



## BİR YOLCU UÇAĞI KOLTUĞUNUN DİNAMİK DÜŞÜRME ANALİZİ

Gökay Simitçioğlu ve Vedat Z. Doğan  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

### ABSTRACT

The Federal Aviation Administration (FAA) has standards and regulations so as to protect aircraft passengers against some dangerous landing or crash. Further than these regulations, the FAA performs some tests and simulations in order to provide the basis for them. Aircraft seat drop test is examined in this point of view. In this study, the aircraft passenger seat strength and occupant safety are carried out on the basis of the conditions of the FAA conducted tests and verifications. In these tests, occupants and seat fall freely 1 and 2 meters. To extend the investigation, this paper aims the modern economical seat configurations with the higher passenger safety. Hence, a finite element explicit code, LS - DYNA, is used in order to simulate the scenarios. 50<sup>th</sup> percentile Hybrid III Anthropomorphic Test Dummy (ATD) was chosen to represent a human body. This paper also investigates the seat cushion layer effects on occupants safety. As related to passenger safety, Head Injury Criterion (HIC) is significant signs. Furthermore, forces to act in lumbar and then acceleration to act in pelvis and torso of ATD are shown in this paper. Some representations about the material strength of seat are included as solutions.

### ÖZET

Uçak yolcularını tehlikeli iniş durumlarından veya kazalardan korumak amacıyla ABD Federal Havacılık Kurulu'nun (FAA) yayınlamış olduğu bazı standartlar ve kurallar bulunmaktadır. Bu standartların dışında FAA sıklıkla bu kurallara temel oluşturması bakımından bazı testler ve simülasyonlar da gerçekleştirmektedir. Uçak yolcu koltukları için yapılan düşürme testleri de bu düşünceyle incelenmektedir. Bu çalışma kapsamında, uçak yolcu koltuğunun mukavemeti incelenmiş ve yolcu güvenliği FAA'nın gerçekleştirmiş olduğu testlere ve koşullara dayanılarak doğrulamaları yapılmıştır. Bu koşullar, koltuk ve yolcunun 1 ve 2 metreden serbest düşmeye bırakılarak gerçekleştirilmiş testlerdir. Bunların yanında, yolcu güvenliğinin daha üst seviyelere çıkabileceği modern ekonomik bir uçak koltuğu tasarlamaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Tüm bu senaryoların benzeşimini yapmak için, bir sonlu elemanlar programı olan LS-DYNA kullanılmıştır. Yolcu modeli olarak ise, 50<sup>th</sup> percentile Hybrid III Anthropomorphic Test Dummy (ATD) seçilmiştir. Yine bu çalışma kapsamında, koltuklarda bulunan sünger tabakasının yolcu güvenliğine olan etkisi de

incelenmiştir. Yolcu güvenliği ile ilintili olarak belli başlı önemli göstergeler bulunmaktadır. Bel bölgesine gelen kuvvetler ve baş yaralanma kriteri (HIC) bu göstergelerden en önemlileridir. Bu alışma içerisinde yolcunun leğen kemiğine ve göğsüne gelen ivmelerin yanı sıra HIC değeri ve bel bölgesine gelen kuvvetler sunulmuş, koltuğun dayanımı incelenmiştir.

## GİRİŐ

Tam lekli bir yolcu koltuğu düşürme testi yapmak zorlu bir süreçtir. Tam donanımlı bir test laboratuvarı gerektirmesinin yanında, pahalı ve uzun zaman alan bir süreç olmasıyla da tercih sebebi olmaktan çok uzaktır. Ancak, dinamik sonlu elemanlar teknikleri ve bilgisayar yardımıyla bu testler, çok daha ucuza ve çok daha kısa bir sürede gerçekleştirilebilir. Bazı mühendislik problemlerinin temelinde basit matematik modeller yatmaktadır ve bunlar analitik yaklaşımlarla tam olarak çözülebilirler. Bunun yanında, bir çok problem ise (arpma, patlama vb.), başlangıç ve sınır koşullarındaki karmaşıklıklar sebebiyle çok daha zorludur ve sayısal çözümler gerektirirler. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve nümerik kodlara dayanan programlar sayesinde, bunun gibi problemler için güvenilir sonuçlara ulaşmak çok daha kolaydır. LS-DYNA, MSC-DYTRAN, PAMCRASH, ABAQUS ve TNO-MADYMO bu paket programlara örnek olarak gösterilebilirler.

Adams, Lankarani ve Nick, uçak yolcu koltuklarının dinamik testlerinin bilgisayar modelleri kullanılarak gerçekleştirilmesinin daha ucuz ve daha etkili olduğunu öne sürmüşlerdir. Bu amaçla, ilk olarak, LS-DYNA kullanarak bir yolcu koltuğu modellemişler ve bunun darbe simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra, MADYMO programı ile Hybrid II 50<sup>th</sup> percentile ATD kullanarak yolcu güvenliğini araştırmışlardır. Son olarak ise yüksek başarım sağlamak adına, bu iki program birbirine bağlanmış ve analizler tekrar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda, darbe testlerinin bilgisayar ile modellenmesinin kullanışlı ve hızlı bir metod olduğu sonucuna varılmıştır [1]. 1998 yılında başlayan başka bir çalışmada, Amerikan Ordu Araştırma Laboratuvarları - Kara Araçları Teknolojileri Müdürlüğü (ARLVTD) ve FAA arasında yapılan bir anlaşma kapsamında, çarpma analizi sonuçlarının doğrulanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, 3.05 metre uzunluğunda iki adet Boeing 737 yakıt tankı farklı koşullarda düşürme testlerine tabi tutulmuştur. Bu testler bilgisayar destekli çarpma simülasyonlarını kapasitelerini görmek için büyük bir fırsat olmuştur. Yakıt tanklarının tam ölçekli ve üç boyutlu modellerinin geliştirilmesine ise MSC - DYTRAN kullanılarak devam edilmiştir [2,3]. Başka bir çalışma 2002 yılında Konyukhov tarafından yapılmıştır. Hafif bir helikopterin iniş takımının incelendiği bu çalışmada bir helikopter için güvenli iniş hızları araştırılmıştır. Bu analizler gerçekleştirilirken minimum modelleme ve maksimum hız nasıl sağlanabilir sorusuna cevap aranmıştır [4]. Bunların yanında düşürme testi taşınabilir elektronik aletler içinde önemli bir uygulamadır. Bir dizüstü bilgisayar için düşürme testleri Ju ve Hsiao tarafından gerçekleştirilmiş, dizüstü bilgisayarın üst ve alt tarafları yere gelecek şekilde iki ayrı senaryo simüle edilmiştir [5].

Bilindiği gibi uçak koltukları yalnızca yolculara konfor sağlamak amacıyla değil, yolcuların güvenliği açısından da değerlendirilmesi gereken bir uçak bileşenidir. Bu alışma, uçak yolcu koltuğunun belirtilen yüksekliklerden düşürüldüğünde koltuğun dayanımını incelemenin yanı sıra, yolcuya gelen ivme ve kuvvet değerlerini de sunmaktadır. Daha ekonomik ve daha mukavim modern bir koltuk tasarlamak amacıyla ise aynı analizler koltuk yapısında kompozit bir malzeme kullanılarak tekrarlanmıştır.

## FORMÜLASYON

### Düşürme Testi Fiziği

Düşürme testlerinin fiziği, basit olarak çarpma enerjisini kapsamaktadır. Bu enerji ise Newton'un 2.Yasası'ndan türetilir [6].

$$F = ma = m \frac{\Delta V}{\Delta t} = m \frac{\Delta V}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta S} = mV \cdot \frac{\Delta V}{\Delta S} \quad (1)$$

matematiksel düzenlemeler ile,

$$\Delta KE = \frac{1}{2} mV_2^2 - \frac{1}{2} mV_1^2 \quad (2)$$

m: Kütle                      S: Durma mesafesi  
a: İvme                      V<sub>1</sub>: İlk hız  
t: Durma zamanı        V<sub>2</sub>: Son hız  
KE: Kinetik enerji      F: Kuvvet

## MODEL

### Sınır Şartları ve İlk Koşullar

Bu çalışma içerisinde koltuk dayanımını ve yolcu güvenliğini incelemek adına uçak yolcu koltuğu için 1 ve 2 metrelik düşürme testleri farklı koltuk malzemeleri ile tekrarlanmıştır.

Tablo 1: Düşürme Testi Şartları

| Durum                 | Koltuk Malzemesi  | Çarpma Hızı (m/s) | İvme |
|-----------------------|-------------------|-------------------|------|
| 1 metre düşürme testi | AISI 4340         | 4.429             | 1g   |
| 2 metre düşürme testi | AISI 4340         | 6.264             | 1g   |
| 1 metre düşürme testi | AS4 Karbon Epoksi | 4.429             | 1g   |
| 2 metre düşürme testi | AS4 Karbon Epoksi | 6.264             | 1g   |

Testlerin gerçekleştirilebilmesi için yolcu koltuğunun düz bir zemine oturtulması gerekmektedir. Bu amaçla yolcu koltuğunun altına bir platform eklenmiştir. Bu platformun rijit olarak modellenen bir zemine çarpacağı da belirtilmelidir. Yolcu koltuğu, ATD ve belirtilen bu rijit yapıyı içeren düşürme kulesi yapısı Şekil 1'de görülebilir [7].



Şekil 1: Uçak yolcu koltuđu, ATD ve platformu içeren bir dűşürme kulesi

Tűm durumlarda, zemin olarak dűşűnűlen rijit yapı 6 serbestlik derecesinden de sabitlenmiřtir. Bu sabitleme bir LS - DYNA kartı olan Single Point Constraint (SPC) yardımıyla yapılmıřtır. Yolcu koltuđunun altına gelecek olan platform ise Tied-Surface to Surface kontađı ile koltuđun yerle temas eden ayaklarından tam bađlı řekilde modellenmiřtir. Ayrıca yer çekimi ivmesi bűtűn durumlarda sisteme etkilmiřtir. nkořul olarak ise tűm sisteme ilk hız verilmektedir. Bu ilk hız LS - DYNA Initial Velocity kartı kullanılarak tűm modeller için yukarıda belirtilen bűyűklűklerde sisteme uygulanır. Bu durumda sisteme bir ilk enerji verilmiř olur [7].

### Malzeme

İlk iki durum için koltuk yapısında havacılıkta sıklıkla kullanılan AISI 4340 elik alaşımı [8]; son iki durumda ise bir kompozit malzeme olan AS4 Karbon Epoksi [9] koltuk yapısında kullanılmıştır. Bu iki malzemeye ait zellikler Tablo 2 ve 3'te belirtilmiştir.

Tablo 2: AISI 4340 elik alaşımının mekanik zellikleri

| Adı              | Eřdeđer Adı | Yođunluk  | Elastisite Modűlű | Poisson Oranı | Tanjant Modűlű | Akma Dayanımı | Kopma Uzaması |
|------------------|-------------|-----------|-------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| <b>AISI 4340</b> | EN24        | 7,85 g/cc | 205000 MPa        | 0,29          | 2508MPa        | 654 MPa       | 25,5%         |

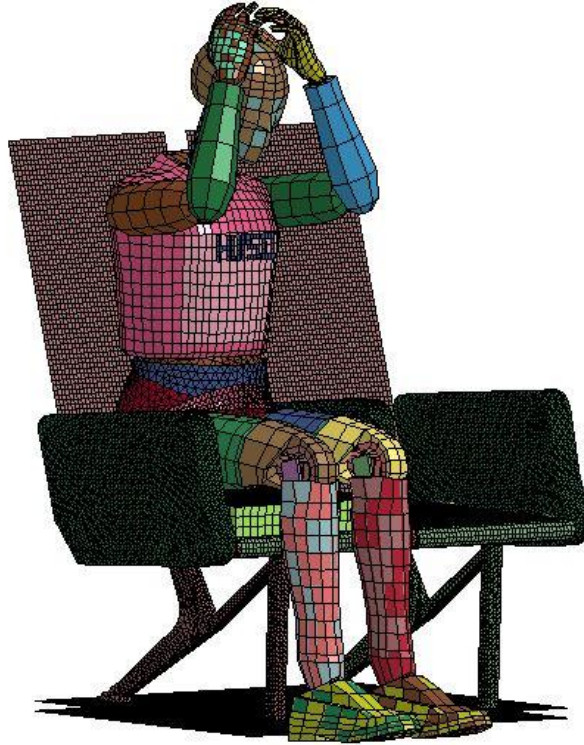
Tablo 3: AS4 Karbon Epoksi kompozit malzemesi için mekanik özellikler

| zellik                                   | AS4 Karbon Epoksi |
|---|-------------------|
| <b>Yoğunluk (g/cc)</b>                    | 1,60              |
| <b>Elastik modűlű E<sub>a</sub> (MPa)</b> | 125000            |
| <b>Elastik modűlű E<sub>b</sub> (MPa)</b> | 8066              |
| <b>Elastik modűlű E<sub>c</sub> (MPa)</b> | 8066              |
| <b>Kayma modűlű G<sub>ab</sub> (MPa)</b>  | 4129              |

|   |        |
|---|--------|
| <b>Kayma modülü <math>G_{bc}</math> (MPa)</b> | 2420   |
| <b>Kayma modülü <math>G_{ca}</math> (MPa)</b> | 4129   |
| <b>Poisson Oranı <math>Pr_{ba}</math></b>     | 0,0176 |
| <b>Poisson Oranı <math>Pr_{ca}</math></b>     | 0,0176 |
| <b>Poisson Oranı <math>Pr_{cb}</math></b>     | 0,4657 |
| <b>Kayma Dayanımı (MPa)</b>                   | 90     |
| <b>Eksenel Çekme Dayanımı (MPa)</b>           | 1200   |
| <b>Enine Çekme Dayanımı (MPa)</b>             | 50     |
| <b>Basma Dayanımı (MPa)</b>                   | 900    |

### Sonlu Elemanlar Modeli

Yolcu koltuğu ađ örgü yapısı, ATD ve emniyet kemeri pozisyonu Şekil 2'de gösterilmektedir. Tüm model 94756 düğüm noktası ve 110884 elemandan oluşmaktadır.

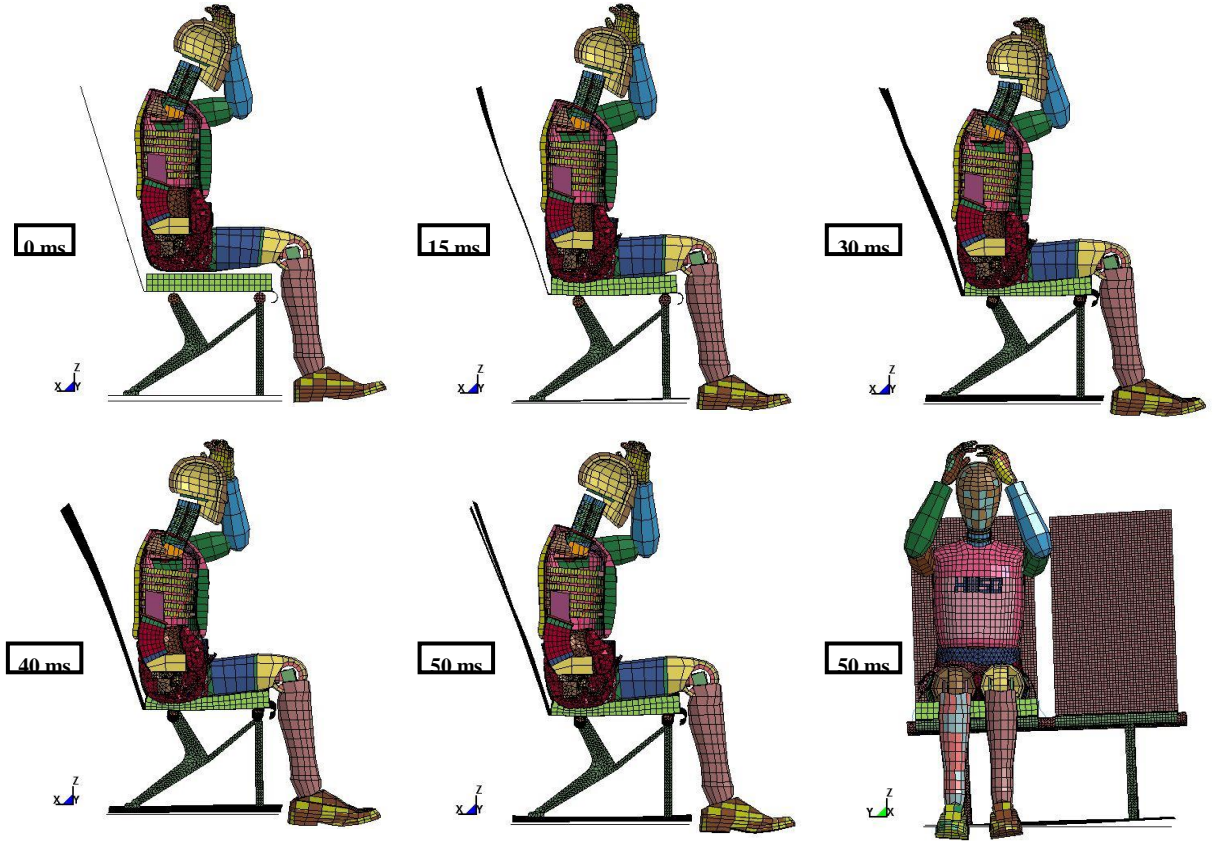


Şekil 2: Yolcu koltuğu ađ örgü yapısı, ATD ve emniyet kemeri pozisyonu

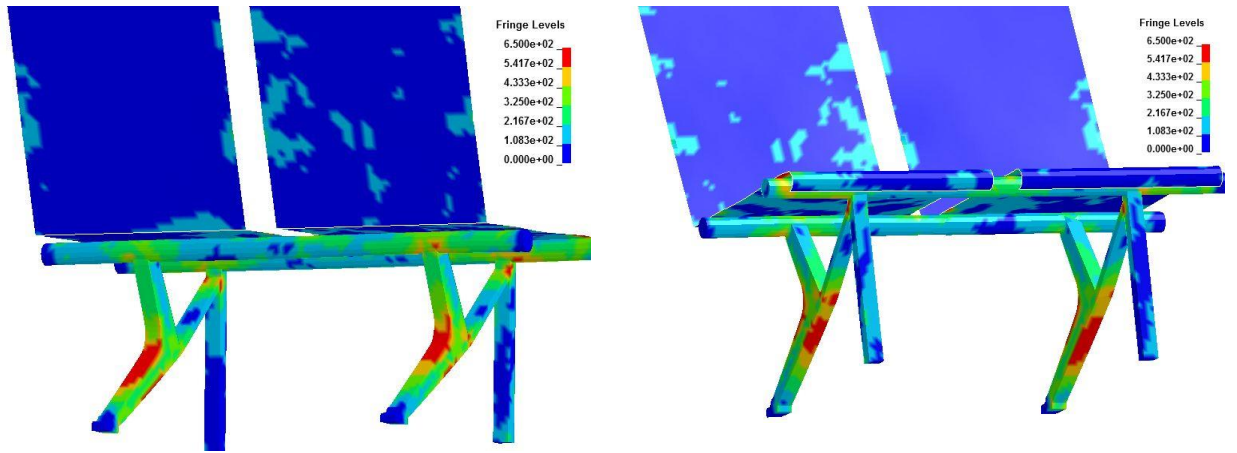
### SAYISAL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Belirtilen 4 ayrı durum için kinematik gösterimler ile koltuğun dayanımına ait şekiller aşağıda gösterilmektedir. İvme, kuvvet ve HIC değerleri de Tablo 4'te sunulmuştur.

### Durum #1: Çelik yapılı koltuk için 1 metre düşürme testi



Şekil 3: Durum #1 için ATD'nin kinematik gösterimi

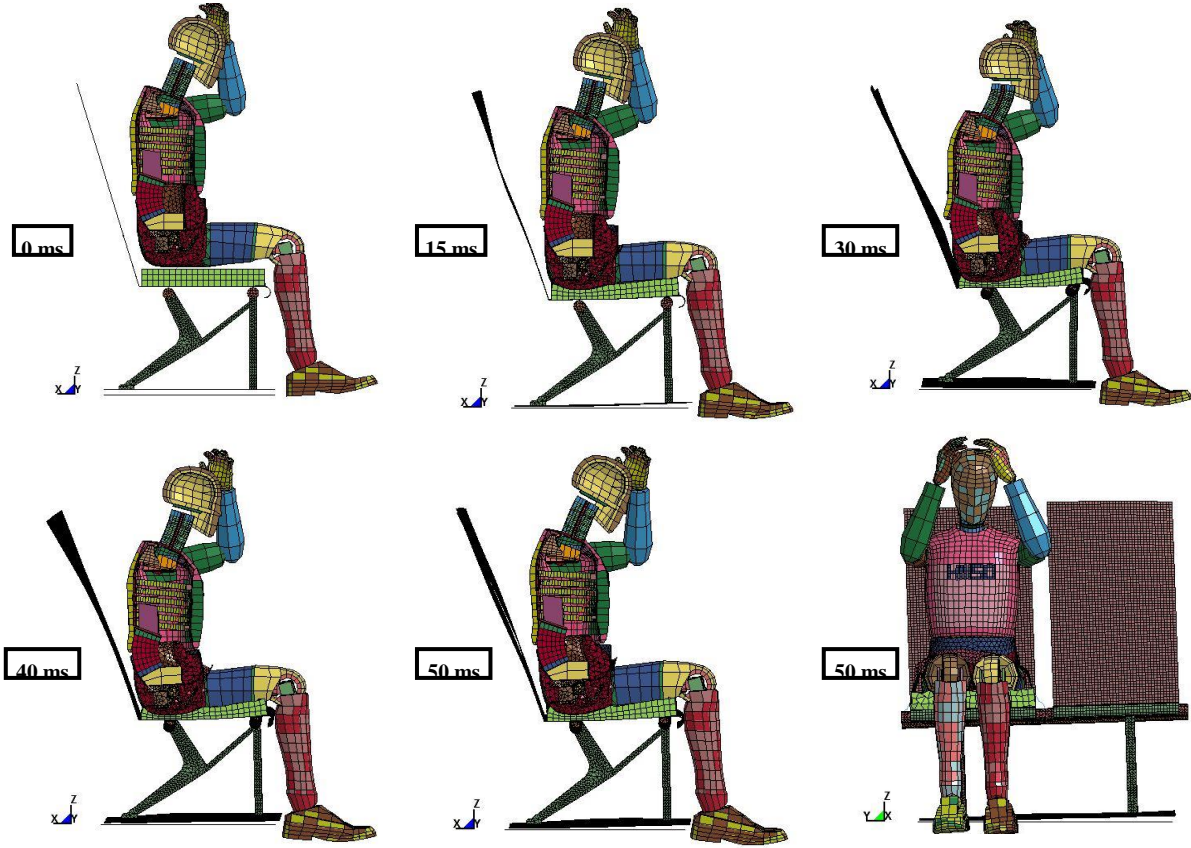


Şekil 4: Durum #1 için von - Mises eşdeğer gerilme değerleri

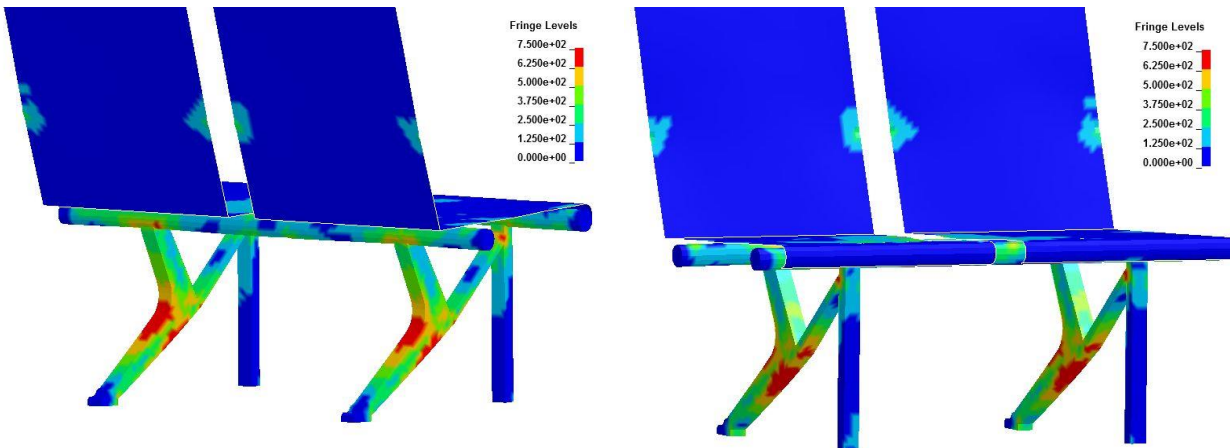
Durum #1 için Maksimum von - Mises eşdeğer gerilme değeri 650 MPa'dır. AISI 4340 çeliğinin dayanımı Tablo 2'de de görülebileceği gibi 654 MPa değerindedir. 1 metrelik düşürme testinde uçak koltuğu yapısı kalıcı deformasyona uğramasa bile sınır değere çok yaklaştığı belirtilebilir.



## Durum #2: elik yapılı koltuk için 2 metre düşürme testi



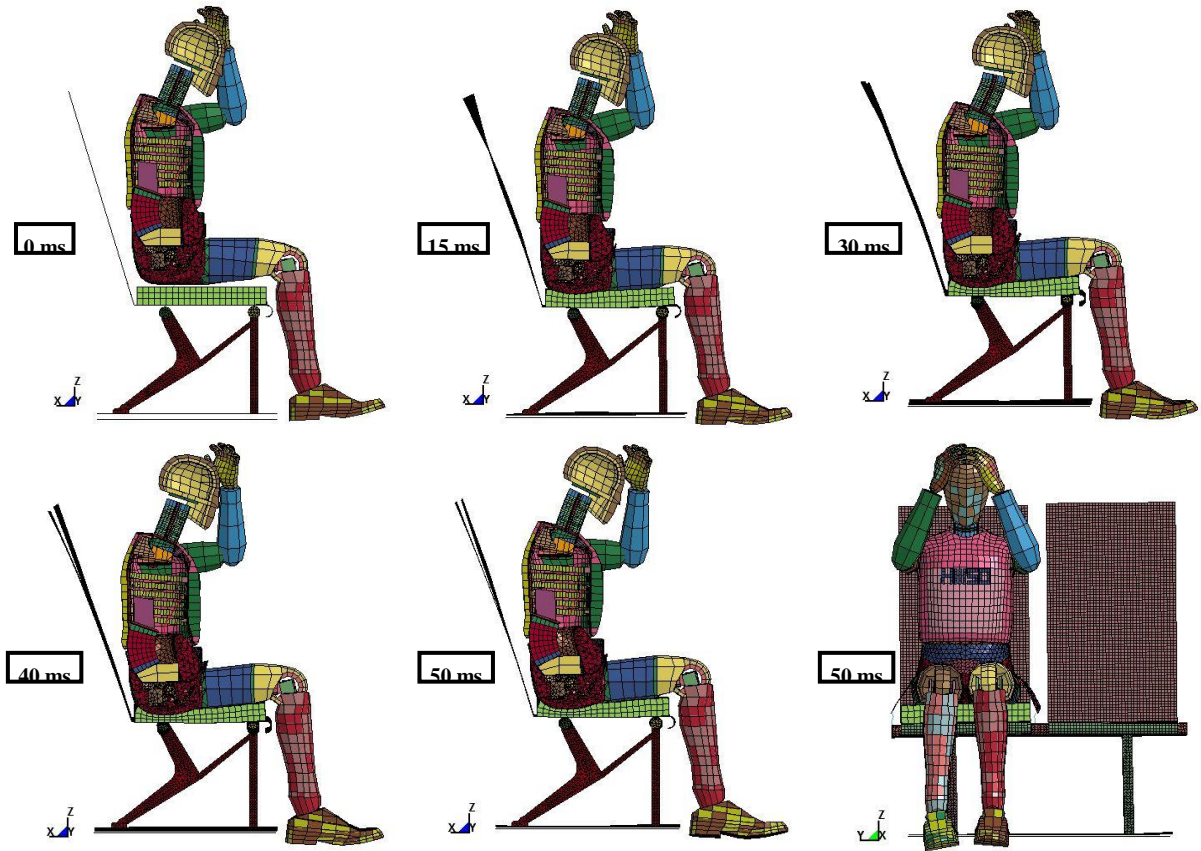
Şekil 5: Durum #2 için ATD'nin kinematik gösterimi



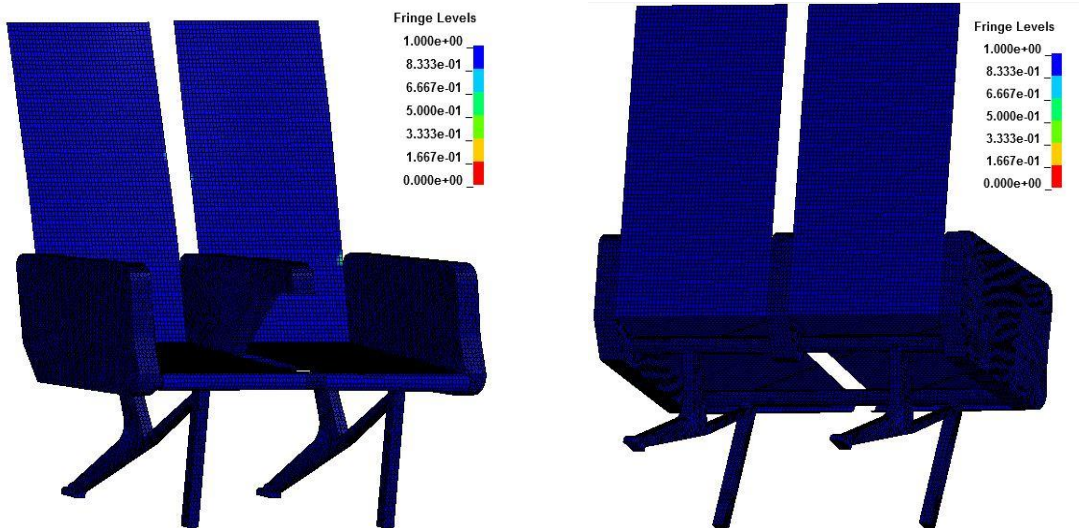
Şekil 6: Durum #2 için von - Mises eşdeğer gerilme değerleri

Durum #2 için Maksimum von - Mises eşdeğer gerilme değerleri 750 MPa değerine ulaŐmaktadır. Bu değerde uçak koltuğu malzemesi akmaya uđramıŐtır.

### Durum #3: Kompozit yapılı koltuk için 1 metre düşürme testi



Şekil 7: Durum #3 için ATD'nin kinematik gösterimi

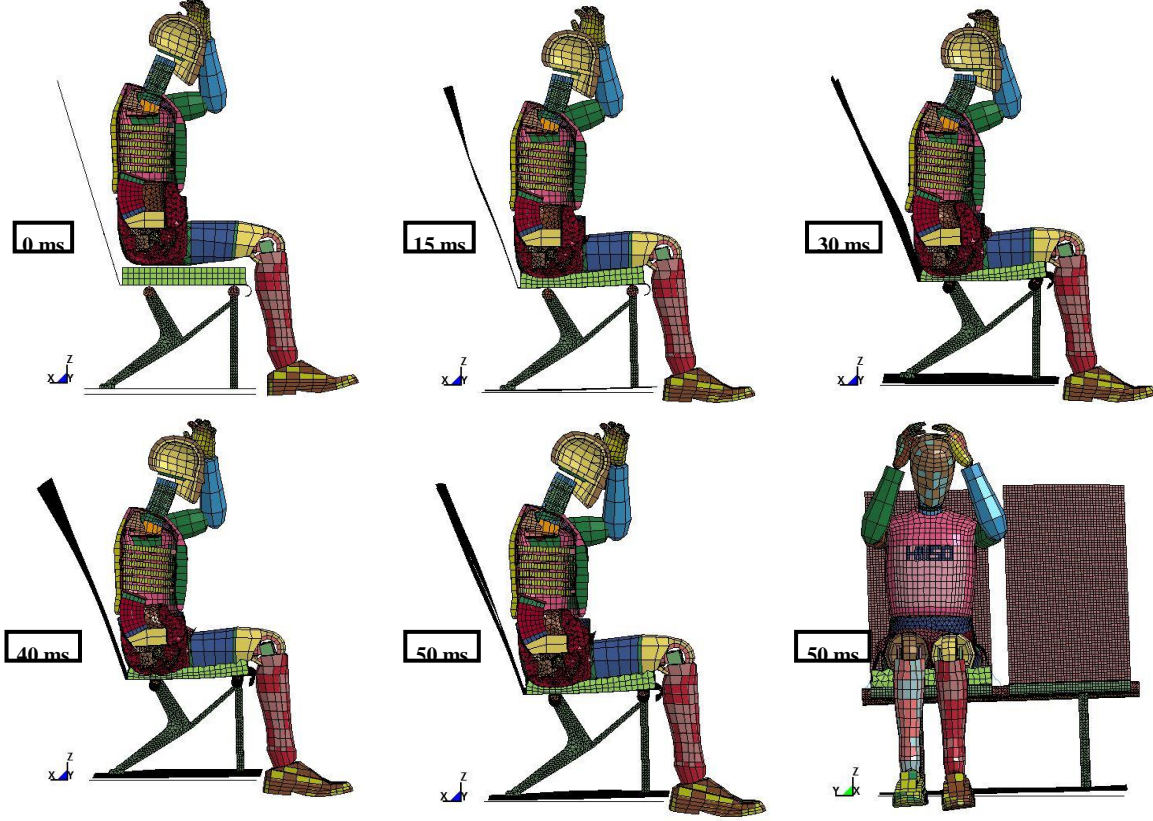


Şekil 8: Durum #3 için koltuğun Hashin kriterine göre değerlendirilmesi

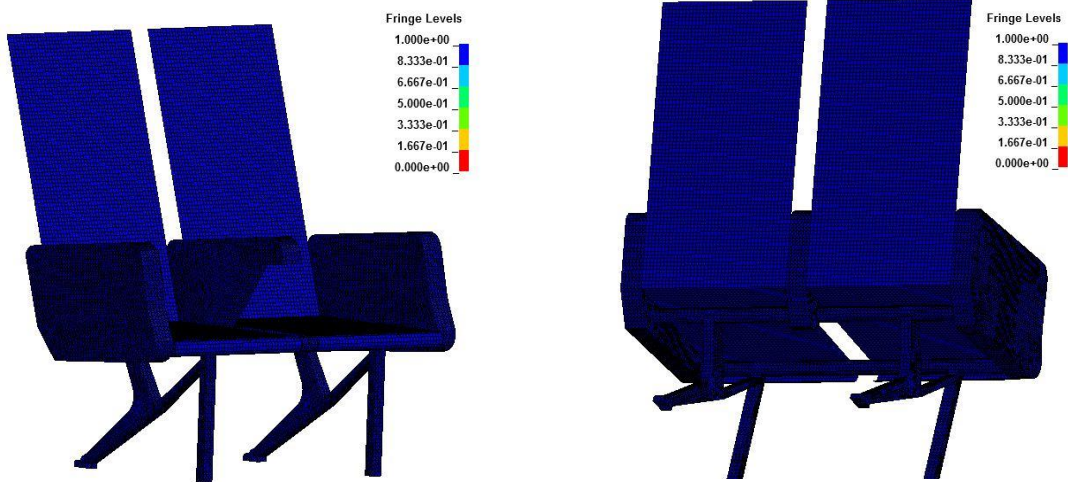


Bu çalışmada kullanılan kompozit malzemenin dayanımı Hashin kriterine göre değerlendirilmiştir. Durum #3 için kompozit yapılu uçak koltuğunun tüm elemanlarının integrasyon noktaları incelenmiş ve Hashin kriterine göre güvenli olduğu tespit edilmiştir.

#### Durum #4: Kompozit yapılu koltuk için 2 metre düşürme testi



Şekil 9: Durum #4 için ATD'nin kinematik gösterimi



Şekil 10: Durum #4 için koltuğun Hashin kriterine göre değerlendirilmesi

2 metrelik dűşürme testini kapsayan Durum #4 için kompozit yapılı koltuđun Hashin kriterine göre güvenli olduđu söylenebilir.

Tüm durumlar için yolcuya gelen ivme, kuvvet ve HIC değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Tüm durumlar için yolcu üzerine gelen ivme, kuvvet ve HIC değerleri

| 1 metre<br>Dűşürme Testi | Maksimum İvme Deđerleri (G) |       | Kuvvet (kN) | HIC |
|--------------------------|-----------------------------|-------|-------------|-----|
|                          | Leğen kemiği                | Göğüs | Bel         |     |
| Süngerli Çelik Koltuk    | 122                         | 81    | 38          | 801 |
| Süngerli Çelik Koltuk    | 39                          | 78    | 10,5        | 485 |
| Süngerli Kompozit Koltuk | 30                          | 61    | 10          | 470 |
| 2 metre<br>Dűşürme Testi | Maksimum İvme Deđerleri (G) |       | Kuvvet (kN) | HIC |
|                          | Leğen kemiği                | Göğüs | Bel         |     |
| Süngerli Çelik Koltuk    | 232                         | 121   | 58          |     |
| Süngerli Çelik Koltuk    | 67                          | 98    | 14,5        |     |
| Süngerli Kompozit Koltuk | 46                          | 59    | 15,3        |     |

Tablo 4'te belirtilen değerlere göre, uçak koltuklarında kullanılan sünger yapısının sadece yolcu konforuna katkıda bulunmadığı aynı zamanda yolcu güvenliği için büyük bir öneme sahip olduğu düşen ivme, kuvvet ve HIC değerleri baz alınarak söylenebilir. Özellikle leğen kemiği için düşen ivme ve bel bölgesi için düşen kuvvet değerleri belirleyici olan değerlerdir. HIC değeri ise %40 oranında azalmıştır. HIC değerinin 1000'i geçmemesi gerektiği FAA standartlarında belirtilmektedir [10]. 1000'e ulaşmış HIC değeri, ortalama bir yetişkin için, %18 olasılık ile şiddetli, %15 ihtimal ile ciddi, %90 olasılık ile orta ölçüde baş yaralanması anlamına gelmektedir [11]. Bu sebeple HIC değeri ne kadar düşük olursa, yolcu güvenliği için o kadar iyi bir ortam oluştuğu söylenebilir.

Kompozit yapılı koltuk kullanımı ile 1 ve 2 metrelik dűşürme testleri için daha düşük ivme ve HIC değerleri elde edildiği Tablo 4'te görülebilir. Kompozit yapılı koltuk kullanıldığında, bel bölgesine gelen kuvvetler ile süngerli çelik yapılı koltuk kullanımı ile elde edilen kuvvet değerleri birbirine yakındır. Daha önce belirtildiği gibi çelik yapılı koltuk bu testler için dayanım konusunda yetersiz kalmaktadır. Ancak, bu çalışma kapsamında kompozit yapılı koltuğun her iki test için de güvenli olduğu belirlenmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında, hem yolcu hem de malzeme güvenliği bakımından kompozit yapılı koltuğun daha avantajlı olduğu sonucuna varılabilir.

Daha hafif modern bir yolcu koltuğu tasarlamak bu çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Yolcu ve malzeme güvenliği yönünden başarılı olarak niteleyebileceğimiz kompozit malzemenin bir diğer avantajı da çeliğe göre hafif oluşudur. Bu çalışmada kullanılan çelik yapılı koltuk 41,13 kg iken, kompozit yapılı koltuk 13 kg ağırlığa sahiptir. Bu

açıklamadan yola çıkarak yeni koltuğun eski tasarıma göre 2,16 kat daha hafif olduğu söylenebilir.

### SONUÇLAR

- Uçak koltuklarında bulunan sünger yapılar konforun dışında yolcu güvenliğine de katkıda bulunmaktadır.
- Kompozit malzemeler yüksek güvenlik, yüksek dayanım ve düşük ağırlıklarıyla uçak koltuklarında kullanılmak için iyi birer seçenektirler.
- Sonlu eleman analizleri ürün geliştirme sürecine yardımcı araçlardır.

### REFERANSLAR

- [1] Adams A., Lankarani H. M., Nick M., "Development of New Crashworthiness Evaluation Strategy for Aircraft Seats" American Society of Engineering Education, 2003.
- [2] Abramowitz, A., Smith, T. G, Vu, T., "Vertical Drop Test of a Narrow-Body Transport Section with a Conformable Auxiliary Fuel Tank Onboard" DOT/FAA/AR-00/56, 2000.
- [3] Abramowitz, A., Smith, T. G., Vu, T., Zvanya, J. R., "Vertical Drop Test of a Narrow-Body Transport Fuselage Section with Overhead Stowage Bins" DOT/FAA/AR-01/100, 2002.
- [4] Konyukhov A.V., Mikhaylov S.A., "Drop Analysis of the Skid Landing Gear of the Light Helicopter" 7<sup>th</sup> International LS - DYNA Users Conference, 2002.
- [5] Ju R., Hsiao B., (2004), "Drop Simulation for Portable Electronic Products" 8<sup>th</sup> International LS - DYNA Users Conference, 2004.
- [6] Labun, L.C. and Vandenburg J.M., "Small Airplane Crashworthiness Design Guide" Report Reference Number: AGATE-WP3.4-034043-036, Chapter 2, 2012.
- [7] Federal Aviation Administration, "Modeling of a Commuter Category Aircraft Seat", DOT/FAA/AR-04/34, 2004.
- [8] Nuclear Decommissioning Authority, "Evaluation of Lid Bolt Performance in Shear", s: 21, 2011.
- [9] Thatte, B.S., Chandekar, G.S., Kelkar, A.D. and Chalpalkar, P., "Studies on Behavior of Carbon and Fiber Glass Epoxy Composite Laminates under Low Velocity Impact Loading using LS-DYNA", 10<sup>th</sup> International LS-DYNA Users Conference, s: 9-45, Detroit, 2006.
- [10] Federal Aviation Regulations, "Code of Federal Regulations Part 25: Transport Category Airplanes", s:55, 2013.
- [11] Mackay, M., "The Increasing Importance of the Biomechanics of Impact Trauma", Sadhana, 32(4) 397-408, 2007.