MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development

UMAGD, (2019) 11(2), 560-575.

10.29137/umagd.497996

Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:2 Haziran/June 2019

Araştırma Makalesi / Research Article

Döner Kanatlı Hava Araçları İçin Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Tasarımının Sonlu Elaman Analizleri ve Deneysel Olarak Doğrulanması

Finite Element Analysis and Experimental Verification of Flight Data Recorder Design for Rotary Wing Aircraft

Barış Kalaycıoğlu[1], Hakan Arslan[2], İlhan Yapar[3]

[1] Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE
[2]Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE
[3] Milli Savunma Bakanlığı, Askeri Fabrikalar Genel Müdürlüğü, ANKARA

***Başvuru/Received**: 16/11/2018* ***Kabul/Accepted**: 14/05/2019* ***Son Versiyon/Final Version**: 30/06/2019*

Özet

Bu çalışmada, helikopterlerde kullanılmak üzere Uçuş Verileri Kayıt Cihazının hafıza modülünün tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiş, uluslararası havacılık standartlarına uyum göstermesi için gerekli testlere tabi tutulmuştur. Tasarım çalışmalarında ANSYS R.16.2 Sonlu Eleman Programı yardımıyla hafıza modülünün dinamik serbest düşme, statik basma ve ısıl geçirgenlik analizleri sayısal olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda ise sayısal olarak bilgisayar ortamında yapılan analizlerin laboratuvar koşullarında testleri gerçekleştirilmiştir. Dinamik serbest düşme testinde alt kısmında çelik bir pim bulunan, 227 kg ağırlığındaki bir aparat 3 m yükseklikten hafıza modülünün üzerine serbest düşürülmüştür. Parça üzerindeki kalıcı şekil değişimi deneysel çalışmada 2.12 mm ölçülmüş, aynı değer sayısal analizde 1.99 mm olarak hesaplanmıştır. Statik basma testinde hafıza modülü hidrolik bir pres yardımıyla 4500 kg lık bir basma kuvvetine maruz bırakılarak sıkıştırılmaya çalışılmıştır. Basma testi için yapılan hem sayısal analiz hem de deneysel çalışmalar sonucunda hafıza modülünde belirgin bir deformasyonun olmadığı, şekil değişiminin elastik bölgede kaldığı görülmüştür. Isıl geçirgenlik testinde, hafıza modülünün üst cidarına 1100^0C sıcaklık 1800 s süresince uygulanmış ve model içerisindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Sayısal çözüm ve deneysel çalışmalar sonucu; hafıza modülü içerisindeki 150^0C dereceye dayanıklı kartın 90^0C sıcaklığa maruz kaldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen Uçuş Verileri Kayıt Cihazına ait hafıza modülünün mekanik ve ısıl analiz sonuçlarının uluslararası havacılık standartları ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler

"Uçuş verileri kayıt cihazı, Dinamik analiz, Statik analiz, Serbest düşme testi, Isıl analiz"

Abstract

In this study, a Flight Data Recorder to be used on helicopters was designed, produced and tested to show compliance to international aviation standards. In design studies, dynamic, static and thermal analyses of flight data recorder were did in the ANSYS R.16.2 Finite Element Program numerically. In the experimental study, the tests of performed analysis in computers were carried out in laboratory. In the dynamic test, an apparatus weighing 227 kg, with a steel pin on the lower surface, was dropped onto the memory module from a height of 3 m. Permanent deformation of the part surface was measured as 2.12 mm in laboratory, similarly the same deformation was calculated as 1.99 mm in computer analysis. In the compression test, the flight data recorder was compressed with a load that is 4500 kg by a hydrostatic press. In both numerical and experimental studies of compression test, the deformation of the flight data recorder is in elastic range of the material since there is no significant deformation in the flight data recorder. In the thermal conductivity test, 1100^0C temperature applied to the upper wall of the flight data recorder for 1800 sec. and thermal distribution of interior of the model was investigated. As a result of the numerically analysis and experimental study, it was observed that the card resists until 150^0C temperature in the memory module was exposed to 90^0C temperature. 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.

Key Words

"Flight data recorder, Dynamic test, Static test, Drop test, Thermal test"

***Sorumlu Yazar: kalay007@hotmail.com; kalaycioglu@kku.edu.tr**

1. Giriş

Uçuştaki kazaların incelenmesi amacıyla, havacılık uygulamalarında Uçuş Verileri Kaydedicisi ve Kokpit Ses Kayıt Cihazı gibi elektronik bileşenler kullanılmaktadır. 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. 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.

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.

Kaza sonrası sağlam kalabilen kayıt cihazı ile ilgili ilk gereksinim 1940 'larda meydana gelen uçak kazaları sonucu ortaya çıkmıştır. Bu durum Sivil Havacılık Kurumunu kaza inceleme amaçlı bir uçuş kayıt cihazının gerekliliği için düzenleme yapmaya zorlamıştır. Ancak II. Dünya savaşı ve uygun cihaz bulunamaması nedeni ile 1957 yılına kadar herhangi bir gelişme olmamıştır. 1957 yılında Sivil Havacılık Otoritesi 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 (ED-112 (2013); Marlon ve arkadaşları, (2006)).

Marlon ve arkadaşları, (2006) Sivil Havacılık Kurumu (CAB) uçuş ekibinin konuşmalarını kaza inceleme amacıyla kaydedilmesini istemesi üzerine Federal Havacılık Dairesi 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. 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.

Karteek ve arkadaşları, (2006) tarafından takviyeli ve takviyesiz izotropik ve kompozit malzemeler kullanılarak şok titreşim yüklerine maruz bırakılan Uçuş Verileri Kayıt Cihazının modellenmesi ve analizi ANSYS R.12 programı kullanılarak yapılmıştır. Analizler sonucunda, mukavemeti muhafaza ederek ağırlığı azaltmak için cihazın birkaç bölümü için karbon epoksi kompozit kullanımı önerilmiştir. Joseph ve arkadaşları, (1994) tarafından füze uçuş testleri için bir uçuş kayıt cihazı geliştirilip, uçuş sırasında serbest düşme testleri yapılmış ve 40,000 G'yi aşan şok darbe yükleri için başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Rana ve arkadaşları, (2015) çalışmalarında uçuş veri kayıt cihazlarının yüksek sıcaklık alevinden termal koruması için materyal seçimi ve boyutların belirlenmesi amacı ile termal tasarımını yapmışlardır. Bu amaçla, metal gövde, ısı yalıtımı ve faz değiştirme malzemesi içeren üç eş merkezli tabaka konfigürasyonu yoluyla geçici ısı iletimini sayısal olarak incelemişlerdir.

Literatürde yer alan ve uçuş kayıt cihazları ile ilgili olmayan çalışmalardan bir kısmında, ambalajlı ve ambalajsız ürünlerin (televizyon, buzdolabı, v.b.) düşme testlerini simüle etmek için sonlu elemanlar analizi (FEA) uygulanmış (Kisielewiz ve arkadaşları, (1993) –Wang ve arkadaşları, (2005)), bir kısmında ise çeşitli malzeme ve ürünlere deneysel serbest düşme testleri uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir (Schwer ve arkadaşları, (2000) – Anderson ve arkadaşları, (2000)). Diğer çalışmalarda ise çeşitli malzeme ve ürünlere hem düşme testleri uygulanmış hem de sonlu elemanlar analizi kullanılarak düşme testi simülasyonları yapılmış ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır (Yeh, (2014) – Yıldırım, (2014). Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

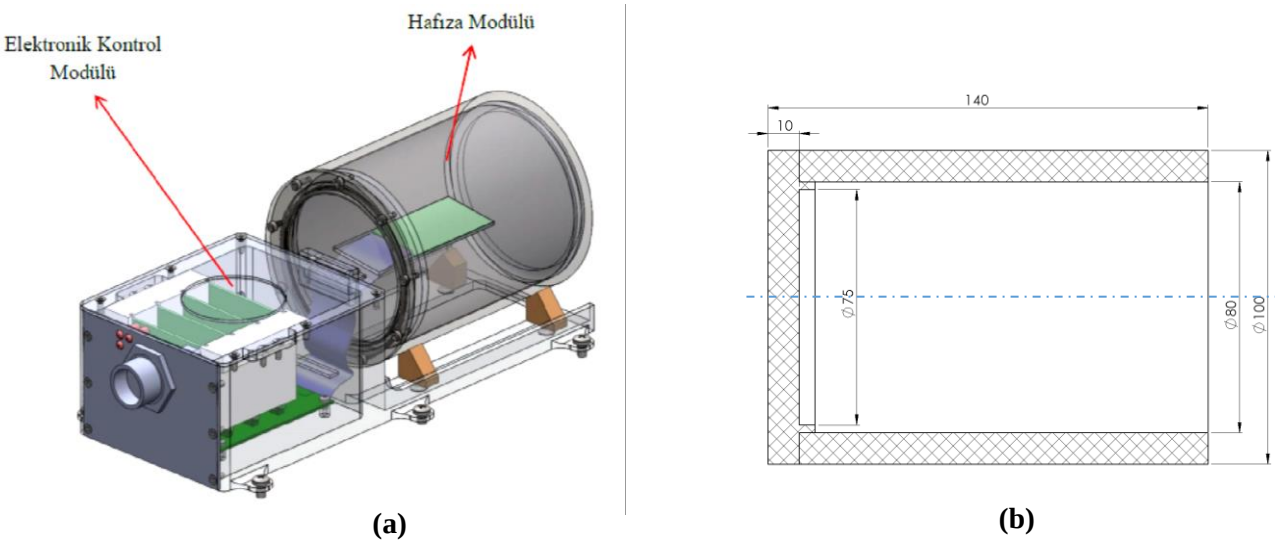
Yeh ve Huang, (2014) çalışmasında, FR-4 test panosu için ANSYS LS-DYNA sonlu eleman yazılımını kullanarak maksimum Gerilme-Gerinim değerlerini ve deneysel düşme testi uygulayarak da maksimum gerinim sonuçlarını elde etmiştir. Deneysel sonuçlarla sonlu eleman analiz sonuçlarını (LS-DYNA gerinim sonuçları) ile karşılaştırdığında uyumlu olduğunu tespit etmiştir. Eren, (2015) yüksek lisans tezinde, iç içe geçmiş farklı uzunluk ve geometrideki ezilme kutularının (tüplerin) deneysel ve sayısal olarak (LS-DYNA/Explicit ve Implicit kullanarak) çarpma sonrası ezilme davranışlarını incelemiştir. Ayyıldız, (2006) yılında yüksek lisans tez çalışmasında, bir buzdolabı için sonlu elemanlar analizi kullanılarak düşme testi simülasyonunu ve deneysel düşme testini gerçekleştirmiş ve deney sonuçlarıyla simülasyondan elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğunu gözlemlemiştir. Yıldırım, (2014) tez çalışmasında, kızak tipi iniş takımına sahip insansız bir hava aracının yere inişi sırasında iniş takımlarının maruz kaldığı yükler, bu yükler neticesinde yapıda oluşan gerilmeler ve deformasyonları deneysel ve sayısal yöntemlerle incelemiştir. Bu incelemeler sonucunda bulunan gerinim, gerilme değerleri karşılaştırıldığında ölçülen en büyük gerilme değeri için % 7.1 hata oranı ile sonlu elemanlar analizleri doğrulanmıştır.

Bu çalışmada; helikopterlerdeki uçuş verilerini ve kokpit seslerini kayıt edecek ED-112 havacılık standardında yer alan gereksinimleri karşılamak için tasarlanan bir Uçuş Verileri Kayıt Cihazının sonlu elaman analizleri ve deneysel testlerle doğrulanması amaçlanmıştır. Modelin sayısal analizleri ANSYS R.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. Prototip tasarım üzerinde yapılan mekanik ve ısıl test sonuçlarının sayısal sonuçlar ve uluslararası havacılık standartları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

2. Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Tasarımı

Uçuş Verileri Kayıt Cihazı Şekil 1.a. 'da görüldüğü gibi iki ana bölümden oluşmaktadır. Birincisi sesi ve veriyi toplayarak kaydedilmeye uygun formata dönüştüren elektronik kontrol birimi, ikincisi kazaya dayanıklı hafıza birimidir. Elektrik Kontrol Modülü: Girişler, üzerinde 4 Adet A-429 Veri Kanalı ve 1 Adet Ses Kanalı bulunan konnektörle, çıkışlar, üzerinde ses ve uçuş verisi aktarımı için 2 adet çıkış bulunan konnektör ile sağlanmaktadır. Hafıza Modülü; Elektronik Kontrol Modülü Yazılımı, Verilerin toplanması, hafıza modülüne kaydedilmesi ve kaydedilen verilerin bilgisayara aktarılması için gömülü olarak geliştirilmiştir. Modülde 512 MB Ses ve 512 MB Uçuş Verisi kaydedilmektedir.



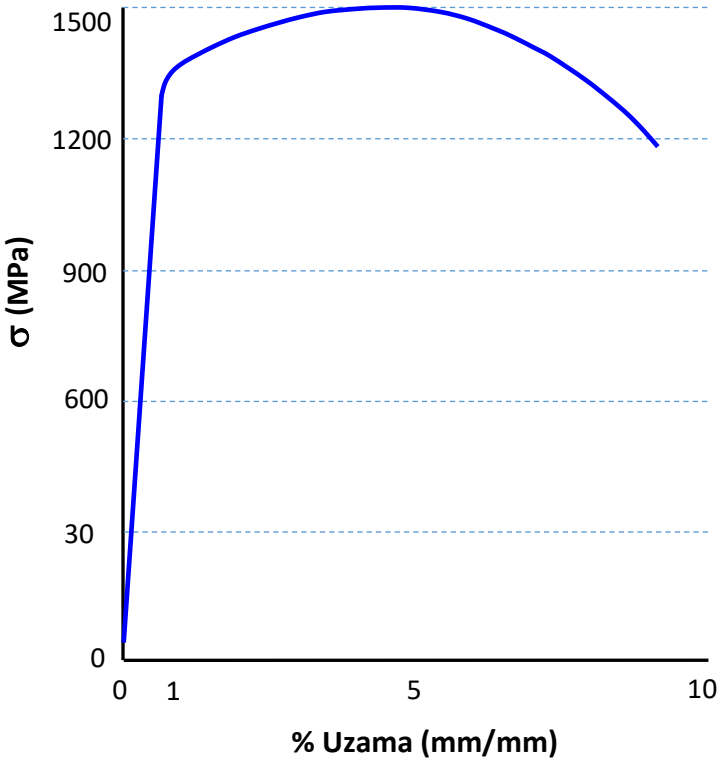
Şekil 1 a. Uçuş verileri kayıt cihazının genel modeli, **b.** Kesit görünüşü ve boyutları

2.1. Hafıza Modülünün Boyutları ve Malzeme Özellikleri

Uçuş Verileri Kayıt Cihazının Veri Toplama Elektrik Kontrol Modülü, Alüminyum 2024 T6 malzemeden üretilmiştir. Hafıza modülü ısıl işlem görmüş 34CrNiMo4 / (4340) çelik malzemeden üretilmiş olup, kaza kırımlarında hafıza biriminin kurtarılması gerekmektedir. Şekil 1.b.'de Hafıza modülünün boyutları verilmiştir. Hafıza modülünün üretiminde kullanılan ısıl işlem görmüş 34CrNiMo4 / (4340) çeliğine ait mekanik özellikler Tablo 1 'de ve çekme deneyi grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. 34CrNiMo4 / (4340) çelik malzemesinin mekanik özellikleri

Çekme Numunesi;	**Kesit alanı:** 78.5 mm^2		**Çekme uzunluğu:** 50 mm	
Elastisite Modülü	**Akma Muk. Müh / Gerçek**	**Çekme Muk. Müh / Gerçek**	**Uzama**	**Isıl işlem Sıcaklığı**
210 Gpa	1320 MPa /1333 Mpa	1452 MPa / 1533 MPa	% 9.63	420^0C

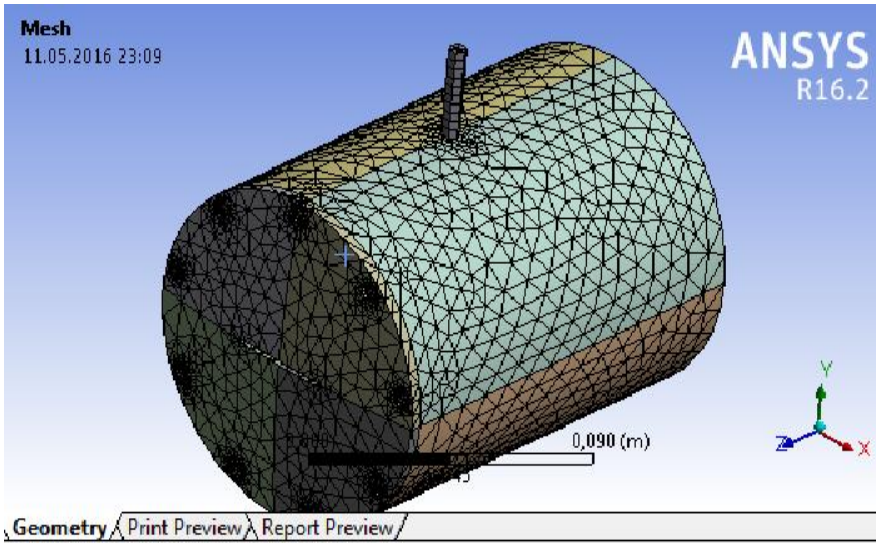


Şekil 2. Isıl işlem görmüş 34CrNiMo4 / (4340) çelik malzemesinin çekme deneyi eğrisi

2.2. Sayısal Çalışmalar

2.2.1. Serbest Düşme Testi için Sayısal Çözüm

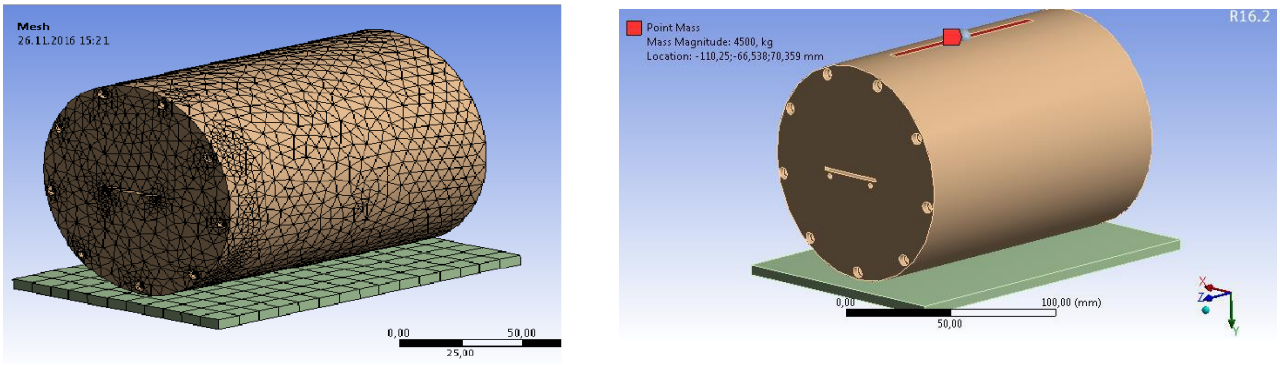
Modelin analizine başlamadan önce ED-112 standardı gereksinimleri dikkate alınarak Solidworks programında hafıza modülü silindirik olarak tasarlanmış ve model ANSYS R.16.2 Sonlu Eleman Programına aktarılmıştır. Programda malzeme modeli bilinear isotropic hardening olarak seçilmiş, başlangıç ve sınır şartları girilerek zamana bağlı analize tabii tutulmuştur. Analizde alt kısmına pim monte edilmiş, 227 kg ağırlığındaki aparat 3 m yükseklikten düşürülmeyip, aynı etkiyi yapacak şekilde 227 kg lık bir pim silindirik hafıza modülüne Şekil 3 'te gösterildiği gibi bitişik olarak modellenmiştir. Serbest düşme formülünden pim hızı 7.652 m/s olarak hesaplanmış ve programda sınır koşul olarak tanımlanmıştır. Sonlu eleman modelinde silindirde pimle birlikte toplam 10767 düğüm noktası ve 40355 eleman sayısı elde edilmiş ve ekran görüntüsü Şekil 3 'te verilmiştir.



Şekil 3. Modelin Ağ Örgüsü

2.2.2. Statik Basma Testi için Sayısal Çözüm

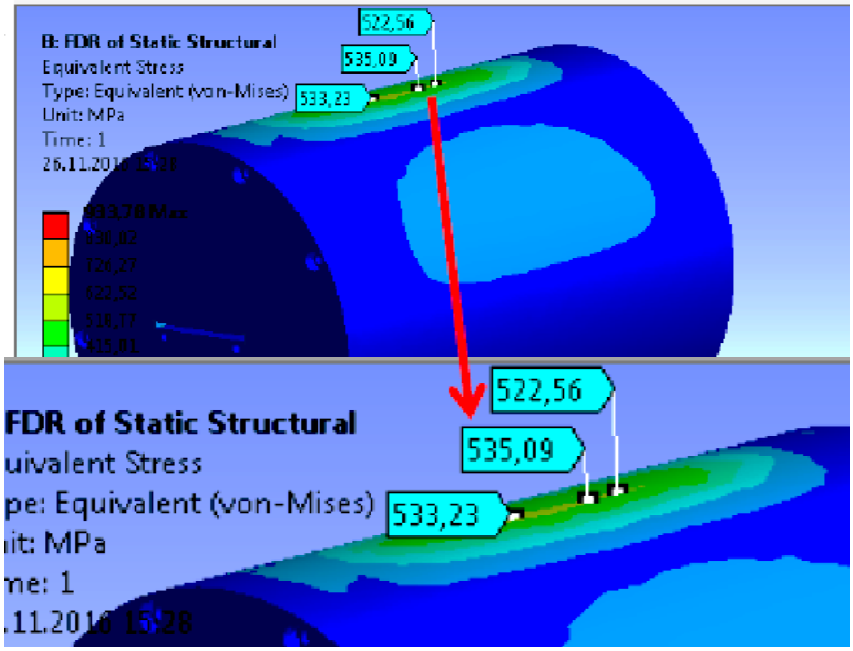
Statik basma testi ANSYS Sonlu Eleman Programı kullanılarak sayısal olarak gerçekleştirilmiş ve oluşan deformasyonlar gözlemlenmiştir. Standartlara uygun olarak Şekil 4 'te görüldüğü üzere rijit bir tablanın üzerine yerleştirilen silindirik modele üst kısmından bir başka rijit düzlemsel eleman yardımıyla 4.5 ton luk statik bir basma yükü uygulanmıştır. Sonlu eleman modelinde silindir ve tabla ile birlikte toplam 279223 düğüm noktası ve 194834 eleman sayısı elde edilmiş ve ekran görüntüsü Şekil 4 'te verilmiştir.



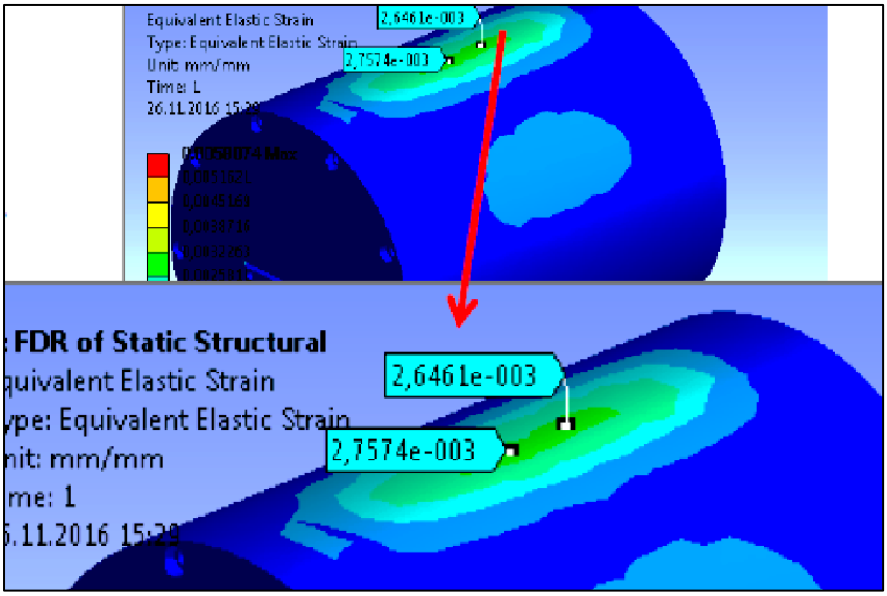
(a) **(b)**

Şekil 4. Silindirik Malzemenin (a) Ağ Örgüsü (b) Modele Yükün Uygulanması

Sayısal çözüm tamamlandığında, Şekil 5 'te görüldüğü gibi parçada maksimum Von Mises efektif gerçek gerilme değerinin 535 MPa olduğu görülmüştür. Ayrıca silindirin üst yüzeyindeki maksimum efektif şekil değiştirme değerinin 0.002757 mm olduğu (Şekil 6) ve bu değerin malzemenin elastik bölgesi içerisinde kalmasından dolayı parçada kalıcı şekil değişiminin olmayacağı anlaşılmıştır.



Şekil 5. Analiz Sonucu Elde Edilen Gerilme Değerleri



Şekil 6. Analiz Sonucu Elde Edilen Şekil Değiştirme Değerleri

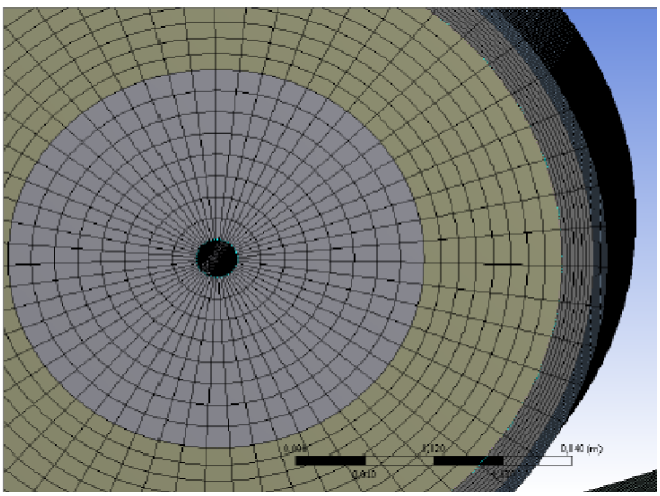
2.3. Yüksek Sıcaklık Testi için Sayısal Çözüm

Yüksek sıcaklık testi ANSYS sonlu eleman programı kullanılarak sabit yüzey sıcaklığı sınır şartı verilerek termal iletkenlik çözümlemesi ile gerçekleştirilmiş ve hafıza modülüne ait silindirik modelin katmanları boyunca sıcaklık değişimi incelenmiştir. Modelde silindir için çelik malzeme, üst katman olarak termal boya malzemesi ve iç eleman olarak cam elyaf malzeme seçilmiş ve sonlu eleman ısıl analizi için Tablo 2 'de verilmiş olan boyanın, yapı çeliği ve cam elyaf için termal malzeme özellikleri girilmiştir. Verilen özellikler ANSYS programının malzeme kütüphanesinden alınmıştır.

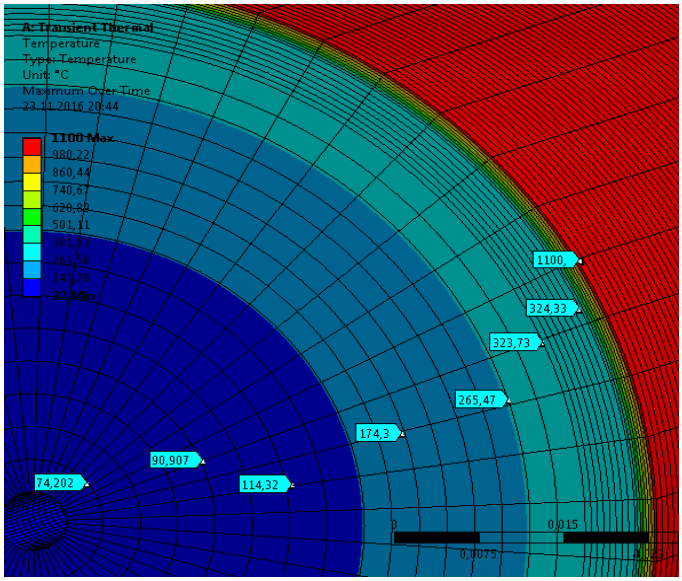
Tablo 2. Termal boya, yapı çeliği ve cam elyaf için termal malzeme özellikleri

	Yoğunluk kg/m^3	**Isı İletim Katsayısı W/mK**	**Özgül Isı J/kgK**
Termal Boya Malzemesi	1260	0.01	5000
34CrNiMo4 / (4340) Çelik Malzemesi	7850	60.1	434
Cam Elyaf Malzemesi	35	0.046	5000

Isıl analizde silindir üzerindeki boya yüzeyine uygulanacak sıcaklık değeri 1100^{0}C olarak girilmiş ve son işlem zamanı 1800 saniye girilerek zamana bağlı ısıl analiz gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modelinde toplam 459858 düğüm noktası ve 110454 eleman sayısı elde edilmiş ve ekran görüntüsü Şekil 7 'de verilmiştir.



Şekil 7. Termal Analiz için Modelin Ağ Örgüsü



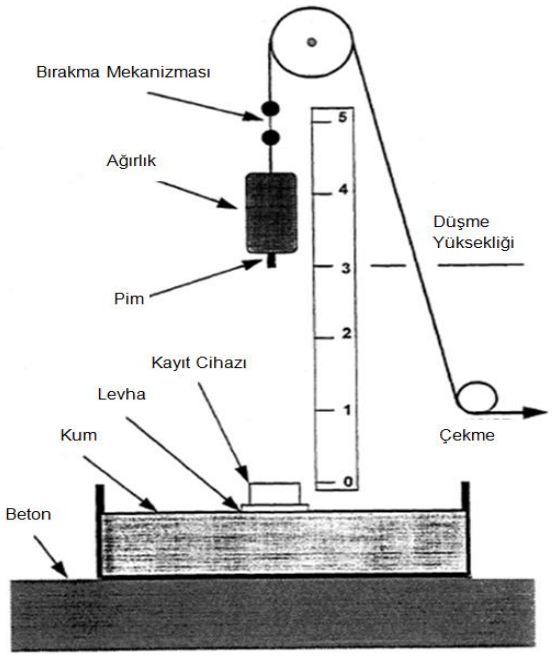
Şekil 8. Analiz Sonucu Bulunan Silindirdeki Sıcaklık Dağılımı

Yapılan zamana bağlı ısıl analiz sonucunda Şekil 8 'de gösterildiği gibi çok katmanlı silindirik modelin boyalı dış yüzeyinin sıcaklığı 1100^0C, boyanın alt yüzeyi ve çelik malzemenin üst yüzeyinin sıcaklığı 324.33^0C ve çelik malzemenin alt yüzeyi ise yine çelik malzemenin üst yüzeyine yakın bir sıcaklık değerinde 323.73^0C bulunmuştur. Katmanlı silindirik modelin cam elyaf kısmında sıcaklık değişiminin, üst yüzeyde 323.73^0C den merkeze en yakın iç yüzeyine 74^0C ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

3. Deneysel Çalışmalar

3.1. Serbest Düşme Testi

Uçuş Verileri Kayıt Cihazı tasarımı aşamasında yapılması gerekli Serbest Düşme Testi için standarda uygun test düzeneği Şekil 9 'da verilmiştir.



Şekil 9. Serbest Düşme Test Düzeneği ED-112

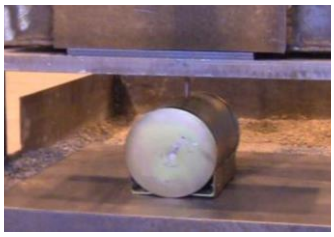
Şekil 10 'da gösterilen serbest düşme test düzeneği yardımıyla alt kısmında çelik pim bulunan, 227 kg ağırlığındaki bir aparat 3 m yükseklikten ilk önce düşey konumda ki hafıza modülünün dairesel bombeli yan yüzeyine daha sonra yatay konumda silindirik yüzeyine serbest düşürülmüştür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 10. (a) Serbest Düşme Test Düzeneği, (b) Delme Pimi,
(c) Test Edilecek Numune

Hafıza modülü düşey konumda iken yapılan test sonucunda dairesel bombeli yan yüzeyde yaklaşık 1.5 mm kadar çökme olduğu ölçülmüştür. Yapılan testte pimin hafıza birimini muhafaza eden yapıya nüfuz edemediği, hatta pimin kendisinin kırıldığı görülmüştür. Serbest düşme testi hafıza modülünün yatay pozisyondaki konumu için tekrar edilmiştir. Numunenin yatay konumdaki pozisyonu için yapılan test sonucunda numunenin silindirik yüzeyinde oluşan deformasyon 2.12 mm ölçülmüş ve yine Şekil 11 'de görüldüğü üzere delici pimin numune içine nüfuz etmediği gözlenmiştir. ED-112 standardı serbest düşme testi uygulanacak malzemenin en zayıf yüzeyine ağırlığın düşürülmesi gerektiğini öngörmektedir. Bununla beraber ED-112 test standardı serbest düşme testi sonrası ağırlık ucundaki pimin hafıza birimini muhafaza eden yapıya nüfuz etmiş olsa dahi, hafıza birimine zarar vermemesi gerektiğini söylemektedir. Deneysel çalışma sonrasında düşürme testi sonrasında elde edilen sonuç hafız modülünün ED-112 test standardını karşıladığını göstermiştir.



Şekil 11. Düşey ve yatay konumda yapılan test sonucunda deforme olmuş numune

3.2. Statik Basınç Testi

Silindir gövdeli hafıza modülüne ED-112 standardına göre en az 22.25 kN değerinde statik basma kuvvetinin uygulanması gerekmektedir. Statik basma deneyi sonucunda ilgili standarda göre hafıza modülünün herhangi bir plastik deformasyona uğramaması istenmektedir. Yapılan çalışmada hidrolik pres yardımı ile gerçekleştirilen statik basınç testinde ise numuneye bu değerin 2 katı büyüklüğünde (45 kN değerinde) bir kuvvet uygulanmış ve bu test dört defa tekrarlanmıştır. Dört tekrarın ikisi hafıza modülü yatay konumda iken, diğer ikisi ise hafıza modülü dikey konumda iken gerçekleştirilmiştir. Test düzeneği (yatay konum) Şekil 12 'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Statik Basınç Testi Düzeneği (Yatay Konum)

Dikey konumda ki hafıza modülüne beş dakika süre ile iki ayrı statik basma test yapılmıştır. Test düzeneği (Dikey Konum) Şekil 13 'te gösterilmiştir.

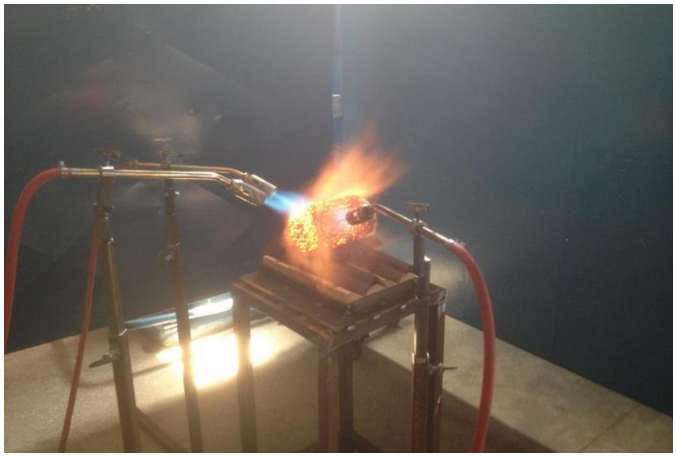


Şekil 13. Statik Basınç Testi Düzeneği (Dikey Konum)

Dört defa tekrarlanan statik basınç testleri sonucunda silindirik malzeme üzerinde herhangi bir deformasyon olmadığı gözlenmiştir.

3.2. Yüksek Sıcaklık Testi

Yüksek sıcaklık testi için uçuş kayıt cihazına ait hafıza modülünün dış yüzeyi 950^0C - 1100^0C sıcaklıkta 30 dakika sürekli olarak ısıtılmıştır. Oluşturulan test standı ve ısıtma anı Şekil 14 'te gösterilmiştir. Dış sıcaklık değerleri kalibreli termometre ve termal kamera ile kontrol edilmiş, iç sıcaklık ise termal kartlarla kayıt altına alınmıştır. Hafıza modülü ısı yalıtımı amacıyla özel bir termal boya ile kaplanmıştır. Termal boya, yanma esnasında şişerek ısının malzeme içine nüfuz etmesini engellemektedir. Şekil 15 'te malzeme üzerinde şişen boya görülmektedir.



Şekil 14. Numuneyi 1100^0C de 30 Dakika Isıtma işlemi



Şekil 15. Hafıza Modülünün Isı Sırasında Şişen Boya İle Kaplanması

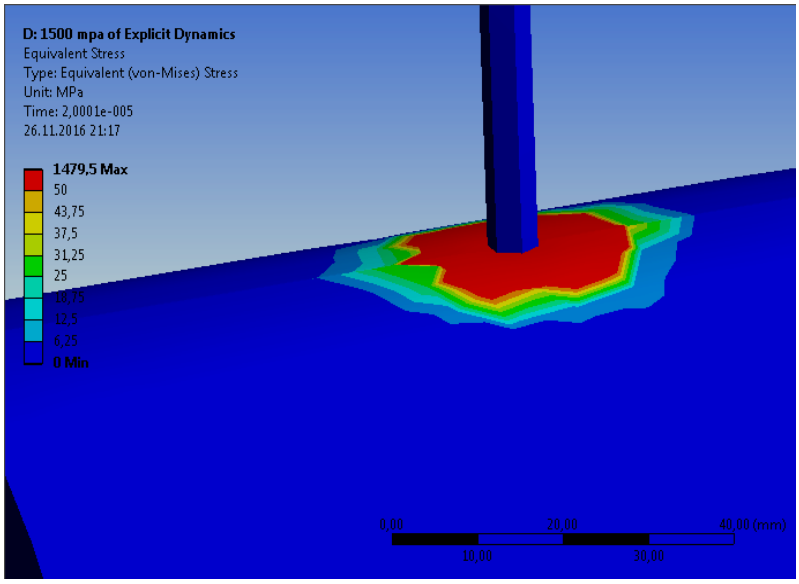
Test sırasında hafıza birimini sembolize eden termal kart kullanılmıştır. Bu malzeme üzerinde ısı bandı sensörleri olduğundan test boyunca sıcaklık artışı ölçümü yapılabilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışmalar

4.1. Serbest Düşme Testi

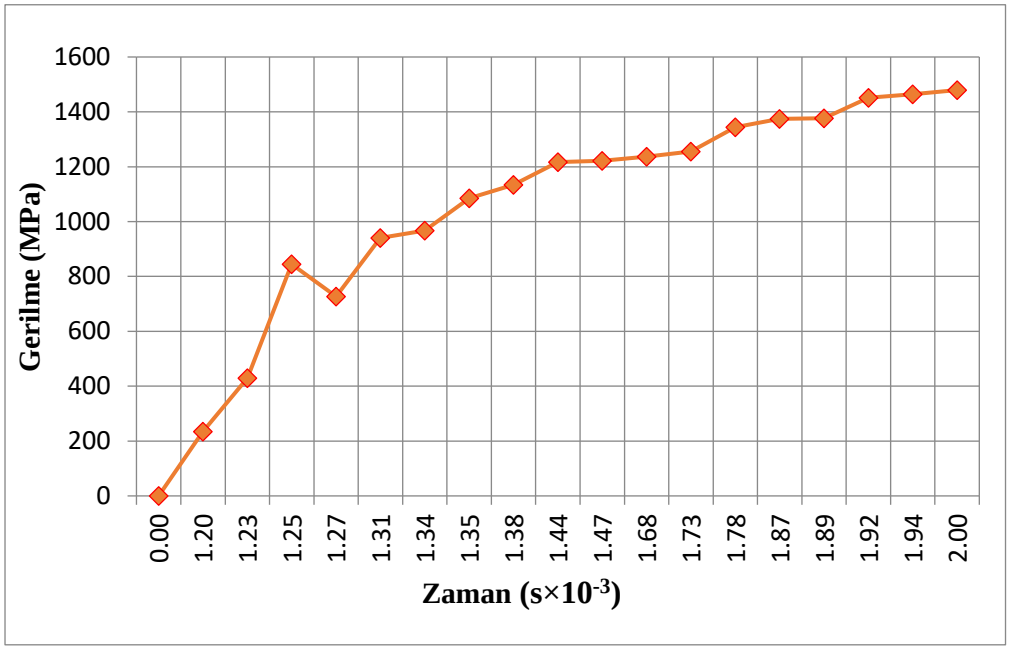
ED-112 standardı serbest düşme testi uygulanacak malzemenin en zayıf yüzeyine ağırlığın düşürülmesi gerektiğini öngördüğünden dolayı deneysel sonuçlar irdelenmiş ve hafıza modülünün en zayıf bölgesi dikkate alınarak düşürme testinin sayısal analizi sadece silindirik bölge için gerçekleştirilmiştir.

Malzemenin serbest düşme testine yönelik yapılan sayısal analizinde Şekil 16 'da görüldüğü gibi maksimum eşdeğer gerçek gerilme değeri 1479 MPa olup, bu değerin malzemenin gerçek akma dayanım değeri olan 1333 MPa 'ın üzerinde ancak gerçek çekme dayanım değeri olan 1524 MPa 'ın altında kaldığı görülmüştür. Bu sonuç malzemede serbest düşme testine yönelik yapılan sayısal analiz sonucunda çelik hafıza modülünün plastik deformasyona uğradığı ancak herhangi bir delinmenin ve yırtılmanın oluşmayacağı anlamına gelmektedir.



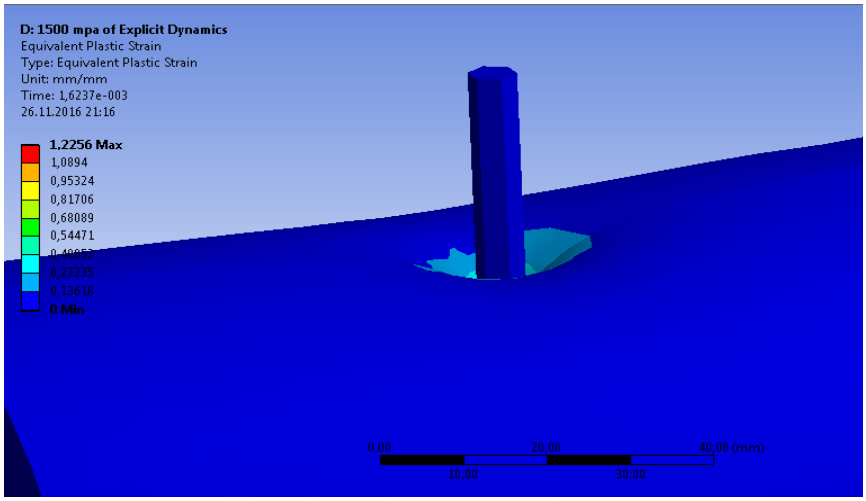
Şekil 16. ANSYS'te Eşdeğer Gerilmenin Bulunması

Analizde pimin silindire çarpma süresi 2 milisaniye olarak alınmış ve bu sürede silindir malzeme için elde edilen eşdeğer Gerilme grafiği Şekil 17 ’de gösterilmiştir.



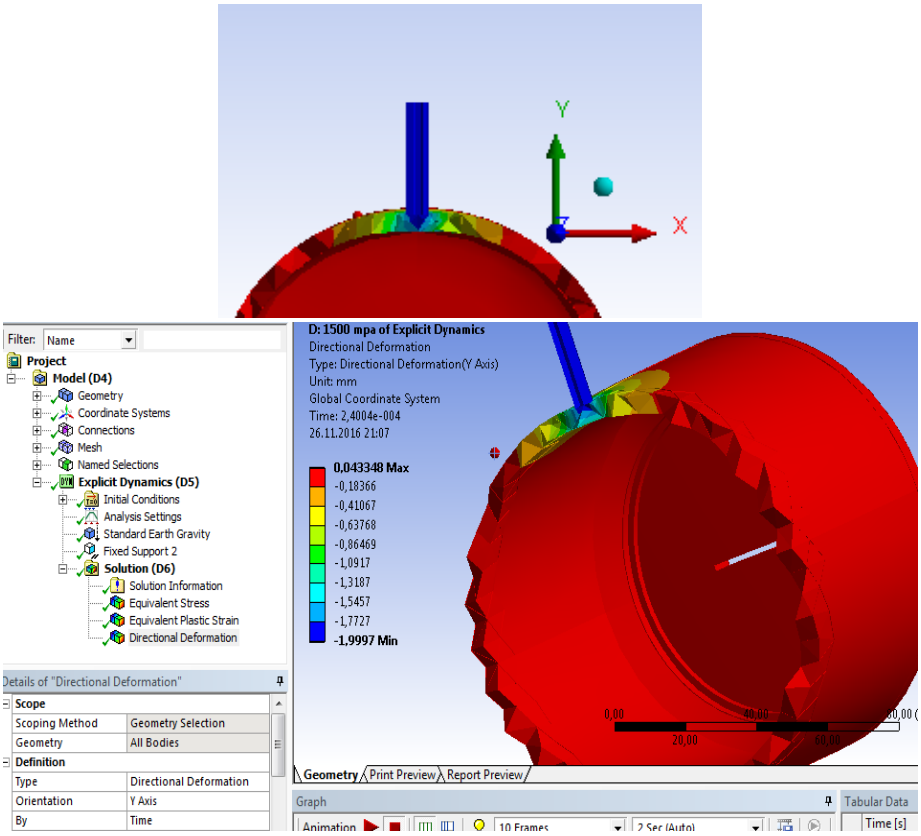
Şekil 17. Eşdeğer Gerilme Grafiği

Parça üzerinde kalıcı deformasyon olup olmadığına bakıldığında; modelde 1.225 mm/mm mertebesinde plastik birim şekil değiştirme görülmektedir. Şekil 18 ’de elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde, silindir yüzeyinde plastik deformasyonun oluştuğu ancak pimin silindiri delmediğini görülmektedir.



Şekil 18. Eşdeğer Plastik Birim Şekil Değiştirme

Şekil 19 ’da görüldüğü üzere serbest düşme analizi sonucunda silindir üzerinden pim ekseni (*y* ekseni) boyunca oluşan deformasyon (çökme) yaklaşık 2 mm olarak bulunmuştur.

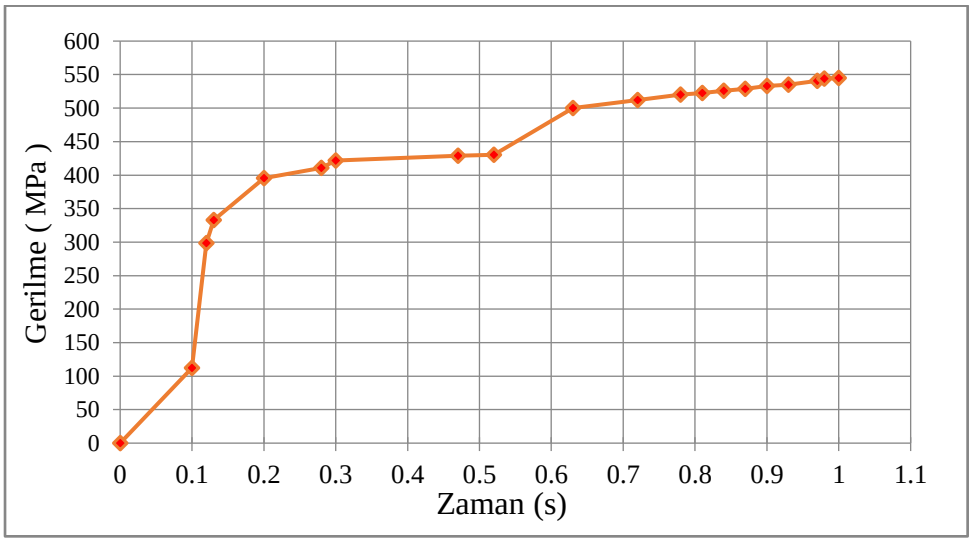


Şekil 19. *y* Eksenindeki Çökme

Deneysel çalışmalar sonucu 3 m yüksekliğinden (imal edilen kuleden) bırakılan altı çelik pimli ağırlık, model üzerine düşürülmüş ve y ekseninde 2.12 mm lik kalıcı şekil değişikliği meydana gelmiş ancak malzeme delinmemiştir. Yapılan sayısal ve deneysel çalışmalar karşılaştırıldığında, bulunan deformasyon değerleri açısından % 90 civarında bir doğruluk sağlanmıştır.

4.2. Statik Basınç Testi

Statik basma testi sayısal analizde, model üzerine 4.5 ton yük uygulanmış ve oluşan deformasyon izlenmiştir. Analiz sonucu elde edilen Statik Basma Gerilme-Zaman grafiği Şekil 20 ’de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde 4.5 tonluk yük altında maksimum gerçek gerilme değeri 540 MPa civarı çıktığı görülmektedir. Malzemenin gerçek akma dayanım değeri olan 1333 MPa olduğu değerlendirildiğinde, statik yük altındaki deformasyon elastik bölgede kalmış olup, malzemede kalıcı şekil değişikliği meydana gelmemiştir. Sayısal olarak yapılan basma testi analizi sonucunda elde edilen elastik şekil değiştirme statik basma deneyi ile elde edilen sonuçlarla uyum göstermiştir.



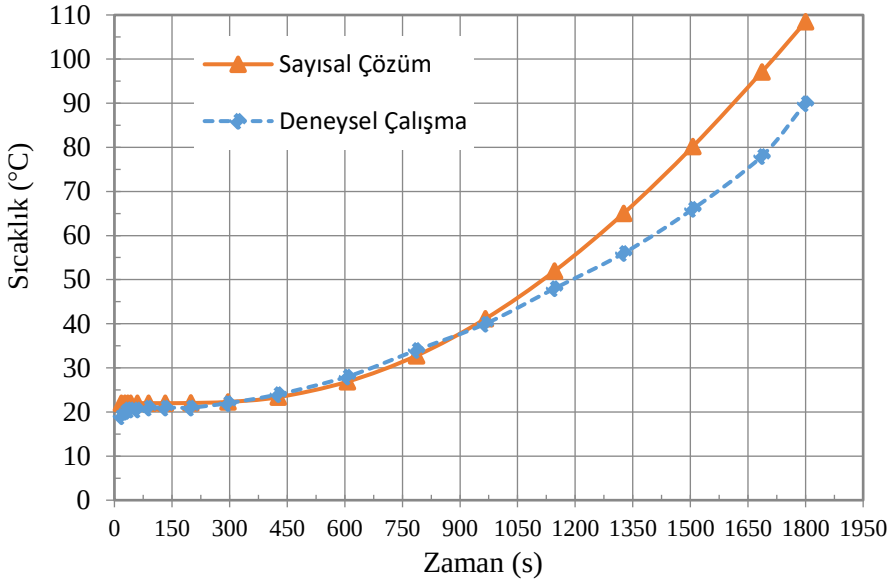
Şekil 20. Sayısal Analiz sonucu elde edilen Statik Basma Gerilme-Zaman Grafiği

Deneysel testlerde 4.5 ton yüke ayarlanmış hidrolik preste model üzerine hem yatay hem de düşey konumda yük uygulanmış ve herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir.

4.3. Sıcaklık Testi

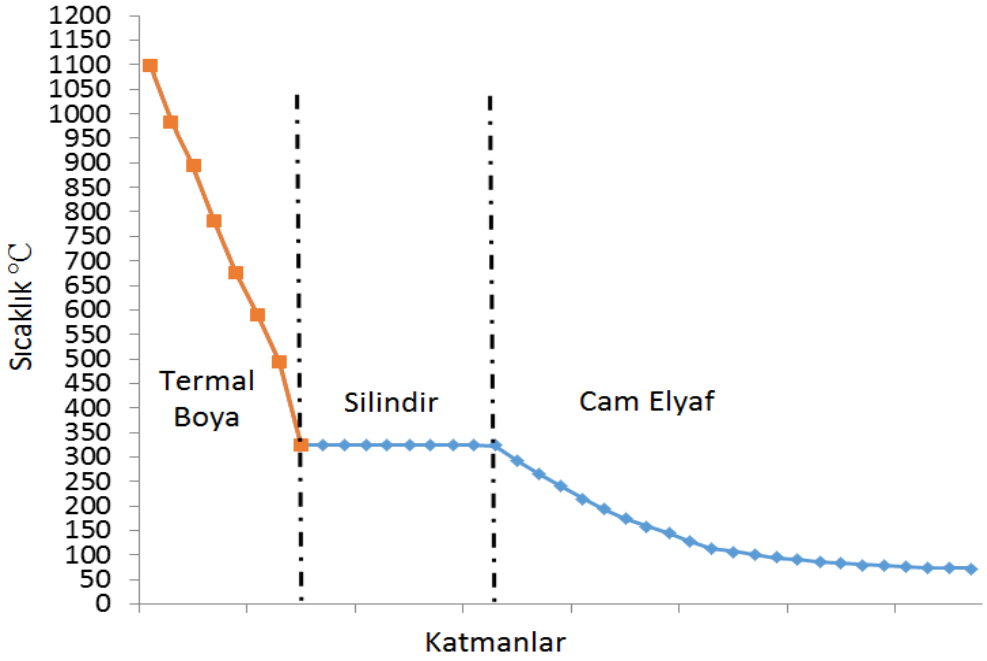
Yüksek sıcaklık testinde, model 950^{0}C-1100^{0}C sıcaklıkta 30 dakika sürekli olarak ısıtılmış ve deney sonucu elde edilen sıcaklık değişim grafiği Şekil 21'de gösterilmiştir. Deneysel testlerde hazırlanan düzenek ile üç adet pürmüz kullanılarak, model dış sıcaklığı 1100^{0}C derecede tutulmuş ve 800^{0}C-1300^{0}C skalalı termometre ve termal kamera ile bu sıcaklığın 30 dakika korunması kontrol altına alınarak sağlanmıştır. Test sonucu model içine konulan termal kartlardan iç sıcaklığın maksimum 90^{0}C olduğu görülmüştür.

ANSYS programı kısa süreli Isıl Analiz modülü ile yapılan sayısal çözüm sonucunda, 1800 saniye sonunda hafıza modülü kartının olduğu bölümde Şekil 21 'de görüldüğü üzere sıcaklık 110^{0}C derece olarak elde edilmiştir. İlk 400 saniye boyunca sıcaklık üst katman boya ve cam elyaf tarafından 20^{0}C ile 30^{0}C arasında korunurken daha sonra hafıza modülü bölümünde sıcaklık artışı gözlemlenmektedir.



Şekil 21. Yüksek Sıcaklık Testi Sıcaklık-Zaman Grafiği

Katmanlara göre sıcaklık dağılımını incelemek üzere Şekil 22 'de gösterilen grafik çizdirilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi; üst katman olan termal boya, 1100^{0}C sıcaklıktan 324^{0}C sıcaklığa kadar yalıtım sağlamakta, çelik malzemeden üretilen silindir, neredeyse tamamen ısıyı iletmekte ve cam elyaf malzeme de 323^{0}C olan sıcaklığın 70^{0}C sıcaklığa kadar düşürmektedir. 150^{0}C'ye kadar dayanımı olan iç taraftaki kart ve entegrelerin analiz sonucu alınan 74^{0}C ile 114^{0}C sıcaklıklardan etkilenmeyeceği görülmüştür.



Şekil 22. Katmanlardaki Sıcaklık Dağılımı

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, helikopterlerde kullanılmak üzere tasarım ve üretimi gerçekleştirilen Uçuş Verileri Kayıt Cihazı hafıza modülünün uluslararası havacılık standartlarına uyum gösterip göstermediğini tespit etmek için gerekli testleri yapılmıştır. Tasarım çalışmalarında ANSYS Sonlu Eleman Programı yardımıyla hafıza modülünün dinamik serbest düşme, statik basma ve ısıl geçirgenlik analizleri sayısal olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ise laboratuvar koşullarında standartlara uygun testler şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Serbest düşme testi için yapılan deneysel çalışmada parça üzerindeki kalıcı şekil değişiminin 2.12 mm, yapılan sayısal çalışma sonucunda kalıcı şekil değişimünün 1.99 mm çıktığı gözlemlenmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçlar arasında ki yaklaşık % 6 lık sapma değeri dikkate alındığında sayısal çalışmada kabul edilen sınır şartlarının gerçeğe yakın seçildiği düşünülmektedir. Bununla beraber deneysel çalışma sonucunda parça üzerinde herhangi bir delinmenin meydana gelmemesi, ED-112 standardında istenen serbest düşme deneyi sonrası yüzeyde herhangi bir delinmenin meydana gelmemesi şartını sağlamaktadır.

Statik Basma testi için yine hem sayısal ve hem de deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada statik 4500 kg'lık yük silindire radyal ve eksenel yönde uygulanmış ve silindirde kalıcı şekil değişimi meydana gelmediği görülmüştür. Sayısal çözümde ANSYS programı Statik Yapısal modülü kullanılmış ve analiz sonucunda modül üzerinde gerçek gerilme değeri 535 MPa olarak hesaplanmıştır. Silindir imalatından kullanılan malzemenin gerçek akma dayanım değerinin yaklaşık 1333 MPa olup, uygulanan yükün malzemenin akma değerini geçmediği, elastik bölgede kaldığı ve yaklaşık 2.5 emniyet katsayısına sahip olduğu görülmüştür.

Isı iletim testi için silindirin dış yüzeyinin 1100^0C olduğu durumda, 1800 saniye sonra silindirin eksen sıcaklığının hafıza kartına zarar vermeyecek derecede olması istenmektedir. Son olarak Yüksek Sıcaklık testi için sayısal ve deneysel çalışma yapılmıştır. Numune silindir yüzeyi 1100^0C ısıtılmış, zamana bağlı olarak silindir içindeki sıcaklık termal elemanlar ile ölçülmüş ve 1800 saniyede silindirin iç sıcaklığının 90^0C' yi geçmediği görülmüştür. Sayısal hesaplamalarda ANSYS programı Termal Analiz modülü kullanılmış ve analiz sonucunda silindirin 1100^0C dış yüzey sıcaklığının 1800 saniye sonrasında model içinde sıcaklık dağılımının 74^0C ile 90^0C arasında olduğu görülmüştür. Yapılan sayısal ve deneysel çalışmaların sonucunda alınan veriler % 89 doğrulukta olduğundan, analiz ve deneysel testler olumlu olarak değerlendirilmiştir.

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

Referanslar

Anderson T. & Madenci, E. (2000). Experimental investigation of low-velocity impact characteristics of sandwich composites. *Composites Structure, 50(3),* 239–247.

Ayyıldız, A. (2006). Buzdolabı Düşürme Testinin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Nonlinear Analizi ve Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Eren, Z. (2015). Eksenel Darbe Yükü Uygulanan İç İçe Tüplerin Çarpışma ve Ezilme Davranışının Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EUROCAE(ED-112) Standards. (2003). Minimum operational performance specification for crash protected airborne recorder systems.

Fasanella, E. L. & Jackson, K. E. (2002). Best Practices for crash modeling and simulation. *Technical Report NASA/TM-2002-211944*, Langley Research Center, Hampton.

Grossi, R. D. (2006). Aviation Recorder Overview. *Journal of Accident Investigation, 2(1),* 31-42.

Hill-Lindsay, J. W. & Yuen, J. T. (1994). Ultra-High Impact Resistant Digital Data Recorder for Missile Flight Testing, *IEEE Transactions On Components, Packaging and Manufacturing Technology-Part A, 17(3),* 398 – 403. doi:10.1109/95.311749

Hsu, H. & Hsian, B. (2004). Applications of LS-DYNA in electronic products. *7th International LS-DYNA Users Conference*, South Michigan, USA.

Jackson, K. E. & Fasanella, E. L. (2004). Development of an LS-DYNA model of an atr42-300 aircraft for crash simulation. 8*th International LS-DYNA Users Conference*, Dearborn, Michigan, May 2-4.

Kim, H., Lee, J. & Park, S. (1997). Application of drop-impact simulation for package cushioning material reduction. *PUCA'97*, 1997, 299–303.

Kim, S. & Cho, W. (1995). Simulation of the drop test of a packaged refrigerator. *Reliability Stress Analysis and Failure* Prevention, 87, 109–116.

Kisielewiz, L.T., Ando, K. & Endo, M. (1993). Numerical simulation of laptop computer drop tests. *Engineering Systems International of Asia, 111–119*.

Leijten, J., Harald, E., Bersee, N., Bergsma, K. O. & Beukers, A. (2009). Experimental study of the low-velocity impact behaviour of primary sandwich structures in aircraft. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40(2),* 164-175. doi:10.1016/j.compositesa.2008.10.019

Low, K. H., Yang, A., Hoon, K. H., Zhang, X., Lim, J. K. T., Lim, K. L. (2001). Initial study on the drop-impact behavior of mini Hi-Fi audio products. *Advances in Engineering Software 32*, 683-693. doi:10.1016/S0965-9978(01)00024-2

Lu, C., Li, J., Tse, Y. C. & Wang, Y. Y. (2001). Drop-test simulations for electronic devices with packaging materials. *Joint NCHC-IHPC Seminar*, Taiwan.

Nagaraj, B. (1997). Drop impact simulation of a custom pager product. *Advanced Electronic Packaging 1(1997),* 539–547.

Navuria, K., Prakasha, D., Mania, P. B., Kumar, A. E. (2017). Shock Response Analysis of Mechanical Hardware of Flight Data Recorder. *Proceedings, 4(8),* 8000-8009. doi:10.1016/j.matpr.2017.07.137

Niemer, C. R. (2000). ANSYS Users Meeting, Whirlpool Corp., Evansville In, FİGES.

Rana, R. A. & Li, R. (2015). Thermal protection from a finite period of heat exposure–Heat survival of flight data recorders. *Applied Thermal Engineering, 75(22),* 748-755. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.09.077

Schwer, L. E., & Kennedy, J. M. (2000). A Validation case study: Steel billet drop tests and simulations as reported in NUREG/CR-6608. *6th International LS-DYNA Conference*, Dearborn, Michigan, April 9-11.

Wang, Y. Y., Liu, G.R., Lam, K. Y. & Hua, L. (1998). Numerical simulation of consumer products drop. *Proceedings of the High Performance Computing Conference (HPC'ASIA)*, (pp. 181-185).

Wang, Y. Y., Lin, T. Y. & Hua, L. (2003). Drop-impact simulation and experimental verification for spindle fixation of video and audio module (VAM). *Mechatronics 13 (5),* 427–440. doi:10.1016/S0957-4158(01)00080-0

Wang, Y. Y., Lu, C., Li, J., Tan, X. M. & Tse, Y.C. (2005). Simulation of drop ımpact reliability for electronic devices. *Finite Elements in Analysis and Design, 41*, 667-680. doi:10.1016/j.finel.2004.09.001

Tsuruta, G. M. L. (2008). The analysis of flight operational quality assurance (Foqa) Data: Exploration of a proposed list of ımproved safety parameters, Master's Thesis, Embry-Riddle Aeronautical University Daytona Beach, Florida, USA.

Yeh, M. K. & Huang, T. H. (2014). Drop test and finite element analysis of test board. *Procedia Engineering 79(2014)*, 238–243. doi: 10.1016/j.proeng.2014.06.337

Yıldırım, O. (2014). İnsansız Model Helikopterlerin İniş Takımlarının Düşme Testlerinin Deneysel ve Sayısal Analizleri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

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