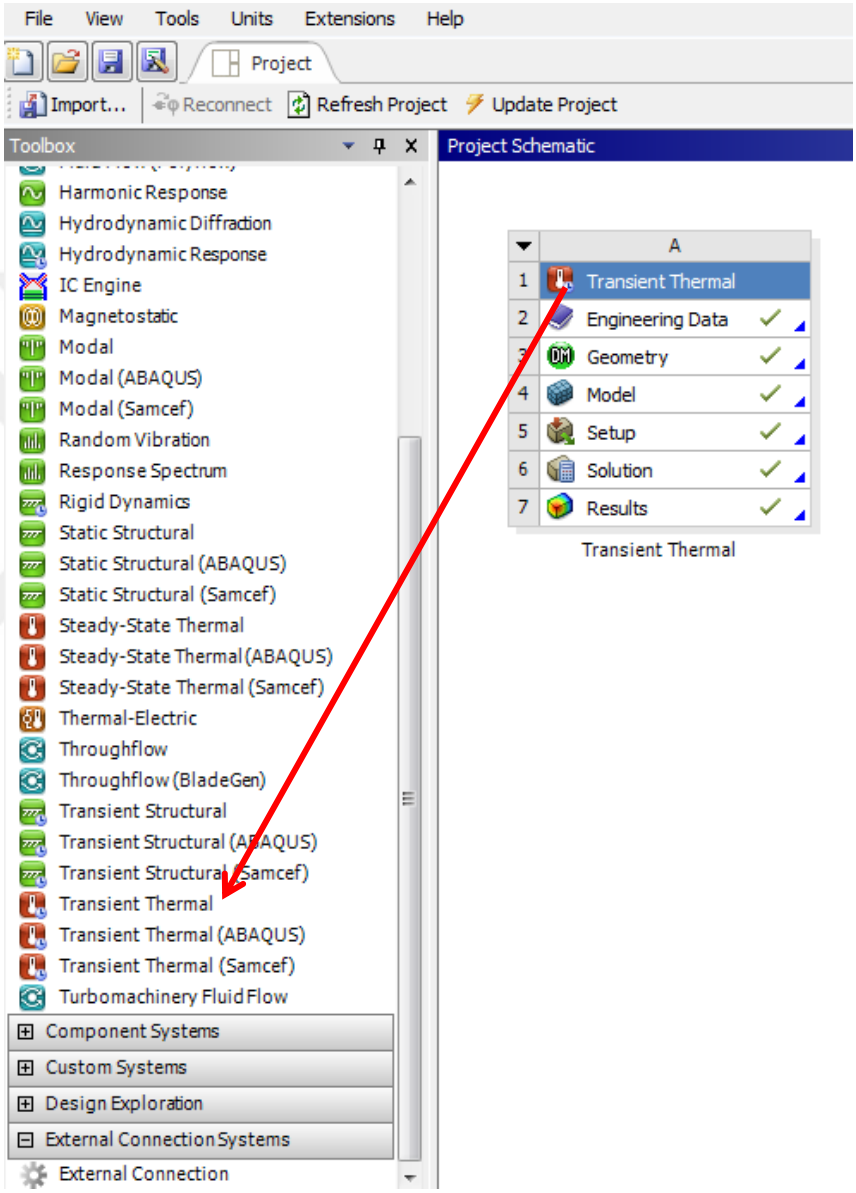
Uygulamada karşılaşılan birçok problem karmaşık sınır şartları veya karmaşık geometriler içerdiğinden; bu tür problemleri analitik olarak çözmek çok zor olup, çok fazla vakit almaktadır. Isı iletim probleminin analitik çözümünde elde edilen sonuç, ana diferansiyel denklemi ve sınır şartlarını sağlayan tam çözümü temsil etmektedir. Sayısal çözümde ise diferansiyel denklem yerine çözüm alanı içerisinde seçilen n tane noktada n tane denklem oluşturulur ve bu denklemlerin eşzamanlı çözümleri seçilen noktalardaki sıcaklık değerlerini yaklaşık olarak verir. Bir ısı iletimi

problemini sayısal olarak çözebilmek için sonlu elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi, sonlu hacimler yöntemi, sınır elemanları yöntemi ve enerji dengesi gibi birçok yöntem kullanılır. Her bir yöntemin diğerlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada ısı iletiminin sayısal hesaplamasını yapmak için de sonlu elemanlar yöntemini esas alan ANSYS 16.2 programı kullanılmıştır.

Yüksek sıcaklık testi sayısal çözümünde de mantığımız, karmaşık bir problemi basite indirgeyerek çözünebilir hale getirmek ve kesin sonuç yerine yaklaşık bir çözüm elde etmektir. Çözüm bölgesi basit, küçük ve birbirine bağlı alt bölgelere (sonlu elemanlara) ayrılır. Hassas hesaplamaların olduğu yerler daha sık alt bölgelere ayrılmaktadır. Bu elemanlar birbirlerine elemanların sınırlarında bulunan düğüm noktalardan bağlanmaktadırlar. Düğümlerin oluşturduğu, ızgaraya benzeyen çözüm ağı oluşturulur. Çözüm bölgesinde çözümü aranan değişkenlerin fonksiyonu, değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilen cebirsel polinomların lineer kombinasyonu şeklinde yaklaşık olarak kabul edilmektedir. Her elaman içindeki düğüm noktalarına tanım denklemleri yazılmaktadır. Neticesinde bilinmeyenleri düğüm noktalarındaki değerleri olan ve ortak çözülmeleri gereken denklem takımları oluşturulmaktadır. Matris şeklinde olan bu denklem takımlarının çözülmesiyle değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri elde edilmektedir. Yaklaşık fonksiyonların değerlerinin bulunmasıyla her sonlu elemanın ve onların oluşturduğu çözüm bölgesinin değerleri bulunmaktadır. Modelde çelik malzeme baz alındığında üst katman olarak termal boya malzemesi ve iç eleman olarak cam elyaf malzeme kullanılacaktır. Analiz, 1100°C sıcaklığın yüzeye verilmesi ve 150 sıcaklık dayanımı olan model içerisindeki elektronik kart ve entegre grubunun zarara uğramadan kullanılıp kullanılamayacağının tespitini hedeflemektedir.

Anlık Isıl Analiz:

Modelin Analizine ANSYS programında “Transient Thermal” sekmesi işaretleyerek başlanır. (Şekil 3.49.)



Şekil 3.49. Anlık Isı Transferinin Tanımlanması

Malzeme Özellikleri Girişi:

Analiz yapılacak model dikkate alınarak boya, yapı çeliği ve cam elyaf malzeme özellikleri girilmiştir.

Silindir yüzeyine kaplı boyanın Termal özellikleri Şekil 3.50.'de verilmiştir.

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	boya			
4	cam elyaf			
5	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: boya

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1260	kg m^-3		
3	Isotropic Thermal Conductivity	0,01	W m^-...		
4	Specific Heat	5000	J kg^-...		

Şekil 3.50. Silindir Yüzeyine Kaplı Boyanın Termal Özellikleri

Silindir malzemenin özellikleri Şekil 3.51.'de verilmiştir.

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	boya			
4	cam elyaf			
5	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 5: Structural Steel

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m^-3		
3	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m^-...		
4	Specific Heat	434	J kg^-...		

Şekil 3.51. Silindir Malzemenin Özellikleri

Cam elyaf malzeme özellikleri Şekil 3.52.'deki gibi girilmiştir.

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	boya			
4	cam elyaf			
5	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

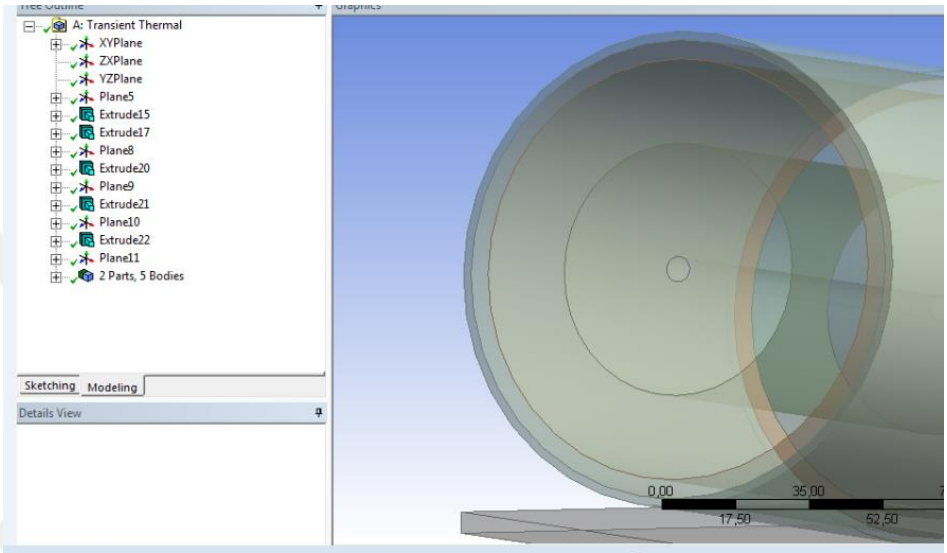
Properties of Outline Row 4: cam elyaf

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	35	kg m^-3		
3	Isotropic Thermal Conductivity	0,046	W m^-...		
4	Specific Heat	5000	J kg^-...		

Şekil 3.52. Cam Elyaf Malzeme Özellikleri

Geometri:

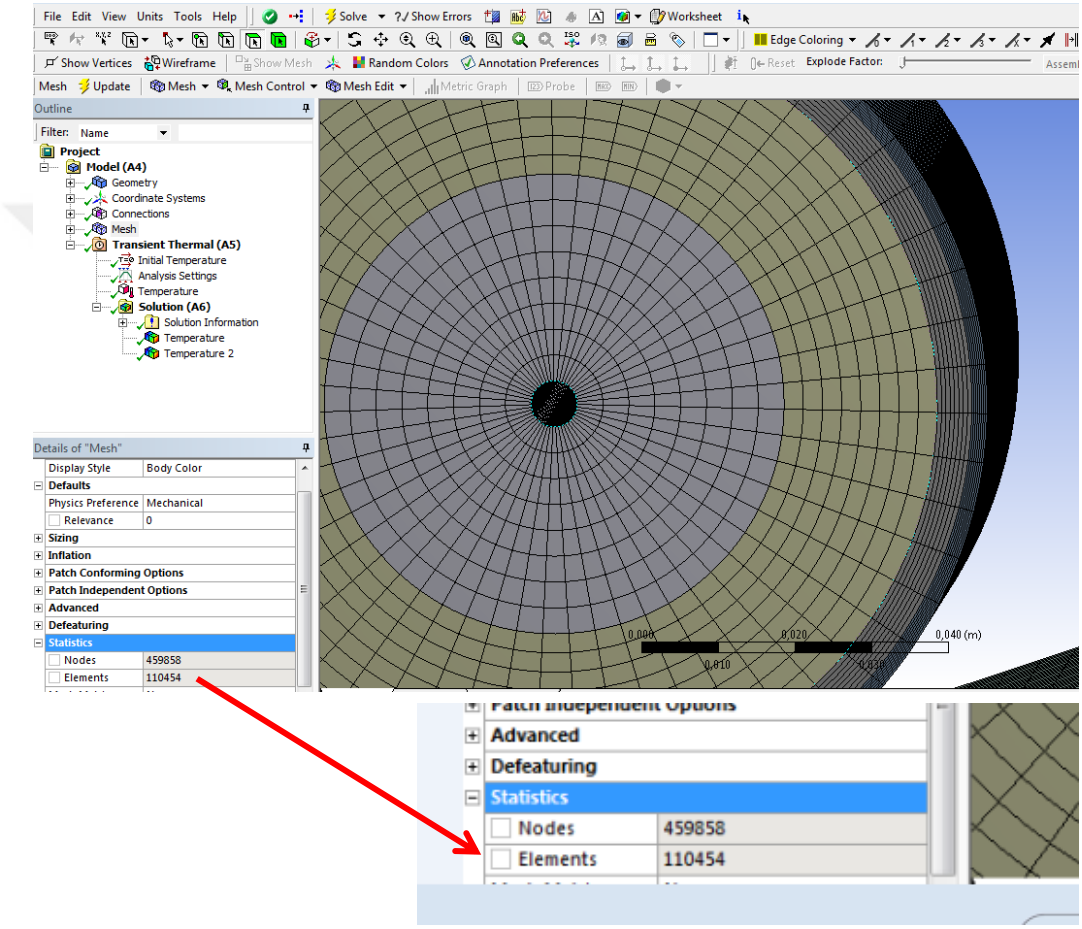
Analiz edilecek modelin geometrisi; üst yüzey termal boya, altında ana malzeme ve iç kısımda cam elyaf malzeme olmak üzere üç kısımda tanımlanır ve tasarımdaki ölçülere göre girilir. Şekil 3.53.'te modelin geometrisi görülmektedir.



Şekil 3.53. Modelin Geometrisi

Model :

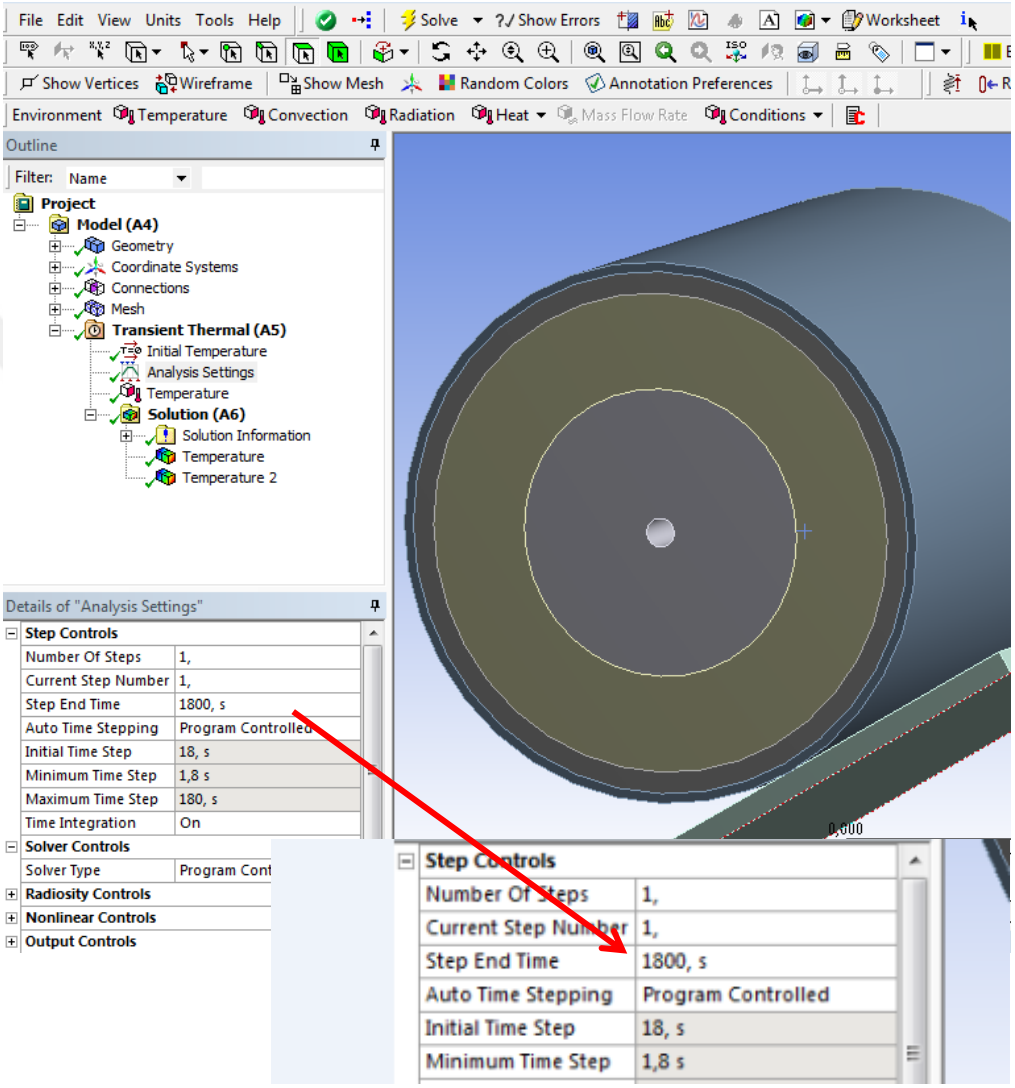
Model sekmesinden ağ (mesh) örme işlemine geçilir. Burada her bir silindir dilimi 8 parçaya bölünerek ağ yapılmıştır. Modelde düğüm noktası 459858 ve eleman sayısı da 110454 adet alınmıştır. Şekil 3.54.'te ağ örgüsü görülmektedir.



Şekil 3.54. Silindirin Düğüm ve Eleman Sayıları

Analiz Ayarları:

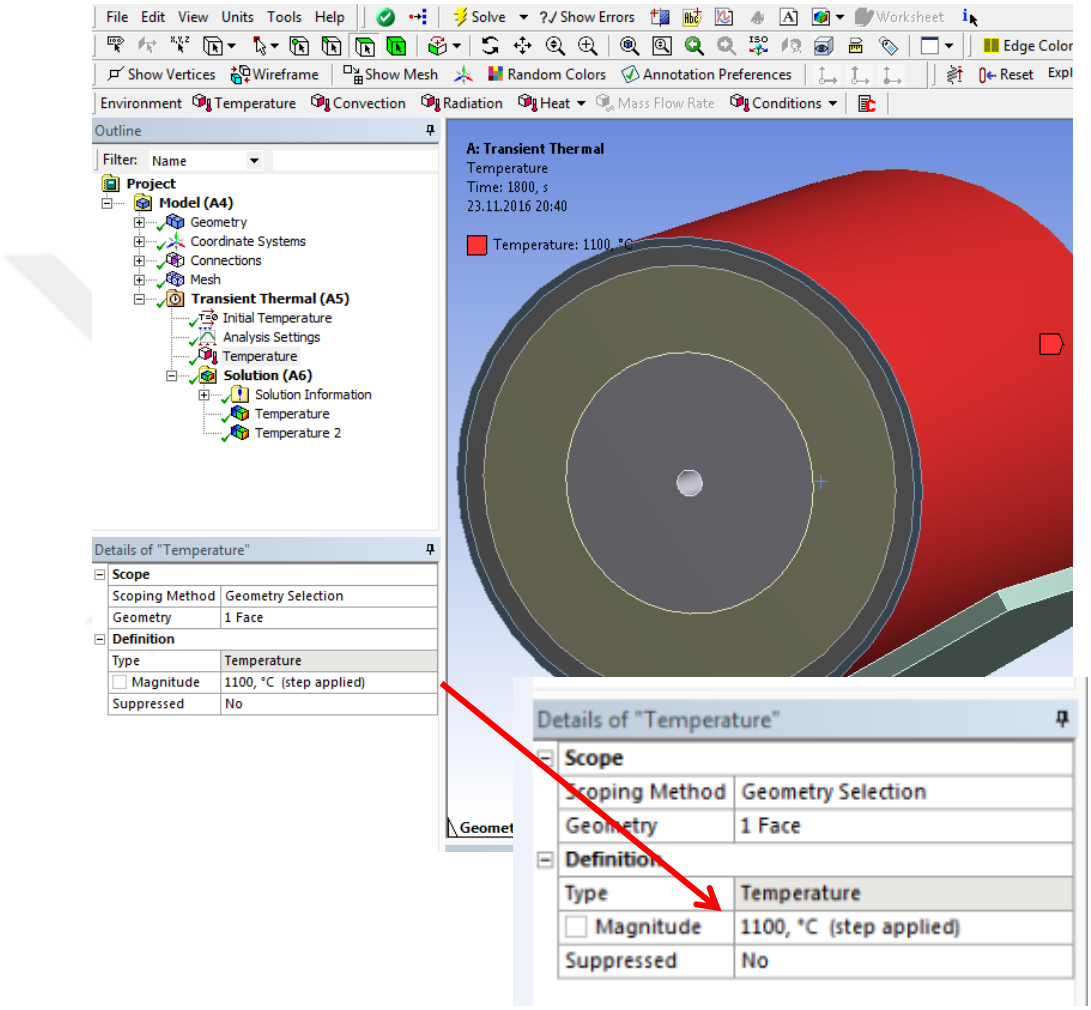
Analiz ayarları sekmesinden son işlem zamanı Şekil 3.55.'te görüldüğü gibi 1800 sn olarak girilmiştir.



Şekil 3.55. Uygulanacak Sıcaklık Süresinin Girilmesi

Sıcaklık:

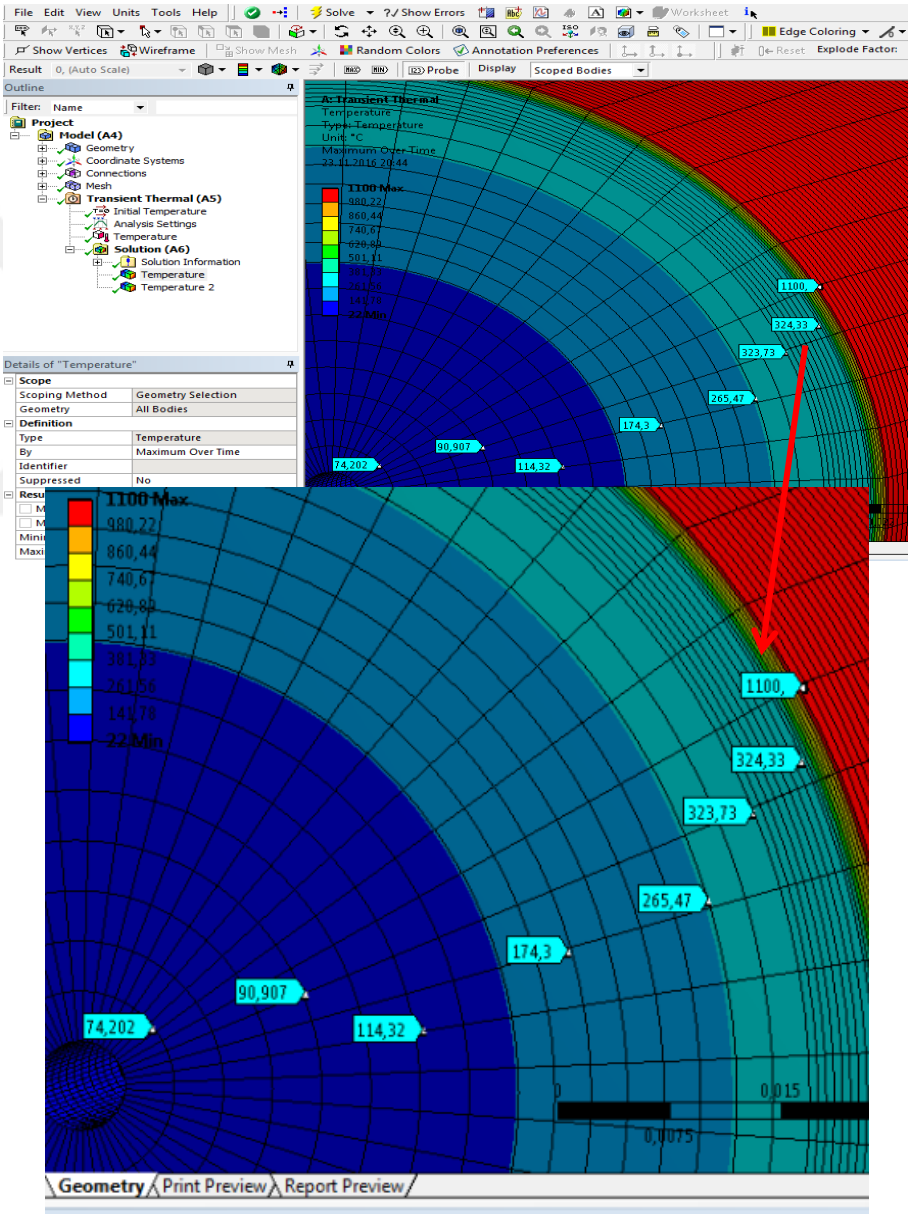
Silindir üzerindeki boya yüzeyine uygulanacak sıcaklık değeri 1100 °C olarak girilmiştir. (Şekil 3.56.)



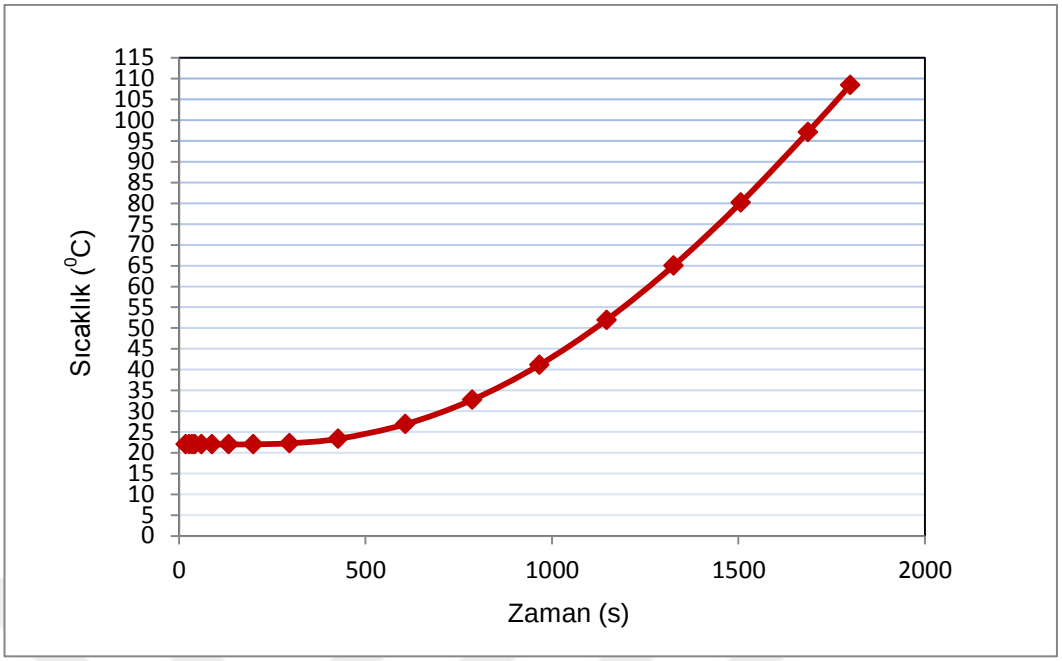
Şekil 3.56. Silindir Yüzey Sıcaklığının Tanımlanması

Çözüm :

Analizin çözüm sürecine geçilir. Şekil 3.57.'de görüldüğü üzere analiz sonucu boya yüzeyi 1100°C iken boyanın alt yüzeyi ve çelik malzemenin üst yüzeyi 324.33 ^{0}C'dir. Çelik malzemenin üst ve alt yüzey sıcaklığı yaklaşık aynıdır. Cam elyafın üst yüzey sıcaklığı 323.73 ^{0}C'dan başlayıp içe doğru sıcaklık düşmektedir. Modelde hafıza kartının konulduğu bölgelerde sıcaklık $74°C$ ile $114°C$ arasında değişmektedir.



Şekil 3.57. Silindirdeki Sıcaklık Dağılımı



Şekil 3.58. Zamana Bağlı Olarak Sıcaklığın Değişimi

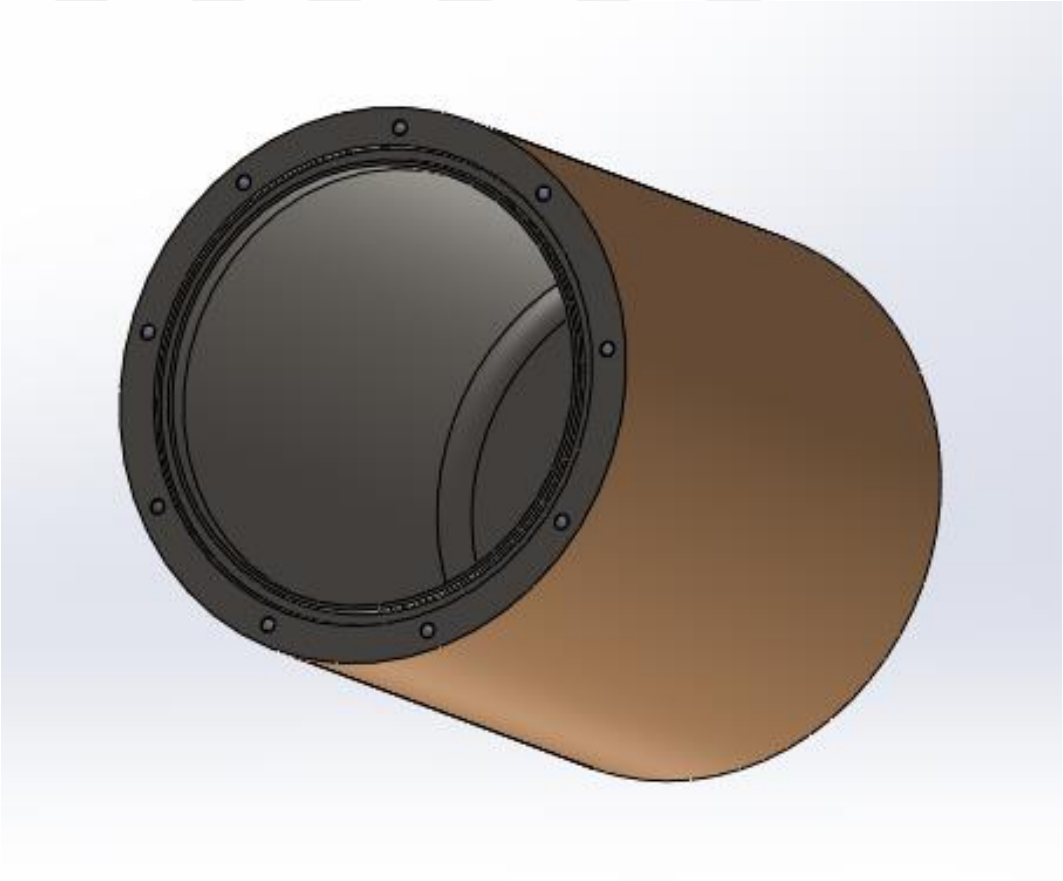
Silindirik yapıda tasarlanan hafıza biriminin üzerine 1800 saniye boyunca uygulanan 1100 °C sıcaklığın üst tarafa sürülen boya ile yaklaşık 320 °C'lere kadar düşürülebileceği ve 150 °C'ye kadar dayanımı olan iç taraftaki kart ve entegrelerin analiz sonucu alınan 74°C ile 114°C sıcaklıklardan etkilenmeyeceği görülmüştür. Zamana bağlı kart bölgesindeki sıcaklık değişim grafiği Şekil 3.58.'de verilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyler İçin Parçaların Üretim Aşaması

4.1.1. Hafıza Modülü

Bilgisayarda analizi yapılan hafıza modülü, teknik resim formatında çizilerek deneylerde kullanmak üzere mono blok malzemeden ana gövde imalatı yapılmış ve uygun formda kapak tasarımı yapılarak üretilmiştir. Hafıza modülü katı modeli Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Hafıza Modülü Katı Modeli

4.1.2. Hafıza Modülü Serbest Düşme Testi İçin Kule Tasarımı

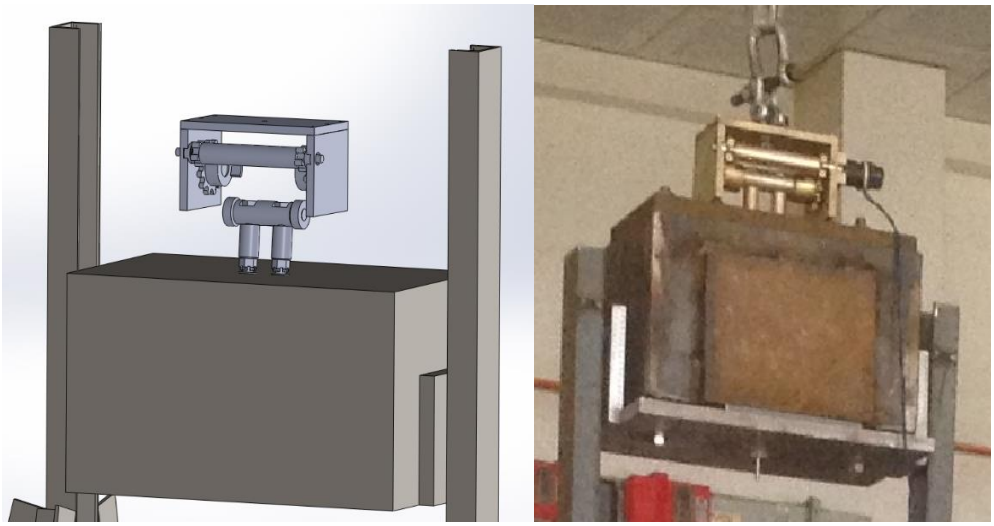
Serbest düşme testi, ED-112 test standartlarına göre, kayıt cihazının en zayıf yüzeyi üzerine bir pim vasıtasıyla 227 kg'lık bir yükün 3 m yükseklikten serbest düşmeye bırakılması ile pimin kayıt cihazı üzerindeki nüfuzunun değerlendirilmesidir.[2, 32-39]

Bu kapsamda, delme direnci testi için ED 112 standardında belirtilen düzeneğe benzer kule çizilmiş ve imalat aşamasına geçilmiştir. Delme direnci testi için yapılan kulenin tasarımı ve imal edilen kule Şekil 4.2.'de verilmiştir.

(a) (b)

Şekil 4.2. Serbest Düşme Testi Kule Tasarımı (a), Tasarlanan Kulenin Görüntüsü (b)

Kule üzerine bağlanan 227 kg'lık ağırlığın Hafıza Modülü üzerine bırakılması için tasarlanan ve üretilen bırakma mekanizması Şekil 4.3.'te verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.3. Ağırlık Bırakma Mekanizması Tasarımı (a), Bırakma Mekanizması (b)

Ağırlık altına bağlanacak olan pim, Çapı 6,35 mm ± 0,1 mm (0,25 in. ± 0,04 in.) olacak biçimde Şekil 4.4.'te sunulduğu gibi imal edilmiş ve ısıl işlem uygulanarak sertliğinin C39 – C45 Rockwell olması sağlanmıştır. Yapılan aparatlar ile pim ağırlık altına Şekil 4.5.'te görüldüğü gibi bağlanmıştır.

Şekil 4.4. Düşme Testinde Kullanılan Pim

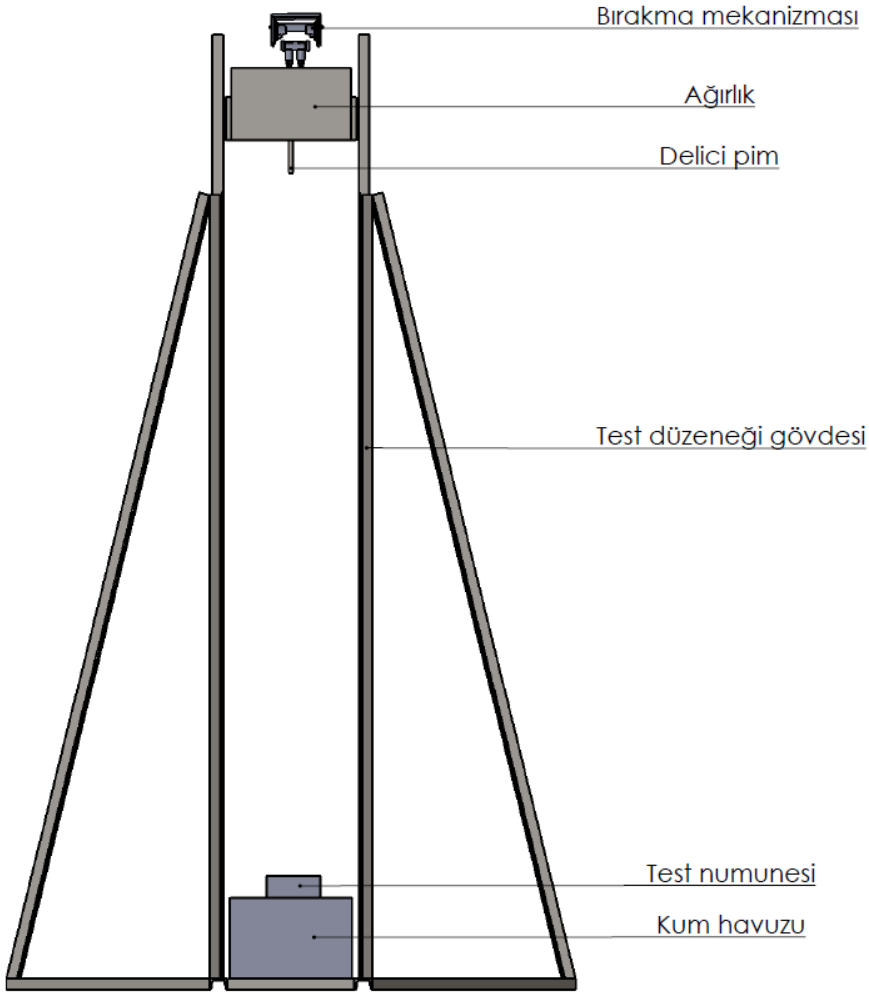
Şekil 4.5. Pimin Ağırlık Altına Bağlanması

4.2. Testler

4.2.1. Serbest Düşme Testi

Serbest düşmeye bırakılan kütlenin, düşme ekseni pimin dairesel kesitine dik pozisyonda olmalıdır. Serbest düşme testinin yapılabilmesi için gerekli olan deney düzeneği oluşturulmuş ve şekli Şekil 4.6.'da gösterilmektedir.

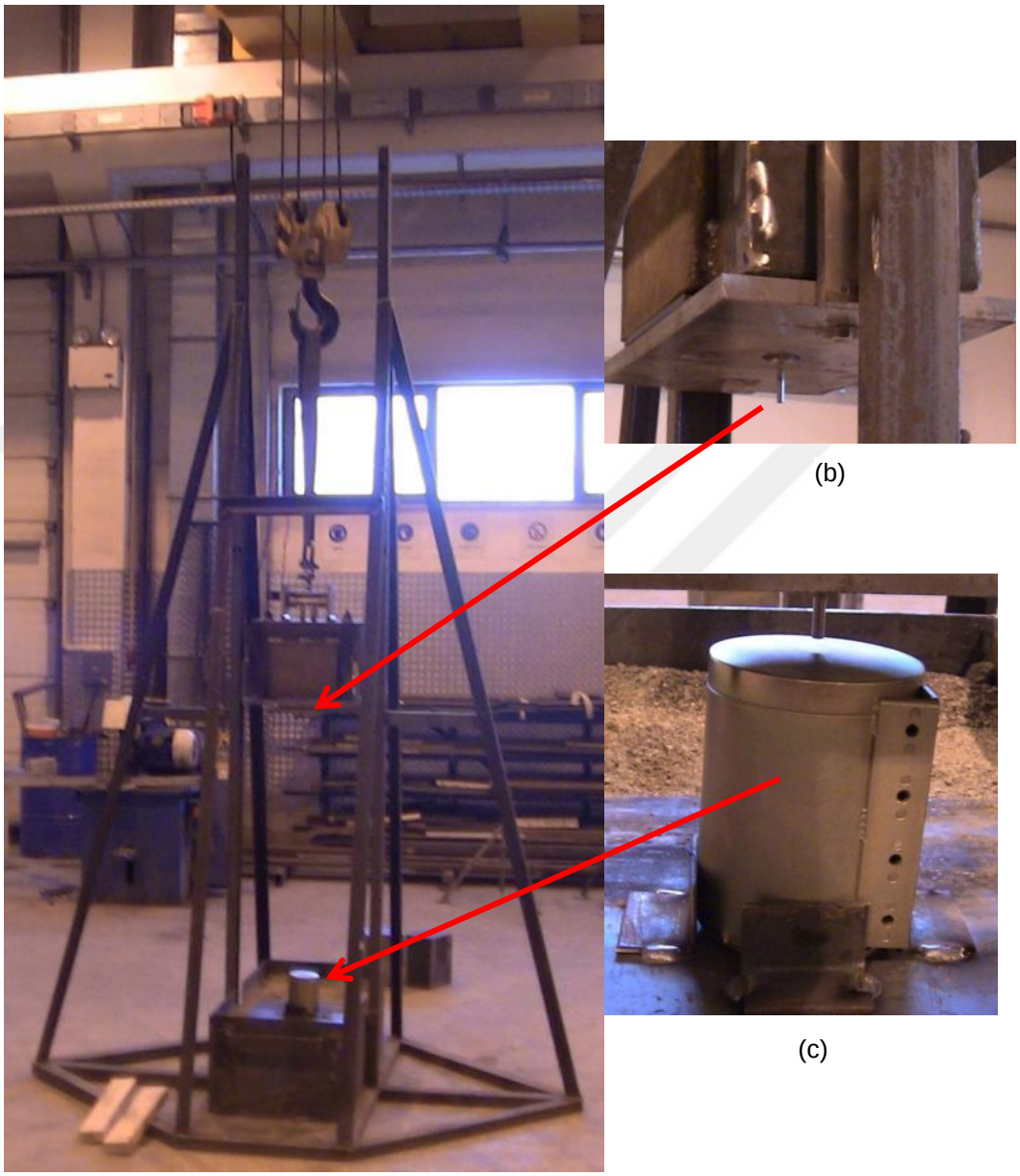
.



Şekil 4.6. Serbest Düşme Deney Düzeneği Tasarımı

Test sırasında kayıt cihazı kumdan bir havuz içinde desteklenmektedir. Bu havuz 0.5 m derinliğinde imal edilmiştir. Bu kum havuzunun amacı pim üzerindeki kuvvetin herhangi sapmaya uğramadan çarpma dayanımlı kutu üzerindeki hedeflenen yüzeye dik olarak nüfuzunun sağlanmasıdır. Havuz içindeki kum 1 su / 15 kum oranında su ile karıştırılmıştır. ED-112 standartları test edilecek malzemenin en zayıf yüzeyine ağırlığın düşürülmesi gerektiğini öngörmüştür. Veri kayıt cihazı hafıza biriminin muhafaza edildiği silindirik malzemenin geometrik şeklinden dolayı silindirik yüzeye ve malzemenin dik yüzeylerine düşürülmek üzere iki ayrı test yapılmıştır. Serbest düşme test düzeneği ve numune, Şekil 4.7. (a)'da gösterilmiştir. Serbest

düşme ağırlığının ucundaki 6.35 mm çapındaki pim Şekil 4.7. (b)'de gösterilmiştir. Dikey konumdaki numune ise Şekil 4.7. (c)'de gösterilmiştir.



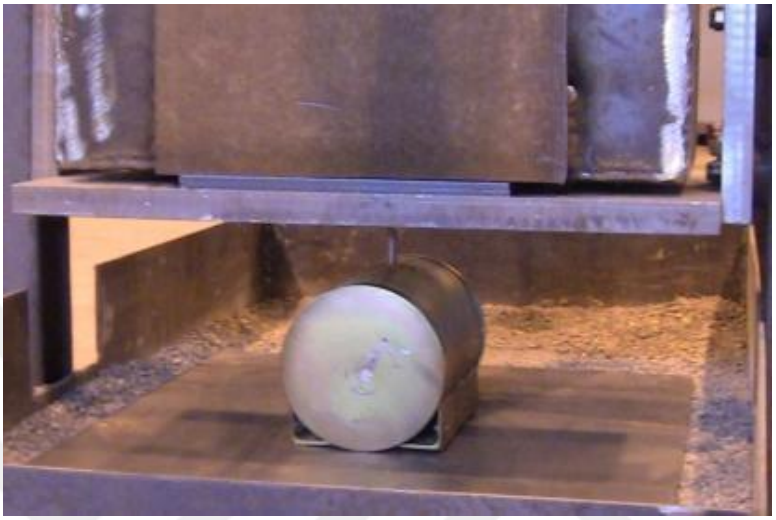
Şekil 4.7. (a) Serbest Düşme Test Düzeneği, (b) Delme Pimi, (c) Test Edilecek Numune

Üstten görünüşünde 0.06 m² yüzey alanından küçük çarpma dayanımlı kutuların çelik bir levha üzerinde merkezlenerek testin yapılması gerektiğinden, çelik levha 45 ×45×0.8 cm ölçülerinde kesilmiş ve kule tabanına yerleştirilmiştir.

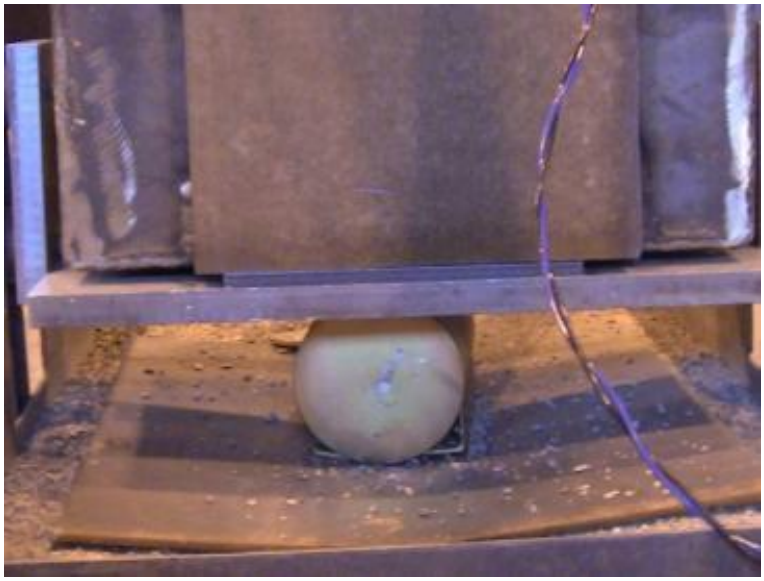
Dikey konumda yapılan test sonucunda malzeme üzerinde yaklaşık 1.5 mm kadar çökme meydana gelmiştir. ED-112 test standartları gereği ağırlık ucundaki pimin hafıza birimini muhafaza eden yapıya nüfuz etmiş olsa dahi hafıza birimine zarar vermemesi gerekmektedir. Yapılan testte pimin hafıza birimini muhafaza eden yapıya nüfuz edemediği, hatta pimin kendisinin kırıldığı görülmüştür. Test sonucunda numune üzerinde meydana gelen deformasyon Şekil 4.8.'de görülmektedir.

Şekil 4.8. Test Sonucunda Deforme Olmuş Numune

Serbest düşme testi numunenin yatay pozisyondaki konumu için tekrar edilmiştir. Numunenin yatay pozisyondaki konumu Şekil 4.9.'da görülmektedir. Serbest düşme ağırlığının 3 m yükseklikten numune üzerine bırakılmasıyla oluşan deformasyon Şekil 4.10.'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Serbest Düşme Test Düzeneği, Ağırlık ve Numune (Düşme Testi Öncesi)



Şekil 4.10. Serbest Düşme Test Düzeneği, Ağırlık ve Numune (Düşme Testi Sonrası)

Numunenin yatay konumdaki pozisyonu için yapılan test sonucunda numune üzerinde oluşan deformasyon Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Delici pim numune içine nüfuz etmemiştir. Şekil 4.12. (b)'den de görüldüğü gibi test sonrası numune üzerindeki çöküntü 2.12 mm ölçülmüştür.

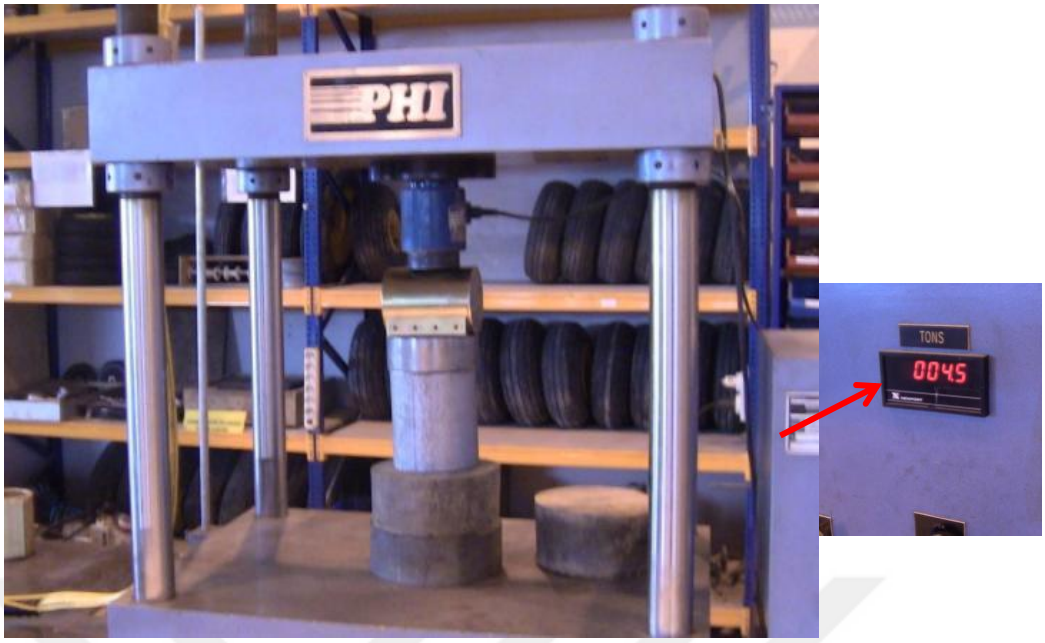
Şekil 4.11. Test Sonrası Numune Üzerinde Oluşan Deformasyon

(a) (b)

Şekil 4.12. (a) Kumpasın Kalibresi, (b)Test Sonrası Numune Üzerinde Oluşan Deformasyon Ölçümü

4.2.2. Statik Basınç Testi

Hafıza modülünü taşıyan çarpma dayanımlı silindire ED-112 standardına göre en az 22,25 kN değerinde bir kuvvet uygulanacağından, Malzemeye statik basınç testinde 45 kN değerinde bir kuvvet uygulanmıştır. Test, hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Hidrolik pres göstergesi Şekil 4.13.'te gösterilmiştir. Yapılacak test dört defa tekrarlanmıştır. Dört tekrarın ikisi yatay konumda, ikisi dikey konumda gerçekleştirilmiştir. Test düzeneği (yatay konum) Şekil 4.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Statik Basınç Testi Düzeneği (Yatay Konum)

Hafıza kartı modülü olan silindirik malzemeye dikey konumda da beş dakika süre ile iki test yapılmıştır. Test düzeneği (Dikey Konum) Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.

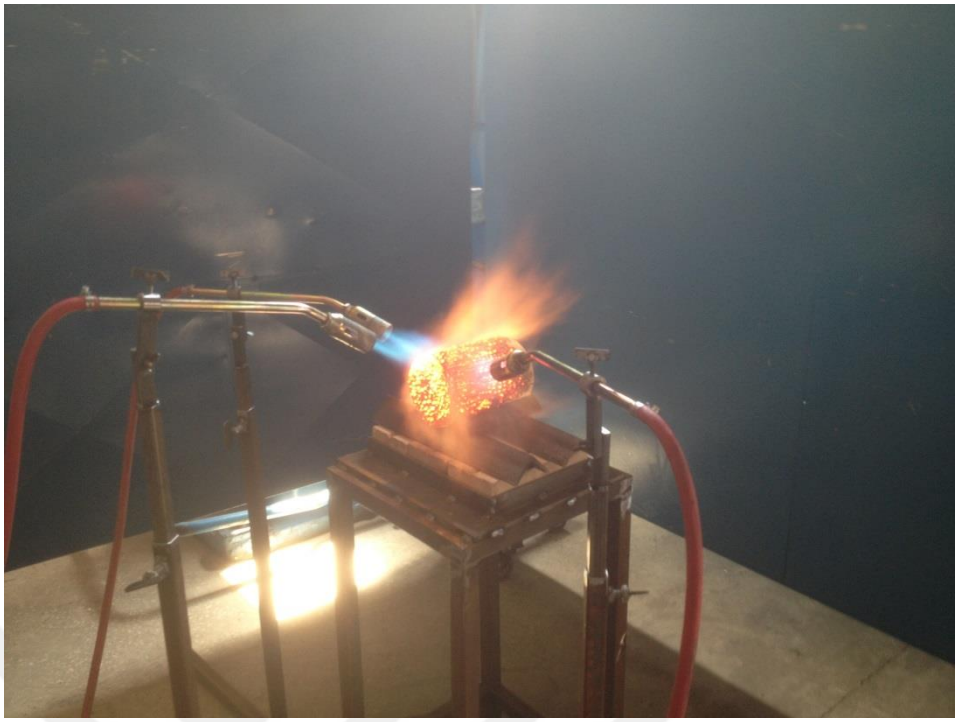
Şekil 4.14. Statik Basınç Testi Düzeneği (Dikey Konum)

Dört defa tekrarlanan statik basınç testleri sonucunda ED-112 test standardı gereği hafıza kartına zarar verebilecek büyük deformasyonların oluşmaması gerekmektedir. Testler sonucunda silindirik malzeme üzerinde herhangi bir deformasyon oluşmamıştır.

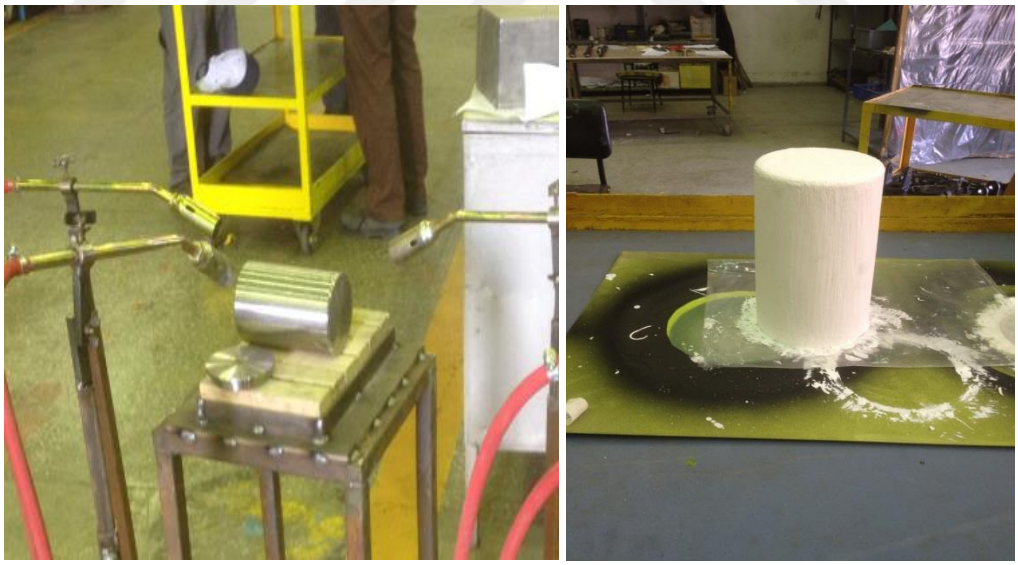
4.2.3. Yüksek Sıcaklık Testi

Hafıza modülü $950\ °C - 1100\ °C$ sıcaklıkta $30\ dakika$ sürekli olarak ısıtılmıştır. Oluşturulan yanma test standı Şekil 4.15.'te, ısıtma anı Şekil 4.16.'da gösterilmiştir. Dış sıcaklık değerleri $800\ °C - 1500\ °C$ arasında kalibreli termometre ve termal kamera ile kontrol edilerek, iç sıcaklık ise termal kartlarla belirlenerek kayıt altına alınmıştır. Hafıza modülü ısı yalıtımı amacıyla özel bir termal boya ile kaplanmıştır. Termal boya, yanma esnasında şişerek ısının malzeme içine nüfus etmesini engellemektedir. Şekil 4.17.'de malzeme üzerinde şişen boya görülmektedir.

Şekil 4.15. Yanma Test Standı



Şekil 4.16. 1100 °C de 30 Dakika Isıtma



Şekil 4.17. Hafıza Modülünün Isı Esnasında Şişen Boya İle Kaplanması

Test sırasında hafıza birimini sembolize eden termal kart kullanılmıştır. Bu malzeme üzerine ısı bandı sensörleri olduğundan test boyunca sıcaklık artışı ölçümü yapılmıştır. Bu sensörler kablosuz özellikte olup hissedebildiği en yüksek sıcaklık bir ölçek üzerinde ısı etkisiyle işaretlenmektedir. Test sonrasında sensörün ölçebildiği

sıcaklığın 90 °C düzeyinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.18.). Hafıza biriminde muhafaza edilen verilerin sağlıklı korunabilmesi için aşılmaması gereken 95 °C eşiğinin altında sıcaklık ölçülmüştür. Şekil 4.19.'da sıcaklık kartında 116 °C'de kararma olmadığı görülmektedir.

Şekil 4.18. Sıcaklık Testi Sonucu Termik Karttan Alınan Değerler

Şekil 4.19. Sıcaklık Testi Sonucu Termik Karttan Okunan Değer

4.2.4. Daldırma Testi

Hafıza birimini muhafaza eden silindirik malzemenin sızdırmazlık kontrolü için daldırma testi yapılmıştır. Daldırma testi için ED-112 test standartları gereği su-yağ karışımlı bir varil hazırlanmıştır. Hazırlanan varil ve test numunesi Şekil 4.20.'de görülmektedir. Hafıza birimine sıvı sızdırabilecek yüzeyler kablo geçişinin sağlandığı delik ve cıvata bağlantılarıdır. Test sonrası değerlendirmeler yapmak üzere numune içerisine peçeteler sıkıştırılmıştır. Sızdırmazlık testi başarımını bu peçetelerin ıslaklık ve nemlilik durumu göstermektedir.

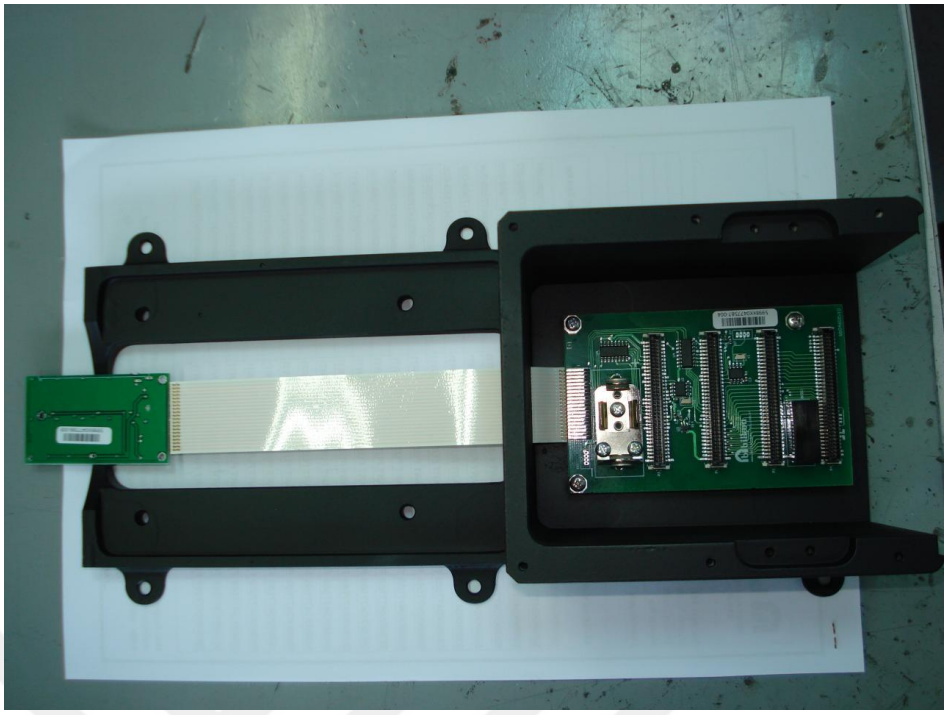
Şekil 4.20. Daldırma Testinin Uygulaması

Şekil 4.21. Daldırma Testi Sonrası Numune İç Bölgesi

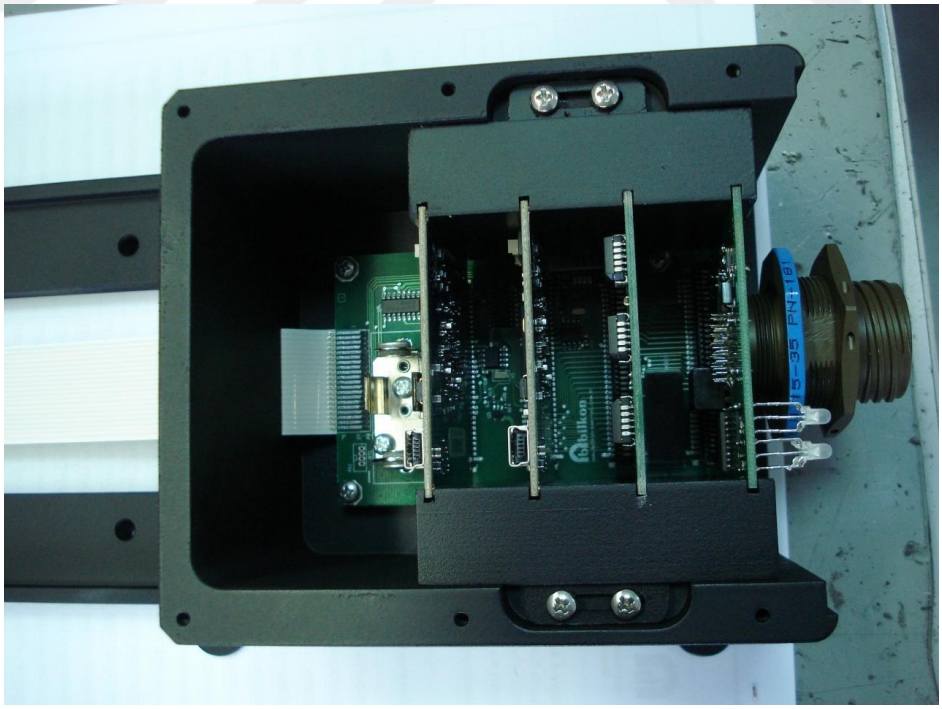
Test sonrası numunenin içi Şekil 4.21.'de gösterilmektedir. Numune içerisine sıkıştırılmış olan peçetelerin ıslanmadığı ve nemlenmediği görülmüştür. Sızdırmazlık silikon ve O-ring sızdırmazlık elemanları ile sağlanmıştır.

4.3. Hafıza Modülü Dışındaki Güç Kartlarının Yerleştirileceği Elektronik Kontrol Bölümünün Tasarım ve İmalatı

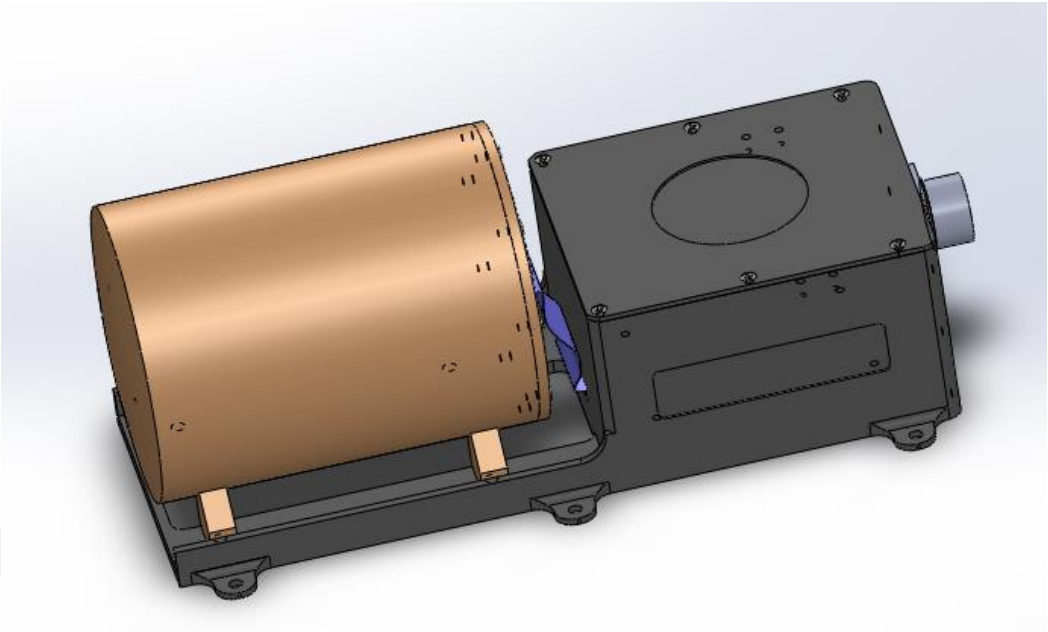
Elektronik kontrol bölümü Al 2024 normlu T6 sertlik değerindeki malzemeden kart ölçülerine göre tasarlanarak üretilmiş ve bu kısmın aynı zamanda Hafıza Modülünü taşıması ve hava aracı montaj kısmını oluşturması sağlanmıştır. Yapılan tasarım Şekil 4.22. ve Şekil 4.23.'te, Uçuş verileri Kayıt Cihazının Hafıza Modülü ve Elektronik Kontrol Modülü montajı Şekil 4.24.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Uçuş verileri Kayıt Cihazının Hafıza Modülü ve Elektronik Kontrol Modülü Montajı



Şekil 4.23. Elektronik Aksam Resimleri



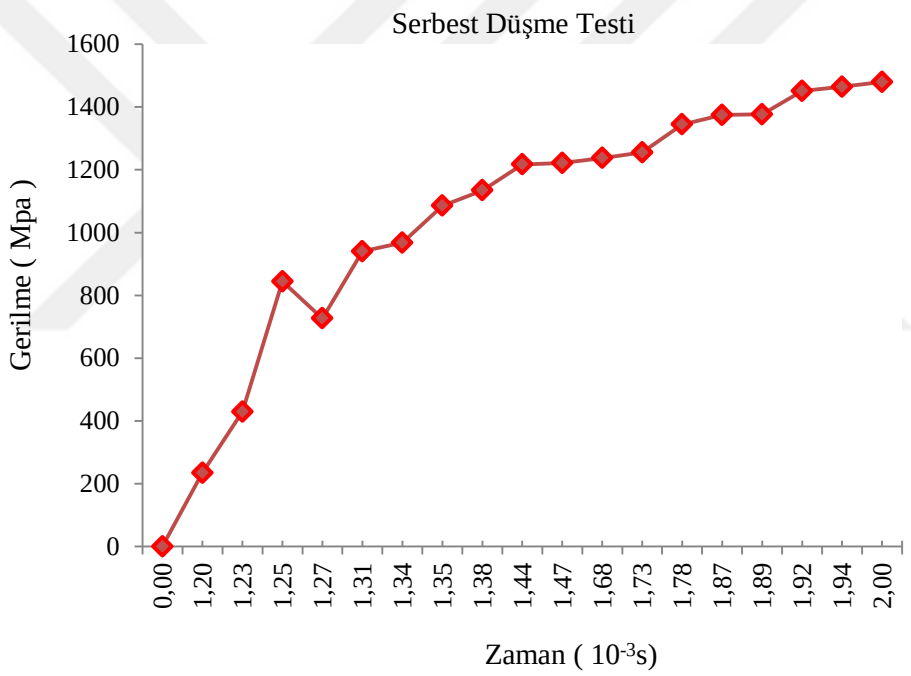
Şekil 4.24. Uçuş Verileri Kayıt Cihazının Hafıza Modülü ve Elektronik Kontrol Modülü Montajı

Uçuş Verileri Kayıt Cihazı, elektronik kontrol modülü ve hafıza modülü olarak toplandıktan sonra üç tip helikoptere EK-1'deki ensilasyon çalışmaları yapılarak montaj yapılmıştır. Montaj yapılan helikopterler uçuş testine tabi tutulmuş ve uçuş sonrası EK-2'de gösterilen veriler alınmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Döner kanatlı hava araçlarında kullanılacak uçuş verileri kayıt cihazı için yapılan analitik, sayısal analiz ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler ve değerlendirilmeler bu bölümde verilmektedir.

Yapılan çalışma serbest düşme testinin sayısal analizi ve deneysel çalışmaları ile başlamıştır. Serbest düşme test için yapılan sayısal çözüm Şekil 5.1.'de görülmektedir.

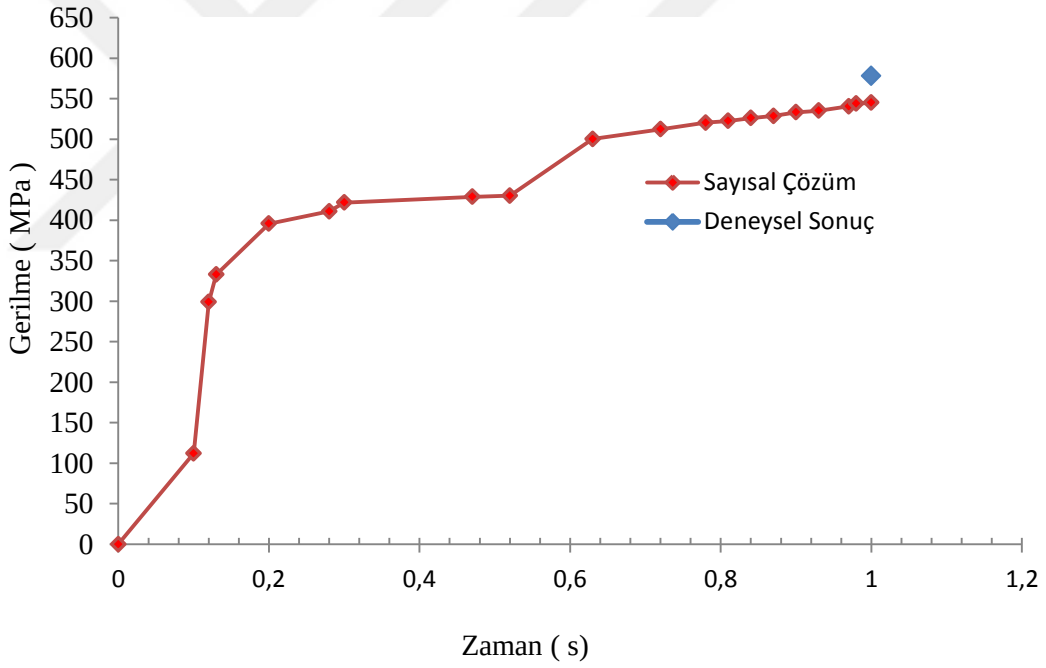


Şekil 5.1. Serbest Düşme Gerilme-Zaman Grafiği

Sayısal analizde model, 3 m yükseklikten bırakılan 227 kg'lık ağırlık tarafından üretilmiş delme gücüne maruz bırakılmış, ağırlığın temas noktası 6.35 mm çapında dairesel çelik iğne ile yapılmış ve test sonucu iğnenin düştüğü bölgede deformasyon olmuş, ancak delinme olmamıştır. Şekil 5.1'de görüldüğü üzere 2 milisaniye sonucu maksimum gerilme 1500 MPa düzeyinde kalmıştır. Analiz sonucu silindir üzerinden pim ekseni boyunca oluşan deformasyon uzunluk olarak alındığında çökme 1.99 mm

olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucu 3m yüksekliğinden (imal edilen kuleden) bırakılan altı çelik pimli ağırlık, model üzerine düşürülmüş ve az miktarda kalıcı şekil değişikliği meydana gelmiştir. Ancak malzeme delinmemiştir. Silindir üzerinden pim ekseninde kumpas ile alınan çökme değeri 2.12 mm olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında % 90 civarı doğruluk sağlanmış ve serbest düşme testi sonucu olumlu değerlendirilerek statik basma testine geçilmiştir.

Statik basma testi sayısal analizde, model üzerine 4.5 ton yük uygulanmış ve oluşan deformasyon izlenmiştir. Analiz sonucu oluşturulan grafik Şekil 5.2.'de sunulmuştur.

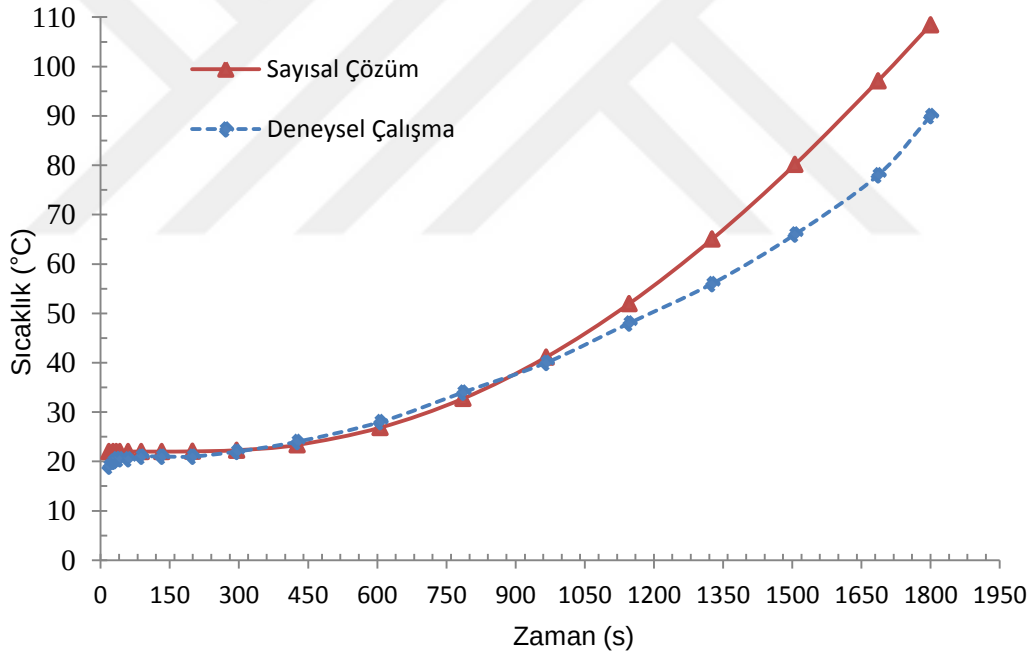


Şekil 5.2. Statik Basma Gerilme-Zaman Grafiği

Analiz çözümü oluşturulan Şekil 5.2.'deki grafik incelendiğinde 4.5 tonluk yük altında maksimum gerilme değeri 540 MPa civarı çıktığı görülmektedir. Malzememizin akma değeri 1500 MPa olduğu değerlendirildiğinde statik yük

altındaki deformasyon elastik bölgede kalmış olup, malzemede şekil değişikliği meydana gelmemiştir. Deneysel testlerde 4.5 ton yüke ayarlanmış hidrolik preste model üzerine yük uygulanmıştır. Sonuçta herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir. Çalışmalar karşılaştırıldığında değerler ve sonuçlar birbirine yakın çıktığından test ve analiz sonucu olumlu değerlendirilip yüksek sıcaklık testine geçilmiştir.

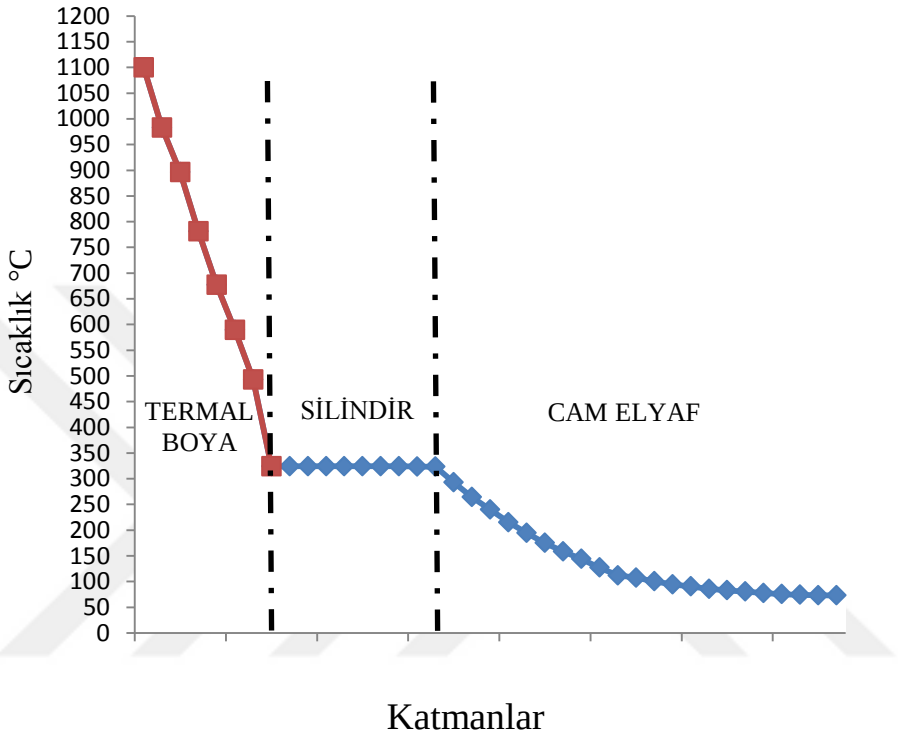
Yüksek sıcaklık testinde, model 950 °C -1100 °C sıcaklıkta 30 dakika sürekli olarak ısıtılmıştır. Analiz sonucu Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Yüksek Sıcaklık Testi Sıcaklık-Zaman Grafiği

Katmanlara göre sıcaklık dağılımı incelendiğinde Şekil 5.4.'de gösterilen grafik oluşmaktadır. Üst katman olan termal boya, 1100 °C sıcaklıktan 324 °C sıcaklığa kadar yalıtım sağlamakta, çelik malzemeden üretilen silindir, neredeyse tamamen

ısıyı iletmekte ve cam elyaf malzeme de 323 °C olan sıcaklığı 70 °C sıcaklığa kadar düşürmektedir.



Şekil 5.4. Katmanlardaki Sıcaklık Dağılımı

Analiz çözümünde, 1800 s sonunda hafıza modülü kartının olduğu bölümde Şekil 5.3'de görüldüğü üzere sıcaklık 110 °C derece civarında çıkmıştır. İlk 400 s sıcaklık üst katman boya ve cam elyaf tarafından 20 °C ile 30 °C arasında korunurken daha sonra sıcaklık artışı gözlemlenmektedir. Deneysel testlerde hazırlanan düzenek ile üç adet pürmüz kullanılarak, model dış sıcaklığı 1100 °C derecede tutulmuş ve 800 °C-1300 °C skalalı termometre ve termal kamera ile bu sıcaklığın 30 dakika korunması kontrol altına alınarak sağlanmıştır. Test sonucu model içine bırakılan termal kartlardan iç sıcaklığın maksimum 90 °C olduğu görülmüştür. Yapılan sayısal ve

deneysel çalışmaların sonucunda alınan veriler % 89 doğrulukta olduğundan, analiz ve deneysel testler olumlu değerlendirilmiştir.

Model son olarak deneysel olarak sızdırmazlık testine tabi tutulmuş ve sızdırmanın olmadığı görülmüştür.

Sayısal analizler ve deneysel çalışmalar sonucu modelin prototip imali yapılıp, döner kanatlı hava araçlarına monte işlemine geçilmiş ve cihaz kullanıma uygun olduğu görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Döner kanatlı hava araçları (helikopterler) için uçuş verilerini ve kokpit seslerini kaydedebilecek ED-112 havacılık standardında yer alan gereksinimleri karşılayacak bir Uçuş Verileri Kayıt Cihazı tasarımının gerçekleştirilip, imalatı yapılarak hava aracı (3 ayrı helikopter model; AS532 Couger, S70 Skorsky, UH-1H) üzerinde tasarım doğrulama testleri yapılmıştır. Tasarımda Solidworks programı, sayısal analizlerde ANSYS Sonlu Elemanlar programı kullanılmıştır. Ayrıca hesaplamalarda analitik yöntemlerde kullanılmıştır. Döner kanatlı hava araçlarının ED-112 standardında belirtilen gereksinimler;

- Serbest Düşme,
- Statik basınç,
- Isı iletimi,
- sızdırmazlık testlerini kapsamaktadır.

Serbest Düşme Testi; ED-112 standardında serbest düşme testi için 3 m yükseklikten $227\ kg$ ağırlığındaki bir kütlenin düşürülmesi öngörülmektedir. Bu kütlenin ucunda bir pim ile darbenin tasarlanan kütleye aktarılması istenmektedir. Bu test için analitik, sayısal ve deneysel çalışma yapılmıştır. Sayısal çalışmada Ansys Autodyn (Expilicit Dynamic) programı kullanılarak analiz edilmiştir. Deneysel çalışmada ise 3 m yükseklikten $227\ kg$ ağırlığındaki kütle tasarlanan parça üzerine düşürülmüştür. Parça üzerindeki kalıcı şekil değişimi $2.12\ mm$, sayısal analizde ise $1.99\ mm$ kalıcı şekil değişimi ölçülmüştür. Değerler arasında yaklaşık % 6 sapma kabul edilen sınır şartlarının gerçeğe yakın olduğu görülmüştür.

Statik Basma Testi; ED-112 standardı basma testi için silindirin radyal yönde $4.500\ kg$ yükle basılması öngörülmektedir. Deneysel çalışmada statik $4.500\ kg$'lık yük silindire radyal yönde uygulanmış ve silindirde kalıcı sekil değişimi olmamıştır. Sayısal çözümde Ansys (Static Structural) programı kullanılmıştır. Analiz sonucunda gerilme değeri $535\ MPa$ olarak hesaplanmıştır. Silindir imalatından kullanılan

malzemenin akma değeri yaklaşık $1500\,MPa$ dır. Böylelikle uygulanan yükün malzemenin akma değerini geçmediği, elastik bölgede kaldığı ve yaklaşık 3 emniyet katsayısı olduğu görülmüştür.

Yüksek Sıcaklık Testi; ED-112 standardının isi iletim testi için silindirin dış yüzeyinin 1100 ℃ olduğu durumda, 1800 s sonra silindirin eksen sıcaklığının hafıza kartına zarar vermeyecek derecede olması istenmektedir. Numune silindir yüzeyi 1100 ℃ ısıtılmış, zamana bağlı olarak silindir içindeki sıcaklık termal elemanlar ile ölçülmüştür. 1800 saniyede silindirin iç sıcaklığının 90 ℃'yi geçmediği görülmüştür. Sayısal hesaplamalarda ANSYS (Transient Thermal) programı kullanılmıştır. Sayısal analizde silindirin $1100\,°C$ dış yüzey sıcaklığının 1800 s sonrasında model içinde sıcaklık dağılımının $74\,°C$ ile $90\,°C$ arasında olduğu görülmüştür.

Sızdırmazlık Testi, sadece deneysel olarak yapılmış ve model içerisine herhangi bir sıvı sızıntısının olmadığı görülmüştür.

Üretilen cihaz toplam ağırlığı 6.5 kg'dır. İleride yapılacak çalışmalarda bu ağırlığın hafifletilmesi için kullanılan malzemede değişiklikler yapılarak analizlerinin doğrulanması ve hafıza modülünün mekanik testlere tabi tutulmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

7. KAYNAKLAR

[1] https://global.britannica.com/technology/flight-recorder (ErişimTarihi: 10.12.2016)

[2] Minimum Operational Performance specification For Crash Protected Airborne Recorder Systems (ED-112), EUROCAE, March 2003.

[3] R. Dennis Grossi, National Transportation Safety Board, Journal of Accident Investigation, Vol. 2, Issue 1, p.:31-43, 2006.

[4] G. Marlon, L. Tsuruta, The Analysis of Flight Operational Quality Assurance (Foqa) Data: Exploration of a Proposed List of Improved Safety Parameters, Embry-Riddle Aeronautical University Daytona Beach, Florida July 2008.

[5] C. Oprisiu, N. Apostolescu, C. Olivotto, S. Tataru, FDR data as a source for flying events visualisation and aircraft parameter estimation, Incas Bulletin, Volume 4, Issue 3, p.: 31 – 40, 2012

[6] H. Richard.Wood, W. Robert Sweginnis, Aircraft Accident İnvestigation, March, 1999

[7] ANSYS User Manuel, Ansys Inc., R15.0, 2013

[8] ANSYS Mechanical User Guide, Ansys Inc.,R.15.0, 2013

[9] A. Gilarski, The Prediction of the Longitudinal Load Factors for a Simplified A-402M Transmission Line System using ANSYS, The University of Manitoba-Master of Science Thesis, 2013

[10] İ. Erhan Gelgör, Seramik ve Kompozit Braketlerin Tork Kapasitelerinin Dişler Üzerinde Meydana Getireceği Değişikliklerin Sonlu Elemanlar Analizi İle

Değerlendirilmesi, Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Kırıkkale Üniversitesi, 2013

[11] R. Bothman, Comparison of ANSYS and LS-Dyna for Performing Drop Test Simulation, Impact Engineering Solution, www.impactengsol.com. 2007. (Erişim tarihi.14.04.2016)

[12] Zana EREN, Eksenel Darbe Yükü Uygulanan İç İçe Tüplerin Çarpışma Ve Ezilme Davranışının Sayısal Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Yuksek Lisans Tezi, İTÜ, 2015

[13] J. Leijten, E. Harald, N. Bersee, K. Otto ve digerleri, Experimental Study of the Low-Velocity Impact Behaviour of Primary Sandwich Structures in Aircraft, Composites, Part A, (40), p.: 164-175. 2009

[14] T. Anderson, E. Madenci, Experimental İnvestigation Of Low-Velocity İmpact Characteristics of Sandwich Composites ,Composites Structure, 50 (3), pp. 239–247, 2000.

[15] M. Meo, A. J. Morrisa, R. Vignjevica, G. Marengob, Numerical Simulations of Low-Velocity İmpact on An Aircraft Sandwich Panel,V. 62, p.:353-360, 2003

[16] B. Berk, Kompozit Plaklar Üzerine Balistik Darbenin Sonlu Eleman Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Temmuz 2014

[17] B. Gerçekler, Köpük Malzeme Entegre Edilmiş Mühimmat Düşürme Testleri Simülasyonları ve Köpük Malzemelerin Boyutsal Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Eylül 2012

[18] C. R. Niemer, ANSYS Kullanıcılar Toplantısı, Whirlpool Corp., Evansville In, FİGES, 2000

[19] W. Posch, A. Sageder, Borealis Polypropylene Helping to Shape the Future of White Good Industry, LS-Dyna Kullanicilar Toplantisi, BİAS, 2002

[20] Y. Wang, C. Lu, J. Li, X. M. Tan, Y. C. Tse, Simulation of Drop Impact Reliability for Electronic Devices, Finite Elements in Analysis and Design V.41, p.:667-680, 2005

[21] N. K. Gupta, Simplified Analytical Solutions For Free Drops During NCT For Radioactive Material Packagings, Savannah River Tech. Center, Yüksek Lisans Tezi, 1997

[22] Kırlı, O, 2003, Derin Çekme ile Soğuk Şekillendirmenin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Non-lineer Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, _İzmir.

[23] F. P. Beer, John T. Dewolf, David F. Mazurek, E. Russell Johnston, Cisimlerin Mukavemeti, Literatür Yayıncılık, 2014

[24] S. Hanali, Mukavemet, Teknik Yayınevi, 2006.

[25] Ferdinand P. Beer E. Russel Johnston, Cisimlerin Mukavemeti, Beta Basım Yayın, ISBN/Barkod: 9789752951877

[26] R.C.Hibbeler, Mechanics of Materials, Pearson, 2014

[27] H. Yalçın, M. Gürü, Malzeme Bilgisi, Palme yayıncılık, ISBN: 975862413, 2000

[28] M. N. Özışık, Heat Conductin, John Wiley&Sons Inc., Second Edition NewYork, 1992

[29] V. Arpacı, Conductin Heat Transfer, Addision-Wesley Publishing Co. California, 1966

[30] Y. Çengel, Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd ed., McGraw-Hill,2003. ISBN 0072458933,May 2005.

[31] E. Değirmenci, Yüksek Sıcaklığa ve Dinamik İç Basınca Maruz Kompozit Destekli Boru Tasarımı, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, p.:29-32, 2010.

[32] Z. Essam, Control Automation and Systems, Int. Conference on ICCAS, p.:32-43, 2010

[33] https://www.sperrymarine.com/extranet/maintenance-training/voyage-data-recorder- training (Erişim Tarihi:10.12.2016)

[34] http://www.imo.org/OurWork/Safety/navigation/pages/vdr.aspx (Erişim Tarihi:10.12.2016)

[35] http://www.furuno.com (Erişim Tarihi:10.12.2016)

[36] www.wonderfulengineering.com (Erişim Tarihi:10.12.2016)

[37] www.Natgeotv.com (Erişim Tarihi:10.12.2016)

[38] www.howstuffworks.com (Erişim Tarihi:10.12.2016)

[39] Ticari Hava Taşıma İşletmeleri Uçuş Veri İzleme Programına İlişkin Esas ve Usuller Talimatı (SHT FDM), Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 2010

8. EKLER

EK-1 Uçuş Verileri Kayıt Cihazı ve Helikopter Montaj Resimleri

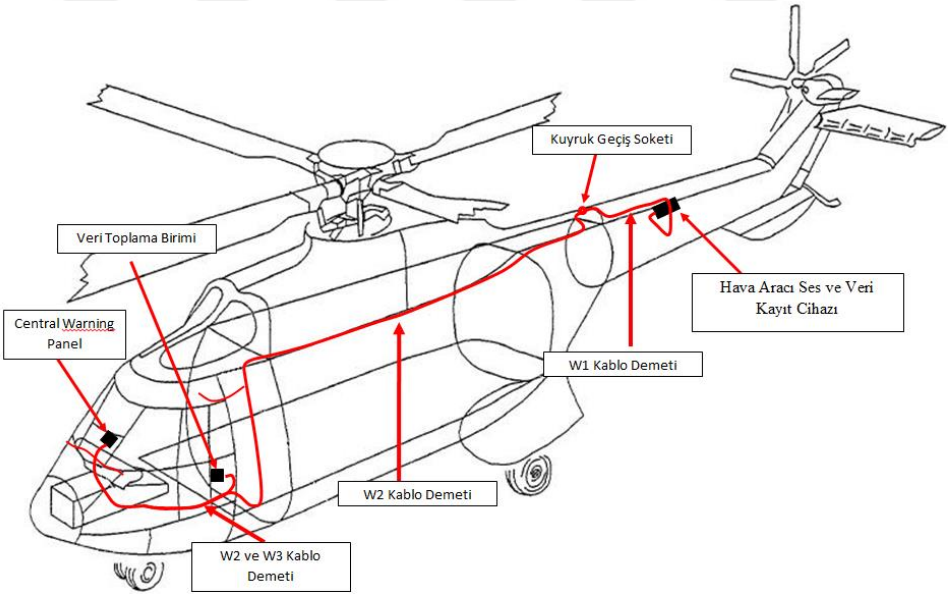
Testleri geçerek üretilen prototip üç hava aracına monte edileceğinden üç farklı hava aracı ensilasyonu için düzenek hazırlanmış ve AS 532 Cougar (Fransa imali genel maksat helikopteri), UH-1H Amerika imali genel maksat helikopteri ve S-70 Sikorsky Amerika imali genel maksat helikopterlerine monte edilmiştir.

Döner kanatlı hava araçları kaza kırımları incelendiğinde hava aracının en az zarar gören ve ana gövdeden hemen ayrılan yerinin kuyruk birleşimi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle Ses ve Veri kayıt cihazı helikopterlerde gövdeye yakın kuyruk bölümüne montaj yapılmıştır.

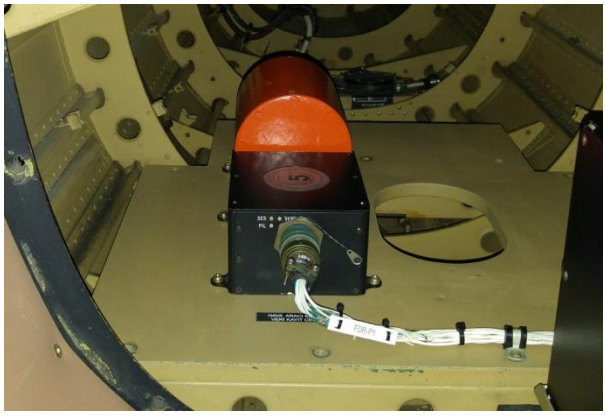
AS 532 Cougar Helikopter Montajı

AS 532 Cougar hava aracına kuyruk kısmına Uçuş Verileri Kayıt Cihazı monte edilmiştir. Hava aracı test uçuşlarını tamamlamış ve veri alımı başarı ile sonuçlanmıştır. Monte edilen hava aracı Şekil 8.1.'de, Hava aracına yapılan ensilasyon Şekil 8.2.'de ve hava aracına takılan cihaz Şekil 8.3.'te gösterilmiştir.

Şekil 8.1. AS 532 Cougar Helikopteri Fotoğrafı



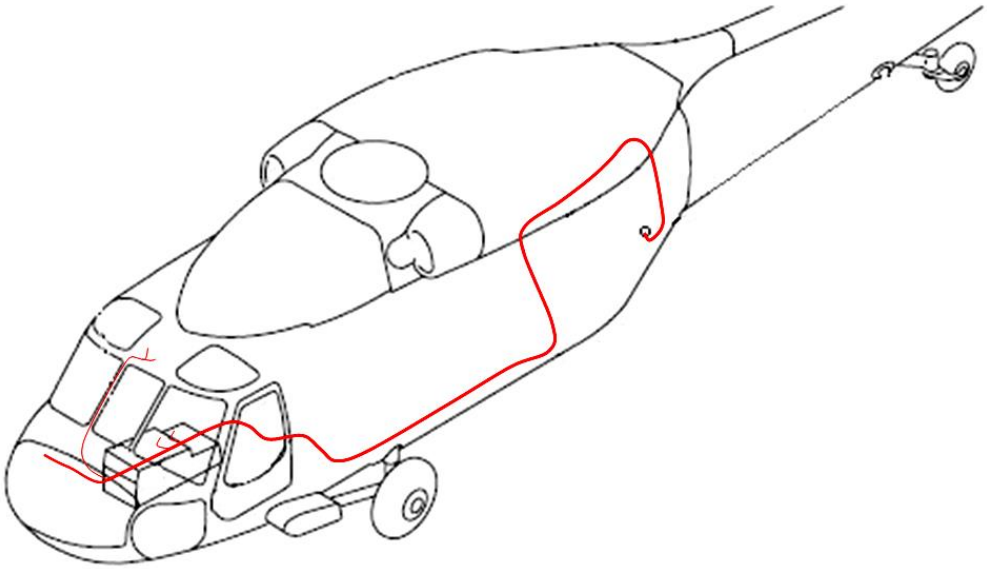
Şekil 8.2. AS532 Cougar Uçuş Verileri Kaydedici Montaj Yeri ve Kablo Ensilasyonu



Şekil 8.3. AS532 Cougar Helikopterine Prototip İmalatın Montajı

S70 Sikorsky Helikopter Montajı

S 70 Sikorsky hava aracına kuyruk kısmına Uçuş Verileri Kayıt Cihazı monte edilmiştir. Hava aracı test uçuşlarını tamamlamış ve veri alımı başarı ile sonuçlanmıştır. Hava aracına yapılan ensilasyon Şekil 8.4.'de ve hava aracına takılan cihaz Şekil 8.5.'te gösterilmiştir.

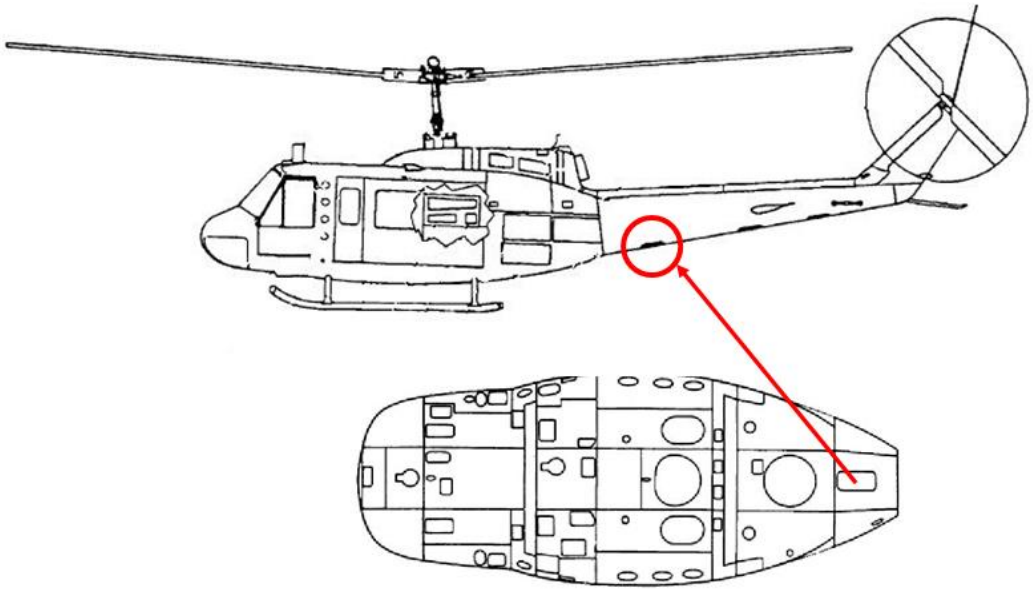


Şekil 8.4. S 70 Uçuş Verileri Kaydedici Ensilasyon Güzergahı

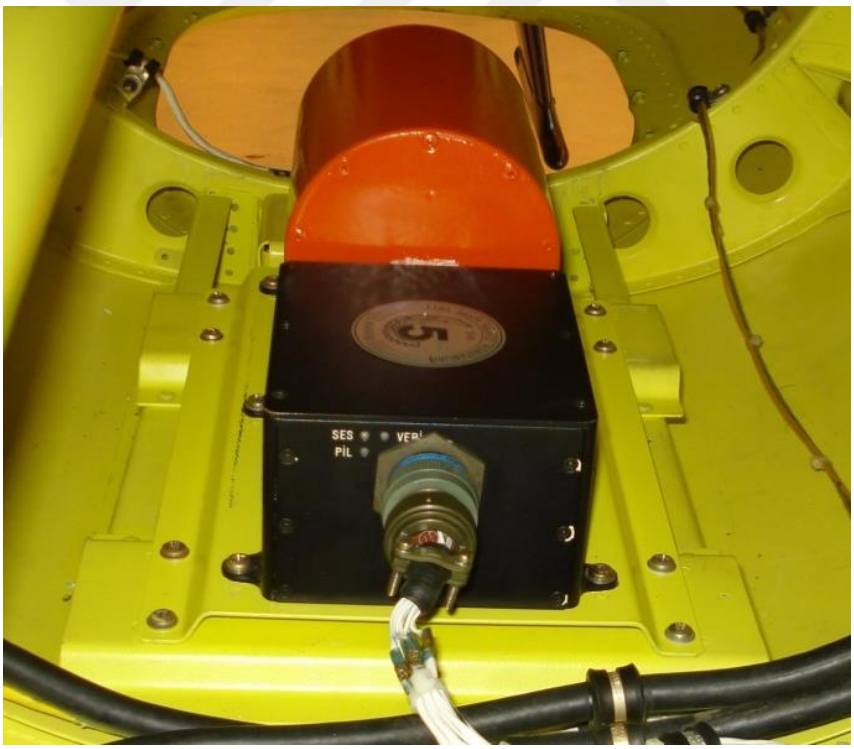
Şekil 8.5. S 70 Sikorsky Helikopterine Prototip İmalatın Montajı

UH-1H Helikopter Montajı

UH-1H hava aracına kuyruk kısmına Uçuş Verileri Kayıt Cihazı monte edilmiştir. Hava aracı test uçuşlarını tamamlamış ve veri alımı başarı ile sonuçlanmıştır. Uçuş Verileri Kayıt Cihazının hava aracına montaj fotoğrafı Şekil 8.6.'da ve hava aracına takılan cihaz Şekil 8.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 8.6. UH-1H Helikopter Monte Yeri



Şekil 8.7. UH-1H Hava Aracına Montaj Fotoğrafı

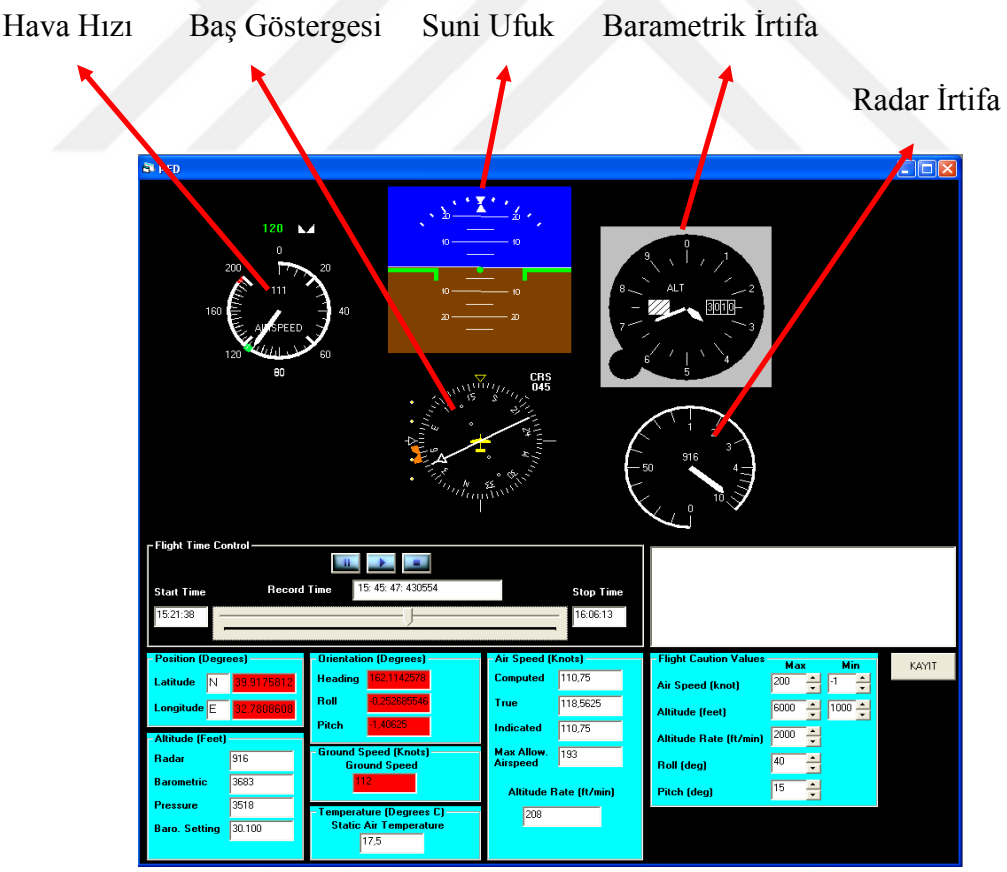
EK-2 Uçuş Verileri Kayıt Cihazından Simülasyon Programı ile Alınan Veriler

Herhangi bir hava aracı olayı sonrasında kaydedilen verilerin alınabilmesi için simülatör programı geliştirilmiştir. Bu simülatör programı ile üç boyutlu harita üzerinde hava aracının oynatılması, motor, yakıt ve ikaz bilgilerinin gösterimi ve simülasyon sonrası uçuş yolu çizimi yapılabilmektedir Bu kapsamda simülatör programından aşağıdaki bilgiler alınabilmektedir;

Ana Uçuş Göstergeleri Ekranı: PFD (Primary Flight Display)

Ana Uçuş Göstergeleri Ekranı**;** hava aracının uçuş göstergelerinin bulunduğu sayfadır.

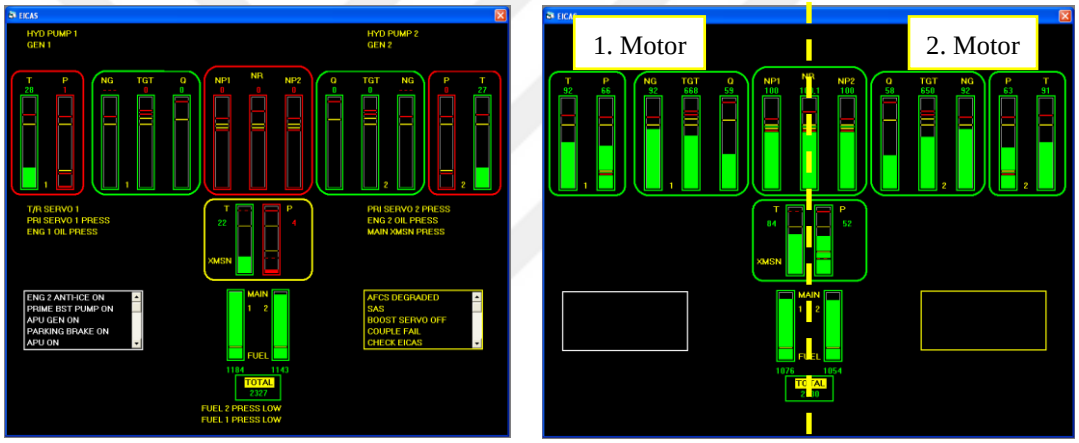
Ana uçuş göstergeleri ekranı sayfasında Şekil 8.8.'de gösterilen hava hızı, suni ufuk, barometrik irtifa, radar irtifa ve baş göstergesi görsel olarak, diğer bilgiler sayısal olarak yer almaktadır.



Şekil 8.8. Ana Uçuş Gösterge Ekranı

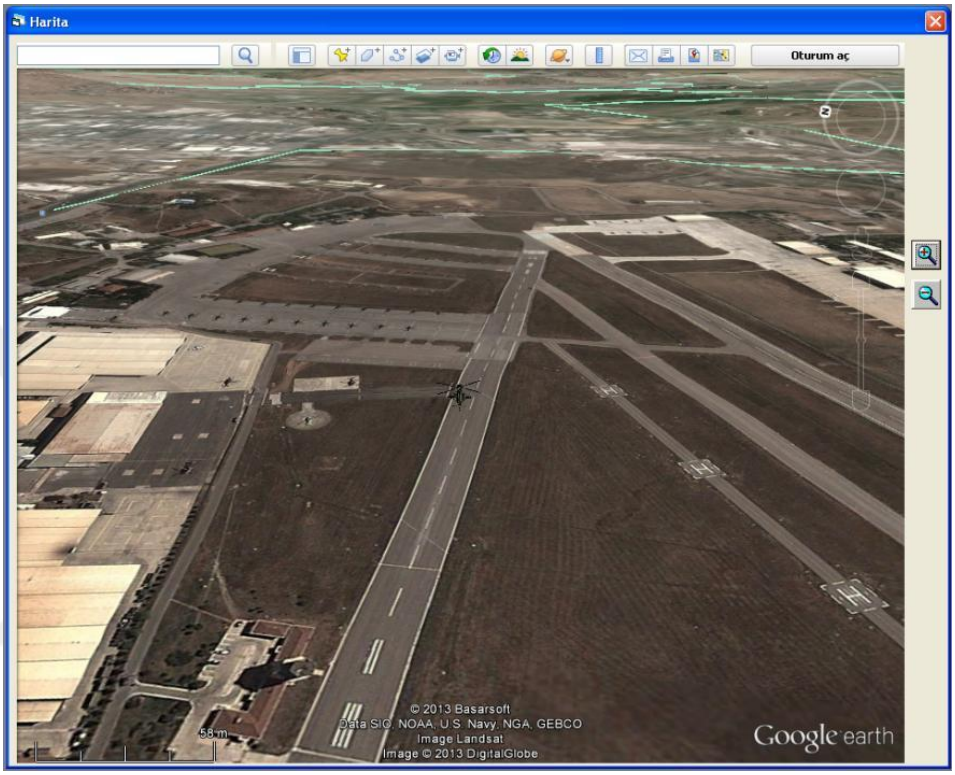
Motor Göstergeleri ve Kabin Ekibi Uyarı Sistemi Görüntüsü: EICAS (Engine Indicating And Crew Alerting System)

Motor Göstergeleri ve Kabin Ekibi Uyarı Sistemi Görüntü sayfasında Şekil 8.9.'da gösterilen hava aracı ve motor ile ilgili ikazlar (sarı renkli) ve bilgilendirmeler (beyaz renkli) yer almaktadır. Bu sayfada 1. motor ve 2. motor ile ilgili bilgiler (motor yağ basıncı ve sıcaklığı (T, P), transmisyon yağ basıncı ve sıcaklığı (XMSN T, P), TGT, tork (Q), motor, jeneratör ve türbin dönü hızı (NP, NG, NR)) ve yakıt seviyeleri yer almaktadır.



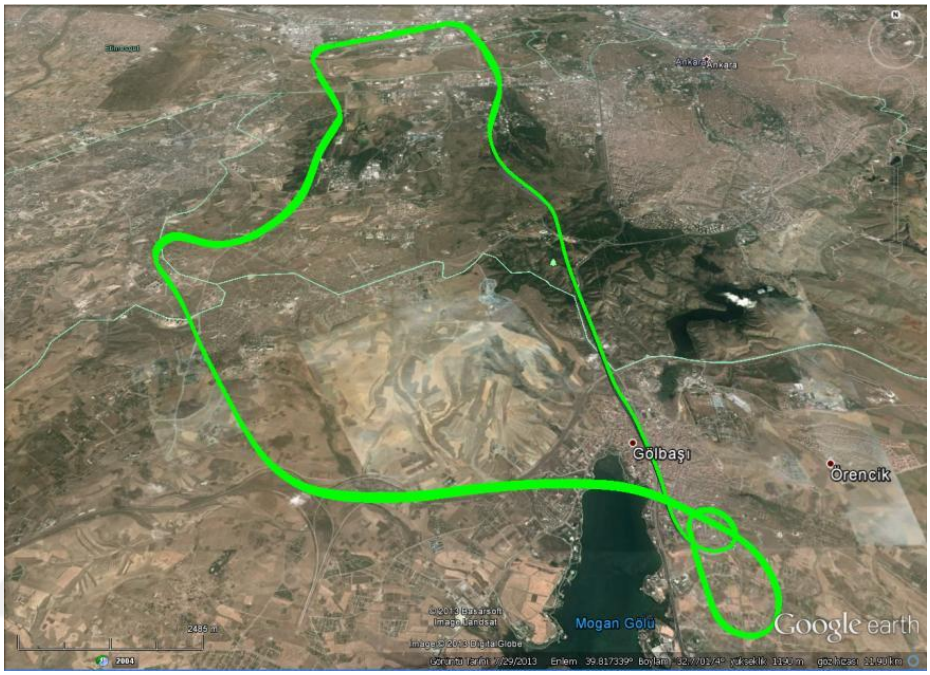
Şekil 8.9. Motor Göstergeleri ve Kabin Ekibi Uyarı Sistemi Görüntüsü

Hava aracı, konumu, durumu ve irtifası göz önüne alınarak harita üzerinde gösterilmektedir. Örnek görüntü Şekil 8.10.'da verilmiştir.



Şekil 8.10. Hava Aracı Konumunun Haritada Görüntüsü

Uçuş Yolu, hava aracının uçuş boyunca izlediği yolu irtifa bilgisi ile birlikte gösterir. Hava aracının takip ettiği uçuş yolu irtifa bilgisini de içerecek şekilde Şekil 8.11.'de harita üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 8.11. Hava Aracının Uçuş Süresince İzlediği Yol