

**KOLTUK KOMPONENTLERİNDE TASARIM  
KRİTERLERİNE BAĞLI OLARAK DAYANIM ANALİZİ**

**HÜSEYİN SERTAN BOLU**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLTUK KOMPONENTLERİNDE TASARIM KRİTERLERİNE BAĞLI  
OLARAK DAYANIM ANALİZİ**

Hüseyin Sertan BOLU

Prof. Dr. Hakan AYDIN  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Hüseyin Sertan BOLU tarafından hazırlanan “Koltuk Komponentlerinde Tasarım Kriterlerine Bağlı Olarak Dayanım Analizi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Hakan AYDIN

**Başkan** : Prof. Dr. Rukiye ERTAN  
0000-0002-9631-4607  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı  
İmza

**Üye** : Prof. Dr. Hakan AYDIN  
0000-0001-7364-6281  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
İmza

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ  
0000-0002-1987-5750  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**  
.././.....

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**01/03/2022**

**Hüseyin Sertan BOLU**

## TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımızı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Hakan AYDIN

Hüseyin Sertan BOLU

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **KOLTUK KOMPONENTLERİNDE TASARIM KRİTERLERİNE BAĞLI OLARAK DAYANIM ANALİZİ**

**Hüseyin Sertan BOLU**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Hakan AYDIN

Bu çalışmada, M1 sınıfı araç arka koltuğunun ECE R17 bagaj yükü çarpışma dayanım regülasyonuna göre uygunluğu incelenmiştir. Koltuk köşe elemanı üzerinde dayanım ve maliyet iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. ECE R17 regülasyonu ile belirtilen sınır ve yükleme şartlarına göre test edilecek koltuk için geliştirme çalışmaları sonlu elemanlar modeli HyperMesh yazılımında oluşturulup, RADIOSS çözücüsünde analiz gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizleriyle belirlenen koltuğun tasarımı fiziksel testler ile doğrulanmıştır. Doğrulan koltuk sonlu eleman modeli üzerinden köşe elemanı için farklı tasarım denemeleri ve kalınlıklar ile en uygun tasarım belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu elemanlar yöntemi, çarpışma testi, dayanım ve mukavemet analizi, dinamik analizler

**2022, vii + 42 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **DURABILITY ANALYSIS IN SEAT COMPONENTS BASED ON DESIGN CRITERIA**

**Hüseyin Sertan BOLU**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Hakan AYDIN

In this study, the suitability of the M1 class vehicle rear seat according to the ECE R17 luggage retention regulation has been examined. Strength and cost improvement studies were carried out on the seat corner component. The development studies for the seat to be tested according to the boundary and loading conditions specified by the ECE R17 regulation were created in the finite element method pre-processing software HyperMesh and the analysis was carried out in the RADIOSS solver. The design of the seat, which was determined by finite element analysis results, was verified by physical tests.

**Key words:** Finite element analysis method, crash test, durability analysis, dynamic analysis

**2022, viii + 42 pages.**

## ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgisi ve tecrübesi ile yol gösteren hocam Sayın Prof. Dr. Hakan AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin tamamlanmasında destek veren MARTUR FOMPAK INTERNATIONAL firmasına, yöneticim Sayın Murat DAL'a, Serdar SARISAÇ, Ferruh DÜVENCİ ve tüm katkılarından dolayı Mert BÜRÜMLÜ iş arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimi tamamlama aşamasındaki desteğinden dolayı aileme, arkadaşlarıma ve bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin Sertan BOLU

.../.../.....



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Araç Koltuklarının Sınıflandırılması.....	11
3.2. M1 Sınıfı Binek Araç Arka Koltuğu.....	11
3.3. Araç Koltukları İçin Güvenlik Şartları.....	12
3.3.1. ECE R17 şartnamesi.....	12
3.3.2. ECE R17 bagaj çarpma testi.....	12
3.3.3. Test sonuçlarının değerlendirilmesi.....	14
3.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	15
3.4.1. Açık kod kullanımı.....	17
3.4.2. Zaman adımı hesabı.....	18
3.4.3. Nodal zaman adımı hesabı.....	18
3.4.4. Elementel zaman adımı hesabı.....	19
3.4.5. Açık kod hesaplama adımları.....	19
3.5. Koltuk Tasarımı.....	21
3.6. Koltuk Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	21
3.6.1. Malzeme Özellikleri.....	25
3.6.2. Koltuk sonlu elemanlar modeline ECE R17 regülasyonunun uygulanması.....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	30
4.1. Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	30
4.1.1 Animasyonun incelenmesi.....	30
4.1.2 Plastik deformasyon sonuçlarının incelenmesi.....	31
4.2. Analiz sonuçlarının fiziksel test ile karşılaştırması.....	31
4.3. Sonlu eleman modelinin test ile kolerasyonunun arttırılması.....	32
4.3.1. Kalınlık değişimi sonrası analiz sonuçlarının test ile karşılaştırılması.....	33
4.4. Braket Kalınlığını Artması Durumu.....	34
4.5. Kesit Kalınlığının Arttırılması.....	35
4.6. Destek Braketi Eklenmesi.....	35
4.6.1. Değişen tasarımın fizik test ile doğrulanması.....	36
4.7. Üretim Maliyeti Azaltmaya Yönelik Tasarım Değişikliği.....	36
4.8. Alüminyum Malzeme Kullanarak Ağırlık Azaltma.....	37
5. SONUÇ.....	39
KAYNAKLAR.....	40
ÖZGEÇMİŞ.....	42

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

mm	milimetre
kg	Kütle (kilogram)
m	Kütle
F	Kuvvet (N)
c	Ses hızı
E	Elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )
$\rho$	Yoğunluk (kg/mm <sup>3</sup> )
$\theta$	Poisson oranı
$\epsilon$	Şekil değiştirme oranı
L <sub>c</sub>	Karakteristik eleman boyu
ms	Zaman (Milisaniye)
MPa	Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )

### Açıklama

### Kısaltmalar

OEM	Orijinal Ürün Üreticisi (Original Equipment Manufacturer)
ECE	Avrupa Ekonomik Komisyonu (Economic Commission for Europe)
FMVSS	Federal Motor Araç Güvenlik Standartları (Federal Motor Vehicle Safety Standards)

### Açıklama

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Test - Sanal analiz animasyon karşılaştırması (MacNaughtan 2005).....	2
Şekil 2.2. Test - Analiz karşılaştırması (MacNaughtan 2005).....	3
Şekil 2.3. 40/60 ve %100 koltuklarında gerilme sonuçları (Wang 2015).....	4
Şekil 2.4. Bariyer tasarımı ve bağlantı elemanları (Kangralkar 2015).....	5
Şekil 2.5. Bağlantı elemanında yapılan tasarım değişikliği (Kangralkar 2015).....	5
Şekil 2.6. Fiber uzunluklarına göre mekanik özellikler (Shin 2002).....	6
Şekil 2.7. 40/60 ve 50/50 oranında tam katlanabilir koltuk görselleri (Shin 2002).....	6
Şekil 2.8. Merkez kilit mandalı için gerilme sonuçları (a) Çarpma anında gerilme (b) Maksimum deformasyon anında gerilme (Shin 2002).....	7
Şekil 2.9. Yanal mandal için maksimum deformasyon anında gerilme (Shin 2002).....	7
Şekil 2.10. Koltuk sonlu elemanlar modeli ve ayak ölçüleri (Düvenci 2017).....	8
Şekil 2.11. Sonlu elemanlar analizinde elde edilen sonuçlar (Düvenci 2017).....	8
Şekil 2.12. Koltuk sonlu eleman modeli (Singh 2014).....	9
Şekil 2.13. Maksimum deplasman sonucu (Singh 2014).....	9
Şekil 2.14. Von Misses gerilme sonuçları (Singh 2014).....	10
Şekil 2.15. Maksimum deplasman sonucu (Singh 2014).....	10
Şekil 2.16. Von Misses gerilme sonuçları (Singh 2014).....	10
Şekil 3.1. 40/60 bölünmüş arka koltuk tasarımı.....	12
Şekil 3.2. Test bagaj yük bloklarının araç üstünde üstten görüşünü (ECE R17 2019)...	13
Şekil 3.3. Test bagaj yük bloklarının araç üstünde yandan görüşünü (ECE R17 2019)...	13
Şekil 3.4. Sled sinyal koridoru (ECE R17 2019).....	14
Şekil 3.5. Sonlu elemanlar yöntemi analiz gerçekleştirme adımları.....	15
Şekil 3.6. Açık/Kapalı çözücü kullanımı (Anonim 2020).....	16
Şekil 3.7. Çözücü seçim kriterleri (Anonim 2020).....	17
Şekil 3.8. Stabil zaman adımları.....	18
Şekil 3.9. Stabil olmayan çözümde eleman atlanması.....	18
Şekil 3.10. Kabuk elemanlarda karakteristik uzunluk (SARISAC 2016).....	19
Şekil 3.11. Düğüm noktaları arasında kuvvet aktarımı.....	20
Şekil 3.12. Koltuk CAD görünümü.....	21
Şekil 3.13. Sac metal parçalarda kabuk eleman kullanımı.....	22
Şekil 3.14. Tel modellenmesinde giriş eleman kullanımı.....	22
Şekil 3.15. Cıvata modellenmesinde yay eleman kullanımı.....	23
Şekil 3.16. Sünger modellenmesinde üç boyutlu eleman kullanımı.....	24
Şekil 3.17. Kaynak modellenmesi.....	24
Şekil 3.18. %50 lik boyutlarında manken görünümü.....	25
Şekil 3.19. S420MC malzeme özellikleri ve çekme test eğrileri.....	26
Şekil 3.20. Al 6082 malzeme özellikleri ve çekme test eğrisi.....	26
Şekil 3.21. Type 7 kontak tanımlaması.....	27
Şekil 3.22. ECE R17 regülasyon uygulama sonrası model görünümü.....	27
Şekil 3.23. Modelin yandan ve üstten görünümü.....	28
Şekil 3.24. İvme eğrisi.....	29
Şekil 3.25. Hız eğrisi.....	29
Şekil 3.26. Toplam eleman sayısı.....	29
Şekil 4.1. Animasyon görüntüleri.....	30

Şekil 4.2. Plastik deformasyon sonuçları .....	31
Şekil 4.3. Fiziksel testte oluşan braketteki yırtılma .....	32
Şekil 4.4. Braket modelleme doğruluğu tanımlamaları .....	32
Şekil 4.5. Braket plastik deformasyon sonuçları.....	33
Şekil 4.6. Birinci iterasyon tasarım değişikliği .....	34
Şekil 4.7 Birinci iterasyon plastik deformasyon sonuçları .....	34
Şekil 4.8. İkinci iterasyon sonuçları (a) Tasarım değişikliği (b) Plastik deformasyon ...	35
Şekil 4.9. Üçüncü iterasyon sonuçları (a) Tasarım değişikliği (b) Plastik deformasyon	36
Şekil 4.10. Üçüncü iterasyon analiz - test karşılaştırması.....	36
Şekil 4.11. Dördüncü iterasyon (a) Yeni tasarım ve kalınlıkları (b) Sanal analiz plastik deformasyon sonuçları (c) Fiziksel test sonrası görsel.....	37
Şekil 4.12. Al 6082 malzemesi uygulanan komponentler .....	38
Şekil 4.13. Al 6082 malzemesi ile plastik deformasyon sonuçları .....	38

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Model birim sistemi .....	21

## 1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi global pazardaki paylarını arttırabilmek için yenilikçi ve rekabetçi bir değişim göstermektedir. Günümüzde katılaşan emisyon kuralları, artan küresel ısınmanın yarattığı sosyal bilinç ve azalan fosil yakıt rezervleri otomotiv sektöründe daha hafif araçlara, daha küçük hacimde ve yakıt tüketimli motorları tercih etmesinde büyük etken olmuştur. OEM'ler her geçen gün bu kriterleri göz önünde bulundurarak CO2 salınımını azaltmaya çalışmaktadır. Bir binek aracı düşündüğümüzde ağırlık konusunda OEM'lerin üzerinde yoğunlaştığı komponentler arasında koltuk olduğunu görmekteyiz. Özellikle hafif, ucuz, konforlu ve güvenli koltukların koltuk üreticileri tarafından sağlanması rekabetçi pazarda olabilmeleri için büyük önem arz etmektedir.

Koltuk geliştirme sürecinde en önemli maliyet kalemi yapılacak fiziksel testler için üretilen prototipler ve test sayılarının fazla olmasıdır. Prototip ve tekrarlanan test sayılarını en aza indirmek için yapılan sanal analizlerin kullanımı günümüzde en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Fiziksel test ile doğrulanmış bir sonlu eleman modeli ile daha hızlı ve daha az maliyetli tasarım süreçleri yönetilebilmektedir.

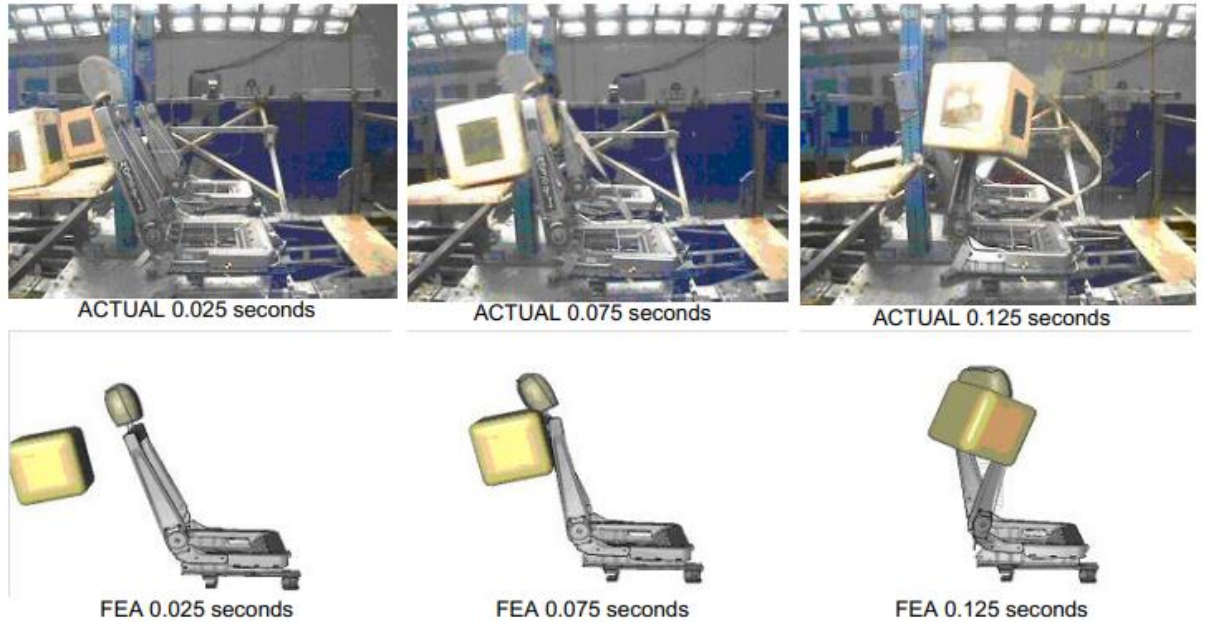
Araç koltukları; oturak, sırt iskeleti, kolçak, başlık, sünger ve kumaştan oluşmaktadır. Araç koltuğu için geliştirilen güvenlik şartları koltuğun estetiklik, konfor, hafiflik gibi tasarım belirleyici unsurlardan daha çok dayanımının ve yolcu güvenliğinin sağlanması en büyük tasarım belirleyici etkenlerdendir.

Bu çalışmada, bir binek aracın arka koltuğunda Avrupa standartlarından ECE R17 bagaj yük çarpışma regülasyonuna uygun sınır ve yükleme şartlarında sonlu elemanlar analiz modeli HyperMesh yazılımında oluşturulup RADIOSS açık kod (explicit) çözücüsünde sonuç alınmıştır. Alınan analiz sonuçları fiziksel test koşullarındaki sonuçlar ile karşılaştırıp doğrulaması yapılmıştır. Doğrulan sonlu eleman modeli üzerinden koltuk köşe braketi üzerinde dayanım iyileştirme çalışması yapılmış ve çelik malzemeye alternatif olarak alüminyum alaşımlı bir malzeme ile test şartlarının sağlanması incelenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada ECE R17 bagaj yükü çarpışma testi için arka koltuk elemanı için dayanım ve maliyet iyileştirme, koltuk iskeleti için çelik malzemeye alternatif olarak alüminyum malzeme ile analiz gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde ECE R17 standartlarında yapılan çalışmalara, tasarım iyileştirme çalışmalarına ve koltuk elemanları için farklı malzeme çalışmalarına dair örnekler ele alınmıştır.

MacNaughtan ve ark. (2005) ECE17 bagaj çarpışma test şartlarında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizini fiziksel test ile doğrulunu karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Sınır şartları, koltuk bağlantı noktaları, koltuk konumu ve yüklemeleri doğruluğunu kontrol etmişlerdir. Yaptıkları sonlu elemanlar analizinde bazı tasarımsal farkları göz ardı etmişlerdir. Kolerasyon karşılaştırması için yüksek hızlı kameralar ile kaydettikleri fiziksel test görüntüleri ile analiz animasyon görüntülerini karşılaştırmışlardır. Aynı zaman aralıklarında aynı davranışın beklendiği görüntülerde, koltukta oluşan deplasman, deformasyon davranışlarını incelemişlerdir.



**Şekil 2.1.** Test - Sanal analiz animasyon karşılaştırması (MacNaughtan 2005)

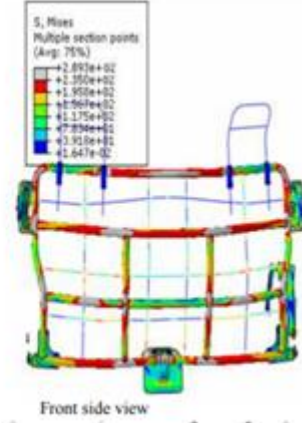
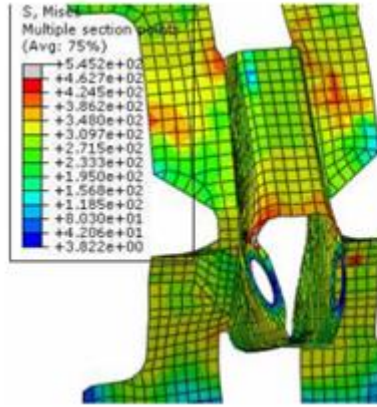
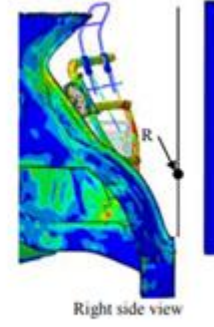
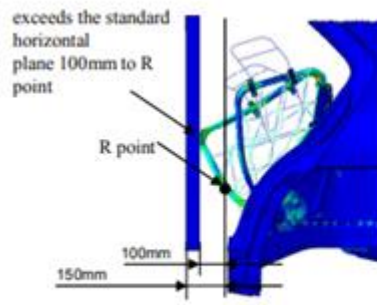


**Şekil 2.2.** Test - Analiz karşılaştırması (MacNaughtan 2005)

Kolerasyonu azaltacak etkenler için; ivme sinyalinin test ve sanal analizdeki farkların olmasına, sanal analiz için geri gelme davranışının göz ardı edilmesine ve bu sebeple fiziksel test sonrası görüntüler ile farkların oluşmasına ve iskelet üstünde sünger, kılıf gibi kapatıcı komponentlerin karşılaştırmayı güçleştireceğine değinmişlerdir.

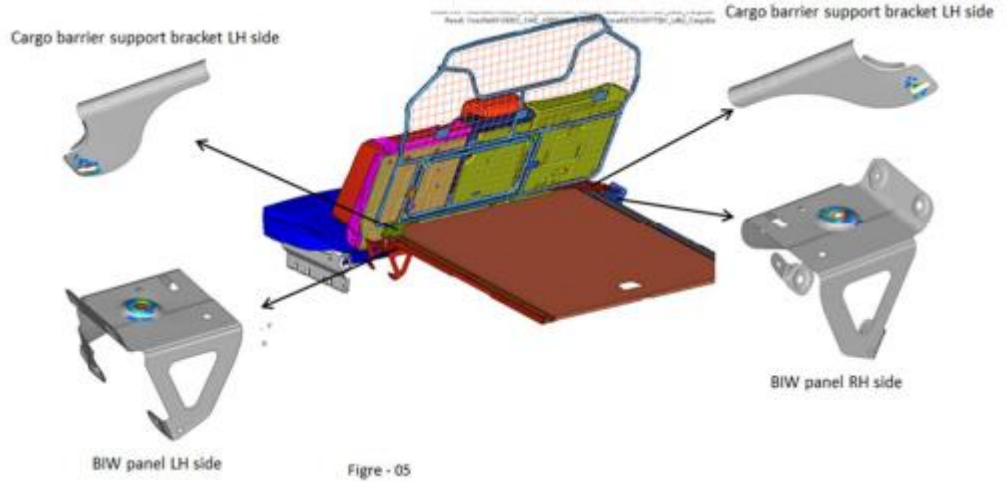
Wang ve arkadaşları (2015) 40/60 oranında bölünmüş bir koltuğa ECE R17 bagaj yükü çarpma analizi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada %40 oranlı iskeletin %60 oranlı kısma göre daha az darbe yükü taşıdığını belirtmişlerdir. %100 olarak adlandırılan tek parça iskelet tasarımı için de çalışma yapan Wang ve arkadaşları, çıkan sonuçlarda %100 iskeletin 40/60 bölünmüş koltuğa göre daha çok enerji absorbe ettiğini ve daha az deformasyona uğradığını belirtmişlerdir.



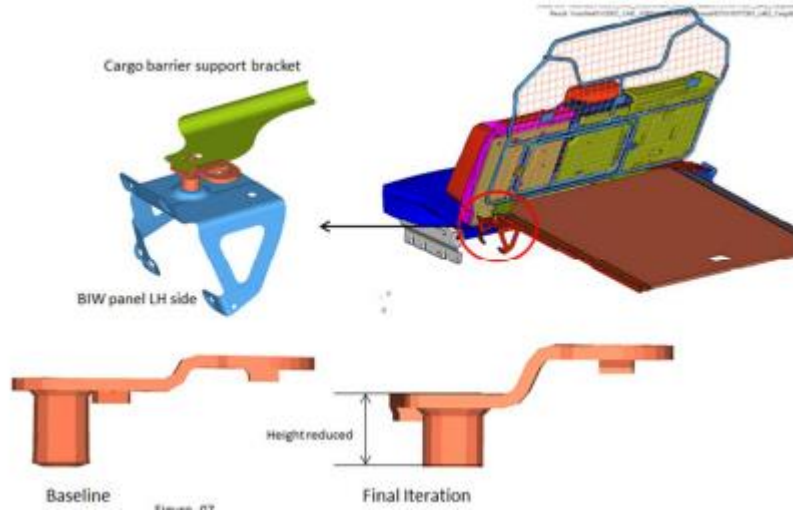


**Şekil 2.3.** 40/60 ve %100 koltuklarında gerilme sonuçları (Wang 2015)

Kangralkar ve ark. (2015) Bagaj yükünün çarpışma sırasındaki ölümcül olabilecek etkisini azaltmak için bariyer çalışması yapmışlardır. Yapılan çalışmada HyperMorph aracıyla tasarım yazılımına ihtiyaç uymadan sonlu eleman üzerinden tasarım değişikliği yaparak sol destek braketinde iyileştirme çalışması yapmışlardır. Yapılan iyileştirme brakete gelen gerilme değerleri düşürülerek daha dayanıklı bir tasarım ortaya çıkmıştır.

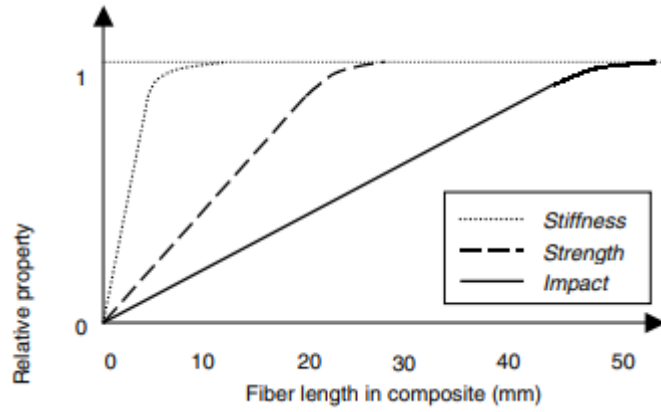


**Şekil 2.4.** Bariyer tasarımı ve bağlantı elemanları (Kangralkar 2015)

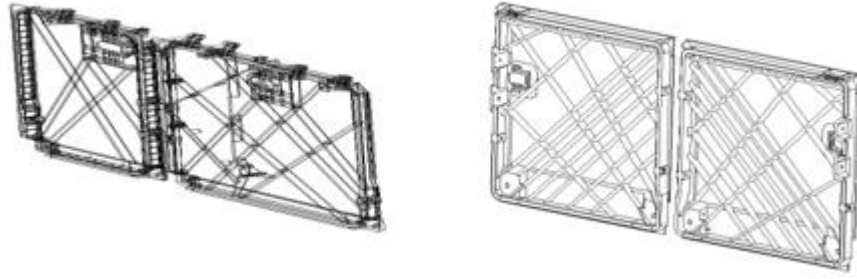


**Şekil 2.5.** Bağlantı elemanında yapılan tasarım değişikliği (Kangralkar 2015)

Shin ve arkadaşları (2002), 40/60 ve 50/50 oranlarında tam katlanabilen koltuk iskeletlerinde geleneksel çelik kullanımı yerine daha hafif ve dayanıklı GMT (elyaf takviyeli termoplastik) malzeme ile çalışma yapmışlardır. Kompozit malzeme için 25 mm uzunluğunda fiber takviyesi kullanmışlardır.

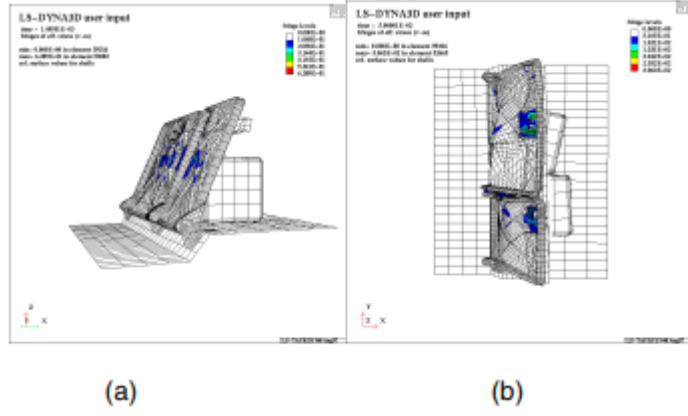


Şekil 2.6. Fiber uzunluklarına göre mekanik özellikler (Shin 2002)

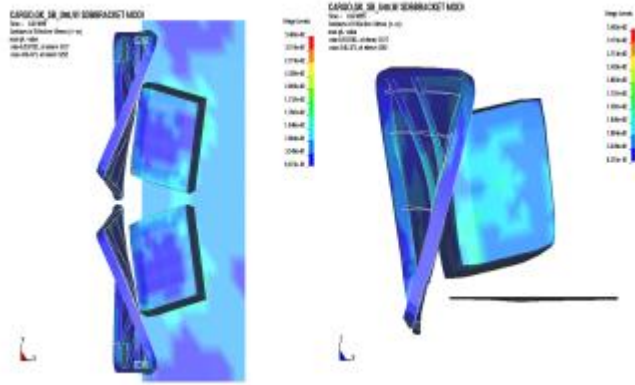


Şekil 2.7. 40/60 ve 50/50 oranında tam katlanabilir koltuk görselleri (Shin 2002)

Yaptıkları çalışmada 40/60 bölünmüş koltuk için merkez ve 50/50 koltuk için yanıl kilit mandallarını dikkate almışlardır. Merkez mandal için deformasyon ve 306 MPa çıkan gerilim değerlerinin kabul kriterleri içerisinde olduğunu belirtmişlerdir. Yanıl mandal için GMT iskeletinde maksimum 104 MPa gerilme çıktığını merkez mandal sistemine göre daha çok deplasman olmasına karşın koltuk sırtında plastik deformasyon meydana gelmediğini vurgulamışlardır. GMT malzemesi ile üretilen koltuğun çelik koltuğa göre %30 daha hafif olduğunu, maliyet açısından bakıldığında ise yaklaşık aynı seviyelerde üretim maliyetleri olduğunu vurgulamışlardır.

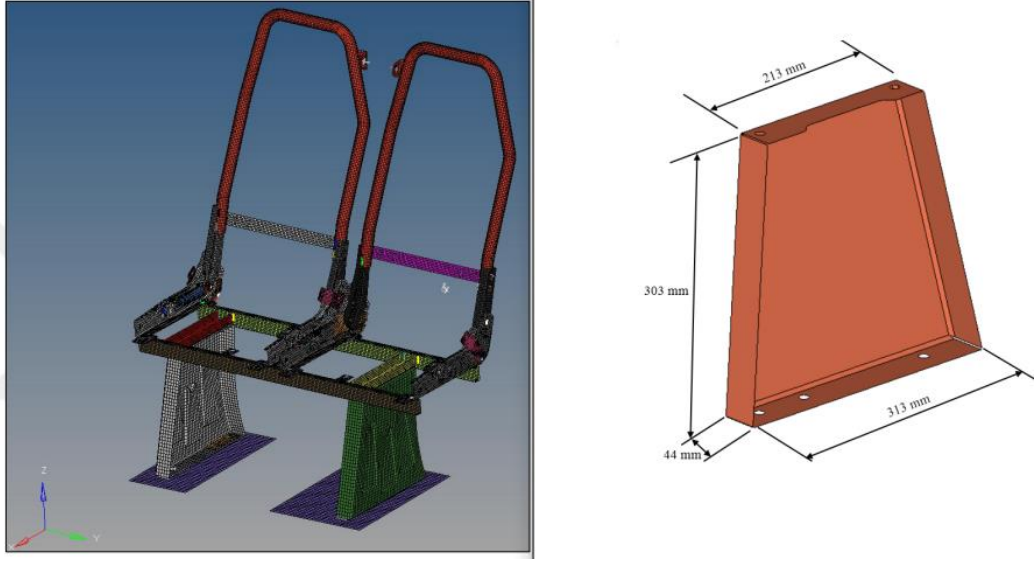


**Şekil 2.8.** Merkez kilit mandalı için gerilme sonuçları (a) Çarpma anında gerilme (b) Maksimum deformasyon anında gerilme (Shin 2002)



**Şekil 2.9.** Yanal mandal için maksimum deformasyon anında gerilme (Shin 2002)

Düvenci (2017) araştırmasında koltuk ayağı malzemesi olarak DP600 çelik, Al 5754 H22 alüminyum alaşımı, Titanyum grade 2 ve grade 5 için koltuk iskeletinde ECE R14 emniyet kemer çekme analizi yapmıştır. Aldığı sonuçlara göre dayanım ve maliyet analizi gerçekleştirmiştir.



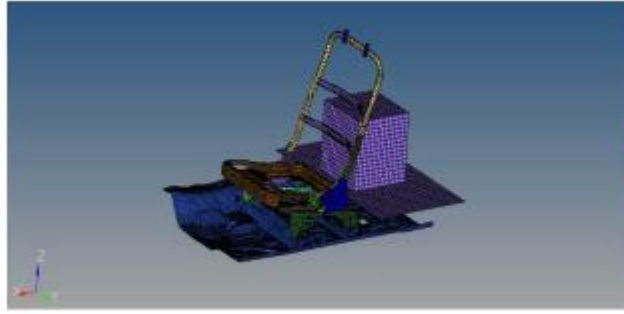
**Şekil 2.10.** Koltuk sonlu elemanlar modeli ve ayak ölçüleri (Düvenci 2017)

Çalışmasında 5 mm kalınlığında Al 5754 H22 malzemesindeki koltuk ayağı ile 2 mm kalınlığında DP 600 malzemesinden yapılmış koltuk ayaklarının ECE14 emniyet kemer çekme regülasyon kuvvetleri altında dayanım gösterdiklerini saptamıştır. 2mm DP 600 koltuk ayağı 1980 gr ağırlığa sahip iken 5 mm Al 5754 H22 ile 1640 gr ağırlığı olduğunu ölçmüştür. Ayrıca alüminyum alaşım malzeme ile %17,17 oranında hafifletme sağlanırken, %65,72 daha maliyetli olduğunu hesaplamıştır.

	Ayak Malzemesi			
	5 mm Al 5754 H22	2 mm DP600	1 mm Ti Grade 2	1 mm Ti Grade 5
Üst kemer noktasının deplasmanı	267 mm	274 mm	-	-
Ayaklardaki max. gerilme	132 MPa	460 MPa	Kırılıyor	Kırılıyor
Sırt iskeletindeki max. gerilme	788 MPa	782 MPa	-	-
Yan transvers sacındaki max. gerilme	763 MPa	761 MPa	-	-
Oturak karkasındaki max. gerilme	604 MPa	616 MPa	-	-

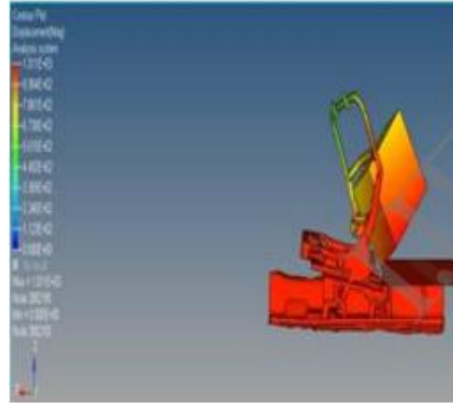
**Şekil 2.11.** Sonlu elemanlar analizinde elde edilen sonuçlar (Düvenci 2017)

Singh ve ark. (2014) çalışmasında, FMVSS 207 bagaj yükü çarpışma regülasyonunu sürücü koltuğu için uygulamıştır. İki farklı simülasyon yaptığı çalışmada sonlu elemanlar modelini HyperMesh ara yüzünde oluşturup analizi Ls-Dyna çözücüsünde çözdürmüştür. Yaptığı modellemede ortalama eleman boyutunu 10 mm almakla birlikte minimum 5 mm, maksimum 15 mm eleman boyutu olacak şekilde modellemiştir



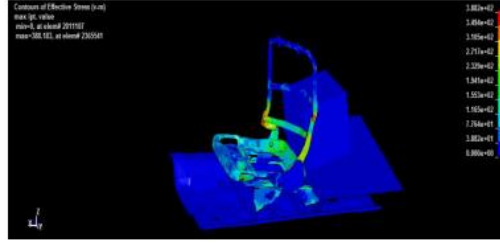
**Şekil 2.12.** Koltuk sonlu eleman modeli (Singh 2014)

İlk simülasyonda maksimum deplasman değerine 0.125 milisaniyede ulaşılmış ve 840 mm olarak elde etmiştir. Elde edilen deplasman değerinin beklenenden fazla olduğunu X ekseninde R point noktasının geçildiğini belirtmiştir.



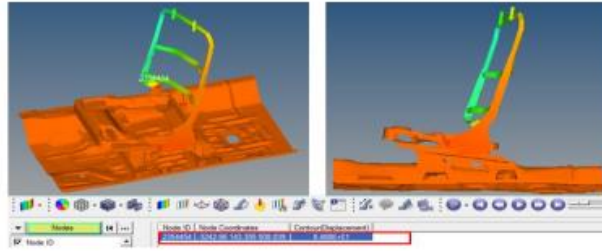
**Şekil 2.13.** Maksimum deplasman sonucu (Singh 2014)

Gerilme sonuçları için Von Mises gerilme sonucuna bakmıştır ve maksimum değeri 0.125 mili saniye anında 388.183 MPa olarak bulmuştur.



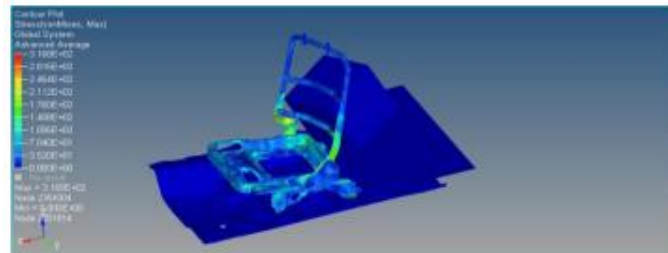
**Şekil 2.14.** Von Misses gerilme sonuçları (Singh 2014)

İkinci simülasyonda, koltuk sağlamlığını arttırmak için tüp kalınlığını ve çapraz bağlantı komponentinin kalınlığını arttırmıştır. Yeni modelde deplasman sonucunu 0.125 milisaniyede 84 mm olarak belirlemiştir. Bu deplasman değeri regülasyon şartlarına göre sınır değer içerisindeydi.



**Şekil 2.15.** Maksimum deplasman sonucu (Singh 2014)

Gerilme sonucu için maksimum deplasmanın olduğu 0.125. milisaniyede 180 MPa maksimum gerilme sonucu elde etmiştir.



**Şekil 2.16.** Von Misses gerilme sonuçları (Singh 2014)

Elde ettiği sonuçlar ile koltuk komponentlerinde yaptığı kalınlık artışıyla dayanımı daha yüksek bir koltuk tasarımı ortaya koyarak ilk tasarım ile regülasyon şartlarını sağlamayan koltuğu ikinci tasarımı ile güvenli hale getirmiştir.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Motorlu araçların, ülkelerin yönetmelik ve mevzuatları sağlaması gerekmektedir. Aracın satılacağı ülkelere göre şartlar farklılık göstermektedir. Avrupa Birliği ülkelerine satılacak araçlar için Avrupa Ekonomik Komisyonu (ECE) regülasyonları bulunmaktadır. Bu regülasyonlar araçların güvenlik şartlarını sağlamasını denetlemektedir. Bu çalışmada araç koltuklarına aracın önden çarpışması sonucu bagaj yükünün koltuğa çarpmasını kapsayan ECE R17 regülasyonuna ait testlerin M1 sınıfı koltuk için sanal analizleri gerçekleştirilecek olup tasarlanan koltuğun istenen dayanım şartlarını sağlayıp sağlamadığı incelenecektir.

Çalışma kapsamında 40/60 oranında bölünmüş arka koltuk tasarımı için ECE R17 bagaj yükü çarpışma analizi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacaktır. Analiz sonucuna göre dayanımı iyileştirilmesi gereken parça için iyileştirme çalışması yapılacaktır. Yapılan çalışma sonucunda oluşturulan tasarım için sonlu elemanlar analiziyle doğrulama çalışması tekrarlanacaktır. Doğrulanan tasarım için maliyet azaltma olasılıkları incelenecektir. ECE R17 analizi için analizle doğrulaması yapılan koltuğun fiziksel test sonuçları sunulacaktır. Ağırlık azaltmaya yönelik çelik yerine alüminyum alaşımlı malzeme kullanımının sonuçları incelenecektir.

#### **3.1. Araç Koltuklarının Sınıflandırılması**

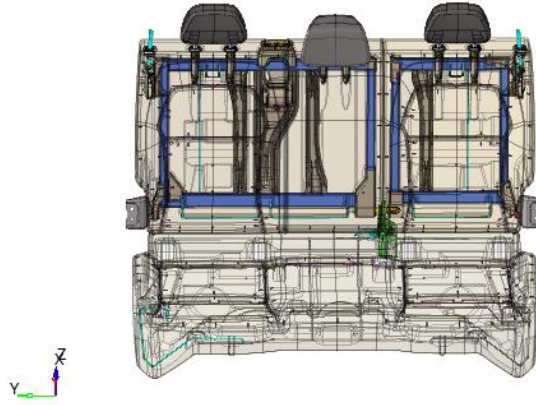
Araçlar belli kategorilerde sınıflandırılmaktadır. M sınıfı koltuk kategorisi en az 4 tekerlekli ve yolcu taşıyabilen araçları tanımlamaktadır. N sınıfı ise en az 4 tekerleğe sahip ve yük taşımak için kullanılan araçları tanımlamaktadır.

Bu çalışmada sürücü koltuğu haricinde en fazla 8 yolcu taşıyabilen M1 sınıfı bir araç koltuğunun araç güvenlik şartları için analizlerini gerçekleştireceğiz.

#### **3.2. M1 Sınıfı Binek Araç Arka Koltuğu**

40/60 oranında bölünmüş bir arka koltukta temel olarak; sırt iskeleti, oturak, sünger, kumaş komponentlerinden oluşmaktadır. Opsiyonel olarak başlık, kolçak elemanları da eklenmektedir.





**Şekil 3.1.** 40/60 bölünmüş arka koltuk tasarımı

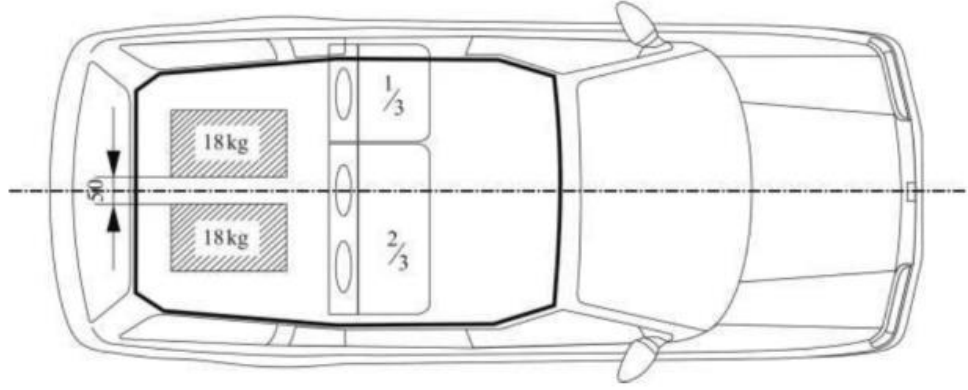
### **3.3. Araç Koltukları İçin Güvenlik Şartları**

#### **3.3.1. ECE R17 şartnamesi**

Bu şartnamede koltuk sırtının dayanıklılığı, başlık dayanımı, enerji yayılımı, koltuk bağlantı noktalarının dayanımı ve sırt bagaj yükü çarpışma dayanımı olmak üzere birçok test şartları bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında arka koltuk sırt iskeleti için aracın önden çarpışma esnasında bagaj yükünün arka koltuğa çarpma şartnamesi dikkate alınacaktır.

#### **3.3.2. ECE R17 bagaj çarpma testi**

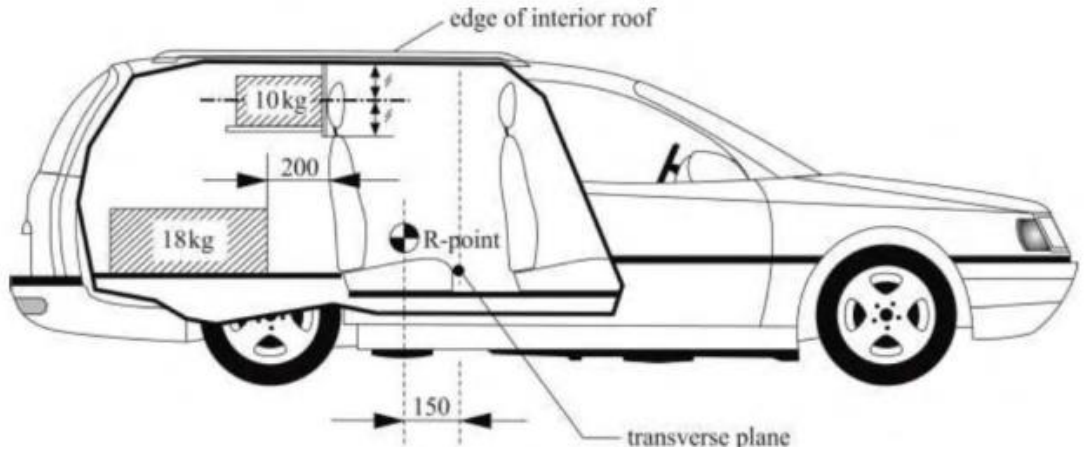
Bagaj çarpma şartnamesinde, aracın önden darbe alma esnasında bagaj yüklerinin koltuğa çarpması sonucu koltuk üstündeki etkileri ve yolcu güvenliği incelenmektedir. Bagaj yüklerinin koltuğu aşırıp yolcu bölümüne gelmesi, koltuk iskeletinde yırtılma meydana gelmesi, koltuğun belli bir değerden daha fazla deplasman yapması gibi sonuçlar istenmeyen durumlardır. Bu şartnamede belli bir konuma konumlandırılmış ve ölçüleri belli küp şeklinde cisimler kullanarak önden çarpışma testi yapılmaktadır. Aracın ivme- zaman grafiği ise alt ve üst değerler ile sınırlandırılmıştır.



**Şekil 3.2.** Test bagaj yük bloklarının araç üstünde üstten görüşünü (ECE R17 2019)

40/60 oranına sahip bir arka koltuk için 18 Kg kütleyle sahip 2 adet küp şeklinde cisim kullanılmaktadır.

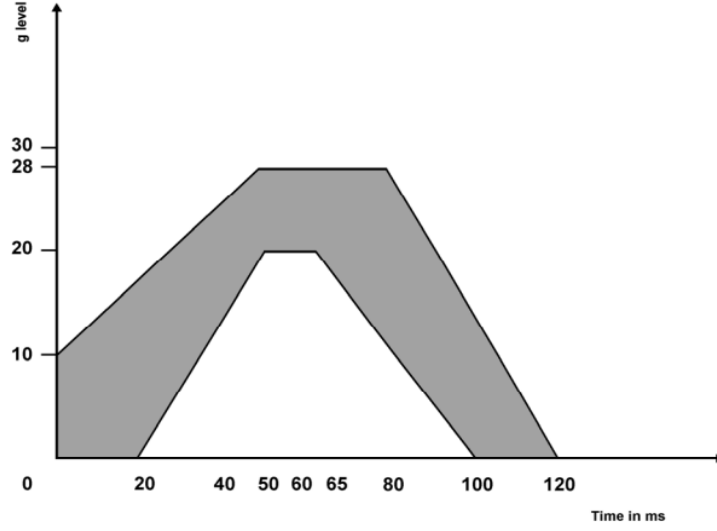
Küplerin ölçüleri 300mm × 300mm × 300mm şeklindedir. Küpler arasında ki mesafe 50 mm olmalıdır.



**Şekil 3.3.** Test bagaj yük bloklarının araç üstünde yandan görüşünü (ECE R17 2019)

Koltuk ile küpler arasındaki mesafe için, koltuğun arka noktasından 200 mm geride olma şartı bulunmaktadır.

CORRIDOR OF SLED'S DECELERATION OR ACCELERATION AS A FUNCTION OF TIME  
(Simulation of Frontal Impact)



**Şekil 3.4.** Sled sinyal koridoru (ECE R17 2019)

Testte uygulanacak ivme değeri için yukarıda görüleceği gibi bir koridor bulunmaktadır. Uygulanacak ivme bu alt ve üst sınırlar içerisinde tanımlanmaktadır. Grafikte dikey eksen ivmeyi (g), yatay eksen milisaniye cinsinden zamanı göstermektedir.

### 3.3.3. Test sonuçlarının değerlendirilmesi

Test sırasında başlıkların en üst konumda olduğu durumda iken yaptığı deplasman değeri R noktasından 150 mm mesafeye konumlandırılan dikey bir düzlemi geçmemesi gerekmektedir.

Başlık haricinde koltuk bütünü düşünüldüğünde ise, koltuğun yaptığı deplasman R noktasından 100 mm mesafeyi geçmemesi gerekmektedir.

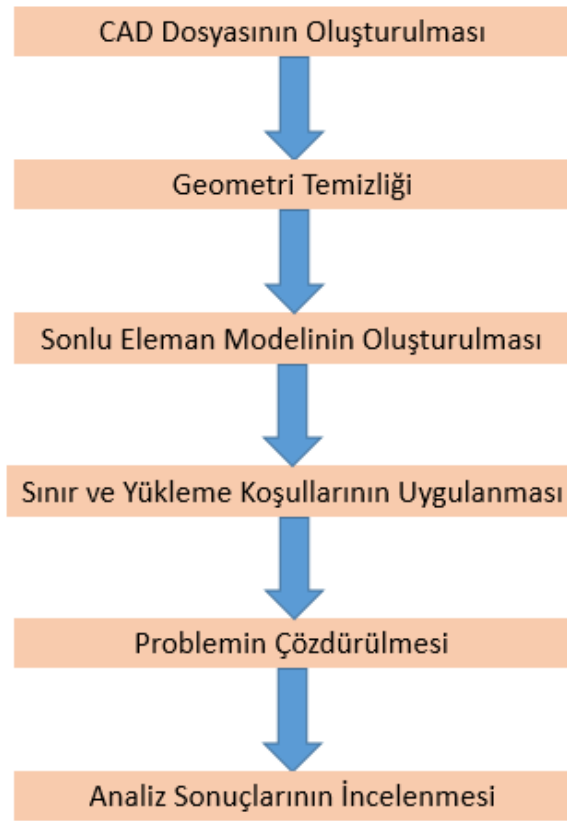
Yapılan bu ölçümlerin tamamı yatay düzlemdeki mesafelerdir.

Koltuk iskeletindeki sac veya diğer parçalarda yaralanmaya sebep olacak yırtılma, kopma görülmemelidir.

Ayrıca bagaj yüklerinin koltuğun arkasında kalmalı, yolcu alanına geçmemelidir.

### 3.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi

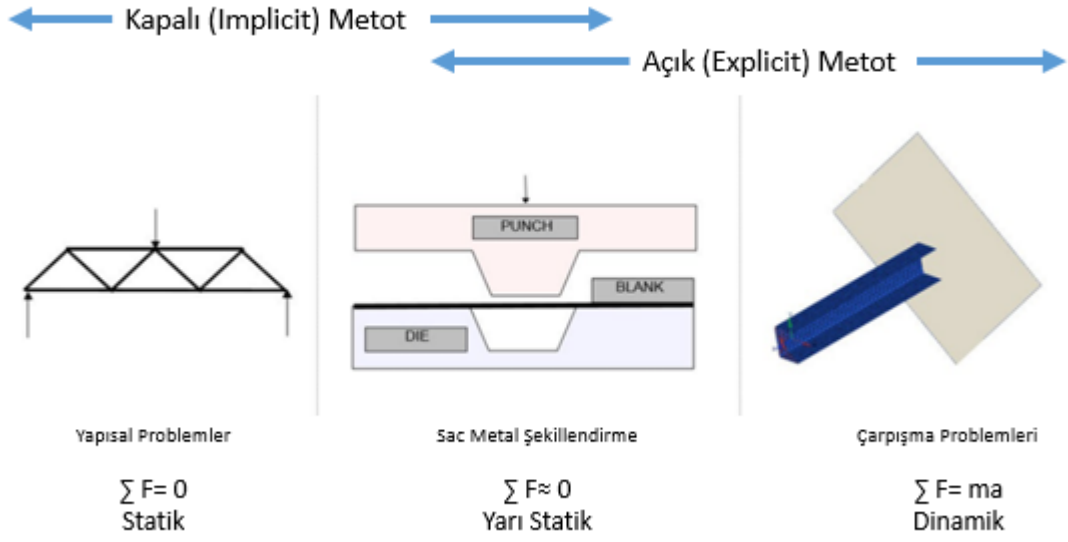
Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin tercih edilme sebebi çok karmaşık problemler de bile kısa süre içerisinde çözüm alınabilmesidir. Bu yöntem ile incelenecek yapı çok sayıda küçük parçalara bölünür. Bu parçalar eleman (mesh) olarak adlandırılır ve bu elemanlar düğüm noktalarından meydana gelmektedir. Her düğüm noktasının altı serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bunlar üç öteleme ve üç dönme serbestlik derecesiyle oluşmaktadır.



**Şekil 3.5.** Sonlu elemanlar yöntemi analiz gerçekleştirme adımları

Yukarıda sonlu elemanlar yöntemi ile ele alınan bir problemin iş akış şeması görülmektedir. Tasarım yazılımları vasıtasıyla oluşturulan bir tasarım için düzgün sonlu eleman modelinin yani mesh yapısının oluşturulabilmesi için geometri temizliği yapılmaktadır. Ardından istenilen analiz türü ve koşullara uygun eleman tipi ve boyutu belirlenerek ağ örgüsü oluşturulur. Mesh ile sonlu sayıdaki elemanlara bölünen tasarım,

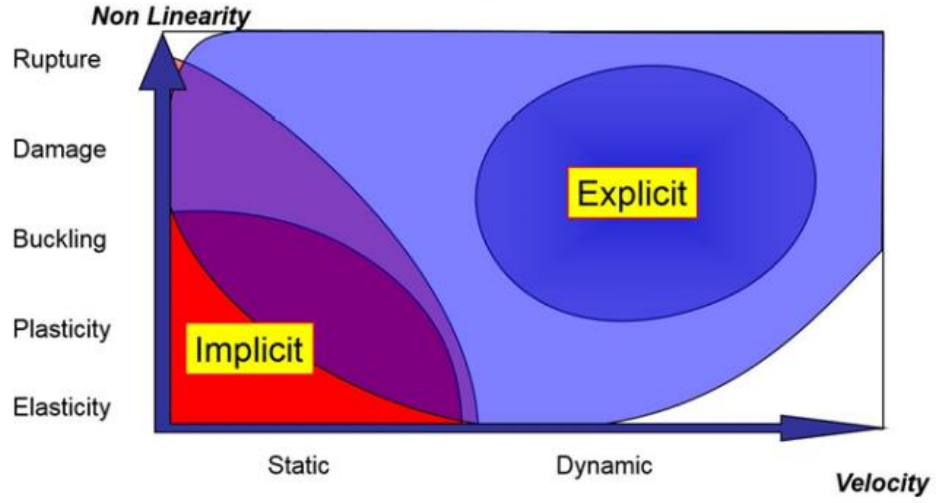
istenilen sınır ve yükleme şartlarının uygulanmasıyla birlikte sonlu eleman modelinin oluşturması tamamlanmış olur. Analiz türüne uygun olarak implicit (kapalı kod), explicit (açık kod) veya CFD çözücüsü gibi bir çok farklı çözücü arasından en uygun olanı seçilir ve mesh model çözdürülür. Çözüm sonrasında analiz sonuçları incelenir ve şartnameye uygunluğu kontrol edilir.



**Şekil 3.6.** Açık/Kapalı çözücü kullanımı (Anonim 2020)

Bir analiz zamandan bağımsız ise statik, zamana bağlı ise dinamik analiz olarak nitelendirebiliriz.

Analizlerde ivmenin sıfıra eşit olduğu statik durumlarda implicit kod kullanılmaktadır. Sac metal şekillendirme proseslerinde olduğu gibi ivmenin neredeyse sıfıra eşit olduğu durumlarda ise hem explicit hem implicit kod ile çözüm alınabilmekte birlikte çok daha stabil sonuçların alınabildiği explicit yöntem tercih edilmektedir. İvmeye sahip bir model için ise explicit kod ile çözüm almak doğru olacaktır.

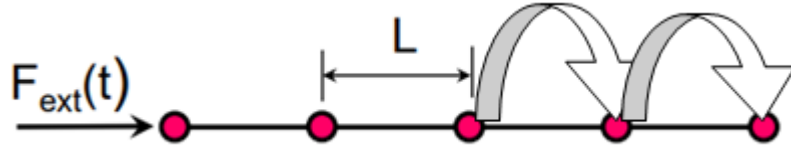


**Şekil 3.7.** Çözücü seçim kriterleri (Anonim 2020)

Implicit (kapalı) ve explicit (açık) kod seçiminde ivmenin yanı sıra ayrıca deformasyon hızları da büyük önem arz etmektedir. Kısa zaman içerisinde yüksek deformasyon içeren şartlarda explicit yöntem kullanılması gerekmektedir. Hızın düşük olduğu ve deformasyonun az olduğu veya malzeme eğrisinin doğrusal olduğu aralıkta ise implicit metot kullanımı uygun olmaktadır.

### 3.4.1. Açık kod kullanımı

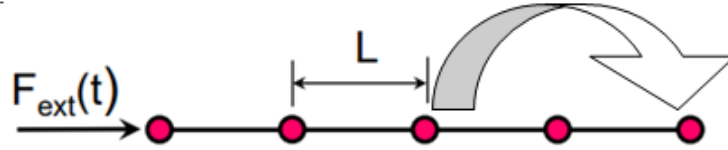
Açık kod ile alınan çözümlerde zaman adımı kavramı büyük öneme sahiptir. Zaman adımı, bir şok dalgasının bir elemanın en kısa uzaklığı aşması için gereken süre olarak ifade edilir. Açık kodlu çözümlerde her bir düğüm noktasındaki deplasman, gerilme değerlerinin hesaplanabilmesi için bu en kısa zaman adımının dikkate alınması gerekmektedir ve bu değer kritik zaman adımı olarak adlandırılmaktadır. Bu sebeple açık kodlu çözümlerde eleman boyutu ne kadar küçük olursa zaman adımı küçülecek ve çözüm süresi uzayacaktır.



**Şekil 3.8.** Stabil zaman adımları

Eğer  $\Delta t < \Delta t_{kritik}$  ise boyutu en küçük eleman üzerinden kritik zaman adımı belirlendiği için her bir düğüm noktası üzerinden sonuç hesaplanabilir, böylelikle stabil çözüm alınabilmektedir.

$\Delta t > \Delta t_{kritik}$  olduğu durumda ise, şok dalgaları her zaman adımı başına bir elemandan daha fazla eleman üzerinden geçerek düğüm noktası atlamaktadır. Bu duruma stabil olmayan çözüm olarak adlandırılır.



**Şekil 3.9.** Stabil olmayan çözümde eleman atlanması

### 3.4.2. Zaman adımı hesabı

Çalışmada kullanılacak Radioss çözücüsünde zaman adımı Elemental ve Nodal olmak üzere iki farklı parametrede hesaplanmaktadır.

### 3.4.3. Nodal zaman adımı hesabı

Nodal zaman adımı, her bir eleman düğüm noktalarının iç kuvvetlerin hesaplanmasından sonra hesaplanmaktadır.

$$\Delta t_n < \sqrt{\frac{2m}{k}} \quad (4.1)$$

m: nodal kütle

k: node'a ait sertlik

### 3.4.4. Elemanel zaman adımı hesabı

Elemanel zaman adımı, Radioss çözücüsünde varsayılan zaman adımı hesabı olarak tanımlıdır. Özel olarak nodal zaman adımı hesaplanması istenmediği durumda, çözüm için eleman üzerinde kritik zaman adımı hesaplanmakta ve çözüm gerçekleştirilmektedir.

$$\Delta t = \frac{l_c}{c} \quad (4.2)$$

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\vartheta^2)}} \quad (4.3)$$

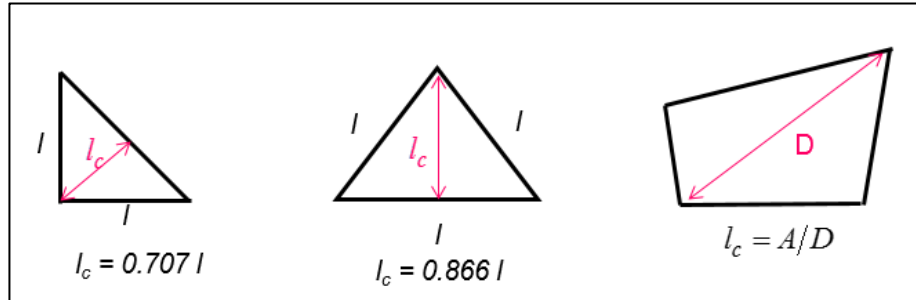
$C$ : ses hızı

$l_c$ : Karakteristik eleman uzunluğu

$E$ : Elastisite modülü

$\rho$ : Yoğunluk

$\vartheta$ : Poisson oranı



Şekil 3.10. Kabuk elemanlarda karakteristik uzunluk (SARISAC 2016)

### 3.4.5. Açık kod hesaplama adımları

Her bir zaman adımı için deplasman, hız, ivme, kuvvet, moment gibi dış kuvvetler hesaplanarak çözüm gerçekleştirilmektedir.

$$\ddot{x}_n = \frac{F_{dış}(t_n) - F_{iç}(t_n)}{m} \quad (4.4)$$

$$\dot{x}_{n+\frac{1}{2}} = \dot{x}_{n-\frac{1}{2}} + \ddot{x}_n \Delta t \quad (4.5)$$

$$x_{n+1} = x_n + \dot{x}_{n+\frac{1}{2}} \Delta t \quad (4.6)$$



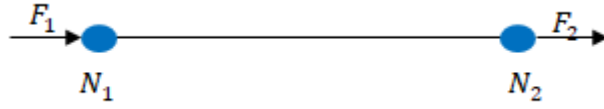
Gerinme,

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \text{ formülünden yola çıkarak; } \varepsilon_{n+1} = \frac{x_2^{n+1}-x_1^{n+1}}{l_0} - 1 \quad (4.7)$$

Gerilme,

$$\sigma = E\varepsilon \text{ formülünden yola çıkarak; } \sigma_{n+1} = E\varepsilon_{n+1} \quad \sigma_{n+1} = E \left( \frac{x_2^{n+1}-x_1^{n+1}}{l_0} - 1 \right) \quad (4.8)$$

$$F_1^{n+1} = -A\sigma^{n+1} \quad F_2^{n+1} = A\sigma^{n+1}$$



Şekil 3.11. Düğüm noktaları arasında kuvvet aktarımı

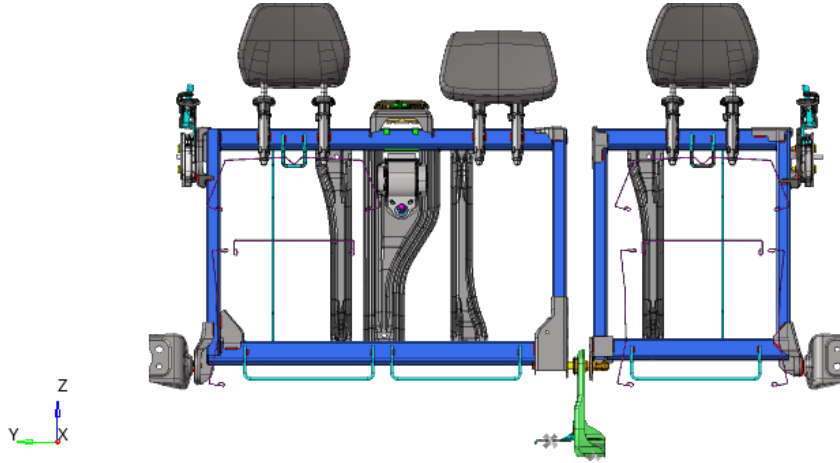
$$F_i(t_{n+1}) = \sum_j F_j(t_{n+1})$$

$$\ddot{x}_n = \frac{F_{dis}(t_n) - F_{ic}(t_n)}{m} \quad (4.4)$$

Yukarıda ivme (4.4), hız (4.5) ve deplasman (4.6) formülleri görülmektedir. Bir düğüm noktasından komşu bir düğüm noktasına iletilen şok dalgasıyla oluşan çıktılar için ana formüller olarak dikkate alınmaktadır. Gerinme formülünde iki düğüm noktası arasındaki ilk uzunluk ve son uzunluk arasındaki farktan epsilon değeri hesaplanmaktadır (denklem 4.7). Gerinme formülünde hesaplanan şekil değiştirme değeri ve malzemesinin karakteristik değeri olan elastisite değeri çarpılarak gerilme değeri elde edilir (denklem 4.8). Elde edilen gerilme değerinden eleman kesit alanına uygulanan kuvvet değeri bulunur. Bulunan bu değer bir sonra ki düğüm noktası için referans olarak kullanılan değerdir ve gerinme, gerilme değerleri hesaplanmasında kullanılarak her düğüm noktası için döngü halinde hesaplanmaktadır. Bu hesaplama her bir düğüm üstündeki sonuçları elde edene kadar devam etmekte ve böylelikle sonlu eleman modelinden çözüm alınmaktadır.

### 3.5. Koltuk Tasarımı

Koltuk modeli Catia V5 cad tasarım yazılımı içerisinde katı model olarak çalışılmıştır. Sonlu eleman modelinin daha rahat oluşturulması için sac parçalarda ayrıca orta yüzey yaratılmıştır.



Şekil 3.12. Koltuk CAD görünümü

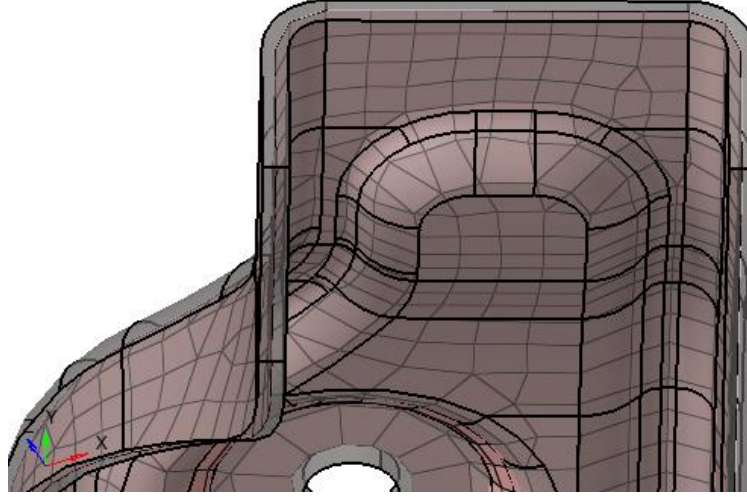
### 3.6. Koltuk Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Çizelge 3.1. Model birim sistemi

Model Birim Sistemi	
Uzunluk	mm
Kütle	kg
Zaman	ms

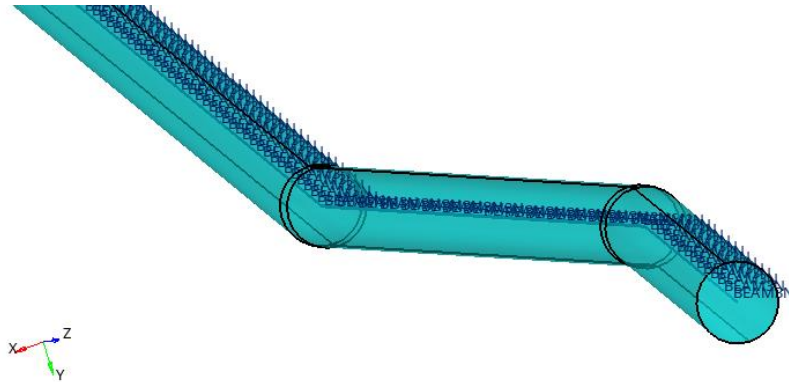
Koltuk sonlu elemanlar modeli HyperMesh ve HyperCrash yazılımlarında oluşturulmuştur. Birim sistemi çizelge 3.1 de gösterildiği gibi mm-kg-ms-kN-GPa olarak belirlenmiştir. İskeletin çoğunluğunu oluşturan sac metal parçalar kabuk eleman ile modellenmiştir. Kabuk elemanlar üç boyutlu parçanın orta yüzeyinde oluşturulmuş ve her iki yüzeye parça kalınlığının yarısı kadar izotropik olacak şekilde derinlik verilmiştir. Kabuk eleman boyutu parçaların en kısa kenar boyutları, zaman adımı parametreleri göz önüne alınarak ortalama 4 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Kabuk

model, dört düğüm noktasına sahip kare eleman ve üç düğüm noktasına sahip üçgen elemanlardan oluşmaktadır.



**Şekil 3.13.** Sac metal parçalarda kabuk eleman kullanımı

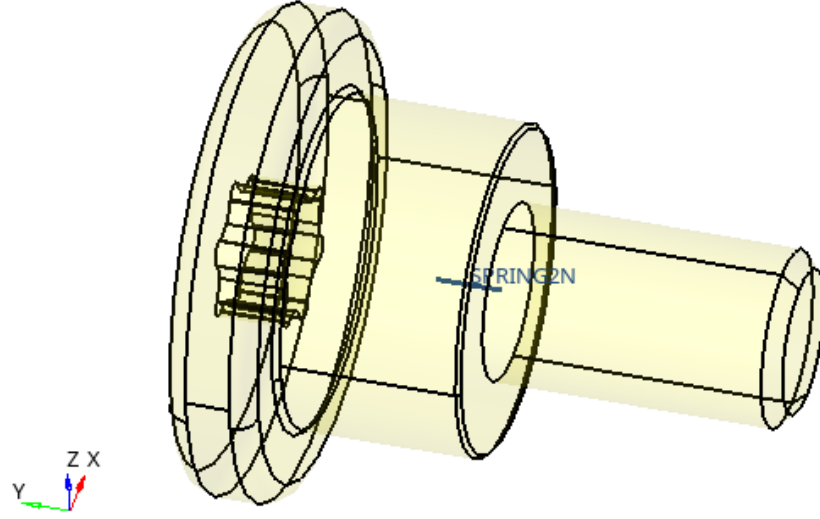
Sırt iskeletindeki teller bir boyutlu kiriş eleman ile oluşturulmuştur. Ortalama 4 mm eleman boyutu dikkate alınmıştır. Silindirik olan tel geometrisini temsil edebilmesi için çap bilgisi girilmiştir.



**Şekil 3.14.** Tel modellenmesinde kiriş eleman kullanımı

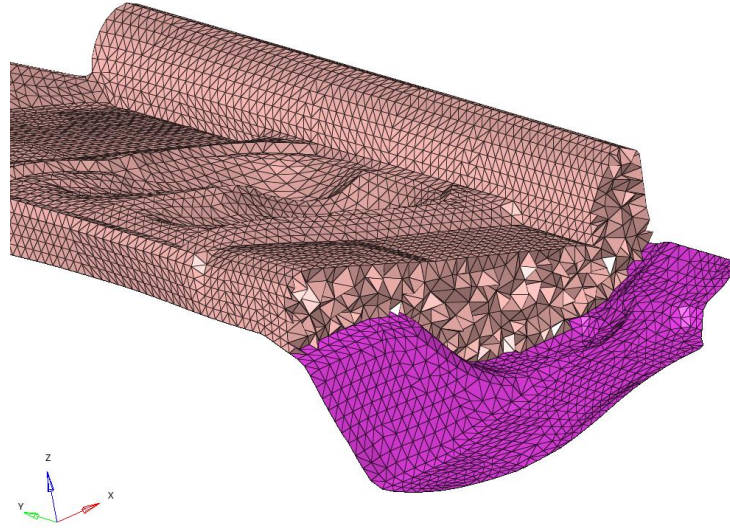
Cıvatalar Radioss çözücüsünde tip 13 olarak sınıflandırılan yay elemanlar ile modellenmiştir. Bu yay elemanların en önemli özellikleri bası-çeki, burulma ve burkulma davranışlarını simüle edebiliyor oluşudur. Kartezyen koordinat sistemi

referans alındığında X, Y, Z eksenlerinde öteleme ve dönme serbestlikleri olmak üzere altı serbestlikleri vardır. ( $D_x, D_y, D_x, R_x, R_y, R_z$ ). Bu çalışmada cıvata davranışını temsil edebilmesi için eleman boyuna olan Y eksenindeki dönme serbestliği hariç diğer tüm dönme ve öteleme hareketleri sabit tutulmuştur



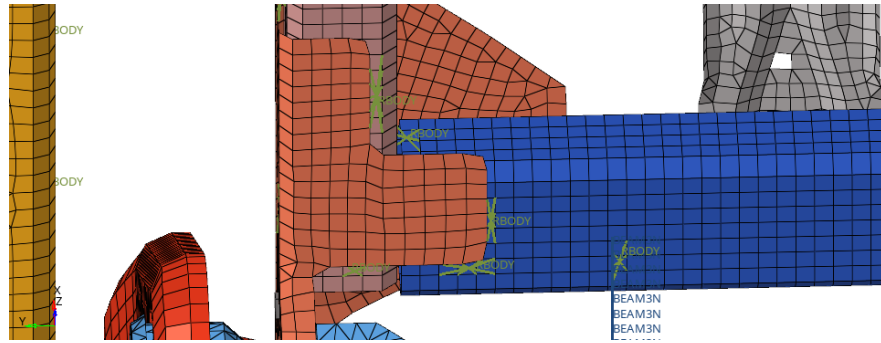
**Şekil 3.15.** Cıvata modellenmesinde yay eleman kullanımı

Sünger, üçgen prizma elemanlarından oluşacak şekilde üç boyutlu olarak modellenmiştir. Ortalama eleman boyutu 15 mm olarak belirlenmiş olup eleman kalite parametrelerinden tetra collapse değerinin 0.1 den büyük olmasına dikkat edilmiştir.



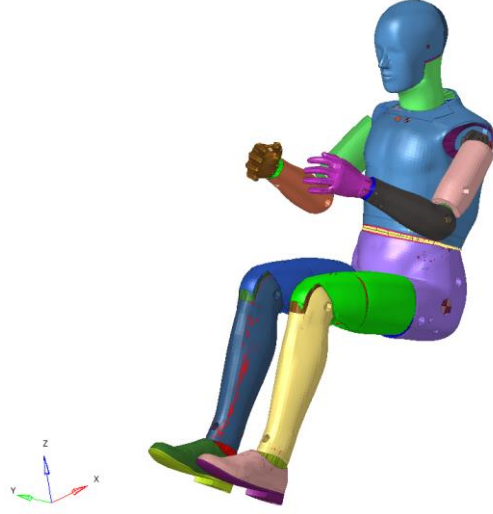
**Şekil 3.16.** Sünger modellenmesinde üç boyutlu eleman kullanımı

Kaynaklar, ark kaynakları için rijit eleman tipi olan Rbody ile, punto kaynak için yazılım içerisinde var olan punto kaynak oluşturma araçları kullanılarak yay elemanlar ile modellenmiştir.



**Şekil 3.17.** Kaynak modellenmesi

Testte kullanılan mankeni simüle etmek için, deforme olabilir yaklaşık 80 Kg ağırlığına sahip erkek manken kullanılmıştır.

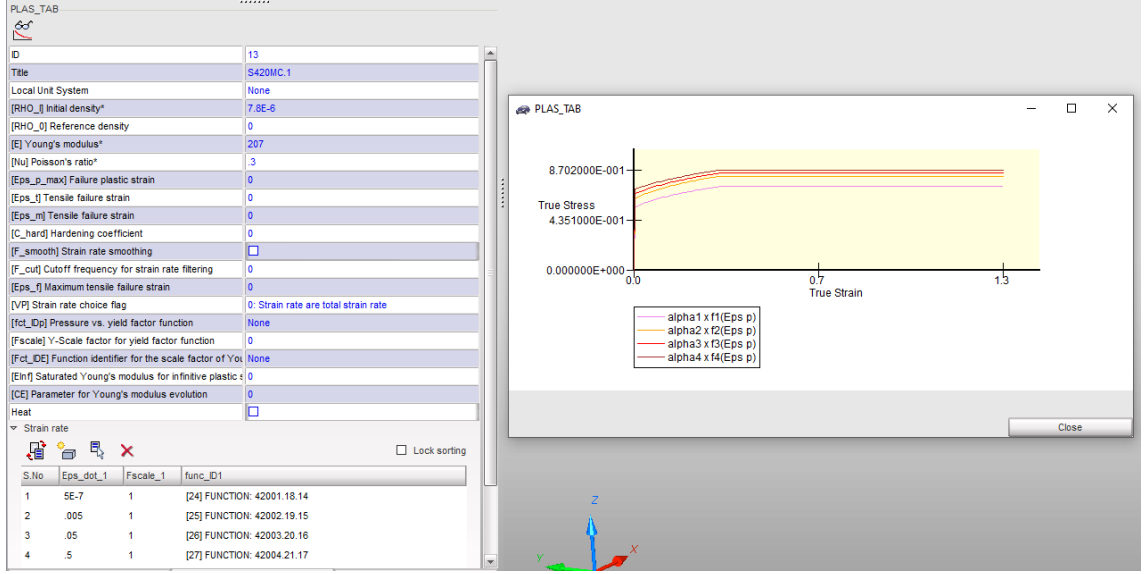


**Şekil 3.18.** %50 lik boyutlarında manken görünümü

### **3.6.1. Malzeme Özellikleri**

Bu çalışmada koltuk iskelet profil ve braketler için S420 çelik malzemesi seçilmiştir. S420 malzeme tanımı için; çelik yoğunluğu, elastisite modülü, poisson oranının yanı sıra farklı çekme hızlarında çekilen dört test numunesinden elde edilen mühendislik gerilme- gerinme eğrileri yazılımın dikkate aldığı gerçek gerilme-gerinme eğrilerine gerekli formülüzasyonlar kullanılarak oluşturulmuştur. Farklı hızlarda çekme testi uygulanmasının sebebi yapılacak analizin dinamik bir analiz olduğundan ve malzeme farklı hızlarda farklı davranış göstereceğinden fiziksel test sonuçlarına yakınsamayı arttırabilmek için uygulanmıştır.

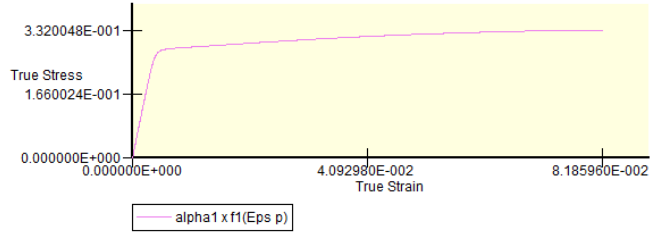
Bu çalışmada S420MC malzemesi için %20 plastik deformasyondan sonra parçada yırtılma başlayacağı kabul edilmiştir.



**Şekil 3.19.** S420MC malzeme özellikleri ve çekme test eğrileri

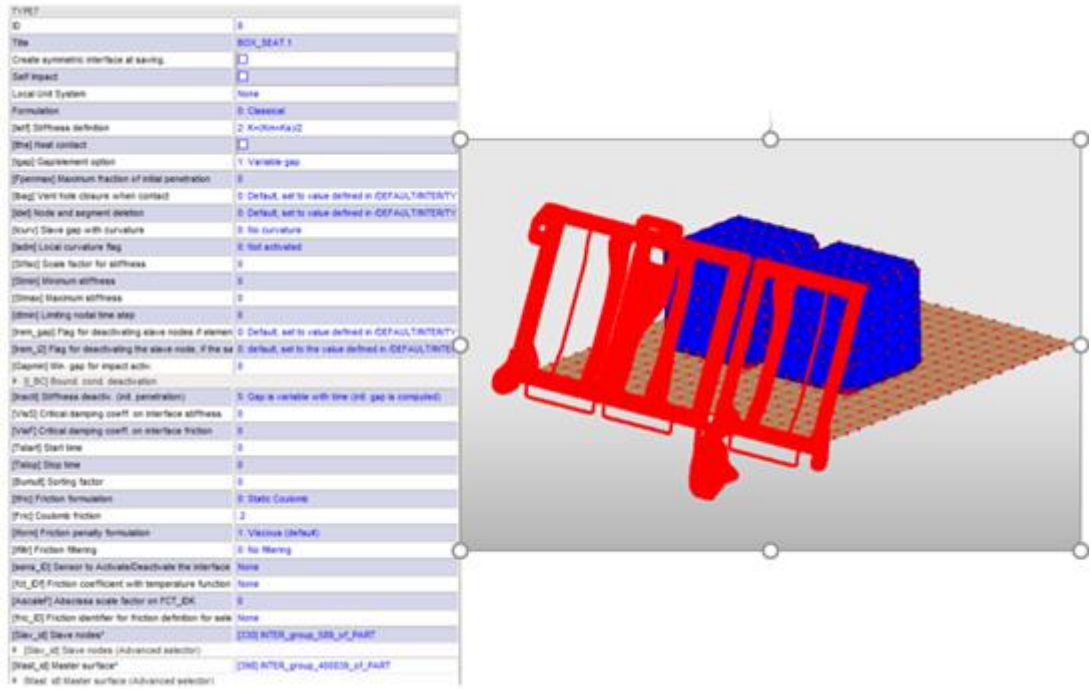
Ağırlık azaltma amacıyla alüminyum alaşımlarından Al 6082 malzemesi ile ECE17 analizi tekrarlanmıştır. Kullanılan malzemenin mekanik özellikleri ve Gerilme- Gerinim eğrisi tanımlanmıştır.

Title	alumin_6082
Local Unit System	None
[RHO_0] Initial density*	2.7E-6
[RHO_0] Reference density	0
[E] Young's modulus*	70
[Nu] Poisson's ratio*	.33
[Eps_p_max] Failure plastic strain	0
[Eps_t] Tensile failure strain	0
[Eps_m] Tensile failure strain	0
[C_hard] Hardening coefficient	0
[F_smooth] Strain rate smoothing	<input type="checkbox"/>
[F_cut] Cutoff frequency for strain ra	0
[Eps_f] Maximum tensile failure strain	0
[VP] Strain rate choice flag	0: Strain rate are total strain rate



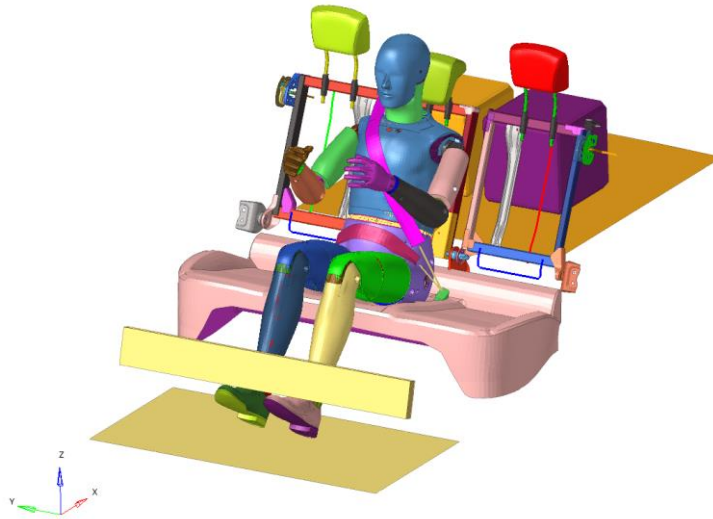
**Şekil 3.20.** Al 6082 malzeme özellikleri ve çekme test eğrisi

Komponentler arasında ki teması tanıtabilmek için Radioss kontak tiplerinden tip 7 ve tip 11 kontakları kullanılmıştır. Burada tip 7 yüzey- yüzey temaslarını, tip 11 ise düğüm-yüzey temasları için tercih edilmiştir. Sürtünme katsayısı metal-metal temasları için  $\mu = 0.2$  alınmıştır.



Şekil 3.21. Type 7 kontak tanımlaması

### 3.6.2. Koltuk sonlu elemanlar modeline ECE R17 regülasyonunun uygulanması

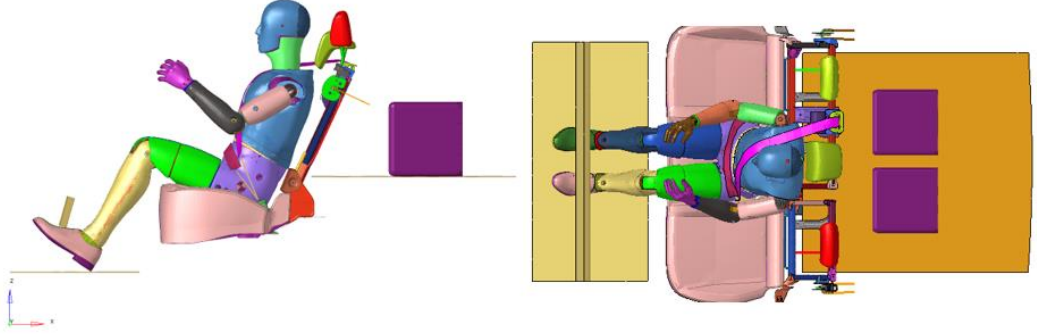


Şekil 3.22. ECE R17 regülasyon uygulama sonrası model görünümü

Koltuk sonlu elemanlar modeli tamamlandıktan sonra şartnameye uygun sınır ve yükleme şartları uygulanmaktadır. Bagaj tabanını temsil edecek bir düzlem üzerine

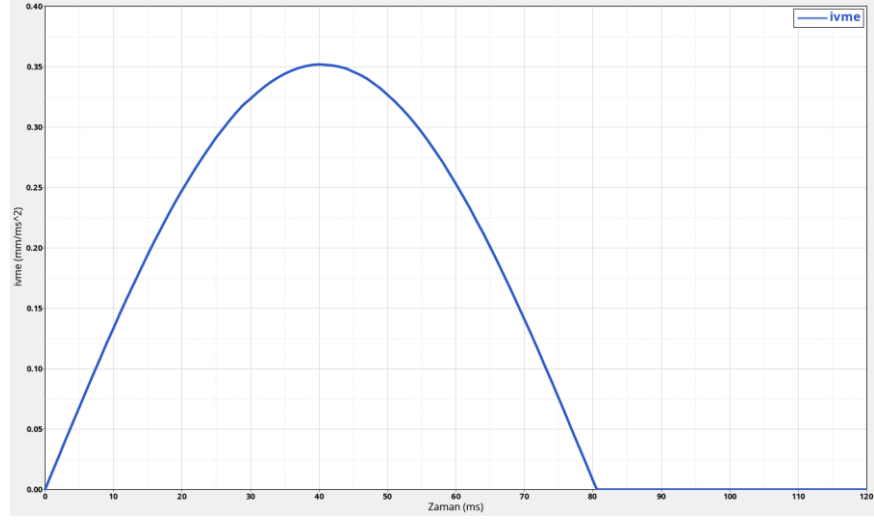


bloklar koltuktan 200 mm geride ve aralarında 50 mm mesafe olacak şekilde konumlandırılmıştır. Test koşullarında X yönünde hareket eden taban sınırlarını sağlamak için koltuk ile araç bağlantı noktaları ve bagaj taban düzlemi için X yönünde ötelemeye izin verilirken diğer yönlerde öteleme ve dönme hareketleri kısıtlanmıştır. Yer çekimi tüm yapıyı etkileyecek şekilde -Z yönünde uygulanmıştır.

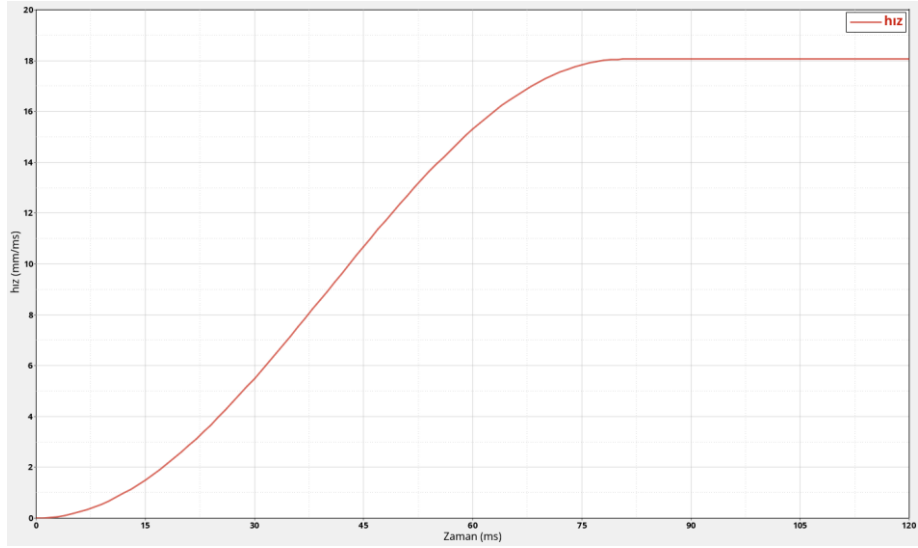


**Şekil 3.23.** Modelin yandan ve üstten görünümü

İvme,  $mm/ms^2$  cinsinden aşağıdaki gibi uygulanmıştır. Burada 40'inci milisaniyede  $0.3518 mm/ms^2$  maksimum ivme uygulanmıştır. Hız olarak bakıldığında ise maksimum 18,05 mm/ms hıza ulaşmıştır. Uygulanan ivme regülasyon koridor sinyalinden farklı olarak mankenli modele uygun olarak önden çarpma sinyali tanımlanmıştır.



**Şekil 3.24.** İvme eğrisi



**Şekil 3.25.** Hız eğrisi

Regülasyon şartlarının uygulanmasıyla birlikte tamamlanan modelleme sonrasında toplam 712,059 eleman oluşmuştur.

nodes=	350697
elems=	712059
comps=	738

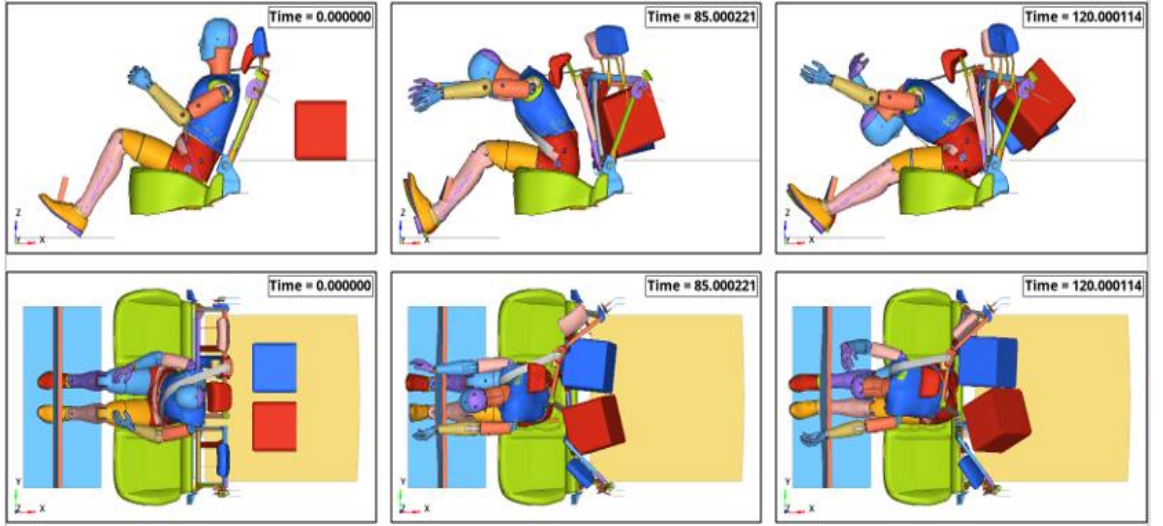
**Şekil 3.26.** Toplam eleman sayısı

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma M1 sınıfı bir yolcu arka koltuğunun sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmesi, oluşturulan modelin ECE R17 bagaj yükü çarpma test koşulları altında analiz edilmesi, fiziksel testinin yapılması, sonuçların değerlendirilmesi ve köşe braketi için en uygun malzeme, kalınlık ve tasarımın belirlenmesiyle sonuçlandırılmıştır.

### 4.1. Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

#### 4.1.1 Animasyonun incelenmesi

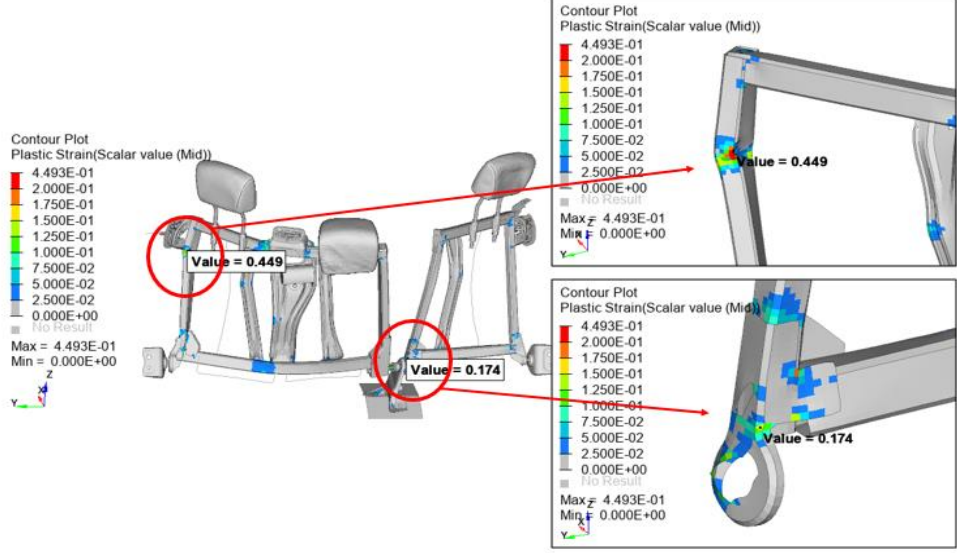


Şekil 4.1. Animasyon görüntüleri

120 milisaniyeye kadar koşturulmuş modelde; başlangıç anı, maksimum deplasmanın olduğu 85. ms deki davranış ve 85 ms den sonra başlayan geri yaylanma davranışıyla birlikte 120 ms de oluşan durum gözlemlenmiştir.

Görsel olarak baktığımızda regülasyon şartlarına uygun olarak blokların koltuk önüne geçmediği görülmektedir.

#### 4.1.2 Plastik deformasyon sonuçlarının incelenmesi



**Şekil 4.2.** Plastik deformasyon sonuçları

Çıktı olarak istenen plastik deformasyon sonuçlarına göre maksimum değer %45 ile profil üstünde görülmüştür. Bu değer belirlediğimiz %20 yırtılma başlangıç değerinden büyüktür fakat profilin bükülme davranışı incelendiğinde malzemenin çeki kuvvetinden ziyade bası kuvvetine maruz kaldığı görülmektedir. Bası davranışı için profil üstünde yırtılma olmayacağı öngörülmüştür.

Bu çalışma kapsamında incelenen iç köşe braketinde çekme kuvvetleriyle meydana gelen %17,4 plastik deformasyon yırtılma başlangıç sınırının altında kaldığı ve risk oluşturmayacağı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre koltuk tasarımının regülasyon şartlarını sağladığı ve fiziksel testinin yapılabileceği yorumu yapılmıştır.

#### 4.2. Analiz sonuçlarının fiziksel test ile karşılaştırması

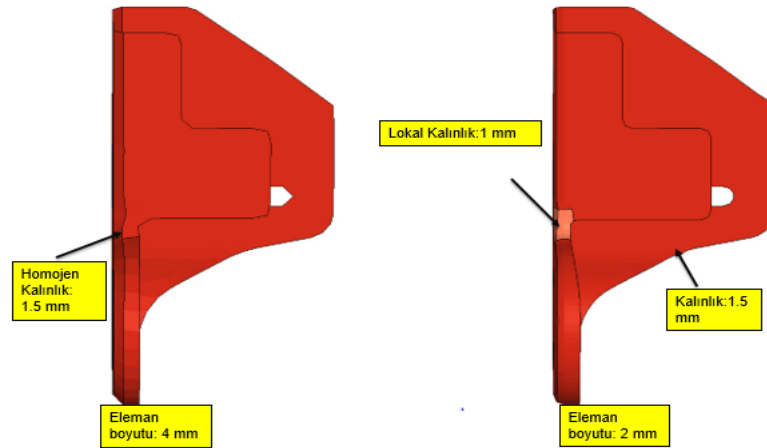
Sonlu elemanlar analizi yapılan ve tasarım doğrulama amacıyla üretilen prototip koltuk iskeleti üzerinde gerçekleştirilen ECE17 fiziksel testi sonucunda iç köşe braketinde yırtılma görülmüştür. Sonlu elemanlar analizde ise yırtılma riski olmayacağı yönünde sonuçlar elde edilmişti. Test sonuçlarını iyileştirmek, iç köşe braketinde yırtılma riskini gidermek ve en uygun çözüm için farklı tasarım, kalınlık, malzeme çalışmaları

yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar daha kısa sürede ve daha az maliyetli olacağından fiziksel testten önce sonlu elemanlar modeli üzerinden yapılması doğru olacaktır. Doğruluğu sağlanmamış sonlu eleman model üzerinde yapılacak çalışmalar ise anlamsız hale gelecektir. Bu bulgular neticesinde analiz sonuçları ile fiziksel test sonuçları arasında kolerasyon çalışmaları yapılması gerekmektedir.



**Şekil 4.3.** Fiziksel testte oluşan braketteki yırtılma

#### 4.3. Sonlu eleman modelinin test ile kolerasyonunun arttırılması

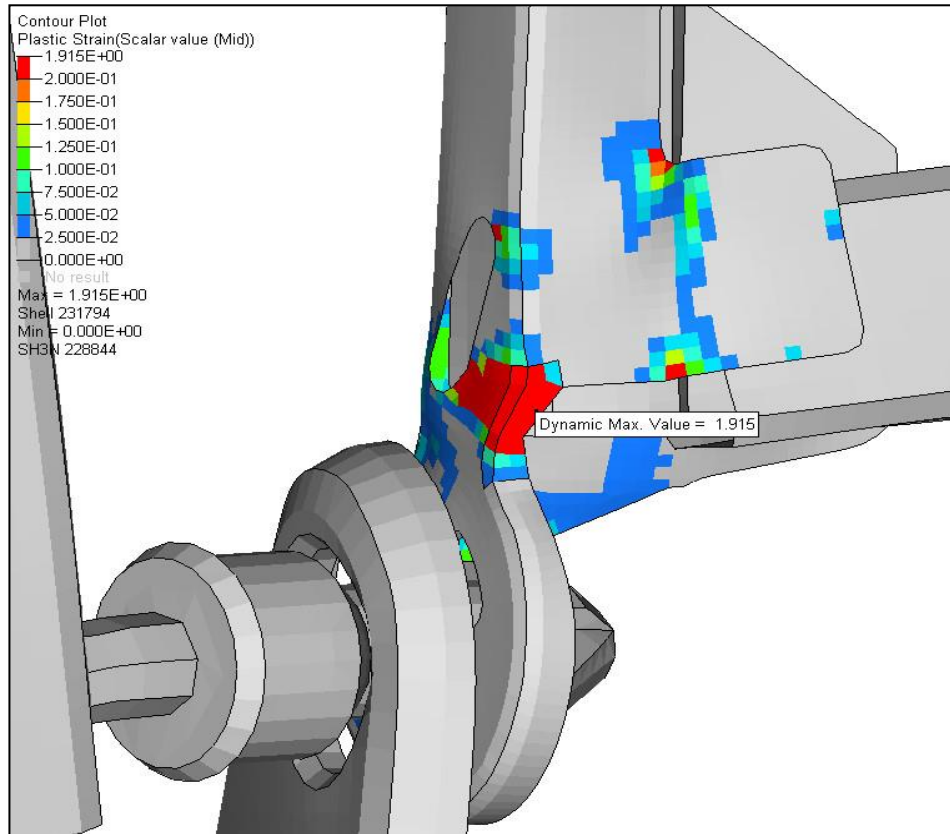


**Şekil 4.4.** Braket modelleme doğruluğu tanımlamaları

Yapılan araştırmalar sonucunda braketin üretiminde formlama sırasında yırtılmanın görüldüğü bölgede kalınlığın lokal olarak 1 mm ye kadar düştüğü saptanmıştır. Bu bulgular doğrultusunda sonlu eleman modelinde kalınlığın düştüğü bölgede lokal kalınlık ataması yapılmış ve daha hassas sonuçlar alabilmek için eleman boyutu 4 mm den 2 mm ye düşürülmüştür.

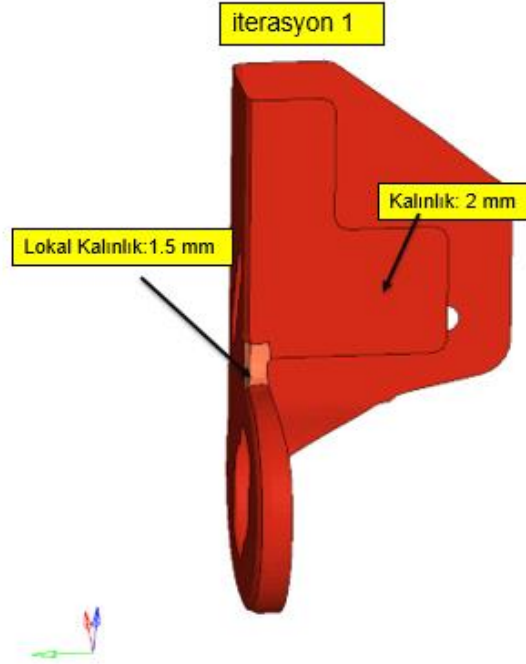
#### 4.3.1. Kalınlık değişimi sonrası analiz sonuçlarının test ile karşılaştırılması

Sonlu elemanlar modelinde yapılan lokal kalınlık değişimi ile elde edilen sonuçlara göre %191 plastik deformasyon görülmüştür. Yırtılma başlangıcı olarak kabul ettiğimiz %20 değerinden büyük çıkan bu sonuç ile düzenlenen sonlu elemanlar modelinden fiziksel test sonuçlarıyla benzer veriler elde edildiği görülmüştür.



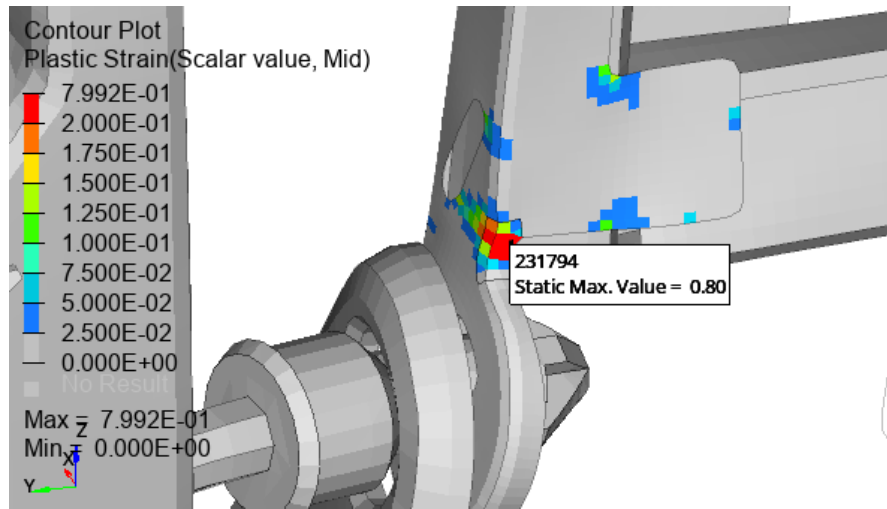
şekil 4.5. Braket plastik deformasyon sonuçları

#### 4.4. Braket Kalınlığını Artması Durumu



Şekil 4.6. Birinci iterasyon tasarım değişikliği

Mevcut kalınlığı 1.5mm olan braketin kalınlığını 2mm ye çıkarmak ve üretimden sonra lokal kalınlığın ilgili bölgede 1.5 mm olacağı belirlenerek analiz tekrarlanmıştır. Kalınlık artışıyla braketin dayanımını artırılarak plastik deformasyon değerini düşürmek amaçlanmıştır.

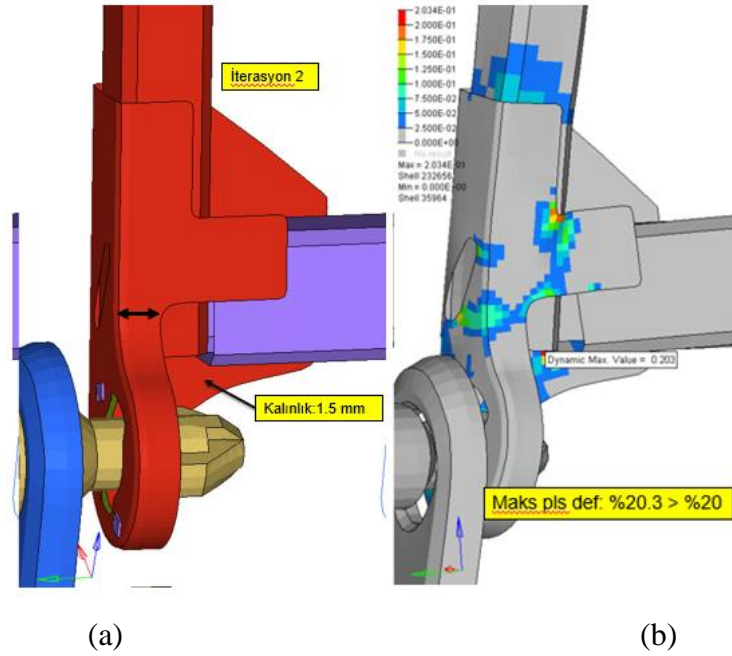


Şekil 4.7 Birinci iterasyon plastik deformasyon sonuçları

Çıkan sonuçlara göre plastik deformasyon değeri %191 den %80 e düşmüştür fakat hala %20 sınır değerinden yüksektir.

#### 4.5. Kesit Kalınlığının Arttırılması

Kalınlığın 1.5 mm tutulduğu ve yırtılmanın görüldüğü kesit genişletilerek üretim sırasında oluşan lokal kalınlık azalma önlenerek yapılan tasarım değişikliğine göre plastik deformasyon sonucu %20,3 çıkmıştır. İlk duruma göre majör iyileşme görünmüş olsa da hala sınır değerden yüksek olduğu görülmektedir.

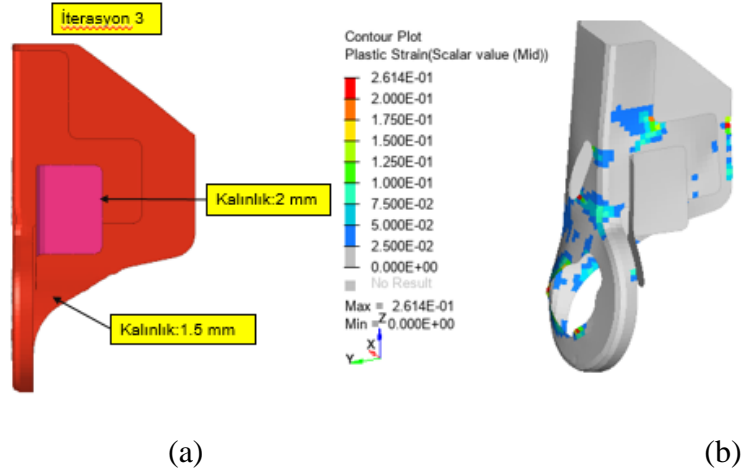


Şekil 4.8. İkinci iterasyon sonuçları (a) Tasarım değişikliği (b) Plastik deformasyon

#### 4.6. Destek Braketi Eklenmesi

Üçüncü çalışma olarak kalınlığın orijinal tsarımla aynı (1.5mm) olduğu ve ikinci iterasyonda ki genişletilmiş tasarımın uygulandığı ayrıca 2 mm ek destek braketinin eklendiği tasarımda yırtılma görülen bölgede ki plastik deformasyon miktarının azaldığı ve %20 yırtılma başlangıç sınır değerinin altına düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlar ile sonlu elemanlar üzerinden yapılan çalışma tamamlanmıştır.

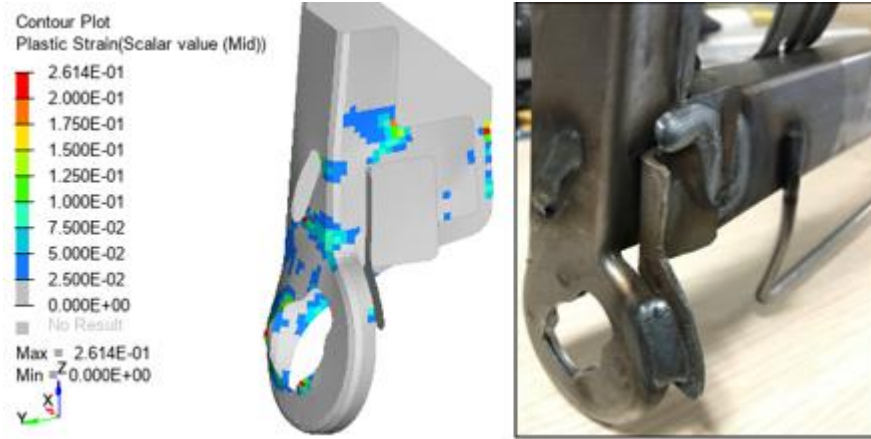




**Şekil 4.9.** Üçüncü iterasyon sonuçları (a) Tasarım değişikliği (b) Plastik deformasyon

#### 4.6.1. Değişen tasarımın fizik test ile doğrulanması

Yenilenen tasarımın fiziksel test ile doğruluğu saptanması gerekmektedir. Yeni tasarıma göre üretilen prototip koltuk üstünde yapılan test sonucunda ise sonlu elemanlar analiz sonucunda olduğu gibi yırtılma görülmemiş ve bu koltuk tasarımı ile ECE R17 şartlarına uygun sonuçlar elde edilmiştir.

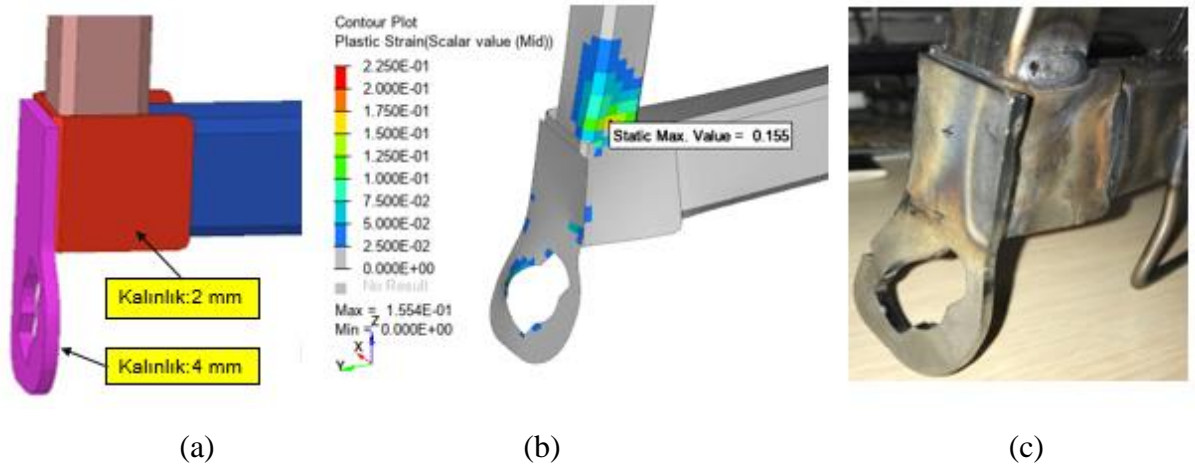


**Şekil 4.10.** Üçüncü iterasyon analiz - test karşılaştırması

#### 4.7. Üretim Maliyeti Azaltmaya Yönelik Tasarım Değişikliği

Köşe braketindeki yırtılma riskinin giderildiği tasarım incelendiğinde, bir çok şekillendirme, bükme ve kesme işlemlerinin olduğu bir proses süreci ortaya çıktığı

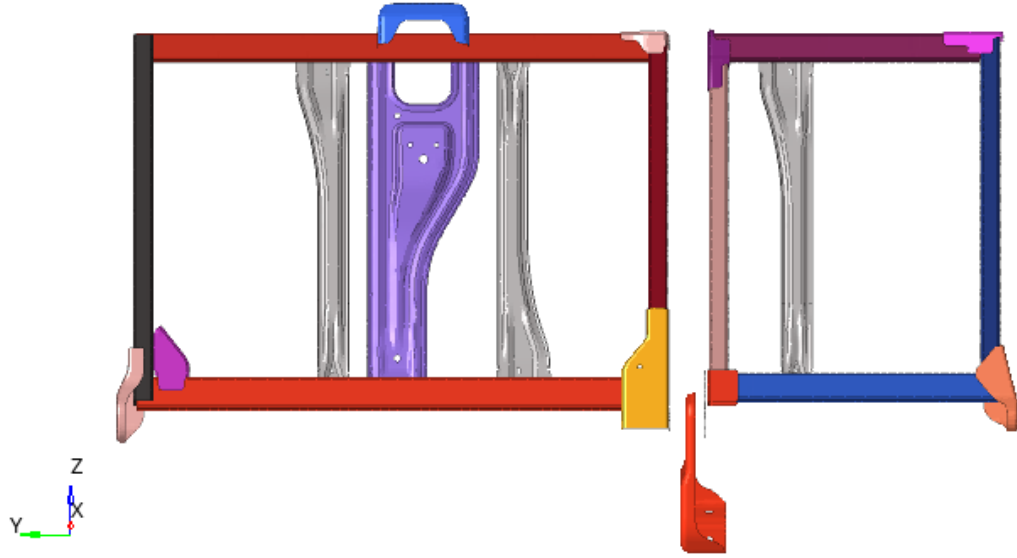
görülmektedir. Kademeli sac metal şekillendirme ile üretilebilecek bu parçanın kalıp yatırım ve işçilik maliyetleri de yüksek olduğu görülmektedir. Tasarım basitleştirme çalışmaları sonucunda şekil 4.11 de ki gibi üretimi daha kolay ve daha ucuz bir tasarım değişikliğine gidilmiştir. Burada kullanılacak braketler için 4 mm ve 2 mm kalınlıkta S420MC malzemesinden üretilecektir. Sonlu elemanlar analizi ile yeni tasarımda riski olmadığı görülmüş ve prototip koltuk üretimi yapılarak fiziksel testi yapılmış ve test sonucunda da herhangi risk görülmemiştir. Böylelikle tasarım dondurulmuş olup seri üretime uygun bir koltuk tasarımı oluşturulmuştur.



**Şekil 4.11.** Dördüncü iterasyon (a) Yeni tasarım ve kalınlıkları (b) Sanal analiz plastik deformasyon sonuçları (c) Fiziksel test sonrası görsel

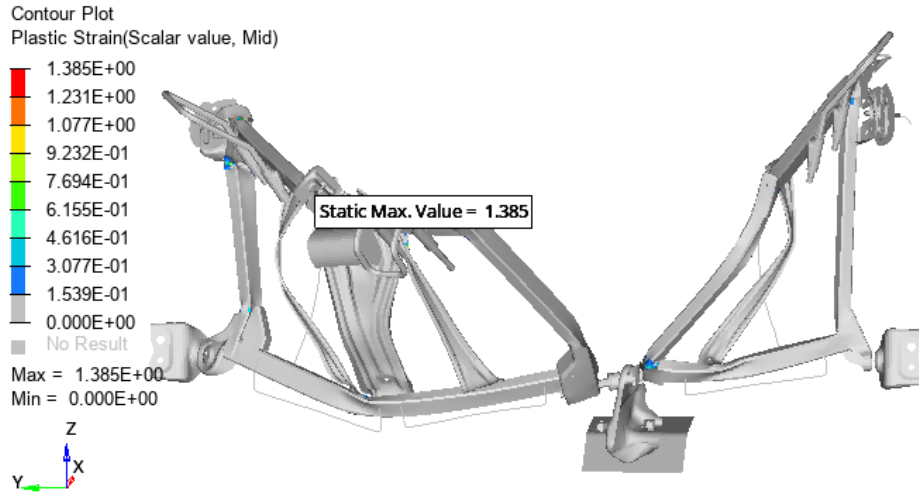
#### 4.8. Alüminyum Malzeme Kullanarak Ağırlık Azaltma

Koltuk iskelet ağırlığını azaltmak için yapılan bu çalışmada S420MC çelik malzemesi yerine Al 6082 alüminyum alaşımı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Ağırlığa bakıldığında çelik malzeme ile 7,27 kg olan iskelet alüminyum malzeme ile 2,51 kg'a düşmüştür.



**Şekil 4.12.** Al 6082 malzemesi uygulanan komponentler

Analiz sonuçları incelendiğinde maksimum plastik deformasyon %138,5 olup, bu alaşım için %9 olan sınır değerinin çok üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca yırtılma riskinin yanı sıra diğer regülasyon şartlarından deplasman değerlerini de sağlayamamaktadır.



**Şekil 4.13.** Al 6082 malzemesi ile plastik deformasyon sonuçları

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında M1 sınıfı araç arka koltuğu için Avrupa standartlarından ECE R17 bagaj yükü çarpışma testini sonlu elemanlar yöntemi ile sanal olarak simüle edip fizik test ile doğruluğu sağlanmıştır. Koltuk komponentlerinden köşe braket için yırtılma riski görülerek öncelikle sanal analiz ve fiziksel test doğruluk çalışması yapılmıştır. Kolerasyon sağlanmış sonlu eleman modeli üzerinden braket üzerindeki yırtılma riskini ortadan kaldırmak amacıyla farklı kalınlık, tasarımsal değişiklik ve destek braket ekleme iterasyonları incelenmiştir. Kalınlık arttırımı deformasyon miktarlarını düşürmekle birlikte tek başına çözüm olamamış ve destek braket eklenmesi ile olumlu sonuçlar alınmıştır. Yırtılma riskinin kaldırıldığı tasarım sonrasında maliyet azaltmak için üretim prosesinde kısaltmaya gidilebilecek tasarım değişikliği çalışması yapılarak optimum tasarım bulunmuştur. Bu tez kapsamında ayrıca nihai tasarım üzerinden S420MC çelik malzeme yerine Al 6082 malzemesi ile sanal analiz tekrarı yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde koltuk iskeletinin %65,4 oranında hafiflediği görülürken, hammadde maliyetinin %77 arttığı ve koltuğun ECE R17 test şartlarından geçemediği için koltuk iskelet malzemesi olarak Al 6082'nin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

Anonim, 2020. Explicit\_Analysis\_RADIOSS\_ebook.

Anonim, 2017a. Altair HyperWorks HyperMesh User Guide.

Anonim, 2017b. Altair HyperWorks RADIOSS Tutorials and Examples.

Anonim, 2021a. S420MC Çelik. <https://www.alibaba.com/showroom/s420mc-steel.html>

Anonim, 2021b. Al 6082 Alüminyum Alaşımı. <https://turkish.alibaba.com/g/6082-aluminium-price-per-kg.html>

Düvenci, F., 2017. Araç Yolcu Koltuk Ayaklarında Farklı Malzemelerin Kullanımının Sonlu Elemanlar Yöntemi Ve Testler İle Mekanik Etkisinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, BURSA

ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3 2014. Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3). United Nations Economic and Social Council

Kangralkar, P., Chidambaram, G., Hendre, K., 2015. Study of Cargo Barrier in ECE 17 test (Luggage Retention) Regulation. 2015 Altair Technology Conference, India.

MacNaughtan, T., Khan, S., 2005. Correlation of an Automotive Seat Finite Element Simulation with Dynamic Sled Testing. 2005 SAE World Congress

Regulation No 17 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the seats, their anchorages and any head restraints 2019/1723.

Sarısaç, S., 2016. Araç Koltuk Destek Sac Parçalarının Topografya Optimizasyonu İle Tasarımı ve Analizleri. Yüksek Lisans Tezi Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, BURSA

Singh, V., Shaikh S., 2014. Automotive Seat Modeling and Simulation for Occupant Safety using Dynamic Sled Testing. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) IJERT ISSN: 2278-0181

Shin, D., V., Kim, N., H., Lee, S., S., 2002. Development of Seating System with GMT for ECE 17.07 (Luggage Retention) Regulation. SAE 2002 World Congress Detroit, Michigan.

UN Regulations Status Table. Status of Translation and Publication of UN Regulations in The Area of Vehicle Approval, EUROPEAN COMMISSION

Wang, Z., Ni, J., Zhang, X., 2016. Luggage Impact and Structure Optimization for Rear Seat Frame of Automobile. Key Engineering Materials ISSN: 1662-9795 2016 Trans Tech Publications, Switzerland.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hüseyin Sertan BOLU  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bilecik 1995  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Bilecik Anadolu Lisesi 2013  
Lisans : Sakarya Üniversitesi, Makine Müh. 2017  
Yüksek Lisans : Uludağ Ü, Fen Bilimleri Ens, Mak. Müh. ABD

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Martur AŞ, 2019 - ...  
ST Mühendislik 2018-2019