



**ARAÇ YOLCU KOLTUK AYAKLARINDA
FARKLI MALZEMELERİN KULLANIMININ
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE TESTLER
İLE MEKANİK ETKİSİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

FERRUH DÜVENCİ



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ YOLCU KOLTUK AYAKLARINDA FARKLI MALZEMELERİN
KULLANIMININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE TESTLER İLE MEKANİK
ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ferruh DÜVENCİ

Doç. Dr. Rukiye ERTAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2017
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI


Ferruh DÜVENÇİ tarafından hazırlanan "Araç Yolcu Koltuk Ayaklarında Farklı Malzemelerin Kullanımının Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Testler İle Mekanik Etkisinin Karşılaştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Başkan : Doç. Dr. Rukiye ERTAN
U.Ü. Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ
B.T.Ü Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

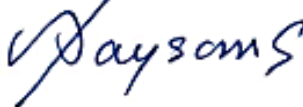
İmza


Üye : Yrd. Doç. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL
U.Ü. Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü
12.14.2022 (Tarih)



U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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.**

19 /01/ 2017

Ferruh DÜVENCİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ARAÇ YOLCU KOLTUK AYAKLARINDA FARKLI MALZEMELERİN
KULLANIMININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE TESTLER İLE MEKANİK
ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ferruh DÜVENCİ

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Bu çalışmada, bir ticari araç yolcu koltuğunun ayak malzemesi olarak DP 600 çeliği, Alüminyum alaşımı, Titanyum Gr 2 alaşımı ve Titanyum Gr 5 alaşımı kullanılması durumları için emniyet kemer çekme regülasyonuna uygunluğu araştırılmıştır. Hafif metal malzeme kullanımıyla bağlantı elemanı olan ayaklar üzerinden ağırlık azaltması yapılması amaçlanmıştır. Mekanik özelliklerini incelemek için dört farklı malzeme için çekme testi yapılmıştır. Çekme testi ile elde edilen gerilme-uzama oranı verilerinden malzeme modeli oluşturulmuştur. Koltuk bağlantı elemanı olan ayakların farklı malzeme kullanılarak regülasyon yükleri altında durumu incelenmiştir. Farklı malzeme modeline göre ayakların ECE R14 emniyet kemer çekme testi uygunluğu sonlu elemanlar analizi ile fiziksel test öncesi analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde uygun bulunan malzeme fiziksel teste tabi tutulmuştur.

Anahtar kelimeler: Emniyet kemer çekme, mekanik özellikler, yolcu koltuğu, sonlu elemanlar analizi

2017, viii+59 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

**COMPARISON OF MECHANICAL EFFECT OF DIFFERENT MATERIAL
USAGE IN AUTOMOTIVE PASSENGER SEAT BEARING WITH FINITE
ELEMENT METHOD AND TESTS**

Ferruh DÜVENCİ

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

In this study, the suitability of a commercial vehicle passenger seat where DP 600 steel, Aluminum alloy, Titanium Gr 2 alloy and Titanium Gr 5 alloy are used as foot material, has been investigated according to safety belt pull regulation. It is aimed to reduce the weight on the legs which are connection elements by using light metal material. Tensile tests were carried out on four different materials to investigate the mechanical properties. The material model was constructed from the tensile-elongation rate data obtained by the tensile test. The condition of the legs with using different materials, which are also seat connection elements, are examined under the regulation loads. The legs that are with different material are analysed according to ECE R14 safety belt tensile test with end-member analysis before physical testing. Material that is suitable in the FEA analysis, are subjected to physical testing.

Key words: Safety belt pull, mechanical properties, passenger seat, finite element analysis

2017, viii+59 pages

TEŐEKKÖR

Tez alıőmamın her aőamasında bilgisi ve tecrübesi ile yol gösteren hocam Sayın Do. Dr. Rukiye ERTAN'a, alıőmalarım esnasında MARTUR Firması'nın her tÖrlÖ desteğinden faydalanmama yardımcı olan ARGE DirektÖrÖ Dr. Recep KURT'a, yÖneticim Murat DAL'a ve çalışma arkadaőım Serdar SARISA'a en içten teőekkÖr ve saygılarımı sunarım.

BugÖnlere gelmemde en bÖyÖk destekçim Annem ve Babam'a ve desteğini sÖrekli hissettiğim kardeőim'e çok teőekkÖr ederim.

Ferruh DÖVENCİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	7
2.2. Titanyum ve Titanyum Alaşımları	9
2.2.1. Titanyumun özellikleri	9
2.2.2. Titanyum Grade 2	10
2.2.3. Titanyum Grade 5	10
2.3. Dual Fazlı Çelikler	10
2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi	12
2.5. Araç Koltuklarının Sınıflandırılması	17
2.6. Yolcu Koltukları İçin Güvenlik Kriterleri	18
2.6.1. ECE R-14 regülasyonu.....	18
2.6.2. ECE R-14 testi başarı koşulları	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Uygulanan Mekanik Testler	23
3.2. Uygulanan Sonlu Elemanlar Analizi Aşamaları	25
3.3. Koltuk Ayağının Üretim Aşamaları	28
3.4. ECE R-14 Regülasyonuna Göre Test.....	30
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	31
4.1. Malzemelerin Çekme Testi Sonuçları	31
4.2. Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları.....	34
4.2.1. Al 5754 H22 Ayak malzemesinin sonlu elemanlar analizi sonuçları	37
4.2.2. DP 600 Ayak malzemesinin sonlu elemanlar analizi sonuçları	43
4.2.3. Ti Grade2 ve Grade5 Ayak malzemesinin sonlu elemanlar analizi sonuçları	48
4.3. Fiziksel Koltuk Testleri.....	50
4.4. Hafiflik ve Maliyet Analizi	54
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

F	Kuvvet (N)
ρ	Yoğunluk (kg/mm^3)
s^{-1}	Deformasyon hızı
MPa	Megapascal (N/mm^2)
ms	Milisaniye (zaman)
°	Açı (derece)
mm	Milimetre
E	Elastisite modülü (N/mm^2)
η	Poisson oranı
N	Newton
gr	Gram
kg	Kilogram
°C	Santigrat (sıcaklık)

Kısaltmalar

Açıklama

ECE	Avrupa Ekonomik Komisyonu (Economic Commission for Europe)
HSLA	High Strengh Low-Alloy Steel (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelikler)
DP	Dual Phase (faz)
Al	Alüminyum
Ti	Titanyum
CNC	Computer Numerical Control

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Hafifletmenin CO ₂ emisyonuna ve yakıt tüketimine olan etkisi	4
Şekil 2.2. Topoloji optimizasyonu sonucu von-mises gerilme dağılımı.....	5
Şekil 2.3. Araç yolcu koltuğunda ki von-mises gerilme dağılımı.....	6
Şekil 2.4. HSLA 350/450 ve DP 350/600 'e ait mühendislik gerilme-gerinim karşılaştırması	11
Şekil 2.5. Merdivenin bir boyutlu eleman ile modellenmiş şekli	13
Şekil 2.6. Bir dişlinin iki boyutlu mesh şekli	13
Şekil 2.7. Uçağın üç boyutlu mesh şekli (katı ya da kabuk model kullanılabilir.)	14
Şekil 2.8. Bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu eleman tipleri.....	14
Şekil 2.9. Bir kamyonete ait önden çarpma testi gerilme dağılımı sonucu.....	15
Şekil 2.10. Bir araca ait önden çarpma testi gerilme dağılımı sonucu.....	16
Şekil 2.11. Alt çekme bloku	19
Şekil 2.12. Üst çekme bloku	20
Şekil 2.13. H noktası belirleme manken aparatı	21
Şekil 2.14. Manken aparat ağırlıkları ve ölçüleri.....	22
Şekil 3.1. ASTM E8/E8M-11 standartlarında çekme test numunesi	24
Şekil 3.2. Zwick marka 50 kN kapasiteli çekme test cihazı.....	24
Şekil 3.3. Malzemelerin çekme testi sonrası kopma bölgeleri.....	25
Şekil 3.4. Sonlu Elemanlarda Kaynak Gösterimi.....	26
Şekil 3.5. Yay eleman deformasyon tipleri	26
Şekil 3.6. İkili koltuk sonlu eleman modeli	27
Şekil 3.7. Fronius marka TS 4000 Modeli Alüminyum Kaynak makinası.....	29
Şekil 3.8. Sol ve sağ ayağın üretilmiş hali	29
Şekil 3.9. Koltuk ayak ölçüleri.....	30
Şekil 4.1. Al 5754 H22 malzeme için mühendislik gerilme-gerinme eğrisi.....	32
Şekil 4.2. Ti Grade 2 malzeme için mühendislik gerilme-gerinme eğrisi	32
Şekil 4.3. Ti Grade 5 malzeme için mühendislik gerilme-gerinme eğrisi	32
Şekil 4.4. DP 600 malzeme için gerçek gerilme-gerinme eğrisi.....	33
Şekil 4.5. Al 5754 H22 malzeme için gerçek gerilme-gerinme eğrisi.....	33
Şekil 4.6. Titanyum Grade 2 malzeme için gerçek gerilme-gerinme eğrisi.....	33
Şekil 4.7. Titanyum Grade 5 malzeme için gerçek gerilme-gerinme eğrisi.....	34
Şekil 4.8. Emniyet kemer çekme ECE R-14 sonlu eleman analiz modeli	35
Şekil 4.9. Ayak bağlantı elemanlarının sonlu eleman modeli.....	36
Şekil 4.10. Al 5754 H22 ayak malzemesi için koltuğun ECE R-14 analizinde zamana göre şekil değişimi	37
Şekil 4.11. Al 5754 H22 ayak malzemesi için alt ve üst çekme blokları için uygulanan kuvvet grafiği	38
Şekil 4.12. Koltuk sonlu elemanlar modeli arkadan görünüşü	38
Şekil 4.13. Al 5754 H22 ayak malzemesi için üst emniyet kemer noktasının deplasmanı	39
Şekil 4.14. Al 5754 H22 ayak malzemesi için ayaklardaki von-mises gerilme dağılımı	40
Şekil 4.15. Al 5754 H22 ayak malzemesi için sırt iskeletindeki von-mises gerilme dağılımı	40
Şekil 4.16. Al 5754 H22 ayak malzemesi için yan travers saclarındaki von-mises gerilme dağılımı	41

Şekil 4.17. Al 5754 H22 ayak malzemesi için oturak karkasındaki von-mises gerilme dağılımı	41
Şekil 4.18. Al 5754 H22 ayak malzemesi için ayak bağlantı civatalarına gelen kuvvetler	42
Şekil 4.19. Al 5754 H 22 ayak malzemesi için bağlantı civatalarına gelen kuvvetlerin dayanım hesabı.....	42
Şekil 4.20. DP600 ayak malzemesi için alt ve üst çekme blokları için uygulanan kuvvet grafiği	43
Şekil 4.21. DP600 ayak malzemesi için üst emniyet kemer noktasının deplasmanı	44
Şekil 4.22. DP600 ayak malzemesi için ayaklardaki von-mises gerilme dağılımı	45
Şekil 4.23. DP600 ayak malzemesi için sırt iskeletindeki von-mises gerilme dağılımı	45
Şekil 4.24. DP600 ayak malzemesi için yan travers saclarındaki von-mises gerilme dağılımı	46
Şekil 4.25. DP600 ayak malzemesi için oturak karkasındaki von-mises gerilme dağılımı	46
Şekil 4.26. DP600 ayak malzemesi için ayak bağlantı civatalarına gelen kuvvetler	47
Şekil 4.27. DP600 ayak malzemesi için bağlantı civatalarına gelen kuvvetlerin dayanım hesabı.....	47
Şekil 4.28. Titanyum grade 2 malzeme için koltuğun ECE R-14 analizinde zamana göre şekil değişimi	48
Şekil 4.29. Titanyum grade 5 malzeme için koltuğun ECE R-14 analizinde zamana göre şekil değişimi	48
Şekil 4.30. Titanyum grade 2 için ayaklardaki kırılma.....	49
Şekil 4.31. Titanyum grade 5 için ayaklardaki kırılma.....	49
Şekil 4.32. Al 5754 H22 ayak malzemesi için fiziksel test ECE R-14 emniyet kemer çekme kuvvetleri	50
Şekil 4.33. DP600 ayak malzemesi için fiziksel test ECE R-14 emniyet kemer çekme kuvvetleri.....	51
Şekil 4.34. Al 5754 H22 ayak malzemesi ile ECE R-14 emniyet kemer çekme fiziksel test sonrası görünümü	52
Şekil 4.35. Al 5754 H22 ayak malzemesi ile ECE R-14 emniyet kemer çekme fiziksel test sonrası sol ayak görünümü	53
Şekil 4.36. Al 5754 H22 ayak malzemesi ile ECE R-14 emniyet kemer çekme fiziksel test sonrası sağ ayak görünümü	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. ECE R-14 çekme testi kuvvet değerleri.....	20
Çizelge 3.1. Malzemelerin kimyasal bileşimi	23
Çizelge 3.2. Malzemelerin mekanik özellikleri	23
Çizelge 3.3. Kaynak telinin kimyasal bileşimi.....	28
Çizelge 3.4. Kaynak telinin mekanik özellikleri.....	28
Çizelge 4.1. DP600 ve Al 5754 H22 malzemeleri için ağırlık karşılaştırması	54
Çizelge 4.2. Sonlu elemanlar analizinde elde edilen sonuçlar	55
Çizelge 4.3. Fiziksel test sonrası elde edilen sonuçlar	56



1.GİRİŞ

Otomotiv sektöründeki firmalar araçlarda yakıt tüketimini azaltmaya, enerji verimliliğini arttırmaya yönelik teknolojilere yatırım yapmaya yöneldiler. Araçların yakıt tüketimini ve CO₂ salınımlarını azaltmak için en önemli yöntemlerden biri araç ağırlığında hafifletmedir. Otomotiv endüstrisinde güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden parça üretilmesi en önemli hedef olmuştur. Otomobil üreticilerinin önemli sorunu haline gelen az yakıt tüketen otomobillerin hacim olarak büyük, ağırlık olarak hafif olmasıdır. Bununla birlikte yüksek mukavemetli malzeme geliştirmektir.

Hafiflik, araç üreticilerinin son yıllarda koltuktan beklediği en önemli kriter olmuştur. Koltuk firmaları yaptığı tasarımlar ile bu durumu göz önüne almaktadır. Koltuğun ağırlığının hafif olması en önemli kriterlerden biri olarak görünse de aslında en az maliyetle ve en kolay üretim şekliyle üretilmesi esas hedef olmuştur. Üretimi yapılacak koltuk ayağının da koltuğun bütünüyle beraber belli homologasyonları sağlaması gerekmektedir.

Toplu taşıma araçlarındaki yolcu koltukları sayılarının fazla olması ile hafifletme için önemli bir çözümdür. Yolcu koltuklarının yapısı ve işlevi, yolcu güvenliği ve konforu açısından önemli bir yer tutmaktadır. Kullanıldığı araç sınıfına bağlı olarak değişebilir. Uluslararası standartlarla belirlenen güvenlik kriterlerini de sağlaması gerekmektedir. Araçta maliyet, ağırlık ve yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenirken diğer yandan geçmişte yaşanan farklı kazalar için yolcu güvenliği ve konforunun artırılması istenmektedir.

Fiziksel test tekrarları koltuğun geliştirilmesi konusunda en önemli konulardan biridir. Her bir test için prototip koltuk hazırlanması gerekmektedir. Bu da maliyetlerin artması demektir. Sonlu elemanlar analizi ile prototip maliyetini düşürmek ve test tekrarlarından kaynaklı zaman kaybının önüne geçilebilir. mümkündür.

Motorlu araçların yasal yönetmelik ve mevzuatları sağlaması sonucu verilen tescile homologasyon denir. Her bir aracın satılacağı bölgeye göre bu kriterler farklılık

göstermektedir. Avrupa Birliğine satılacak araçlar için uyulması gerekli standartlar Economic Commission for Europe (ECE) regülasyonlarıdır.

Bu çalışmada; M2 kategorisi bir ticari araç yolcu koltuğu ayakları için regülasyonla belirlenen, emniyet kemer çekme testi (ECE-R 14) simülasyon analizleri sonlu eleman yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Araç yolcu koltuk ayakları için DP600, Al 5754 H22 ve Ti Grade 2 ve Ti Grade 5 malzemeleri için çekme testleri yapıp, sonlu elemanlar analiz programında kullanılacak şekilde aktarılmıştır. Her bir malzeme için koltuk iskelet analizleri tekrar edilmiştir. Fiziksel testleri de yapılan koltuk ayaklarının sonlu elemanlar analizi ile korelasyonu sağlanmıştır. Ticari araç yolcu koltuğunun regülasyon şartlarına uygunluğu gösterilmiştir. Radioss çözücüsü ile koltuk emniyet kemer çekme testi (ECE-R 14) simülasyonlarına tabi tutulan ayakların Von-Misses (stress) değerleri ve yüzde uzama değerleri (strain) göz önüne alınarak koltuğun bütünlüğünü sağlayıp, uygulanan kuvvetlere dayanması hedeflenmiştir.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada yolcu koltuk bağlantı elemanı olan ayaklar için farklı malzeme kullanımı ve hafifletme için çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatür'ü araştırdığımız da araç koltukları için ağırlık azaltma kullanımının çok yaygın olduğu görülmektedir. Bu araştırmalardan araç koltukları üzerinde farklı malzeme (DP çelikleri, Al ve Ti alaşımları) kullanımının mekanik etkisi ve ağırlık azaltma kullanımına dair örnekler sunulmuştur.

Li ve ark. (2003) 200-350°C sıcaklık aralığı ile 0.015-1.5 s⁻¹ deformasyon hızları arasında 5182+%1Mn, Al 5754 ve Al 6111-T4 malzemelerinin tek eksenli çekme testlerine tabi tutmuşlar ve deformasyonlarını incelemişler. Malzemelerin mekanik etkilerini karşılaştırmışlardır. Malzemelerin tek eksenli çekme deneylerinde toplam uzama miktarının sıcaklığın artmasıyla arttığı ve deformasyon hızının artmasıyla da azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca 5XXX serisi malzemelerin 6XXX serisine göre daha iyi şekillendirilebildiğini belirlemişlerdir.

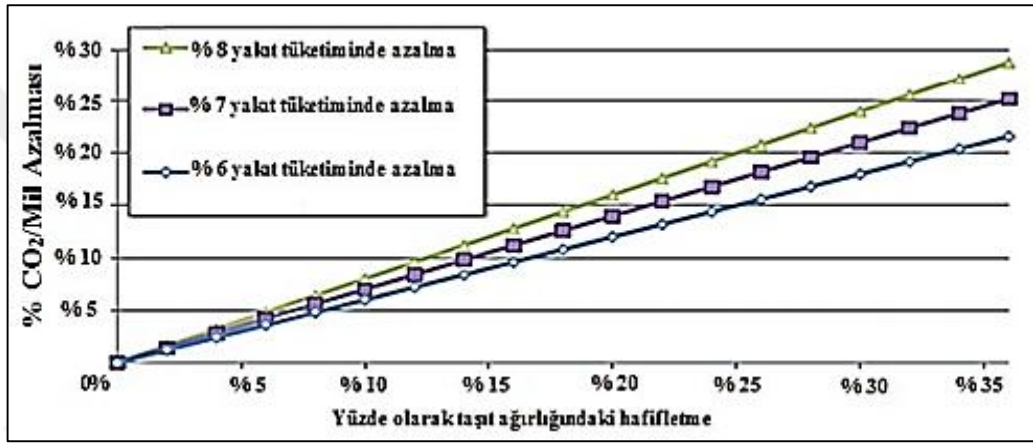
Öztürk ve ark. (2009) 5754 (AlMg3) alaşımlı çelik için -60°C, -30°C, 0°C, 25°C, 100°C, 175°C ve 250°C sıcaklıklarında 0,0016 s⁻¹, 0.083 s⁻¹ ve 0.042 s⁻¹ strain oranları ile çekme testi uygulayıp mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çekme numunesi kalınlığı 1,82 mm'dir. En iyi sonuçları 250°C 0.0083 s⁻¹ ve 175 °C 0.0016 s⁻¹ değerlerinde gözlemlemişlerdir.

Ulrich Andree (2011) Johnson Control firması geliştirdikleri teknoloji ile taşıt arka koltuğunda tüm güvenlik gereksinimlerinden taviz vermeden % 34 oranında hafifletme elde edildiği görülmüştür. Araç arka koltuğundaki iskelet yapı, çelik ve alüminyum birbirine yeni yapıştırma teknolojileri kullanılarak modüler çoklu yapıda oluşacak şekilde sağlanmıştır. Yapıda üst ve alt bağlantılar alüminyumdan yan parçalar çelik kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca arka paneldeki çelik sacın kalınlığını 0,6 mm 'den 0,4 mm'ye düşürmüşlerdir.

Cheah ve ark. (2011) çalışmalarında günümüzde mevcut araçlarda kullanılan çelikler yerine daha hafif malzeme (alüminyum, magnezyum, plastik ve polimer kompozitler) ile tasarımsal değişiklikler ile birlikte araç ağırlığında 2016 yılına kadar yaklaşık

%25(430 kg), 2030 yılına kadar ise %35(600 kg) hafifletmenin olacağını öne sürmüşlerdir. Her bir arabada 100 kg ağırlık azaltmanın 2016 yılına kadar 0.4L/100km, 2030 yılına kadar ise 0.31L/100km yakıt tüketimine katkısının olabileceğini, her bir kamyonet’de 100 kg ağırlık azaltmanın 2016 yılına kadar 0.48L/100km, 2030 yılına kadar ise 0.36L/100km yakıt tüketimine etkisinin olabileceğini hesaplamışlardır.

Lutsey (2010) taşıt ağırlığındaki azalmanın yakıt ekonomisine ve salgılanan CO₂ miktarına olan etkisini incelemiş ve sonuçları Şekil 2.1’de görülen bir grafik ile ifade etmiştir.



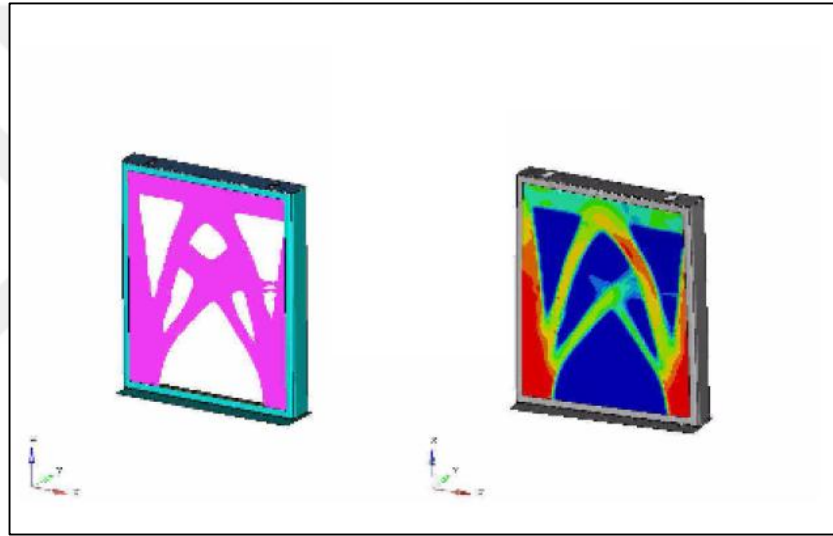
Şekil 2.1. Hafifletmenin CO₂ emisyonuna ve yakıt tüketimine olan etkisi (Lutsey 2010)

Milford (2011) araçlarda kullanılmakta olan çelik ve alüminyum parçaların iyileştirilmiş tasarımlar ile birlikte %30 oranında hafifletilebileceğini ve bu sebeple toplam araç ağırlığının %10 azalıp %5 oranında yakıt tasarrufu sağlanacağını araştırmışlardır. Ayrıca yakıt tüketimindeki %10 oranında bir azalmanın ulaştırma sektöründeki taşıtların ömrü boyunca yaydığı CO₂ emisyonunu 700 Mt düşüreceğini belirtmiştir.

Öztürk ve ark. (2012) ECE R-14 (emniyet kemer çekme) testinin sonlu elemanlar analizi ile M3 kategorisinde bir ticari araç yolcu koltuğu için analizi gerçekleştirilmiş ve koltuk bağlantı elemanı olan ayaklarda ki gerilme dağılımı araştırmışlardır. Araştırma dahilinde ayaklar için farklı kalınlık ve malzeme için yeni tasarımlar geliştirilmiştir. Geliştirilen her bir tasarım için analizler tekrarlanmıştır. Analizleri gerçekleştirilen koltukların fiziksel testlerle korelasyonu sağlanmıştır. Araç koltuklarının

geliştirilmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmasının yararlı olacağı kanısına varılmıştır.

Öztürk ve ark. (2014) araştırmalarında ECE R-14 (emniyet kemer çekme) testinin sonlu elemanlar analizi ile M3 kategorisi bir ticari araç yolcu koltuğunun ayaklarına gelen kuvvetleri incelemişlerdir. Gelen kuvvetler neticesinde ayaklarda topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Ayak üzerinde ki gerilmelerin optimizasyon çalışması için sınır şartı olarak belirlenmiştir ve bu değeri aşmaması hedeflenmiştir. Şekil 2.2’de topoloji optimizasyonu sonunda elde edilen ayak tasarımı ve von-mises gerilme dağılımı verilmiştir.

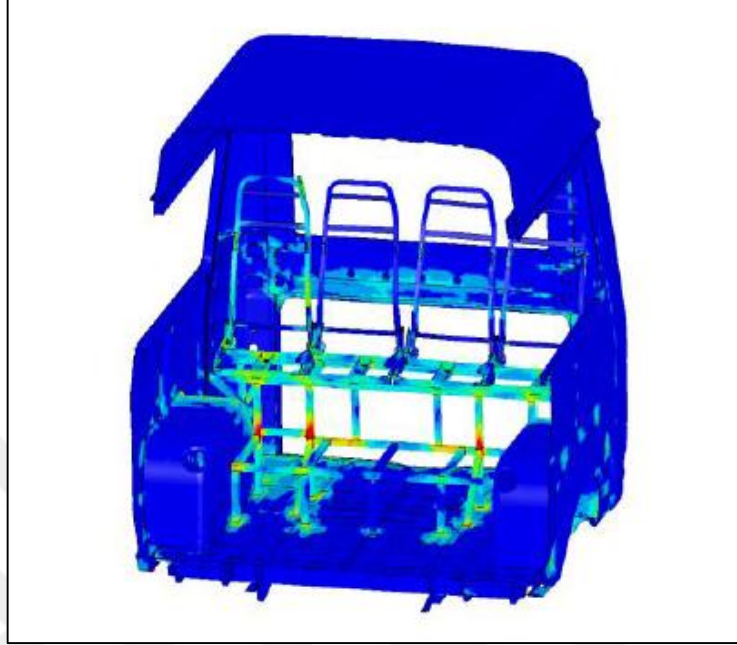


Şekil 2.2. Topoloji optimizasyonu sonucu von-mises gerilme dağılımı (Öztürk ve ark. 2014)

Topoloji optimizasyonu ile boşaltılan ayağın ECE R14 regölasyon şartlarını sağladığı analizle tespit etmişlerdir. Topoloji optimizasyonu kullanılarak geliştirilen araç koltuk ayağı için %20,5’lik bir ağırlık hafifletme sağlanmıştır.

Arslan ve ark. (2010) ECE R-14 regölasyonu şartları için, bir ticari araca ait en arka dörtlü yolcu koltuğunun sonlu elemanlar analiz modelini hazırlamışlardır. Hazırlanan sonlu elemanlar analiz modelinin çalışması neticesinde koltuk emniyet kemer bağlantı noktaları ile taban karkas sacına bağlamak için kullanılan punta kaynak sayısı ve

bölgeleri tespit edilmiştir. Şekil 2.3’de en arka sıra dörtlü yolcu koltuğu için bağlantı yerlerindeki von-mises gerilme dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.3. Araç yolcu koltuğunda ki von-mises gerilme dağılımı (Arslan ve ark. 2010)

Literatür araştırmasına göre, sonlu elemanlar yazılımının koltuk iskelet ve bağlama yerlerinin dizaynını da aktif olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Koltuk üzerinde kullanılan çelik malzemeye karşın ağırlık azaltmak için alternatif olarak hafif metal kullanımına dikkat çekilmiştir. Yapılan ağırlık azaltma çalışmalarında hafif metal kullanımı çelik malzemeye kıyasla ciddi bir şekilde hafiflik sağlamıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde sonlu eleman analiziyle, fiziksel testler karşılaştırıldığında büyük oranda benzerlik gözlenmiştir. Ağırlık azaltma elde edilmesinde, sonlu elemanlar yazılımı kullanmanın ne kadar fayda sağladığı görülmüştür.

Koltuğun araca bağlantısı olan ayaklar için pek fazla çalışma yapılmamıştır. Çelik malzemeye kıyasla farklı hafif metal malzeme kullanılarak yapılan ticari araç koltuk ayaklarının dayanımının belirlenmesi, istenilen regülasyonları sağlaması konusu üzerine çalışılmamıştır.

2.1 ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum alaşımların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri diğer alaşım elementlerine göre değişiklik gösterir. Alüminyuma ilave edilen alaşım elementlerini magnezyum, silisyum, mangan, magnezyum, çinko ve bakır olarak sıralayabiliriz.

Bu alaşımlar iki gruba ayrılır; dövme alaşımları ve döküm alaşımları. Dövme alaşımları, plastik deformasyonu iyi olduğundan rahat bir şekilde formlanabilirler. Döküm ve dövme alaşımlarının çoğuna ısıl işlem yapılabilir. Dövme alaşımları Amerikan Alüminyum Birliğine göre dört harf ile kategorilendirilmektedir. Bu kategorilendirme şu şekildedir (Eker 1998).

1XXX : Elektrik ve kimya endüstrisinde genel olarak saf alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyumun bu serisi; düşük mekanik özellikler, mükemmel korozyon direnci, mükemmel şekillendirilebilirlik, iyi seviyede elektrik iletkenliği özelliklerine sahiptir. Kullanım alanları; Reflektörler, eşanjörler, elektrik iletkenleri, kimyasal ürünler gibi alanlarda kullanılır.

2XXX : Alüminyum, bakır alaşımları içerir. Diğer alaşım elementleriyle birlikte magnezyumda bulunur. Düşük karbonlu çeliğin özelliklerine ulaştığı hatta bazen geçtiği özellikleri çözeltiliye alma ısıl işlemi ile sağlanabilir. Yaşlandırma işlemi ile de akma dayanımında artma ve aynı oranda uzamada azalma elde edilir. Bu seri alüminyumun korozyon direnci diğer serilere göre daha düşüktür, bazı durumlarda taneler arası korozyona da meyillidir. 2XXX serisi, 150°C'ye kadar yüksek dayanım gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. 2219 serisi dışındakiler kötü kaynak kabiliyetine sahiptirler fakat bunun yanında bazı serileri çok iyi işlenebilirliğe sahiptir. En yaygın kullanımı 2014 serisidir.

3XXX : Alüminyum, mangan alaşımları içerir. Mangan alaşım elementidir. Isıl işleme uygun değildir. Fakat 1XXX serisinden %20 daha fazla dayanıma sahiptirler. Sadece sınırlı miktarda mangan kullanımına (%1,5'a kadar) izin verdiği için, mangan sadece bazı alaşımlarda ana element olabilir. Bunlardan 3 tanesi (3003, 3X04, 3105) orta dayanımda şekillendirebilirlik özelliği yüksek uygulamalarda kullanılır.

4XXX : Alüminyum, silisyum alaşımları içerir. Silisyum alaşım elementidir. Silisyum %12'ye kadar olan kullanımı ile gevreklik oluşmadan erime noktasında belirgin bir azalma sağlar. Bu da 4XXX serisini, alüminyumun kaynağında kaynak teli ve lehiminde lehim malzemesi olarak kullanılmasını sağlar. 4032 serisi aşınma dayanımı özelliği ile dövme motor pistonları üretiminde tercih edilir. Kullanım alanları olarak; kaynaklı yapılar, levha üretimi ve otomobil parçaları üretimidir.

5XXX : Alüminyum, magnezyum alaşımları içerir. Magnezyum alaşım elementidir. Magnezyum yüzdesi arttıkça mukavemet ve sertlik artar. Bu seri malzemeler deniz atmosferinde yüksek kaynak kabiliyetine ve yüksek korozyon direncine sahiptirler.

6XXX : Alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımları içerir. Magnezyum ve silisyum alaşım elementidir. Çoğu 2XXX ve 7XXX serileri kadar mukavemetli olmasa da, 6XXX serisi iyi şekillendirilebilme, kaynak kabiliyeti, işlenebilme ve korozyona karşı dayanım özelliklerine sahiptirler. Kullanım alanları; mimari uygulamalar, bisiklet gövdeleri köprü parmaklıkları ve kaynaklı yapılarıdır.

7XXX : Alüminyum, çinko alaşımları içerir. Çinko alaşım elementidir. Ek olarak krom, magnezyum ve zirkonyum elementleri de vardır. Bu seri en yüksek mukavemete sahiptir. Yüksek mukavemet gerektiren ve uçak parçaları kullanımında tercih edilir.

8XXX : Bu seri alaşımlar 2XXX ve 7XXX için kullanılan alaşım elementleri dışındakilerin kullanılması ile olur. Demir ve nikel elektrik iletkenliğinden bir şey kaybettirmeden dayanımı arttırmak için eklenir ve bunlara örnek 8017'dir. Alüminyum-lityum alaşımı 8090 yüksek dayanım ve sertliğe sahiptir ve uydu uygulamaları için geliştirilmiştir (Özdemir 2010).

Alüminyum alaşımlarına ısıl işlemler farklı hallerde yapılabilir ve yapılan işlemler alaşım numarasının yanına yazılır. Uygulanan işlemleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- O → Tavlama işlemi tamamıyla yapılmış, çok yumuşak
- T → Yaşlandırma işlemi ile sertleştirilmiş, ısıl işlem görmüş
- H → Isıl işleme tabi tutulamayan malzemeler, sertleştirme deformasyon ile yapılmış
- T1 → Yaşlandırma doğal bir şekilde yapılmış

- T2 → Tavlama işlemleri yapılmış
T3 → Soğuk işleme tabi tutulmuş
T4 → Yaşlandırma doğal olarak yapılmış ve çözeltiye alınmış
H1 → Deformasyon soğuk bir şekilde yapılmış
H2 → Deformasyon soğuk bir şekilde yapılmış, ısı işleme tabi tutulmuş
H22 → ¼ oranında sertleştirilmiş
H3 → Deformasyon soğuk, stabilize halde

2.2 TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI

2.2.1 Titanyumun Özellikleri

Yaklaşık 200 yıl önce element olarak keşfedilen titanyum, ticari anlamda üretilmesi 1950'li yıllardadır. O zamanlarda titanyum; korozyon direnci, yüksek mukavemeti ve hafifliği ile uçak ve parçalarında kullanılırdı. Aynı zamanda yüksek mukavemetli bir malzeme olması sebebiyle havacılık, denizcilik, enerji gibi sektörlerde faaliyet gösteren firmaların ar-ge çalışmalarında yer almıştır.

Bu metalin yıllık üretim hacmi 80 milyon doları bulmaktadır. Titanyum, üstün özellikleri ile havacılık, savunma sanayi, kimya, medikal sanayinde ve birçok farklı alanda kullanılan bir mühendislik malzemesidir. Titanyum ve titanyum alaşımları korozyon direnci, fiziksel ve mekanik özellikleri ile birçok farklı alanda çalışan sektörlerin ihtiyaçlarına karşılık çözüm üretebilecek özelliklere sahiptir.

Titanyum alaşımlarının yüzeylerinde çok ince koruyucu bir oksit film tabakası vardır. Bu tabaka kimyasal ortama karşı mükemmel direnç gösterir ve TiO₂ olarak adlandırılır. Su ve neme ait çok küçük bir damla bile olsa mekanik anlamda deformasyona uğradığında kendi kendini iyileştiren, kararlı, kimyasal bir bileşiktir. Bu tabakanın koruma işlemi asidik ortamlardan, orta seviye alkali şartlara, hafif aşındırıcı ortamlardan, ağır aşındırıcı ortamlara kadar devam eder.

Bu malzemeyi üstün kılan diğer özellikleri ise; Anti manyetik olması, düşük esneklik katsayısına, yüksek darbe dayanımına, yüksek erime noktasına sahip olması, düşük termal genleşme katsayısı şeklinde sıralayabiliriz (Anonim 2016a).

2.2.2 Titanyum Grade 2

Titanyum grade 2, en çok kullanılan ve titanyum sanayi'nin yükünü çeken alaşımdır. Grade 1 ile benzer özelliklere sahiptir. Fakat grade 1'den biraz daha serttir. Grade 1 ve grade 2 korozyon dayanım bakımından aynı özelliklere sahiptirler. Grade 2 işlenebilirlik, mukavemet, süneklik ve çok iyi kaynaklanabilirlik özellikleri ile ön plana çıkar. Kimya, denizcilik, medikal sanayinde, elektrik santrallerinde kullanılır (Anonim 2016a).

2.2.3 Titanyum Grade 5

En çok kullanılan titanyum alaşımı olan grade 5, titanyum tüketiminin dünya çapında kullanımını %50 dir. Bu kadar çok tercih edilmesinin en büyük sebeplerinden biri, grade 5'in mekanik özelliklerini arttırmak için ısıtılma işlemi yapılabilmesidir. Diğer alaşımlara ısıtılma işlemi uygulanmadığı için grade 5'in sahip olduğu bu özellik onu ön plana çıkarmaktadır. Grade 5, 320°C'ye kadar kaynakla birleştirilmiş halde kullanılabilmesine olanak sağlar.

Hafif bir metal olması yüksek dayanım sağlar. Şekillendirilebilme kabiliyeti ve korozyon direnci yüksektir. Kullanım avantajlarından dolayı kimya, medikal, havacılık, savunma sanayinde ve birçok farklı sektörde kullanılır (Anonim 2016a).

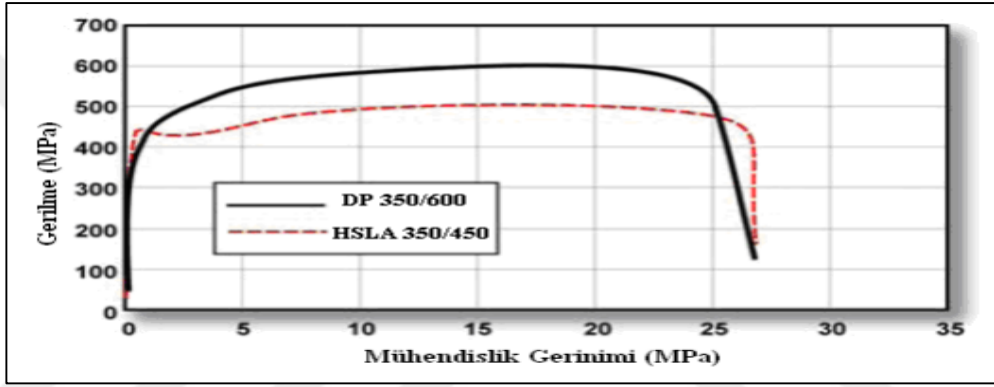
2.3 DUAL FAZLI ÇELİKLER

ABD, Japonya, İngiltere, Almanya, İtalya ve Fransa çift fazlı çelik üretimi yapan ülkelerdir. Fakat her ülkenin ürettiği çelik farklılık gösterebilmektedir.

Çift fazlı çelikler için kullanılan çift faz durumu içerdikleri ferrit ve martenzit fazlarından dolayıdır. Ferritik matrisin içinde sert martenzitik ikincil fazı içeren çeliklere denir. Sert martenzitik fazın yüksek mukavemetle birlikte hacim oranı artar. Ferrit yumuşaktır, genel olarak yapıya süneklik katar ve çeliğin şekillendirilebilme kabiliyetini artırır. Martenzit ise sert ve kırılgan fazdır. Bu özelliği ile çeliğe mukavemet kazandırır. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklere göre çift fazlı çelikler iyi derecede mukavemet ve süneklik gösterir. Bu sebepten dolayı otomotiv sanayinde tercih

edilir. Ağırlık azaltma da ve yakıt tasarrufunda önemli rol oynar. Bu sebeple otomobillerde kullanılan parçalarda genel olarak çift fazlı çelikler kullanılır.

Dual fazlı çelikler deformasyona uğradığında, uzanım düşük gerilmelerde birikir. Bu da malzeme'ye yüksek sertleşebilirlik özelliğini verir. Dual fazlı çeliklerde sertleşebilirlik ve muhteşem uzanım, aynı akma mukavemetlerine sahip geleneksel çeliklerden çok daha fazla çekme dayanımı verir. Şekil 2.4'de aynı akma değerlerindeki Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım (HSLA) Çeliklerle Çift Fazlı (DP) Çeliklerin gerilme-gerinim eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 2.4. HSLA 350/450 ve DP 350/600'e ait mühendislik gerilme-gerinim karşılaştırması (Koniczny 2003)

Çift fazlı çelikler ve yüksek mukavemetli çelikler geleneksel çeliklere göre fırında sertleşebilir. Ön gerinim den sonra oluşan akma dayanımında ki artışın sebebi fırında sertleşmedir. Yüksek mukavemetli çelikler de çeliğin fırında sertleşebilirlik etkisi özgül özellikleri ile belirlenir.

Çift fazlı çelikler de karbon miktarı çeliğin sertleşebilme özelliğini arttırarak martenzit oluşumunu sağlar. Nikel, krom, mangan, molibden ve vanadyum da tek başlarına veya birleşik durumda eklendiğinde sertleşebilme özelliğini artmasına yardımcı olur. Fakat bu elementlerin içerik miktarı yapıda mukavemeti arttırırken, uzamayı düşürür. Silisyum ve fosfor da karbon gibi martenziti kuvvetlendirir. Bu ilaveler, eş mekanik özellik eldesi ve iyi nokta kaynak kabiliyeti için dikkatlice eklenirler (Anonim 2016c).

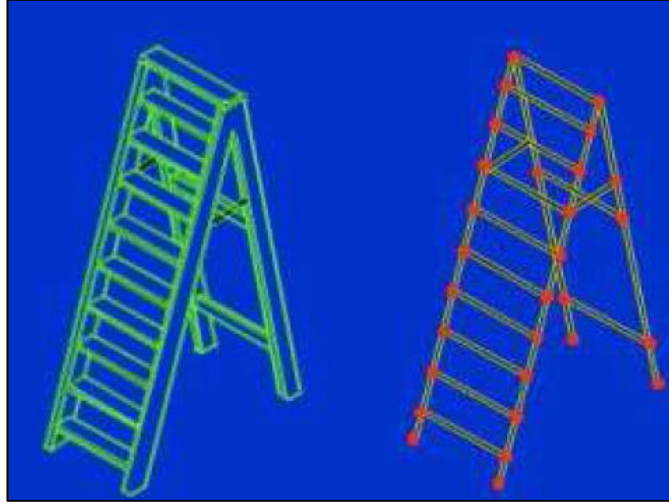
Çift fazlı çeliklerin mekanik özelliklerini etkileyen bir çok faktör bulunur.

- 1) Ferrit ve martenzitin; tane dağılımı, biçimi, boyutu, hacimsel oranı,
- 2) Karbon etkisi,
- 3) Alaşım elementlerin yüzdesi,
- 4) Tavlama sıcaklığı
- 5) Soğutma hızı olarak sıralayabiliriz.

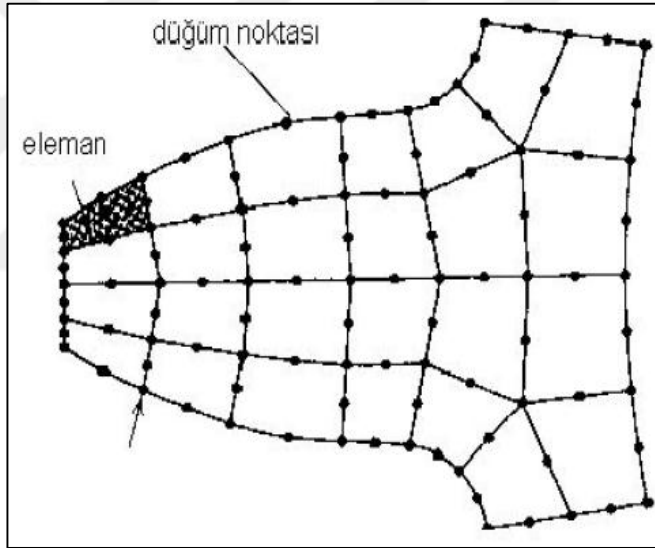
Çekme mukavemetleri yüksek olmasından dolayı parçada meydana gelen deformasyon az olmaktadır. Sürekli akma gösteren çift fazlı çelikler şekillendirildiklerinde yüzeyleri düzgün bir şekilde çıkmaktadır. Şekillendirilmiş çift fazlı çelikleri tekrar şekillendirmek için fazla bir kuvvete ihtiyaç duyulmamaktadır (Anonim 2016b).

2.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi

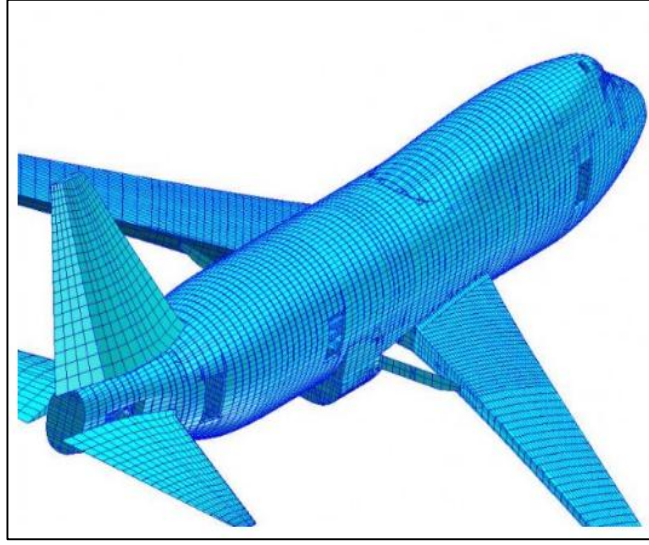
Sayısal bir çözüm yöntemi olan sonlu elemanlar analizi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arar. Bu metot ile fiziksel olarak oluşturulan sistem matematiksel denklemlerle ifade edilir. Sonlu elemanlar analizi, genel olarak karmaşık bir problemi basite indirgeyerek çözüm aramaktadır. Basite indirgemenin en önemli nedeni, yaklaşık sonuç elde edebilmektir. Bundan elde edilen sonuçlara göre her bir iterasyon da kesin sonuca yaklaşılr. Bu yüzden mühendislikte sonlu elemanlar yöntemi sık kullanılmaktadır (Anonim 2016d). Sonlu elemanlar analizinde parça modeli hazırlanırken, ağ yapısı olarak mesh adını verdiğimiz küçük elemanlara ayrılır. Her bir eleman nod (düğüm) lar'dan oluşur. Çözümleme bu nodlar üzerinden gerçekleşir ve bu nodlar üzerinde ki değerler elde ettiğimiz sonuçlardır (Çayıroğlu 2016). Şekil 2.5, 2.6 ve 2.7'de çeşitli eleman tipi örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Merdivenin bir boyutlu eleman ile modellenmiş şekli (Çayroğlu 2016)

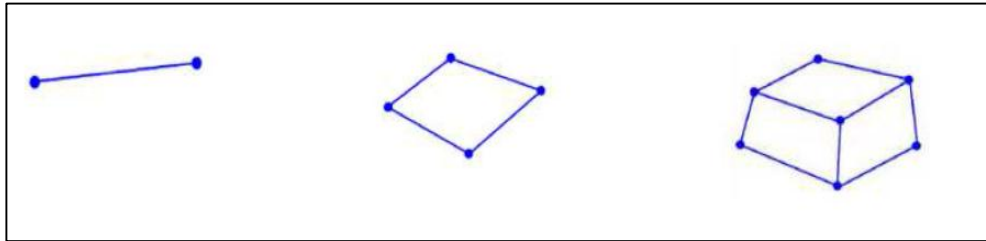


Şekil 2.6. Bir dişlinin iki boyutlu mesh şekli (Çayroğlu 2016)



Şekil 2.7. Uçağın üç boyutlu mesh şekli (katı ya da kabuk model kullanılabilir.)
(Çayıroğlu 2016)

Parça tasarımına ve modelleme şekline göre eleman tipleri de farklı alınır. Tek boyutlu (Çizgisel elemanlar), iki boyutlu (Kabuk elemanlar) ve üç boyutlu (Katı elemanlar) şeklinde tanımlanabilir. Şekil 2.8’de Bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu eleman tipleri gösterilmiştir.

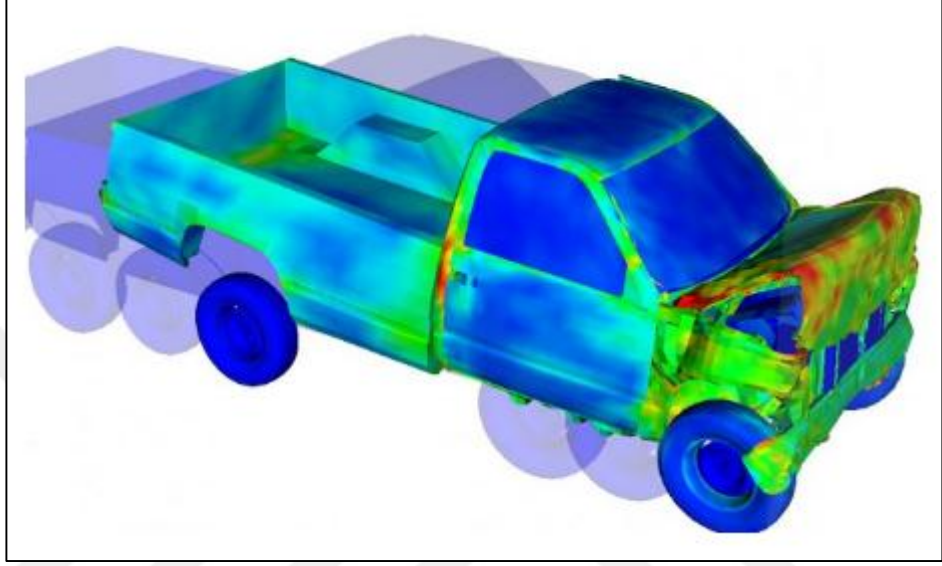


Şekil 2.8. Bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu eleman tipleri (Çayıroğlu 2016)

Nodlar üzerinde oluşturulan denklemler vasıtasıyla hesaplama yapılır. Problemin karmaşıklık boyutuna göre milyonlarca denklem elde edilir. Bu denklemlerin çözümlenmesi ancak bilgisayar vasıtasıyla olmaktadır. Hesaplama sonucunda ki değerler nodlar üzerinde ki değerlerdir. Bu sebeple iyi bir çözümlene için ilk olarak iyi bir mesh yapısı ve mesh’e bağlı olarak nod yapısı önem arz etmektedir.

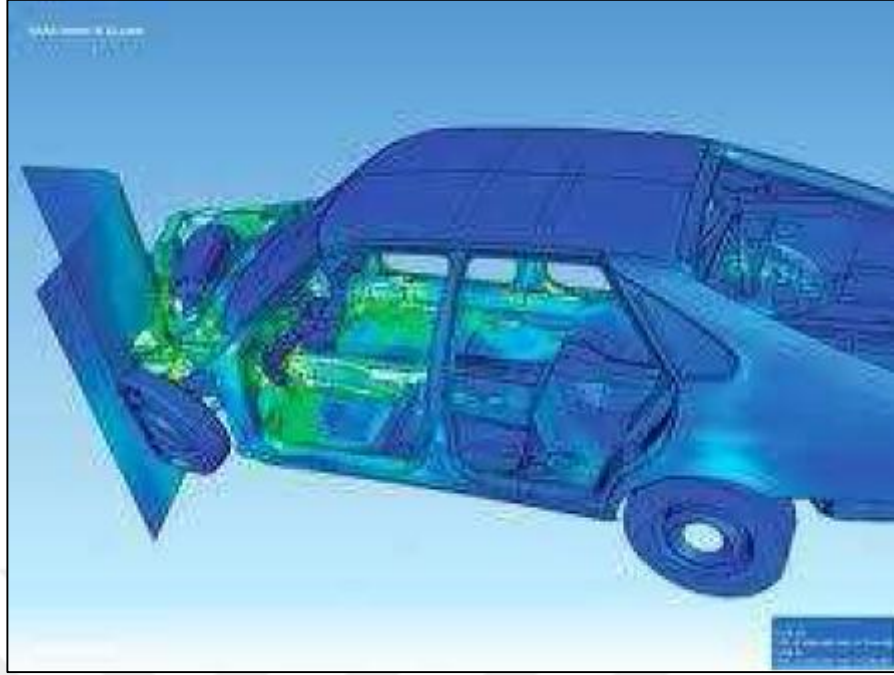
Bilim insanları bazen kesin sonuca ulaşabilmek için yüzlerce deney yapması ve epey zaman harcaması gerekir. Yüzlerce deneylerden sadece birkaç tanesi doğru sonuç

verebilir. Örneğin, yeni üretimi yapılacak bir kamyonetin veya otomobilin Şekil 2.9’da gösterilen önden çarpma testlerini düşünelim. Kamyonet ve otomobil için yapılan her testten sonra her iki araç üzerindeki parçalardan tasarımsal değişiklik yapıp, tekrar test yaptığımızı hayal edelim. Her seferinde araçların parçalarının değişmesi gerekir. Bu da malzeme ve zaman kaybıdır.



Şekil 2.9. Bir kamyonete ait önden çarpma testi gerilme dağılımı sonucu (Anonim 2016d)

Sonlu elemanlar yazılımı programında araç modellendikten sonra program içerisinde istenilen parametreler değiştirilir. (Malzeme, kalınlık vs.) Daha sonra istenilen sayıda deneme yapılarak en uygun tasarıma yakın bir sonuca ulaşılır. Araçta denemeler yapılarak son tasarım elde edilir. Bu sayede yüzlerce deneme yapmaktansa, problemin kompleksliğine göre birkaç denemeyle doğru sonuca ulaşılabilir. Bu yöntem ile malzeme ve zamandan önemli derecede tasarruf elde edilir.



Şekil 2.10. Bir araca ait önden çarpma testi gerilme dağılımı sonucu (Anonim 2016d)

Sonlu elemanlar yazılımında sınır şartları tanımlanır. Yani sonlu elemanlar analizini yapacağınız bir yapıyı, katı ya da kabuk (Shell) eleman olarak modelleyerek maruz kalınan kuvvetler tanımlanır. Daha sonra yapının içindeki her bir parça düğüm noktaları içeren elemanlara ayrılır. Düğüm noktaları birbirine bağlanır. Yazılım bu düğüm noktaları ile matematiksel model oluşturur. Modeldeki denklemler çoğunlukla eldeki verilerle çözülemez. Bir denklemin çözülebilmesi için en az bilinmeyen sayısı kadar denklem olması gereklidir. Fakat dinamik problemlere ait yeterli miktarda denklem bulunmamaktadır. Çeşitli arttırmalar ile bilgisayar işlemcileri devreye girerek dinamik probleme ait denklemi çözmeye çalışır. Böylelikle analiz çıktısı olarak gerilme, gerinme, yer değiştirmeye kadar birçok veri elde edilir.

Gerçek testler ile sonlu elemanlar analizi sonucu çoğunlukla birbiriyle örtüşmez. Bunun sebebi, sonlu elemanlar yazılımına gerçek hayattaki şartları aktarmak zordur. Sonlu elemanlar analizinin amacı, karmaşık modeli küçük bir alt kümeye indirgeyerek çözüm aramaktır. Böylelikle sonuca doğru ve kısa zamanda varılabilir (Anonim 2016d).

2.5 Araç Koltuklarının Sınıflandırılması

Araç sınıflarını tanımlamak için belirli kategoriler oluşturulmuştur. Her bir sınıf harflendirilerek belirtilmiştir. Bu sınıflandırma Uluslararası kabul görmüş ve Avrupa Birliği tarafından kullanılmaktadır. Yolcu taşıyan araçlar, koltuk sayısına ve seyir mesafesine bağlı olarak belirli kategorilere ayrılmıştır. Bu kategorilerden M sınıfı araçlar en az dört tekerlekli ve yolcu taşınmasında kullanılan motorlu taşıtları kapsar.

M1 sınıfı: Sürücü koltuğuna ek olarak maksimum sekiz kişilik oturma yeri olan motorlu araçları kapsar.

M2 sınıfı: Sürücü koltuğuna ek olarak 8'den fazla oturma yeri olan ve maksimum kütlesi 5000 kg'ı aşmayan motorlu araçları kapsar.

M3 sınıfı: Sürücü koltuğuna ek olarak 8'den fazla oturma yeri olan ve maksimum kütlesi 5000 kg'ın üzerindeki motorlu araçları kapsar.

N sınıfı araçlar en az dört tekerleğe sahiptir. Eşya taşımak için kullanılan araçları içermektedir.

N1 sınıfı: Eşya taşınmasında kullanılan ve maksimum kütlesi 3500 kg'ı geçmeyen araçları içermektedir.

N2 sınıfı: Eşya taşınmasında kullanılan ve kütlesi 3500 kg'ı üzerinde Ancak 12 000 kg'ı geçmeyen araçları içermektedir.

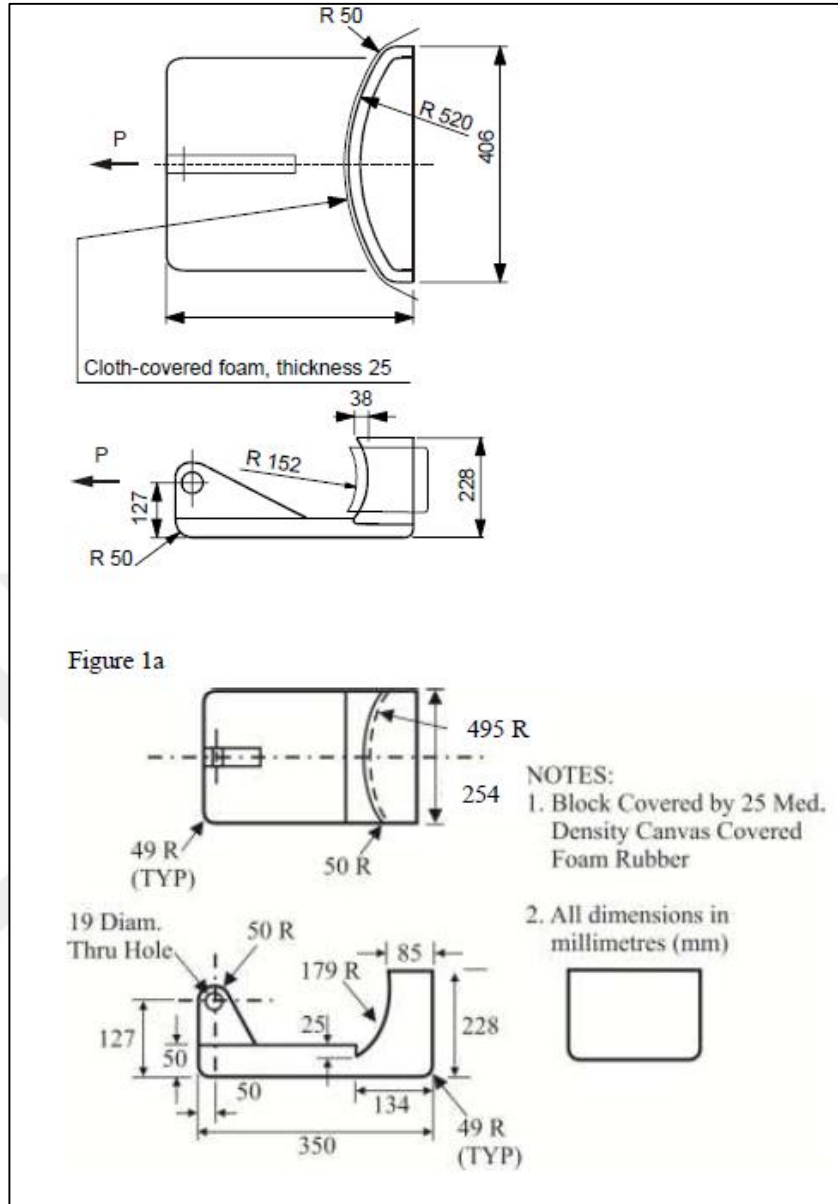
N3 sınıfı: Eşya taşınmasında kullanılan kütlesi 12000 kg'ı geçen araçları içerir. (ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3 2014)

2.6 Yolcu Koltukları İçin Güvenlik Kriterleri

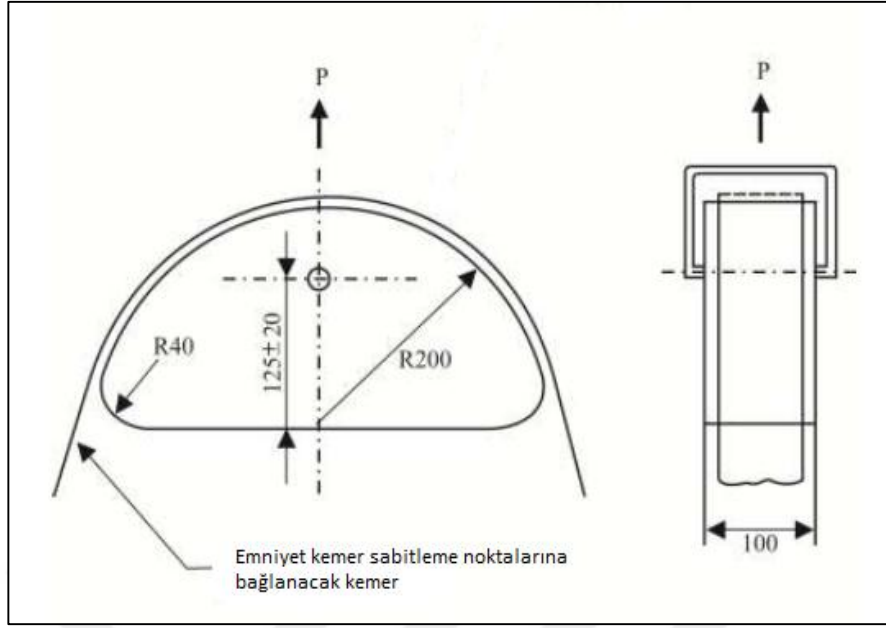
2.6.1 ECE R-14 Regülasyonu

Bu regülasyon, M ve N kategorisi taşıtlarına ait koltukların yetişkin kişiler için dizayn edilmiş, emniyet kemeri bağlantı parçalarına uygulanır. M1 kategorisi taşıtlara yerleştirilen ISOFIX çocuk bağlama sistemleri için tasarlanan çocuk koltuğu bağlantı sistemleri ve çocuk koltuğu üst askı bağlantı parçalarına da uygulanır. ISOFIX bağlantı parçaları takılmış olan N1 kategorisi taşıtlar da bu regülasyonun hükümlerine uymalıdır.

Bu test ile araç çarpma anında yolcu tarafından emniyet kemer bağlantı noktalarına gelen kuvvetler incelenir. Emniyet kemer çekme testi için aynı gruptaki koltuklar aynı anda test edilmelidir. Emniyet kemerine uygulanacak yükler araç yatay düzleminden $10^{\circ} \pm 5^{\circ}$ yukarı yönlü bir açıyla uygulanmalıdır. İstenilen kuvvet değerlerine mümkün olduğunca kısa zamanda ulaşılmalıdır. Hedef yüke ulaşıldığı anda koltuğun 0,2 sn'den daha uzun bir süre yüke dayanabilmelidir. ECE R14 testi için üst ve alt yük uygulama blokları Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de verilmiştir. Şekil 2.11'de gösterilen blok, koltuk oturma süngeri üzerine konumlandırılır. Sırt tarafına doğru itilir. Kemer alt bloğun çevresinden geçebilecek şekilde yerleştirilir. Üst kuvvet uygulama bloğu da yerleştirilir. Bloklar H noktasına yakın konumlandırılmalıdır. Bloklar konumlandırılırken uygulanan yük değeri ön yükleme için yapılan yük değerini aşmamalıdır. Koltuğumuzun alt emniyet kemer bağlama yerleri arasındaki mesafeye göre bizim için uygun olanı kullanabiliriz. 254 mm ve 406 mm ölçülerinde iki çeşit blok Şekil 2.11'de gösterilmiştir. İki nokta ve Üç nokta Emniyet kemer bağlantısı için uygulanan kuvvetler aşağıdaki Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. (Yüce 2014)



Şekil 2.11. Alt çekme bloku (ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.13/Rev.5 ECE R-14 Regulation No.14 2011)



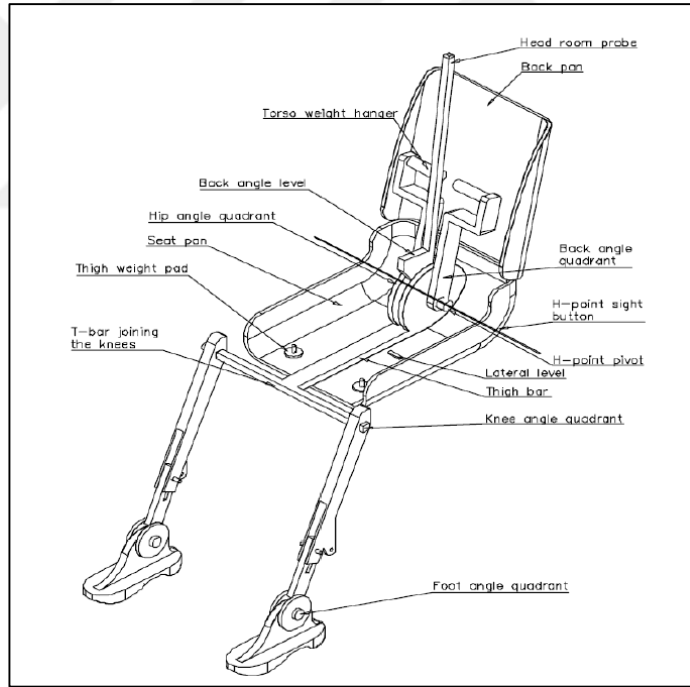
Şekil 2.12. Üst çekme bloku (ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.13/Rev.5 ECE R-14 Regulation No.14 2011)

Çizelge 2.1. ECE R-14 çekme testi kuvvet değerleri

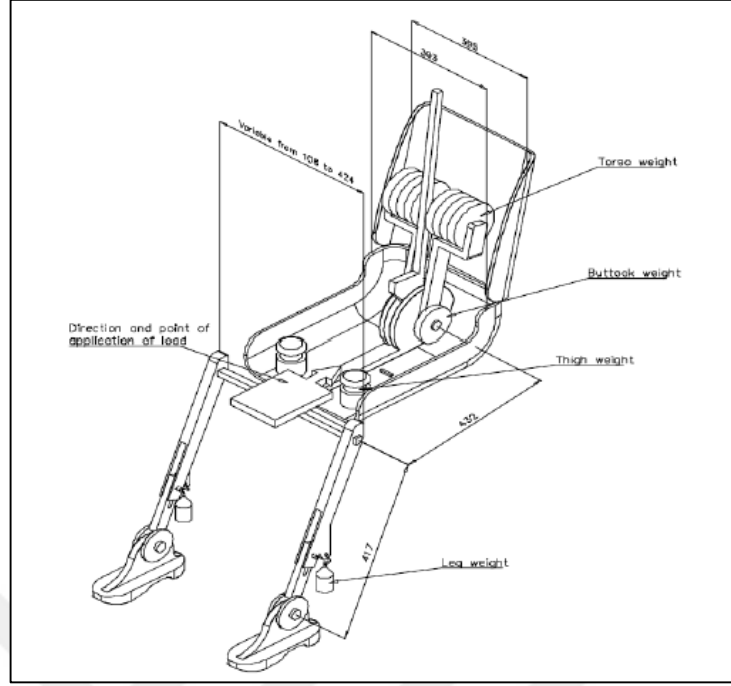
Kemer Tipi	Araç Sınıfı	Bağlantı Noktası	Uygulanan Çekme Kuvvetleri
2 Nokta Emniyet Kemer	M1	Alt Kemer	$F = 22500 \text{ N} + (20 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81 \text{ m/sn}^2)$
	M2	Alt Kemer	$F = 11000 \text{ N} + (10 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81 \text{ m/sn}^2)$
	M3	Alt Kemer	$F = 7400 \text{ N} + (6,6 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81 \text{ m/sn}^2)$
3 Nokta Emniyet Kemer	M1	Alt Kemer	$F = 13500 \text{ N} + (20 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81 \text{ m/sn}^2)$
	M1	Üst Kemer	$F = 13500 \text{ N}$
	M2	Alt Kemer	$F = 6750 \text{ N} + (10 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81 \text{ m/sn}^2)$
	M2	Üst Kemer	$F = 6750 \text{ N}$
	M3	Alt Kemer	$F = 4500 \text{ N} + (6,6 \times \text{Koltuk Ağırlığı} \times 9,81 \text{ m/sn}^2)$
	M3	Üst Kemer	$F = 4500 \text{ N}$

Yolcu H Noktasının Belirlenmesi

H noktası, kalça orta noktasının geldiği bölge olarak belirlenir. H noktası tanımlanabilmesi için Şekil 2.13’de verilen manken yerleştirilir. Manken, kalça ve gövde olmak üzere iki bölüme ayrılır. Kalça, bacak, uyluk ve gövde ağırlıkları koltukta oturan yolcunun ağırlığını yansıtacak şekilde askılara yerleştirilir. Ağırlık asma yerleri ve manken üzerindeki ölçüleri Şekil 2.14’de verilmiştir. Yolcunun hareket kabiliyetini belirleyecek şekilde bağlantı yerleri mafsallarla birleştirilmiştir. H noktası eksenini sırt açısı mafsalından geçer. Manken koltuğa ideal sürüş konumunda oturtulur. Mankenin merkezinden geçen düzlem ile koltuğun merkezinden geçen düzlem çakıştırılır. Ağırlıklar konumlandırıldıktan sonra 100 N yük belirtilen noktaya uygulanır. Test mankeni başlangıç konumuna getirilerek test tekrar edilir. H noktasının koordinatları belirlenir. (Thiyagarajan 2008)



Şekil 2.13. H noktası belirleme manken aparatı (Thiyagarajan 2008)



Şekil 2.14. Manken aparat ağırlıkları ve ölçüleri (Thiyagarajan 2008)

2.6.2 ECE R-14 Testi Başarı Koşulları

Koltuğun ECE R14 testinden geçebilmesi için uygulanan kuvvetlere dayanması gerekmektedir. Kuvvet uygulama süresinde kalıcı deformasyon, yırtık veya kırılma olmaması gerekmektedir. M1 sınıfı araçlar için üst emniyet kemer bağlantı noktasının yaptığı yer değiştirme koltuğun H noktasından geçen dikey düzlemi geçmeyecek şekilde olmalıdır. M2, M3 ve N sınıfındaki araçlar için yer değiştirme H noktasından dışarı yönde 10 derece açıyla oluşturulan düzlemi geçmemelidir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Uygulanan Mekanik Testler

Bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan DP600 çeliği, Al 5754 H22 alüminyum alaşımı, Titanyum Grade 2 ve Grade 5 sac malzemeleri kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de deneysel çalışmalar da ki numune malzemelerin kimyasal bileşimleri, Çizelge 3.2’de malzemelerin mekanik özellikleri gösterilmiştir.

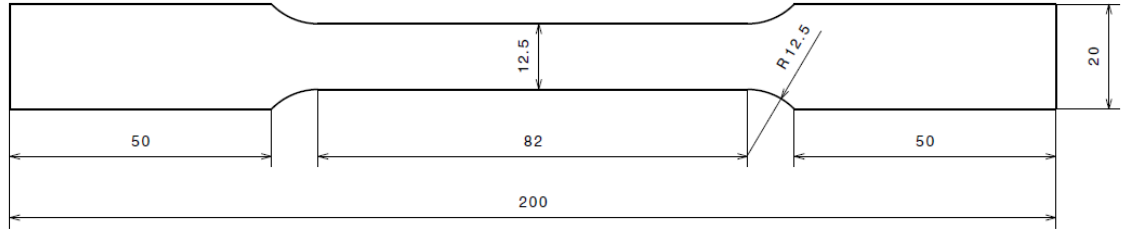
Çizelge 3.1. Malzemelerin kimyasal bileşimi (Ağırlık %)

Malzeme	% Ağırlık													
	C	Mn	Mo	Cr	Si	Fe	Cu	Zn	Al	Mg	H	N	Ti	V
DP 600	0,1	1,5	0,196	0,197	0,157									
Al 5754 H22		0,4		0,25	0,22	0,31	0,03	0,2		3,2				
Ti Grade 2	0,1				0,025	0,3					0,02	0,03	99,53	
Ti Grade 5			0,2			0,25			6				89,55	4

Çizelge 3.2. Malzemelerin mekanik özellikleri

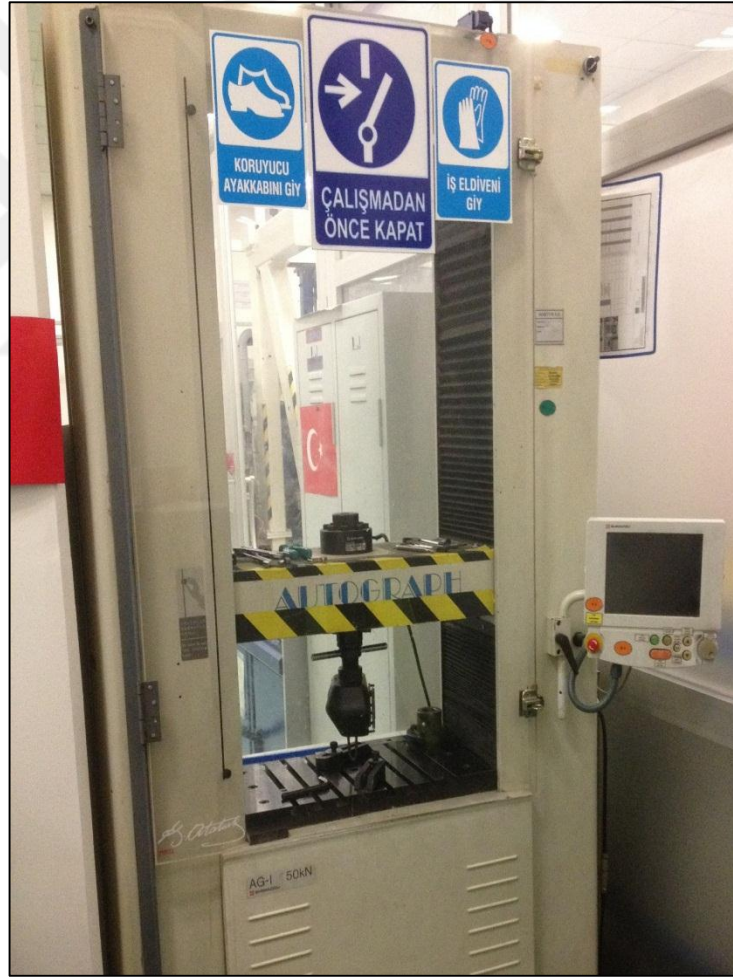
MALZEME	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (Mpa)	Kopma Uzaması (%)	Yoğunluk (gr/mm ³)	Young Modülü (Mpa)	Poisson Oranı
Al 5754 H22	185	245	22	2,76*10 ⁻⁶	70,3	0,33
Ti GRADE 2	350	420	18	4,51*10 ⁻⁶	105	0,32
Ti GRADE 5	980	1200	8	4,51*10 ⁻⁶	105	0,32
DP 600	430	680	20	7,80*10 ⁻⁶	207	0,30

Çekme testi için E8/E8M-11 uluslararası standartlarına uygun test parçaları hazırlanmıştır. Çekme test parçalarının ebatları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Test numuneleri için DP600 çeliği, Titanyum Grade 2 ve Grade 5 malzemelerinin kalınlık değerleri 1 mm, Al 5754 H22 malzemesi için 5 mm alınmıştır. Çekme testi numuneleri CNC 5 eksenli tezgâhta kesilmiştir.



Şekil 3.1. ASTM E8/E8M-11 standartlarında çekme test numunesi

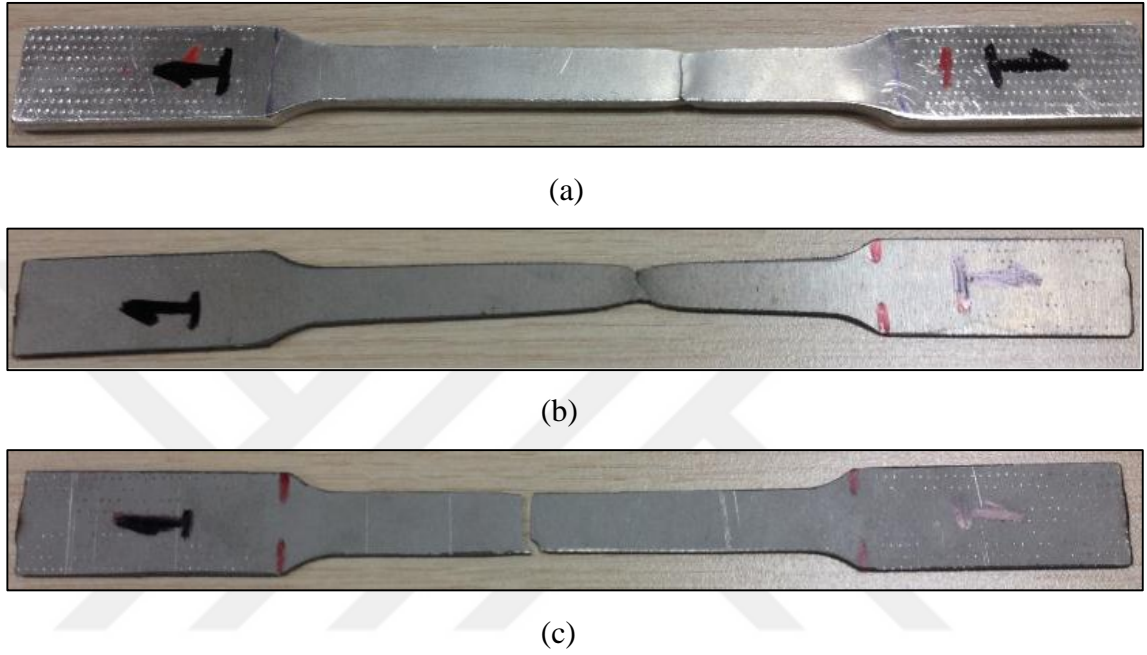
Çekme test makinası markası Shimadzu'dur (Şekil 3.2) ve testler 10 mm/dk deformasyon hızlarında oda sıcaklığında tekrarlanmıştır. Her bir malzeme üç kere tekrar edilmiştir ve ortalaması girilmiştir.



Şekil 3.2. Shimadzu Marka 50 kN kapasiteli çekme test cihazı

Çekme testleri ile malzemenin kuvvet – uzama eğrileri elde edilmiştir. Veriler işlenerek sonlu elemanlar analiz yazılımında kullanılmak üzere sac malzemelerin gerilme-uzama oranı eğrileri belirlenmiştir.

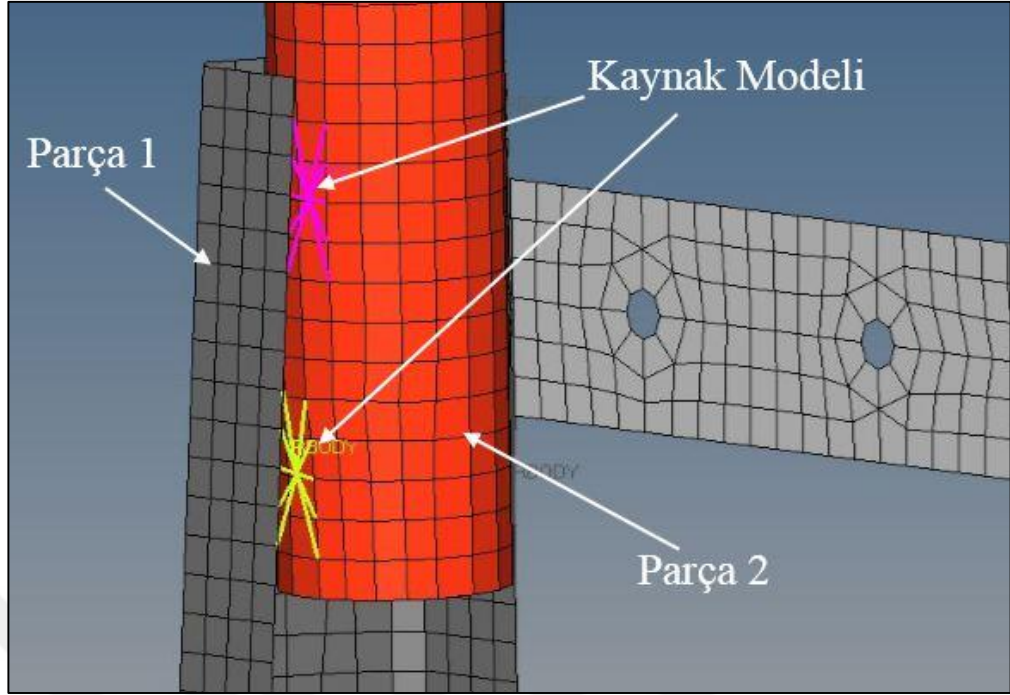
Al 5754 H22, Titanyum Grade 2 ve Grade 5 malzemelerinin çekme testi sonrasında kopma bölgeleri Şekil 3.3’de belirtilmiştir.



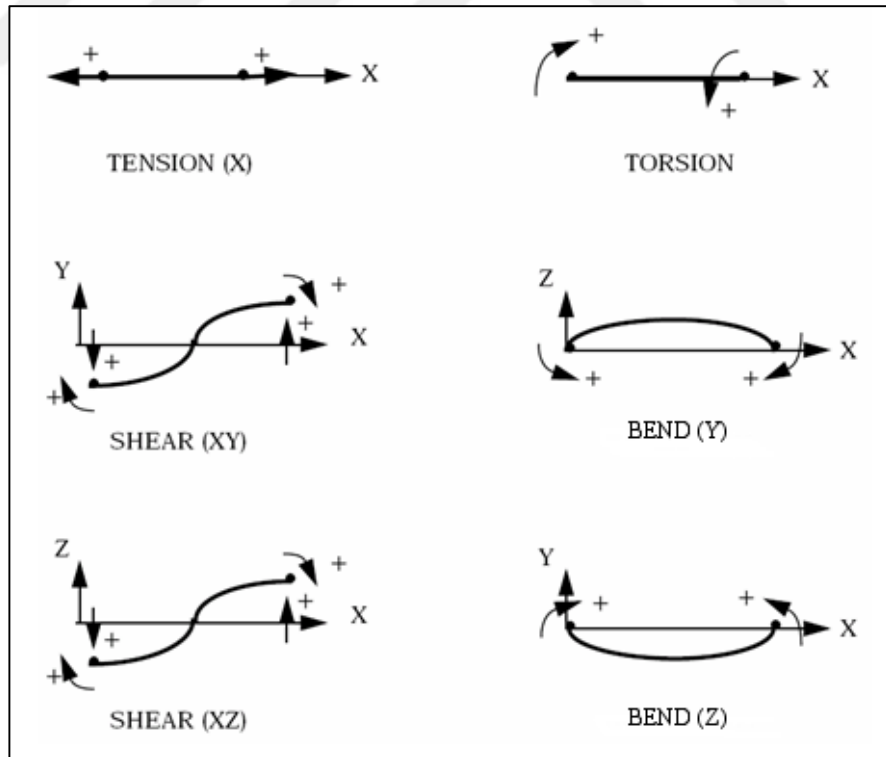
Şekil 3.3. a) Al 5754 H22 malzeme, b) Titanyum Grade 2 malzeme, c) Titanyum Grade 5 malzeme çekme testi sonrası kopma bölgeleri

3.2 Uygulanan Sonlu Elemanlar Analizi Aşamaları

Tasarımı oluşturulan koltuk modeli Altair Hypermesh programı vasıtasıyla modellenmiştir. Koltuğun sonlu elemanlar analizinde modeli oluşturulurken her bir parçanın orta yüzeyleri çıkarılmıştır. Çıkarılan yüzeyler kabuk eleman olarak modellenmiştir. Mesh'in eleman boyutu ortalama 5 mm olarak girilmiştir. Koltuk modeli toplam 44218 düğüm noktası ve 42477 elemandan oluşmuştur. Her bir parça için kalınlık ve malzeme bilgileri tanımlanmıştır. Kaynak bölgeleri rijit eleman olarak oluşturulmuştur (Şekil 3.4). Bağlantı elemanı olan civataların modellenmesi için bir boyutlu yay (Spring) eleman kullanılmıştır. Kullanılan yay elemanlar 6 serbestlik derecesine sahiptir ve Şekil 3.5’de yay elemanlarına ait deformasyon tipleri verilmiştir.

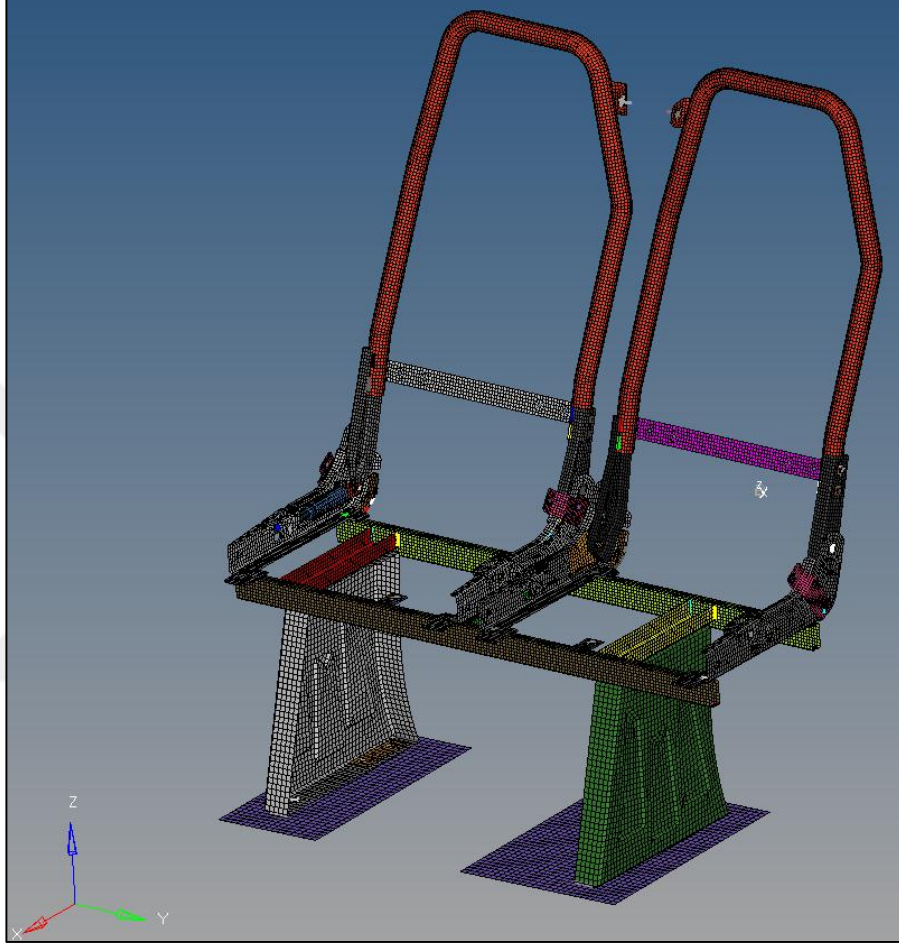


Şekil 3.4. Sonlu Elemanlarda Kaynak Gösterimi



Şekil 3.5. Yay eleman deformasyon tipleri (Anonim 2012)

Parçaların kendi aralarında ve diğer parçalarla olan temaslarını tanımlamak için Hypercrash programı kullanılmıştır. Genel olarak kontak tanımlamaları /INTER/TYPE 7 ve /INTER/TYPE 11 kartları ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6'da koltuğun sonlu eleman modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.6. İkili koltuk sonlu eleman modeli

Modeli çalıştırdığımızda kabuk elemanların çözme süresi ve çözme hassasiyetinin en iyi olması için QEPH 24 olarak girilmiştir. İntegrasyon nokta sayısı (N), 1 ve 10 arasındaki değerler için çözüm süresi ve hassasiyeti açısından 5 nokta olarak tanımlanmıştır. Böylece kalınlık boyunca elemanların eğilme direnci göstermeleri mümkün olacaktır. Analizlerde kullanılan malzeme modeli, elastik- plastik davranış gösteren Johnson-Cook malzeme modelidir. Johnson-Cook malzeme modelinin özelliği, akma dayanımının altında elastik özellik gösterirken, akma dayanımının üzerinde plastik davranış özelliği gösterir. Elastisite (E) ve poisson oranı (ν) değerleri girilerek

malzemenin elastik kısmı tanımlanır. Malzemenin plastik bölgedeki davranışı için farklı birim şekil değiştirme oran değerlerine göre eğri tanımlanır.

3.3 Koltuk Ayağının Üretim Aşamaları

Mevcut ayak 2 mm DP600 malzeme den üretilmektedir. Schuler marka 150 ton basma kapasitesine sahip hidrolik pres vasıtasıyla sac malzeme şekillendirilir. ABB IRB 1400 marka Robot gaz altı kaynağı ile kaynak yapılır. Daha sonra delikleri açılır.

Al 5754 H22 malzemedan fiziksel testi yapılacak olan sağ ve sol ayak için ilk olarak sac malzeme tedarik edilmiştir. Ayak tasarımının açınım haline göre teknik resmi çıkarılmıştır. Çıkarılan teknik resme göre sac malzeme lazermak marka 2500 Watt 3000 mm x 1500 mm çalışma alanına sahip makinada kesilmiştir. Daha sonra Ermaksan Power-Bend Pro 6100 x 600 marka abkant makinasında yan yanakların bükümü sağlanmıştır. Şekil 3.7’de gösterilen Fronius marka TS 4000 modeli Alüminyum kaynak makinasında MIG kaynağı ile 161 Amper, 11 Volt kaynak parametrelerinde ayak kenarının birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Kaynak teli olarak 1.2 mm çapında Geka marka alüminyum alaşım (AlSi5) kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak telinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.3’te, mekanik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Son olarak ayak bağlantı noktalarının delikleri açılmıştır. Sağ ve sol ayak modelinin son hali Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Kaynak telinin kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim (%)			
Si	Mn	Al	Fe
5	<0.05	kalan	<0.8

Çizelge 3.4. Kaynak telinin mekanik özellikleri

Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Çalışma sıcaklığı
110	150	15	575-633



Şekil 3.7. Fronius marka TS 4000 Modeli Alüminyum Kaynak makinası



a)



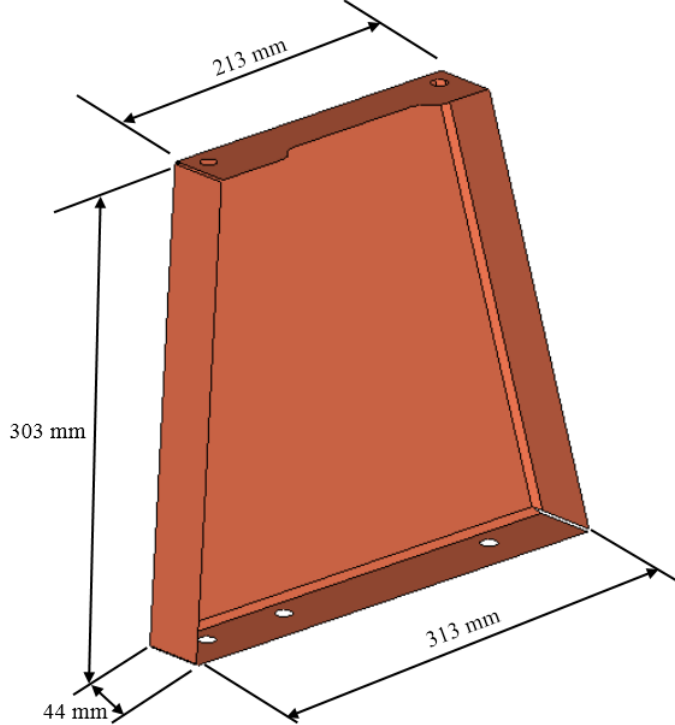
b)

Şekil 3.8. a) Sol ayağın üretilmiş hali, b) Sağ ayağın üretilmiş hali.

3.4 ECE R-14 Regülasyonuna Göre Test

Araç koltuk bağlantı elemanı olan ayaklar için 4 farklı malzeme seçilmiştir. Birinci malzeme DP600 çeliği, ikinci malzeme Al 5754 H22 alüminyum alaşımı, üçüncü ve dördüncü malzeme Ti Grade 2 ve Ti Grade 5 olarak belirlenmiştir. Ayak ölçüleri Şekil 3.9’da verilmiştir. Araç koltuklarına ait emniyet kemer bağlantı elemanlarının mukavemetini kapsayan ECE R-14 regülasyonuna (“2.6.1 ECE R-14 Regülasyonu” bölümünde bu regülasyon ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir) ait testin M2 sınıfı koltuk için sanal analizleri gerçekleştirilmiş olup koltuk ayağı için uygun maliyet ve dayanım koşulları göz önüne alınarak uygun malzeme seçimi araştırılmıştır.

Çalışma dahilinde de ECE R-14 emniyet kemer çekme analizi ikili yolcu koltuğunun dört farklı malzeme için simülasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar için koltuğun sonlu eleman modeli hazırlanmıştır. Her bir malzeme için koltuğa aynı kuvvetler uygulanmıştır. ECE R-14 emniyet kemer çekme testi ve sonlu eleman analizi ile doğrulaması yapılan koltuğun fiziksel test sonuçları karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 3.9. Koltuk ayak ölçüleri

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1 Malzemelerin Çekme Testi Sonuçları

Çekme deneyi sonucunda çekme kuvveti F , yer değiştirme miktarı $\Delta L=L-L_0$ şeklindedir.

Çekme testinden çıkan verilerin işlenmesi sonucunda, mühendislik gerilmesi denklemi (4.1), birim şekil değişimi denklemi (4.2) eğrileri elde edilir.

$$\text{Mühendislik gerilmesi} \quad \sigma_{\text{mühendislik}} = F/A_0 \quad (4.1)$$

$$\text{Birim şekil değişimi} \quad \epsilon_{\text{mühendislik}} = \Delta L/L_0 \quad (4.2)$$

A_0 , malzemenin ilk kesiti

ΔL , malzemenin anlık deformasyon miktarı

L_0 , malzemenin ilk boyudur.

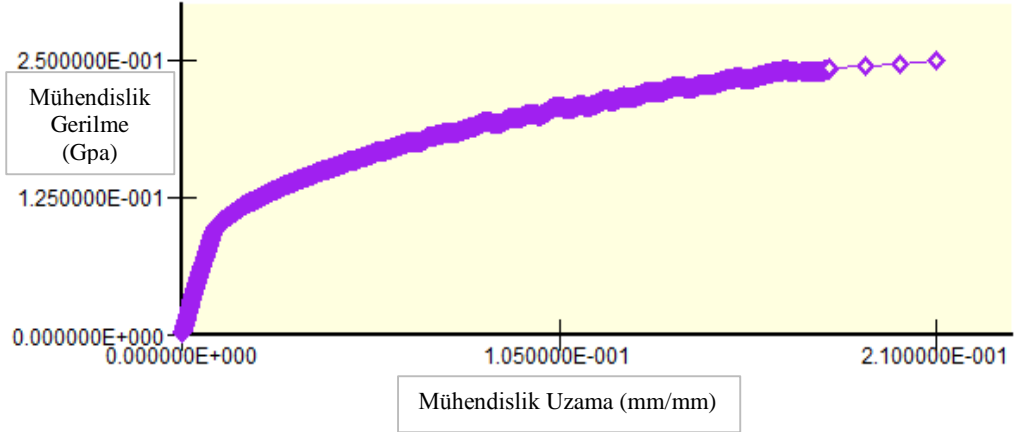
Gerçek gerilme denklemi (4.3) değeri ve gerçek birim şekil değişimi denklemi (4.4) değeri, mühendislik gerilme denklemi (4.1) ve mühendislik birim şekil değişimi denklemi (4.2) değerlerini kullanarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\sigma_{\text{gerçek}} = \sigma_{\text{mühendislik}}(1 + \epsilon_{\text{mühendislik}}) \quad (4.3)$$

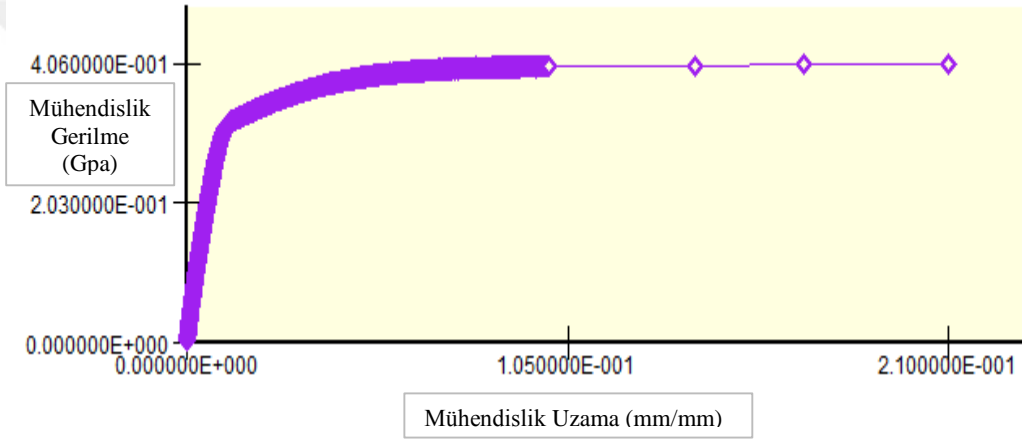
$$\epsilon_{\text{gerçek}} = \ln(1 + \epsilon_{\text{mühendislik}}) \quad (4.4)$$

Şekil 4.1’de Al 5754 H22 malzemeye ait, Şekil 4.2’de Titanyum Grade 2 malzemeye ait ve Şekil 4.3’de Titanyum Grade 5 malzemeye ait mühendislik gerilme ve mühendislik gerilme eğrileri gösterilmiştir.

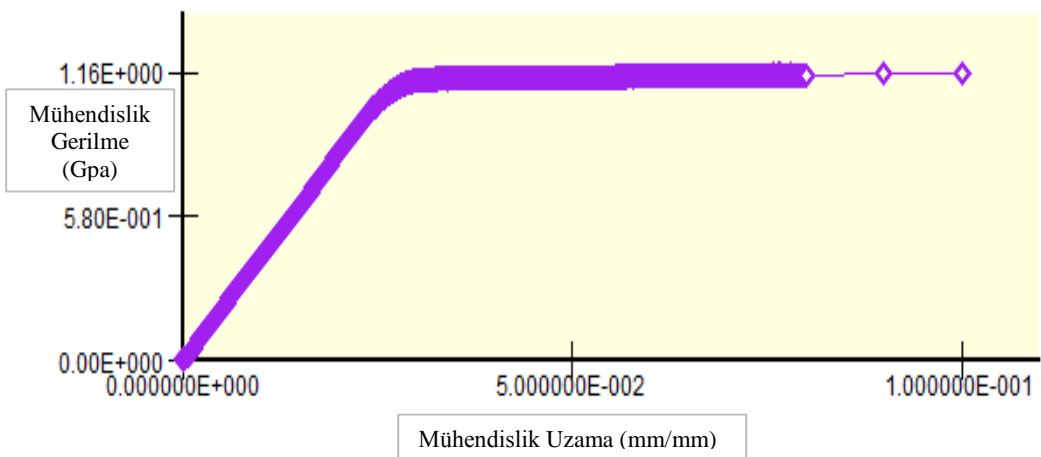
Şekil 4.4’de DP 600 malzemeye ait, şekil 4.5’de Al 5754 H22 malzemeye ait, Şekil 4.6 da Titanyum Grade 2 malzemeye ait ve Şekil 4.7’de Titanyum Grade 5 malzemeye ait gerçek gerilme ve gerçek gerilme eğrileri gösterilmiştir.



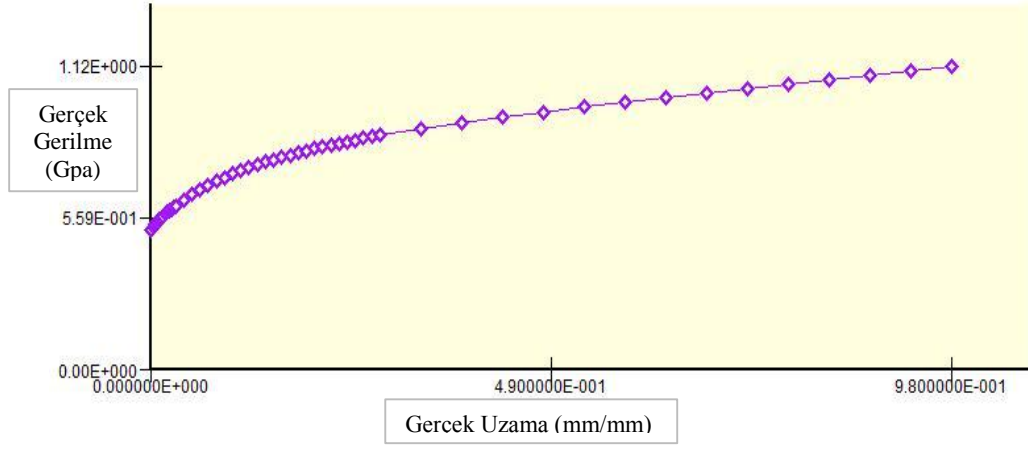
Şekil 4.1. Al 5754 H22 malzeme için mühendislik gerilme-gerinme eğrisi



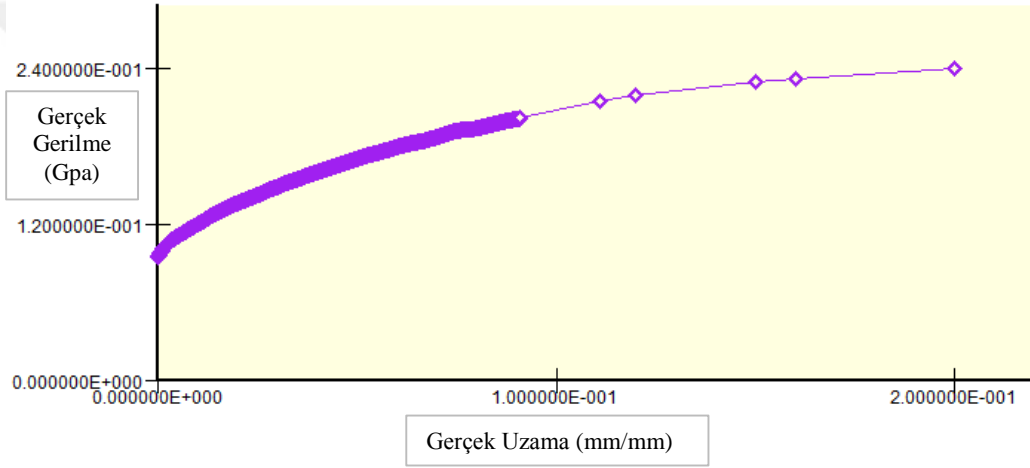
Şekil 4.2. Ti Grade 2 malzeme için mühendislik gerilme-gerinme eğrisi



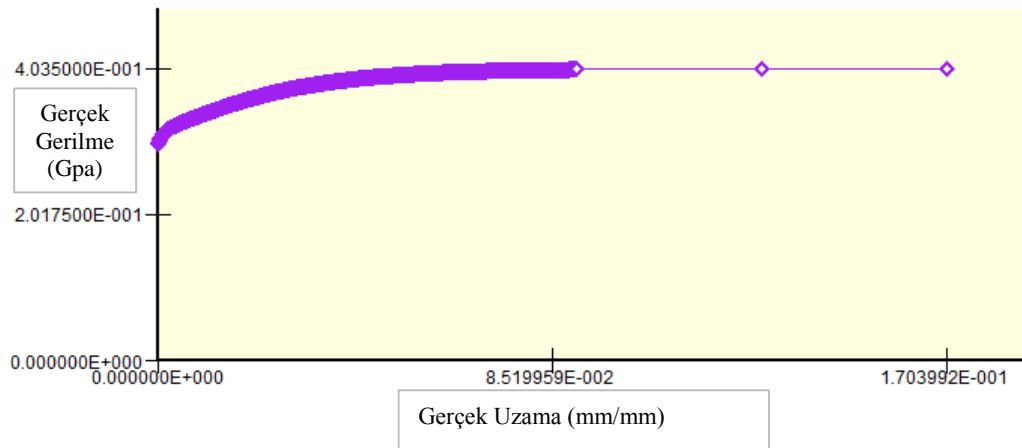
Şekil 4.3. Ti Grade 5 malzeme için mühendislik gerilme-gerinme eğrisi



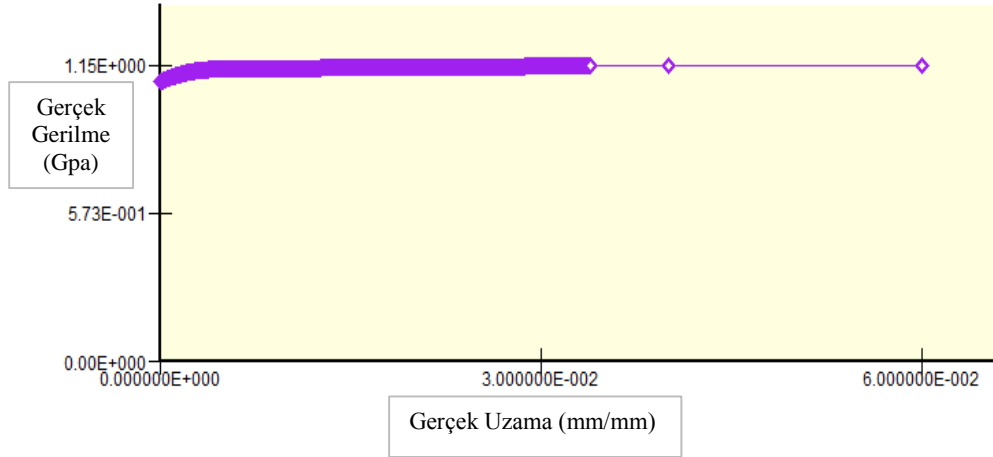
Şekil 4.4. DP 600 malzeme için gerçek gerilme-gerinme eğrisi



Şekil 4.5. Al 5754 H22 malzeme için gerçek gerilme-gerinme eğrisi



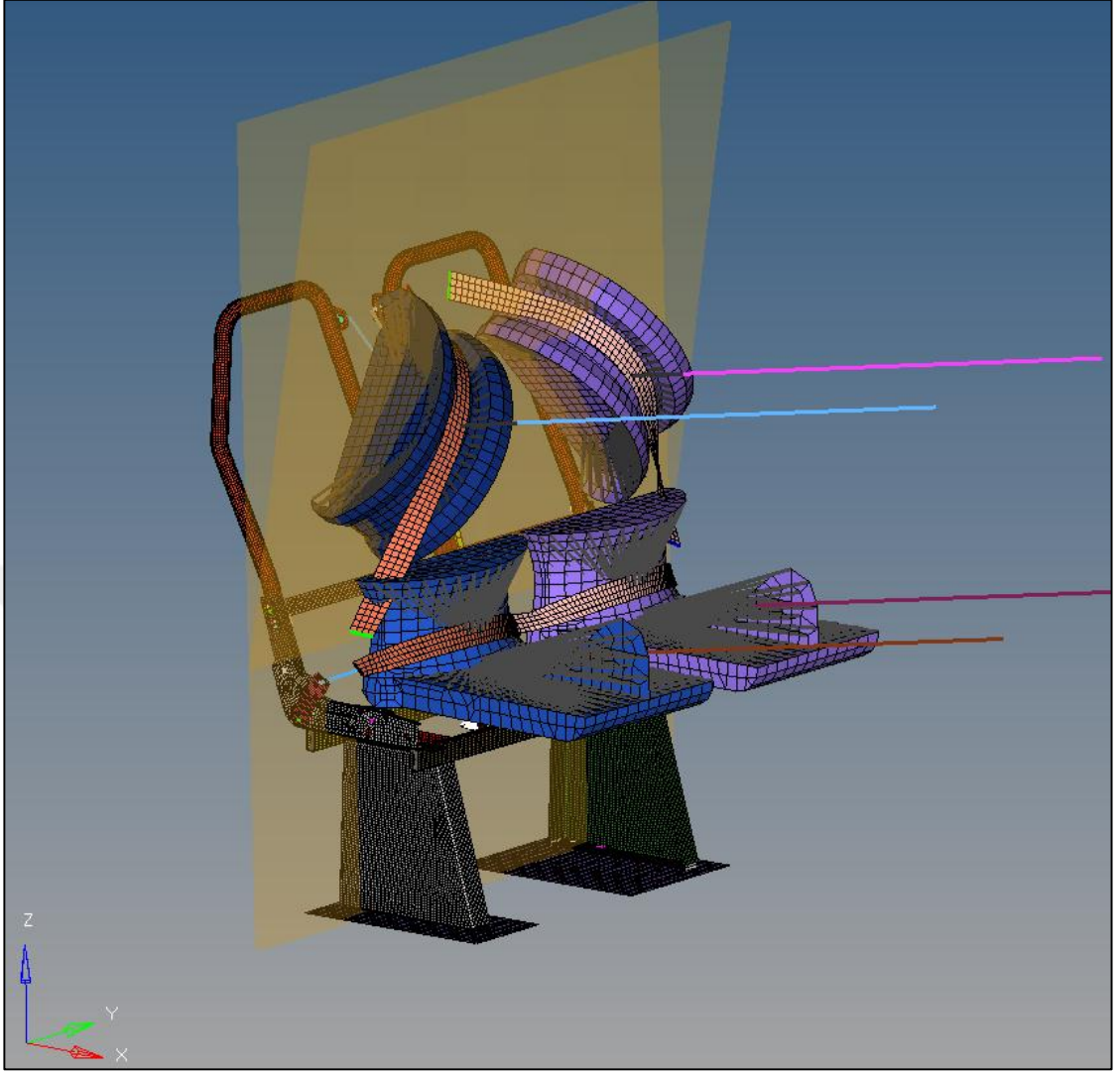
Şekil 4.6. Titanium Grade 2 malzeme için gerçek gerilme-gerinme eğrisi



Şekil 4.7. Titanyum Grade 5 malzeme için gerçek gerilme-gerinme eğrisi

4.2 Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

Regülasyonla belirtilen ECE R-14 çekme bloklarının sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Koltuğun sonlu eleman modeli Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Gerçek test ile sonlu eleman modeli arasında oluşabilecek hata farkından dolayı, sonlu eleman analizinde uygulanan kuvvet emniyet katsayısı olarak 200 N fazlası girilmiştir. Ayakların tabana bağlantı noktaları rijit yay eleman olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.9'da taban bağlantısı için kullanılan yay elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Emniyet kemer çekme ECE R-14 sonlu eleman analiz modeli

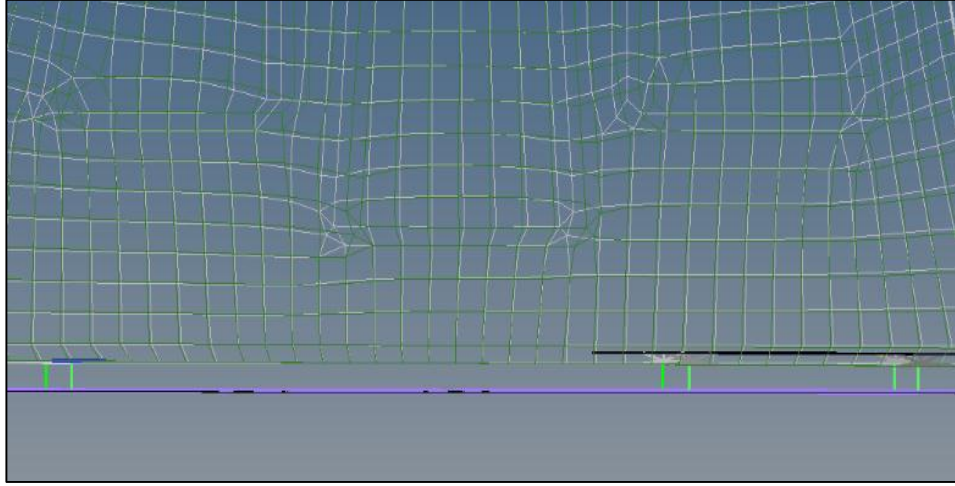
İkili koltuk ağırlığı 25 kg'dır. Tek bir koltuk ağırlığı 12,5 kg'dır.

Üst blok için çekme kuvveti 4.5 denkleminde 6950 N olarak belirlenmiştir.

$$F_{\text{üst blok çekme}} = 6750 + 200 \quad (4.5)$$

Alt blok için çekme kuvveti 4.6 denkleminde 8176,25 N olarak belirlenmiştir.

$$F_{\text{Alt blok çekme}} = (6750N + 10 \times 12,5 \times 9,81) + 200 \quad (4.6)$$



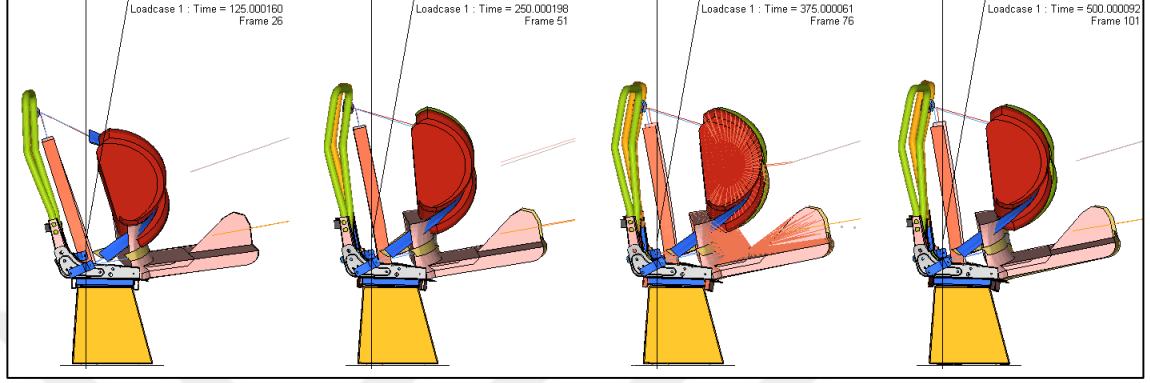
Şekil 4.9. Ayak bağlantı elemanlarının sonlu eleman modeli

Model, Radioss yazılımında bilgisayar 16 işlemci desteği ile 10 saatte çözmüştür. Analiz 500 ms süreye kadar çözdürülmüştür.

Sonlu eleman modeli kurulan koltuğun, bağlantı elemanı olan ayaklar için DP 600, Al 5754 H22, Titanium Grade 2, Grade 5 malzeme tanımlamaları yapılarak analiz sonuçları elde edilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde ayaklar için mevcut malzeme DP 600 çeliği ve Al 5754 H22 alternatif malzemenin regülasyon şartlarını sağladığı görülmüştür. Al 5754 H22 için ayak kalınlığı 5 mm belirlenmiştir. Ayaklar için diğer alternatif malzemeler, Titanium Grade 2 ve Grade 5'in analizlerde yüksek gerilme meydana gelip kırıldığı, regülasyonu sağlamadığı tespit edilmiştir.

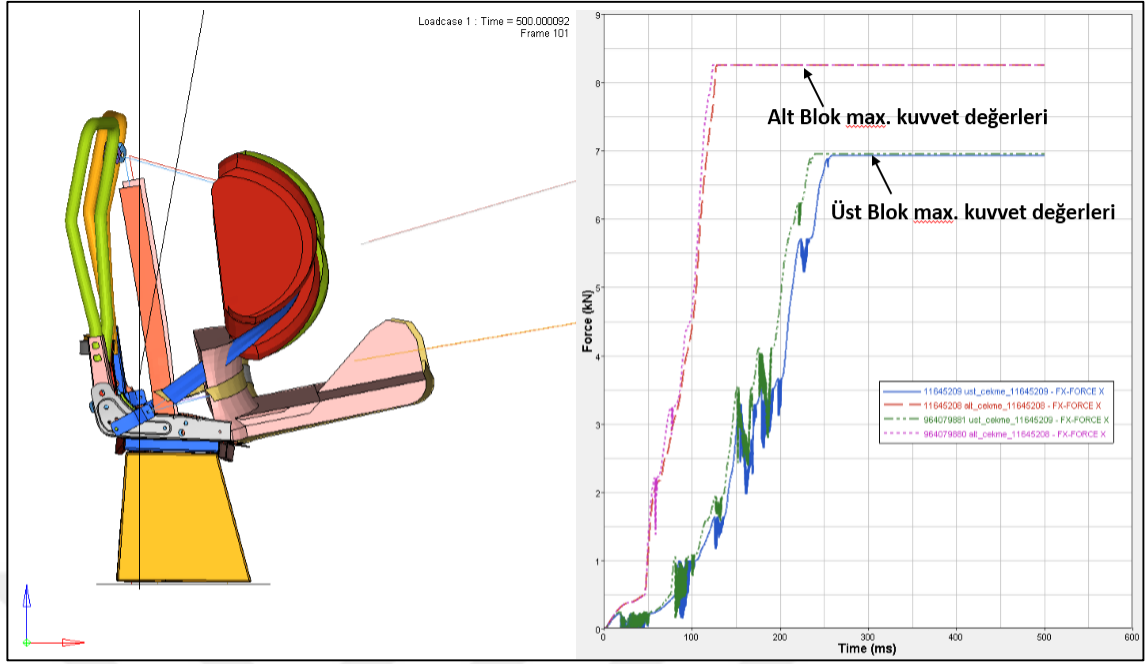
4.2.1 Al 5754 H22 Ayak Malzemesinin Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

Ayak malzemesi Al 5754 H22 için analiz sonuçlarının incelediğimizde; koltuğun zamana göre şekil değiştirmesi Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

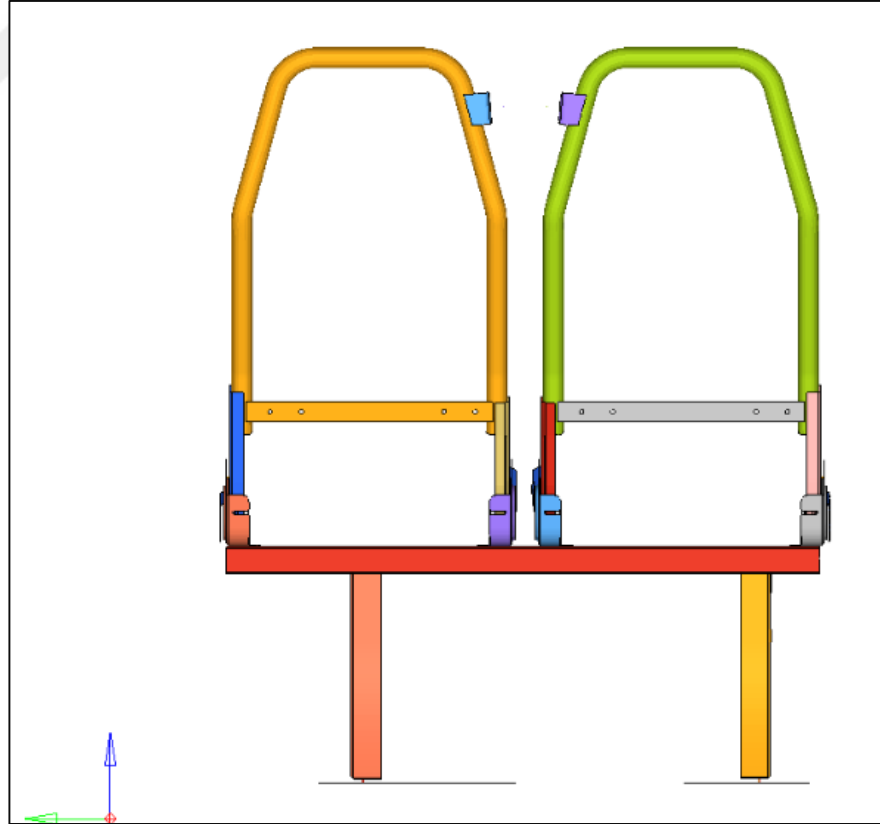


Şekil 4.10. Al 5754 H22 ayak malzemesi için koltuğun ECE R-14 analizinde zamana göre şekil değişimi

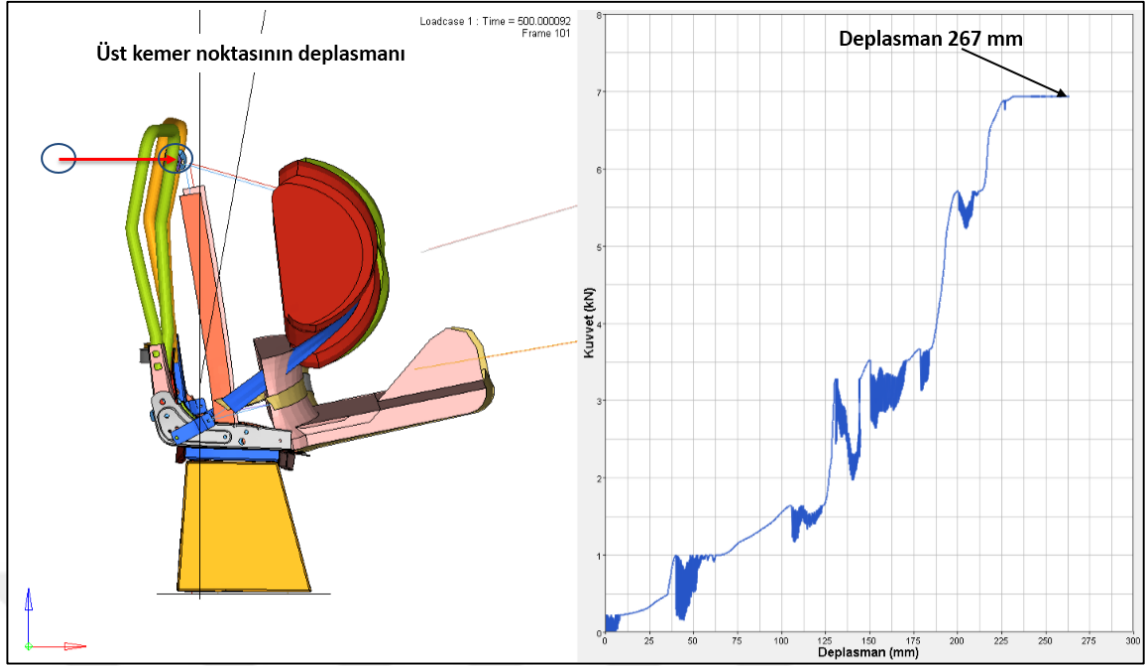
Bir boyutlu(spring) eleman ile modellenen çekme yüklerinin regülasyonla belirtilen değerlere ulaşma grafiği Şekil 4.11’de verilmiştir. Alt ve üst çekme blokları 275.ms sonunda istenilen maksimum yüke gelmiştir. Alt çekme bloğu 130.ms’de maksimum yük değerine, üst çekme bloğu 270.ms’de maksimum yük değerine ulaşmıştır. Ayakların üstten bağlı olduğu karkasın, merkezine göre tasarimsal olarak simetrik yerleştirilmediğinden istenilen kuvvete ulaşma grafiği farklılık göstermektedir (Şekil 4.12). Üst çekme bloğu grafiğindeki salınımlar, sırt borusunda meydana gelen şekil değişiminden dolayıdır. Emniyet kemer üst noktasının uygulanan kuvvete bağlı deplasmanı 267 mm olarak Şekil 4.13’da gösterilmiştir. Koltuğun testten geçebilme kriterlerinden biri, emniyet kemer üst noktasının maksimum yapabileceği deplasman 432 mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Al 5754 H22 ayak malzemesi için alt ve üst çekme blokları için uygulanan kuvvet grafiği

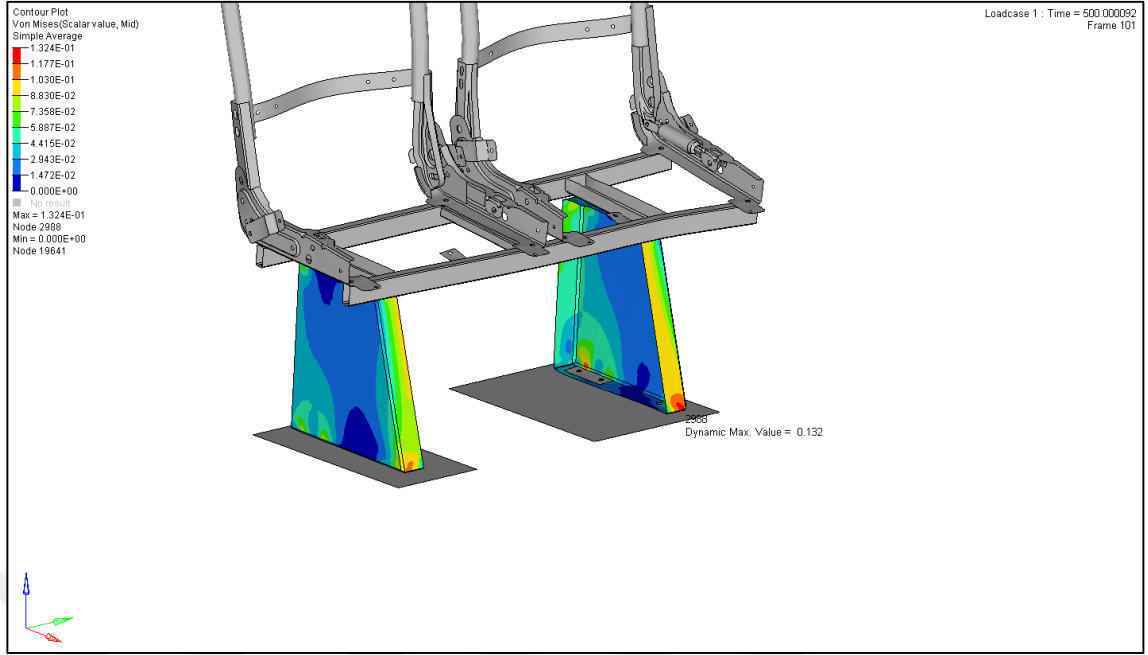


Şekil 4.12. Koltuk sonlu elemanlar modeli arkadan görünüşü

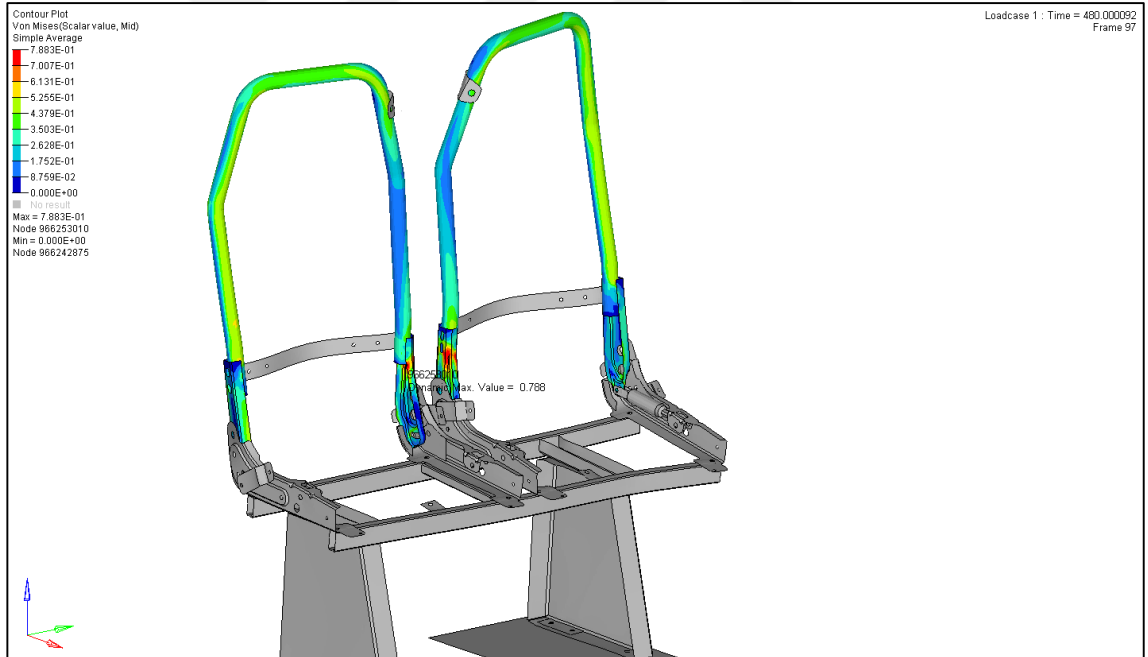


Şekil 4.13. Al 5754 H22 ayak malzemesi için üst emniyet kemer noktasının deplasmanı

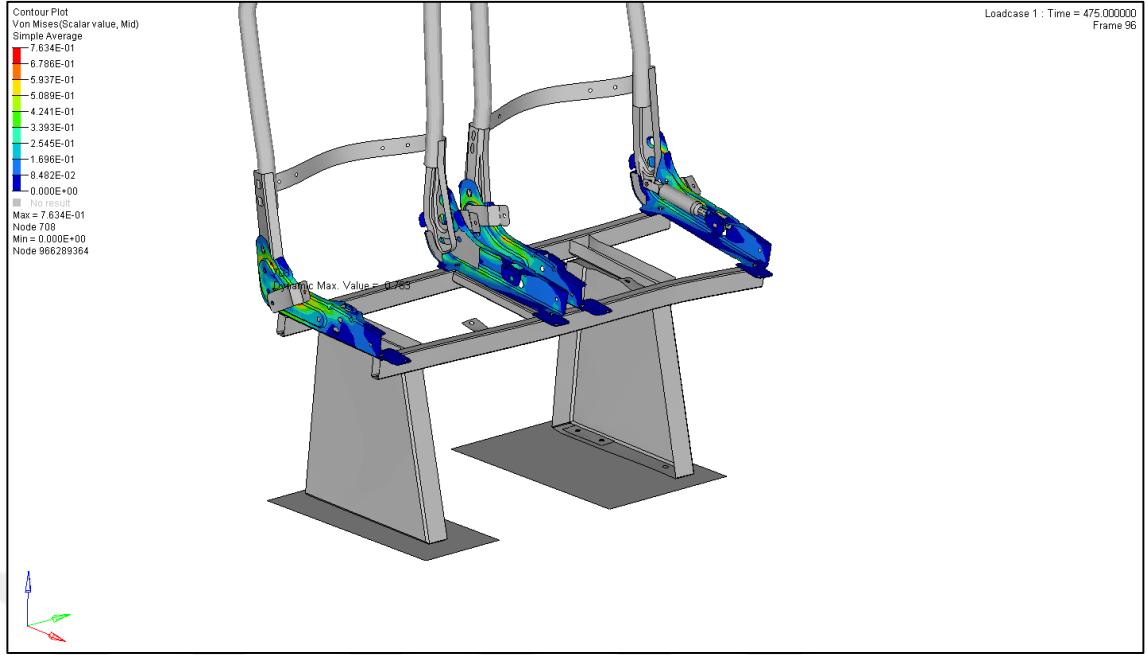
Analiz sonunda koltuktaki gerilme dağılımlarını incelersek; Ayaklarda çekme esnasında sol ayak uç noktasında 132 MPa olarak gerilme meydana gelmiştir (Şekil 4.14). Sırt iskeletinde ise maksimum gerilme 788 MPa ile sağ sırt brakette gözlenmiştir (Şekil 4.15). Yan travers saclarında ise maksimum gerilme sağ koltuk sağ yan travers de 763 MPa olarak oluşmuştur (Şekil 4.16). Oturak karkasında maksimum gerilme 604 MPa ile arka profil de gözlenmiştir (Şekil 4.17).



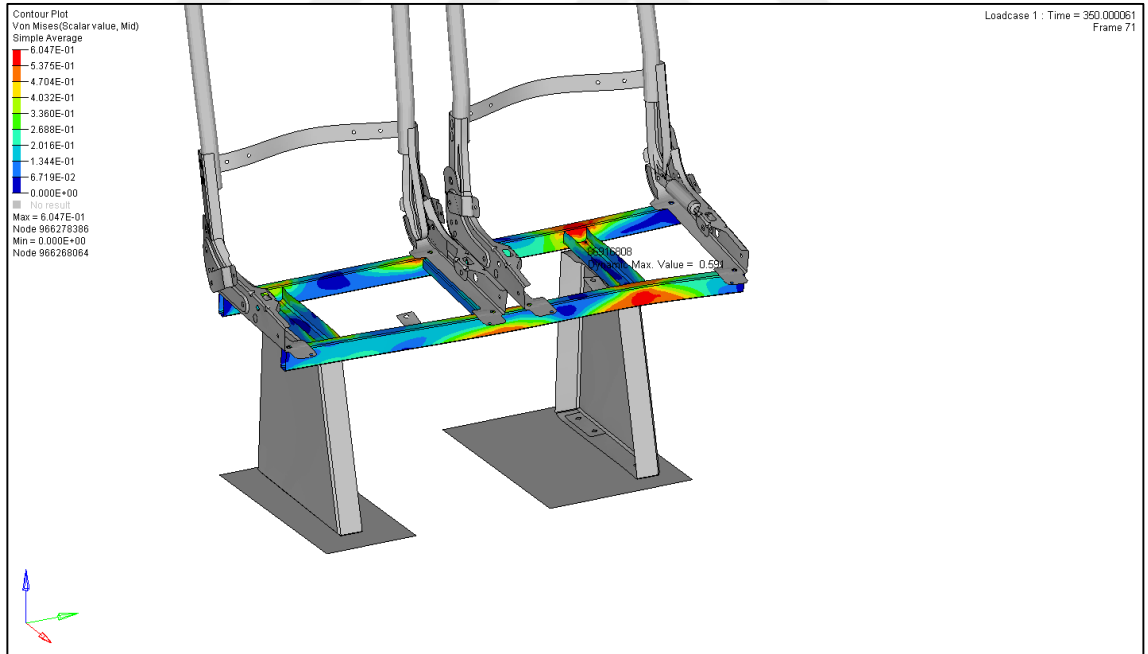
Şekil 4.14. Al 5754 H22 ayak malzemesi için ayaklardaki von-mises gerilme dağılımı



Şekil 4.15. Al 5754 H22 ayak malzemesi için sırt iskeletindeki von-mises gerilme dağılımı

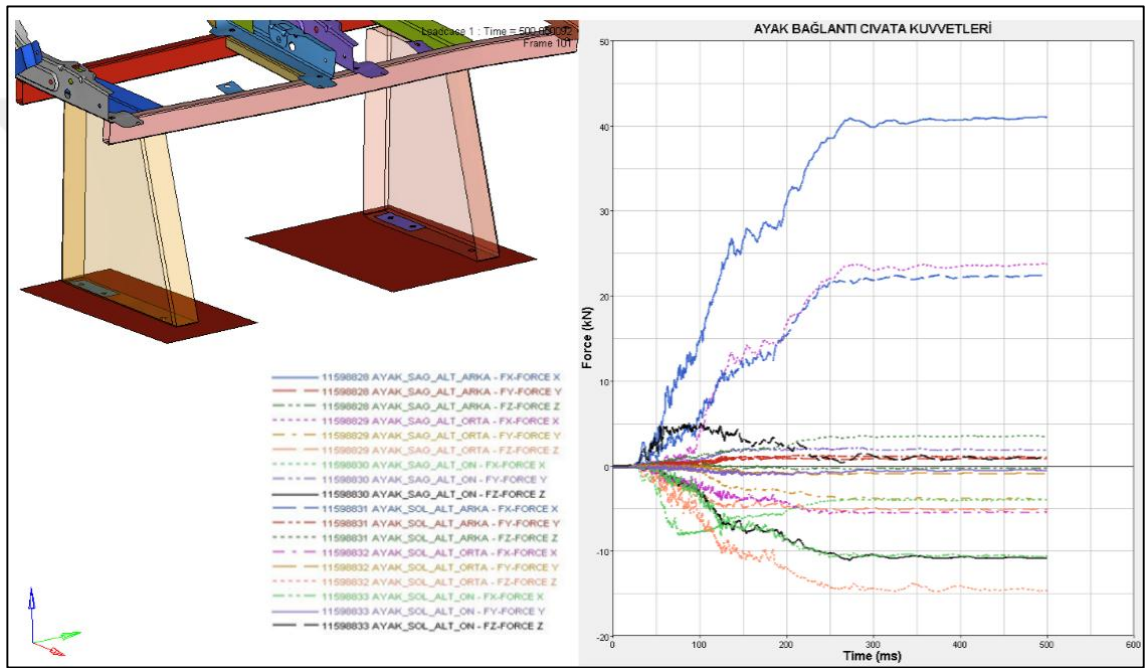


Şekil 4.16. Al 5754 H22 ayak malzemesi için yan travers saclarındaki von-mises gerilme dağılımı



Şekil 4.17. Al 5754 H22 ayak malzemesi için oturak karkasındaki von-mises gerilme dağılımı

Alüminyum ayağa ve koltuk bütününe baktığımızda oluşan gerilmeler kabul edilebilir düzeydedir. Koltuğun tabana bağlantısı olan civataların modellenmesi için bir boyutlu(spring) eleman kullanılmıştır. Modellenen tek boyutlu elemana x, y ve z yönlerinde gelen kuvvetler tespit edilmiştir (Şekil 4.18). Şekil 4.19’da civatalar için gerilme hesabı yapılmıştır. Gerilme değerleri incelendiğinde, kullanılan civataların emniyet kemer çekme analizinde emniyetli bölgede kaldığı görülmüştür. Maksimum kuvvet sol ayak arka civatada meydana gelmiştir. Ayak malzemesi olarak Al 5754 H22 kalınlık 5 mm olacak şekilde fiziksel testle karşılaştırılması yapılmıştır.



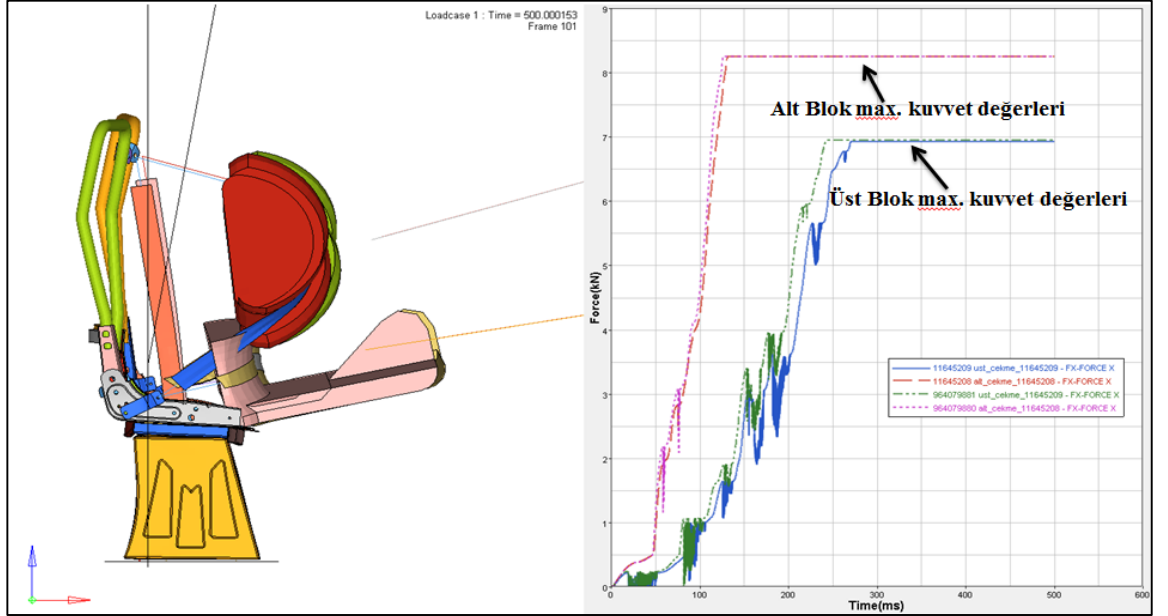
Şekil 4.18. Al 5754 H22 ayak malzemesi için ayak bağlantı civatalarına gelen kuvvetler

SCREW ID	Size [Metric]	Screw norm 1	Screw norm 2	Ftension [daN]	Fshear1 [daN]	Fshear2 [daN]	GVonMises [daN/mm ²]	Max allowable stress, U _{T5} [daN/mm ²]	Status
Sol Ayak Alt Ön Civata	10	10	9	824,00	208,00	1095,00	31,72	104,00	OK
Sol Ayak Alt Orta Civata	10	10	9	2370,00	397,00	544,00	41,29	104,00	OK
Sol Ayak Alt Arka Civata	10	10	9	4116,00	94,00	56,00	74,10	104,00	OK
Sağ Ayak Alt Ön Civata	10	10	9	1081,00	101,00	500,00	20,60	104,00	OK
Sağ Ayak Alt Orta Civata	10	10	9	573,00	106,00	1481,00	42,09	104,00	OK
Sağ Ayak Alt Arka Civata	10	10	9	2238,00	121,00	349,00	38,66	104,00	OK

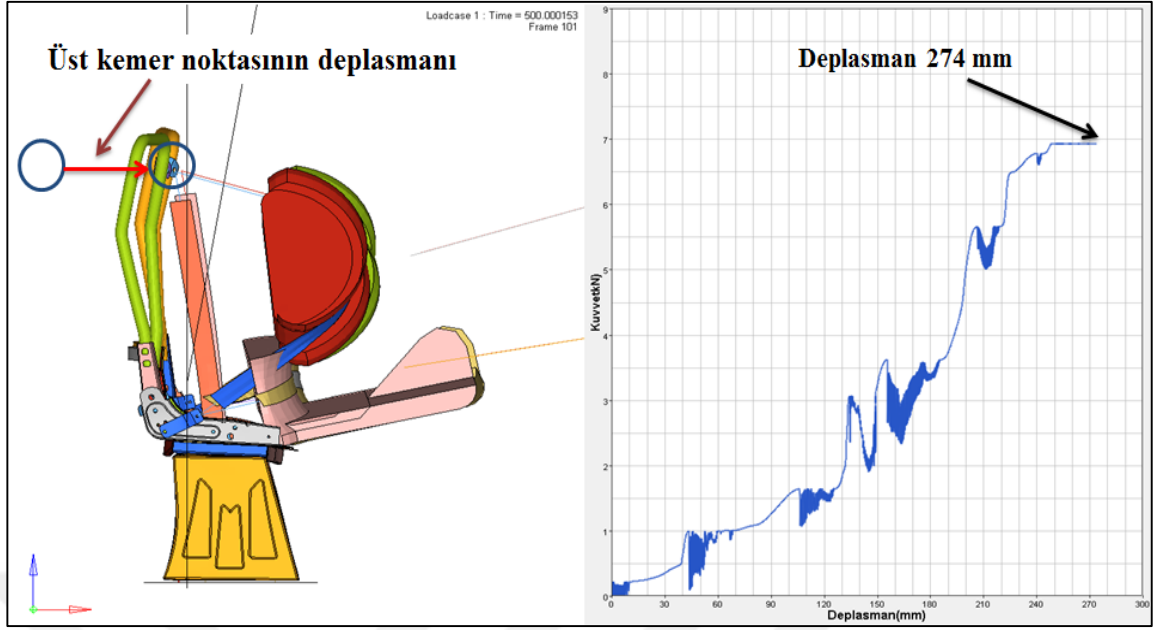
Şekil 4.19. Al 5754 H22 ayak malzemesi için bağlantı civatalarına gelen kuvvetlerin dayanım hesabı

4.2.2 DP 600 Ayak Malzemesinin Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

Mevcut ayak malzemesi 2 mm DP600 için sonuçları incelersek; Bir boyutlu eleman ile modellenen çekme yükleri regülasyonla belirtilen değerlere ulaşma grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir. Alt ve üst çekme blokları 280.ms sonunda istenilen maksimum yüke gelmiştir. Alt çekme bloğu 140.ms’de maksimum yük değerine, üst çekme bloğu 270.ms’de maksimum yük değerine ulaşmıştır. Üst çekme bloğu grafiğindeki salınımlar, sırt borusunda meydana gelen şekil değişiminden dolayıdır. Emniyet kemer üst noktasının uygulanan kuvvete bağlı deplasmanı 274 mm olarak Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Koltuğun testten geçebilme kriterlerinden biri, emniyet kemer üst noktasının maksimum yapabileceği deplasman 432 mm olarak tespit edilmiştir.

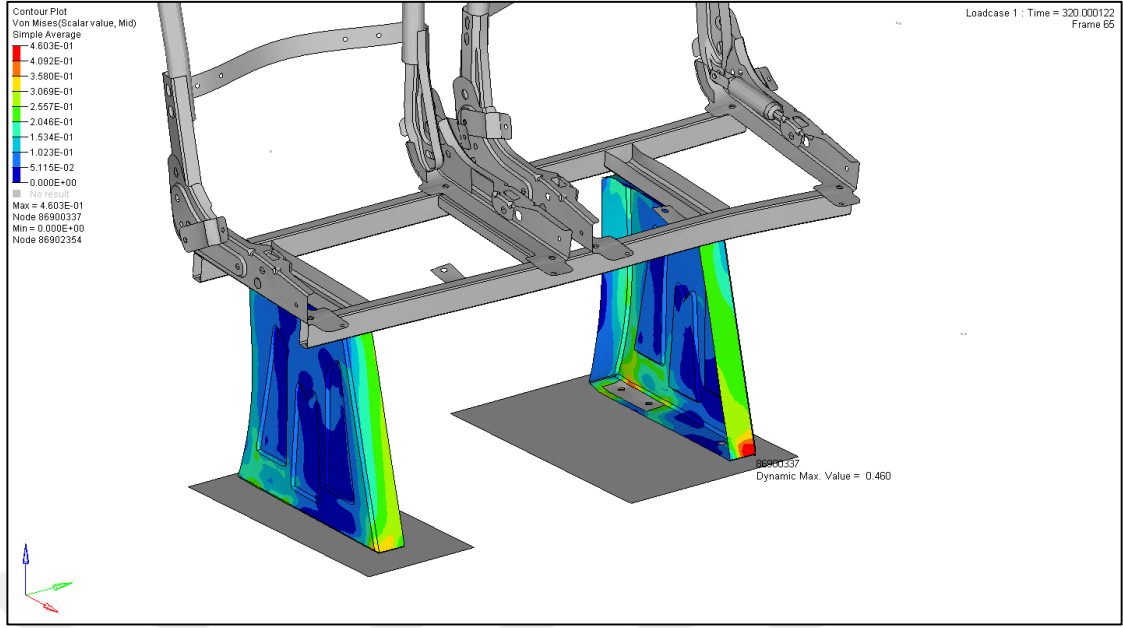


Şekil 4.20. DP600 ayak malzemesi için alt ve üst çekme blokları için uygulanan kuvvet grafiği

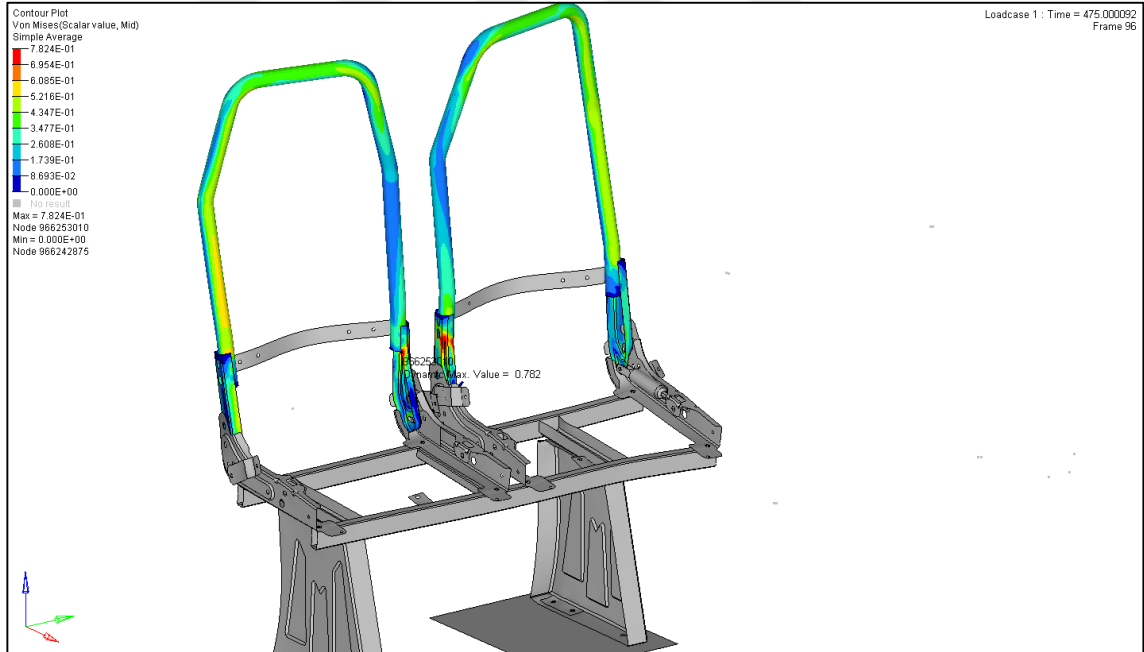


Şekil 4.21. DP600 ayak malzemesi için üst emniyet kemer noktasının deplasmanı

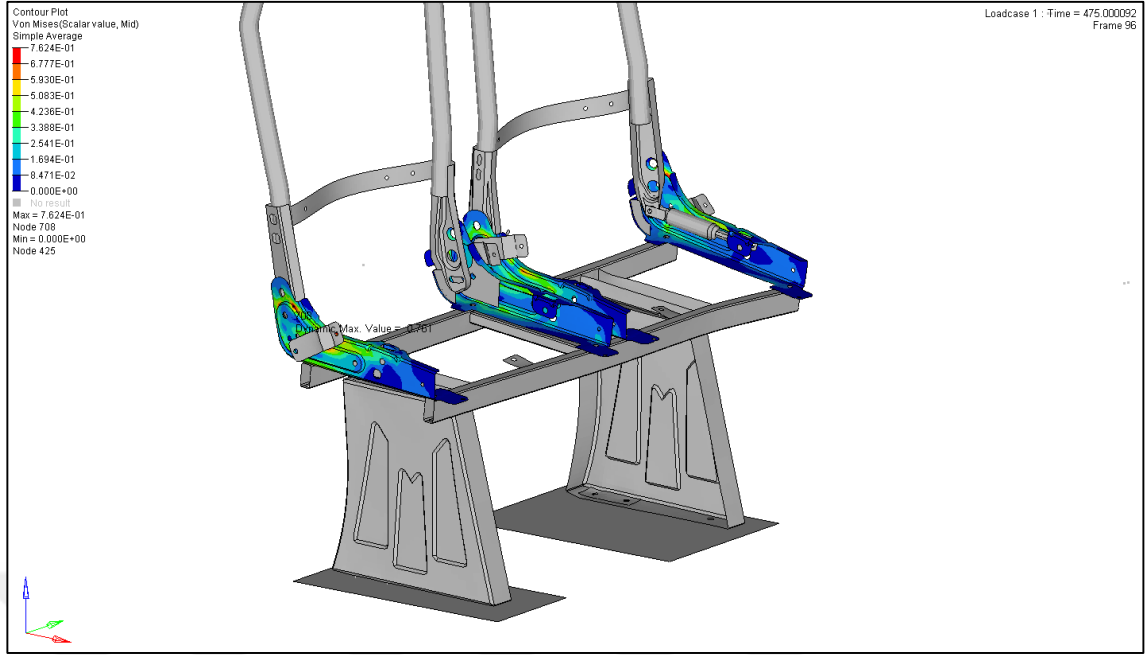
Koltuk parçalarında gerilme dağılımına baktığımızda; Ayaklarda çekme esnasında sol ayak uç noktasında 460 MPa olarak gerilme meydana gelmiştir (Şekil 4.22). Sırt iskeletinde ise maksimum gerilme 782 MPa ile sağ sırt brakette gözlenmiştir (Şekil 4.23). Yan travers saclarında ise maksimum gerilme sağ koltuk sağ yan travers de 761 MPa olarak oluşmuştur (Şekil 4.24). Oturak karkasında maksimum gerilme 616 MPa ile sol ayak üstündeki U braket'te gözlenmiştir (Şekil 4.25).



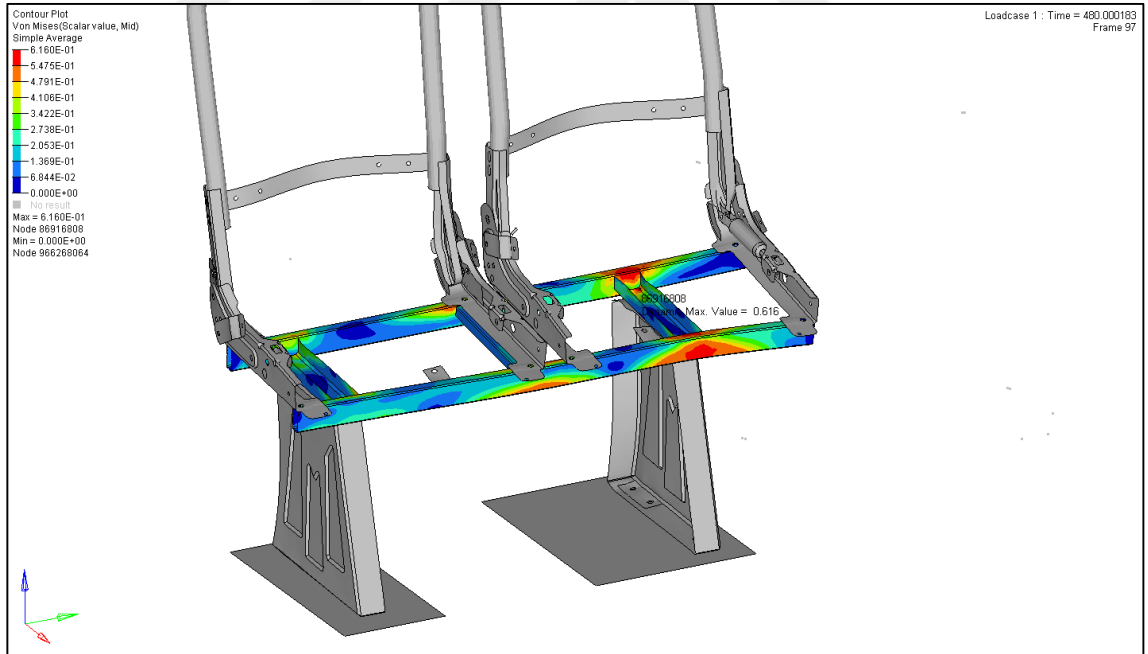
Şekil 4.22. DP600 ayak malzemesi için ayaklardaki von-mises gerilme dağılımı



Şekil 4.23. DP600 ayak malzemesi için sırt iskeletindeki von-mises gerilme dağılımı

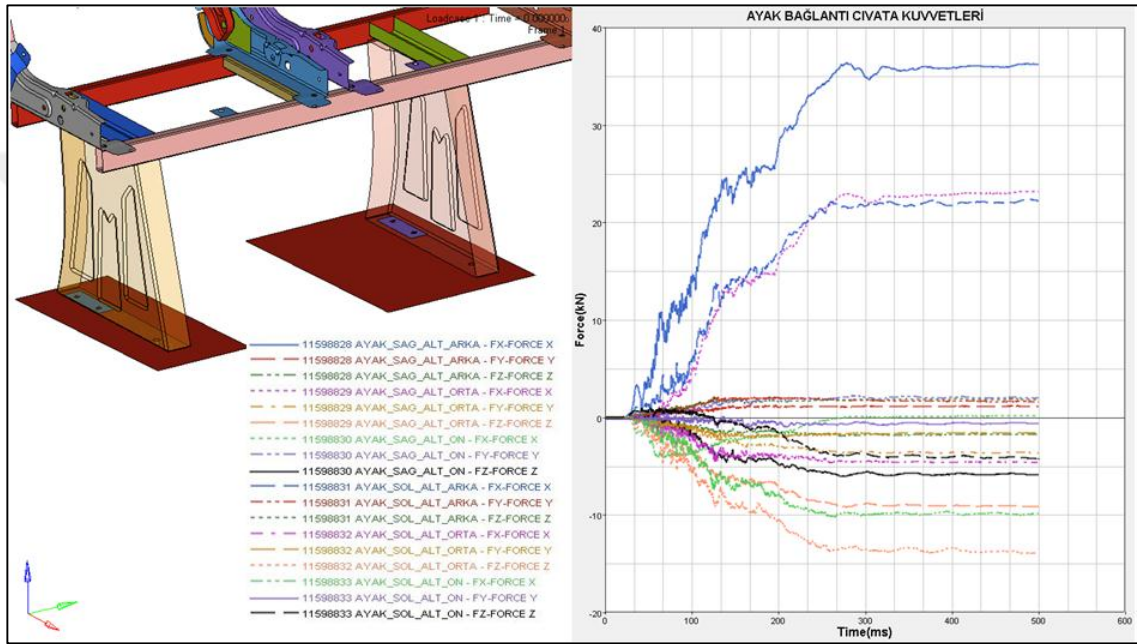


Şekil 4.24. DP600 ayak malzemesi için yan travers saclarındaki von-mises gerilme dağılımı



Şekil 4.25. DP600 ayak malzemesi için oturak karkasındaki von-mises gerilme dağılımı

DP600 çelik ayağa ve koltuk geneline baktığımızda oluşan gerilmeler kabul edilebilir durumdadır. Koltukların tabana bağlı olduğu civatalar bir boyutlu eleman ile modellenmiştir. Modellenen tek boyutlu elemana x, y ve z yönlerinde gelen kuvvetler tespit edilmiştir (Şekil 4.26). Şekil 4.27’de civatalar için gerilme hesabı yapılmıştır. Gerilme değerleri incelendiğinde, kullanılan civataların emniyet kemer çekme analizinde emniyetli bölgede kaldığı görülmüştür. Maksimum kuvvet sol ayak arka civatada meydana gelmiştir.



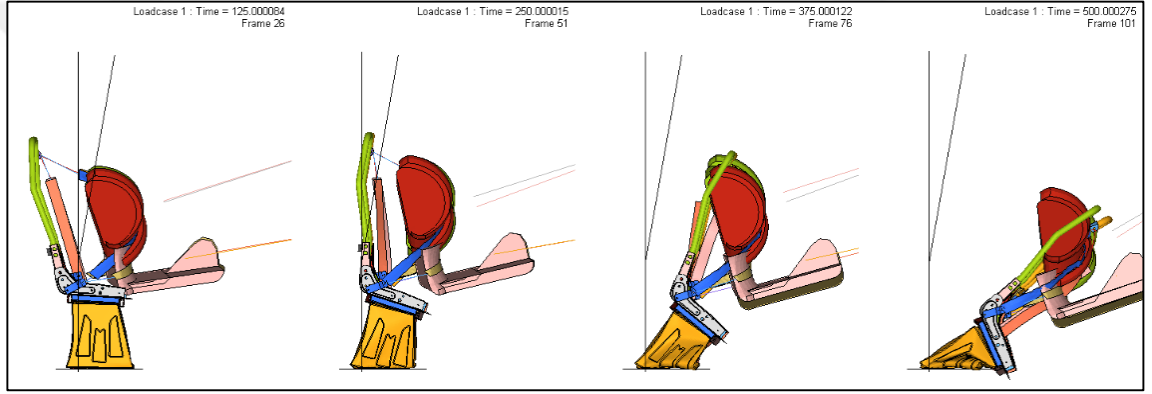
Şekil 4.26. DP600 ayak malzemesi için ayak bağlantı civatalarına gelen kuvvetler

SCREW ID	Size [Metric]	Screw norm 1	Screw norm 2	Ftension [daN]	Fshear1 [daN]	Fshear2 [daN]	GVonMises [daN/mm ²]	Max allowable stress, U _{ts} [daN/mm ²]	Status
Sol Ayak Alt Ön Civata	10	10	9	418,00	220,00	594,00	17,93	104,00	OK
Sol Ayak Alt Orta Civata	10	10	9	2314,00	371,00	925,00	42,96	104,00	OK
Sol Ayak Alt Arka Civata	10	10	9	3648,00	118,00	193,00	64,67	104,00	OK
Sağ Ayak Alt Ön Civata	10	10	9	1026,00	96,00	428,00	19,01	104,00	OK
Sağ Ayak Alt Orta Civata	10	10	9	473,00	219,00	1401,00	40,35	104,00	OK
Sağ Ayak Alt Arka Civata	10	10	9	2230,00	212,00	186,00	38,76	104,00	OK

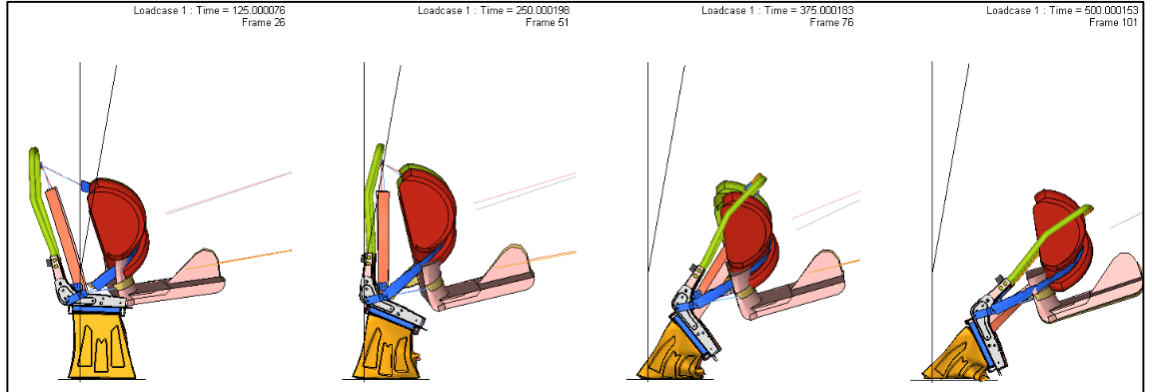
Şekil 4.27. DP600 ayak malzemesi için bağlantı civatalarına gelen kuvvetlerin dayanım hesabı

4.2.3 Ti Grade2 ve Grade5 Ayak Malzemesinin Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

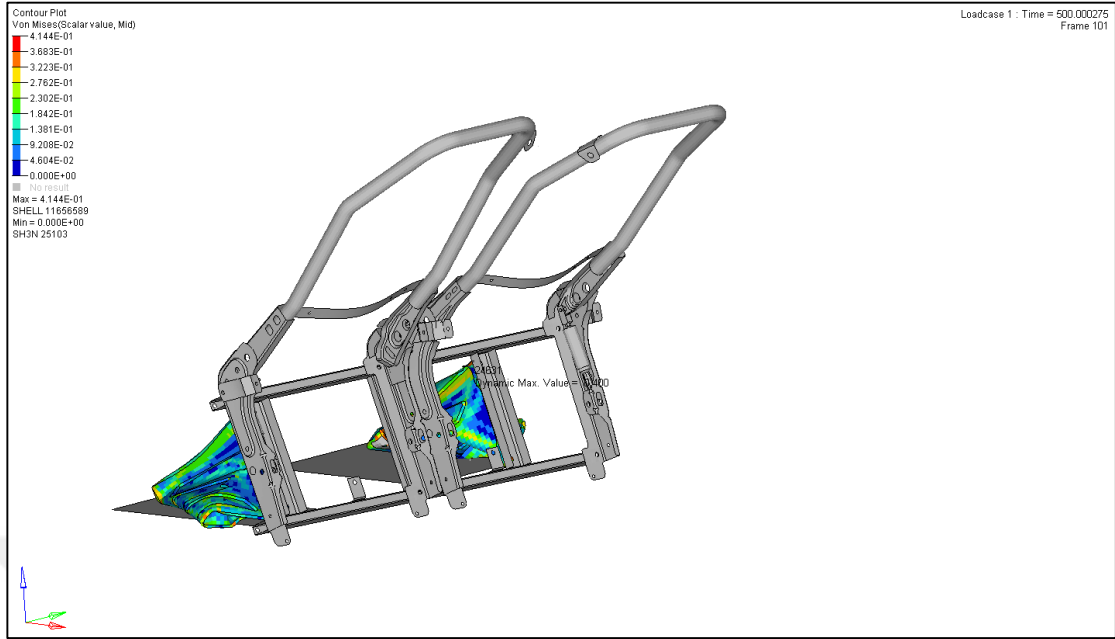
Sonlu elemanlar ECE R-14 analizinde ayak malzemesi olarak; Şekil 4.28’de Titanyum Grade 2 için, Şekil 4.29’da Titanyum Grade 5 için koltuğun zamana bağlı şekil değişimi gösterilmiştir. Her iki malzeme için ayak kalınlığı 1 mm belirlenmiştir. Şekil 4.30’da Titanyum Grade 2 için, Şekil 4.31’de Titanyum Grade 5 için koltuk ayaklarında yüksek gerilme meydana gelip, regülasyon kuvvetlerine dayanamayıp kırıldığı tespit edilmiştir. Her iki malzeme için istenilen regülasyon şartlarını sağlamadığı gözlenmiştir. Bu sebeple koltuğun ayaklarının Titanyum Grade 2 ve Grade 5 malzemeleri için fiziksel testle doğrulanması yapılmamıştır.



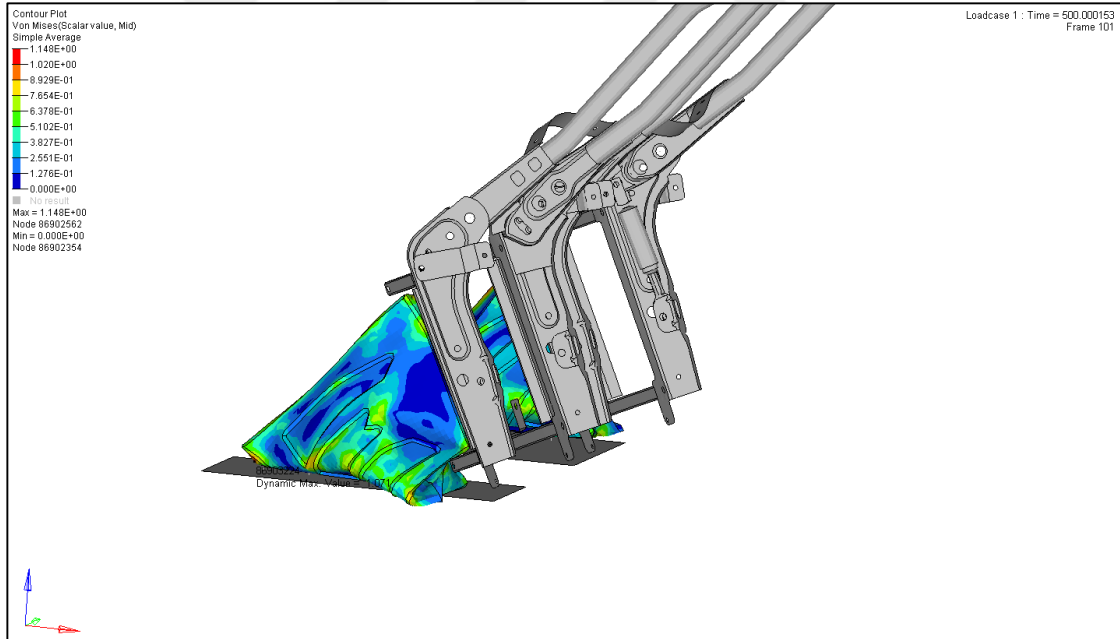
Şekil 4.28. Titanyum Grade 2 malzemesi için koltuğun ECE R-14 analizinde zamana göre şekil değişimi



Şekil 4.29. Titanyum Grade 5 malzemesi için koltuğun ECE R-14 analizinde zamana göre şekil değişimi



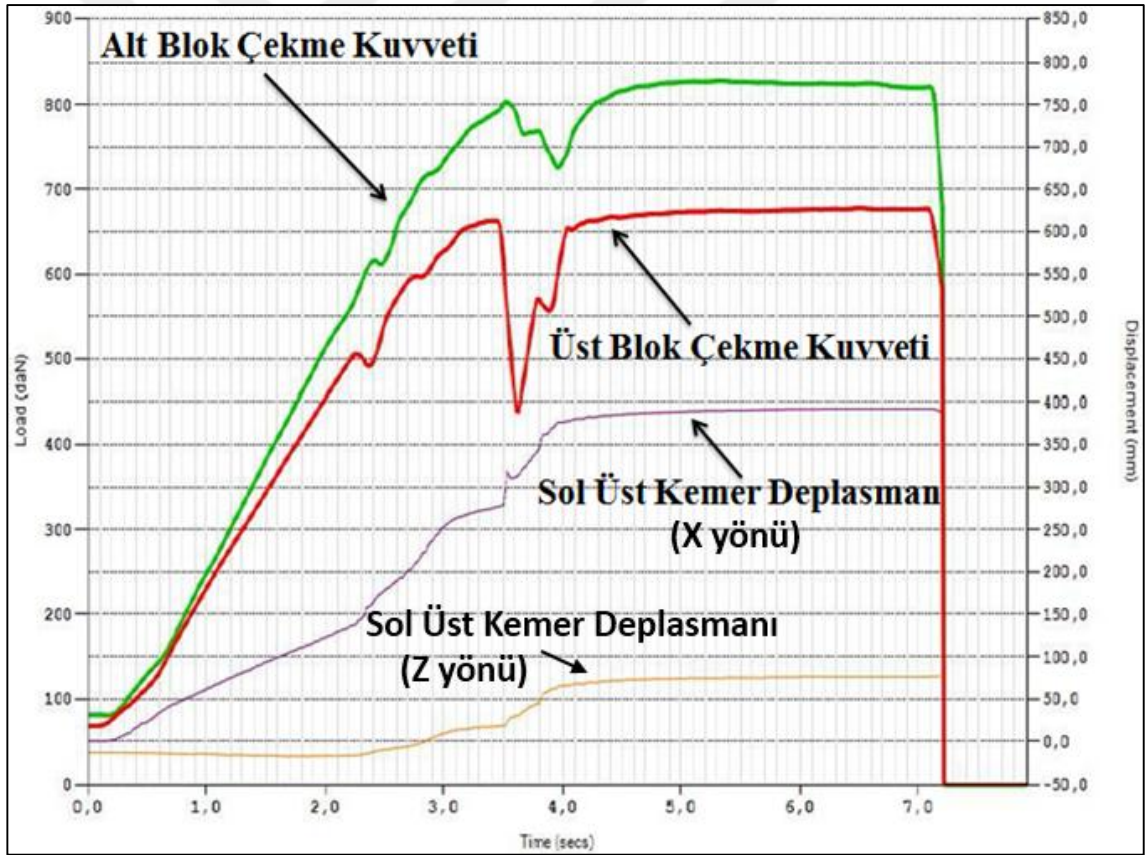
Şekil 4.30. Titanium Grade 2 için ayaklardaki kırılma



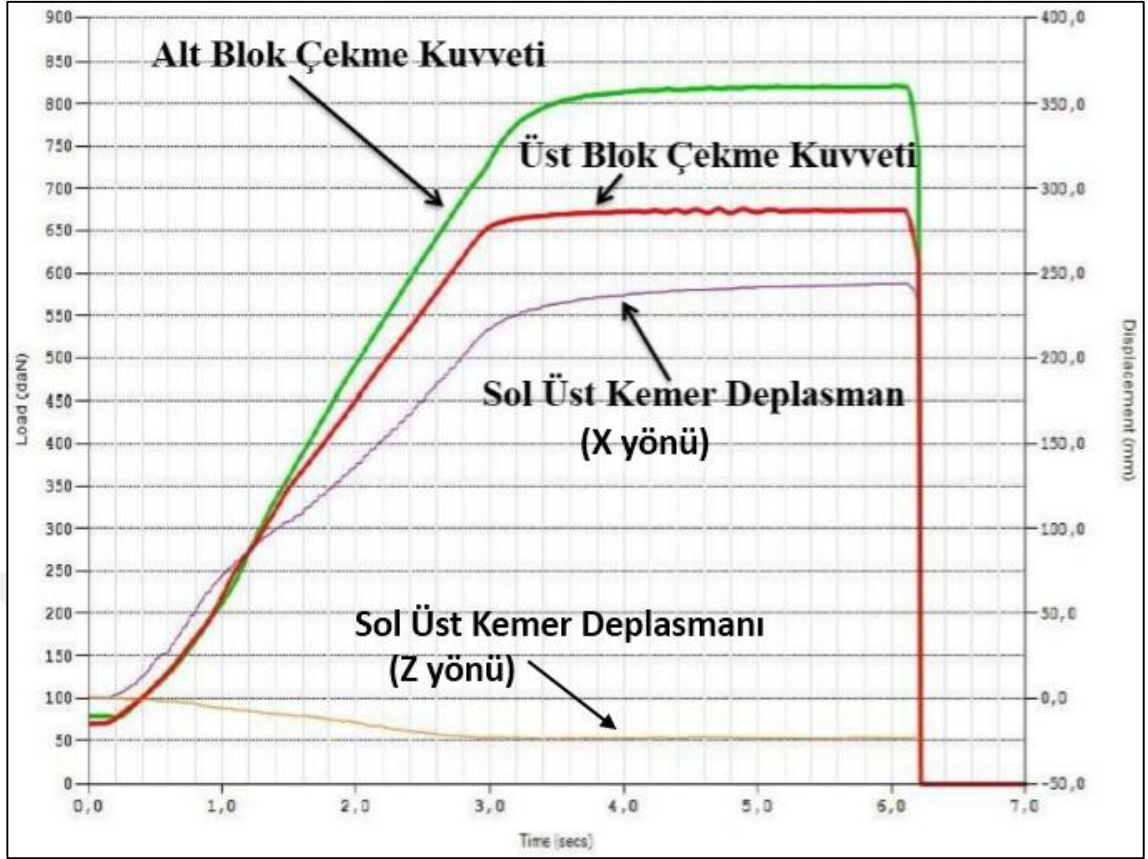
Şekil 4.31. Titanium Grade 5 için ayaklardaki kırılma

4.3 Fiziksel Koltuk Testleri

Al 5754 H22 ayak malzemesi ile ECE R-14 sonlu elemanlar analizinden geçen koltuk, Martur test merkezinde fiziksel teste tabi tutulmuştur. Koltuğa sonlu elemanlar analizindeki gibi alt çekme bloğuna 8176 N, üst çekme bloğuna 6950 N kuvvet uygulanmıştır. Sinyal kodlayıcı ile üst emniyet kemer noktasının deplasmanı istenilen şartlar dahilinde kalmıştır. Koltuk iskeleti en az 0,2 ms yüke dayanması gerekmektedir. Koltuk, fiziksel test sonuç raporunda 3,3.ms ve 3,6.ms arası istenilen maksimum yüke dayanmış ve üst emniyet kemer noktasının deplasmanı 274 mm olarak ölçülmüştür. Daha sonra yükün dengeye gelmesiyle 387 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 4.32). Mevcut ayak malzemesi 2 mm DP600 olarak yapılan fiziksel teste ait emniyet kemer çekme kuvvetleri ve sol üst kemer deplasman grafiği Şekil 4.33'de gösterilmiştir.

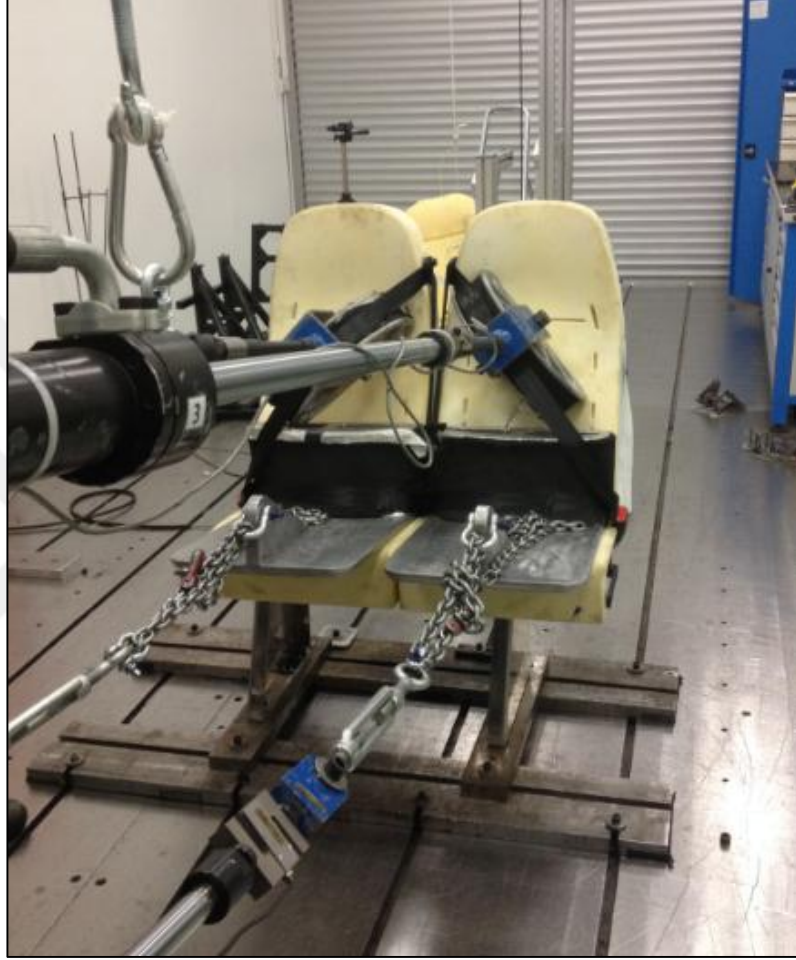


Şekil 4.32. Al 5754 H22 ayak malzemesi için fiziksel test ECE R-14 emniyet kemer çekme kuvvetleri



Şekil 4.33. DP600 ayak malzemesi için fiziksel test ECE R-14 emniyet kemeri çekme kuvvetleri

Test sonucunda koltuk bütününde (Şekil 4.34), Şekil 4.35’de ve Şekil 4.36’da gösterilen sol ve sağ ayakta yırtılma, kopma görülmemiştir. Test başarı ile sonuçlanmıştır. Böylelikle sonlu elemanlar analizinde ki öngörüyle gerçek test arasında doğrulama sağlanmıştır.



Şekil 4.34. Al 5754 ayak malzemesi ile ECE R-14 emniyet kemer çekme fiziksel test sonrası görünümü



Şekil 4.35. Al 5754 H22 ayak malzemesi ECE R-14 emniyet kemer çekme fiziksel test sonrası sol ayak görünümü



Şekil 4.36. Al 5754 H22 ECE R-14 emniyet kemer çekme fiziksel test sonrası sağ ayak görünümü

4.4 Hafiflik ve Maliyet Analizi

ECE R-14 emniyet kemer çekme sonlu elemanlar analizinden geçen ve fiziksel test ile doğrulaması yapılan Al 5754 H22 ayak malzemesi için hafifletme ve maliyet konusunda yüzde kazanımları araştırılmıştır. 2 mm kalınlık DP600 malzemesi kullanıldığında bir adet ayağın ağırlığı 1,980 gr, 5 mm kalınlık Al 5754 H22 malzemesi kullanıldığında ise 1,640 gr gelmektedir. Bir ayakta % 17,17 ağırlık hafifletme elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Bir ticari araçta 18 adet bağlantı elemanı ayak vardır. Yıllık 1500 adet ticari araç üretilmektedir. Her iki malzeme ile üretilen ayakların maliyet analizi araştırıldığında 5 mm Al 5754 H22 malzemenin, 2 mm DP600 malzemesine göre %65,72 daha pahalı olduğu görülmüştür. 5 mm Al 5754 H22 malzemenin birim fiyat olarak pahalı olmasına rağmen hafiflik gibi avantajı söz konusudur. Ayak malzemesi üretimi ile ilgili firmanın, diğer giderleri düşünüldüğünde ve hafiflik mi?, maliyet mi? seçeneklerin'den hangisinin daha önemli olduğunun kararı verilip bu doğrultuda bir yol izlenir.

Çizelge 4.1. DP600 ve Al 5754 H22 malzemeler için ağırlık karşılaştırması

Özellik	DP 600	Al 5754 H22	% Kazanım
İkili koltuk ayak ağırlığı (gr)	1,980*2=3,960	1,640*2=3,280	17,17
Bir araç üzerindeki ağırlık (gr)	18*3,960=71,280	18*3,280=59,040	17,17

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında M2 sınıfı araç koltuğuna ait bağlantı elemanı olan ayaklar için 2 mm DP600, Al 5754 H22, 1 mm Titanyum Grade 2 ve Grade 5 malzemeleri ile sonlu elemanlarda ECE R-14 emniyet kemer çekme analizi yapılmıştır.

Mevcut koltuğa ait ayaklar 2 mm DP600 malzemesinden üretilmektedir. Buna karşılık alternatif hafif malzeme olarak Al 5754 H22, Titanyum Grade 2 ve Grade 5 malzemeleri ile sonlu elemanlarda denenmesi yapılmıştır. Alternatif ayak malzemelerinden 5 mm Al 5754 H22'nin ECE R-14 regülasyon kuvvetleri altında dayanım gösterdiği gözlenmiştir. ECE R-14 regülasyonlarına göre, bağlantı elemanı olan cıvatalar için gerilme kontrol hesabı gerçekleştirilmiştir. Cıvatalar ve koltuk bütünü için herhangi bir kopma, kırılma gözlenmemiştir. Bu doğrultuda 5 mm Al 5754 H22 malzemesi ile iki adet ayak prototipi üretilmiştir ve ECE R-14 emniyet kemer çekme fiziksel testi ile doğrulanması sağlanmıştır.

Mevcut koltuk tek ayağı 2 mm DP600 ile 1980 gr gelmektedir. 5 mm Al 5754 H22 ile 1640 gr olmuştur. Koltuk ayaklarında ağırlık olarak %17,17 hafifletme sağlanmıştır. 5 mm Al 5754 H22 malzeme ile koltuk ayaklarının 2 mm DP600 malzemeye göre %65,72 daha pahalı olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Sonlu elemanlar analizinde elde edilen sonuçlar

	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 travers sacındaki max. gerilme	763 MPa	761 MPa	-	-
Oturak karkasındaki max. gerilme	604 MPa	616 MPa	-	-

Çizelge 4.3. Fiziksel test sonrası elde edilen sonuçlar

	Ayak malzemesi	
	5 mm Al 5754 H22	2 mm DP600
Sol üst kemer max. deplasmanı (x yönü)	390 mm	246 mm
Sol üst kemer max. deplasmanı (z yönü)	77 mm	25 mm



KAYNAKLAR

Anonim, 2012. Hyperworks 12.0 Software, Hyperworks Online Help

Anonim, 2016a. Titanyum. <http://www.akyaymetal.com.tr/index.php/titanyum-alasimlari->(Erişim tarihi: 25.12.2016).

Anonim, 2016b. Çift Fazlı Çelikler. <http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userAnnouncementsFiles/dosya92bf548a697cb84ec0fd5cafd82e743.pdf->(Erişim tarihi: 25.12.2016).

Anonim, 2016c. Çift Fazlı(DP) Çelikler. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf-(Erişim tarihi: 25.12.2016).

Anonim, 2016d. Sonlu Elemanlar Analizi Nedir?. [http://www.bilgiustam.com/sonlu-elemanlar-analizi-nedir/-](http://www.bilgiustam.com/sonlu-elemanlar-analizi-nedir/)(Erişim tarihi: 25.12.2016).

Arslan, A., Kaptanoğlu, M., 2010. Bir Ticari Araç İçin ECE R14 Regülasyonuna Uygun Koltuk Bağlantılarının Geliştirilmesi. OTEKON 2010 – 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, BURSA

Çayıroğlu, İ., 2016. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Analiz. Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü <http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/BilgisayarDestekliTasarim/BilgisayarDestekliTasarimVeAnaliz-1-hafta.pdf->(Erişim tarihi : 25.12.2016)

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 2012. 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

Eker Akdogan, A., 1998: Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları, Malzeme 2 Ders Notları.

Konieczny, A., 2003. Advanced High Strength Steels – Formability, Great Designs in Steel, American Iron and Steel Institute

Li, D., Ghosh, A., 2003. Tensile Deformation Behaviour of Aluminium Alloys at Warm Engineering A. Forming Temperatures, Elsevier, Journal of Material Science, 352, 279-286.

Lutsey, N. 2010. Review of technical literature and trends related to automobile massreduction technology. Institute of Transportation Studies UCD-ITS-RR-10-10, University of California

Lynette Cheah, John Heywood, 2011. Meeting U.S. passenger vehicle fuel economy standards in 2016 and beyond, *Energy Policy* 39 (2011) 454–466.

Öztürk, F., Toros, S., Pekel, H., 2009. Evaluation of tensile behaviour of 5754 aluminium-magnesium alloy at cold and warm temperatures. https://www.researchgate.net/publication/282567384_Evaluation_of_tensile_behaviour_of_5754_aluminium-magnesium_alloy_at_cold_and_warm_temperatures-(Erişim tarihi: 25.12.2016).

Özdemir, U., 2010. Hafif Metallerin Otomotiv Sektöründeki Yeri ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTANBUL

Öztürk, F., Şendeniz, G., Ayyıldız, G., Dolaylar, E., 2012. Araç Koltuk Bağlantılarının Benzetim Destekli Optimum Tasarımı. OTEKON 2012 – 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, BURSA

Öztürk, F., Şendeniz, G., 2014. Yolcu Koltuklarında Topoloji Tasarım Yaklaşımları İle Optimizasyon. OTEKON 2014 – 7 Otomotiv Teknolojileri Kongresi, BURSA

Rachel L. Milford, 2011. The global emissions case for light weighting and process yield improvements transport.

Thiyagarajan, P.B., 2008. Non-Linear Finite Element Analysis and Optimization for Light Weight Design of an Automotive Seat Backrest. *Msc Thesis*, Clemson University, Mechanical Engineering, Clemson, United States

Ulrich Andree, 2011. Johnson Controls combines aluminum and steel to produce innovative weight-saving multi-material seat structure

Yüce, C., Karpaz, F., Yavuz, N., Şendeniz, G., 2014. A Case Study : Designing for Sustainability and Reliability in an Automotive Seat Structure. *Sustainability* 2014, 6, 4608-4631

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ferruh DÜVENCİ

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 1987

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Cem Sultan Lisesi 2004

Lisans : Uludağ Üniversitesi, Makine Müh. 2011

Yüksek Lisans : Uludağ Üni. Fen Bilimleri Ens, Oto. Müh. ABD

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Martur A.Ş., 2015-Halen

Ulusal Kalıp Üreticileri Birliği, 2013-2014

İletişim : ferruh18@hotmail.com