

**YOLCU KOLTUKLARINDA SIRT YAPISININ YAPISAL  
OPTİMİZASYONU**

**MUSTAFA YILDIZ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YOLCU KOLTUKLARINDA SIRT YAPISININ YAPISAL OPTİMİZASYONU**

Mustafa YILDIZ  
0000-0002-5428-7268

Dr. Öğr. Üyesi Kenan TÜFEKÇİ  
0000-0001-5358-1396  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023  
**Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YOLCU KOLTUKLARINDA SIRT YAPISININ YAPISAL OPTİMİZASYONU

**Mustafa YILDIZ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Kenan TÜFEKÇİ

Bu tez çalışmasında, M1 sınıfı bir aracın yolcu koltuğunun sırt yapısında yer alan braketlerin ECE R14 emniyet kemeri çekme testinde göstereceği dayanım sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Yolcu koltuğunun kaza esnasında dayanımını sağlayan en önemli yapılarından biri olan sırt yapısının braketleri üzerinde ağırlık azaltma amacı ile topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında ağırlığı azaltılan braketlerin test esnasında koltuk dayanıma olan etkileri analiz edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sırt yapısında bulunan braketlerin ağırlığı azaltılarak emniyet kemeri çekme testinden başarılı sonuçlar alınabileceği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yolcu koltuğu, sonlu elemanlar yöntemi, topoloji optimizasyonu, ECE R14 emniyet kemeri çekme testi, ağırlık azaltma

**2023, vii + 55 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

**STRUCTURAL OPTIMIZATION OF BACKREST FRAME IN PASSENGER SEAT**

**Mustafa YILDIZ**

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

**Supervisor:** Asst.Prof. Kenan TÜFEKÇİ

In this thesis, the strength of the brackets in the backrest of a passenger seat of the M1 class vehicle for ECE R14 seat belt pull test was examined by the finite element method. Topology optimization was performed on the purpose of the weight reduction for the brackets of the seat backrest, which is one of the most crucial structures that provides the strength of the passenger at the a time of an accident. Within the scope of thesis, the effects of the reduced weight brackets on the strength of the seat during the test were examined. As a result of the study, it has been revealed that successful results can be obtained from the seat belt pull test by reducing the weight of the brackets in the backrest structure.

**Key words:** Passenger seat, finite element method, topology optimization, ECE R14 seat belt pull test, weight reduction

**2023, viii + 55 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma sürecinde yol gösteren, bilgi ve tecrübesi ile desteğini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kenan TÜFEKÇİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmam süresince beni destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa YILDIZ

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

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
3.1 Yolcu Koltuğunun Yapısı ve Önemi.....	14
3.1.1 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında sırt yapısı.....	15
3.1.2 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında zemin bağlantı braketi.....	16
3.1.3 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında duvar bağlantı braketi.....	17
3.1.4 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında kilit mekanizması.....	18
3.1.5 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında başlıklar.....	19
3.2 Araçların Sınıflandırılması.....	20
3.3 Yolcu Koltukları İçin Güvenlik Şartları.....	20
3.3.1 Koltuk H noktasının belirlenmesi.....	24
3.3.2 Koltuk C çizgisinin belirlenmesi.....	26
3.3.3 Test sonuçlarının başarı şartları.....	27
3.4 Sayısal Analiz.....	29
3.4.1 Sayısal analizde bilgisayarın önemi.....	29
3.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	29
3.5.1 Doğrusal olmayan sistemlerin çözümü.....	31
3.5.2 Doğrusal olmayan dinamik sistemlerin çözümü.....	32
3.5.3 Açık kod hesaplama yöntemi.....	33
3.5.4 Açık kod için zaman aralığı hesaplanması.....	33
3.6 Yolcu Koltuğunun Sonlu Elemanlar Modelinin Hazırlanması.....	34
3.6.1 Malzeme özellikleri.....	37
3.7 Optimizasyon.....	38
3.7.1 Optimizasyon parametreleri.....	39
3.8 Yapısal Optimizasyon.....	40
3.8.1 Boyut optimizasyonu.....	41
3.8.2 Şekil optimizasyonu.....	41
3.8.3 Topoloji optimizasyonu.....	41
3.8.4 Topografya optimizasyonu.....	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	43
4.1 Koltuk Sonlu Elemanlar Modeline ECE 14 Regülasyonunun Uygulanması.....	43
4.2 Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	44
4.3 Sırt Braketlerinin Optimizasyon Modelinin oluşturulması.....	48
4.4 Yeni Braket Tasarımı İçin Analizin Tekrarlanması.....	50
5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME.....	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

mm	Milimetre
ms	Milisaniye
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
GPa	Gigapascal (kN/mm <sup>2</sup> )
°	Derece
x	Tasarım değişkeni
m	Kütle (kg)
F	Kuvvet (N)
c	Ses hızı
E	Elastisite modülü (kN/mm <sup>2</sup> )
$\rho$	Kütlesel yoğunluk (kg/mm <sup>3</sup> )
$\nu$	Poisson oranı
Lc	Karakteristik eleman boyu

### Kısaltmalar

### Açıklama

UNECE	Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (United Nations Economic Commission for Europe)
-------	---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Topoloji optimizasyonu sonucu ayak yapısı ve gerilme sonuçları .....	3
Şekil 2.2. Sonlu elemanlar yöntemiyle analizi gerçekleştirilen koltuklar.....	4
Şekil 2.3. Sürücü koltuğu bağlantılarının plastik gerilme dağılımı .....	5
Şekil 2.4. Orta bölge yolcu koltuğu bağlantılarının gerilme değerleri.....	6
Şekil 2.5. Arka bölge dörtlü yolcu koltuğu bağlantılarının gerilme değerleri .....	6
Şekil 2.6. Boyut optimizasyonu sonucunda elde edilen eleman kalınlıkları .....	7
Şekil 2.7. DP 600 malzemeye sahip ayak yapısının gerilme değerleri .....	8
Şekil 2.8. Titanyum Grade 5 malzemeye sahip ayak yapısının gerilme değerleri .....	9
Şekil 2.9. Al 5754 H22 malzemeye sahip ayak yapısının gerilme değerleri .....	9
Şekil 2.10. Deformasyon meydana gelen bölgeler .....	10
Şekil 2.11. LS-Dyna’da modellenmiş koltuk modeli ve sınır şartları.....	11
Şekil 2.12. Boyut optimizasyonu öncesi ve sonrası kalınlıklar .....	12
Şekil 2.13. Boyut optimizasyonu yapılmış sırt yapısında oluşan gerilme değerleri .....	12
Şekil 2.14. Topoloji optimizasyonu yapılmış konsolun yer değiştirme değerleri ..	13
Şekil 3.1. M1 sınıfı yolcu koltuğu sırt yapısı .....	15
Şekil 3.2. M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında zemin bağlantı braketleri.....	16
Şekil 3.3. M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında duvar bağlantı braketleri .....	17
Şekil 3.4. M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında kilit mekanizması.....	18
Şekil 3.5. M1 sınıfı araçların yolcu koltuğu başlıkları.....	19
Şekil 3.6. Bel bölgesini temsil eden büyük çekme aparatı.....	22
Şekil 3.7. Bel bölgesini temsil eden küçük çekme aparatı.....	22
Şekil 3.8. Gövde bölgesini temsil eden çekme aparatı .....	23
Şekil 3.9. ECE R14 testi sırasında çekme aparatlarının konumu.....	24
Şekil 3.10. H noktası belirlemek için kullanılan manken .....	25
Şekil 3.11. Manken ölçüleri ve ağırlıkları.....	26
Şekil 3.12. Emniyet kemerinin aktığı nokta.....	27
Şekil 3.13. C çizgisi ve H noktası .....	28
Şekil 3.14. C çizgisi ve H noktasından geçen düzlemler .....	28
Şekil 3.15. İki boyutlu elemanlar .....	30
Şekil 3.16. Üç boyutlu elemanlar.....	30
Şekil 3.17. Sonlu elemanlar analizi gerçekleştirme adımları.....	31
Şekil 3.18. Açık kod çözüm adımları.....	33
Şekil 3.19. Sac parçaların modelinde kullanılan iki boyutlu elemanlar.....	35
Şekil 3.20. Sünger modelinde kullanılan üç boyutlu elemanlar .....	35
Şekil 3.21. Cıvata modelinde kullanılan bir boyutlu yay eleman .....	36
Şekil 3.22. Kaynak modelinde kullanılan rijit elemanlar.....	36
Şekil 3.23. S420 malzeme için kullanılan gerçek gerilme-gerilme eğrisi.....	37
Şekil 3.24. Optimizasyon akış şeması.....	39
Şekil 3.25. Boyut optimizasyonu .....	41
Şekil 3.26. Şekil optimizasyonu.....	41
Şekil 3.27. Topoloji optimizasyonu .....	42
Şekil 3.28. Topografya optimizasyonu .....	42
Şekil 4.1. Emniyet kemer çekme testi için koltuğun sonlu elemanlar modeli .....	44
Şekil 4.2. Sonlu elemanlar analizi başlangıcında yolcu koltuğu.....	45
Şekil 4.3. Sonlu elemanlar analizi sonucunda yolcu koltuğu .....	45
Şekil 4.4. Fiziki testte deforme olan koltuk yapısı.....	46



Şekil 4.5.	Analiz sonucunda deforme olan koltuk yapısı.....	46
Şekil 4.6.	Sırt braketlerinde oluşan plastik gerinme değerleri .....	47
Şekil 4.7.	Plastik gerinme değerinin en yüksek olduğu bölge .....	47
Şekil 4.8.	Optimizasyon yapılacak bölgeler.....	48
Şekil 4.9.	Doğrusal statik analiz için sınır şartları ve yüklerin uygulanması.....	49
Şekil 4.10.	Optimizasyon sonuçları .....	49
Şekil 4.11.	Optimizasyon sonuçlarına göre yapılan yeni braket tasarımları.....	50
Şekil 4.12.	Yeni tasarıma sahip braketler ile koltuğun sonlu elemanlar analizi .....	51
Şekil 4.13.	Yeni tasarıma sahip braketlerde plastik gerinme değerleri.....	51

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 3.1.</b> Üç nokta emniyet kemer bağlantısı için uygulanan kuvvetler.....	23
<b>Çizelge 3.2.</b> İki nokta emniyet kemer bağlantısı için uygulanan kuvvetler.....	23
<b>Çizelge 3.3.</b> Çalışmada kullanılan birim sistemleri .....	34
<b>Çizelge 5.1.</b> Çalışma sonucunda elde edilen değerler.....	52

## 1. GİRİŞ

Çoğu insan tarafından en değerli icatlardan biri olarak kabul edilen otomobiller bilim ve teknolojinin gelişmeye başladığı tarihten bugüne farklı modellerde ve yapılarda müşterilerin kullanımına sunulmuştur. Müşterilerin karşısına çıkan her yeni model ile kullanıcıların beklentilerindeki değişim ve buna bağlı olarak otomobil firmalarının bu beklentilere yanıt verme çabaları otomobil sektörünün gelişiminde ana etken olmuştur.

Ürünleri tercih edilen kurumların büyümeleri ve gelişmeleri ürünlerinin sağlam ve güvenli olmasından geçmektedir. Bununla birlikte dayanıklılıktan ödün vermeden rakiplerine kıyasla daha hafif ürünler ortaya koyan firmalar müşteriler tarafından tercih sebebi olmaktadır.

Araçların yapısı incelendiğinde yolcular için önemli rol oynayan bileşenlerin başında yolcu koltukları gelir. Koltukların araç içerisindeki başlıca rolü kaza esnasında yolcu güvenliğini sağlamaktır. Üretici firmalar araç tasarım aşamasında araçların düşük emisyon oranına sahip olması için mümkün olduğu kadar hafif olmasını isterler. Bu sebeple yolcu koltuğu üreticilerinin koltuk tasarımı yaparken göz önünde bulundukları temel unsurlar koltukların hafif ve dayanıklı olmasıdır.

Üretici firmaların motorlu araç üretirken yerine getirmesi gereken yönetmelikler ve sertifikasyonlar ülkelere göre farklılık göstermektedir. Satışı Avrupa Birliği ülkelerinde gerçekleşen araçların yerine getirmesi gereken sertifikasyon işlemleri, yönetmelikler ve regülasyonlar Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE/ECE) tarafından belirlenmektedir. Araç içerisinde yer alan koltukların tasarımı bu regülasyonların içerdiği dayanıklılık testlerini geçecek uygunlukta olmalıdır. Koltuğun başarılı olması gereken güvenlik testlerinde meydana gelen herhangi bir başarısızlık durumunda koltuk yapısı geliştirilerek testin tekrar edilmesi gerekmektedir. Bu durum karşımıza maliyet ve zaman kaybı olarak çıkmaktadır. Test tekrarı sırasında oluşan zaman ve maddi kaybın önüne geçebilmek sonlu elemanlar metodu ile mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada; M1 sınıfı araçlarda kullanılan bir yolcu koltuğunun sırt yapısında bulunan braketlerin Avrupa Ekonomik Komisyonu tarafından belirlenmiş olan ECE R14 emniyet

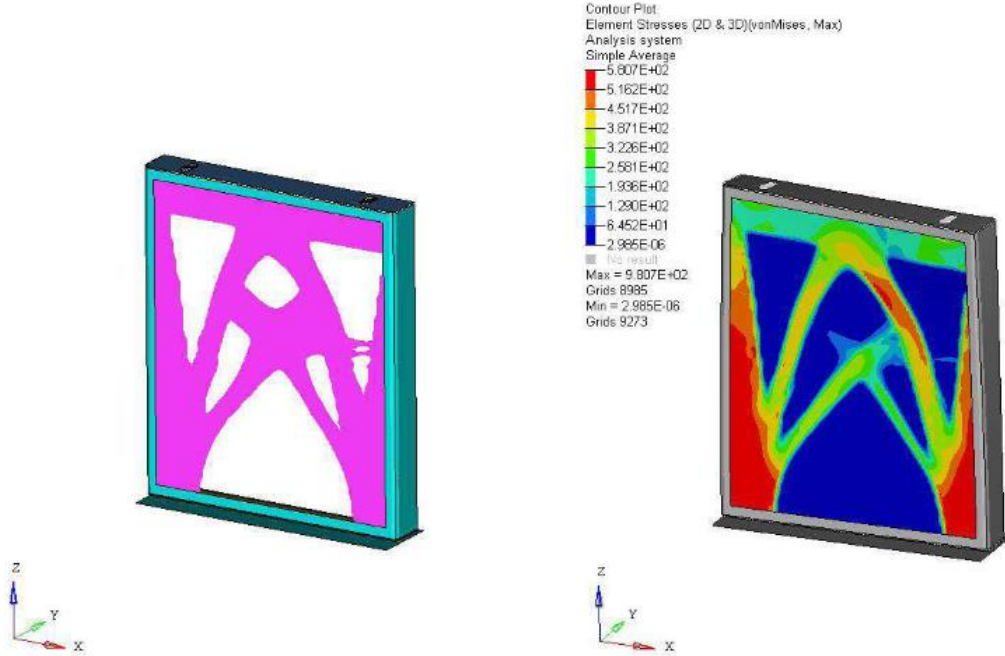
kemeri çekme testinde göstereceği mukavemet sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir. Koltuğun sırt yapısında önemli ağırlığa sahip bu braketler için ağırlık azaltma amacı ile topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Koltuğun sonlu elemanlar modeli, sınır ve yük şartları HyperWorks yazılımında çözümleri ise açık kod ve kapalı kod hesaplama yöntemleriyle Radioss ve OptiStruct yazılımlarında gerçekleştirilmiştir.

Kaynak araştırması bölümünde, günümüze kadar yapılmış benzer bazı çalışmalar yer almaktadır. Çalışmaların hedefleri ve kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Materyal ve yöntem bölümünde, yolcu koltuğunun yapısı, yerine getirmesi gereken regülasyonlar, sonlu elemanlar analizi ve optimizasyon yöntemlerinden bahsedilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında yolcu koltuklarının sırt yapısında bulunan braketlerin dayanımını kaybetmeden ağırlığını azaltmak amacı ile sonlu elemanlar yöntemini kullanarak topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Literatürde, optimizasyon yöntemi araç koltuklarında ağırlık hafifletme amacı ile kullanılan en önemli yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkar. Bu bölüm içerisinde sonlu elemanlar ve optimizasyon yöntemleri ile ilgili yapılmış çalışmalar yer almaktadır.

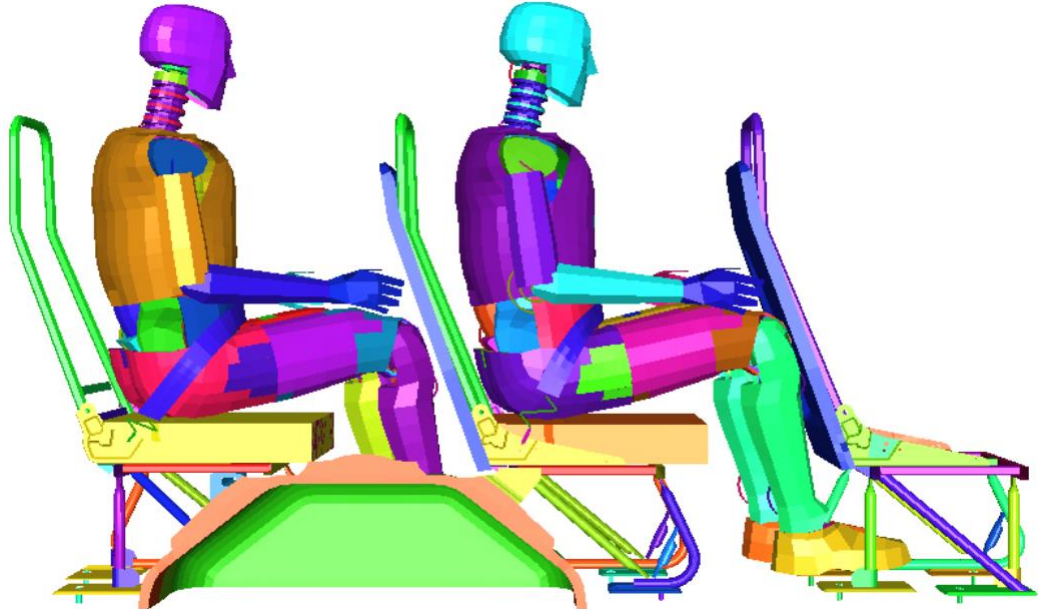
Öztürk ve ark. (2014) M3 sınıfı bir aracın yolcu koltuğu için emniyet kemer çekme testini sonlu elemanlar analiziyle gerçekleştirmişlerdir. Test esnasında yolcu koltuğunun ayağına gelen yükleri analiz yardımıyla tespit ederek ayak yapısı üzerinde topoloji optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Sonlu elemanlar analizinde koltuk ayağının maruz kaldığı yükler sonucu üzerinde oluşan gerilme değerleri optimizasyon için kısıt değeri olarak kullanılmıştır. Topoloji optimizasyonu ile elde edilen koltuk ayak yapısı ve gerilme sonuçları Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Topoloji optimizasyonu sonucu ayak yapısı ve gerilme sonuçları (Öztürk ve ark. 2014)

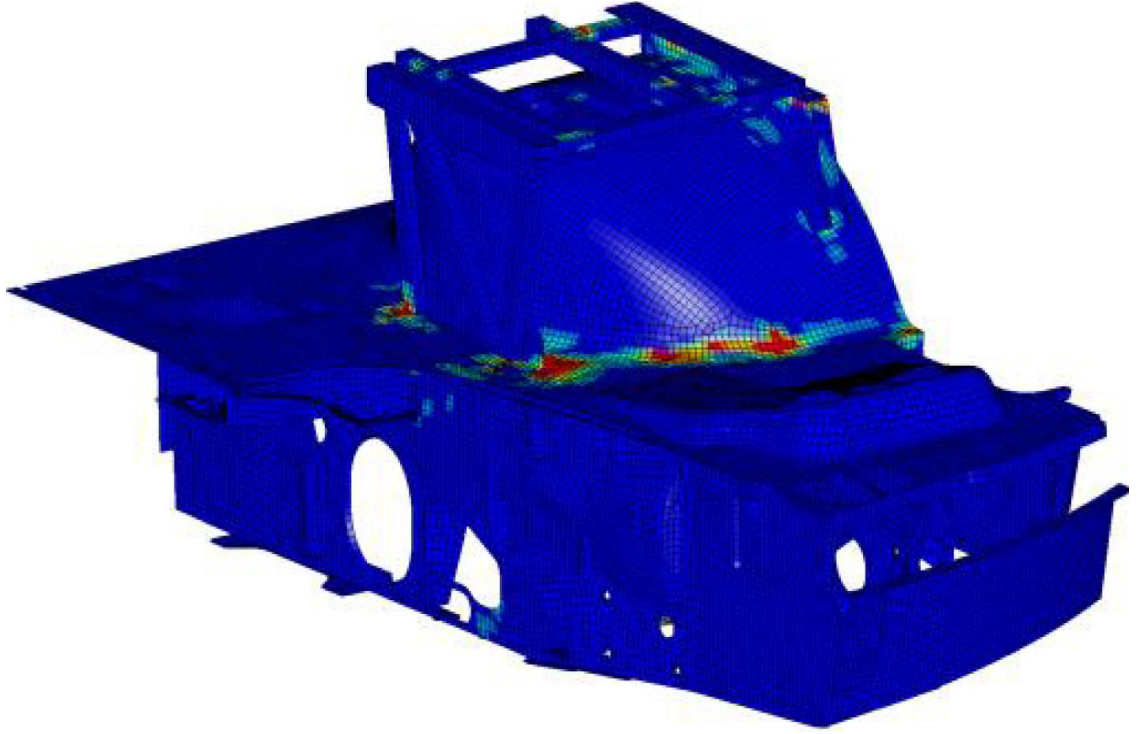
Çıbık ve ark. (2017) çalışmada salıncak kolları için farklı tasarımların test sonuçlarına etkilerini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Ağırlık azaltmak amacıyla farklı modeller tasarlanarak bunlar üzerinde sıcak ve soğuk şekillendirme yöntemleri denenmiştir. Yapılan analizler sonucunda istenilen değerlere en uygun tasarım modeli elde edilmiştir. Ağırlık azaltmanın amaçlandığı bu çalışmada, dünya üzerinde otomobillerin karbon salınımına etkisinin %20 olduğu belirtilmiştir. Araçlarda yakıt tüketiminin %25'ine araç ağırlığının sebep olduğuna değinilmiştir. Bu sebeple yazarlar ağırlık azaltma çalışmalarının önemini savunmuştur.

Güzelsoy (2011) yüksek lisans tezi için ticari araçların yerine getirmesi gereken regülasyonlara göre koltuk bağlantılarında mukavemeti artırmaya yönelik çalışma yapmıştır. Çalışmada 25km/saat hızla gerçekleşen çarpışmada dayanım gösteren koltuk bağlantıları, geliştirilen tasarımla beraber 40km/saat hızla gerçekleşen bir çarpışmada dayanım gösterecek sağlamlığa ulaşmıştır. Geliştirilen yeni tasarıma sahip koltuğun fiziksel testleri gerçekleştirilmeden önce koltuk sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle analizi gerçekleştirilen koltukların görüntüleri Şekil 2.2'de verilmiştir.

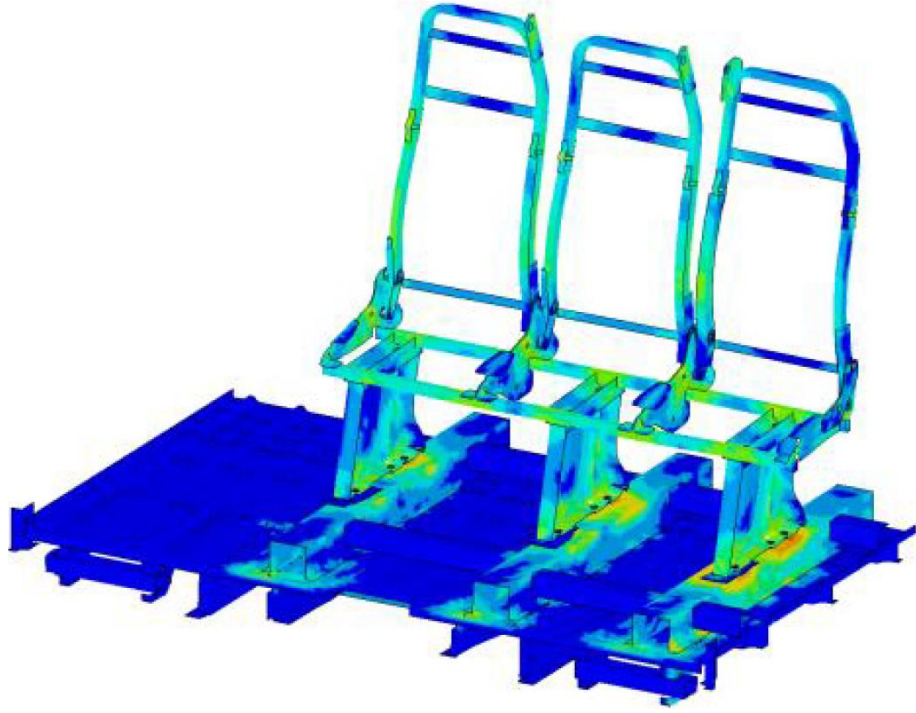


**Şekil 2.2.** Sonlu elemanlar yöntemiyle analizi gerçekleştirilen koltuklar (Güzelsoy 2011)

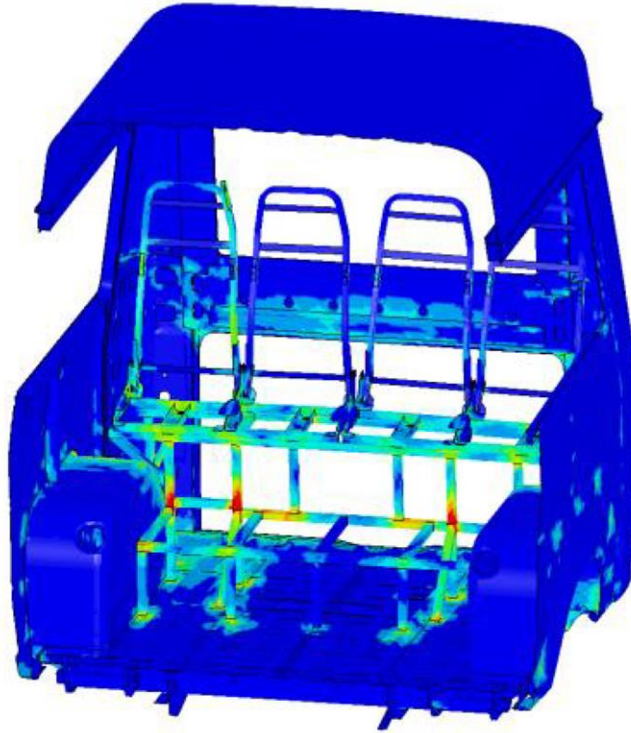
Arslan ve ark. (2010) koltuk yapısının dayanımını artırmaya yönelik çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada sonulu elemanlar yöntemi ile koltuk tasarımının ECE R14 emniyet kemer çekme testinde göstereceği performans incelenmiştir. Çalışmanın içerisinde aracın arka bölgesinde bulunan dörtlü yolcu koltuğu, araç ortasında bulunan üçlü yolcu koltuğu ve sürücü koltuğu incelenmiştir. Sürücü koltuğunun bağlantısı için araç tabanına yapılacak kaynakların koordinatları belirlenmiş ve gövde bağlantısı için kullanılan malzemeler geliştirilmiştir. Aracın arka bölgesinde bulunan dörtlü yolcu koltuğunun bağlandığı profillerden oluşan yapı üzerinde analizler yapılarak yapının dayanımı güçlendirilmiştir. Araç ortasında bulunan üçlü yolcu koltuğunun yapısında kullanılan profillerin üzerinde optimizasyon yapılarak en uygun kalınlık ölçüleri elde edilmiştir. Sürücü koltuğu bağlantılarının plastik gerilme dağılımı Şekil 2.3’de, aracın orta bölgesinde bulunan yolcu koltuğu bağlantılarının gerilme (von-mises) dağılımları Şekil 2.4’de ve aracın arka bölgesinde bulunan dörtlü yolcu koltuğu bağlantılarının gerilme (von-mises) dağılımları Şekil 2.5’de verilmiştir.



**Şekil 2.3.** Sürücü koltuğu bağlantılarının plastik gerilme dağılımı (Arslan ve ark. 2010)



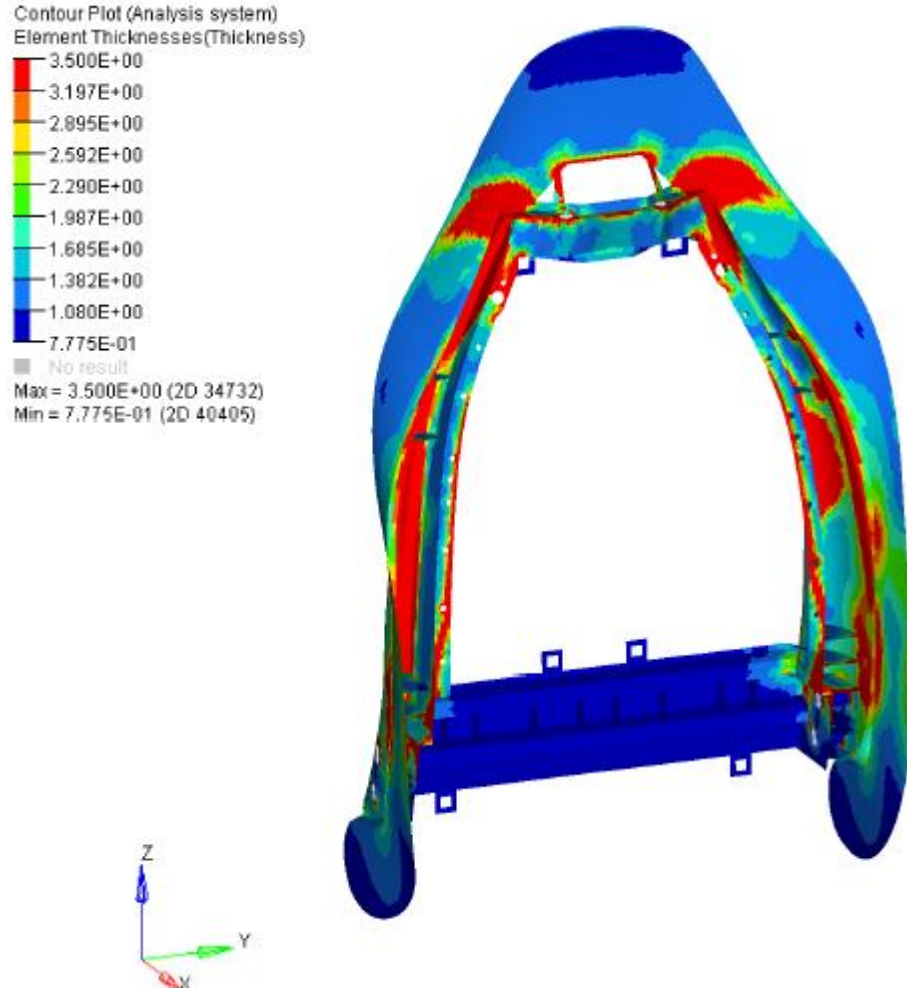
**Şekil 2.4.** Orta bölge yolcu koltuğu bağlantılarının gerilme değerleri (Arslan ve ark. 2010)



**Şekil 2.5.** Arka bölge dörtlü yolcu koltuğu bağlantılarının gerilme değerleri (Arslan ve ark. 2010)

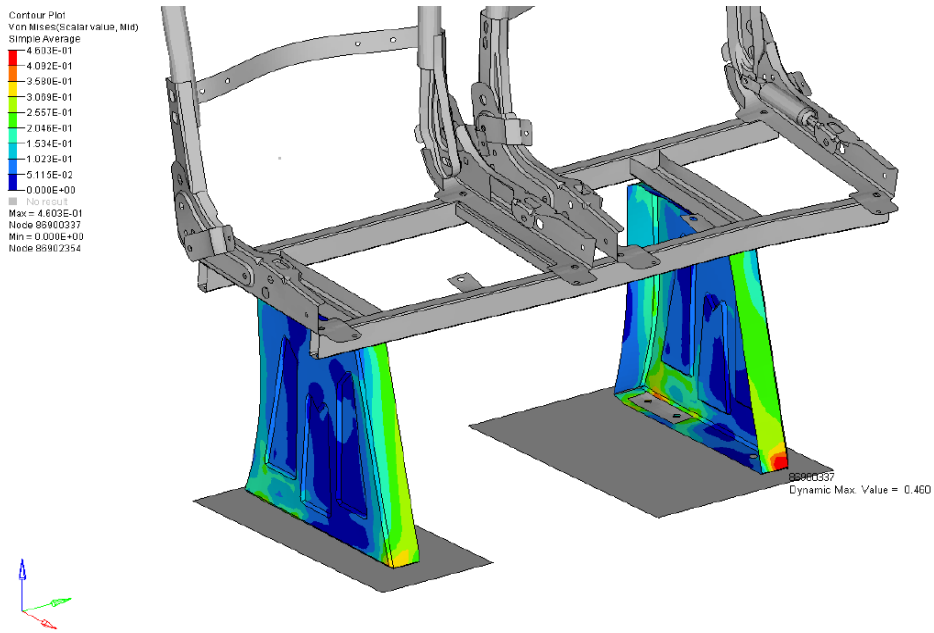


Polavarapu ve ark. (2009) çalışmalarında döküm ile tek parça olarak üretilecek sırt iskeleti için topoloji ve boyut optimizasyonu yaparak koltuğun yapısını hafifletmeyi amaçlamışlardır. Sırt iskeletinin yapısında malzeme olarak AM50 Magnezyum alaşımı kullanılmıştır. Çalışmada koltuk için yapılan fiziksel testlerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler Abaqus yazılımı ile optimizasyon çalışmaları ise OptiStruct yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Koltuk yapısı üzerinde gerçekleştirilen optimizasyon için ECER17 sırt dayanım testi, çarpma testi ve başlık testlerinin yükleri girdi olarak kabul edilmiştir. Optimizasyon sonucunda başlangıçtaki tasarıma oranla % 12,95 daha hafif sırt yapısı elde edilmiştir. Boyut optimizasyonu sonucunda elde edilen kalınlık dağılımları Şekil 2.6'da verilmiştir.



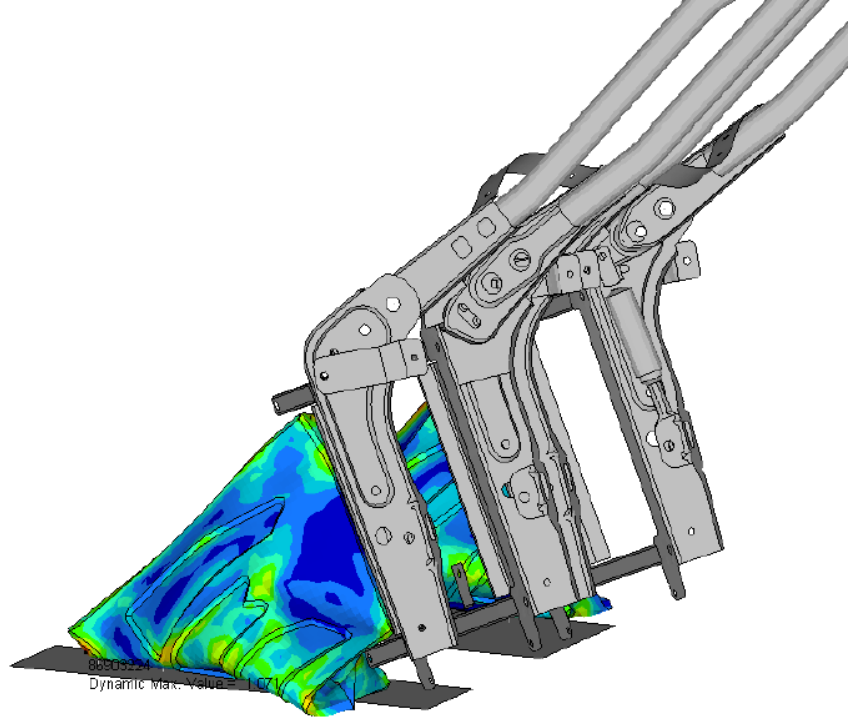
**Şekil 2.6.** Boyut optimizasyonu sonucunda elde edilen eleman kalınlıkları (Polavarapu 2008)

Düvenci (2017) yüksek lisans tez çalışmasında DP 600 malzemeye sahip bir ticari araç yolcu koltuğunun ayak yapısında farklı malzemeler kullanarak yapı üzerinde ağırlık azaltmayı amaçlamıştır. Çalışmada kullanılan malzemeler Alüminyum alaşımı, DP 600 çeliği, Titanyum Grade 5 alaşımı ve Titanyum Grade 2 alaşımıdır. Dört farklı malzeme için çekme testi yapılmış ve malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Farklı malzemelerin kullanıldığı durumlarda araç koltuğunun ECE R14 emniyet kemer çekme testine uygunluğu incelenmiştir. Koltuğun ayak yapısında kullanılan her farklı malzeme için sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları uygun olan malzemeler için fiziksel testler uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Koltukta kullanılan mevcut ayak yapısı 2 mm kalınlığına ve DP 600 malzemeye sahiptir. Çalışmada 5 mm sac kalınlığına ve Al 5754 H22 malzemesine sahip ayak yapısı için başarılı sonuçlara ulaşılırken 1 mm sac kalınlığına ve Titanyum Grade 2 ve Titanyum Grade 5 malzemelerine sahip ayak yapısı için yapılan sonlu elemanlar analizlerinde başarılı sonuçlara ulaşılammıştır. Mevcut koltuk ayağı olarak kullanılan ayak yapısı yerine 5 mm sac kalınlığına ve Al 5754 H22 malzemesine sahip ayak yapısı kullanıldığı durumda tek bir ayak yapısı için %17,17 oranında hafifletme elde edilmiştir. Karşılaştırma yapılan malzemelere sahip ayak yapılarının gerilme (von-mises) dağılımları Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2,9'da verilmiştir.



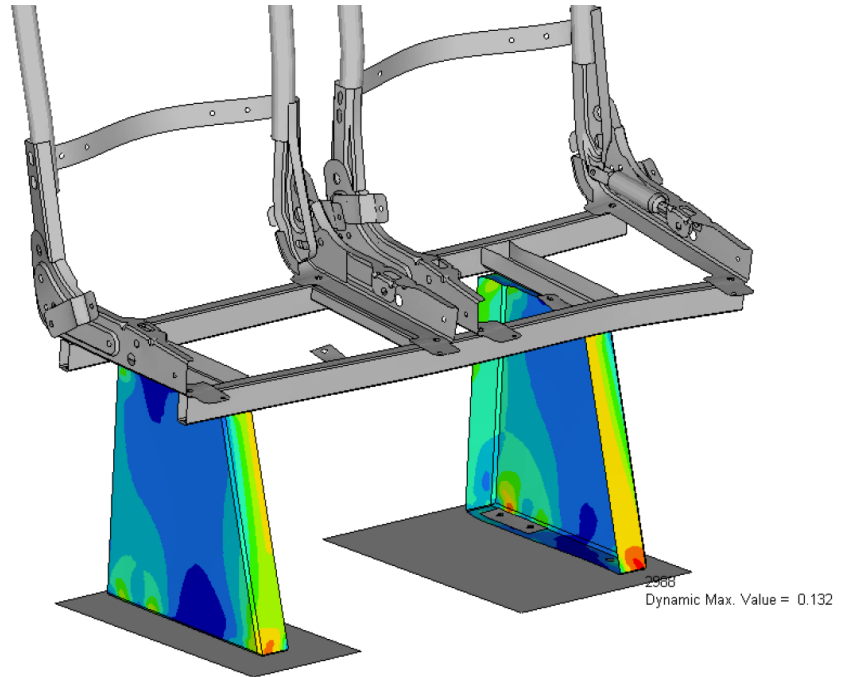
Şekil 2.7. DP 600 malzemeye sahip ayak yapısının gerilme değerleri (Düvenci 2017)

Contour Plot  
Von Mises(Scalar value, Mid)  
Simple Average  
1.148E+00  
1.020E+00  
8.929E-01  
7.654E-01  
6.378E-01  
5.102E-01  
3.827E-01  
2.551E-01  
1.276E-01  
0.000E+00  
No result  
Max = 1.148E+00  
Node 86902562  
Min = 0.000E+00  
Node 86902354



**Şekil 2.8.** Titanyum Grade 5 malzemeye sahip ayak yapısının gerilme değerleri (Düvenci 2017)

Contour Plot  
Von Mises(Scalar value, Mid)  
Simple Average  
1.324E-01  
1.177E-01  
1.030E-01  
8.830E-02  
7.358E-02  
5.887E-02  
4.415E-02  
2.943E-02  
1.472E-02  
0.000E+00  
No result  
Max = 1.324E-01  
Node 2988  
Min = 0.000E+00  
Node 19641

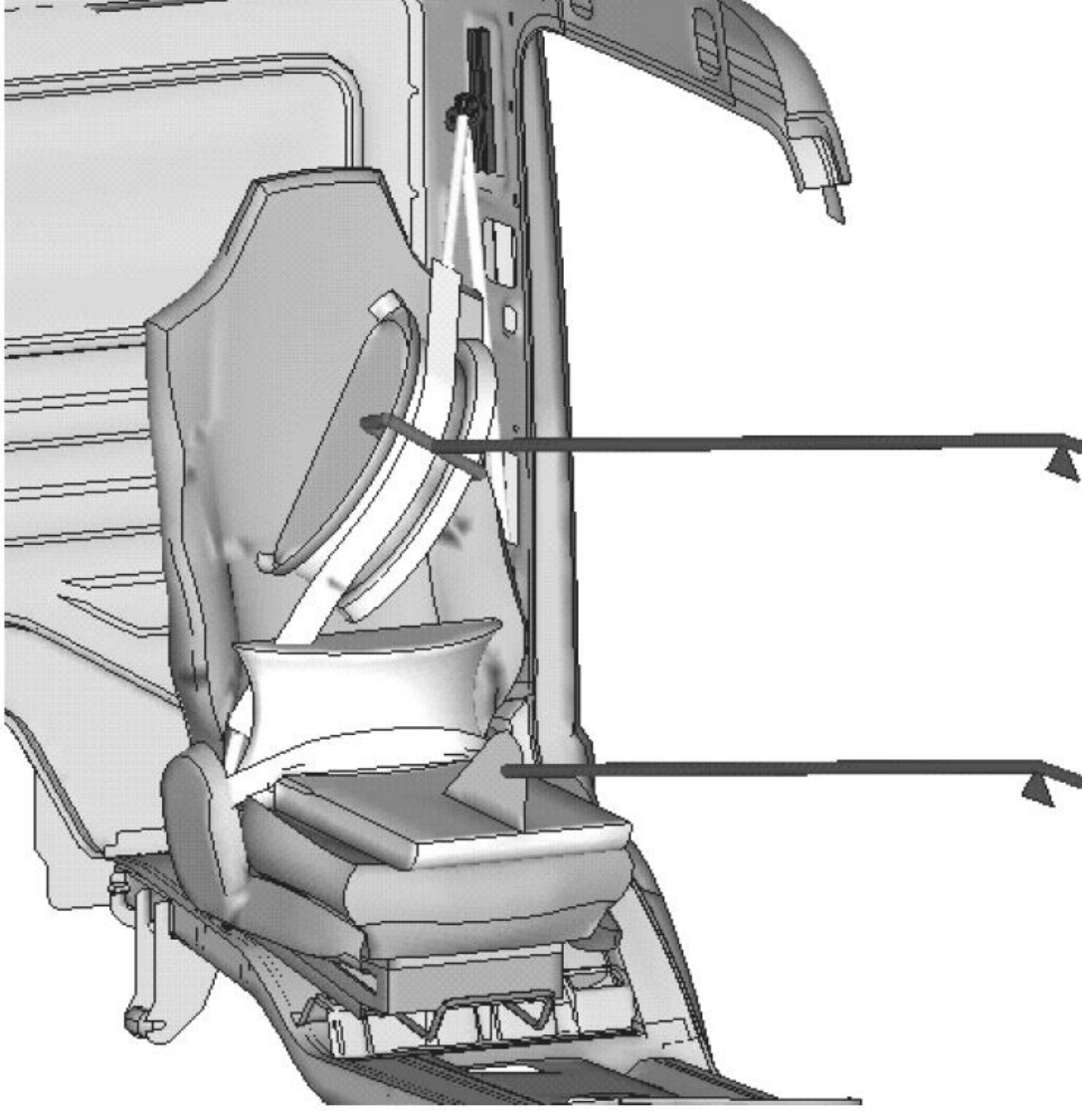


**Şekil 2.9.** Al 5754 H22 malzemeye sahip ayak yapısının gerilme değerleri (Düvenci 2017)

Hessenberger (2003) çalışmasında emniyet kemer bağlantılarının güvenlik analizlerini ECE R14 ve FMVSS regülasyonlarına uygun olarak gerçekleştirmiştir. Bu regülasyonlar arasındaki fark FMVSS regülasyonunda uygulanan 13500 N kuvvet tüm araç sınıfları için aynı olmakla beraber ECE R14 regülasyonunda araçların sınıflarına göre uygulanan kuvvet değeri değişmektedir. Regülasyonlara göre uygulanan kuvvetlerin süreleri de değişmektedir. ECE R14 regülasyonu için azami kuvvetlere en kısa sürede ulaşım koltuğun bu kuvvetlere en az 200 milisaniye dayanması istenir. FMVSS regülasyonu için ise azami kuvvetlere 30 saniyelik bir eğri ile çıkılır ve koltuğun bu kuvvetlere en az 10 saniye dayanması beklenir. FMVSS regülasyonu için test şartları göz önüne alındığında test statik bir test olarak ele alınabilir ve bu test şartları ECE R14 regülasyonu şartlarından daha zorlu olduğu için çalışmada FMVSS standartlarına uygun sonlu elemanlar modeli hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar analizlerini gerçekleştirmek için iki farklı çözücü kullanılmıştır ve her iki çözücü için doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Kapalı kod (implicit) yöntemiyle çözdürülen analizler için Abaqus yazılımı, açık kod (explicit) yöntemiyle çözdürülen analizler için LS-Dyna yazılımı kullanılmıştır.



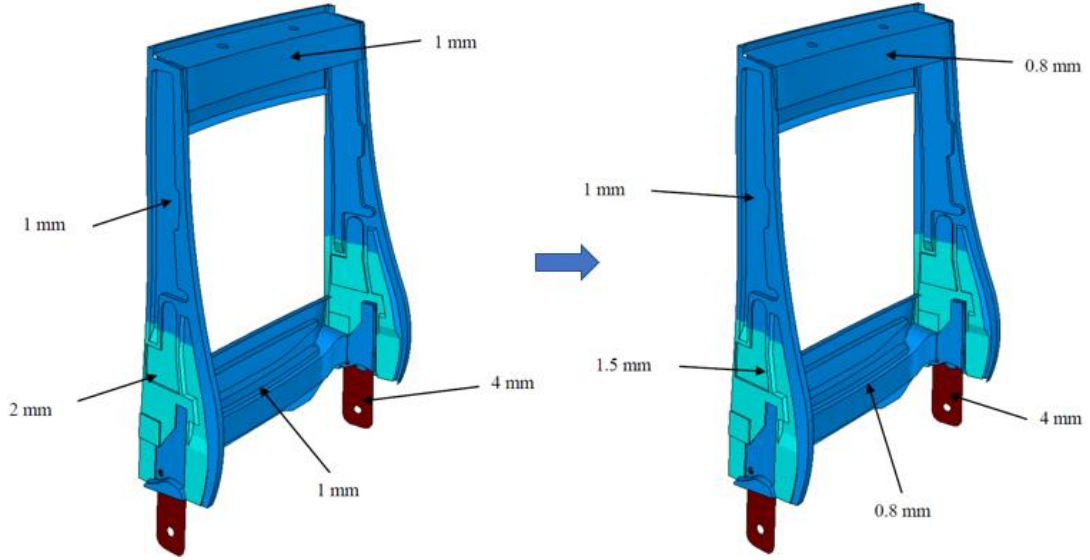
**Şekil 2.10.** Deformasyon meydana gelen bölgeler (Hessenberger 2003)



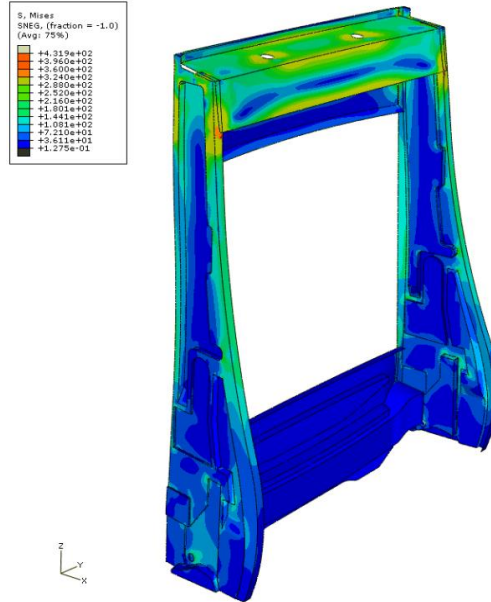
**Şekil 2.11.** LS-Dyna’da modellenmiş koltuk modeli ve sınır şartları (Hessenberger 2003)

Öztürk ve ark. (2012) çalışmalarında M3 sınıfı aracın yolcu koltuğu üzerinde ECE R14 emniyet kemer çekme testini sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirerek yolcu koltuğunun ayak yapısında meydana gelen gerilme dağılımlarını incelemişlerdir. Çalışmada yolcu koltuğu ayak yapısında tasarım ve malzeme değişiklikleri gerçekleştirilmiştir. Analizi yapılan koltuklar için gerçekleştirilen fiziksel testlerde sonlu elemanlar analiz sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemle fiziksel test gerçekleşmeden yapılacak değişikliklerin test üzerindeki etkisine önceden erişilme imkanına sahip olunmuştur.

Thiyagarajan (2008) yolcu koltuklarında sırt karkası yapısında boyut optimizasyonu yöntemiyle ağırlık azaltma çalışması yapmıştır. Çalışmada, ECE R17 sırt itme ve başlık testlerinde uygulanan yükler sınır şartı olarak kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar analizleri Abaqus yazılımıyla gerçekleştirilerek koltuğun sırt yapısında %15,2 oranında ağırlık azaltma elde edilmiştir.



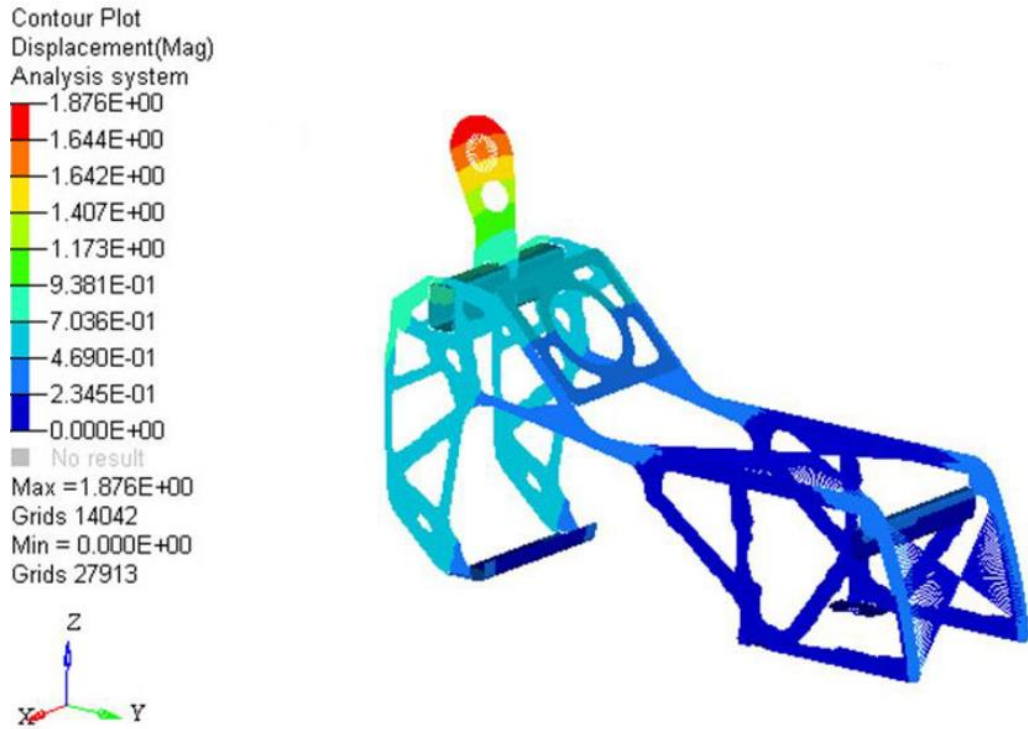
Şekil 2.12. Boyut optimizasyonu öncesi ve sonrası kalınlıklar (Thiyagarajan 2008)



Şekil 2.13. Boyut optimizasyonu yapılmış sırt yapısında oluşan gerilme değerleri (Thiyagarajan 2008)



Arslan (2018) yüksek lisans tez çalışmasında otomotiv endüstrisi için büyük öneme sahip M3 sınıfı araçların yolcu koltuklarında bulunan orta konsol mekanizma yapısı üzerinde ağırlık hafifletme çalışması yapmıştır. Çalışmayla beraber aracın toplam ağırlığı azaltılmıştır. Bu çalışma yapılırken prototip ve test maliyetlerini en düşük seviyede tutmak için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak topoloji ve topografya optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Çalışma aşamasında tasarım yapılırken parçanın dayanımı, performansı ve maliyeti gibi hususlara dikkat edilmiştir. Tasarım modelleme çalışmalarında Catia V5 yazılımı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelini oluşturmak için MSC Apex ve analiz tanımlarını gerçekleştirmek için HyperWorks yazılımından yararlanılmıştır. Orta konsol mekanizma yapısı üzerinde yapılan optimizasyonlar sonucunda %42,2 oranında ağırlık azaltma elde edilmiştir. Bu oran, şehirler arası yolcu taşıyan M3 sınıfı araçlarda yolcu koltuklarının sayısı göz önünde bulundurulduğunda büyük önem arz etmektedir. Sonlu elemanlar analizi sonuçları karşılaştırılarak en uygun tasarım elde edilmiştir. Topoloji optimizasyonu yapılmış konsol tekrar analiz edildiğinde yapı üzerinde meydana gelen yer değiştirme değerleri milimetre cinsinden Şekil 2.14’de verilmiştir.



**Şekil 2.14.** Topoloji optimizasyonu yapılmış konsolun yer değiştirme değerleri (Arslan 2018)

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Motorlu araçların satışa sunulacağı pazara göre yerine getirmesi gereken yasal yönetmelikler ve sertifikasyon işlemleri mevcuttur. Satışları Avrupa Birliği pazarında gerçekleşecek araçlar için yerine getirmesi gereken standartlar Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE/ECE) regülasyonlarıdır.

Bu çalışmada M1 sınıfı araç koltuğu üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle ECE R14 regülasyonuna ait yaygın olarak emniyet kemer çekme testi ismiyle bilinen emniyet kemer bağlantıları dayanımı testi gerçekleştirilecektir. Elde edilen analiz sonucu doğrultusunda sırt yapısında dayanım olarak büyük öneme sahip braketler üzerinde ağırlık hafifletme amacıyla topoloji optimizasyonu gerçekleştirilecektir.

#### **3.1 Yolcu Koltuğunun Yapısı ve Önemi**

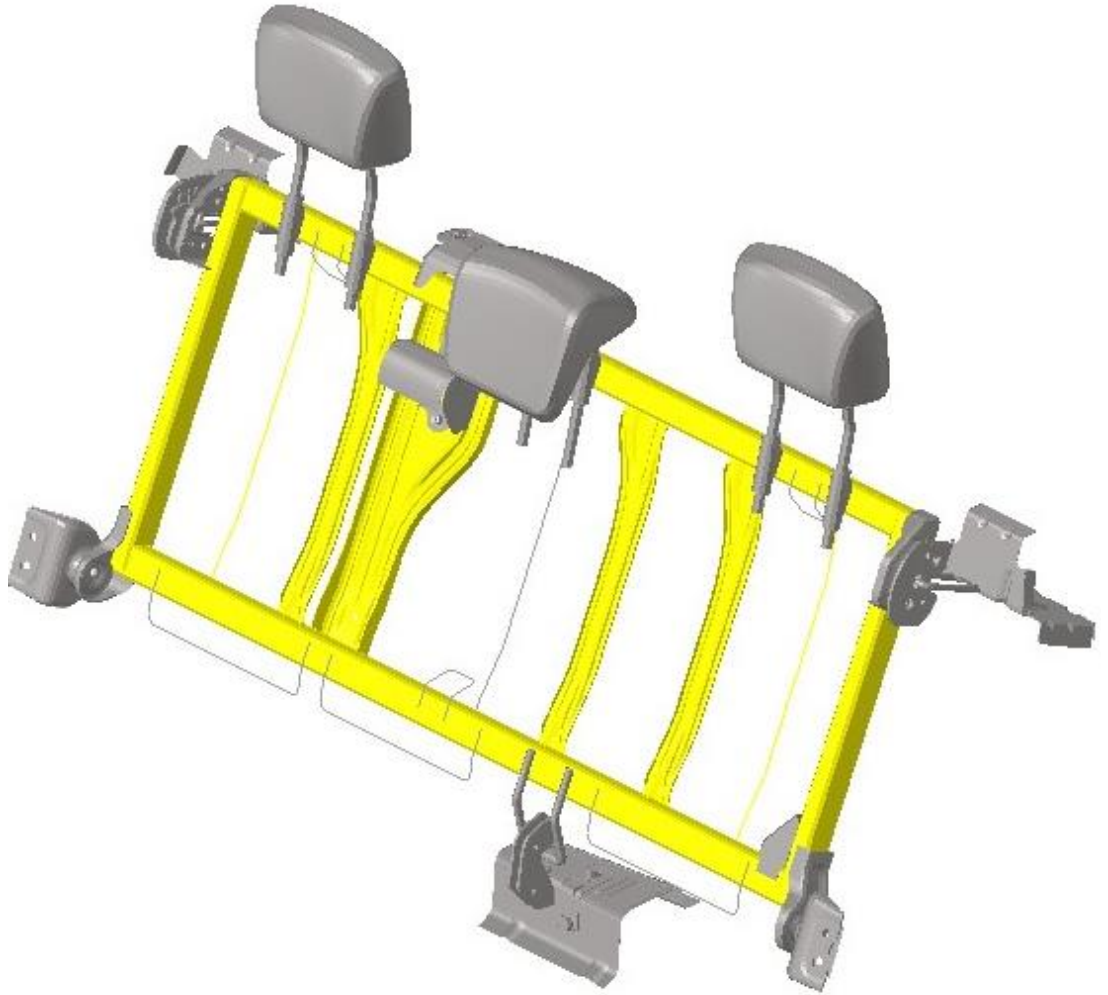
Son yıllarda araçların hız limitlerinin artışıyla yolcuların kaza esnasında can güvenliği için duyduğu kaygılar ciddi önem arz edecek seviyede artışa geçmiştir. Kaza esnasında içinde bulunan aracın sağlamlığı kadar üzerinde oturuş koltuklarının da göstereceği dayanım yolcuların kazayı en az hasarla atlama için hayati önem taşır. Bu sebeple günümüz araç üreticileri koltuklarda konfor ve estetik özelliklerinin yanı sıra mekanik dayanımı ve yolcu güvenliğini en yüksek düzeyde tutan yapıdaki koltukları tercih etmektedirler.

M1 sınıfı araçlarda kullanılan arka yolcu koltuğu temel olarak sırt yapısı, zemin bağlantıları, duvar bağlantıları, kilit mekanizması ve başlıklar olmak üzere beş ana yapıdan oluşur. Bunların her biri, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu tarafından yolcu güvenliğini sağlamak üzere gerekli olan testlerde önemli rol oynamaktadır.



### 3.1.1 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında sırt yapısı

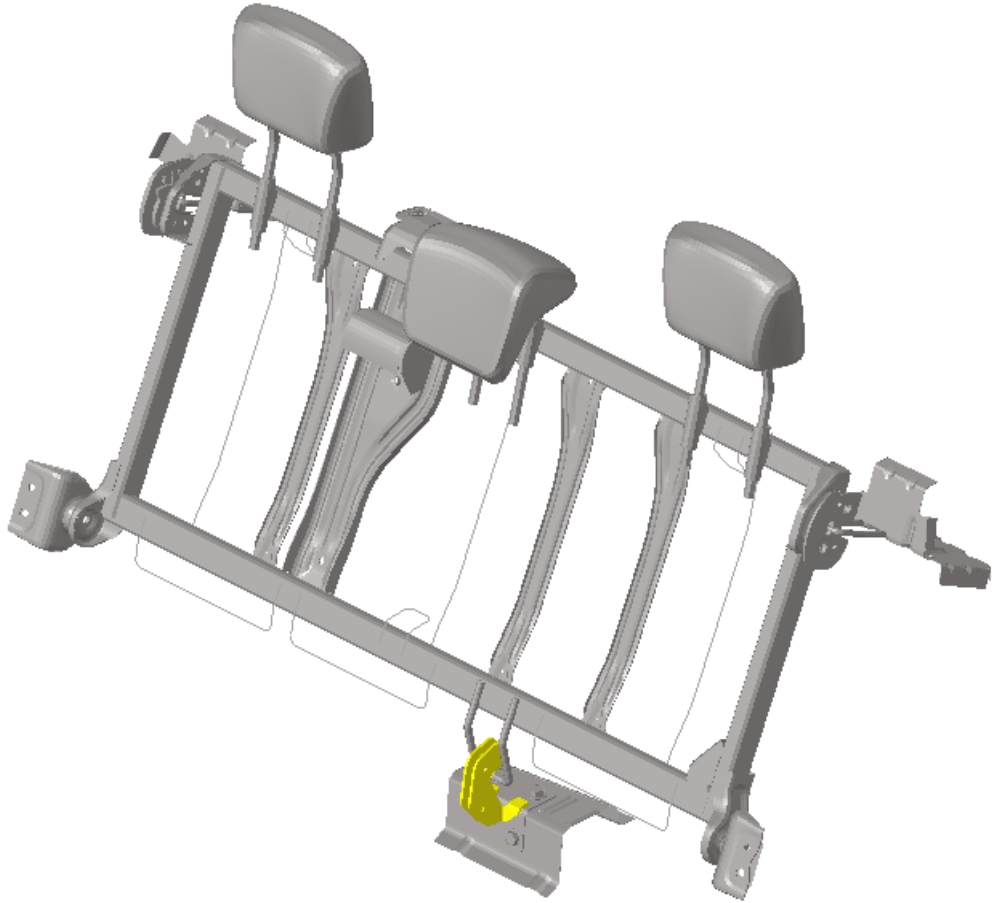
Yolcu koltuklarında sırt yapısı yolcuların seyahat esnasında koltuk üzerinde oturma pozisyonlarını belirlemesiyle beraber kaza anında gösterdikleri dayanım sayesinde yolcu güvenliğini sağlamada önemli role sahiptir. Şekil 3.1’de sarı renkle belirtilmiş olarak sırt yapısının koltuk üzerinde yer aldığı konum gösterilmiştir. Tasarlanan koltuklarda genellikle emniyet kemerinin ilk temas ettiği bölge sırt yapısı olduğu için kaza esnasında en çok deformasyona uğrayan yapılardan biri olmaktadır. Bu sebeple sırt yapısı yolcu koltuklarında hayati öneme sahiptir. Sırt yapısı M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarının en ağır bölgesidir ve bu yapı profillerden, braketlerden ve tellerden meydana gelir.



Şekil 3.1. M1 sınıfı yolcu koltuğu sırt yapısı

### 3.1.2 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında zemin bağlantı braketi

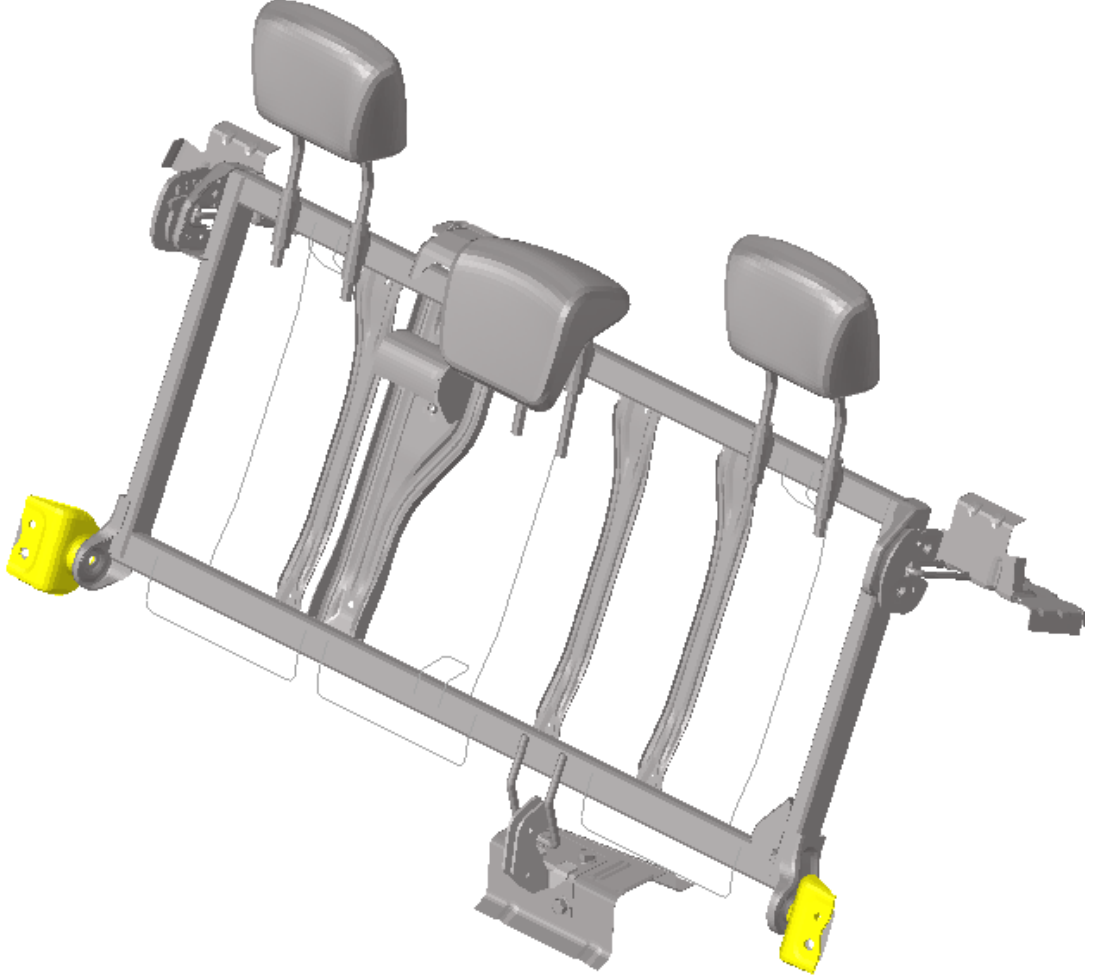
Zemin bağlantı braketi yolcu koltuğunu araca bağlayan bölgede yer alan bir bağlantı brakettir. Şekil 3.2’de sarı renkle belirtilmiş olarak koltuk üzerinde yer aldığı konum gösterilmiştir. Zemin bağlantı brakentinin temel amacı kaza esnasında göstereceği dayanımla araç ve koltuğun bağlantısını sağlamaktır. Zemin bağlantı braketi araç içerisinde kaza olmadığı durumlarda dahi yolcuların koltuk üzerine oturmasıyla oluşturdukları ağırlıktan ve koltuğun yapısından dolayı moment etkisine maruz kalmaktadır. Moment etkisi kaza anında bu braketi en çok zorlayan ve deforme olmasına sebep olan etmendir. Kaza esnasında oluşabilecek muhtemel deformasyonların önüne araç bağlantı noktalarının artırılması ve braket yapısının güçlendirilmesiyle geçilebilir.



Şekil 3.2. M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında zemin bağlantı braketi

### 3.1.3 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında duvar bağlantı braketi

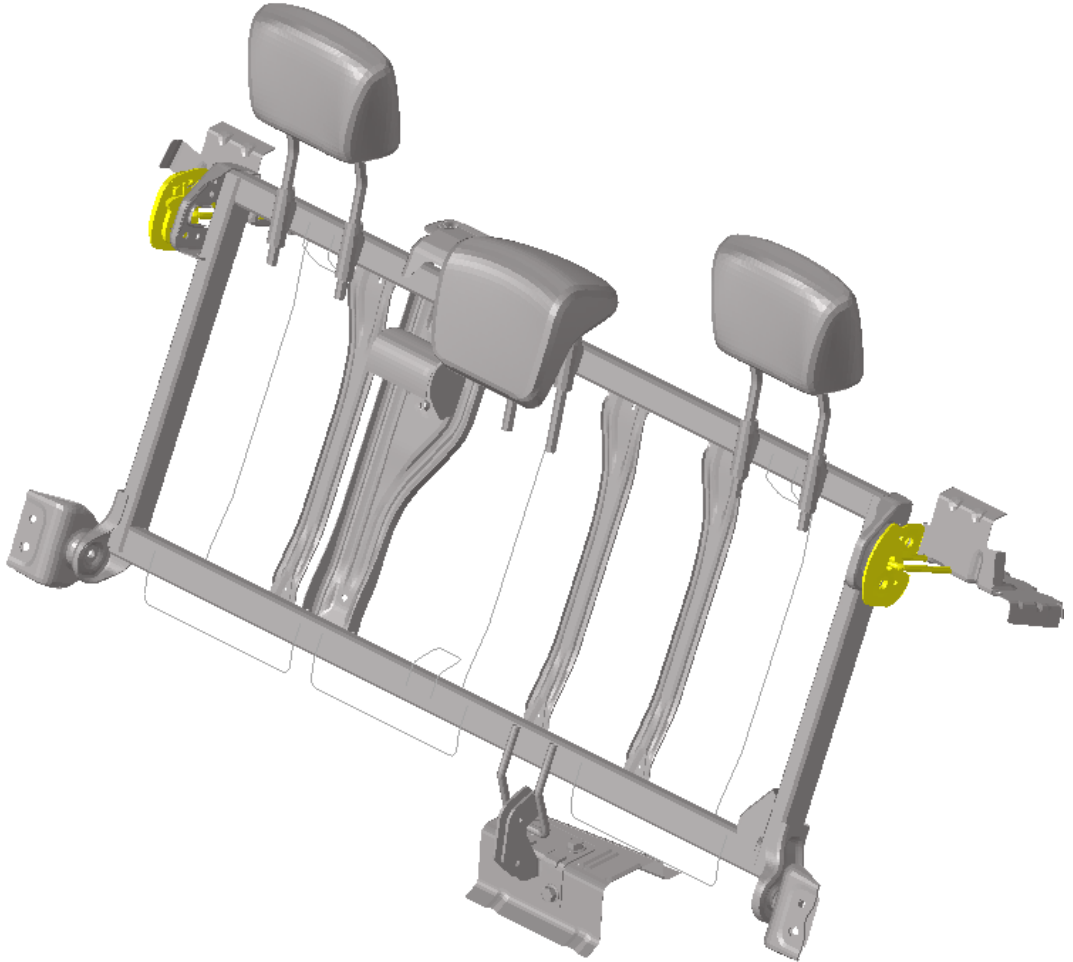
M1 sınıfı yolcu koltuklarında duvar bağlantı braketi zemin bağlantı braketi ile birlikte koltuğu araca bağlayan yapılardır. Duvar bağlantı braketi koltuğun sağından ve solundan olmak üzere iki bölgeden civatalar yardımıyla araca bağlanır. Sahip olduğu bu bağlantı civataları aynı zamanda dönme merkezi olup koltuğun katlanıp açılmasına olanak sağlamaktadır. Koltuk üzerindeki ana görevi kaza esnasında üzerine gelen yükler neticesinde araç ile koltuk arasındaki bağlantıyı sağlayıp koltuğun bütünlüğünü korumasıdır.



**Şekil 3.3.** M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında duvar bağlantı braketi

### 3.1.4 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında kilit mekanizması

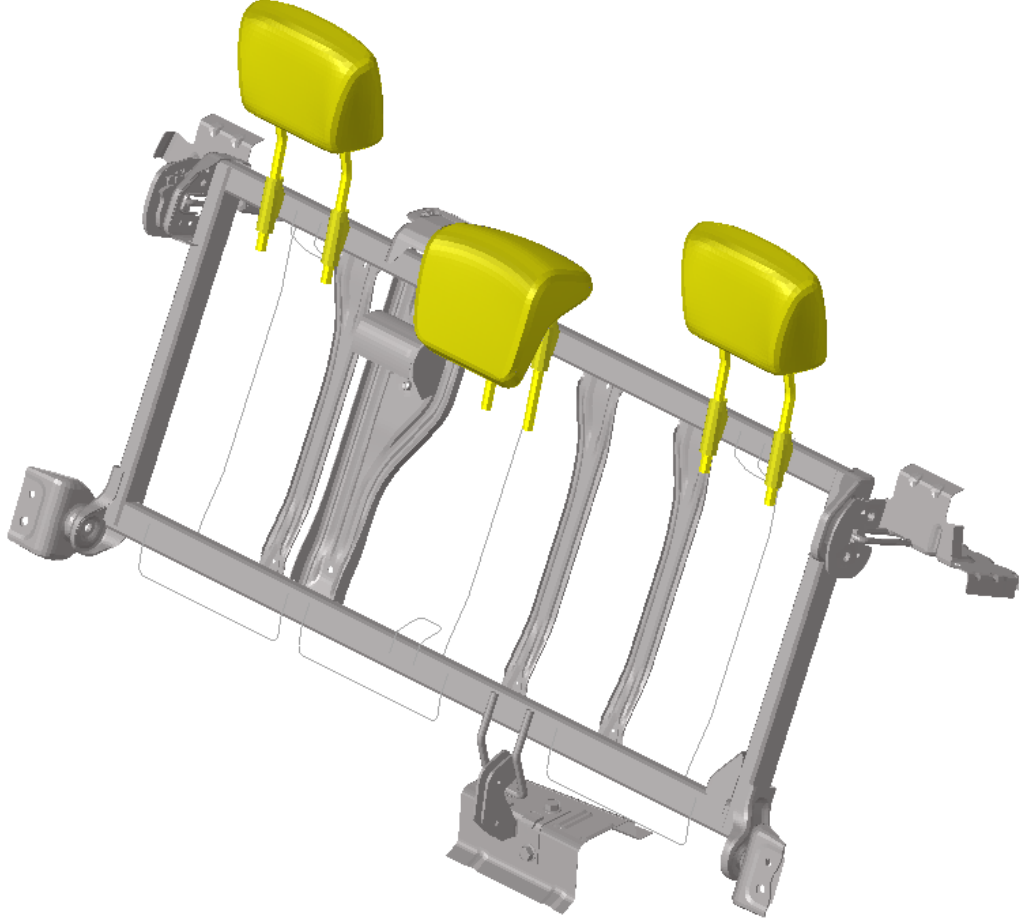
Kilit mekanizması yolcu koltuğunu sırt bölgesinin üst kısmından araca bağlayan mekanizmadır. Görevi koltuğun sırt kısmının katlanabilir olmasını sağlamasıdır. Ayrıca kaza esnasında yolcu koltuğu ile araç arasında bağlantıyı korumalıdır. Kaza esnasında en çok yüke maruz kalan koltuk elemanlarından olup üzerine gelen yükleri araç iskeletine aktarmakla sorumludur. Avrupa Ekonomik Komisyonu tarafından belirlenmiş dayanım testleri esnasında kilit mekanizmasının açılıp ayrılmaması, herhangi bir parçasının kırılmaması veya yırtılmaması gibi gereksinimleri yerine getirmesi beklenir.



Şekil 3.4. M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında kilit mekanizması

### 3.1.5 M1 sınıfı araçların yolcu koltuklarında başlıklar

Yolcu koltuklarında başlıklar, yolcuların seyahat esnasındaki konforu ve olası kaza durumunda güvenliğini sağlamaktadır. Arkadan çarpmanın gerçekleştiği kaza durumlarında yolcunun kafası aracın sahip olduğu hızın getirdiği eylemsizlikle beraber insan boynunda ölümcül hasarlara ve yaralanmalara sebep olabilmektedir. Kaza esnasında başlıklar insan kafasının sahip olduğu eylemsizliğin sebep olacağı hasarları ve yaralanmaları darbe sönümlenme yetenekleriyle azami seviyeye indirmektedir. Avrupa Ekonomik Komisyonu tarafından belirlenmiş çeşitli başlık darbe testleri bulunmaktadır. Bu testlerin temel amacı kaza esnasında insan kafasına ve boynuna gelen yükleri en aza indirmektir.



Şekil 3.5. M1 sınıfı araçların yolcu koltuğu başlıkları

### 3.2 Araçların Sınıflandırılması

Araç koltuklarının tasarımında müşterilerin talepleri ile birlikte koltukların kullanılacağı araç sınıfı da büyük rol oynamaktadır. Yolcu koltukların kullanılacağı aracın sınıfının değişmesiyle birlikte Avrupa Ekonomik Komisyonu tarafından belirlenen test şartları ve standartları farklılık göstermektedir. Bu sebeple her araç sınıfı için farklı standartlarda yapılan testlere göre farklı koltuk tasarımları gerekmektedir. M sınıfi araçlar yolcu seyahati için tasarlanmış ve üretilmiş en az dört tekerleği olan motorlu taşıtlardır.

M1 sınıfı: Sürücü koltuğuna haricinde en fazla sekiz yolculuk oturma kapasitesi olan motorlu araçlardır.

M2 sınıfı: Sürücü koltuğu haricinde sekiz yolcudan fazla oturma kapasitesi olan ve kütlesi 5 tonu aşmayan motorlu araçlardır.

M3 sınıfı: Sürücü koltuğu haricinde sekiz yolcudan fazla oturma kapasitesi olan ve kütlesi 5 tonun üzerindeki motorlu araçlardır.

N sınıfi araçlar yük taşımak için kullanılan en az dört tekerleğe sahip motorlu araçlardır.

N1 sınıfı: Yük taşımak için üretilmiş ve üst sınır olarak kütlesi 3,5 tonu geçmeyen motorlu araçlardır.

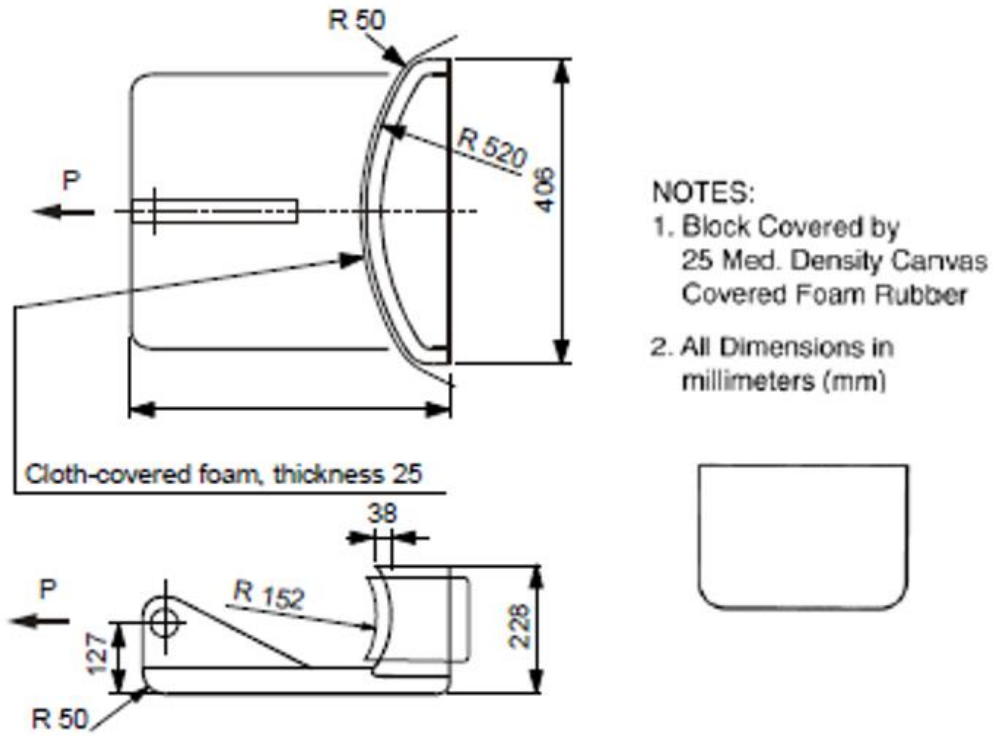
N2 sınıfı: Yük taşımak için üretilmiş ve kütlesi 3,5 ile 12 ton arasında olan motorlu araçlardır.

N3 sınıfı: Yük taşımak için üretilmiş kütlesi 12 tonu geçen motorlu araçlardır. (ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3 2014)

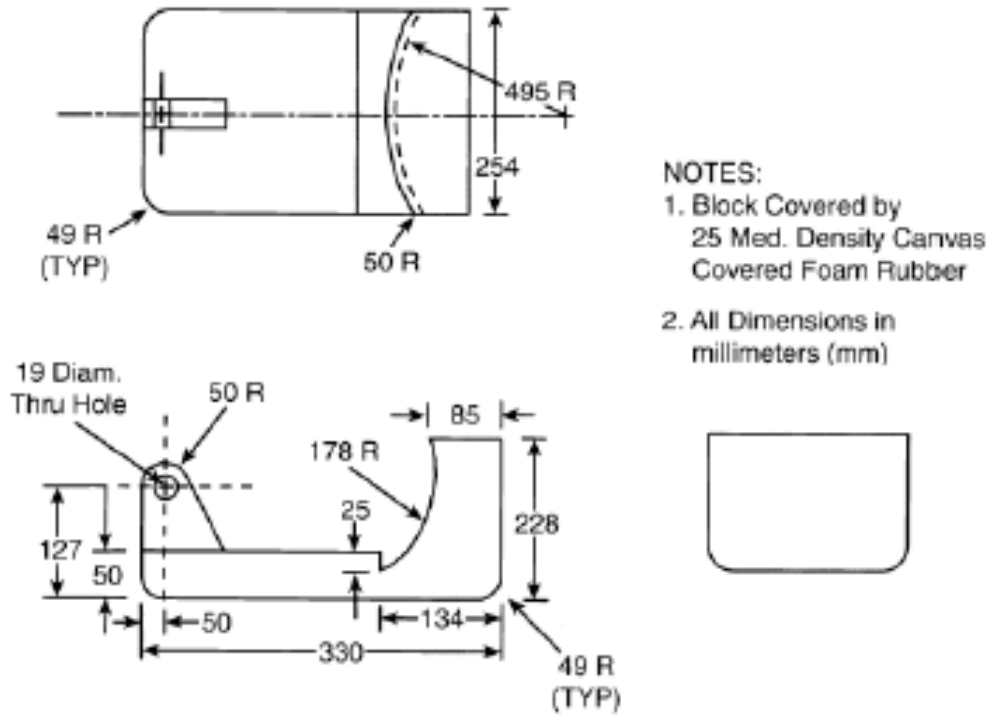
### 3.3 Yolcu Koltukları İçin Güvenlik Şartları

ECE R14 regülasyonu M ve N sınıfi araçların koltukları için emniyet kemer bağlantı elemanlarının ve ISOFIX olarak adlandırılan çocuk koltuklarının tanımlamalarını içerir. Regülasyonda tanımlı emniyet kemer çekme testi sırasında yolcunun bel ve gövde bölgesini temsil etmek adına iki adet çekme aparatı kullanır. Bel bölgesini temsil eden aparat koltuk oturağının üzerinde sırt bölgesine yaslanmış halde, gövde bölgesini temsil eden aparat ise bel bölgesini temsil eden aparata temas edecek şekilde üzerinde konumlandırılır. Testte kullanılan bu aparatlar zemin ile arasında yukarı yönde  $10^{\circ} \pm 5^{\circ}$  açığa sahip pistonlara zincirler veya başka bağlantı elemanları ile bağlanırlar. Koltuğun emniyet kemer bağlantı noktaları arasındaki mesafeye göre kullanabileceğimiz bel

bölgesini temsil eden büyük ve küçük olmak üzere iki adet çekme aparatı mevcuttur. Küçük olan aparat 254 mm büyük olan aparat ise 406 mm genişliğe sahiptir. Test sırasında bel bölgesini temsil olarak kullanılan aparatlar Şekil 3.6'da ve Şekil 3.7'de gövde bölgesini temsil eden aparat ise Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu aparatların test esnasındaki konumları ise Şekil 3.9'da verilmiştir. ECE R14 regülasyonu iki nokta ve üç nokta emniyet kemer bağlantısı olan koltuklara farklı uygulanır. İki nokta emniyet kemer bağlantısı olan koltuklarda sadece bel bölgesini temsil eden aparat kullanılır ve emniyet kemeri bu aparatın üzerinden geçecek şekilde bağlanır. Üç nokta emniyet kemer bağlantısı olan koltuklarda ise bel bölgesini temsil eden aparat ile birlikte gövde bölgesini temsil eden aparat kullanılır ve emniyet kemeri bu aparatların üzerinden geçecek şekilde bağlanır. Emniyet kemerlerini aparatlara bağladıktan sonra kemerler kilitli duruma getirilir. Kilitlenen emniyet kemerleri pistonlar yardımıyla koltuğa iletilen ön yük ile gerdirilerek kilitli pozisyonlarında kalması sağlanır. Aparatlar pistonlar yardımıyla çekme kuvvetine maruz kalarak üzerine gelen yükleri emniyet kemeri vasıtasıyla yolcu koltuğuna iletirler. Koltuğa uygulanan çekme kuvvetinin %10'u kadar ön yük uygulanır ve bu yüklerin mümkün olan en kısa sürede uygulanması gerekir. Testte iki nokta ve üç nokta emniyet kemer bağlantılarına sahip koltuklar için uygulanan kuvvetler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

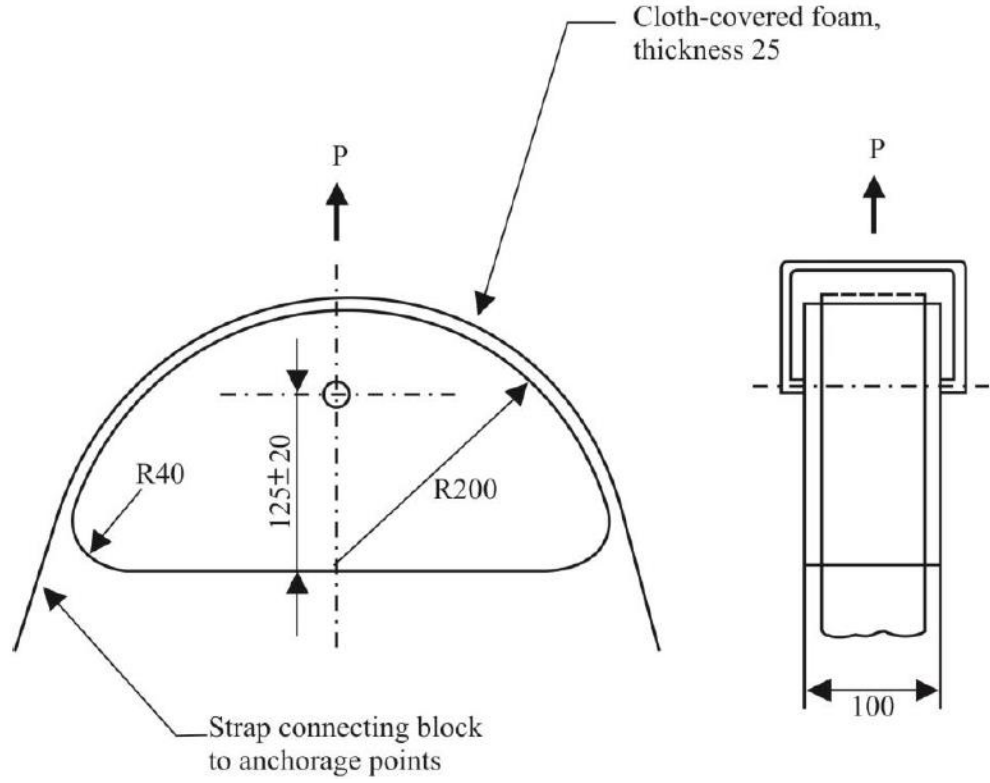


Şekil 3.6. Bel bölgesini temsil eden büyük çekme aparatı (Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to safetybelt anchorages ECE R-14 Regulation 2020)



Şekil 3.7. Bel bölgesini temsil eden küçük çekme aparatı (Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to safetybelt anchorages ECE R-14 Regulation 2020)





**Şekil 3.8.** Gövde bölgesini temsil eden çekme aparatı (Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to safetybelt anchorages ECE R-14 Regulation 2020)

**Çizelge 3.1.** Üç nokta emniyet kemer bağlantısı için uygulanan kuvvetler

Araç Sınıfı	Üst Çekme Aparatına Uygulanan Kuvvetler	Alt Çekme Aparatına Uygulanan Kuvvetler
M1	13500 N ± 200 N	13500 N ± 200 N + 20 x koltuk kütlesi x 9,81 m/s <sup>2</sup>
M2	6750 N ± 200 N	6750 N ± 200 N + 10 x koltuk kütlesi x 9,81 m/s <sup>2</sup>
M3	4500 N ± 200 N	4500 N ± 200 N + 6,6 x koltuk kütlesi x 9,81 m/s <sup>2</sup>

**Çizelge 3.2.** İki nokta emniyet kemer bağlantısı için uygulanan kuvvetler

Araç Sınıfı	Alt Çekme Aparatına Uygulanan Kuvvetler
M1	22500 N ± 200 N + 20 x koltuk kütlesi x 9,81 m/s <sup>2</sup>
M2	11100 N ± 200 N + 10 x koltuk kütlesi x 9,81 m/s <sup>2</sup>
M3	7400 N ± 200 N + 6,6 x koltuk kütlesi x 9,81 m/s <sup>2</sup>



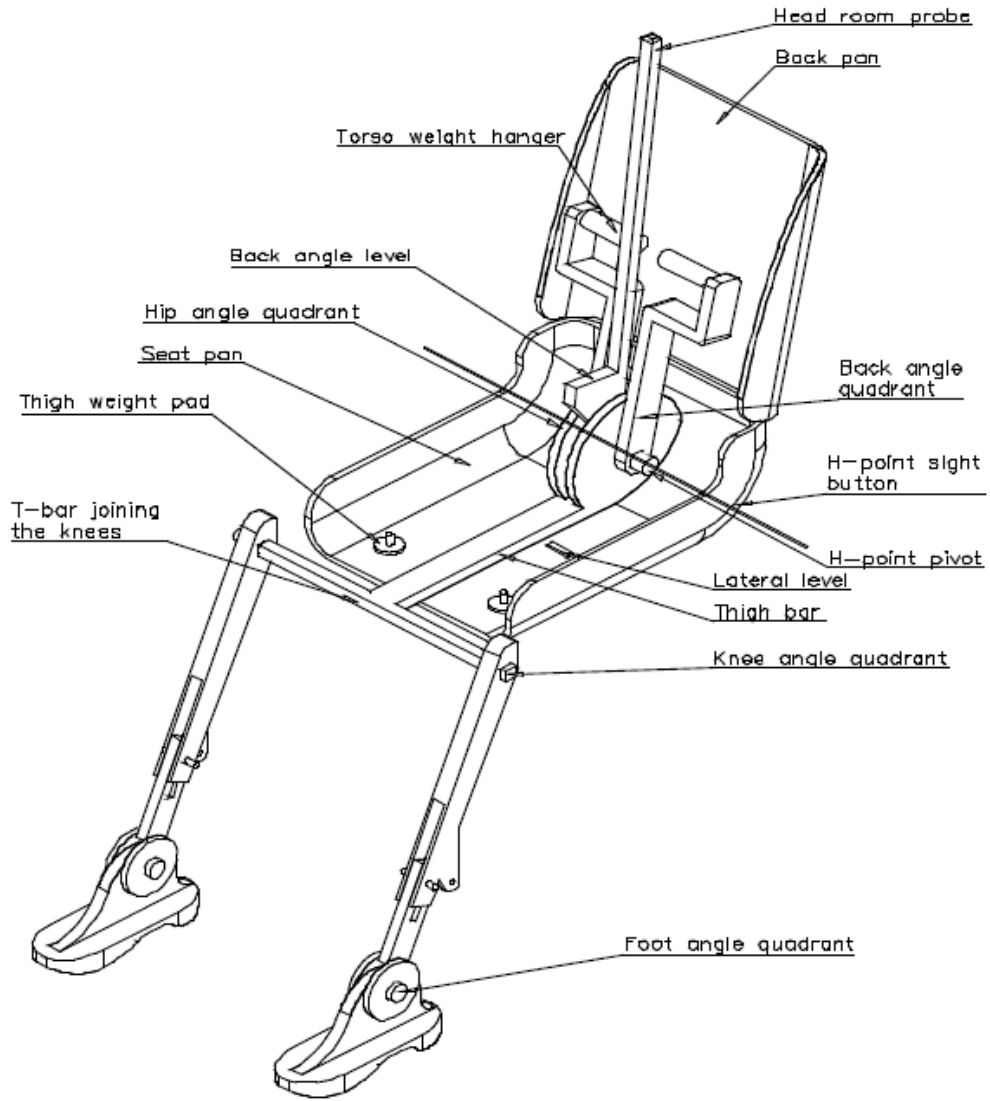
**Şekil 3.9.** ECE R14 testi sırasında çekme aparatlarının konumu

### 3.3.1 Koltuk H noktasının belirlenmesi

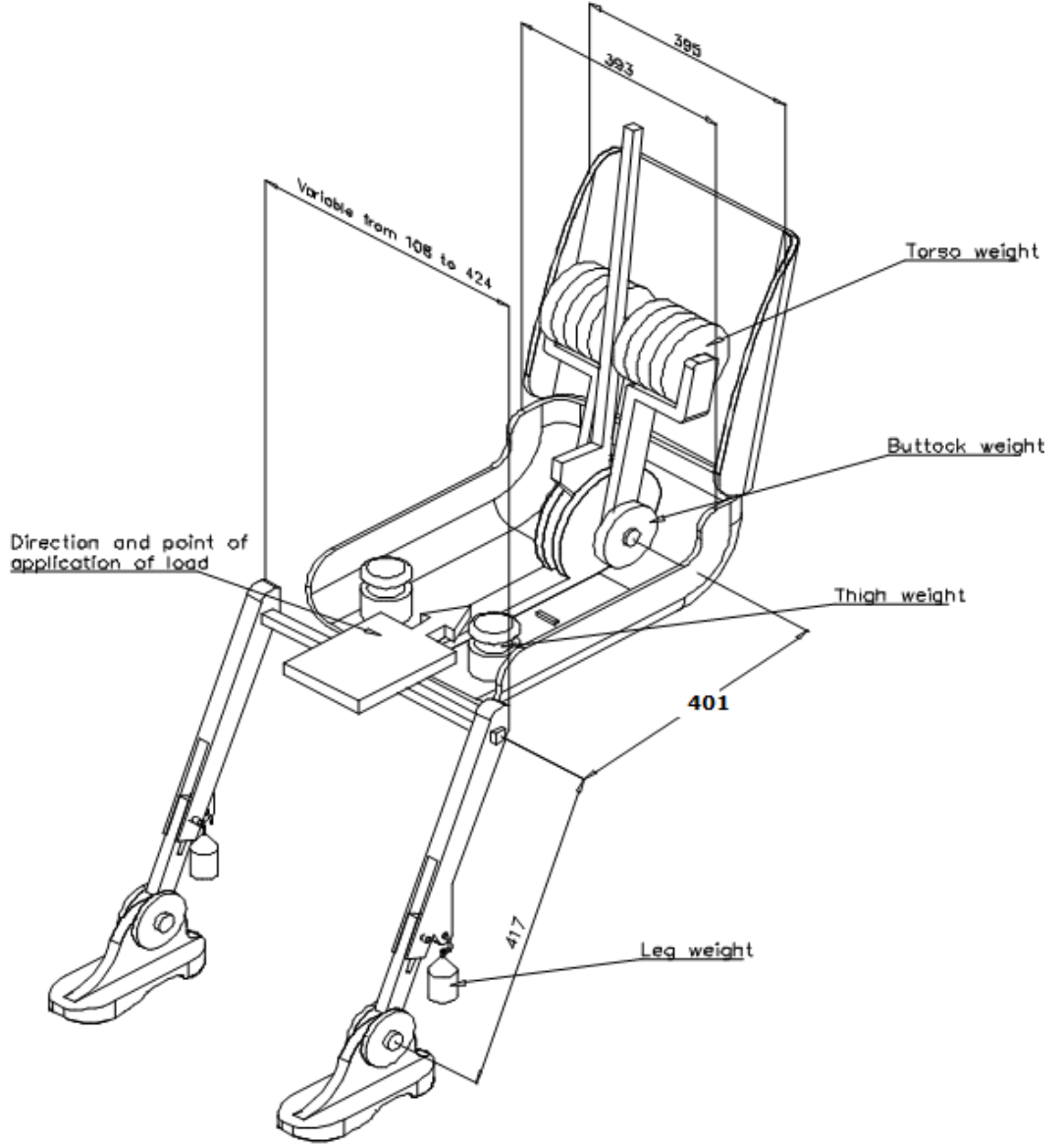
H noktası, yolcu koltuğa oturduğu sırada kalça kemiğinin ortasına denk gelen noktadır. H noktası çoğu güvenlik testi için hayati öneme sahiptir çünkü koltuğun test esnasında göstermesi gereken dayanım sınırını H noktası belirler. Çoğu koltuk tasarım farklılıklarından dolayı birbirinden farklı H noktasına sahiptir bu da her koltuğun testten başarılı olması için sağlaması gereken değerlerin aynı olmadığını gösterir. H noktası, çarpışma testleri için kullanılan cansız mankenlerin ve bazı güvenlik testlerinde kullanılan aparatların konumlandırılmasında kullanılır.

H noktasının belirlenmesi Şekil 3.10'da verilen mankenin koltuk üzerine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Manken temel olarak kalça ve gövde olmak üzere iki bölümden oluşur. Manken koltuğa oturtulduğu sırada normal bir insanın ağırlığının koltuk üstündeki etkisini temsil etmek için mankenin bacak, uyluk, kalça ve gövde bölgelerine ağırlıklar yerleştirilir. Yolcu koltuğa oturduğu esnada hareket kabiliyetini temsil etmek adına eklem noktalarına mafsallar eklenmiştir. Manken üzerine ağırlıkları

koyma bölgeleri ve mafsallar Şekil 3.11’de verilmiştir. Manken üzerinde bulunan kafa mili ile mankenin koltuğa oturtulacağı sırt açısı belirlenir. Koltuğun merkezi ile mankenin merkezi aynı düzlemde olacak şekilde manken koltuğa yerleştirilir. Üzerine ağırlıklar yerleştirildikten sonra koltuğa oturtulan mankene Şekil 3.11’de gösterilen yük uygulama noktasından 100N kuvvet uygulanır. Mankenin istenilen pozisyona gelmesiyle H noktası belirlenir. (Thiyagarajan, 2008)



**Şekil 3.10.** H noktası belirlemek için kullanılan manken (ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3 2014)

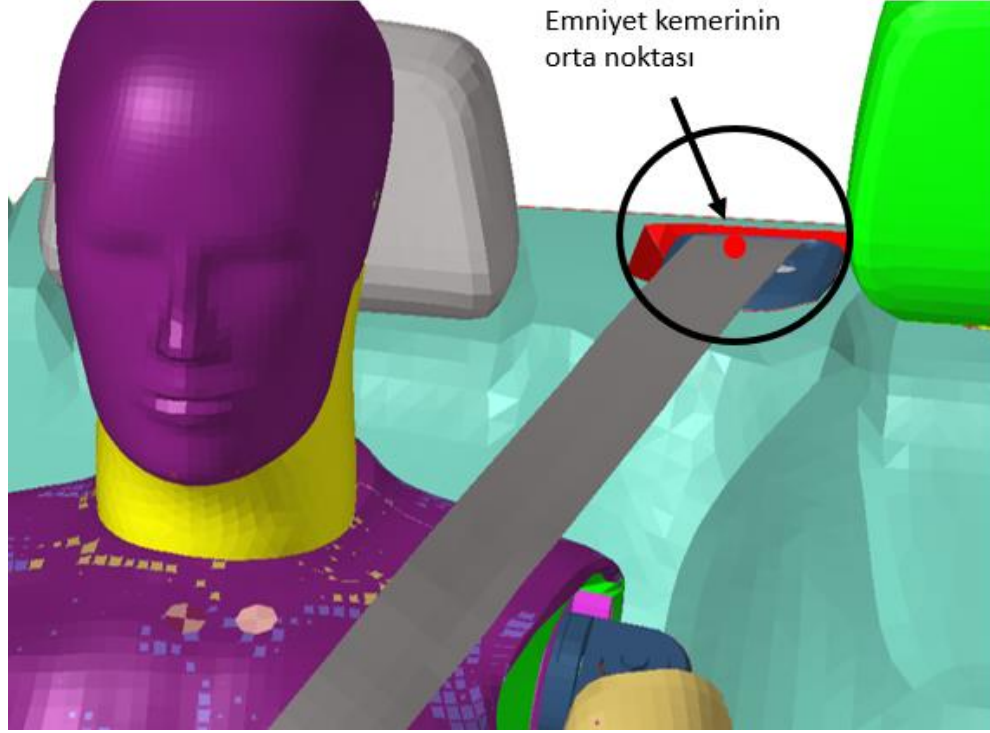


Şekil 3.11. Manken ölçüleri ve ağırlıkları (ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3 2014)

### 3.3.2 Koltuk C çizgisinin belirlenmesi

C çizgisi ECE R14 emniyet kemer çekme testinde yolcu koltuğunun yapabileceği yer değiştirme sınırını belirleyen çizgidir. Araç içerisinde yolcunun kullandığı emniyet kemeri bağlantıları koltuk veya araç üzerinde bulunabilir ve C çizgisinin konumu buna göre değişkenlik gösterebilir. Yolcunun emniyet kemerini taktığı esnada gövde bölgesine bağlanan emniyet kemerinin koltuğun içerisinden çıktığı bölgeye emniyet kemerinin aktığı nokta denir. Gövde bölgesine takılan emniyet kemeri koltuğun içerisinden

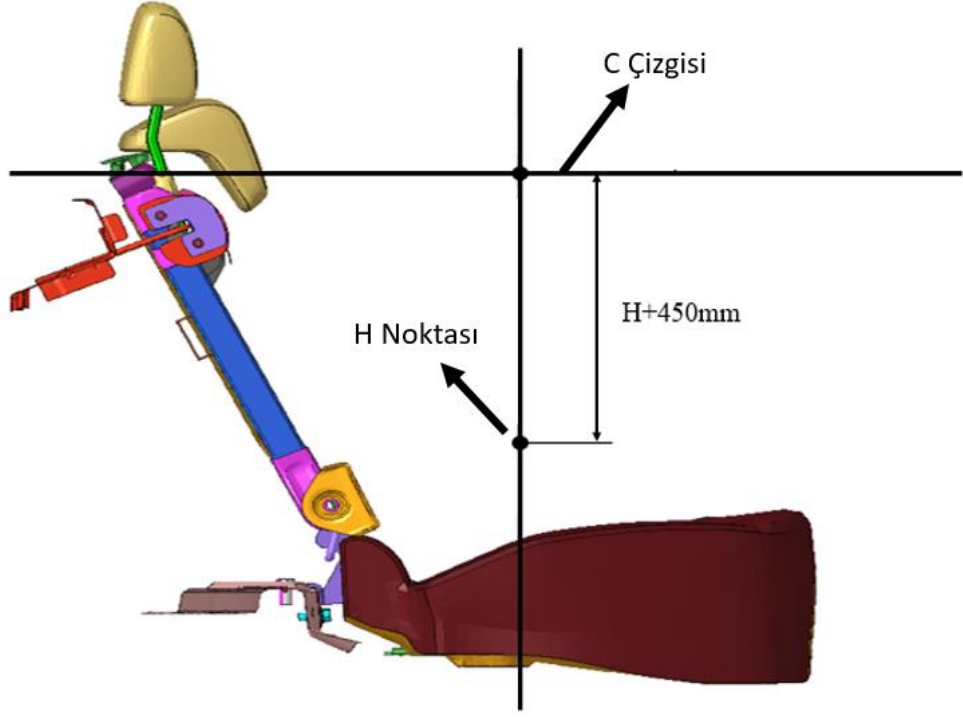
çıkıyorsa C çizgisinin konumu H noktasından dikey olarak 450 mm yukarıya çıkararak hesaplanır. Yolcu koltuğunda emniyet kemerinin aktığı nokta Şekil 3.12’de verilmiştir.



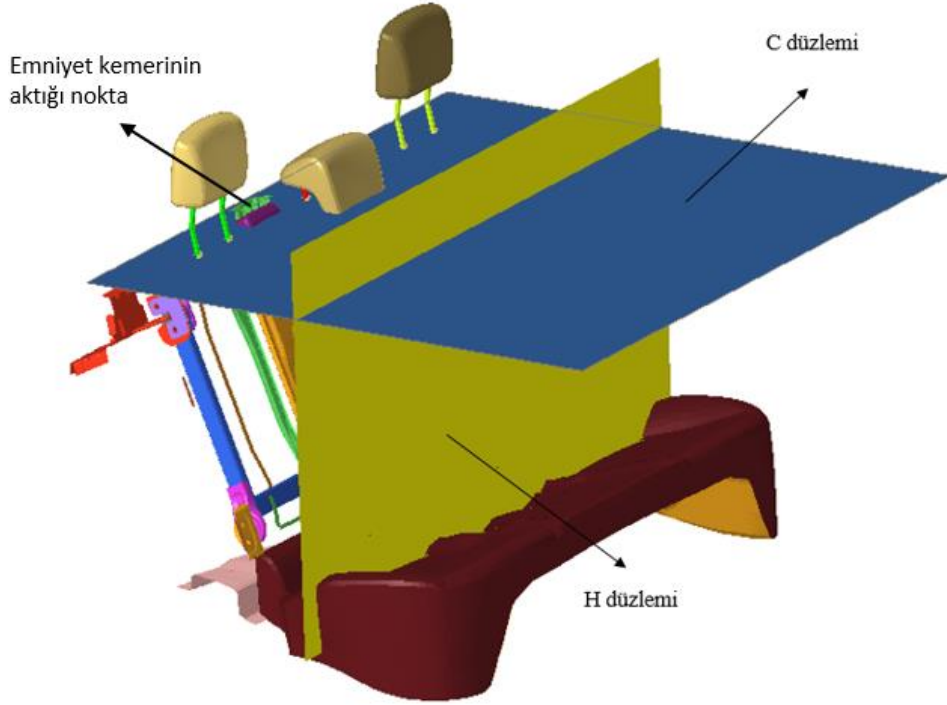
**Şekil 3.12.** Emniyet kemerinin aktığı nokta

### 3.3.3 Test sonuçlarının başarı şartları

Emniyet kemer çekme testi sırasında Çizelge 3.1 veya Çizelge 3.2’de verilen yüklere ulaşıldığında, koltuk bu kuvvetlere en az 200 milisaniye dayanmalı ve koltuk yapısı üzerinde herhangi yırtılma veya kopma meydana gelmemelidir. Ayrıca koltuğun Şekil 3.12’de gösterilen emniyet kemerinin aktığı bölgedeki emniyet kemerinin tam orta noktası C çizgisinin altında kalmamalı ve H noktasının ötesine geçmemelidir.



Şekil 3.13. C çizgisi ve H noktası



Şekil 3.14. C çizgisi ve H noktasından geçen düzlemler

### **3.4 Sayısal Analiz**

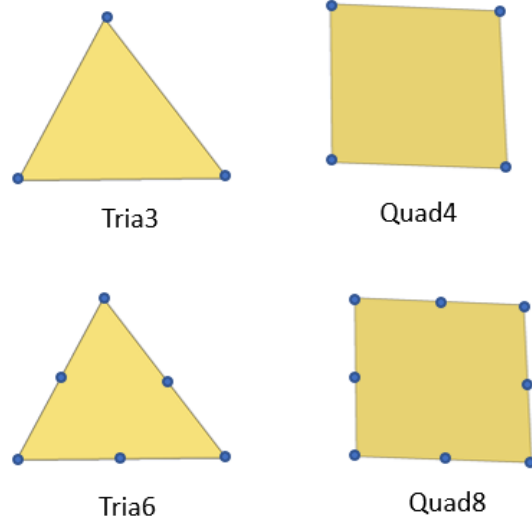
Nümerik analiz ya da sayısal çözümlene olarak adlandırılan sayısal analiz, verilen sayısal değerleri kullanarak amaca yönelik çözüm yöntemleri geliştiren bilim dalıdır. Teknolojinin gelişmesiyle bilgisayarlar yardımıyla sayısal analiz yöntemi kullanılarak çözümü mümkün olmayan mühendislik problemleri çözümü mümkün hale gelmiştir. Sayısal analiz ile ilgili yapılan çalışmalar arttıkça sayısal analize daha fazla ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır ve sayısal analizin alt dalları gelişmiştir. Sayısal analizin alt dallarına lineer cebir, adi diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümleri ve optimizasyon örnek gösterilebilir.

#### **3.4.1 Sayısal analizde bilgisayarın önemi**

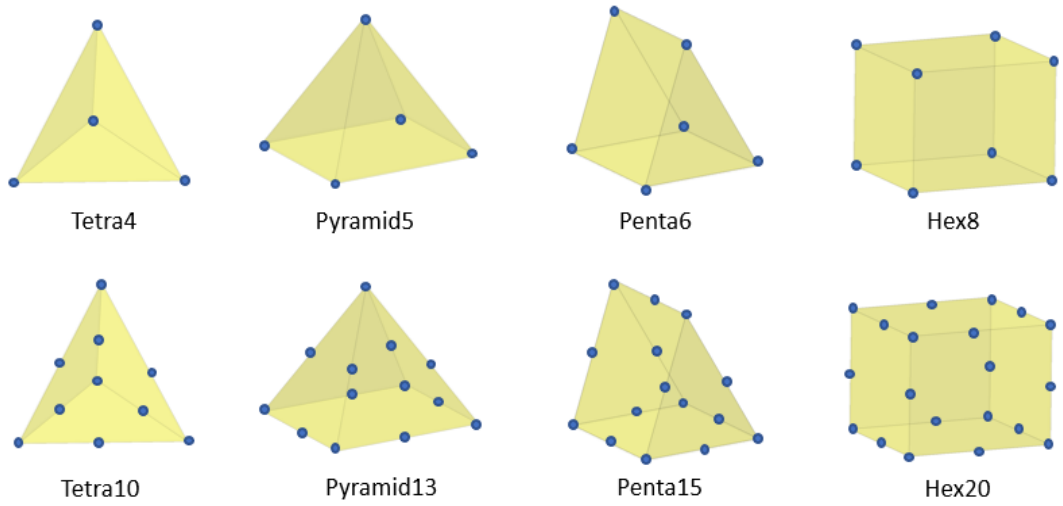
Modern bilgisayar sistemleri icat edilmeden önce sayısal analizler kağıt kalem ile gerçekleştiriliyordu ve oldukça zaman alabiliyordu. Günümüz bilgisayarlarının icat edilmesiyle ve sahip olduğu işlem kapasitelerinin artmasıyla, karşılaşılan çoğu sistemi matematiksel modelleme olanağı ortaya çıkmış ve sayısal analiz yapabileceğimiz algoritmalar geliştirilmiştir. 20. yüzyıldan itibaren karşılaşılan mühendislik problemlerini sayısal analiz yöntemiyle çözmek için bazı bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir. Bu geliştirilen yazılımların en önemlilerinden birkaçı sonlu elemanlar yazılımlarıdır. Sonlu elemanlar yazılımlarının temelinde sayısal analiz yer almaktadır.

### **3.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi**

Sonlu elemanlar yöntemi klasik metotlarla çözümü çok zor ya da mümkün olmayan matematiksel problemleri çözmek için geliştirilmiş bir sayısal analiz yöntemidir. İlk olarak 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Karmaşık tasarımlara sahip modellerin çözümünde kullanılan sonlu elemanlar yönteminde geometri, sonlu ağ yapısı olarak adlandırılan sonlu sayıda elemanlara bölünür ve istenilen sonuçlar bu elemanlar üzerinden elde edilen verilerle hesaplanır. Sonlu elemanlar yönteminde boyutsuz, tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu elemanlar olmak üzere çeşitli eleman tipleri mevcuttur. Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken kullanılan eleman tipleri gerçekleştirilecek analizin türüne göre değişmektedir.



**Şekil 3.15.** İki boyutlu elemanlar

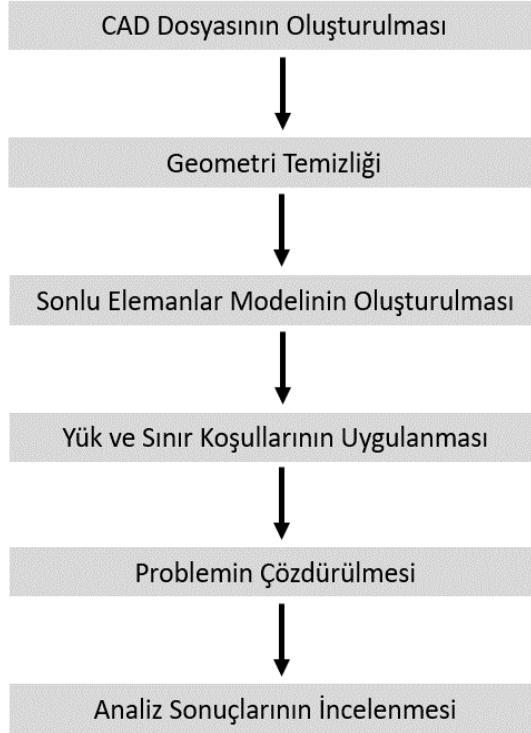


**Şekil 3.16.** Üç boyutlu elemanlar

Ağ yapısı düğüm noktalarından meydana gelir ve her düğüm noktasının üç adet dönme ve üç adet öteleme olmak üzere altı adet serbestlik derecesi mevcuttur. Sonlu elemanlar yöntemiyle analizi gerçekleştirilecek bir modelin geometrisi ağ yapısı oluşturmaya hazır hale getirilir. Geometri hazırlama işlemi gerçekleştirdikten sonra istenilen analiz türüne ve sınır şartlarına göre uygun eleman modeli seçilerek ağ yapısı oluşturulur. Böylelikle geometri sonlu sayıda elemanlara bölünerek temsil edilmiş olur. Ağ yapısı oluşturulan geometrinin analiz şartları için istenilen yükleme ve sınır şartlarının tanımlanmasıyla sonlu elemanlar modeli hazırlanmış olur. Analiz türüne göre uygun olan kapalı kod veya



açık kod gibi birçok farklı hesaplama yöntemine sahip çözücü içerisinde en uygun olanı seçilerek sonlu elemanlar modeli çözülür. Sonlu elemanlar yöntemi ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve mukavemet gibi alanlarda karşılaşılan mühendislik problemlerini çözmek için kullanılır. Sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü gerçekleştirilen bir problemin iş akış şeması Şekil 3.17’de verilmiştir.



**Şekil 3.17.** Sonlu elemanlar analizi gerçekleştirme adımları (Bolu 2022)

### 3.5.1 Doğrusal olmayan sistemlerin çözümü

Malzemenin akma sınırının üzerinde gerçekleşen deformasyonlar için malzemede doğrusal olmayan davranışlar gözlenir. Sonlu elemanlar analizlerinde çözümün doğrusal denge denklemleri ile hesaplanmadığı durumlarda Hooke eşitliği ile gerçekleştirilen çözüm yeterli olmamaktadır. Gerçekçi sonuçlar elde etmek için çözüm doğrusal olmayan birden fazla adımda gerçekleştirilir. Doğrusal olmayan çözümlerde sisteme yapılan yüklemeler her adım için bölünerek hesaplanır. Gerçekleştirilen her çözüm adımında belli bir yakınsama değeri elde edilir ve bir sonraki adımda hesaplanacak yakınsama değeri için kullanılır. Hesaplanan bütün yakınsama değerlerinin neticesinde istenilen sonuç elde edilir.

### 3.5.2 Doğrusal olmayan dinamik sistemlerin çözümü

Doğrusal olmayan dinamik sistemlerin çözümü sonlu elemanlar uygulamalarında çoğunlukla karşılaşılan bir analiz türüdür. Doğrusal olmayan dinamik analizlerin çözümü açık kod yöntemi ile gerçekleştirilir. Açık kod kullanılan problemlerin çözümleri rijitlik matrisi kullanılmadığı için daha sadedir. Açık kod çözümlerinde sistemin kararlı olması adına sonlu elemanlar modeli küçük zaman adımlarında çözdürülür. Açık kod çözümlerinde denge hali aranmaz, bütün zaman aralıklarında yükleme şartları farklıdır. Denge denklemi, 3.1’de gösterildiği gibi dinamik analizlerin çözümünde kullanılmaktadır. (Yaşar 2011)

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \quad (3.1)$$

Sonlu farklarla yukarıdaki denklemi ifade etmek gerekirse denklem (3.2) halini alır.

$$[M]\{\ddot{X}_n\} + [C]\{\dot{X}_n\} + [K]\{X_n\} = \{F_{dış}(t_n)\} \quad (3.2)$$

[K]: Katılık matrisi

[C]: Sönümlenme matrisi

$\{F_{dış}\}$ : Dış kuvvetler vektörü

$[K]\{X_n\} = \{F_{iç}(t_n)\}$

Denklemin çözümü sırasında yapıya etkiyen diğer kuvvetler de hesaba katıldığında genel olarak hareket denklemi (3.3) aşağıda verilmiştir.

$$[M] \left\{ \frac{\partial \theta}{\partial t} \right\} = \{F_{dış}\} - \{F_{iç}\} + \{F_{gövde}\} + \{F_{hrhg}\} + \{F_{kontak}\} \quad (3.3)$$

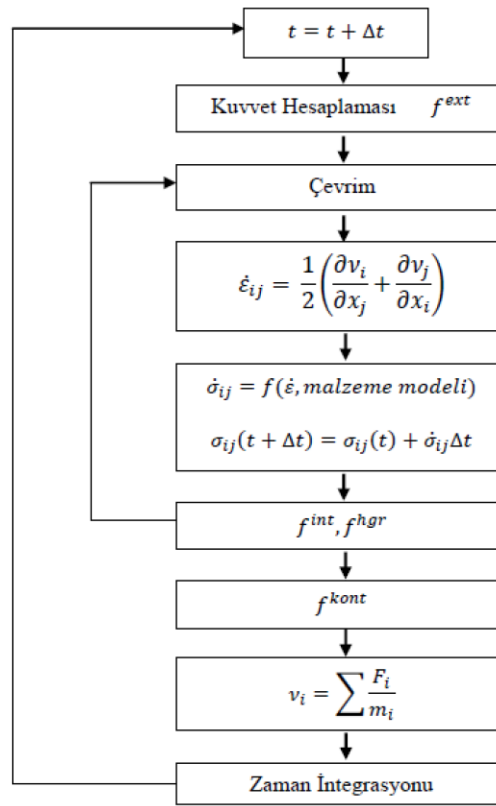
$\{F_{gövde}\}$ : Gövde kuvvetleri

$\{F_{hrhg}\}$ : Hourglass kuvvetleri

$\{F_{kontak}\}$ : Kontak kuvvetleridir.

### 3.5.3 Açık kod hesaplama yöntemi

M1 sınıfı aracın yolcu koltuğu için ECE R14 emniyet kemer çekme testinin sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler Radioss yazılımında açık kod yöntemiyle çözdürülmüştür. Açık kod yöntemiyle gerçekleştirilen çözüm sıralaması Şekil 3.18'deki gibidir. Zaman adımı kavramı açık kod çözüm yönteminde önemli bir role sahiptir. Açık kod hesaplama yöntemiyle çözüm yaparken bir zaman adımı içerisinde sisteme etki olarak kuvvet, hız, ivme, moment ve deplasman gibi dış yükler uygulanır.



Şekil 3.18. Açık kod çözüm adımları (Yaşar 2011)

### 3.5.4 Açık kod için zaman aralığı hesaplanması

Bir sonlu elemanlar analizini açık kod kullanarak çözdürdüğümüzde zaman aralığı sistemdeki en küçük boyuta sahip elemana göre hesaplanır. Zaman adımı, hesaplaması sonlu elemanların yapısına bağlı olan ve bir şok dalgasının bir elemanın en kısa kenarını aşması için gerekli olan süreye denir. Zaman aralığı, karakteristik eleman boyunu dalga

hızına bölerek elde edilir. Açık kod yöntemiyle çözümü gerçekleştirilen sonlu elemanlar modelinde kullanılacak küçük elemanlar çözümün hassasiyetini artırmakla birlikte çözüm süresinin uzamasına sebep olacaktır. Tek boyutlu elemanlar için zaman aralığı hesabı 3.4’de olduğu gibi hesaplanır.

$$\Delta t = \frac{L_c}{c} \quad (3.4)$$

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

c : ses hızı  
E: Elastisite modülü  
ρ : Yoğunluk  
ν : Poisson oranı  
L<sub>c</sub> : Karakteristik eleman boyu

### 3.6 Yolcu Koltuğunun Sonlu Elemanlar Modelinin Hazırlanması

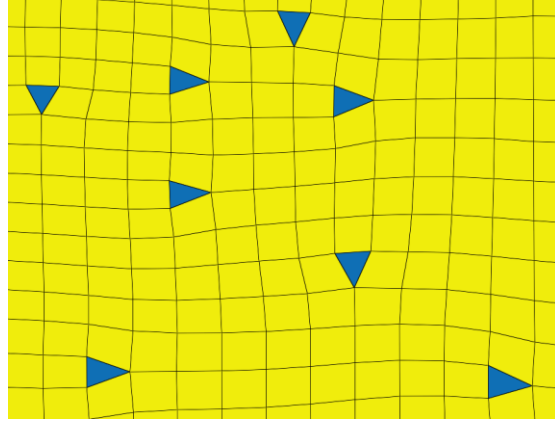
Yolcu koltuğunun sonlu elemanlar modeli HyperWorks, tasarımı ise CATIA yazılımında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan birim sistemleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Çalışmada kullanılan birim sistemleri

Uzunluk	mm
Kütle	kg
Zaman	ms
Kuvvet	kN
Gerilme	GPa

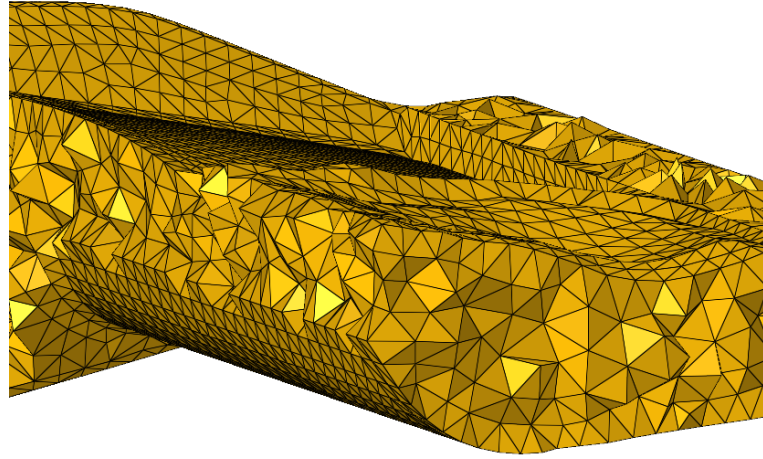
Koltuk yapısının büyük çoğunluğu sac parçalardan oluşturur. Sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirirken çözüm süresi kullanıcılar için büyük önem arz etmektedir. Çözüm süresini belirleyen önemli etkenlerden biri sonlu elemanlar modeli oluşturulurken kullanılan eleman sayısıdır. Sac parçalarda iki boyutlu kabuk elemanlar, tel parçalarda ve cıvatalarda bir boyutlu elemanlar, kaynaklarda rijit elemanlar, sünger ve plastik parçalarda ise üç boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Kabuk elemanların en kısa kenar

uzunlukları, zaman adımının hesaplanmasını doğrudan etkileyeceği için ortalama eleman boyutu 5 mm olarak kullanılmıştır. Kullanılan kabuk eleman tipleri dört düğüm noktasına sahip dörtgen eleman ve üç düğüm noktası bulunan üçgen elemanlardan oluşmaktadır.



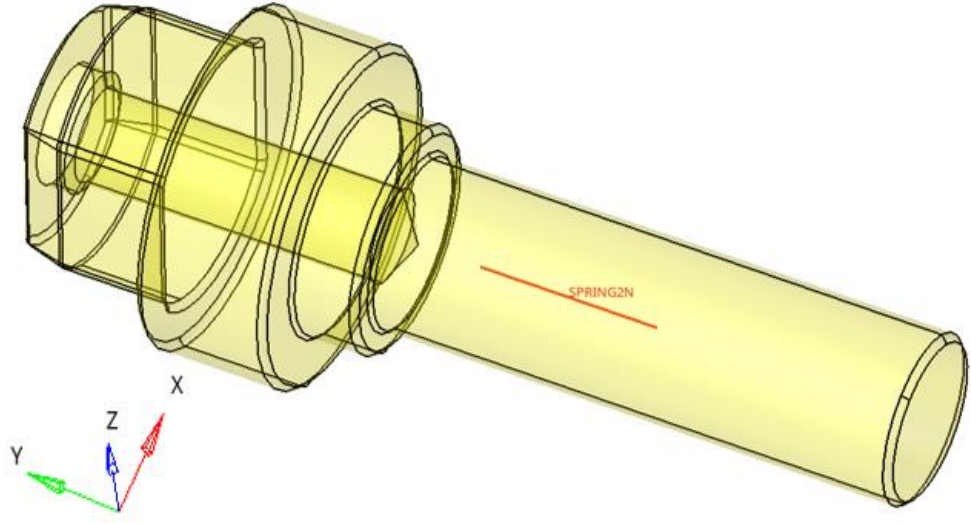
**Şekil 3.19.** Sac parçalarının modelinde kullanılan iki boyutlu elemanlar

Süngerin sonlu elemanlar modeli oluşturulurken kullanılan eleman üçgen prizma şeklinde üç boyutlu bir elemandır. Kullanılan elemanlar ortalama kenar uzunlukları 10 mm olacak şekilde oluşturulmuştur.

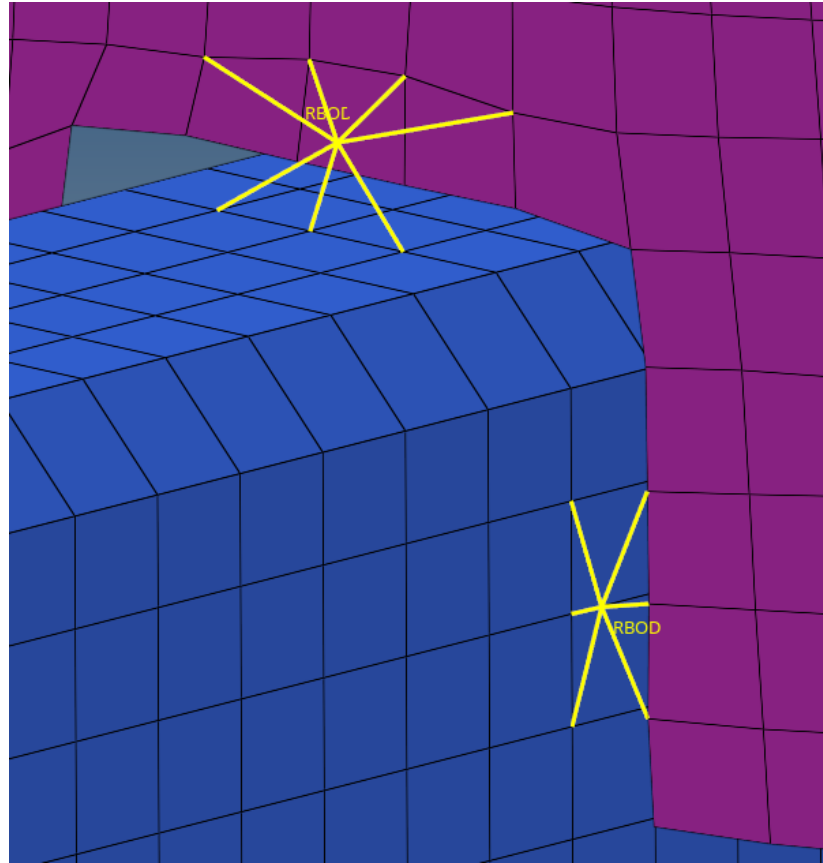


**Şekil 3.20.** Sünger modelinde kullanılan üç boyutlu elemanlar

Koltuğun yapısında bulunan cıvatalar ve bağlantı elemanları sonlu elemanlar modelinde yay eleman adı verilen bir boyutlu elemanlarla temsil edilmiştir. Kullanılan yay elemanlarının tercih edilme sebebi üzerine gelen basma, çekme ve kesme kuvvetlerini gösteriyor olmalarıdır.



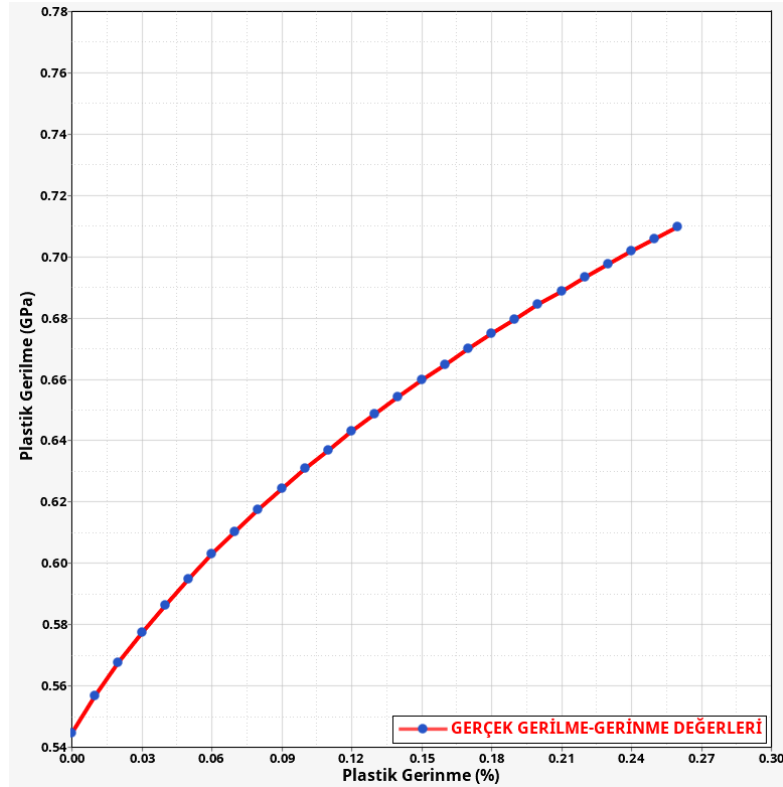
**Şekil 3.21.** Cıvata modelinde kullanılan bir boyutlu yay eleman



**Şekil 3.22.** Kaynak modelinde kullanılan rijit elemanlar

### 3.6.1 Malzeme özellikleri

Yolcu koltuğunun sonlu elemanlar modeli HyperWorks yazılımının Radioss ara yüzünde oluşturulmuştur. Sırt braketlerinin yapısında LAW36 ismiyle tanımlı malzeme kartı kullanılmıştır. LAW36 malzeme kartı izotropik malzemelerin elastik ve plastik bölgedeki davranışlarını tanımlayabildiğimiz bir malzeme kartıdır. Sırt yapısında kullanılan braketlerin malzemesi S420 çelik malzemesidir. Bu malzeme için elastik modülü (E) 210 GPa, poisson oranı ( $\nu$ ) 0,3 ve kütleli yoğunluğu ( $\rho$ )  $7,85 \times 10^{-6}$  kg/mm<sup>3</sup> olarak tanımlanmıştır. Sonlu elemanlar analizinde malzemelerin plastik bölgedeki davranışını gözlemlemek için gerçek gerilme-gerinme eğrileri kullanılmıştır. Bu gerçek gerilme-gerinme eğrileri, malzeme çekme testi gerçekleştirilen numunelerden elde edilen mühendislik gerilme-gerinme eğrilerinden oluşturulmuştur. Elde edilen malzeme değerleri sonucunda sonlu elemanlar analizinde braketler üzerinde %16'lık plastik gerinme olduğu durumlarda malzemenin kopmaya başlayacağı kabul edilmiştir. S420 çelik malzemenin plastik deformasyon bölgesi için gerçek gerilme-gerinme eğrisi Şekil 3.23'de verilmiştir.

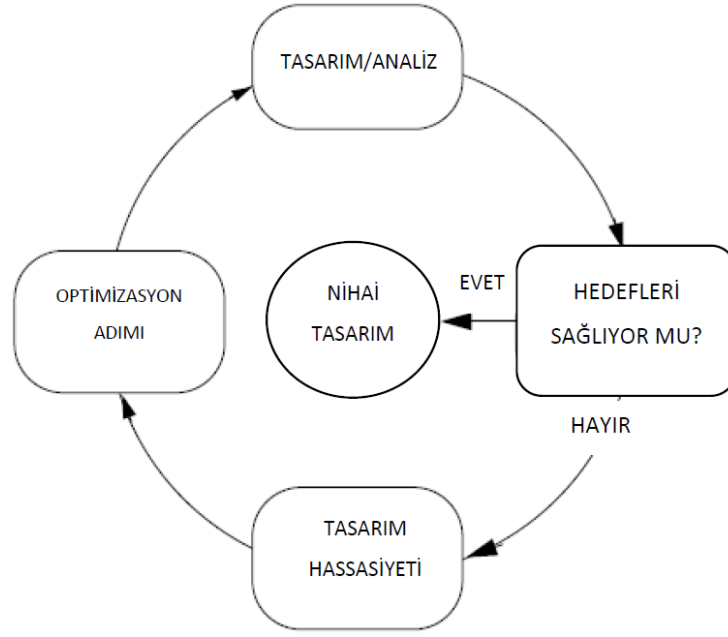


Şekil 3.23. S420 malzeme için kullanılan gerçek gerilme-gerinme eğrisi

### 3.7 Optimizasyon

Geliştirme aşamasında olan bir parçadan en iyi performansı almak için, yapılan analizler ve test sonuçları doğrultusunda parçanın geometrisi üzerinde değişiklikler yapılır. Bu değişiklikler kalınlık, geometride kabartma ve üzerinde deformasyonun çok gerçekleşmediği bölgelerde ağırlık hafifletmek için yapılan boşaltma işlemleridir. Gerçekleştirilen bu değişikliklerin hesaplamaları bir bilgisayar yazılımı olmadan elle yapıldığında çok zor ve hataya açık olmaktadır. Uzun zaman alan hesaplamaların ve iş gücünün önüne geçmek adına bu hesaplamaları bilgisayarda çözdüren algoritmalar geliştirilmiştir. Geometride veya tasarımda değişiklikler gerçekleştirirken dayanım, verim, maliyet ve ağırlık gibi hedeflerin bir önceki tasarıma göre daha iyi seviyelere getirilmesine optimizasyon adı verilir. Günümüz teknolojisinde bilgisayar yazılımları ile yapılan bir tasarımın test performansını analiz etmek ve sonuçlarını gözlemlemek mümkündür. Yapılan analizlerin sonucunu yorumlayarak tasarım üzerinde zayıf olan bölgeler için optimizasyon çalışması yapıldığında daha iyi bir tasarım elde etmek mümkündür. Optimizasyon algoritmaları için çoğunlukla tasarım değişkenlerini veri olarak girmek gerekir. Bu değerler referans alınarak optimizasyon çalışması gerçekleştirilir ve her optimizasyonda tasarım değişikliğe uğrar. Optimizasyonlar için çözümler gerçekleştirilirken gelecek optimizasyon için önceki ardışık iki çözümün arasında yakınsamanın gerçekleşip gerçekleşmediğine bakılır, yakınsama değeri istenilen değerler arasında kalır ise en iyi sonuca ulaşılmış olur ve optimizasyon işlemi başarıyla tamamlanmış olur. Ardışık iki çözümün arasındaki yakınsama istenilen değerler arasında değilse bu değer elde edilene kadar çözümler gerçekleştirilerek model için optimizasyon yapmaya devam edilir ve tasarım hassasiyeti analizine sokulur. Tüm çözümler tamamlanıp optimizasyon gerçekleştirildikten sonra model güncellenerek optimizasyon akış şemasının başına tekrar gelir ve yakınsamanın olup olmadığı kontrol edilir. Şekil 3.24'de optimizasyon akış şeması verilmiştir.





Şekil 3.24. Optimizasyon akış şeması (Sarısac 2016)

### 3.7.1 Optimizasyon parametreleri

Optimizasyon işlemi gerçekleştirmek için girdi olarak belirli kısıtlamalar tanımlamamız gerekir. İstenilen kısıtlamalara örnek olarak gerilme ve yer değiştirme değerleri verilebilir. Optimizasyon yapılırken bu değer göz önünde bulundurularak amaçlanan sonuç elde edilir.

Yukarıda bahsedilen kısıtlamalara sahip problemler aşağıda olduğu gibi genel doğrusal olmayan formda gösterilebilir.

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  tasarım değişkenleri vektörü olacak şekilde

$g_i(x) \leq 0$  ( $i = 1, \dots, m$ ) eşitsizlik kısıtlamalarını ve

$h_j(x) = 0$  ( $j = 1, \dots, l$ ) eşitlik kısıtlamalarını sağlayan  $f(x)$  fonksiyonunun minimum veya maksimum değeridir. (Menon 2005)

Parça üzerinde optimizasyon yaparken iyileştirmek istediğimiz özellik bizim hedef fonksiyonumuz olur. Hedef fonksiyonuna örnek olarak boyut, ağırlık gibi özellikler gösterilebilir. Optimizasyon yaparken en iyi değere ulaşmak için değişken olarak kullanılan parametrelere tasarım değişkeni adını verilir. Bu parametrelerin alacağı

değerlerin sınırlandırılmasına ise kısıtlama denir. Yapılacak optimizasyonun hedef fonksiyonun türüne göre değişkenlik gösterir. Problemimiz herhangi bir kısıt içermiyorsa veya hedef fonksiyonu olarak belirlediğimiz özellik doğrusal ise, doğrusal olan programlama kullanılmaktadır. Kısıtlamasız çok değişkenli optimizasyon problemi 3.5’de verildiği halde tanımlanabilir.

$$\min f(x) = 3x_1^2 - 2x_1x_2 + 5x_2^2 + 8x_2 \quad (3.5)$$

Hedef fonksiyonun ve değişkenlerin doğrusal olduğu doğrusal programlama problemi örneği 3.6’da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \min f(x) &= 2x_1 + 6x_2 & (3.6) \\ -x_1 + x_2 &\leq 2 \\ 2x_1 + x_2 &\leq 2 \\ x_1 \geq 0, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Doğrusal olmayan çok değişkenli kısıtlamalı optimizasyon problemine örnek 3.7’de verilmiştir.

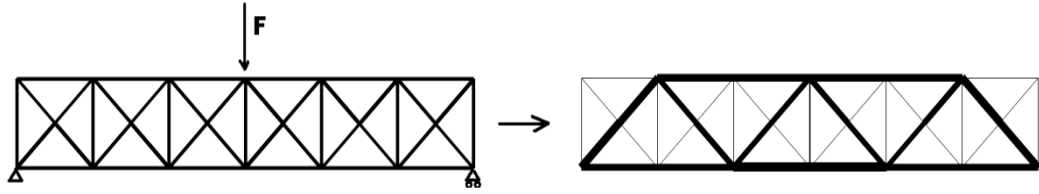
$$\begin{aligned} \min f(x) &= x_1^2 - 2x_1x_2 + 5x_2^2 + 8x_2 & (3.7) \\ \frac{1}{60x_2}x_1 - 1 &\leq 0 \\ 1 - \frac{1}{3600}x_1(x_1 - x_2) &\leq 0 \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

### 3.8 Yapısal Optimizasyon

Mühendisler, üzerinde çalıştıkları parçalar için en uygun tasarıma ulaşmak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerden bir tanesi yapısal optimizasyon metodudur. Bu metot şekil, boyut, topoloji ve topografya optimizasyonu olmak üzere dört ana başlık altında toplanır. Bu başlıklar arasında literatürde bilinen en eski optimizasyon yöntemi parametrik optimizasyon olarak da adlandırılan boyut optimizasyonudur. Boyut optimizasyonunun ardından bilinen en eski optimizasyon yöntemi şekil optimizasyonudur.

### 3.8.1 Boyut optimizasyonu

Parametreleri önceden tanımlanmış optimizasyonlar için uygulanır. Üzerinde optimizasyon yapılan parçanın tasarımı ve geometrisi tanımlanmıştır ve sac parçalarda kalınlık, kiriş yapılarda uzunluk gibi girdiler tasarım değişkeni olarak tanımlanabilir. Optimizasyonu gerçekleştirilen parçalar için tanımlı malzeme özellikleri tasarım değişkeni olarak kullanılabilir.



Şekil 3.25. Boyut optimizasyonu (Olason 2010)

### 3.8.2 Şekil optimizasyonu

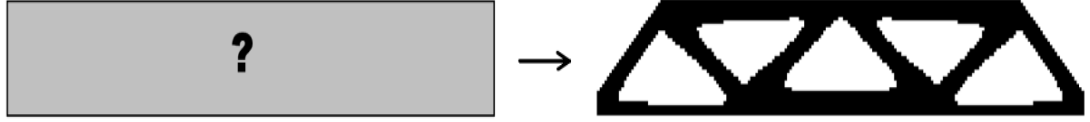
Şekil optimizasyonu bir yapının geometrik özelliklerini ve sınırlarını değiştirir. Geometrik yapının yüzeyi üzerinde tanımlanabilme özelliğinin olmasından dolayı boyut optimizasyonun daha kapsamlısı olarak kabul edilebilir. Boyut optimizasyonuna benzer olarak konfigürasyonu önceden belirlenmiş yapıları esas almaktadır.



Şekil 3.26. Şekil optimizasyonu (Olason 2010)

### 3.8.3 Topoloji optimizasyonu

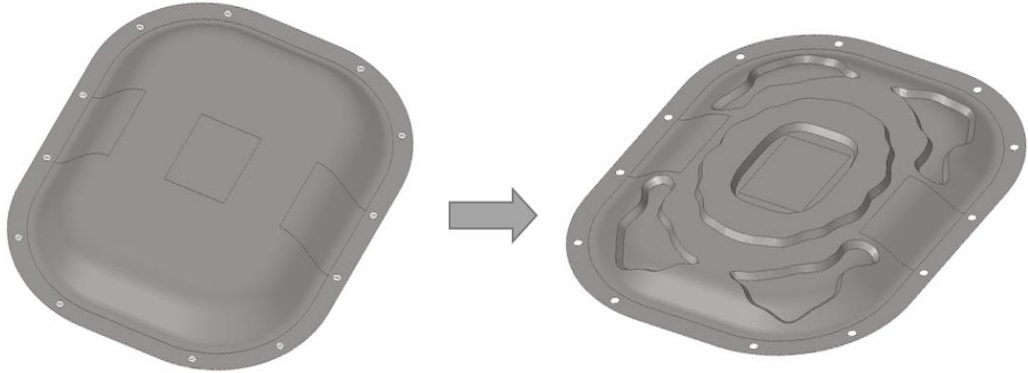
Topoloji optimizasyonu en yaygın olarak kullanılan yapısal optimizasyon metodu olarak bilinmektedir. Bir yapının topolojisini yapı üzerindeki deliklerin, çubukların ve kirişlerin sayısını tanımlar. Boyut ve şekil optimizasyonları için hedef en verimli malzeme dağılımını bulmaktır. Topoloji optimizasyonu için hedef mevcut tasarım alanı için en iyi malzeme ve boşluk dağılımını elde etmektir.



Şekil 3.27. Topoloji optimizasyonu (Olason 2010)

### 3.8.4 Topografya optimizasyonu

Topografya optimizasyonu çoğunlukla sac yapılar üzerinde yapının dayanıklılığını artırmak amacıyla uygulanmaktadır. Dayanımını artırmak amacıyla yapı üzerinde kabartmalar oluşturulur. Şekil optimizasyonunun gelişmiş formudur. Topografya optimizasyonu topoloji optimizasyonuna oldukça benzerdir aralarındaki fark topoloji optimizasyonunda tasarım değişkeni olarak parça üzerinde kabartmalar oluşturulurken topoloji optimizasyonunda tasarım değişkeni olarak yapı üzerinde malzeme yoğunluğu kullanılmaktadır. Optimizasyon esnasında tasarım bölgesi, parça üzerine etki eden ve seri tekrarlarla optimize edilmiş çok sayıda değişkene bölünmektedir. Çok sayıdaki şekil değişkeni kullanıcıya tasarım alanı içerisinde kabartı oluşturabilme olanağı sağlar. (Balaban 2011)



Şekil 3.28. Topografya optimizasyonu

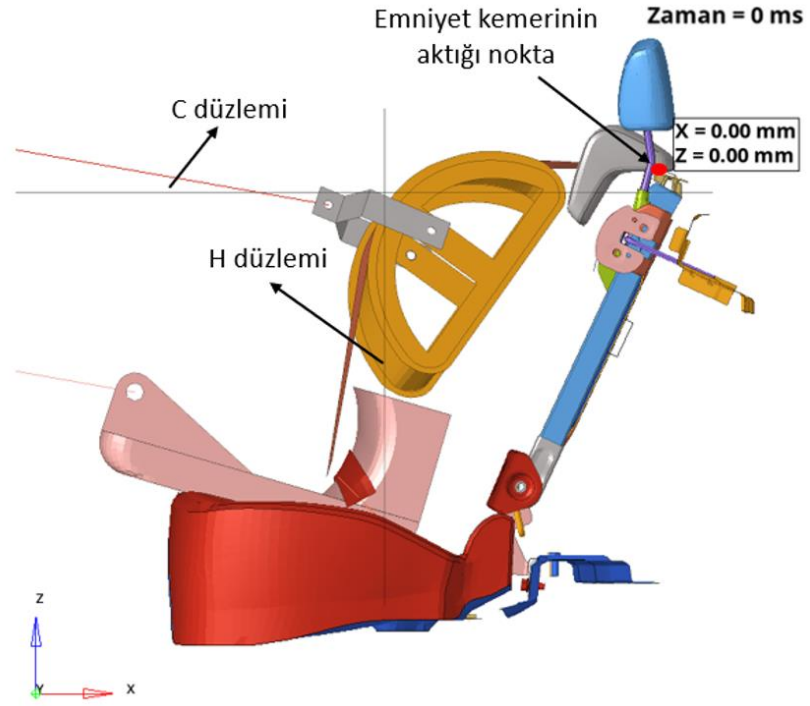
#### **4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI**

Bu çalışmada M1 sınıfı bir aracın arka yolcu koltuğu için ECE R14 emniyet kemer çekme testi koşulları altında sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarıyla koltuğun ECE R14 regülasyonuna uygunluğu incelenmiştir. Koltuğun sırt yapısında yer alan braketler üzerinde ağırlık hafifletmek amacı ile topoloji optimizasyonu gerçekleştirilerek yeni braket tasarımları yapılmıştır. Tasarımı değiştirilen braketler ile birlikte koltuğun ECE R14 emniyet kemer çekme testi için sonlu elemanlar analizleri tekrarlanmış ve sonuçları incelenmiştir.

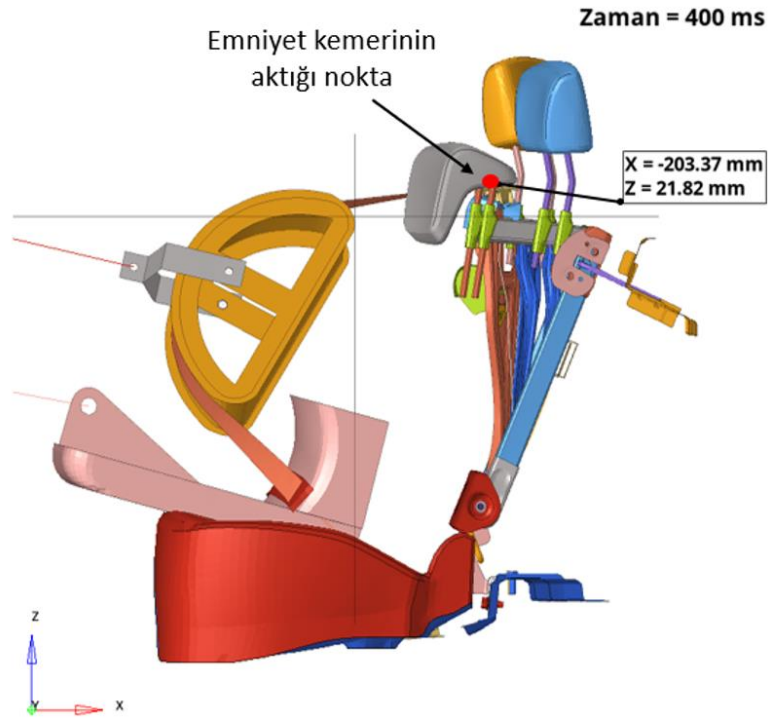
##### **4.1 Koltuk Sonlu Elemanlar Modeline ECE 14 Regülasyonunun Uygulanması**

Yolcu koltuğunun sonlu elemanlar modelinde sınır şartları ECE R14 regülasyonunda belirtilen test şartları doğrultusunda uygulanmıştır. Koltuğun araca bağlantı bölgeleri olan kilit mekanizması, duvar ve zemin bağlantı bölgelerinin üç ekseninde ötelemesi ve üç ekseninde dönmesi kısıtlanarak rijit elemanlar ile sabitlenmiştir. Sonlu elemanlar analizde girilen kuvvetleri çekme aparatlarına iletmesi için zemin ile arasında 10° açı olan tek boyutlu yay elemanlar kullanılmıştır. C çizgisini ve H noktasını belirgin hale getirmek için bu noktalardan geçen yatayda ve dikeyde iki düzlem oluşturulmuştur. Analiz modelinde kullanılan kuvvetler üst çekme aparatı için 13,5 kN alt çekme aparatı için ise 16,5 kN kuvvet en az 200 milisaniye boyunca uygulanacak şekilde tanımlanmıştır. Analiz başlamadan önce alt ve üst aparatlara ana yüklerin %10'u 100 milisaniye boyunca uygulanmıştır. Toplam analiz süresi ise 400 milisaniye olacak şekilde hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar modeli ve sınır şartlarının hazırlanması HyperWorks, analizin çözümü ise Radioss yazılımında gerçekleştirilmiştir.





Şekil 4.2. Sonlu elemanlar analizi başlangıcında yolcu koltuğu

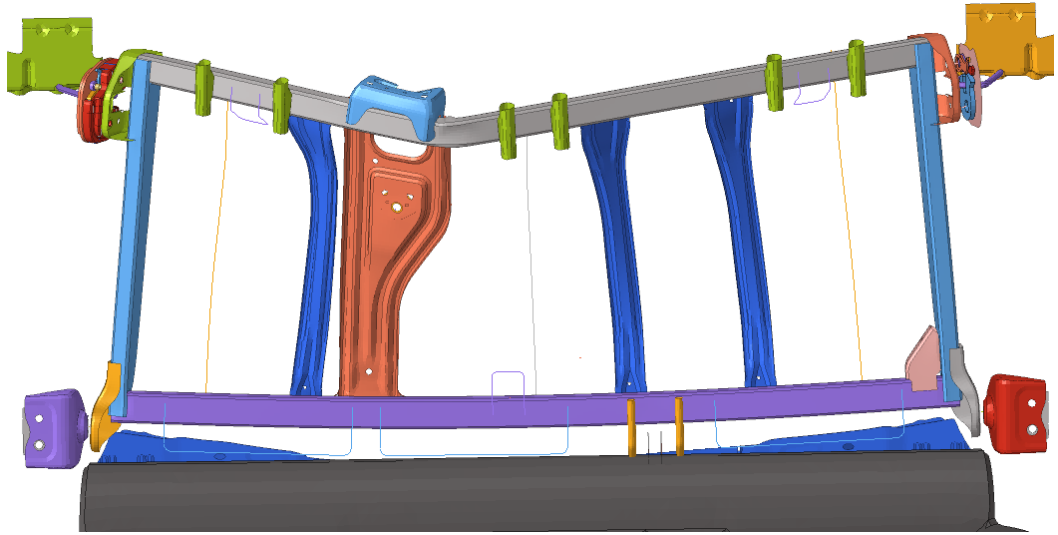


Şekil 4.3. Sonlu elemanlar analizi sonucunda yolcu koltuğu



**Şekil 4.4.** Fiziki testte deforme olan koltuk yapısı

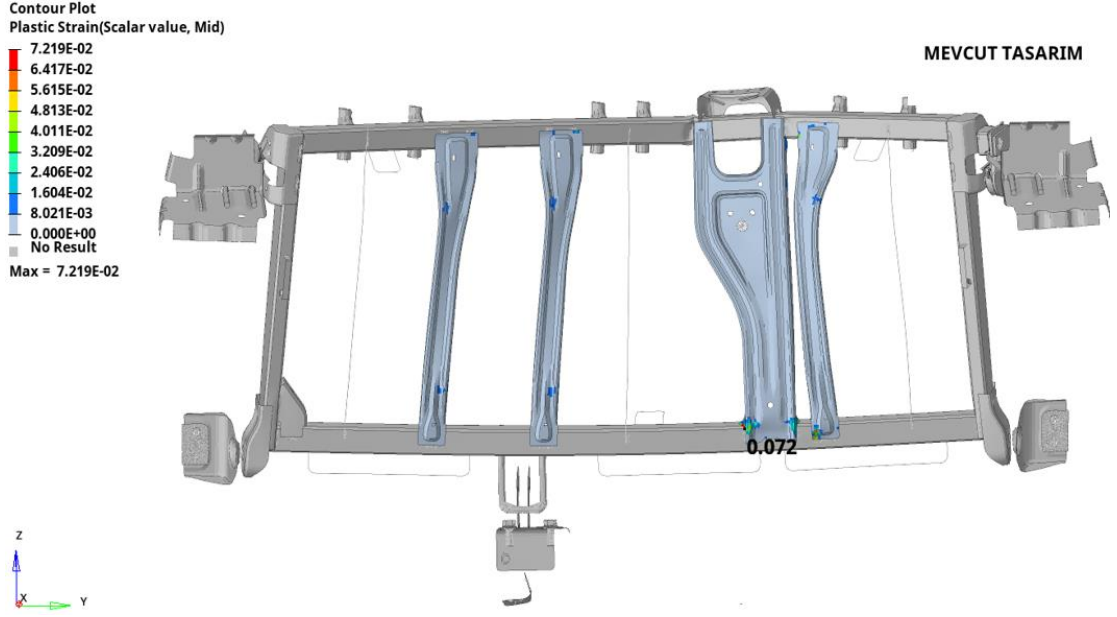
Gerçekleştirilen fiziksel test sonucunda sonlu elemanlar analizinde olduğu gibi koltuğun emniyet kemerinin akma noktası C çizgisinin altına düşmemiş ve H noktasını da geçmemiştir. Koltuk yapısında veya bağlantı bölgelerinde herhangi bir kopma, yırtılma veya çatlama gözlemlenmemiştir.



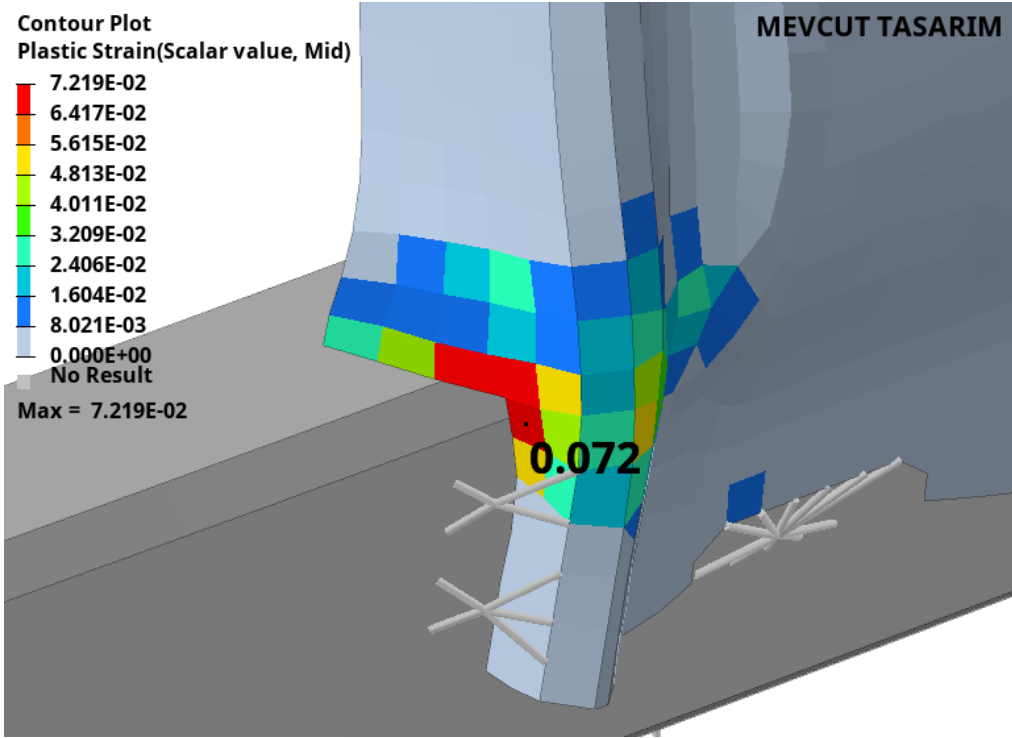
**Şekil 4.5.** Analiz sonucunda deforme olan koltuk yapısı

Koltuğun sonlu elemanlar analizinde deformasyon meydana gelen bölgeler ile gerçekleştirilen fiziksel testlerde koltuk üzerinde deformasyon gerçekleşen bölgeler büyük benzerlikler göstermektedir.





Şekil 4.6. Sırt braketlerinde oluşan plastik gerinme değerleri

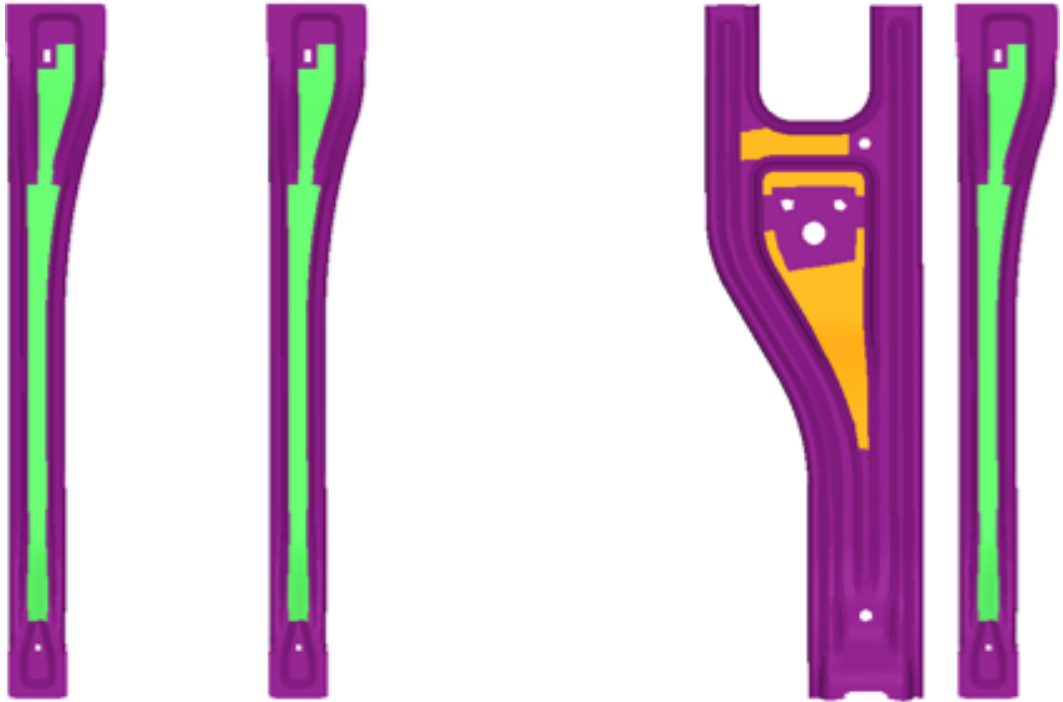


Şekil 4.7. Plastik gerinme değerinin en yüksek olduğu bölge

Braket üzerinde meydana gelen en yüksek plastik gerinme değeri %7,2 olmuştur ve %16'lık değeri geçemediği için herhangi bir yırtılma veya kopma gerçekleşmemiştir.

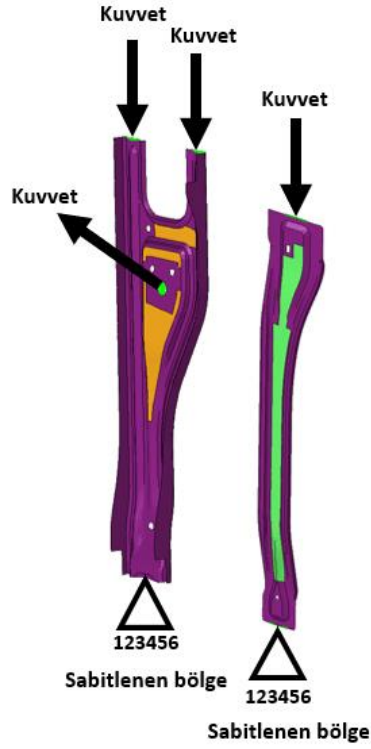
### 4.3 Sırt Braketlerinin Optimizasyon Modelinin oluşturulması

Topoloji optimizasyonu çalışması, koltuk sırt yapısında bulunan ve en büyük kütleye sahip olan braketler üzerinde ağırlık hafifletme amacı ile yapılmıştır. Optimizasyon çalışması OptiStruct yazılımında gerçekleştirilmiştir. Sırt braketlerinin üzerine gelen kuvvetler, ECE R14 emniyet kemeri testinde kullanılan sınır şartları kullanılarak sistem üzerinde gerçekleştirilen doğrusal statik analiz sonucunda belirlenmiştir. Topoloji optimizasyonu yapılırken yapının üretilebilir bir tasarıma sahip olması için model üzerinde optimizasyon yapılacak bölgeler ve optimizasyon yapılmayacak bölgeler birbirinden ayrılmıştır. Sonlu elemanlar modeli hazırlanırken 9004 adet dört ve üç düğüm noktalı kabuk eleman kullanılmıştır. Sırt braketlerinin üretim yöntemleri göz önüne alındığında topoloji optimizasyonu yapı üzerinde her bölgede gerçekleştirilememektedir. Şekil 4.8’de braketler üzerinde yeşil ve turuncu renklerle gösterilen bölgeler topoloji optimizasyonu yapılacak bölgelerdir. Mor bölgelerde topoloji optimizasyonu yapılmayacaktır.

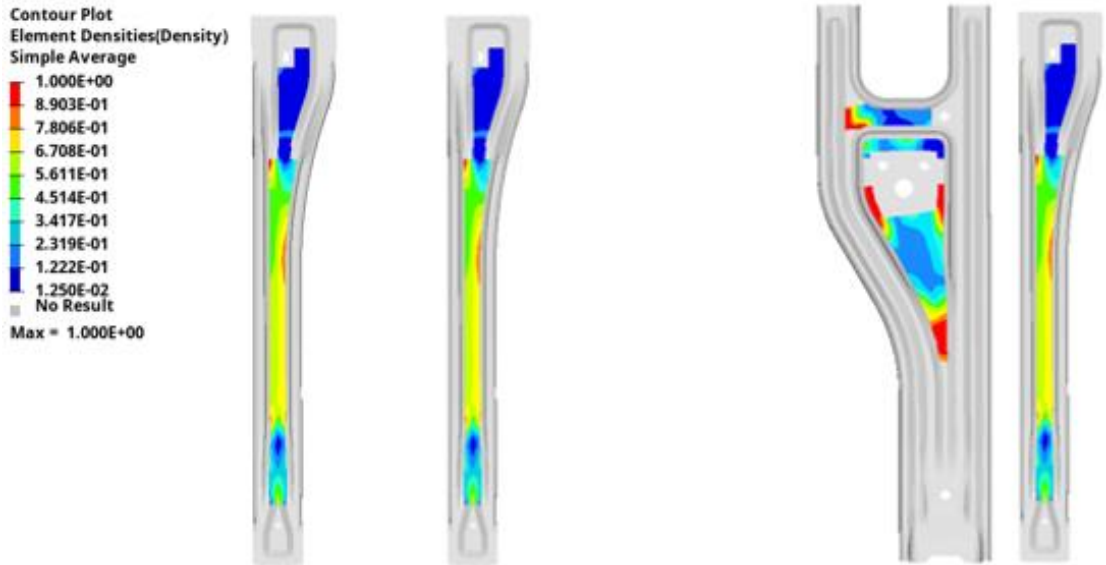


Şekil 4.8. Optimizasyon yapılacak bölgeler

Koltuğun sırt yapısında bir adet kullanılan büyük braket 0,55 kilogram, üç adet kullanılan küçük braket ise 0,22 kilogram kütleye sahiptir. Braketlerin toplam kütlesi 1,21 kg’dır.

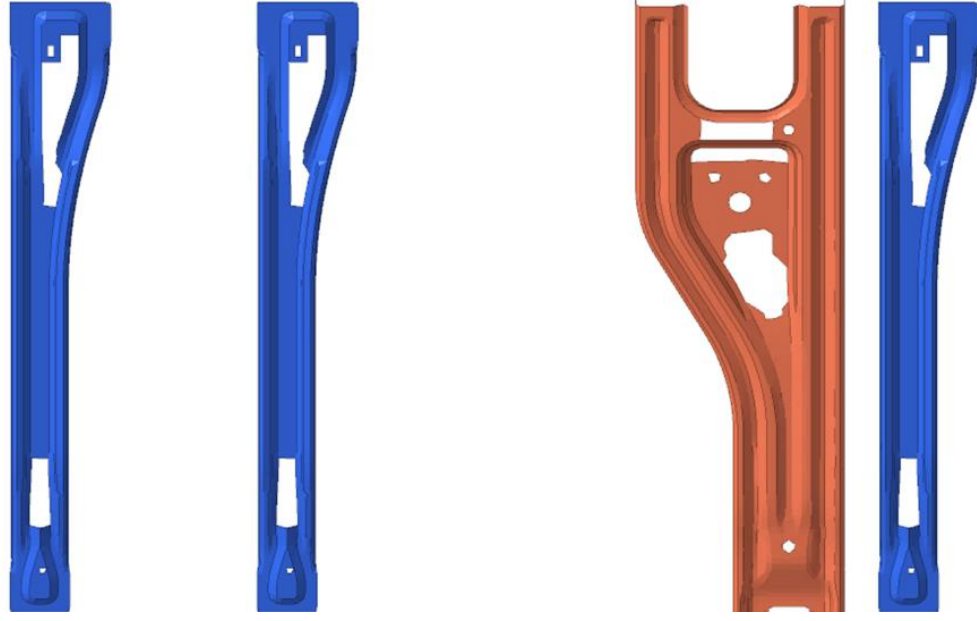


**Şekil 4.9.** Doğrusal statik analiz için sınır şartları ve yüklerin uygulanması



**Şekil 4.10.** Optimizasyon sonuçları

Gerçekleştirilen topoloji optimizasyonundan elde edilen sonuçlarda kırmızı renkli olan bölgeler yapının dayanımına etkisinin büyük olduğu bölgelerdir. Mavi renkli bölgeler ise üzerinde boşaltma işlemi yapıldığı durumlarda yapı üzerinde meydana gelen deformasyon miktarının çok değişmeyeceği anlamına gelmektedir.

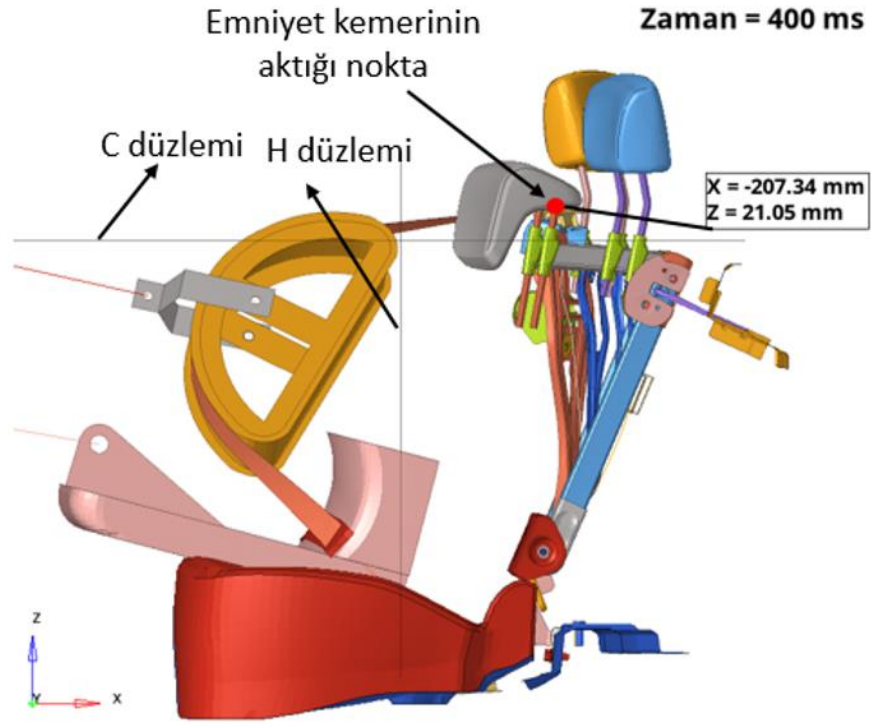


**Şekil 4.11.** Optimizasyon sonuçlarına göre yapılan yeni braket tasarımları

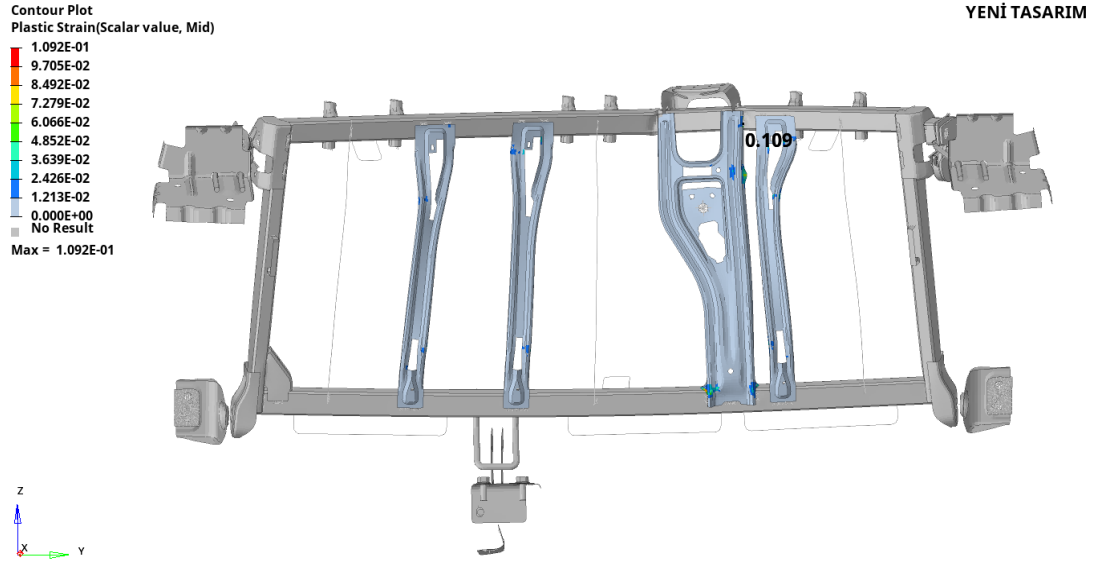
Sırt braketleri için gerçekleştirilen topoloji optimizasyonu sonucunda braketlerin yeni tasarımı üretim yöntemleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Gerçekleştirilen tasarım işlemlerinin tamamı CATIA yazılımında gerçekleştirilmiştir. Sırt yapısında bir adet bulunan büyük braketin kütlesi yapılan yeni tasarımla birlikte 0,49 kilogram, sırt yapısında üç adet bulunan küçük braket ise 0,18 kilogram kütleye sahiptir.

#### **4.4 Yeni Braket Tasarımı İçin Analizin Tekrarlanması**

Yeni tasarımı yapılan sırt braketleri için koltuğun sonlu elemanlar analizi tekrarlanarak sonuçlarının ECE R14 regülasyon şartları için uygunluğu kontrol edilmiştir. Analiz sonucunda yapı üzerinde kırılma, çatlama veya yırtılma gözlenmemiştir. Koltuğun test sonucunun başarılı olup olmayacağını belirleyen emniyet kemerinin aktığı nokta ise başlangıç konumuna göre X ekseninde -207,34 mm, Z ekseninde ise 21,05 mm yer değiştirmiştir. Yeni braket tasarımı için tekrarlanan analizde emniyet kemerinin aktığı noktanın C düzleminin altına düşmediği ve H düzlemini de geçmediği böylelikle regülasyonda belirtilen başarı şartlarını sağladığı gözlemlenmiştir. Analiz sonucunda koltuk üzerinde meydana gelen deformasyon ve emniyet kemerinin aktığı noktada görülen yer değiştirme değerleri görsel olarak Şekil 4.12'de verilmiştir



**Şekil 4.12.** Yeni tasarıma sahip braketler ile koltuğun sonlu elemanlar analizi



**Şekil 4.13.** Yeni tasarıma sahip braketlerde plastik gerinme değerleri

Yeni tasarıma sahip sırt braketleri üzerinde meydana gelen en yüksek plastik gerinme değeri %10,9 olmuştur ve %16'lık değeri geçemediği için yapı üzerinde herhangi bir yırtılma veya kopma meydana gelmemiştir.

## 5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, M1 sınıfı bir aracın yolcu koltuğu için ECE R14 regülasyonuna uygun sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilerek fiziki test ile doğruluğu kontrol edilmiştir. Ağırlığı hafifletmek amacı ile koltuğun sırt yapısında bulunan braketler üzerinde topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon sonucundan elde edilen veriler doğrultusunda braketlerin yeni tasarımları gerçekleştirilmiştir. Ağırlığı azaltılmış braketlerin koltuk yapısında kullanıldığı senaryolarda koltuğun test performansındaki değişimi gözlemek için sonlu elemanlar analizi tekrarlanmıştır. Sonuçlar neticesinde optimizasyon yapılan braketlerin kullanıldığı koltuk ve optimizasyon yapılmayan braketlerin kullanıldığı koltuğun analiz sonuçları arasında neredeyse fark olmadığı ve iki analiz sonucunun da ECE R14 regülasyon şartlarını sağladığı gözlemlenmiştir. Optimizasyon çalışması yapılmadan önce sırt yapısında üç adet kullanılan küçük sırt braketinin kütlesi 0,22 kg, bir adet kullanılan büyük sırt braketinin kütlesi 0,55 kg'dır. Braketlerin sırt yapısı üzerindeki toplam kütlesi 1,21 kg'dır. Gerçekleştirilen topoloji optimizasyonu sonucunda küçük sırt braketinin kütlesi 0,18 kg büyük sırt braketinin kütlesi ise 0,49 kg olmuştur. Sırt yapısı üzerindeki toplam kütle ise 1,03 kg olmuştur. Böylece küçük sırt braketinin yapısında %18,20'lik, büyük sırt braketinin yapısında %10,90'lık ve sırt yapısında kullanılan braketlerin toplam kütlelerinde ise %14,87 oranında azalma gerçekleşmiştir.

**Çizelge 5.1.** Çalışma sonucunda elde edilen değerler

	Mevcut tasarım	Optimizasyon yapılmış tasarım	Azaltılan kütle
Küçük sırt braketleri (3 adet)	0,22 kg	0,18 kg	%18,20
Büyük sırt braketleri (1 adet)	0,55 kg	0,49 kg	%10,90
Toplam	1,21 kg	1,03 kg	%14,87

Ayrıca bu çalışmada yolcu koltuklarının sonlu elemanlar modelinin hazırlanabilmesi için gerekli olan aşamalar açıklanmıştır ve bu yöntem ileride koltuk yapıları üzerinde gerçekleştirilecek olan optimizasyon çalışmaları için yol gösterici olacaktır.

## KAYNAKLAR

Öztürk, F., Şendeniz, G. (2014, 26-27 Mayıs). *Yolcu koltuklarında topoloji tasarım yaklaşımları ile optimizasyon*. 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi (OTEKON), Bursa.

Çıbık, M., Efe, N. (2017, 25-26 Ekim). *Salıncak kollarında alternatif tasarım etkilerinin sonlu elemanlar analizleri ile kıyaslanması*. 2. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (IMSEC), Adana.

Güzelsoy, F. A. (2011). *Ticari araçlarda güvenlik mevzuatı gereği koltuk bağlantı dayanımını artırmaya yönelik bir uygulama* [Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 349681)

Arslan, A., Kaptanoğlu, M. (2010, 07-08 Haziran). *Bir ticari araç için ECE R14 regülasyonuna uygun koltuk bağlantılarının geliştirilmesi*. 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi (OTEKON), Bursa.

Polavarapu, S. (2008) *Topology and free size optimization with multiple loading conditions for lightweight design of die cast automotive backrest frame* [Msc thesis, Clemson University].

[https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1414&context=all\\_theses](https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1414&context=all_theses)

Düvenci, F. (2017). *Araç yolcu koltuk ayaklarında farklı malzemelerin kullanmanın sonlu elemanlar yöntemi ve testler ile mekanik etkisinin karşılaştırılması* [Yüksek Lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 470572)

Hessenberger, K. (2003). *Strength analysis of seat belt anchorage according to ECE R14 and FMVSS*. 4<sup>th</sup> European LS-DYNA Users Conference Crash/Automotive Applications II, Germany.

Öztürk, F., Şendeniz, G., Ayyıldız, G., Dolaylar, E. (2012, 06-07 Haziran). *Araç koltuk bağlantılarının benzetim destekli optimum tasarımı*. 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi (OTEKON), Bursa.

Thiyagarajan, P.B. (2008). *Non-linear finite element analysis and optimization for light weight design of an automotive seat backrest* [Msc thesis, Clemson University].

[https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1469&context=all\\_theses](https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1469&context=all_theses)

Arslan, M. (2018). *Yeni nesil yapısal optimizasyon teknikleri ile yüksek performanslı yolcu koltuğu komponentlerinin geliştirilmesi* [Yüksek Lisans tezi, Bursa Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 528774)

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

ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.13/Rev.5 Addendum 13: Regulation No. 14. (2020). Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to safety-belt anchorages, ISOFIX anchorages systems and ISOFIX top tether anchorages. United Nations Economic and Social Council.

Sarısaç, S. (2016). *Araç koltuğu destek sac parçalarının topografya optimizasyonu ile tasarımı ve analizi* [Yüksek Lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 459130)

Menon, A. (2005). *Structural optimization using ansys and regulated multiquadric response surface model* [Msc thesis, The University of Texas at Arlington]. <https://rc.library.uta.edu/uta-ir/bitstream/handle/10106/286/umi-uta-1129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Olason, A., Tidman, D. (2010). *Methodology for topology and shape optimization in the design process* [Msc thesis, Chalmers University]. <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/130136.pdf>

Bolu, S. (2022). *Koltuk komponentlerinde tasarım kriterlerine bağlı olarak dayanım analizi* [Yüksek Lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 720548)

Yaşar, F. (2011). *N3 sınıfı ağır ticari bir aracın ECE R29 standardına uygun önden çarpma analizi ve iyileştirme çalışması* [Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 311896)