

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAŞITLARDA KULLANILAN KOLTUKLARIN DİNAMİK
ÇARPIŞMA SİMÜLASYONUyla TASARIMI VE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür ÖZLÜ

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet ÇALIŞKAN

Haziran 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAŞITLARDA KULLANILAN KOLTUKLARIN DİNAMİK
ÇARPIŞMA SİMÜLASYONU İLE TASARIMI VE
OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür ÖZLÜ

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez ¹⁴ / ⁰⁷ / 2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet Çakır
.....
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Osman Elçi
.....
Üye

Doç. Dr. Gökçe Gökçelik
.....
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Özgür ÖZLÜ

06.06.2016

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bir mentor olarak yol gösteren, fikir üreten değerli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Mehmet ÇALIŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda kullanmam adına bana imkanlarını sonuna adan sunan Martur A.Ş. AR-GE Direktörü Sn. Dr. Recep KURT'a, AR-GE Müdürü Sn. Murat DAL'a ve her türlü tecrübelerini sabırla aktaran başta Serdar SARISAÇ olmak üzere tüm MARTUR AR-GE ekibine teşekkür ederim.

Ayrıca Yüksek Lisans eğitimim sürecinde göstermiş olduğu destek ve sabırdan dolayı eşim Dilek ÖZLÜ'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİ.....	3
2.1. Literatürde Yapılmış Çalışmalar	3
2.2. Otomotiv Endüstrisine Genel Bakış.....	4
2.3. Teknolojik Gelişim İhtiyacı Ve Yeni Çözüm yöntemleri	5
2.3.1. Tüketici talebi etkisi.....	5
2.3.2. Küresel rekabet etkisi.....	6
2.3.3. Devlet mevzuatları etkisi	6
2.4. Ürün Tasarımı Ve Geliştirme.....	6
2.4.1. Ürün tasarımı ve geliştirme ile ilgili birimler	12
2.4.2. Otomotiv sektöründe ürün geliştirme süreci.....	13
2.4.2.1. Ürün planlaması	13
2.4.2.2. Ürün tasarımı ve tasarlanan ürünün geliştirilmesi	13

2.4.2.3. Üretim süreci tasarımı ve tasarlanan sürecin geliştirilmesi.....	14
2.4.2.4. Deneme üretimi ve süreç değerlendirmesi.....	14
 BÖLÜM 3.	
KOLTUK.....	15
3.1. Koltuk Nedir?.....	15
3.2. Verimli Bir Koltuk Tasarımının Sahip Olması Gerekli Temel Nitelikler.....	15
3.3. Bir Koltuk Tasarımına Ait Genel Müşteri Beklentileri.....	16
3.4. Bir Koltuğun Dinamik Çarpışma Dışında Tabi Tutulduğu Testler	17
 BÖLÜM 4.	
SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ.....	18
4.1. Mod Süperpozisyon Metodu.....	23
4.2. Direkt İntegrasyon Metodu	24
4.3. Mod Süperpozisyonu Ve Direkt İntegrasyon Metodlarının Karşılaştırılması	25
4.4. Kapalı(Implicit) ve Açık(Explicit) Zaman İntegrasyonu Yöntemlerinin Karşılaştırılması	26
4.5. Açık Sonlu Elemanlar Metodu.....	27
 BÖLÜM 5.	
KOLTUĞUN CAD MODELİ.....	28
 BÖLÜM 6.	
KOLTUĞUN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ.....	30
6.1. Modele Ait Test Girdileri: Analiz Sınır Koşulları	39
6.2. Modele Ait Simülasyon Test Çıktıları: Analiz Sonuçları	39

BÖLÜM 7.

DEĞERLENDİRMELER	67
KAYNAKLAR.....	69
EK-1.....	72
EK-2.....	74
REVİZYONLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

a	: Akma vektörü
ATD	: Anthropomorphic test dummy
CAD	: Computer aided design
$[D]$	: Elastik sabitler matrisi
E	: Elastisite modülü
FEA	: Finite Element Analysis
FEM	: Finite element method
$\{F\}$	: Tüm iç ve dış kuvvetlerin vektörel toplamı
g	: Akma gerilmesi fonksiyonu
H'	: Sertleşme fonksiyonu
IP	: Enstrüman Paneli
K	: Sertleşme parametresi
l	: Kritik uzunluk
M	: Sistemdeki toplam eleman sayısı
$[M]$	: Kütle matrisi
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
t	: Zaman
Δt	: Zaman Adımları

t_n : Zaman noktası

$u(t)$: Mod Süperpozisyonu

UNECE : United Nations Economic Comissions for Europe

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Mühendislik Tasarımının Merkezi Faaliyeti [18 ve 19]	9
Şekil 2.2. Bir Ürünün Yaşam Döngüsü [20]	10
Şekil 2.3. Seri üretilen bir ürünün adım adım geliştirilmesi [21].....	11
Şekil 4.1. Zaman Adımı Hesaplama Yaklaşımı [27]	21
Şekil 4.2. Hareket Denkleminin Çözüm Yöntemleri [28].....	23
Şekil 5.1. Koltuk metal bileşenlerinden birkaçı	29
Şekil 6.1. FEA Modeli Hazırlanırken İzlenen Yol.....	31
Şekil 6.2. Koltuğa Ait Sonlu Elemanlar Modelinin Farklı Açılardan Gösterimi...	32
Şekil 6.3. DP 600 malzemesine ait gerilme(kPa)-gerinme eğrileri.....	33
Şekil 6.4. Koltuğun Sonlu Elemanlar Modeli	33
Şekil 6.5. ECE R14 Emniyet Kemer Test Sonrası [32]	35
Şekil 6.6. ODTÜ-Biltir Test Center	36
Şekil 6.7. Fiziksel çarpışma testlerinde kullanılan bileşenlerden bazıları	37
Şekil 6.8. Tracker' lar ve test standı.....	38
Şekil 6.9 Test hız-zaman grafiği	39
Şekil 6.10. Convergence(yakınsama) Grafiği	40
Şekil 6.11. Koltuk ve dummy'nin farklı zamanlardaki durumu	41
Şekil 6.12. Bir noktanın araç üzerindeki relatif hızı	41
Şekil 6.13. R5 Simülasyon Sonuçlarına Plastik Gerilme	42
Şekil 6.14. R9 Simulasyon Sonuçlarına Göre Plastik Gerilme	43
Şekil 6.15 R9 Simülasyonu Öncesi Yapılmış Tasarım Değişikliği	44
Şekil 6.16. R11 Simulasyon Sonuçlarına Göre Sonuçlar	44
Şekil 6.17. R12 Simulasyon Sonuçlarına Göre Sonuçlar	45
Şekil 6.18. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk ve dummy üzerinde plastik zorlanma-sol yan görünüş	47
Şekil 6.19. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk ve dummy üzerinde plastik zorlanma-üstten görünüş	48

Şekil 6.20. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma-sol yan görünüş	49
Şekil 6.21. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma-sağ yan görünüş	50
Şekil 6.22. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma- önden görünüş	51
Şekil 6.23. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma- arkadan görünüş	52
Şekil 6.24. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma- önden perspektif görünüş	53
Şekil 6.25. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma- arkadan perspektif görünüş	54
Şekil 6.26. R12' ye göre koltuğa ait çeşitli açılarda plastik zorlanma sonuçları	55
Şekil 6.27. Yerdeğiştirme.....	56
Şekil 6.28. Spring 2 Emniyet kemer bağlantı noktası.....	57
Şekil 6.29. Spring 2 Emniyet kemer yük dağılımı	57
Şekil 6.30. Spring 3 Emniyet kemer bağlantı noktası.....	58
Şekil 6.31. Spring 2 Emniyet kemer yük dağılımı	58
Şekil 6.32. Spring 71 Emniyet kemer bağlantı noktası.....	59
Şekil 6.33. Spring 71 Emniyet kemer yük dağılımı	59
Şekil 6.34. Çarpışma anında emniyet kemerine gelen yük etkisiyle sırtlık bölgesindeki değişim.....	61
Şekil 6.35. Sağ ön zemin bağlantı noktası (Spring 58337).....	62
Şekil 6.36. Sağ ön zemin bağlantı yayı	62
Şekil 6.37. Sol ön zemin bağlantı noktası (Spring 58336).....	63
Şekil 6.38. Sol ön zemin bağlantı yayı.....	63
Şekil 6.39. Sol arka zemin bağlantı noktası (öndeki-Spring 58338).....	64
Şekil 6.40. Sol arka zemin bağlantı yayı (öndeki)	64
Şekil 6.41. Sol arka zemin bağlantı noktası (arkadaki-Spring 58340).....	65
Şekil 6.42. Sol arka zemin bağlantı yayı(arka)	65
Şekil 6.43. Sağ arka zemin bağlantı noktası (Spring 58339)	66
Şekil 6.44 Sağ arka zemin bağlantı yayı	66

Şekil 7.1. Koltuğa Ait Sonlu Elemanlar Modeli(R12)	73
Şekil 7.2. Koltuğa Ait Bazı Parçaların İsimleri	75

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Mod Süperpozisyonu ile Direkt İntegrasyon Metodları Arasındaki Farklar [28].....	25
Tablo 4.2. Kapalı ve Açık Zaman İntegrasyonu Metodları Arasındaki Farklar [28]	26
Tablo 6.1. Taban Bağlantı Civata Yükleri İçin Dayanım Tablosu [32].....	34

ÖZET

Anahtar kelimeler: Otomobil koltuğu, Çarpışma Testi, FEA, Koltuk Tasarımı, CAD, CAE, SEY

Teknolojinin sürekli gelişimi, ekonomik anlamda refah seviyesindeki artış şüphesiz insanları daha konforlu bir yaşam beklentisine sevk etmektedir. Buda son yüz yılda önemli gelişmeler göstermiş olan otomobile ilginin sürekli artmasına neden olmuştur. Tüketicilerin göstermiş olduğu bu ilgi, üreticilerin iştahını kabartmakta ve bu bağlamda amansız bir rekabet yaşanmaktadır. Bu rekabet ortamı üretici firmaların daha ucuz, daha güvenli, ergonominin ön planda tutulduğu ve zamanın beklentilerine hitap edebilen tasarımlara sevk etmektedir.

Otomotiv geliştirme süreci içerisinde koltuk önemli bir yer kaplamaktadır. Zira koltuk hem konfor-ergonomi açısından, hem de pasif güvenlik açısından önem arz etmektedir. Uygun özelliklere sahip olmayan koltuk yolcunun seyahat konforu açısından sıkıntılar yaşamasına neden olabilmekte iken, yeterli güvenlik kriterlerine sahip olmayan koltuk, kaza anında ve sonrasında yolcuyu yeteri kadar koruyamamaktadır.

Bu çalışmada ECE R17 regülasyonuna göre bir araç koltuğunun tasarlanması ve bu koltuğun çarpışma anında ani hızlanma şartları altında davranışı-dayanımı incelenmiştir. Koltuk tasarımı CATIA V5 çizim programı ile yapılmıştır. Sonlu elemanlar için, mesh oluşturma ve sınır koşullarını tanımlama Hyperworks programının içerisinde Hypermesh ve Hypercrash modülleri ile yapılmıştır. Dinamik koşullar altında çarpışma testinin sonucunu elde etmek için açık(explicit) çözücü olarak Radioss kullanılmıştır.

DYNAMIC CRASH SIMULATION AND DESIGN OPTIMIZATION OF THE SEATS USING IN VEHICLE

SUMMARY

Keywords: Car seat, Crash test, FEA, Seat design, CAD, CAE, SEY

Continuous development of technology, the increase in prosperity in an economic sense no doubt people are preferred to a more comfortable life expectancy. This is the last century's interest in cars, that have been most important developments has been continuously increased. This interest has demonstrated that consumers, to whet the appetite of producers, and therefore there is great competition. In this competitive environment, manufacturers of cheaper, more secure, which is kept at the forefront of ergonomics and design that can address the time referred to the expectations.

Seat has an important place in the automotive development process. In terms of both comfort and ergonomic chair, and also it is important in terms of passive safety. With features suitable for non-seat passenger's travel experience while being can cause problems in terms of comfort, safety criteria that do not have enough seats, during and after an accident can not protect the passengers enough.

In this study, the design of the vehicle seat, according to ECE R17 regulations and examined the seat of the collision-resistance behavior under conditions of sudden acceleration. Chair designed in CATIA V5 drawing was done with the program. For finite element, boundary conditions Hypermesh in the mesh generation and the definition and Hypercrash Hyperworks program is made with modules. To obtain clear results of crash tests under dynamic conditions (explicit) RADIOSS was used as solver.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Şüphesiz içinde yaşadığımız dünyada en önemli teknoloji ürünlerinden birisi otomobildir. Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak icat edildikleri tarihten bu zamana kadar farklı yapıda otomobiller karşımıza çıkmıştır. Kullanıcının beğenisine sunulan her yeni modelle birlikte, insanların üründen beklentilerindeki değişim ve buna bağlı olarak otomobil firmalarının bu beklentilere yanıt verme çabaları, otomobil sektörünün gelişiminde başlıca etkenlerden biridir. Oluşan bu beklentilere cevap vermek amacıyla ve bu beklentilere cevap vermenin getireceği maddi kazanımların büyüklüğü nedeniyle zamanla birçok otomobil firması kurulmuş ve sektörde amansız bir rekabet ortamı oluşmuştur.

Sektörde rekabetin artması, piyasaya yeni sunulacak ürünlerin her zamankinden daha ucuz, daha iyi ve daha hızlı müşteriyle buluşmasını gerektirir. Sürekli artan bu rekabet baskısı nedeniyle, otomotiv ürün yelpazesinin artmasına ters orantılı olarak ürün raf ömrü önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum otomotiv firmalarının artan ürün çeşitliliğine karşın azalan raf ömrü nedeniyle her bir üründen kar etme yükümlülüğünü ortaya koyar. Bu bağlamda otomotiv ürün geliştirme süreci önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada özellikle sanayide edinmiş olduğum tecrübeler sayesinde günümüz teknolojileri ve yaklaşımları kullanılarak, bir tasarım bir ürün ortaya çıkartılmak istenmiştir. Özellikle araç ve uçak koltuğu tasarımı üzerine çalışmalarındaki süreçlerde edindiğim tecrübeler ışığında bir koltuk tasarımı gerçekleştirilerek, ve tasarım sürecinin her aşaması sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek, doğru ve başarılı bir tasarım hedeflenmiştir. Sektörde tasarım ve sonlu elemanlar analiz çalışmaları farklı departmanlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Ayrıca sürecin başından sonuna kadar çalışmayı gerçekleştirebilme yetkinliğimizi sağlamak ve geliştirmekte hedeflerimizin arasındadır.

Bu çalışmada, daha önce seri imalata başarıyla geçmiş bir koltuk referans alınarak kendi koltuğumuz tasarlandı. Tasarım adımlarını atarken önce kendi yaklaşımımız ve sonra referans koltuktaki yaklaşımı kıyaslayarak çalışma bina edildi. Tasarımın birçok aşamasında analiz adımları da gerçekleştirildiği için, bazı basit gibi görünen dizayn hamlelerinin yapısal dayanımı ne kadar etkilediği hakkında farkındalık kazanıldı.

Sonlu elemanlar yöntemi(SEY) yardımıyla bilgisayar ortamında analiz çalışmaları gerçekleştirildi. SEY sayesinde yapısal olarak dayanım istenilen seviyeye getirildi. Ayrıca bu çalışmada bir de civata ve somun elemanlar için yeni bir yaklaşım üzerine çalışıldı. Çarpışma analizleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilirken zemin bağlantı civataları tasarımısal olarak seilmeyip buralara sonlu elemanlar programı bünyesinde yay elemanlar atandı yani buralardan kopma olmayacağı kabul edildi. Ve programda buralara analiz esnasında her bir yönde gelen kuvveti hesaplaması için gerekli tanımlamalar yapıldı. Bu sayede hem civata gibi elemanlar için deneme yanılma kayıp zamanından, hem de civata gibi bir parçanın dişlerinin Hypermesh programı yardımıya ağ örme(mesh atma) işleminde eleman boyutları çok ufalacağından hesaplama sresinin çok uzaması riskinden kurtulmuş olundu.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİ

2.1. Literatürde Yapılmış Çalışmalar

Şüphesiz SEY'ni en çok kullanan sektörlerden birisi Otomotiv Sektörü'dür. Ancak bu bağlamda literatür taraması yaptığımızda birinci sıra bir otomotiv koltuğu tasarımı ve sonlu elemanlar analizi üzerine yapılmış bir önden çarpma analizi çalışmasına çok rastlanamamaktadır. Analizler genel anlamda, kaza esnasında insan vücuduna gelen yükler ve bunların etkileri üzerine ya da bölgesel iyileştirme çalışmaları üzerine kurgulanmıştır.

Bir makalesinde Moss[1] test modelleme sisteminin avantajlarından bahsederken, Thomke, Holzner ve Gholami[2] bir makalesinde otomobil firmalarının geleneksel çarpışma testlerinden maliyetleri nedeniyle uzaklaştığını ve bu yüzden bilgisayar destekli analize yönlendiklerini belirtmektedir. Yine May[3] gerçeğe yakın çarpma testi yapmak için üç boyutlu modellerin öneminden bahsetmektedir. Başka bir çalışmada analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında korelasyon çalışması yapılmıştır[4]. Glaskin[5] sonlu elemanlar analiz testlerinde kullanılacak insanı temsil eden sanal mankenler üzerine bir çalışma yapmıştır. Ticari bir araç için koltuk ayak tasarımı ve fiziksel doğrulaması çalışmaları yapılmıştır[6,7]. Yine başka çalışmada bir ticari aracın önden çarpışma dayanımını arttırmaya yönelik darbe sönümleyici tasarım ve analiz çalışması gerçekleştirilmiştir[8]. Bilgisayar ortamında tavan ezilme analizi[9], ticari bir aracın önden çarpma analizi ve geliştirilmesi[10], ticari araçlarda güvenlik mevzuatı gereği koltuk bağlantı elemanlarının dayanımını arttırmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir[11]. Bir otomotive ait ikinci sıra koltuklar birbirinden yapısal olarak bağımsız olacak şekilde tasarlanıp sonlu elemanları çalışması gerçekleştirilmiştir[12]. Rush, hayat kurtarmak için bilgisayar

kullanımı yaklaşımı ile çarpışma analizlerinden bahsetmiştir[13]. Viano ise arkadan çarpmada boyun incinmelerini azaltma adına çalışma yapmıştır[14].

2.2. Otomotiv Endüstrisine Genel Bakış

Otomotiv sektörü günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için kilit rol oynamaktadır. Otomotiv sektöründe söz sahibi olan ülkelerin pazar paylarını genişletebilmek için teknolojik gelişmeye verdikleri önemi her geçen gün arttırmaları bunu kanıtlar niteliktedir [15]. Güçlü bir otomotiv sektörü, sanayileşmiş ülkelerin ortak özelliklerinden biri olarak gözümüze çarpmaktadır [15]. Otomotiv endüstrisinin bu etkin gücünü sürdürebilmesi için katma değeri yüksek olan ürünler geliştirilmeli, yani gerek teknoloji gerek tasarım gerekse güvenlik açısından üstünlükleri olmalı. Bu da Ar-GE faaliyetlerinin önemini göstermektedir.

Otomotiv endüstrisinden beklenti son dönemlerde çok yükselmiştir. Bunun en önemli etkenlerinden birisi ekonomik refahı artmış bireylerin, güvenlik, tasarım gibi çıktılara verdiği önemin artması olmuştur. Bununla birlikte güvenlik gibi alanlardaki yasal regülasyonlar, sektöre ait bilgi birikiminin artması da sektörün hızlı ilerlemesine zemin oluşturmıştır.

Sektöre ait tecrübelerimle gördüğüm kadarıyla, bu bileşenlere bir bütün olarak bakarsak, sektörün aslında sürekli gelişen bir bünyeye sahip olduğunu, gelişime kapalı yapıların ayakta kalamayacağı görülmektedir. Sektördeki firmalar kısaca, esnek yapıya sahip olmalı, dünyada olup biten gelişim ve yeniliklere karşı hızlı aksiyon alıp, müşteriye hızlı bir şekilde yeni ürün alternatifini ortaya koyabilmelidir. Bütün bunlarla birlikte başarılı bir ürün geliştirme süreci kolay olmamakla birlikte, bu sürecin her aşamasında daha optimize bir ürün için tasarım ve analiz aşamalarında büyük bir çaba gerekmektedir. İçinde yaşadığımız dönemde bir otomobilin tasarımı, bu tasarımın analiz programları yardımıyla geliştirilmesi ve oluşturulan prototipin seri üretim aşamalarının kurgulanması oldukça kompleks bir iştir. Tüm bu bileşenler, ürün geliştirme sürecini araştırmak ve çalışmak için önemli bir alan halini almaktadır.

2.3. Teknolojik Gelişim İhtiyacı Ve Yeni Çözüm yöntemleri

Teknolojik ilerlemeler otomotiv sektörünün gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Otomobilin ilk icadından bu yana sürekli bir gelişim söz konusudur. Rekabetin henüz hissedilmediği bir dönemde Alman mühendis Benz'in 1885 yılında ürettiği üç tekerlekli ve 400 dev/dak da 0,6kw güç üreten araçtan hemen 1 yıl sonra yine üç tekerlekli 600 dev/dak da 0,8kw güç üreten bir araç üretmesi bunun güzel bir göstergesidir. Dünyamızın sanayi atıkları ve karbon emisyonları etkisiyle yıpramasını önlemek amacıyla, gerek yeni arayışlar gerekse yasal zorunluluklar yeni teknolojilere olan ihtiyacı arttırmıştır. Yeni nesil sac malzemeler, kompozit malzemelerin kullanılması, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı, hibrit motorlar, elektrik veya hidrojen ile çalışan motorlar yenilik ve teknolojik gelişim sonucu ortaya çıkmış çözümlerden sadece birkaçıdır.

Otomobil şirketleri elektrikli ve hidrojen yakıt hücreli araçları piyasaya çıkarmak için vahşi bir rekabete girmiş durumda [16]. Ancak, otomotiv sanayisi içinde, elektrikli araçları destekleyenler ile elektrikli araçların, tümüyle hidrojenle işleyen ulaşım giden yolda ancak bir geçiş stratejisi olduğuna inananlar arasında sıcak tartışmalar yaşanıyor [16]. Aşağıda, günümüz otomotiv sektörünü şekillendiren, önemli olduğu düşünülen temel etkenlerden bazılarına değinilmiştir.

2.3.1. Tüketici talebi etkisi

Otomotiv sektörü zaman içerisinde tasarım ve imalat esnekliğini arttırdıkça, tüketicilere detaylar konusunda yön gösterdi. Bütün bunlara ilave olarak refah seviyesindeki artışta eklenince tüketiciler, daha detaycı ve beklentileri daha yüksek hale geldiler. Müşterilerin beklentilerinde şüphesiz en büyük etken fiyatın düşük olmasıdır. Bunun yanında sırasıyla güvenlik, özgün ve eskimeyen tasarım, ergonominin ve konforun bir arada olduğu iç dizayn, düşük yakıt tüketimi, düşük servis maliyeti ve dayanıklı bir otomobili ilk akla gelenler olarak sıralayabiliriz. Beklentilerin bu denli çeşitli olması otomobil firmalarını hiç bitmeyecek olan bir yarışın içerisinde dahil etmektedir.

2.3.2. Küresel rekabet etkisi

Otomobil sektöründe rekabet gerçek anlamda 1980’li yıllarda başlamıştır. Yalın üretim felsefesini benimsemiş olan Japonlara karşı, Amerikalı otomobil üreticileri kalite, verimlilik ve atık yönetimi gibi alanlarda reformlara giderek kendilerini yenilemek zorunda kaldılar. Bildiğimiz gibi yalın üretim israflardan arınmayı, hızı arttırmayı, kalite, maliyet ve teslimat performansı gibi unsurları iyileştirmeyi hedefleyen bir modeldir. Çağımız rekabet çağı olduğu için tasarım, ürün geliştirme ve üretim faaliyetleri mümkün olan en yüksek verimde gerçekleşmelidir.

2.3.3. Devlet mevzuatları etkisi

Sektörde lider konumundaki ülkelerin mevzuatları, otomobillerin gelişme yolculuğunda önemli hamlelerin atılması adına yol gösterici olmuştur. Bir standart; parçaların, malzemelerin veya süreçlerin bağdaşıklığını, verimliliklerini ve belirlenmiş kalite düzeylerini gerçekleştirebilmek ve sürdürebilmek amacıyla konulmuş bir dizi tanım ve şartlardır [17]. Devletler otomobillerin sahip olması gereken minimum standartları düzenli olarak güncellediklerinden üretici firmaları sürekli baskı altına almaktadırlar. Gelişmekte olan ülkelerin mevzuatları genelde bu alanda gelişimini tamamlamış ülkelerin mevzuatları üzerine kurgulanmaktadır. Mevzuat konusunda örneğin avrupa’da UNECE “United Nations Economic Commissions for Europe” regulasyonları geçerlidir. Ülkemizde de Avrupaya gönderilecek araçlar için bu regulasyonlar referans alınmaktadır. Örneğin TSE bizim çalışmamızda kullandığımız “koltuklar, koltuk bağlantı parçaları ve baş dayama yerleri konusunda taşıtların onayı ile ilgili hükümleri” içeren ECE R17 regulasyonunu Türkçeye çevirmiş ve referans olarak kabul etmiştir.

2.4. Ürün Tasarımı Ve Geliştirme

Bir şirketin halkın beklentilerine cevap vermek amacıyla piyasaya arz ettiği şeye, ürün denir. Bu bağlamda bir şirket, müşteri beklentilerini iyi analiz etmekle ve bu

beklentileri sağlayacak en hızlı aksiyonu alıp, mümkün olan en az maliyetle bir ürün geliştirme sorumluluğuna sahiptir. Bu da aslında bize bir şirketin başarısını göstermektedir. Başka bir deyişle bir şirketin başarısını, zamanın ve teknolojilerin beklentilerine hızlı cevap verebilme yeteneği olarak ta tanımlanabilmektedir.

Tasarım ise, bir problemin çözümüne ya da bir ihtiyacın karşılanmasına yönelik bilimsel kural ve yaklaşımları kullanarak gerçekleştirilen bir aktivite ya da bir çalışma olarak tanımlanabilir.

Yukarıdaki tanımlamalar çerçevesinde denilebilir ki, başarılı bir ürün geliştirme süreci iki temel bileşene sahip olmalıdır. Birisi şirketin hayatı için önemli olan karlılık gerektiren taraftır, diğeri ise müşteriye ilgilendiren ve müşterinin beklenti ve ihtiyaçlarına cevap verebilme yeteneğidir.

İmal edilen bir ürünün geliştirme performansını çeşitli kriterlerle yorumlanabilir. Bu sayede süreci gözden geçirme ve gerekirse iyileştirme çalışması yapılabilir. Ürün geliştirme performansını etkileyen bu bileşenlerin en önceliklileri ürün kalitesi, ürün geliştirme maliyeti, ürün geliştirme zamanı, ürün maliyeti ve ürünü geliştirecek ekip olarak tanımlama yapabilmektedir.

Şüphesiz ürün geliştirme performansının en önemli bileşeni ürünün kalitesidir. Bir ürün müşterinin ihtiyaçlarını karşılayabildiği ve istenen çalışma koşullarında sorunsuz çalışabildiği ölçüde kalitelidir. Ürün kalitesi müşterilerin, ürün için ödemeye gördüğü ücrete yansıtılır [8].

Ürün geliştirme maliyeti de başarılı bir ürün geliştirme sürecinin en önemli bileşenlerindendir. Zira içerisinde projenin tasarım sürecini, prototip imalatı, gerekli testleri, gerekli onay süreçleri ve seri imalat için yapılması gereken makine, teçhizat gibi tüm yatırımları barındırmaktadır.

Ürün geliştirme performansı bünyesinde önemli gördüğümüz diğeri bir bileşen ise ürün maliyetidir. Ürün maliyeti şirketin karlılığını doğrudan etkiler. Dolayısıyla ürün

maliyetini etkileyen her bir kalem teker teker hesaplanır, bu etkenler başarılı bir ürün devreye alma süreci sonrasında maliyet azaltma çalışmasına tabi tutulmaktadır.

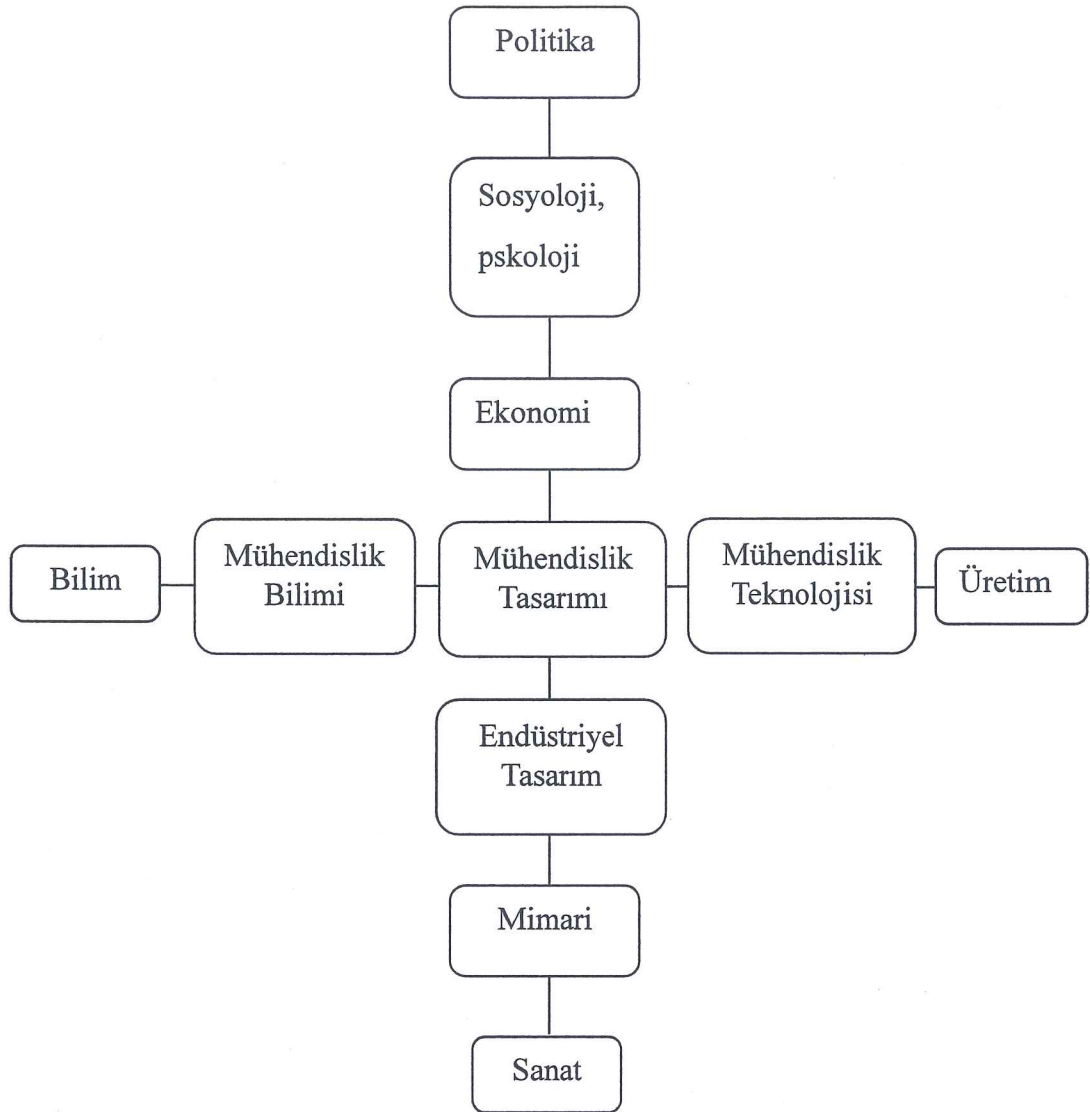
Ürün geliştirme süresi diğer önemli parametrelerden birisidir. Çünkü, rekabetçi ve teknolojik olarak hızla gelişen piyasada çıkartacağınız ürünün geliştirme sürecinin uzun olması, sizin piyasadaki etki alanınızın azalmasına sebep olabilmekte, bu ise karlılığınızı etkilemektedir.

Şüphesiz ki yukarıda saydığımız bütün unsurları gerçekleştirecek olan, başarılı ve deneyimli bir çalışma ekibidir. Ürünün geliştirilme sürecinde tasarım ve kalite açısından her türlü gözlemi yapacak, proje yatırım ve yönetim sürecini yönetecek, karşılaşılabilecek problemlerde hızlı aksiyon alıp, karşı önlem alıp çözüm üretebilecek taraf insan olduğu için iyi bir çalışma kadrosu maliyeti ya da karlılığı etkileyen en önemli unsurdur.

İlginç bir mühendislik faaliyeti olarak tasarım(Mühendislik Tasarımı Sistematik Yaklaşım)[20]:

1. İnsan yaşamının yaklaşık tüm alanlarını etkiler
2. Bilimsel görüş ve yasalara dayanır
3. Özel tecrübeye dayanır
4. Çözüm fikirlerinin fiziksel gerçekleştirilmesi için ön koşulları sağlar
5. Profesyonel bütünleşme ve sorumluluk gerektirir.

Dixon [18] ve ardından Penny [19], kesişen iki kültürel ve teknik akımın ortasına mühendislik çalışmasını yerleştirmiştir (Şekil 2.1.).

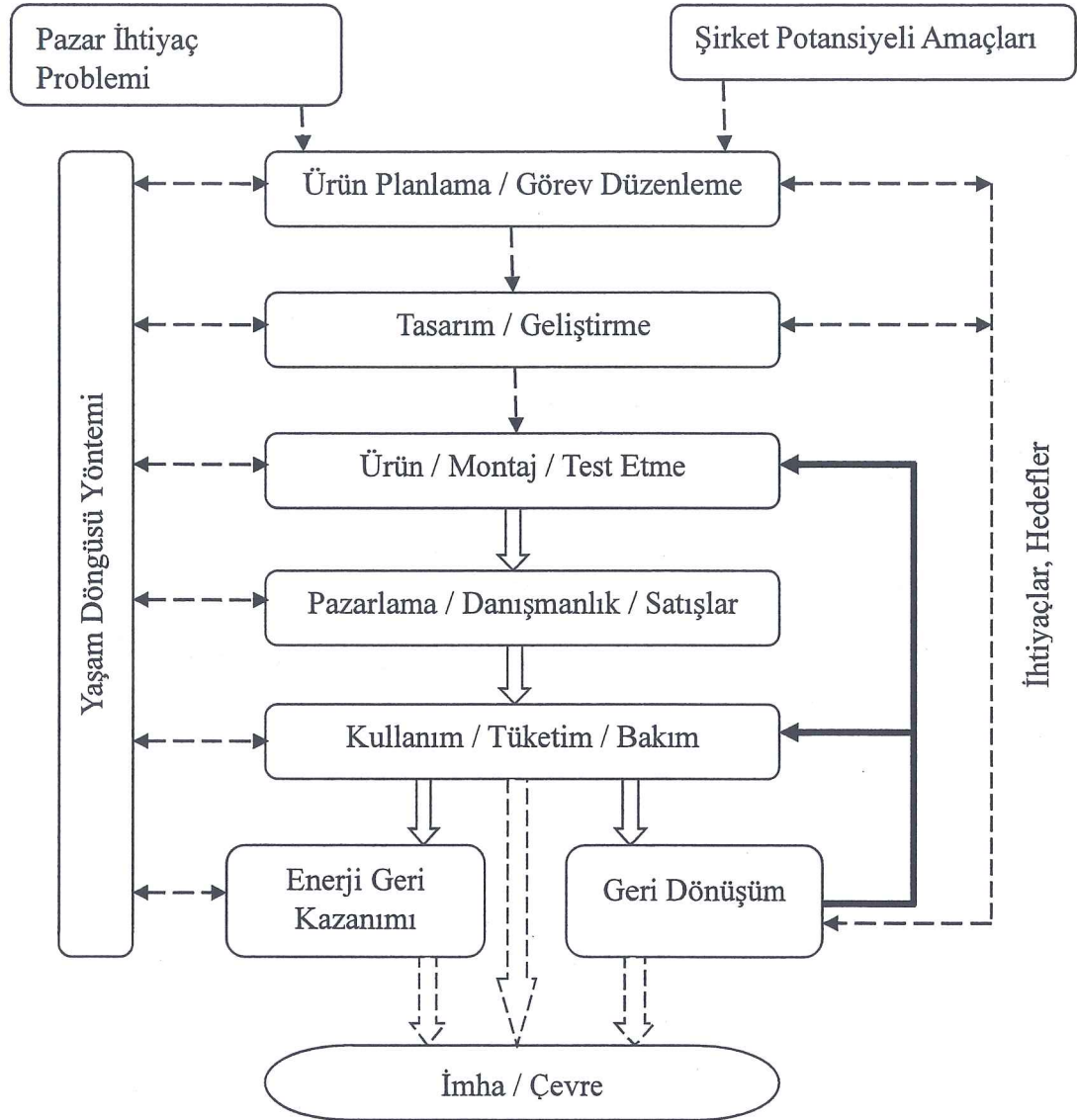


Şekil 2.1. Mühendislik Tasarımının Merkezi Faaliyeti [18 ve 19]

Sistematik açıdan tasarlama, kısmen çelişen sınırlayıcılarla verilen amaçları optimize etmektir. İhtiyaçların zamanla değişmesinden ötürü özel bir çözüm sadece özel koşullar kümesi altında optimize edilebilir [20].

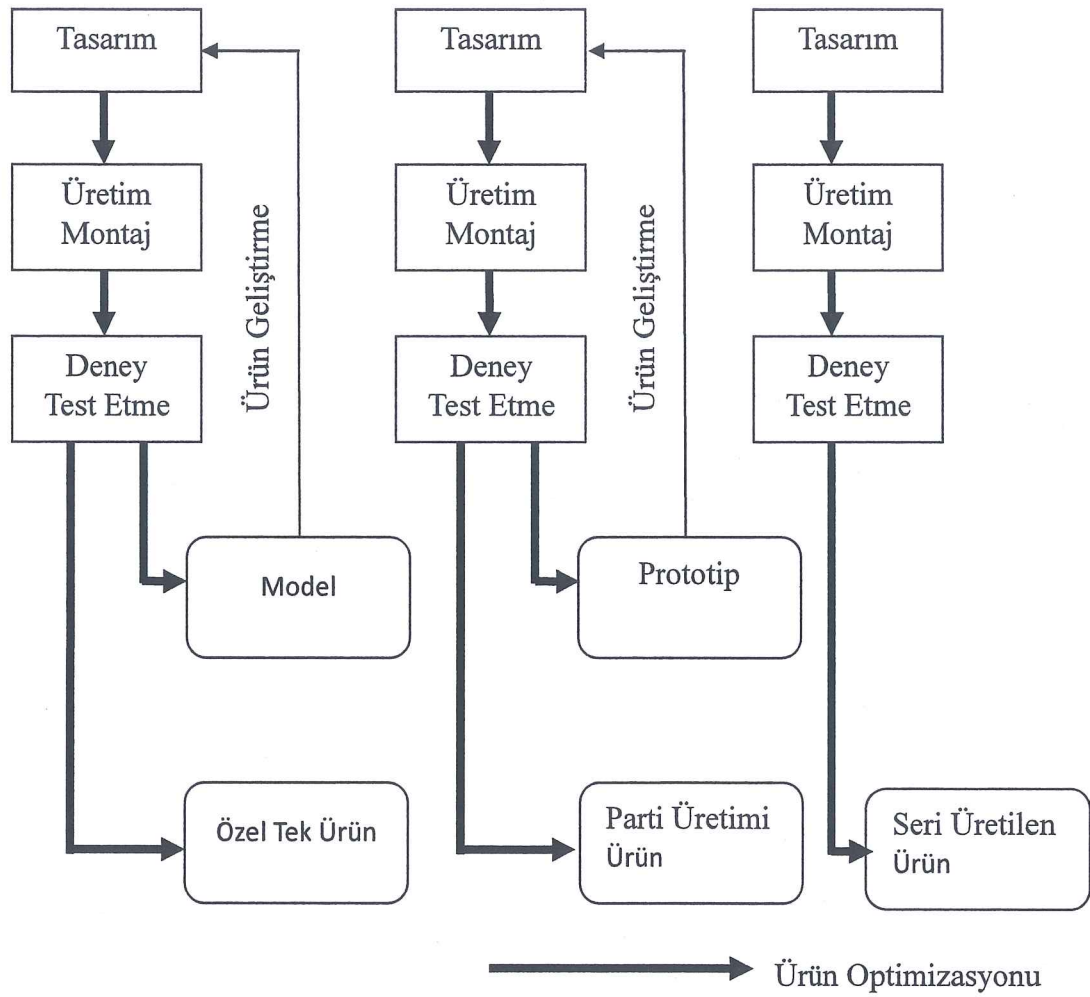
Örgütsel (organizasyon) açıdan tasarım, ürün yaşam döngüsünün temel bir parçasıdır. Bu döngü, bir piyasa ihtiyacı veya yeni bir fikir tarafından sürüklenir. Yani, ürün

planlama ile başlar ve geri dönüşüm veya çevre açısından güvenli imha ile –ürünün faydalı ömrü bittiği zaman- son bulur (Şekil 2.2.) [20].



Şekil 2.2. Bir Ürünün Yaşam Döngüsü [20]

Büyük miktarlarda yapılacak ürünlerin (büyük partiler ve seri üretim) tam kapasite üretim öncesi teknik ve ekonomik karakteristikleri tam olarak kontrol edilmelidir. Bu tür üretim, numuneler ve prototipler kullanılarak yapılır ve sıkça birçok geliştirme basamağı gerektirir (Şekil 2.3.) [20].



Şekil 2.3. Seri üretilen bir ürünün adım adım geliştirilmesi [21]

Aşağıda ürün tasarımı ve geliştirmesi ile ilişkili departmanlar ile ürün tasarımı ve geliştirilmesi ile ilgili süreçler hakkında önemli görülen ve temel olduğu düşünülen noktalardan bazıları bilgi olarak verilmiştir.

2.4.1. Ürün tasarımı ve geliştirme ile ilgili birimler

Ürün tasarımı ve geliştirilmesi, bir şirketin hemen hemen bütün bölümlerinin katılımına ihtiyaç duyan disiplinler arası bir faaliyettir [8]. Sanayi tecrübelerimden edindiğim çıkarım şudur ki, bir ürünün geliştirilme aşamasında satış ve pazarlama, proje, tasarım, kalite, ve imalat departmanlarının aktif olarak katılımı gerekmektedir. Özellikle teknik departmanlar yoğun bir katılım içerisinde yer almalıdırlar.

Satış ve pazarlama departmanı müşteri ile diyalog kurup, fiyat ve şartlarla anlaştıktan sonra projenin tüm yönetimini proje departmanı devir almaktadır. Proje departmanının görevlerinden birisi müşteri ile diyalog halinde olup projenin ilgili diğer birimlere olan bilgi aktarımını gerçekleştirmektir. Projenin tüm aşamalarının planlaması proje departmanının yükümlülüğü altındadır. Örneğin; yeni bir koltuk tasarımı ve imalatı projesini düşünelim. Proje departmanı tasarımdan imalatına(koltuğun giydirilmesine) ve hatta koltuğun müşteriye teslimine kadar projenin tüm aşamaların planlamasını yapar, her aşamayı yürütür ve/veya takip eder. Tasarım departmanı, müşterinin beklentilerine cevap verecek optimum tasarımı tasarlamakla yükümlüdür.

Kalite departmanı, tasarımı yapılan bir ürünün müşteri beklentilerine cevap verebilmesi için gerekli faaliyetleri yürütür. Projenin her aşamasında iyileştirilmesi gereken noktaları tanımlar, imalat esnasında kalite zafiyeti teşkil edecek noktaları tanımlar ve karşı önlem alınmasını sağlar.

İmalat departmanı ise parçaların imalat-montaj aşamalarını yapan ve müşteriye teslim hazırlar hale getiren kısımdır. İmalat açısından zorluk oluşturacak kısımları tasarım süreci esnasında planlayıp ona göre çalışmalarını yürütür.

2.4.2. Otomotiv sektöründe ürün geliştirme süreci

Otomobil, bir çok parçanın bir araya gelmesiyle bir bütün oluşturarak görsel beyeni, konfor, sağlamlık, güvenlik gibi unsurların meydana getirilmesiyle oluşturulan kompleks bir yapıdır. Şirketler bir taraftan bütün bu özelliklere sahip ürünler ortaya çıkartırken diğer taraftan hedefledikleri pazarların ülkelerinin regülasyonlarına uygun bir ürün oluşturmalıdır.

Otomotiv sektöründe firmalar “sürekli iyileştirme” kavramından yola çıkarak tasarımdan-imalata her aşamada hep daha iyiyi hedeflemişlerdir. Bu da sürekli yaşayan, temelde aynı kurgu üzerine kurulmuş ancak ayrıntılarda firmadan firmaya farklılık arzeden bir ürün geliştirme sürecinin oluşmasına neden olur.

2.4.2.1. Ürün planlaması

Şirketlerin ticari başarısı için son derece önemli bir role sahip olan ürün planlaması, kavram geliştirme ve ürün mühendisliğini birleştiren evre olarak tanımlanabilir. Ürün planlayıcıları, mevcut üretim faaliyetleri ve kar hedeflerine dayanan maliyet ve performans hedeflerini belirlerler. Araç tasarımı, bileşen seçimi ve paket düzeni, ürün konseptinin özünü yansıtacak bir çaba içinde dikkate alınır. Bir ürün projesi hazırlamak performans, maliyet, bileşen seçimi, tasarım ve düzen ile başlangıçtaki karmaşık ilişkiyi dengelemek anlamına gelir [15].

2.4.2.2. Ürün tasarımı ve tasarlanan ürünün geliştirilmesi

Ürünü imal edecek firma, tasarladığı ürün için çalıştığı firmanın onayını aldıktan sonra, yada ürün planı üst düzey yönetimin onayını aldıktan sonra ürün geliştirme mühendisliği çalışmalarına başlar.

Her ne kadar ufak tefek metod farklılığı olsa da otomotiv şirketlerinin çoğu ürün tasarım ve geliştirilmesini temelde aynı yöntemlerle yürütür. Araç bütünden detaya doğru çalışma aksamaları olarak gruplandırılır ve herbir grupta ayrı bir tasarım ekibi

ilgilenir. Örneğin gövde, şasi, A sınıfı yüzeyler, döşeme hatları, gösterge panosu(IP), koltuklar – bunların herbiri için ayrı bir tasarım ekibi çalışmaktadır.

2.4.2.3. Üretim süreci tasarımı ve tasarlanan sürecin geliştirilmesi

Süreç(process) mühendisliği olarakta bilinen bu evre tasarım ve geliştirilmesi esnasında, imalat açısından doğabilecek sıkıntıları inceler, imalat planlamasını, gerekli ekipman-işgücünü belirler ve çalışma prosedürlerini tanımlar. Bu süreçte üretim yapılacak alan ve bu alandaki imalatın akışı, kullanılacak makine ve ekipmanlar, stok alanları kısacası imalat ile ilgili herşey planlanır. Bütün bu çalışmalar genellikle imalat mühendisliğinin görevidir.

2.4.2.4. Deneme üretimi ve süreç değerlendirmesi

Bu süreç seri üretim öncesi testleri ve deneme üretimlerini barındırır. Süreç belirli bir olgunluğa erişince gerekli ekipmanların istenilen performansta çalışıp çalışmadığını görmek için ve müşterinin, örneğin koltuğun, araç içerisindeki duruşunu-diğer bileşenlerle olan uyumunu yorumlaması için deneme üretimi yapılır. Bu üretilen ürünlerden bazıları ürünün istenilen özelliklere sahip olup olmadığını görmek için müşteri beklentileri doğrultusunda teste tabi tutulur. Bu sonuçlar tatmin edici seviyeye ulaşana kadar, her test sonrasında sonuçları yorumlama-aksiyon alma-test döngüsü devam eder.

BÖLÜM 3. KOLTUK

3.1. Koltuk Nedir?

“Bir yetişkin kişinin oturması için tasarlanmış aksesuarıyla birlikte, taşıt yapısına birleşik veya ayrı olabilen bir yapı” koltuk olarak tanımlanır [22].

3.2. Verimli Bir Koltuk Tasarımının Sahip Olması Gerekli Temel Nitelikler

Verimli bir taşıt koltuğu geliştirmek, aşağıda sadece birkaçından bahsettiğimiz birçok girdi ve kısıtlamaları dengelemeyi gerektirir. Bu girdi ve kısıtlamalardan bazıları;

1. Kullanılan araç ve ülkeler tarafından belirlenen gereklilikler,
2. Müşteri beklentileri,
3. Ergonomi,
4. Aracın dinamiklerine etkisi(sürüş vs.)
5. Üretilabilir ürün,
6. Montaj edilebilir ürün,
7. Görşellik,
8. Ağırlık,
9. Yatırım maliyeti ve araç başı maliyet.

Bunlar gibi birçok girdi ve kısıtları dengeleyerek, azami X yıl olan faydalı kullanım ömrü süresince Y yıl bakım gereksinimi gerektirmeyecek bir ürün hedeflenmektedir. Çünkü, servis bakımı da bir ürün için önemli gelir ve karlılık kalemlerinden birisidir.

3.3. Bir Koltuk Tasarımına Ait Genel Müşteri Beklentileri

Müşteri tasarım ve imalatçı firmadan özünde iki temel beklenti içerisinde. Birisi tasarımı planlanan araca entegre olabilecek, son müşterinin beklentilerine cevap verebilecek bir tasarım ve imalatın gerçekleştirilmesi. Diğer ise, satışın hedeflendiği pazarların bulunduğu ülkelerin kabul ettikleri regülasyonlara cevap verebilmesidir.

Bunların dışında koltuk ergonomik bir yapıya sahip olmalıdır. Tasarım insanın vücut yapısına uygun hatlara sahip olmalı. O'nu rahatsız edecek ve dikkatini dağıtacak unsurlara sahip olmamalıdır.

Ağırlık olarak, tasarlanıp imal edilen bir koltuk müşteri tarafından belirlenen limitlerin altında bir ağırlığa sahip olmalıdır. Zira ağırlığın en önemli etkenlerinden birisi aracın maliyetine, diğeri ise yakıt tüketimidir. Araç ağırlaştıkça şüphesiz yakıt tüketimi de artacaktır.

Kolay montaj edilebilirlik özelliği de müşteri beklentileri içerisinde yer almaktadır. Zira üretim hattında çalışan her bir operatörün yapması gerekli görev, ortalama zaman kavramı ile birlikte tanımlanmıştır. Dolayısıyla akıp giden bir hat üzerinde her bir operatör zamana karşı savaşılmaktadır. Bu yüzden koltuk bağlantı elemanları olabildiğince basit ancak güvenilir tasarıma sahip olmalıdır.

Bir koltuk bir müşteriyi ilk anda görsel olarak kendisine çeker ancak ayrıntılarıyla para verilip satın alınmaya değerli kılar. Bu yüzden koltukta stil çalışması çok önemlidir. Koltuğun süngerinin-kılıfının stil çizgileri, kendine has karakteri tanımlanmış olmalıdır. Tabii burada önemli diğer bir nokta, yaptığımız tasarımın uygulanacağı aracın tasarımı ile ortak bir paydada buluşabilmesi. Örneğin bir kılıç balığından esinlenerek karakter çizgileri tanımlanmış bir aracın içerisine tasarlanacak koltukta aynı hisleri yansıtabilmelidir.

Şüphesiz ki aracın maliyetini etkileyen en önemli unsurlardan birisi, koltuğun araç başı maliyetinin yanında yatırım maliyetidir. Yatırım maliyeti bileşenleri olarak var

olan bir tesis üzerinden düşünürsek, makine, teçhizat, prototip kalıpları, prortip imalatları, testler, seri imalat kalıplarının imalatı ve bunların devreye alınma aşamasındaki maliyetleri sayabiliriz. Bu maliyetler ne kadar büyük olursa, bu aracın toplamda üretilecek adedine göre araç başı maliyet artar. Bu yüzden firmalar sıfırdan üretilecek araçların dışındaki araçlara “küçük değişiklikler” ve “büyük değişiklikler” tanımlamalarını kullanırlar. Sıfırdan üretilen araçlar için yatırım maliyetleri kaçınılmazdır. Ancak firmalar araçlarda, başka projelerde kullanılmış parçaların kullanılması için gayret gösterirler. Bu sayede kalıp yatırımı maliyeti gibi totalde yüksek bir maliyet unsuru azaltılmış olur.

Yukarıda “Verimli Bir Tasarım Unsurları”nı tanımlamıştık. Dikkat ederseniz orada “Müşteri Beklentileri” ayrı bir madde olarak görünmektedir. Aslında bakarsanız pratik hayatta edindiğim tecrübelerden diyebilirim ki oradaki her bir madde birbiri içerisine geçmiş durumdadır. Yani verimli bir koltuk tasarımı ve imalatı için hepsi birbiriyle bütünleşik durumdadır.

3.4. Bir Koltuğun Dinamik Çarpışma Dışında Tabi Tutulduğu Testler

1. Statik Enmiyet Kemerli Dayanıklılık Testi - FMVSS 207, 209, 210, 213, 225; ECE-R14, 16, 44 7.S2100
2. Yükleme Testi - FMVSS 202 ECE-R17; ECE-R25 7.S2171
3. Enerji Dağılımı Testi - FMVSS 201, 202,ECE-R21; ECE-R25, ECE-R17 9.03138
4. Enerji dağılımı testi: Sarkaç Çarpma - FMVSS 201, 202,ECE-R21, ECE-R25, ECE-R17 9.03138
5. Doğrusal Çarpma - 7-S2012 ; 7-S2013
6. Koltuk Dayanıklılık Testi vet Yorulma Testi
7. H noktası ölçümü
8. Bele Gelen Yükler
9. Yapısal Yorulma
10. Sırt Ayar Mekanizması ve Kızak Yorulma Testi
11. Bileşenler İçin İklim Testi, Titreşim ve Ses Testi

BÖLÜM 4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Çevremizde meydana gelen olaylar veya karşılaştığımız problemleri çoğu zaman kolayca kavrayıp doğrudan çözemeyiz. Bu yüzden karmaşık bir problemi çözmek için bilinen veya kavranması daha kolay alt problemlere ayırarak daha anlaşılır hale getirmeye çalışırız.

Mühendislik uygulamalarında tam çözümü imkansız olan öyle problemler vardır ki, bu tür problemlerin yaklaşık çözümü kabul edilmektedir.

Sonlu elemanlar metodunda temel yaklaşım, karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içerisinde çözülmesiyle tam çözümünün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Bu metodta üç temel nitelik vardır. İlk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi, sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır. İkincisi, her elemandaki, sürekli fonksiyonlar cebirsel polinomların lineer kombinasyonları olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktadaki(düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır [23].

Sonlu-eleman yönteminin gelişimi; sürekli(aralıksız) katılardaki gerilmenin çözümü için, model(çubuklar ve kirişler) elemanların kafesini kullanan Hrennikoff [24], McHenry [25] ve Newmark [26]'ın, yapı mekaniği alanındaki çalışmalarıyla, 1940'larda başlamıştır.

Sonlu elemanlar yaklaşımlarının ve bilgisayar teknolojilerinin zaman içerisinde gelişim göstermesi ve bu metodu kullanarak çözüm sunan bilgisayar programlarının fiziksel testlerin maliyetlerine göre daha ulaşılabilir olması, sanayi tarafından tercih

edilmesine neden olmuştur. Bu sayede projenin tasarım aşamasında analizler yapılabilmekte ve minimum zamanda optimize sonuçlara ulaşılabilmektedir.

Sonlu elemanlar metodunu diğer sayısal yöntemlerden üstün kılan tarafları şu şekilde sıralanabilir[23]:

1. Kullanılan eleman yapısı, şekil ve boyut değişkenliği sayesinde analiz yapılması istenen cismin geometrisini tama yakın derecede temsil edebilmektedir.
2. Farklı geometri ve malzeme özelliklerine sahip olan cisimler incelenebilir.
3. Sebep sonuç ilişkisine ait problemler genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Bu özellik problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini basitleştirerek mümkün kılar.
4. Parçaya, yarı montaja veya montaja sınır şartları kolayca uygulanabilir.

Sonlu elemanlar yönteminde, her bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemler birleştirilerek, bütün sisteme ait lineer denklem takımı elde edilir. Bu denklemlerin elde edilmesi için birçok farklı metot kullanılabilmektedir.

Bunlar arasında yoğun olarak kullanılan dört temel metot aşağıda sıralanmıştır [23].

1. Direkt Yaklaşım: Daha çok tek boyutlu ve basit problemler için kullanılan yöntemdir.
2. Varyasyonel Yaklaşım: Bir fonksiyonun ekstremize edilmesi, yani maksimum ve minimum edilmesi demektir. Fonksiyonelin birinci türevinin sıfır olduğu noktada fonksiyonu ekstremize eden değerler bulunur. İkinci türevinin sıfırdan büyük veya küçük olmasına göre bu değer maksimum veya minimum değer olduğu anlaşılır.
3. Ağırlıklı Kalanlar Yaklaşımı: Bir fonksiyonun çeşitli değerler karşılığında elde edilen yaklaşık çözümü ile gerçek çözümü arasındaki farkların bir ağırlık fonksiyonu ile çarpılarak toplamalarını minimize etme işlemine denmektedir.

Bu yaklaşım kullanılarak eleman özelliklerinin elde edilmesinin avantajı, fonksiyonların elde edilemediği problemlerde uygulanabilir olmasıdır.

4. Enerji Dengesi Yaklaşımı : Sisteme giren ve çıkan termal veya mekanik enerjilerin eşitliği ilkesine dayanır. Bu yaklaşımda bir fonksiyonele ihtiyaç duyulmaz.

Sonlu elemanlar metodu ile çözüm işleminde kullanılacak olan yaklaşım, çözüm işleminde kullanılacak yolu değiştirmez. Çözüm yöntemindeki adımlar şunlardır [23]:

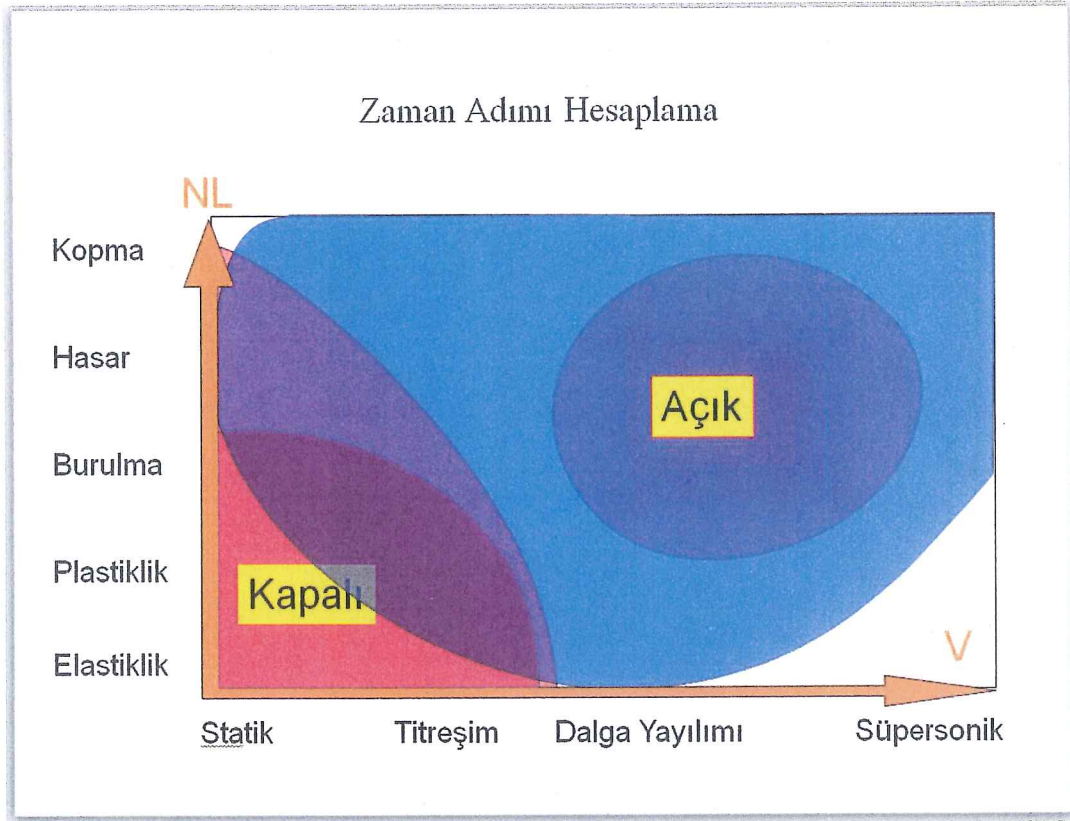
1. Cismin sonlu elemanlara bölünmesi
2. İnterpolasyon fonksiyonlarının seçimi
3. Eleman direngenlik matrisinin teşkili
4. Sistem direngenlik matrisinin hesaplanması
5. Sisteme etki eden kuvvetlerin bulunması
6. Sınır şartlarının belirlenmesi
7. Sistem denklemlerinin çözümü.

FEA (Sonlu Elemanlar Analiz) probleminin çözümünde ilk adım, geometriye en uygun eleman tipinin belirlenerek, çözüm bölgesinin elemanlara ayrılmasıdır. Çözüm bölgesinin geometrik yapısı belirlenerek bu geometrik yapıya en uygun gelecek elemanlar seçilmelidir. Seçilen elemanların çözüm bölgesini temsil etme oranı ne kadar yüksekse, elde edilecek neticeler, gerçek çözüme yaklaşmış olacaktır. Sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar boyutlarına göre [23];

1. Tek boyutlu elemanlar
2. İki boyutlu elemanlar
3. Dönel elemanlar
4. Üç boyutlu elemanlar olmak üzere sınıflandırılırlar.

İzoparametrik Elemanlar: Çözüm bölgesinin sınırları eğri denklemleri ile tanımlanmışsa, kenarları doğru olan elemanların bu bölgeyi tam olarak tanımlaması

mümkün değildir. Böyle durumlarda bölgeyi gereken hassasiyette tanımlamak için elemanların boyutlarını küçültmek, dolayısıyla adetlerini artırmak gerekmektedir. Bu durum çözülmesi gereken denklem sayısını artırır, dolayısıyla gereken bilgisayar kapasitesinin ve zamanın büyümesine sebep olur. Bu olumsuzluklardan kurtulmak için, çözüm bölgesinin eğri denklemleri ile tanımlanan sınırlarına uyum sağlayacak eğri kenarlı elemanlara ihtiyaç hissedilmektedir. Böylece hem çözüm bölgesi daha iyi tanımlanmakta hem de daha az sayıda eleman kullanılarak çözüm yapılabilir. Bu elemanlar üzerindeki düğüm noktaları bir fonksiyon ile tanımlanır. İzoparametrik sonlu elemanın özelliği, her noktasının konumunun ve yer değiştirmesinin aynı mertebeden aynı şekil (interpolasyon) fonksiyonu ile tanımlanabiliyor olmasıdır. İzoparametrik elemanlara eşparametrelili elemanlar da denir [23].



Şekil 4.1. Zaman Adımı Hesaplama Yaklaşımı [27]

Şekil 4.1.'de sonlu elemanlar çözücüsü olarak kullandığımız Radioss'da açık ve kapalı yöntemlerde hıza bağlı olarak meydana gelen etkileşimler görülmektedir.

Yaptığımız analizlerde sadece akma gerilmesi ve üstü değeri kritik değer olarak ele aldığımız ve deformasyondan daha çok bu değerlerin aşılması, yani mukavemetin korunup korunmadığını incelediğimiz için, açık doğrusal olmayan çözüm metodu ve elastik izotropik malzeme modeli tercih edilmiştir. Sonlu elemanlarda kullanılan bu metot ve modellerin anlaşılması için ayrıntılı anlatım yapılmayacaktır. Sonlu elemanlara ait teorik anlatım içeren bir çok yayına ulaşmanın kolay olması nedeniyle burada birkaç noktadan bahsedilip konu sonlandırılacaktır. Dinamik çarpışmalarda cisimler üzerindeki yük kalktığında plastik şekil değişimi ile ilgilenildiği için ayrıca plastik şekil değişimine uğramış malzemelerin elasto-plastik davranışının nümerik olarak modellenmesi üzerinde durulacaktır.

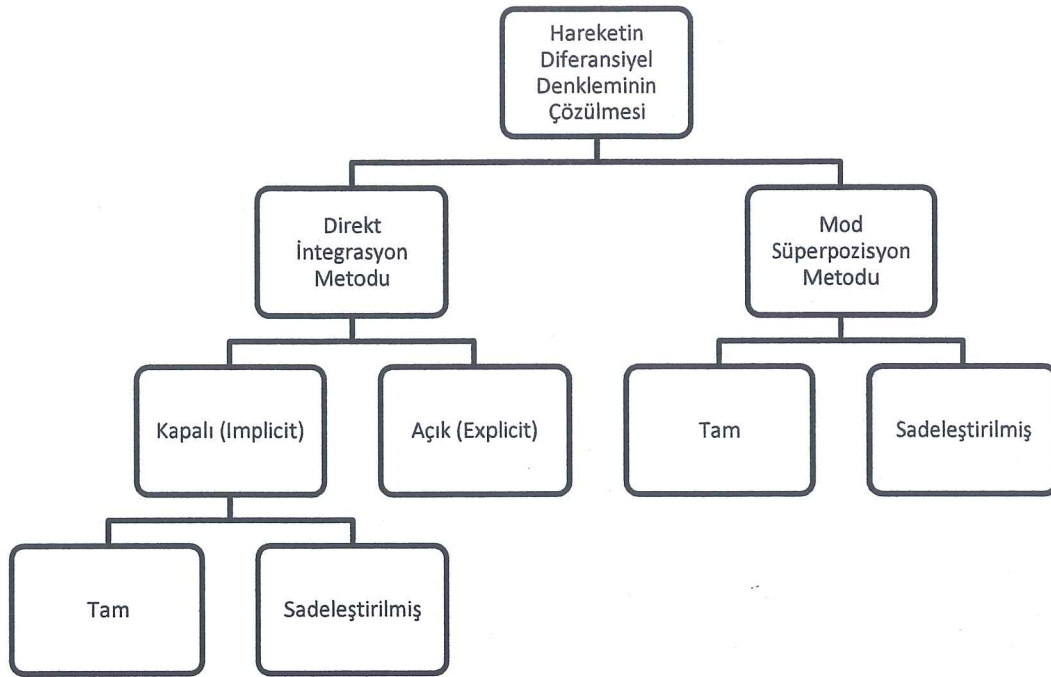
Yapıların hareketinin genel diferansiyel denklemini (Denklem 4.1) çeşitli yükleme ve sınır şartları altında nümerik olarak çözmek için sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki 4.1 denklemini iki ayrı yöntemle çözmek mümkündür.

1. Mod süperpozisyon metodu,
2. Direkt integrasyon metodudur. Bunlar Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Aşağıda Şekil 4.2.’de hareketin diferansiyel denkleminin çözüm yöntemleri verilmiştir.



Şekil 4.2. Hareket Denkleminin Çözüm Yöntemleri [28]

4.1. Mod Süperpozisyon Metodu

Mod süperpozisyonu metodu, dinamik analizlerde kullanılan bir çözüm tekniğidir. Yapıya ait dinamik cevap, modal analiz sonucu çıkarılan mod şekillerinin toplanmasıyla elde edilir. Doğrusal dinamik analizlerin hızlı çözümünde kullanılan metod olarak tanımlanır.

Hareketin diferansiyel denklemini dikkate alarak, mod süperpozisyon metodu $u(t)$ 'nin yapının mod şekillerinin doğrusal bir kombinasyonu olduğunu varsayarsak:

$$u(t) = [\phi]\{y\} \quad (4.2)$$

burada, $[F]$ mod şekillerinden oluşan bir matristir $[\phi] = [\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_\mu]$.

Hareketin diferansiyel denklemini ϕ^T ile sadeleştirilerek:

$$[\phi^T]M[\phi]\{\ddot{y}\} + [\phi^T]C[\phi]\{\dot{y}\} + [\phi^T]K[\phi]\{y\} = [\phi^T]f(t) \quad (4.3)$$

elde edilir. Mod şekillerinin simetrisinden:

$$[\phi]_i^T M[\phi]_j = [\phi]_i^T C[\phi]_j = [\phi]_i^T K[\phi]_j = 0 \quad i \neq j \quad (4.4)$$

İlave olarak :

$$[\phi]_j^T M[\phi]_j = 1 \quad (4.5)$$

$$[\phi]_j^T C[\phi]_j = 2\xi_j \omega_j \quad (4.6)$$

$$[\phi]_j^T K[\phi]_j = \omega_j^2 \quad (4.7)$$

Problem mod sayısını gösteren ‘ m ’ ile temsil edilen tek serbestlik dereceli bir denklem sistemine dönüştürülür:

$$\ddot{y}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{y}_j + \omega_j^2 y_j = [\phi]_j^T f(t) \quad (4.8)$$

Bu denklemlerin her biri $y_i(t)$ için çözülürse sonuç, Denklem (4.9)’daki gibi bulunacaktır:

$$u(t) = \phi_1 y_1(t) + \phi_2 y_2(t) + \dots + \phi_m y_m(t) = [\phi]\{y\} \quad (4.9)$$

4.2. Direkt İntegrasyon Metodu

Hareketin diferansiyel denklemi zaman ekseninde adım adım integre edilerek çözülür. Çözüm için çeşitli nümerik integrasyon algoritmaları kullanılır. Bunlardan bazıları Merkezi farklar, Ortalama ivme, Wilson ve Newmark’tır.

Hareketin diferansiyel denkleminin çözümüne Newmark integrasyon yöntemini uygularsak , aşağıdaki bağıntılar elde edilir:

$$[M]\{\ddot{u}_{t+\Delta t}\} + [C]\{\dot{u}_{t+\Delta t}\} + [K]\{u_{t+\Delta t}\} = \{F(t)\} \quad (4.10)$$

$$u_{t+\Delta t} = u_t + \dot{u}_t \Delta t + [(1/2 - \alpha)\ddot{u}_t + \alpha\ddot{u}_{t+\Delta t}]\Delta t^2 \quad (4.11)$$

$$\dot{u}_{t+\Delta t} = \dot{u}_t + [(1 - \delta)\ddot{u}_t + \delta\ddot{u}_{t+\Delta t}]\Delta t \quad (4.12)$$

α ve δ 'nın farklı değerleri için bağıntı, ortalama ivme, açık ve kapalı yöntemler arasında değişebilmektedir. Kapalı bir yöntem olan Newmark'ta kullanılan integrasyonun zaman adımları olarak Δt 'ler yeterince küçük seçilmelidir. Bundan amaç, yapının dinamik cevap frekansını, eğer kullanılmış ise temas algoritmasına ait frekansı, dalga yayılımı etkilerini, plastisite gibi doğrusal olmayan karakteristikleri yakalayabilmek içindir.

4.3. Mod Süperpozisyonu Ve Direkt İntegrasyon Metodlarının Karşılaştırılması

İki integrasyon metodu arasındaki farklar Tablo 4.1.'deki gibi özetlenebilir:

Tablo 4.1. ModSüperpozisyonu ile Direkt İntegrasyonMetodları Arasındaki Farklar [28]

Mod Süperpozisyonu	Direkt İntegrasyon
Hareketin denklemi bütünleşik değildir.	Hareketin denklemi bütünleşiktir.
Çözümü oldukça hızlıdır.	Çözümü zaman alıcı olabilir.
Sistemin cevabını bulmada birkaç mod yeterli ise verimlidir.	Birçok farklı problemde verimlidir.
Bir modal analizden gelecek özvektörlere ihtiyaç vardır.	Özvektörlere gereksinim yoktur.
Sadece doğrusal problemlerin çözümünde kullanılırlar.	Zamana bağlı analizlerde doğrusal olmayan problemler çözülebilir.
Gereksinim duyulacak mod sayısını belirlemek zordur. Az sayıda mod iyi yerdeğiştirme değerleri verebilir ancak bu da gerilme değerlerinde sorun yaşatabilir.	Çıkarılacak mod sayısını belirlemektense çözüm zaman adım büyüklüğünü(Δt) belirlemek daha kolaydır.

4.4. Kapalı(Implicit) ve Açık(Explicit) Zaman İntegrasyonu Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Zamana bağlı dinamik analizlerin çözümünde hem kapalı ve hemde açık zaman integrasyon metodları kullanılabilir. Bu metodlar arasındaki farklar özetle şöyledir(Tablo 4.2.):

Tablo 4.2. Kapalı ve Açık Zaman İntegrasyonu Metodları Arasındaki Farklar [28]

Kapalı Zaman İntegrasyonu	Açık Zaman İntegrasyonu
Matrisin tersini almak gerekir.	Matrisin tersini almak gerekmez.
Ortalama ivme ve yer değiştirmeler $t + \Delta t$ zamanında hesaplanır: $\{u_{t+\Delta t}\} = [K]^{-1}\{F_{t+\Delta t}^a\}$	Merkezi farklar metodu kullanılarak ivmeler t zamanında hesaplanır: $\{a_t\} = [M]^{-1}([F_t^{ext}] - [F_t^{int}])$ ki buradan hızlar ve yerdeğiştirmeler, $\{v_{t+\Delta t}\} = \{v_{t-\Delta t/2}\} + \{a_t\}\Delta t_t$ $\{u_{t+\Delta t}\} = \{u_t\} + \{v_{t+\Delta t/2}\}\Delta t_{t+\Delta t/2}$ Olur ki burada, $\Delta t_{t+\Delta t/2} = 0.5(\Delta t_t + \Delta t_{t+\Delta t})$ Ve $\Delta t_{t-\Delta t/2} = 0.5(\Delta t_t - \Delta t_{t+\Delta t})$
Doğrusal olmayan bağıntılar dengeleme için iteratif çözüm gerektirir(yakınsama problemleri vardır).	Doğrusal olmayan problemleri rahatlıkla çözebilir(yakınsama problemleri yoktur).
İntegrasyon zaman adımı Δt büyük tutulabilir ancak yakınsama problemleri göz önünde bulundurulmalıdır.	İntegrasyon zaman adımı Δt kritik zaman adımından küçük olmalıdır: $\Delta t \leq \Delta t^{crit} = \frac{2}{\omega_{max}}$
Δt 'nin küçük olmasını gerektiren durumlar dışında oldukça verimlidir.	İntegrasyon zaman adımı Δt küçük olmak durumundadır(genellikle 1×10^{-6} saniye civarındadır).
Genellikle atalet etkileri hesaba katılmaz.	Dalga yayılımı, şok yüklemeler, ve metal şekillendirme gibi yüksek dereceden doğrusal olmayan kısa süreli problemler için faydalıdır.

4.5. Açık Sonlu Elemanlar Metodu

Radioss, yapıların doğrusal olmayan davranışlarını yakalamak için yerdeğiştirme esasına dayalı, Lagrange, merkezi farklarla çalışan bir sonlu elemanlar formülasyonu kullanır. Bu formülasyonda potansiyel enerji eşitliğini belirlemede Cauchy'nin birinci hareket kanunu ve virtüel iş prensibi esas alınır. Potansiyel enerji denklemi, öncelikle sonlu elemanlar ağı ve şekil fonksiyonlarıyla uzayda diskritize edilmektedir. Sonrasında hareketin dinamik denklemlerini çıkarabilmek için açık merkezi farklar metodu kullanılarak zaman içerisinde diskritize edilir. Bu metodun ayrıntıları aşağıdaki referanslardan ve teori el kitabından da takip edilebilir [29-30-31].

BÖLÜM 5. KOLTUĞUN CAD MODELİ

Koltuğun bilgisayar destekli tasarım(CAD) modeli CATIA V5 tasarım programı ile hazırlandı. Koltuğun tasarımı esnasında daha önce tasarımı ve imalatı yapılmış olan aynı tarz bir koltuk tasarımı incelendi. Referans tasarımdaki bazı yapıların nedenleri sorgulanarak kendi tasarımıımız, referans tasarım ışığında adım adım inşa edilmiştir. Çalışmamızda yapısal tasarımı ve bunun sonlu elemanlar metoduyla analizi hedeflendiği için, koltuğun sünger yapısını sembolize eden yüzey çalışmasında bulunulmadı. Ayrıca yapılacak olan çalışma önden çarpma analizi olması ve bu çarpma türüne süngerin pozitif katkısının kayda değer derecede olmaması nedeniyle çalışma sünger olmadan gerçekleştirilmiştir. Koltuğun sabitlendiği zemin ve manken (ATD)'nin ayaklarının bastığı saç parçalar tasarlanarak sembolize edilmiştir.

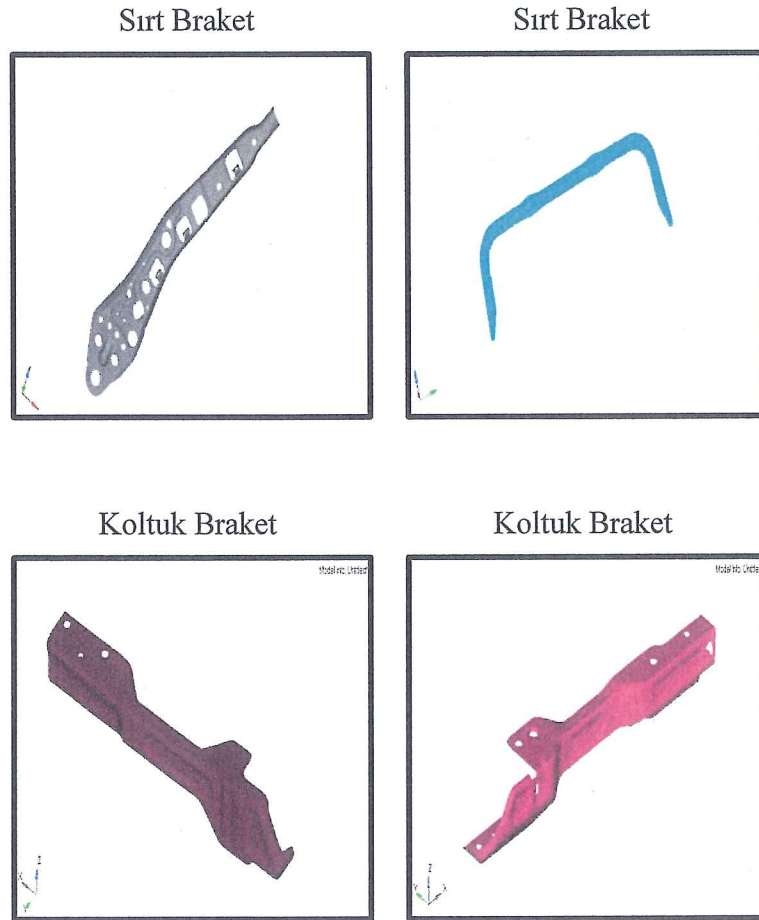
Çalışmada, iskelet yapının çarpışma esnasında üzerine gelecek yüklere karşı koyabilmesi hedeflenmiştir. Dolayısıyla oluşturulan bu yapıda ilk aşamada iskelet'in temeli atılmıştır. Sonraki aşamalarda ise tasarım-optimizasyon ve analiz birlikte ilerlemektedir. Yapıyı güçlendirmek adına 12 kez revizyon yapıldı(EK-2) ve onlarca simülasyon tekrarı gerçekleştirildi.

İskelet oluşturulurken, birbirinin simetrisi olan parçalardan biri tasarlanıp, gerekli düzlemler yardımıyla CATIA V5'in bünyesindeki montaj (assembly) modulünde bulunan aynalama(mirror) komutu yardımıyla simetrisi alınmıştır.

Tüm CAD tasarımı binek model bir araca ait H noktası referans alınarak tasarlandı. H noktası yönetmeliklerde bir yolcunun kalçasının ya da kuyruk sokumunun koltuk üzerindeki teorik konumu olarak tanımlanır. Bu konum genelde otomobil üreticileri tarafından belirlenir ve buna göre tasarım yapması istenir.

Çalışmada standart bir manken, insanı temsilen kullanılmıştır.

Koltuk iskeletinde zemine montaj elemanları dahil olmak üzere toplam 36 adet parça kullanılmıştır. Braketlerde dayanımı arttırmak için kaburga yapı eklenmiştir. Kaburgalar kuvvetin geliş yönü göz önüne alınarak şekillendirilmiştir. Bilindiği üzere aracın ağırlığı önem arz etmektedir. Bu bağlamda bilgisayar destekli analiz sonuçlarına muhalif olmayacak şekilde mümkün olduğunca boşaltmalar yapılmıştır. Boşaltmalar, boşaltmanın yapıldığı alana uygun olacak şekilde bazen çember, bazen dörtgen ve bazen de slot şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kaburgaların oluşturulması aşamasında ve boşaltmaların gerçekleştirilmesinde referans modelimizden sağlıklı bir model oluşturma adına kayda değer bir şekilde faydalanılmıştır. Aşağıda Şekil 5.1.'de CAD modelini oluşturduğumuz koltuğun detay parçalarından bazılarını görebilirsiniz.



Şekil 5.1. Koltuk metal bileşenlerinden birkaçı

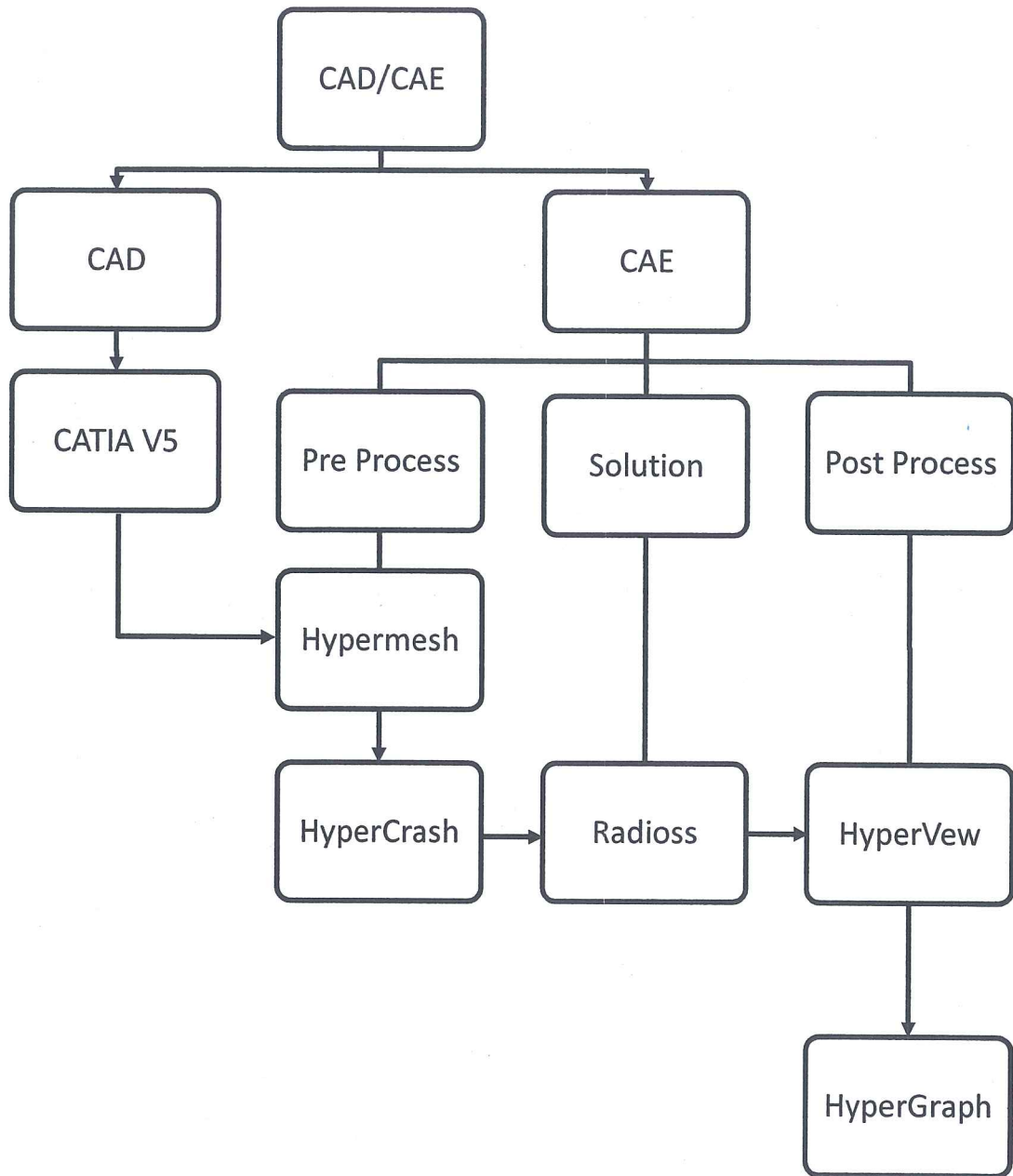
BÖLÜM 6. KOLTUĞUN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ

Bir sonlu elemanlar modelinin hazırlanması için ihtiyaç duyulan temel kaynak, herhangi bir CAD programında hazırlanmış geometrik bir modeldir. Model, dinamik analiz yapabilen bir sonlu elemanlar yöntemi(SEY) programında sonlu elemanlar modeline dönüştürülür. Ön işlemcinin fazı olan bu dönüştürme işleminden sonra bir çözücü yardımıyla dinamik analiz hesaplanır. Sonuçların yorumlandığı bir son işlemci yardımıyla, çözücüde elde edilen sonuçlar işlenerek kritize edilir. Aşağıda, çalışmamızda kullanılan bu programlar bir akış şeması halinde verilmiştir (Şekil 6.1.).

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında Şekil 6.1.'deki bilgiler ışığında, aşamalar kabaca şu şekilde özetlenebilir:

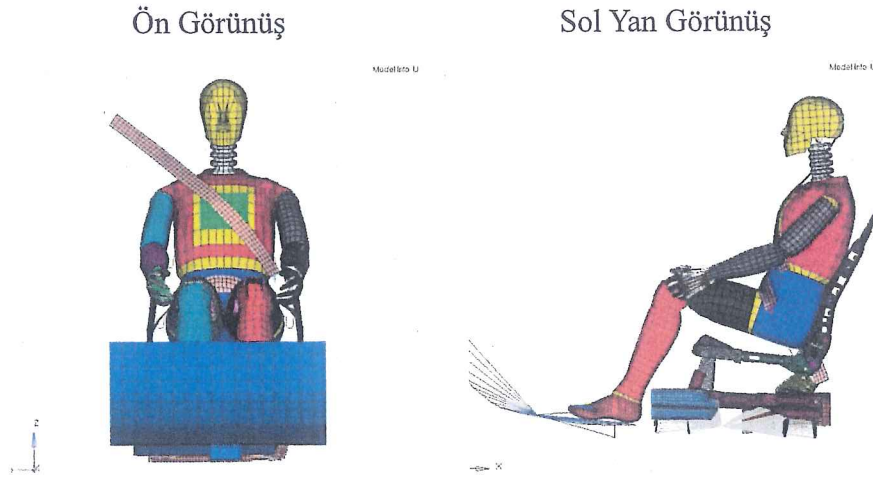
Hypermesh, CATIA V5 data kullanım desteği sunduğu için CAD data direkt olarak import edilebilir. Böylece, Hypermesh ara yüzüne girmiş olunur.

Yapının tamamı sac-metal yapıda olduğundan, her parçanın orta yüzey (midsurface)'i alınarak kabuk (shell) eleman tipiyle sonlu elemanlar modeli yapılandırılır. Her bir parçanın orta yüzeyi oluşturulduktan sonra ağ örme yani mesh atma işlemi gerçekleştirilir. Her bir parça için özellikleri (property) tanımlanır. Property malzemeye ait kalınlık bilgisinin barındırıldığı yerdir.



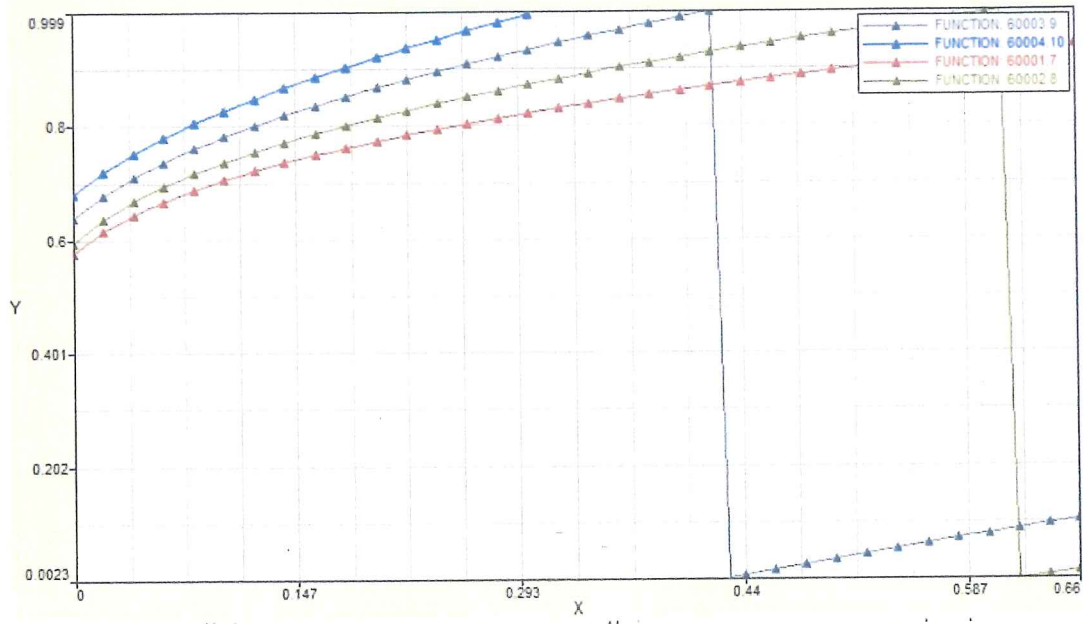
Şekil 6.1. FEA Modeli Hazırlanırken İzlenen Yol

Aşağıda Şekil 6.2.'de yaptığımız çalışmamızın mesh atılmış haliyle sonlu elemanlar modelinin ön ve yan görüşleri; Şekil 6.4.'te ise çalışmamıza ait sonlu elemanlar modeli perspektif görüş olarak üzerinde manken olmadan verilmiştir. Ayrıca koltuğa ait sonlu elemanlar modelinin perspektif görüntüsü EK-1'de verilmiştir.

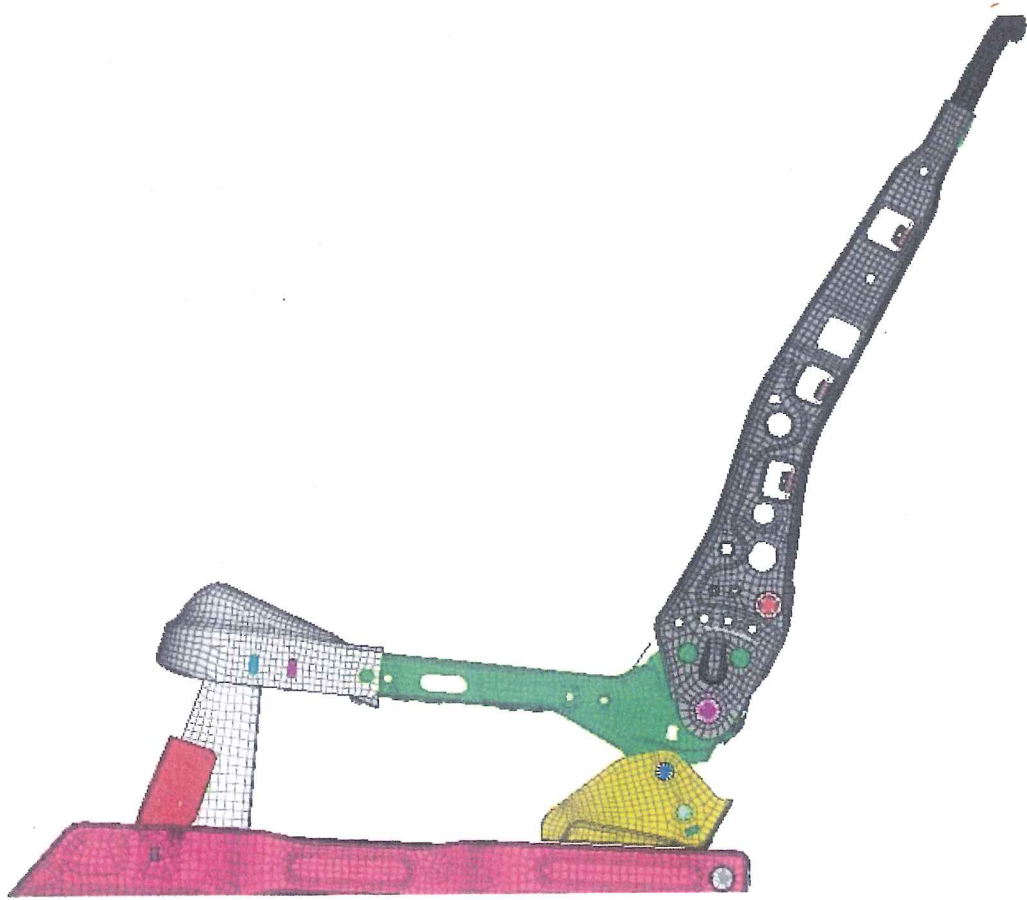


Şekil 6.2. Koltuğa Ait Sonlu Elemanlar Modelinin Farklı Açılardan Gösterimi

Property'ler tanımlandıktan sonra malzeme tanımlamaları yapılmaktadır. Malzeme bilgileri elle girilebileceği gibi hazır olan bir malzeme eğrisi içeri çekilerek'te girilebilmektedir. Bu çalışmada Martur Seating&Interior firmasının kullandığı bazı hazır malzeme eğrileri kullanılmaktadır. Radioss Law 36 malzeme modelini kullanılmaktadır. Bu malzeme modeline göre elastik kısım Young modülüyle, plastik kısım ise çekme testinden elde edilen gerilme-gerinme diyagramının plastik kısmının girilmesiyle hesaplanmaktadır. Malzemenin elastik kısmı elastik modül (E) ve poisson oranı (η) değerleri girilerek tanımlanır. Malzemenin sertlik davranışı verilen bir gerinme oranı için plastik gerinme fonksiyonu ile tanımlanır. Farklı gerinme oranları için farklı plastik eğri tanımlaması mümkündür. Şekil 6.3.'te zemine yanal braketlerin birkaçında kullanılan gerilme-gerinme eğrileri verilmiştir. Burada görülen malzemenin plastik kısmıdır. Elastik kısım doğrusal kabul edildiğinden plastik kısım gösterilmiştir. Malzeme bilgilerinin tanımlanması sonrasında rijit bağlantı elemanları tanımlanır.



Şekil 6.3. DP 600 malzemesine ait gerilme(kPa)-gerinme eğrileri



Şekil 6.4. Koltuğun Sonlu Elemanlar Modeli

Çalışmada, civata-somun elemanları seçilip bunların dayanımı kontrol edilmedi. Bu bağlantı yerlerinde yay(spring) eleman tanımlaması yapıldı. Yani o noktalardan bir deformasyon olma ihtimali yok olarak tanımlandı. Burada amaç, farklı civata-somun bağlantısı deneyip zaman harcamak yerine spring eleman sayesinde o bağlantı noktasına gelen yükü tespit edip ona göre civata ya da somun eleman seçmek.

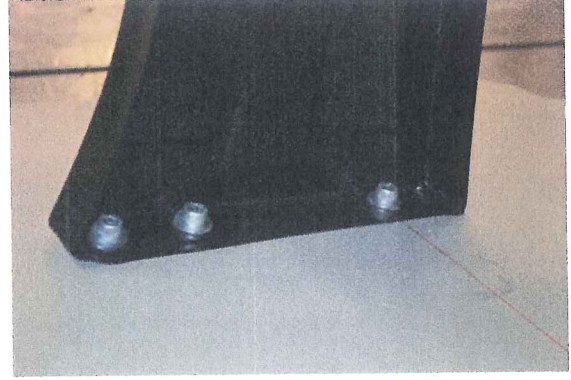
Tablo 6.1.'de araç koltuğu saç parçalarının optimizasyonu esnasında yukarıda kullanmış olduğumuz metodun başka bir çalışmada plot uygulaması, hesaplanan yüklere göre seçilen civatalar ve buna ait fiziksel test sonuçları görülmektedir.

$Factor\ of\ Safety = S_y / (\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2}$ müsadde edilebilir stress sütununda dahil etmekteyiz. $\sigma_{VonMises}$, maksimum müsadde edilebilir gerilme(max. allowable stress) değerinden küçükse seçilen civata güvenilir olarak yorumlanmaktadır. Bu bilgiler ışığında civatalar için eşdeğer gerilmeler hesaplanmış ve seçilen civataların gelen yüklere göre güvenilir çalışma yüklerinde kaldığı anlaşılmıştır(Tablo 6.1.).

BOLT ID	Size [Metric]	Bolt norm 1	Bolt norm 2	Ftension [daN]	Fshear1 [daN]	Fshear2 [daN]	GVonMises [daN/mm²]	Max allowable stress, Uts [daN/mm²]	Status
SAG ALT ARKA	10	10	9	4064,00	39,00	64,00	73,45	104,00	OK
SAG ALT ORTA	10	10	9	2925,00	344,00	1031,00	52,61	104,00	OK
SAG ALT ON	10	10	9	500,00	250,00	750,00	22,35	104,00	OK
SOL ALT ARKA	10	10	9	2522,00	282,00	269,00	43,62	104,00	OK
SOL ALT ORTA	10	10	9	631,00	277,00	1618,00	46,54	104,00	OK
SOL ALT ON	10	10	9	1181,00	129,00	306,00	20,56	104,00	OK

Tablo 6.1. Taban Bağlantı Civata Yükleri İçin Dayanım Tablosu [32]

Aşağıda Şekil 6.5.'de civata-somun yaklaşımımızın doğruluğunu gösteren Emniyet Kemer Testi sonrası zemin bağlantı civatalarının durumuna ait resim verilmiştir.



Şekil 6.5. ECE R14 Emniyet Kemer Test Sonrası [32]

2 tip temas yüzeyi (contact surface) tanımlandı. Birisi çoklu kullanım (multi usage) olarak tanımladığımız Type 7'dir. Diğeri ise kenardan kenara (edge to edge) olarak tanımladığımız Type 11'dir. Type 7 en çok kullanılan temas yüzeyi tiplerinden birisidir. Her bir temas bir eleman olarak davranır. Type 11 kenardan kenarada ise kirişlerin, bar ve yayların kenar-kenara tanımlanması için kullanılmaktadır.

Sonrasında data Hypermesh'ten .Rad dosyası olarak dışarı çıkarılır, HyperCrash'te içeri alınarak sınır şartları ve yüzey kontakları tanımlanır. Burada önemli bir nokta Hypermesh'te hangi birim sisteminde çalışılmışsa HyperCrash'e alınırken o birim sistemi tanımlamalıdır.

İvmelenme ya da hızlanma fonksiyonunu oluşturmak Hypercrash'te değerleri elle girerek gerçekleştirilebilmektedir. Ya da daha önceden hazırlanmış bir ivmelenme-hızlanma fonksiyon datası ya da müşteriden alınan bu bilgileri içeren bir data programın içerisine çekilebilmektedir. Çalışmamızda daha önce hazırlanmış aynı tarz

bir aracın testinde kullanılmış ivmelenme fonksiyonu program içerisine çekilerek kullanılmaktadır.

Son olarak Radioss'ta datayı çözme işlemi başlatılır.

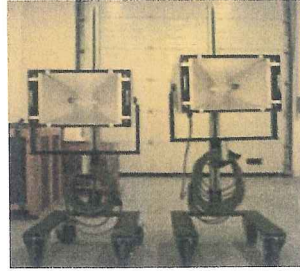


Şekil 6.6. ODTÜ-Biltir Test Center

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması hakkında bilgi verilirken bir sonraki aşaması olan fiziksel testin gerçekleştirilmesi hakkında temel bilgi vermek de faydalı olacaktır. Fiziksel testin yapılacağı test merkezi ile diyaloga girilerek kızak (sled) üzerindeki bağlantı noktalarının teknik resmi temin edilerek bu bağlantı noktalarının üzerine uygun plaka tasarlanır. Bunda amaç koltuğun bağlantı noktalarına uygun bağlantı noktalarının oluşturulmasını sağlamaktır. Yukarıdaki resimde ODTÜ-BİLTİR'e ait bir çarpışma testi laboratuvar ortamı resimlenmiştir(Şekil 6.6.). Kızak üzerine bağlanmış plaka üzerine sabitlenmiş koltuğun duruş yönü bize çarpmanın önden mi arkadan mı yapıldığı hakkında bilgi vermektedir. Yukarıdaki resimde görüldüğü üzere piston kızağa çarptığında koltuğa ve manken'e duruş durumuna göre arkadan çarparak etki etmektedir. Bizim sanal ortamdaki testimizde önden çarpma simüle edilecektir.

Fiziksel çarpışma testleri, araç sistem ve bileşenlerini geliştirme çalışmalarının doğal bir parçasıdır. Laboratuvarda veriler şiddetli ışık altında yüksek hızlı dijital video kameralar yardımıyla yapılmaktadır. Test esnasında gözlenmek istenilen bileşenlerin

davranışını yorumlamak için ilave kamera konumlandırılabilir. Kullanılan bir program sayesinde kamera kayıtları analiz edilerek çarpışmada elde edilen hareketin hızı ve ivmesi çözümlenmektedir. Şekil 6.7.'de test esnasında kullanılan bileşenlerden bazıları gösterilmiştir.



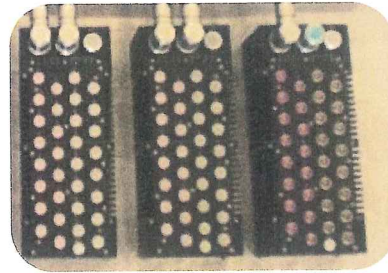
Taşınabilir Tripods



Sabit Işıklar



Yüksek Hızlı Kamera



Yüksek Hızlı Veri Toplama
Algılayıcısı

Şekil 6.7. Fiziksel çarpışma testlerinde kullanılan bileşenlerden bazıları

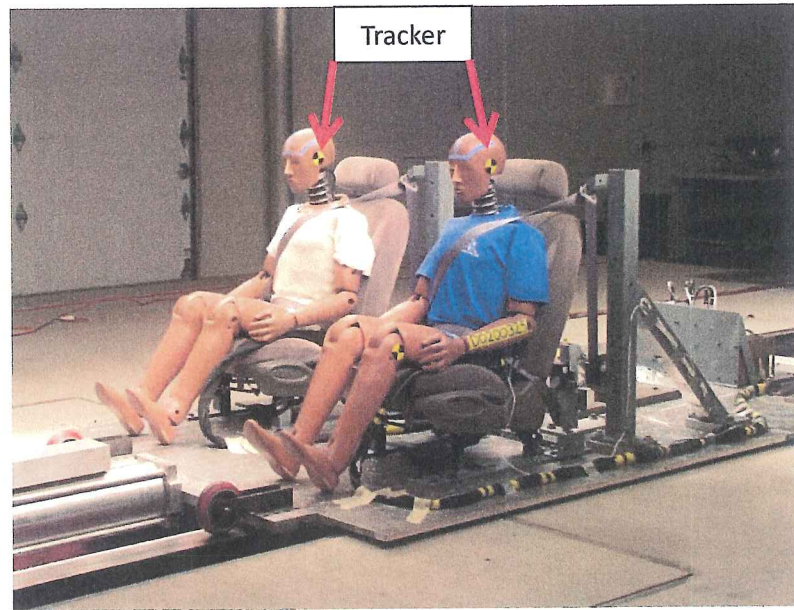
Genel olarak hidrolik hızlandırma tipli Hasarsız Çarpışma testi cihazı 145 bar'a kadar N_2 gazı ve hidrolik yağı basarak ise 290 bara kadar akümülatör içerisinde basınç oluşturabilmektedir.

Yukarıda bahsetmiş olduğumuz plaka, koltuk, koltuk bağlantı elemanları ve mankenin toplam ağırlıkları sistem üzerine yük olarak tanımlanarak ve kazağın üzerine bu ağırlıkları simule edecek ağırlıklar eklenerek 5-6 kez silindire boş vuruş yaptırılarak ve her bir vuruş sonrası doğrulama faktörü uygulanılarak hedef yüke

ulaşılır. Bu çalışma sınır koşul testi olarak tanımlanmaktadır. Gerçek test, hedeflenen çarpma etkisine ulaşıldıktan sonra gerçekleştirilir. Koltuğun zemine bağlantısındaki sıkma değerleri araç üzerine montajda hedeflenen değerleri olabildiğince simüle edebilmeli. Ancak bu sayede çarpma etkisiyle gerçekte olabilecek fiziksel davranışı simüle edebiliriz. Otomobil koltukları için gerekli standartlar ECE-R17'de tanımlanmıştır. Mankenin duruş pozisyonu, emniyet kemerinin bağlantı pozisyonu vb. ayrıntılar regülasyonda tanımlandığı gibi gerçekleştirilmelidir.

Silindirin vuruşu sonrasında ivmelenen kızağın altında ivme ölçer ve hidrolik fren sistemi bulunmaktadır. Silindirin kızağa uygulayacağı çarpma maksimum 100 ms bir zaman alıyor. Frenleme basıncını 60 yada 100 bar gibi kendi verdiğimiz bir değeri girerek tanımlanabilmektedir.

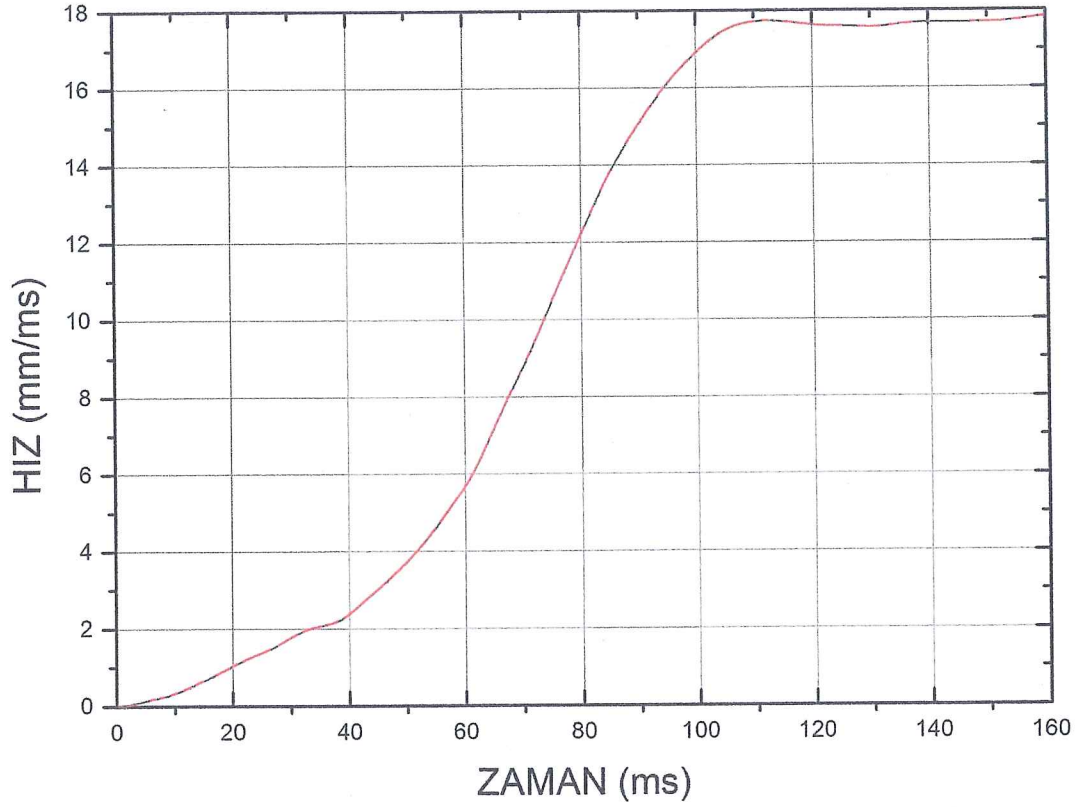
Kameralar ve sarı-siyah etiketler (trackerlar) yardımıyla ilk pozisyon ve son pozisyon, koltuk sırt açısı ne kadar değişti ve bu değişim için geçen zaman nedir hesaplanabilmektedir(Şekil 6.8.).



Şekil 6.8. Tracker' lar ve test standı

Ayrıca manken üzerinde bir de veri toplama sistemi bulunmaktadır. Yazılımlar yardımıyla donanım üzerinde ivme ve deplasman gibi kuvvetler ölçülebilmektedir.

6.1. Modele Ait Test Girdileri: Analiz Sınır Koşulları



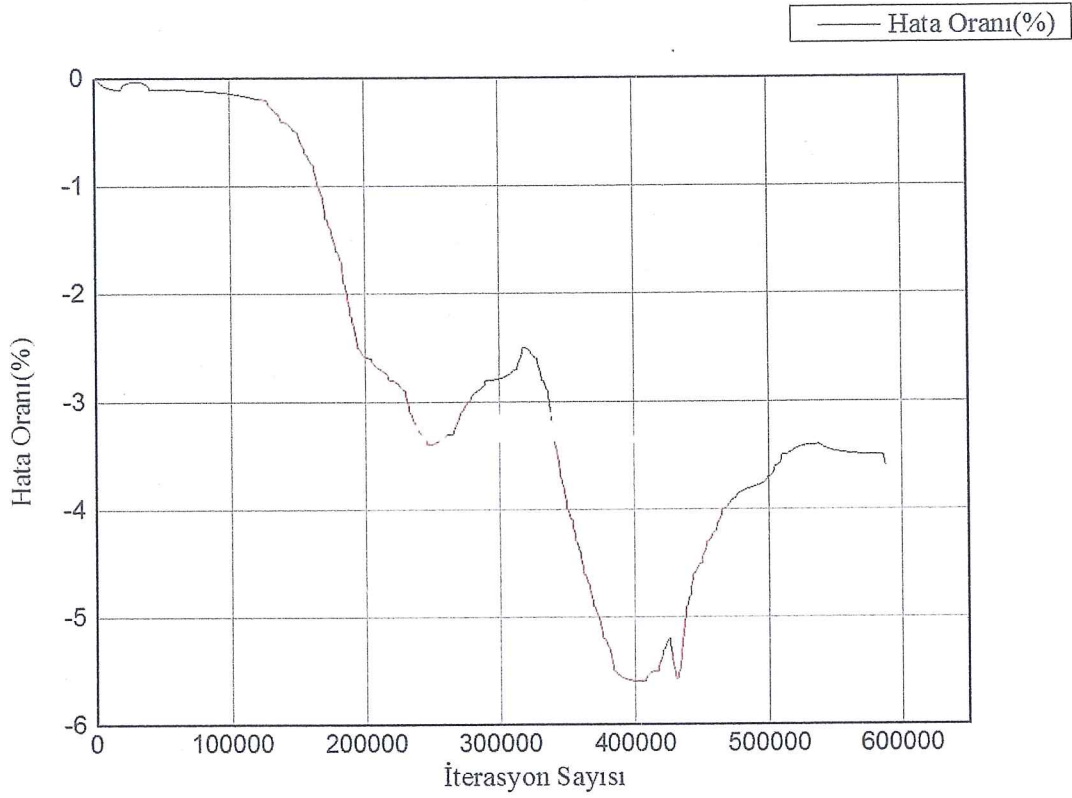
Şekil 6.9 Test hız-zaman grafiği

Yukarıdaki grafikte görülen hızlanma eğrisi kızağın dolayısıyla koltuğun çarpışma etkisiyle sahip olmasını istediğimiz hızı ve zamanı göstermektedir. Bu hız km/h cinsinden yaklaşık 64 km/h bir hıza tekabül etmektedir(Şekil 6.9.).

6.2. Modele Ait Simülasyon Test Çıktıları: Analiz Sonuçları

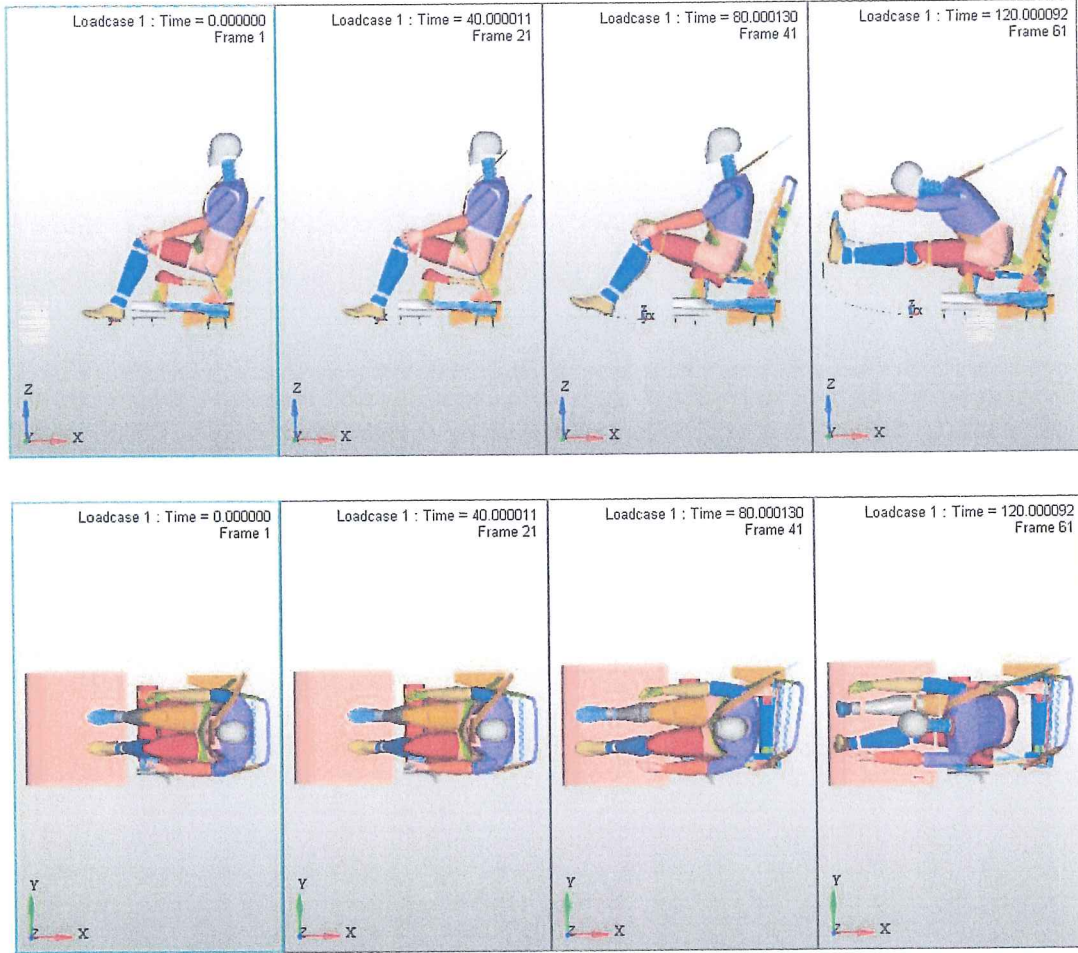
Radioss FEA analizi esnasında her bir iterasyon adımının doğruluğunu oransal olarak hesaplayarak bize çözümün dolayısıyla girdilerin ve sınır koşullarının doğruluğu hakkında bilgi vermektedir. Bu oranda kritik değer $\pm\%10$ olarak tanımlanmaktadır.

Dolayısıyla yaptığımız çalışmada çözüm esnasında hata miktarını sorgulayarak, yapılan çalışmanın doğruluğa yakınlığının kabul edilebilir seviyede olup olmadığı görülebilmektedir. Aşağıdaki grafikten, yaptığımız çalışmada hata miktarının sınır değerler aralığında olduğu ve dolayısıyla yaptığımız analizin gerçeğe yakın bir sonuç çıkardığı bilgisi elde edilebilmektedir(Şekil 6.10.).

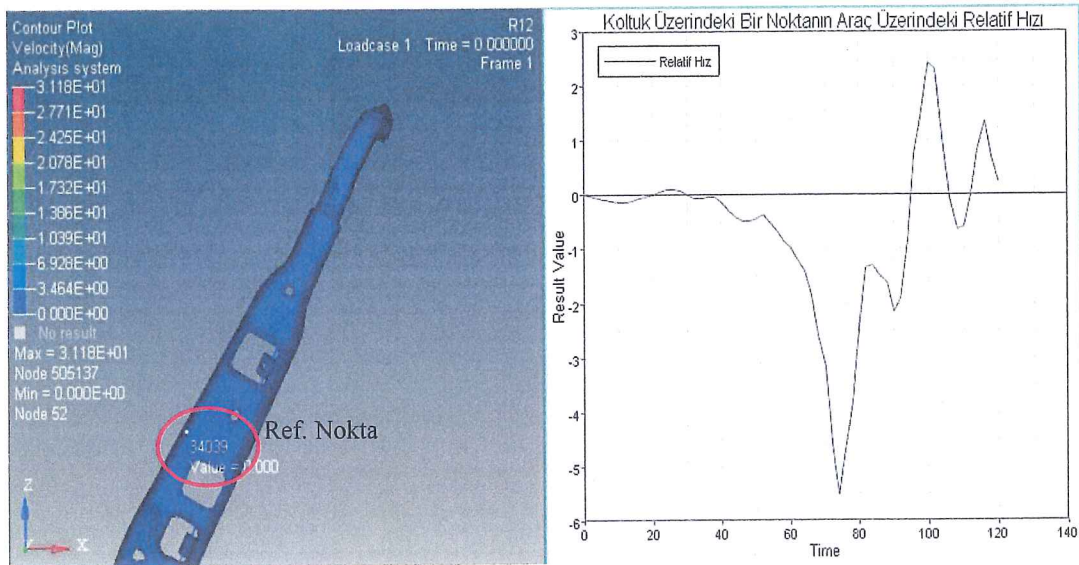


Şekil 6.10. Convergence(yakınsama) Grafiği

Aşağıda, farklı kare (frame)'lerde koltuğun ve manken(dummy)'nin davranışlarına ait fotoğraflar görülmektedir(Şekil 6.11.).



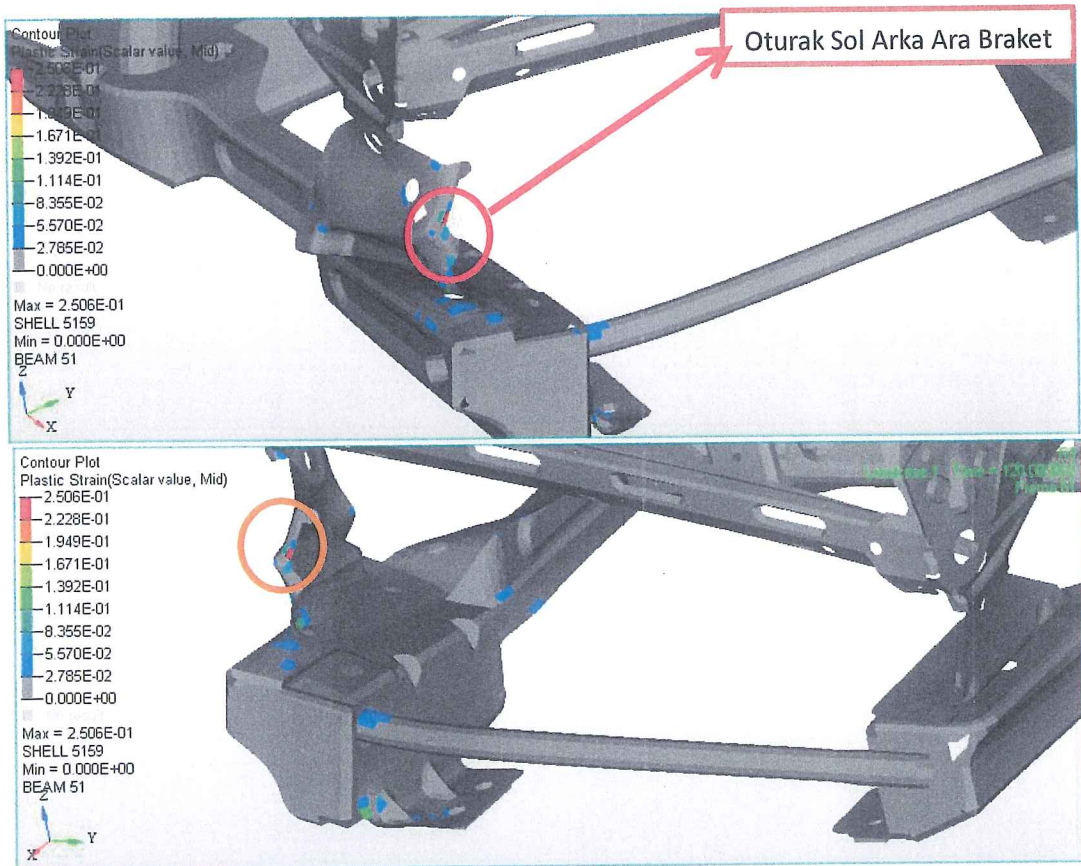
Şekil 6.11. Koltuk ve dummy'nin farklı zamanlardaki durumu



Şekil 6.12. Bir noktanın araç üzerindeki relatif hızı

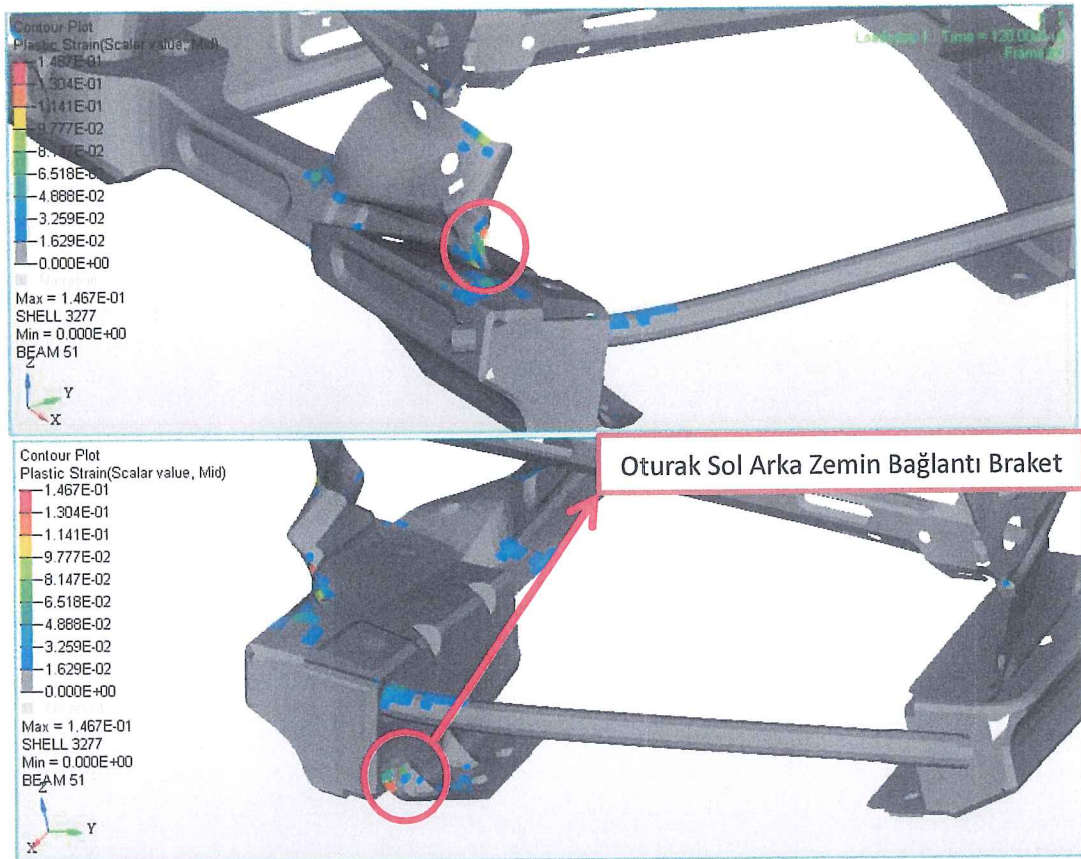
Yukarıda koltuğun sırt braketlerinden birisi üzerinde alınan noktanın, araç üzerinde darbe etkisi sonrası sahip olacağı relatif hız görülmektedir. Buradaki (-) hızlanma çarpma yönünün aksine hareketi, (+) hızlanma ise çarpma yönü doğrultusundaki hızlanmayı göstermektedir(Şekil 6.12.).

Aşağıda farklı revizyonlara göre nihai sonuçlara ulaşılırken atılan bazı adımlar gösterilmektedir. Çalışmamızın başından sonuna kadar yapılan tüm değişiklikleri burada anlatmamız ya da resimlememiz zor olacağından, çalışmamız belli bir olgunluğa geldikten sonra yapmış olduğumuz revizyon adımlarına EK-2'den ulaşabilirsiniz. Aşağıda revizyon adımlarının bazılarından bahsedilmektedir.



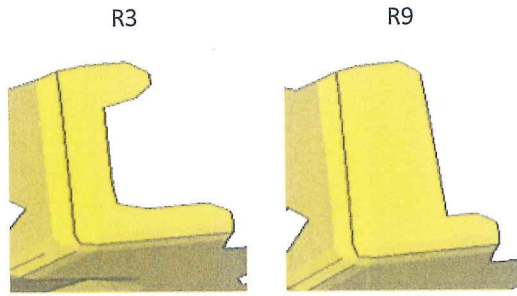
Şekil 6.13. R5 Simülasyon Sonuçlarına Plastik Gerilme

Yukarıdaki Şekil 6.13.'de Revizyon 5'e ait analiz sonuçlarına bakarsak 2 önemli sorun görülmektedir. Bunlardan birisi maksimum plastik gerilme(max. plastic strain) %25'in üzerindedir. Oysa %15'in altında olmalıdır. Diğer sorun ise turuncu daire ile çerçevelenmiş sol arka ara brakete ait plastik gerilmenin yırtılma oluşturduğu noktadır. Her malzeme için %15'lik uzama değeri sınır olmamakla birlikte biz çalışmamızda kullandığımız malzemeler için %15'lik bir plastik gerilme değerini referans alıyoruz. Bu %15'lik plastik gerilme, akma noktasından sonra %15'lik uzama şeklinde yorumlanabilir. Bilindiği üzere plastik gerilme alanı bizim deformasyonu görebildiğimiz alandır. Dolayısı ile sınır değerden ne kadar uzaklaşırsak deformasyon kalıcı plastik şekil değiştirmenin dışında yırtılma ya da kopma riski taşıyacaktır.

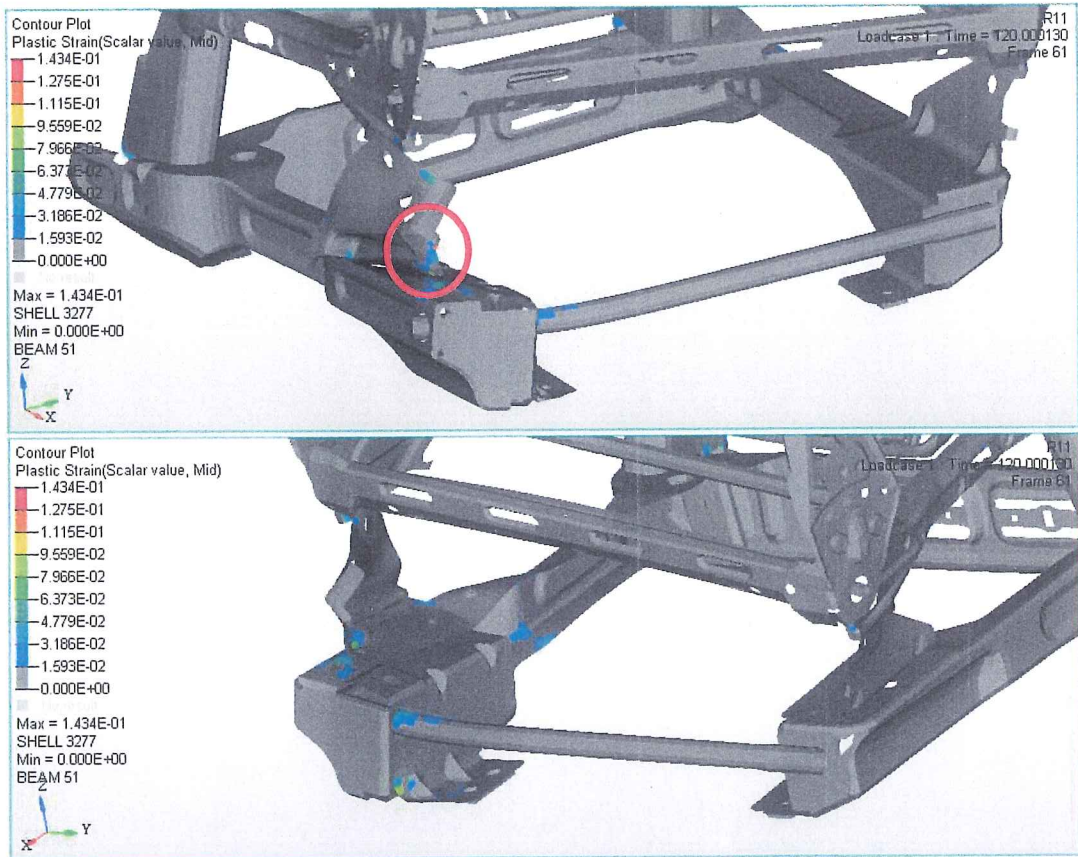


Şekil 6.14. R9 Simulasyon Sonuçlarına Göre Plastik Gerilme

Şekil 6.14.'de gösterilen revizyon 9 analiz sonuçlarını elde etmenin öncesinde R5'te görülen plastik şekil değişimi sonucu yırtılma riski bulunan bölgede küçük çaplı bir tasarım değişikliğine gidilmiştir(Şekil 6.15.). Bu değişikliklik doğrultusunda bir miktar daha güçlenen braketle yapısal düzelmeler görülmüş, braketten gelen yükler sonucu oluşan plastik gerilmede azalma sağlanmış, %14'lere yani toplam plastik gerilme oranı kabul edilebilir seviyeye çekilebilmiştir. Bununla birlikte güçlenen yapı zemin bağlantı braketlerinden birisine gelen plastik gerilmenin artmasına neden olmuştur.

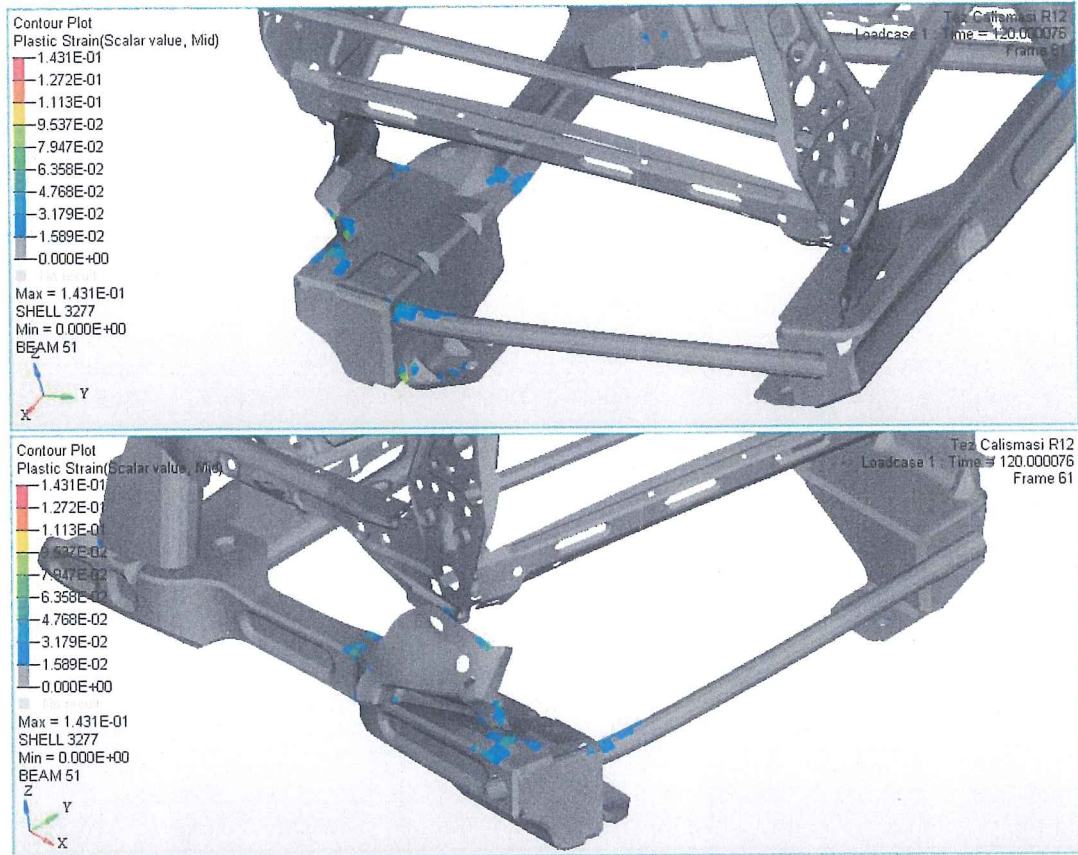


Şekil 6.15. R9 Simülasyonu Öncesi Yapılmış Tasarım Değişikliği



Şekil 6.16. R11 Simülasyon Sonuçlarına Göre Sonuçlar

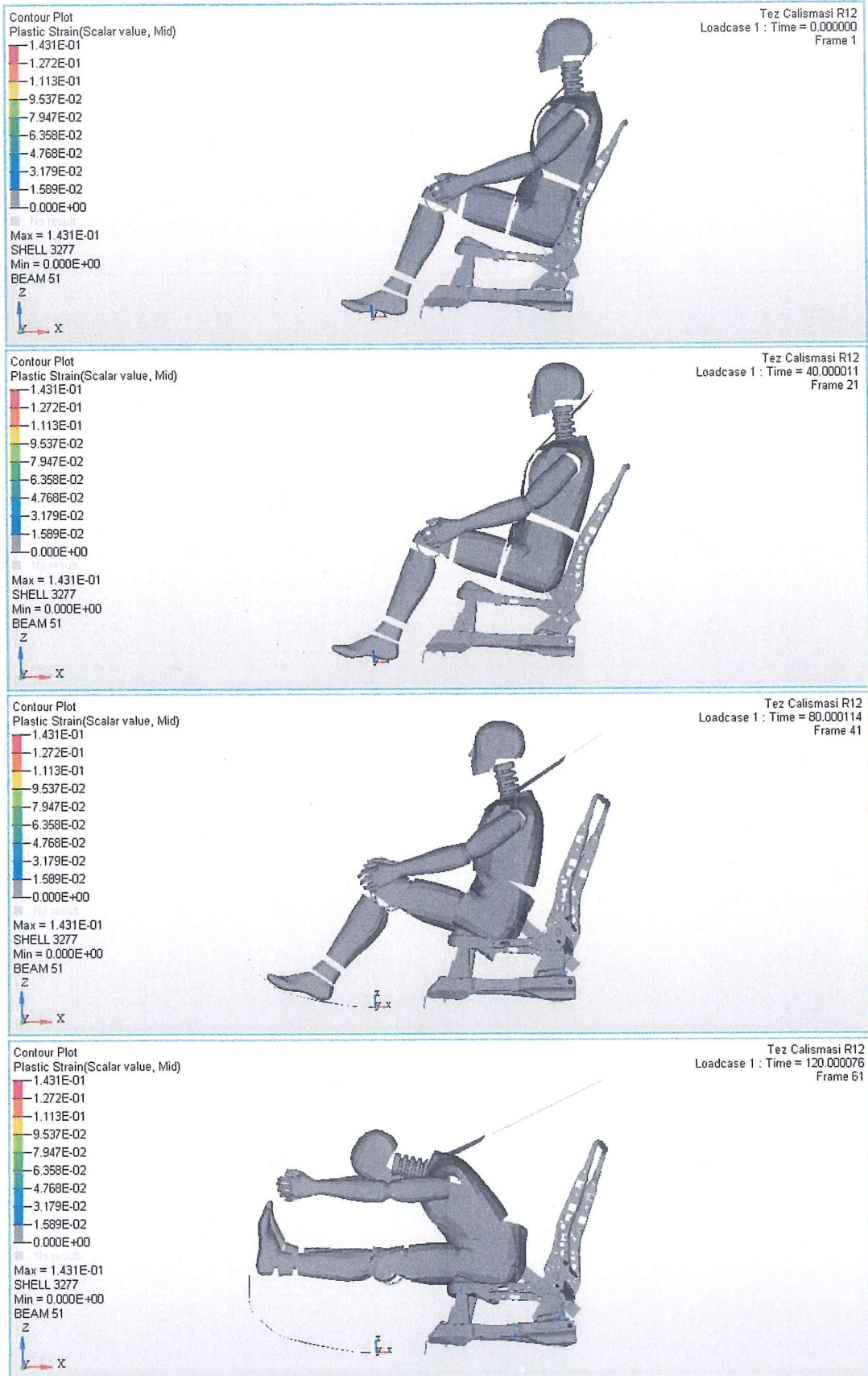
R11'de R9'dan gelen riskli plastik gerilme miktarını düşürmek için oturak sol arka ara braketten malzeme değişikliğine gidilmiştir. R9'da sol arka zemin bağlantı braketinde yırtılma riski görülen braketten güvenilir bir seviyeye çekilmiştir. Ayrıca toplam plastik gerilme miktarında bir miktar daha düzelme görülse de işaretli braket için yırtılma riski bertaraf edilememiştir.



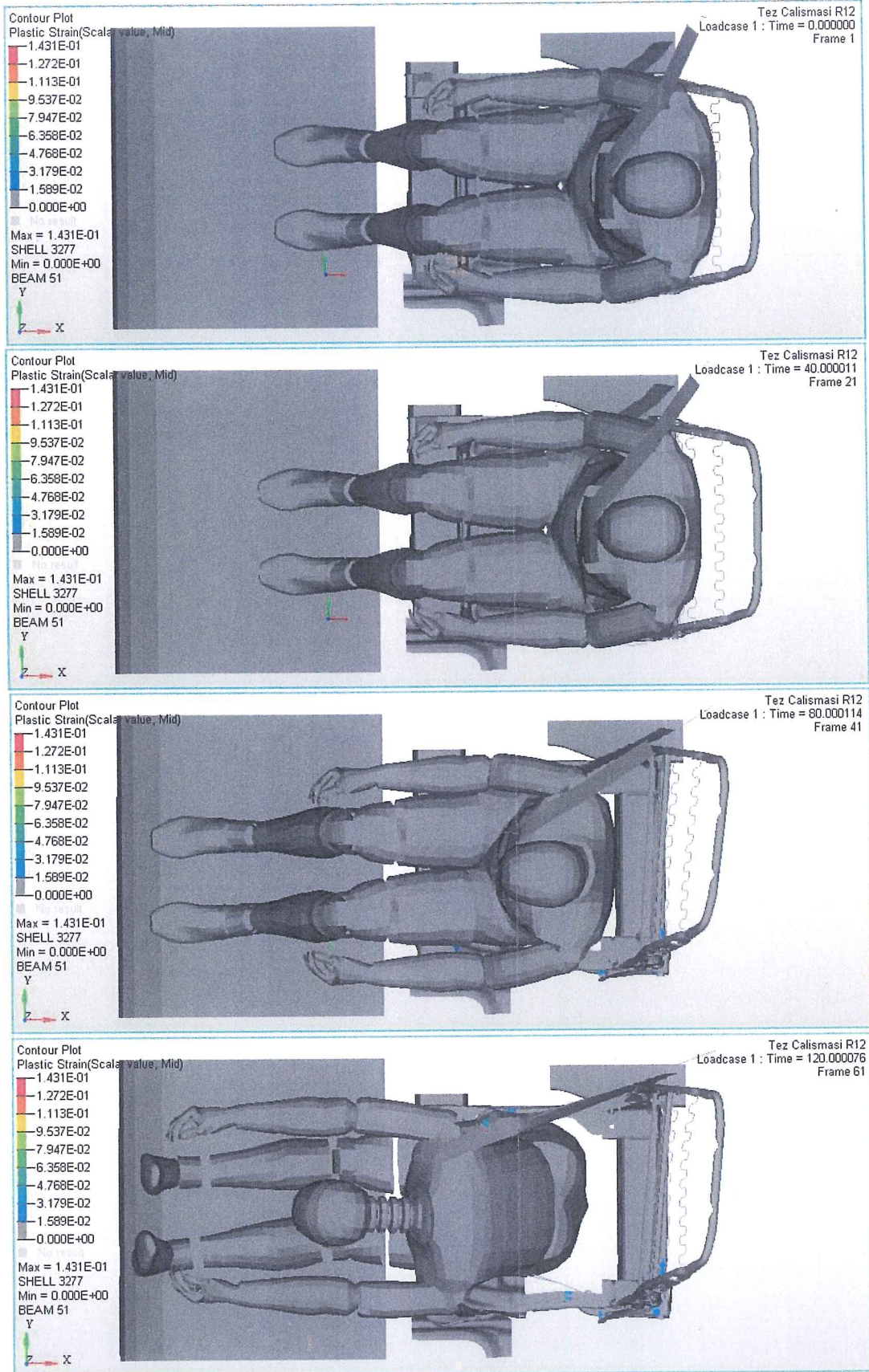
Şekil 6.17. R12 Simulasyon Sonuçlarına Göre Sonuçlar

Revizyon 12'ye ait daha önce problem algıladığımız noktaları gözlemlediğimizde, braketlerde plastik gerilmenin etkisiyle yırtılma riskinin ortadan kaldırıldığı görülmektedir. Bununla birlikte maksimum plastik gerilme miktarı bir miktar daha düşürülerek kabul edilebilir sınırlar içinde bulunduğu görülmektedir(Şekil 6.17.).

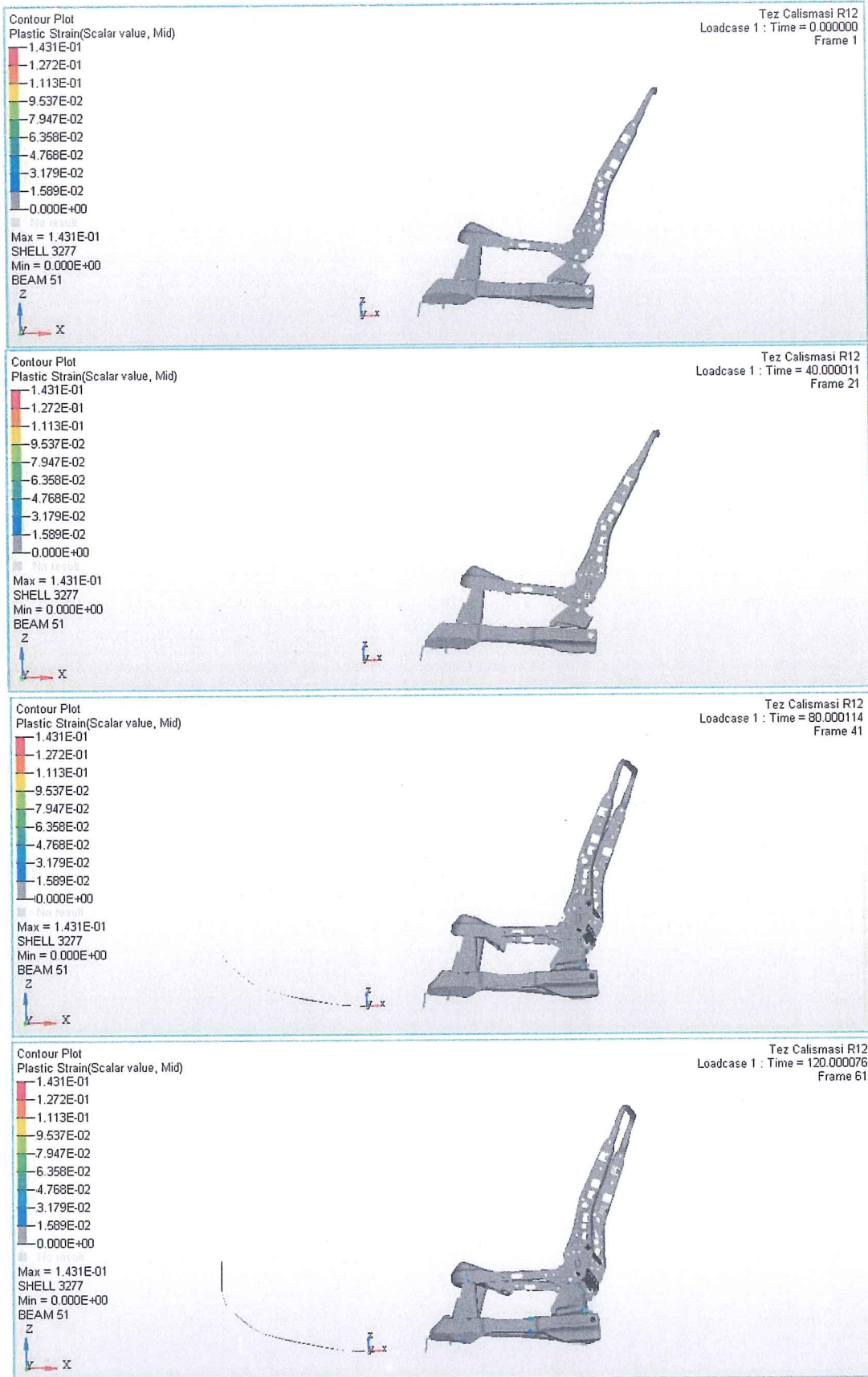
Bilindiği gibi üzerinde manken bulunan bir koltuğun teste tabi tutulması sonucu meydana gelecek zorlama daha büyük olmaktadır. Aşağıda ilk olarak sol yan görünüş(Şekil 6.18.) ve üst görünüşler(Şekil 6.19.) ile manken koltuk üzerinde gösterilerek verilmiştir. Sonrasındaki görünüşlerde, hesaplamalar manken ile yapılmış olmasına rağmen deformasyonu görebilme kolaylığı nedeniyle manken gizlenmiştir. Çeşitli açılarından verilen sonuçlarda görüldüğü üzere çarpışma sonucu kalıcı şekil değişimi gerçekleşmekte, ancak herhangi bir kopma görülmemektedir. Koltuk üzerine gelen yükleri etkisi altında oluşan deformasyon kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.



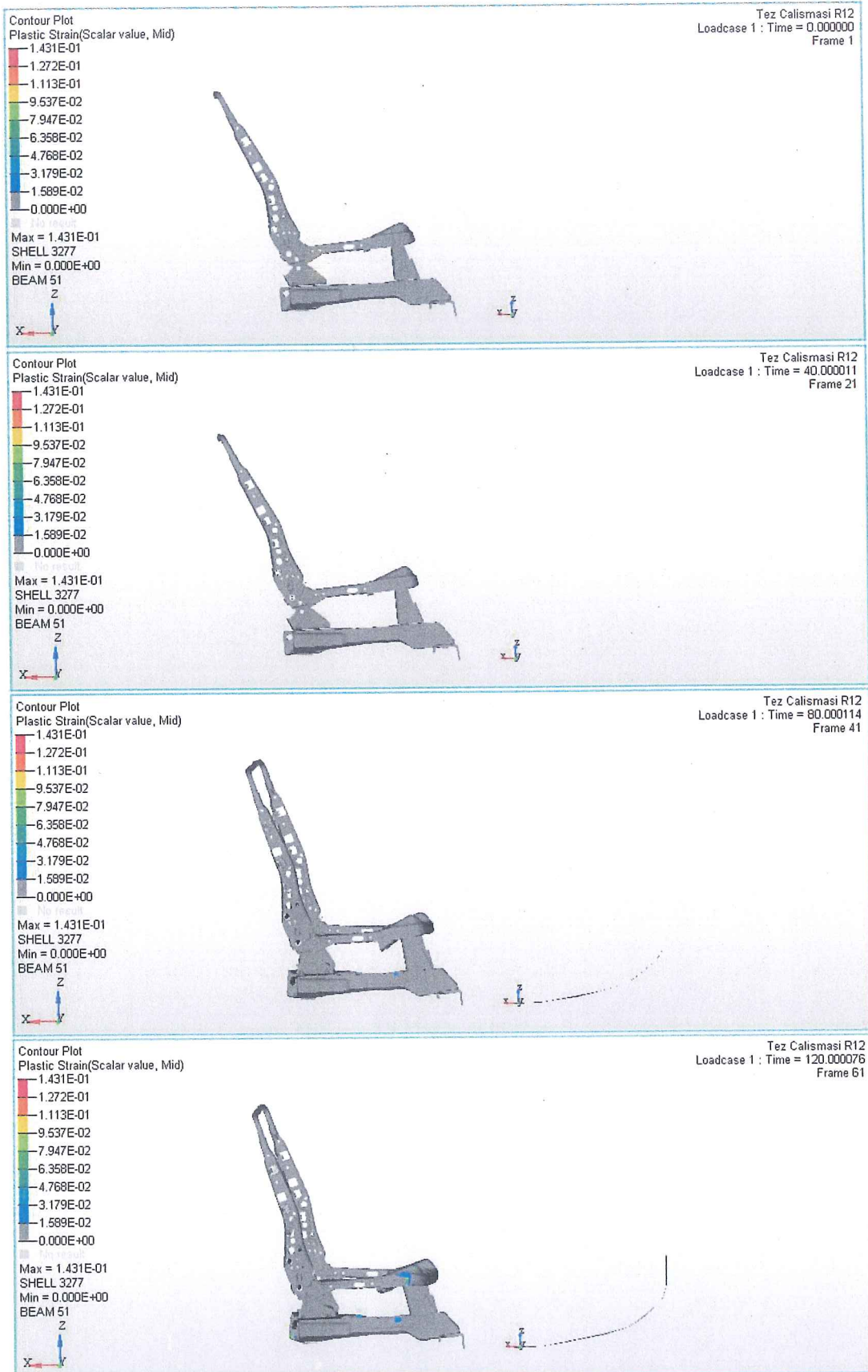
Şekil 6.18. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk ve dummy üzerinde plastik zorlanma-sol yan görünüş



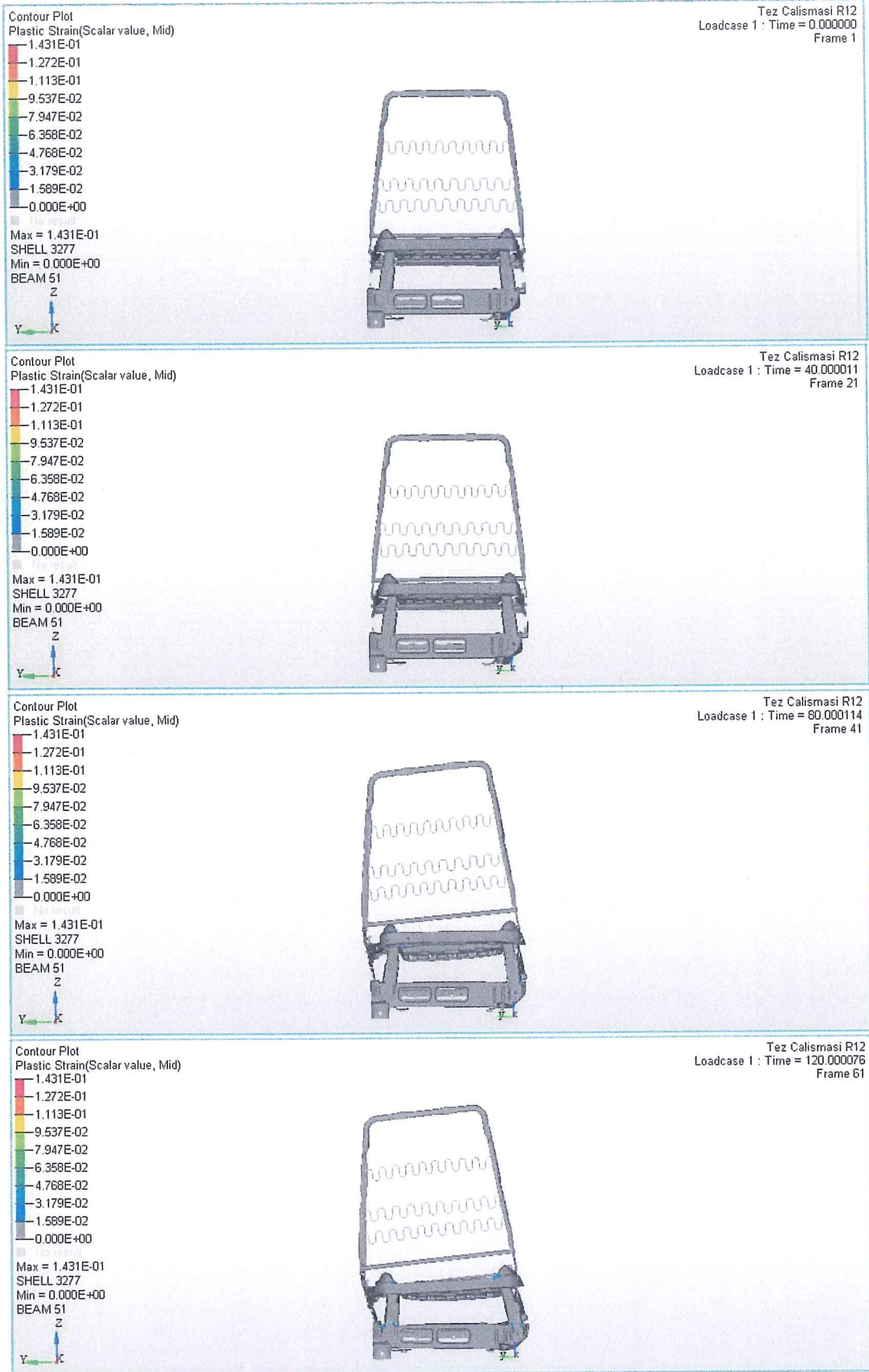
Şekil 6.19. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk ve dummy üzerinde plastik zorlanma-üstten görünüş



Şekil 6.20. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma-sol yan görünüş



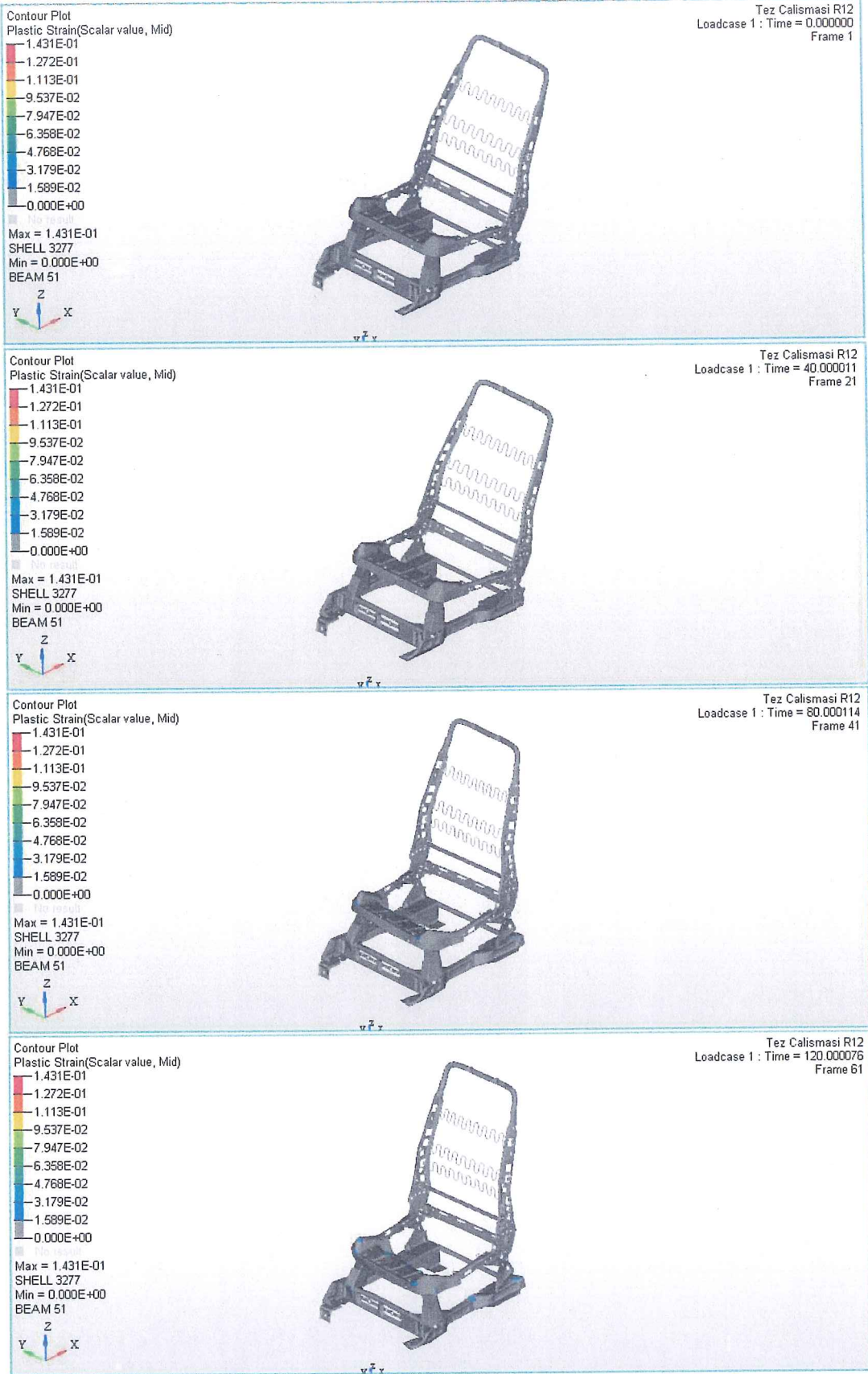
Şekil 6.21. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma-sağ yan görüntüş



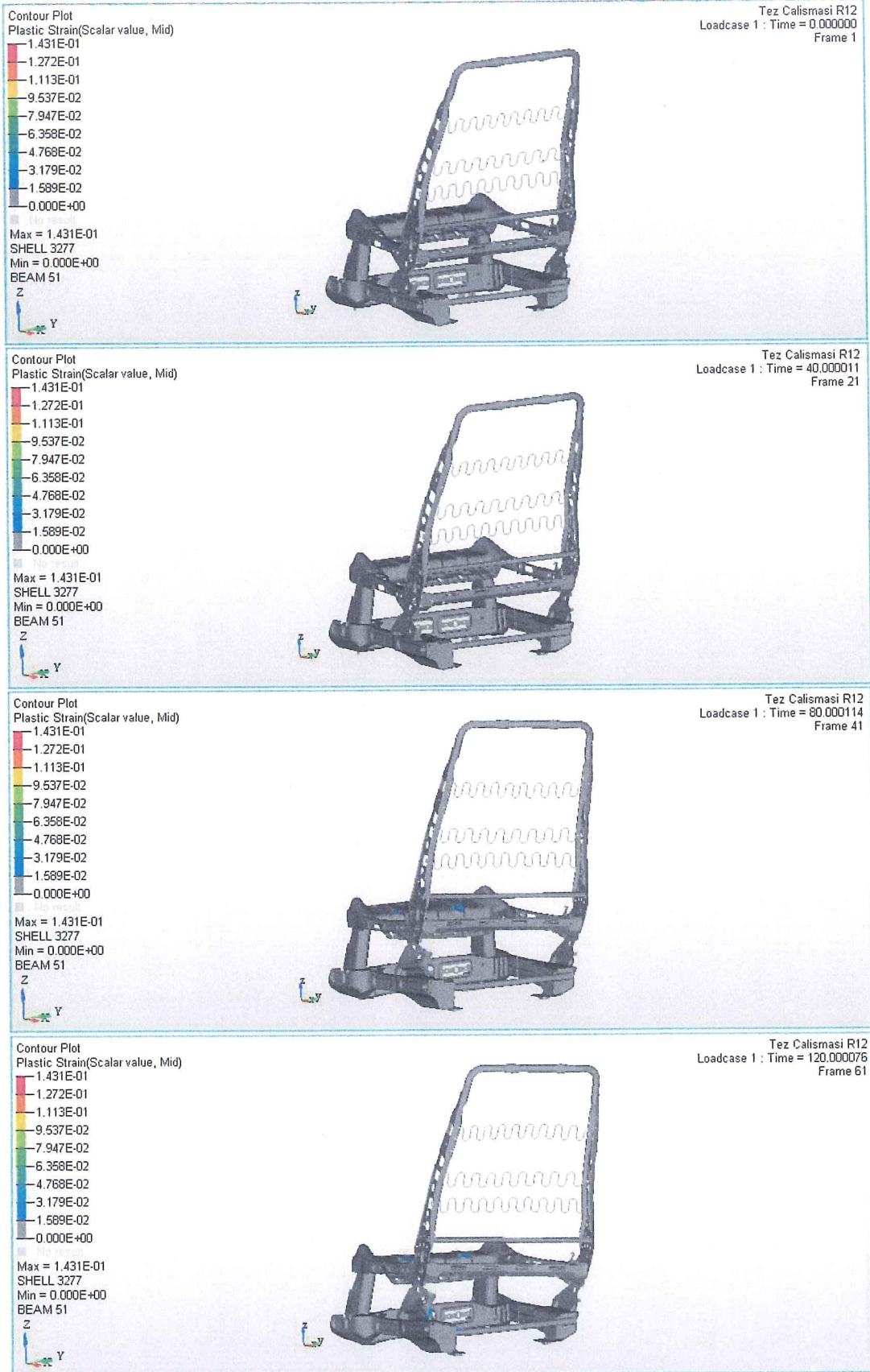
Şekil 6.22. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma-önden görünüş



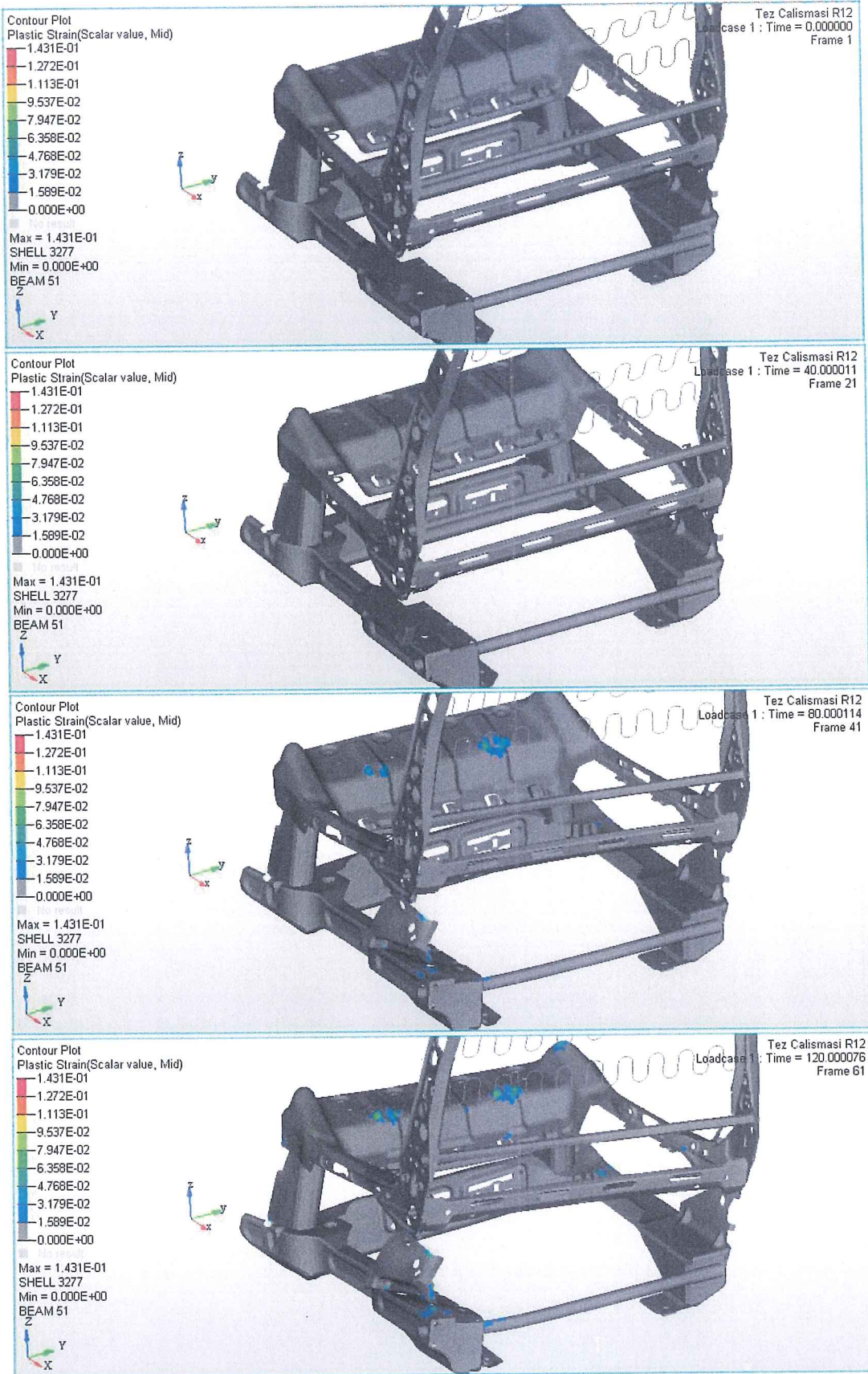
Şekil 6.23. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma-arkadan görünüş



Şekil 6.24. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma-önden perspektif görünüş

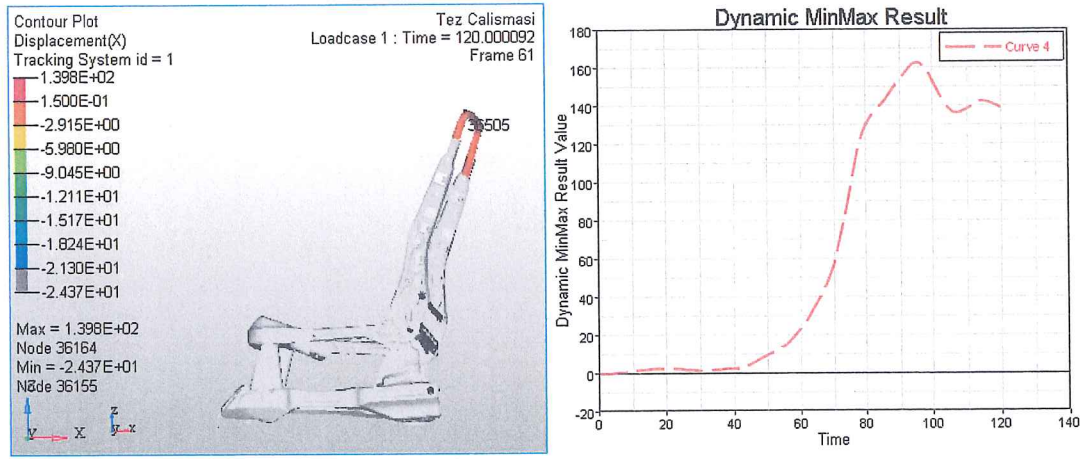


Şekil 6.25. R12' ye göre farklı zamanlarda koltuk üzerinde plastik zorlanma-arkadan perspektif görünüş



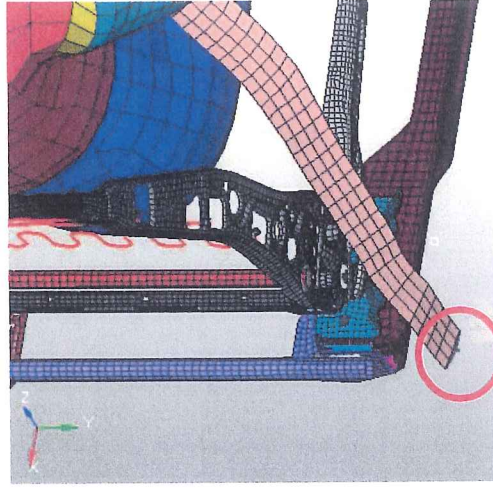
Şekil 6.26. R12' ye göre koltuğa ait çeşitli açılarda plastik zorlanma sonuçları

Yukarıda Şekil 6.20.'de koltuk üzerinde plastik zorlanma sonucu sol yan görüşünüşle verilmiş. Şekil 6.21.'de ise sağ yan görünüşle gösterilmiştir. Şekil 6.22.'de plastik zorlanma önden görünüşle, Şekil 6.23.'te ise plastik zorlanma arkadan görünüş ile verilmiştir. Şekil 6.24.'te plastik zorlanma önden perspektif görünüşle verilmiştir. Şekil 6.25.'de ise plastik zorlanma arkadan perspektif görünüşle gösterilmiştir. Şekil 6.26.'da ise plastik zorlanma arkadan perspektif ve yakınlaştırılmış görünüşle verilmiştir.

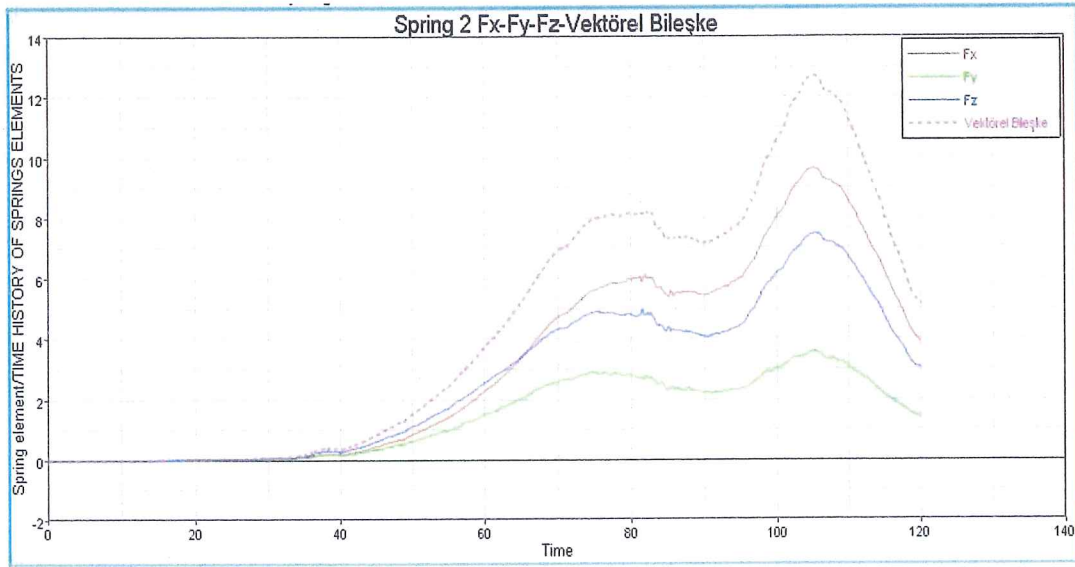


Şekil 6.27. Yerdeğiştirme

Yukarıda koltuk üzerinde seçili olan parçanın toplam yerdeğiştirme miktarı görülmektedir. Silindirin kızağa çarpmasından koltuğun bileşenlerinin hareket etmesinin durduğu ana kadar seçili parça 160 mm'nin üzerinde hareket etmiştir. Eğri üzerinde de görüleceği üzere parça yapmış olduğu maksimum yerdeğiştirme hareketinde plastik şekil değiştirmiş olarak kalmamış, bir nevi yaylanma etkisi göstererek bir miktar geri esneme yapmıştır.

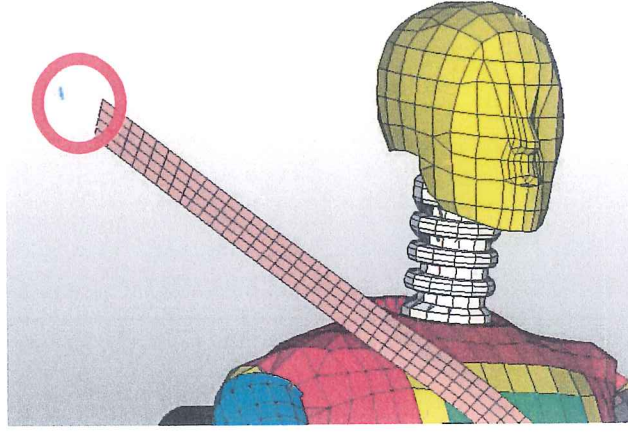


Şekil 6.28. Spring 2 Emniyet kemer bağlantı noktası

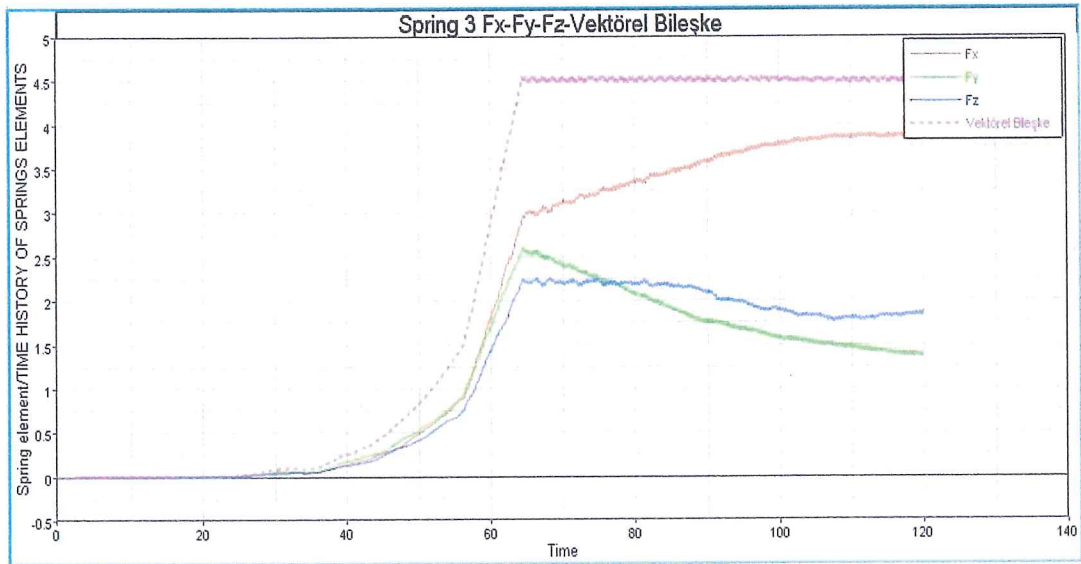


Şekil 6.29. Spring 2 Emniyet kemer yük dağılımı

Yukarıdaki Şekil 6.28. emniyet kemer bağlantı noktasına ait resmi Şekil 6.29. ise bu noktaya çarpışma esnasında x,y ve z yönlerindeki yükler ile bileşke olarak gelen yükleri göstermektedir.

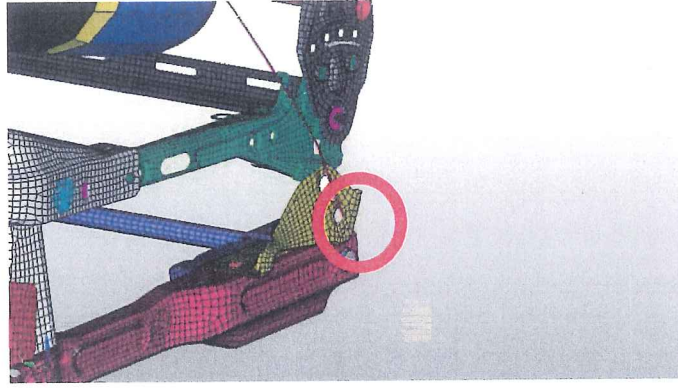


Şekil 6.30. Spring 3 Emniyet kemer bağlantı noktası

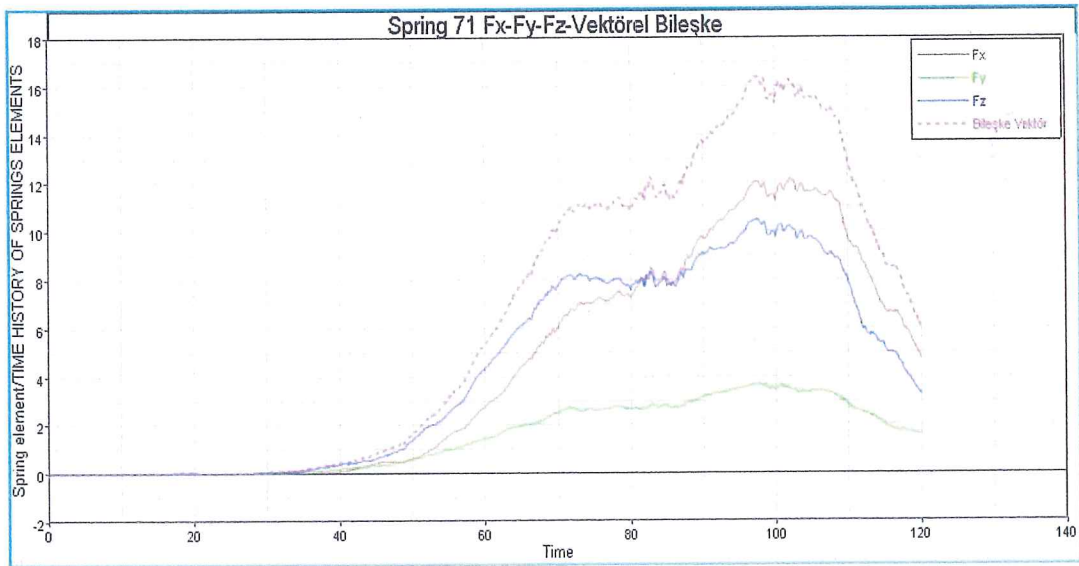


Şekil 6.31. Spring 2 Emniyet kemer yük dağılımı

Şekil 6.30. emniyet kemer bağlantı noktalarından birisine ait konumu göstermektedir. Şekil 6.31. ise bu emniyet kemer bağlantı noktasına gelen x,y ve z yönlerindeki yükler ile bileşki olarak gelen yükü göstermektedir.



Şekil 6.32. Spring 71 Emniyet kemer bağlantı noktası

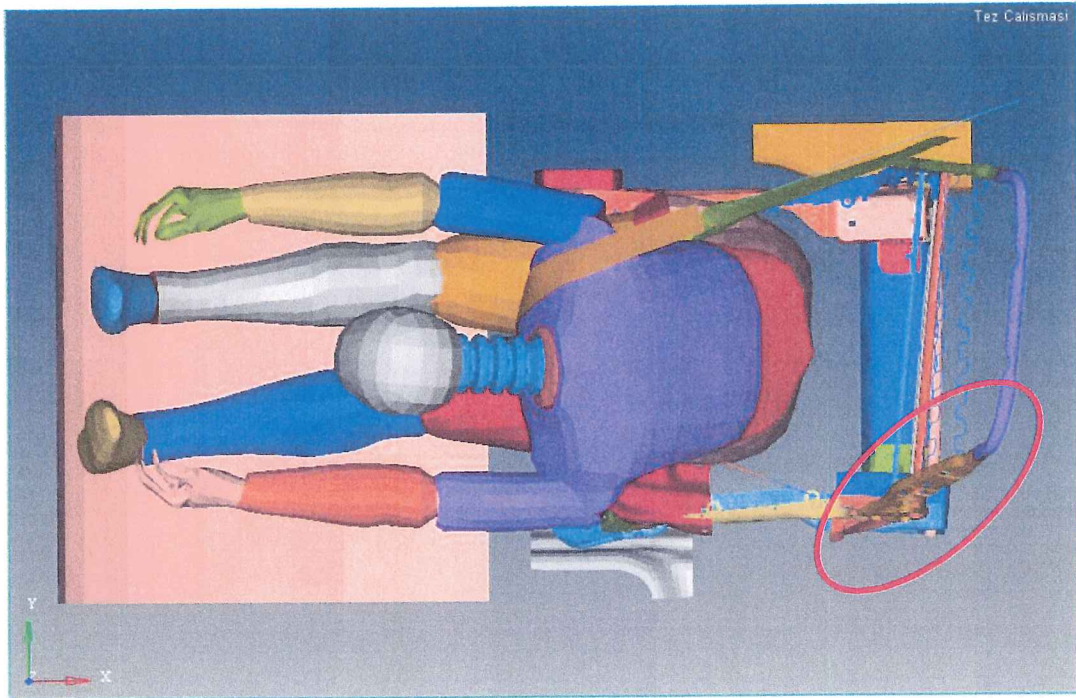


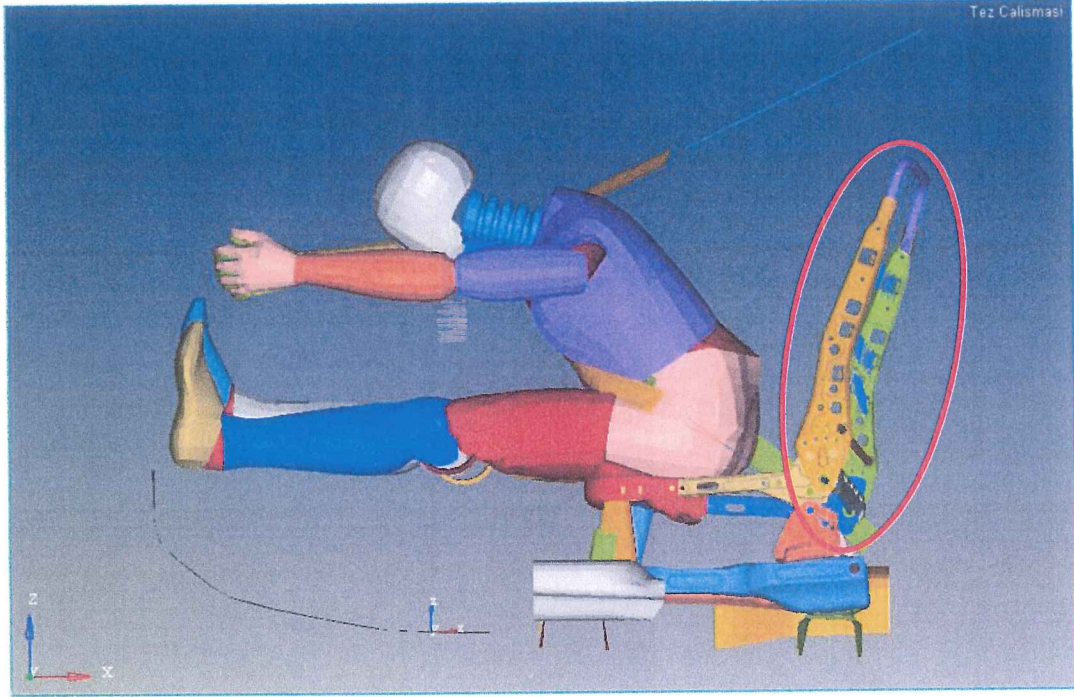
Şekil 6.33. Spring 71 Emniyet kemer yük dağılımı

Şekil 6.32. emniyet kemer bağlantı noktalarından birisine ait konumu, Şekil 6.33. ise bu emniyet kemer bağlantı noktasına gelen x,y ve z yönündeki yükler ile bileşke yük hakkında bilgi vermektedir.

Kazaların birinci faktörü şüphesiz ki insandır. Taşıtı kullanan ya da taşıtın yapmış olduğu kazadan etkilenen insan olması nedeniyle otomobil firmaları sürekli kazaların etkilerini azaltıcı tedbirler üzerinde çalışmaktadır. Bu tedbirler pasif emniyet faktörü olarak tanımlanmaktadır.

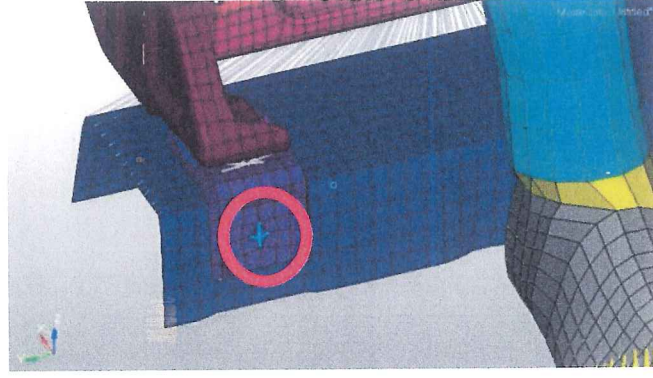
Bir koltukta en önemli bileşenlerden birisi şüphesiz ki emniyet kemer bağlantı noktalarıdır. Ve çarpışma etkisiyle pasif emniyet faktörü olarak manken'i tutma görevine sahip olan emniyet kemeri bağlantı noktalarına gelen yük oldukça fazla olmaktadır. Aşağıdaki resimlerde dikkat edilirse koltuk üzerinde deformasyon ve yer değiştirme miktarının en yüksek olduğu alan emniyet kemer bağlantı noktasının koltuk üzerindeki braketlerden birisine bağlı olduğu alan ve çevresidir(Şekil 6.34.). Bu noktalara ait tasarım ve malzeme seçimi bu yüzden daha bir önem arz etmektedir.



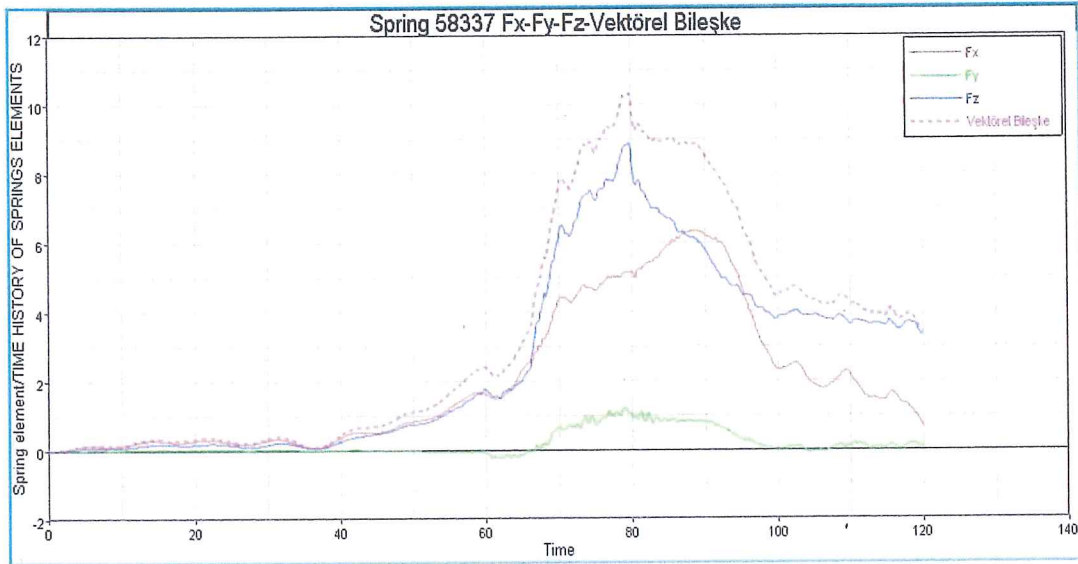


Şekil 6.34. Çarpışma anında emniyet kemerine gelen yük etkisiyle sırtlık bölgesindeki değişim

Emniyet bağlantı noktalarının araç bağlantı noktalarına gelen kuvvet kadar koltuğa kN cinsinden yaklaşık yük gelmektedir. Yukarıda belirtilen her bir grafikte bulunan X, Y ve Z doğrultusunda gelen kN cinsinden bileşke kuvvet emniyet kemer tokamızın (buckle) ve ayrıca emniyet kemer kumaşımızın karşı koyması gereken kuvveti tanımlar. Yukarıdaki sonuçları incelediğimizde, emniyet kemer bağlantı noktalarında en büyük yük emniyet kemer tokasının bulunduğu noktaya gelmektedir (Yaklaşık 17Kn). Dolayısıyla buckle mekanizması ve kemer kumaşı bu yüke karşı koyabilecek özelliklerde olmalıdır.

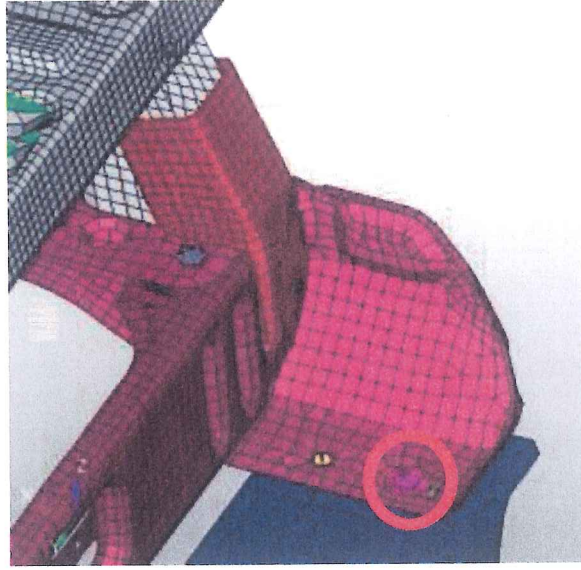


Şekil 6.35. Sağ ön zemin bağlantı noktası (Spring 58337)

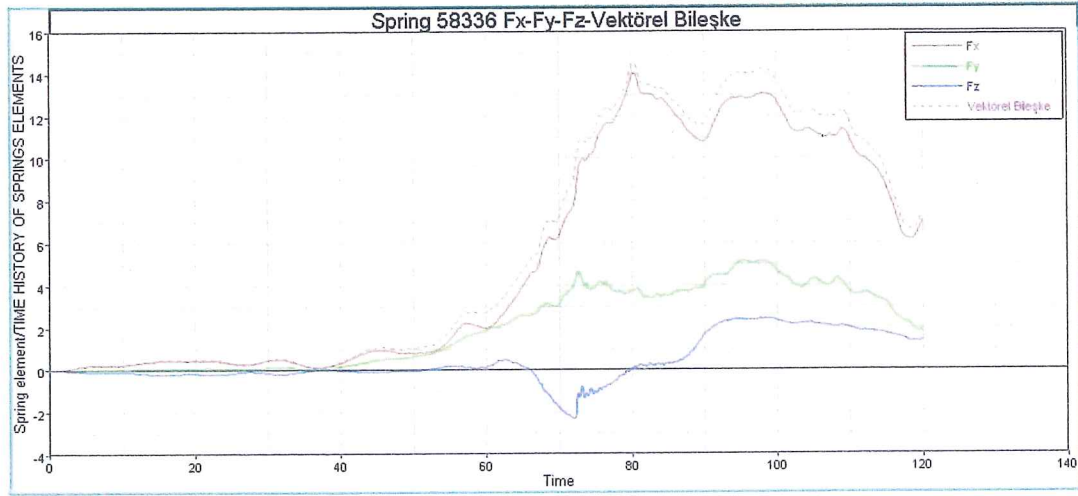


Şekil 6.36. Sağ ön zemin bağlantı yayı

Şekil 6.35.'te Sağ ön zemin bağlantı noktası gösterilmiştir, Şekil 6.36.'da ise bu bağlantı noktasına dinamik çarpışma esnasında x,y,z ve bileşke yönünde gelen yüklerin zamanla değişimi verilmiştir.

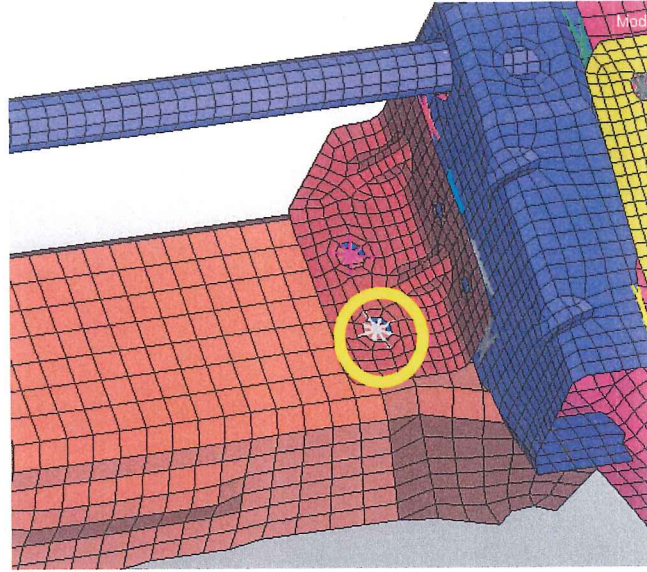


Şekil 6.37. Sol ön zemin bağlantı noktası (Spring 58336)

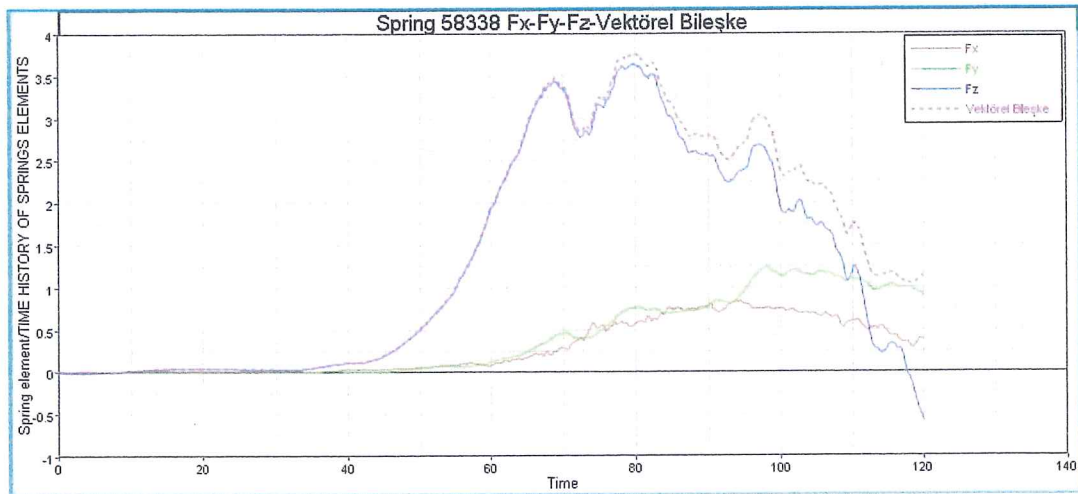


Şekil 6.38. Sol ön zemin bağlantı yayı

Şekil 6.37’de Sol ön zemin bağlantı noktasının görüntüsü verilmiştir. Şekil 6.38.’de ise bu bağlantı noktasına dinamik çarpışma esnasında x,y,z ve bileşke yönünde gelen yüklerin zamanla değişimi verilmiştir.

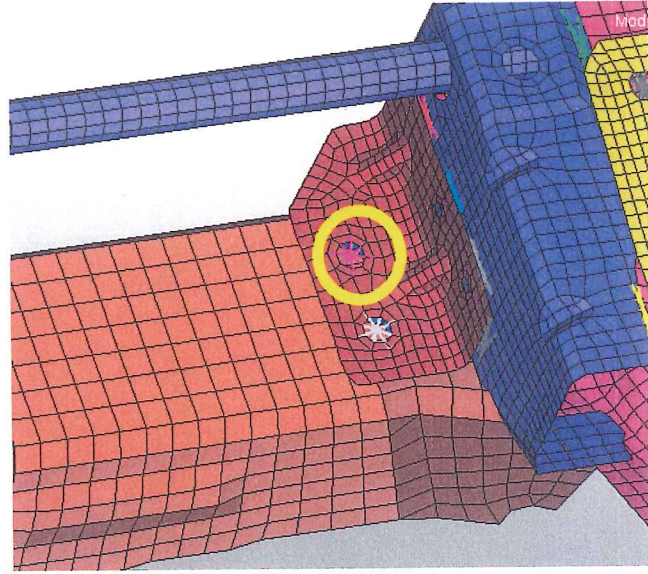


Şekil 6.39. Sol arka zemin bağlantı noktası (öndeki-Spring 58338)

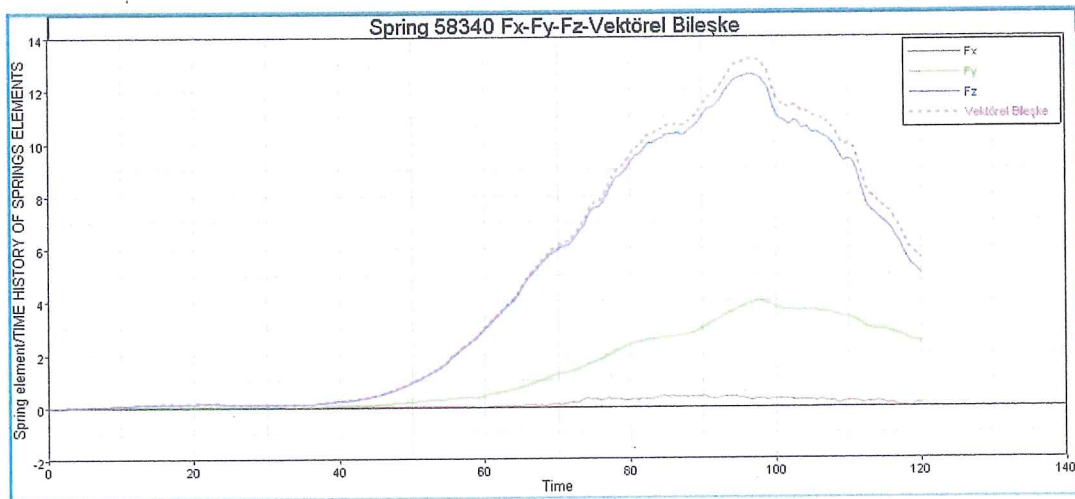


Şekil 6.40. Sol arka zemin bağlantı yayı (öndeki)

Şekil 6.39'da Sol arka zemin bağlantı noktasının görüntüsü verilmiştir. Şekil 6.40.'da ise bu bağlantı noktasına dinamik çarpışma esnasında x,y,z ve bileşke yönünde gelen yüklerin zamanla değişimi verilmiştir.

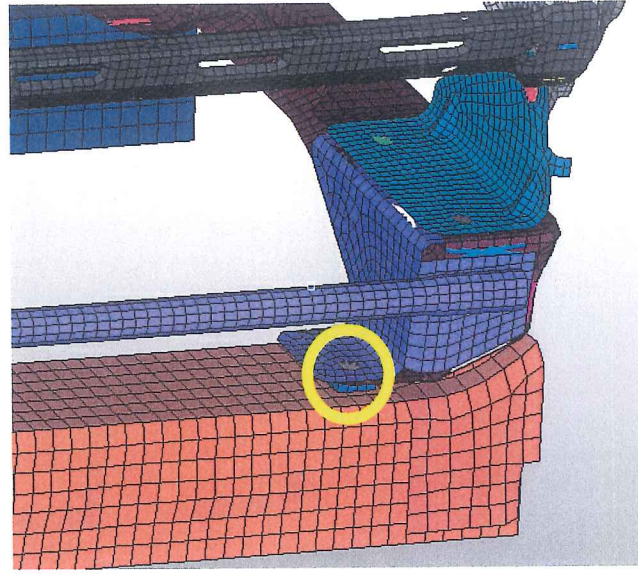


Şekil 6.41. Sol arka zemin bağlantı noktası (arkadaki-Spring 58340)

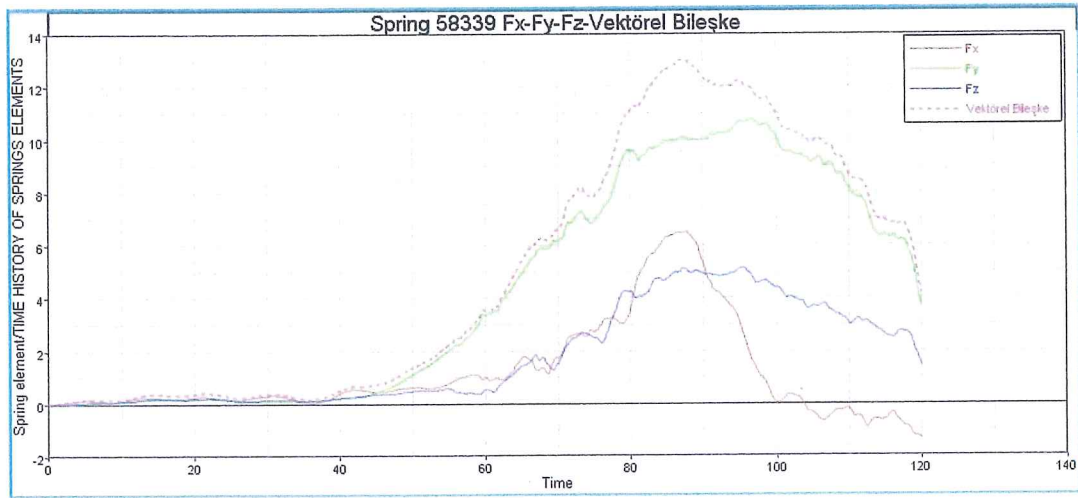


Şekil 6.42. Sol arka zemin bağlantı yayı(arka)

Şekil 6.41’de Sol arka zemin bağlantı noktasının görüntüsü verilmiştir. Şekil 6.42.’de ise bu bağlantı noktasına dinamik çarpışma esnasında x,y,z ve bileşke yönünde gelen yüklerin zamanla değişimi verilmiştir.



Şekil 6.43. Sağ arka zemin bağlantı noktası (Spring 58339)



Şekil 6.44 Sağ arka zemin bağlantı yayı

Şekil 6.43’de Sağ arka zemin bağlantı noktasının görüntüsü verilmiştir. Şekil 6.44.’te ise bu bağlantı noktasına dinamik çarpışma esnasında x,y,z ve bileşke yönünde gelen yüklerin zamanla değişimi verilmiştir.

BÖLÜM 7. DEĞERLENDİRMELER

Tasarım, optimizasyon ve sonlu elemanlar modelinin analiz süreçlerinin bütünleşik olarak yürütülmesi sonucu, yapılan çalışmamızda birtakım tasarım değişikliklerine gidilmiş, yapılan bu değişikliklerin her biri sonrası sonlu elemanlar modeli analize tabi tutularak, kabul kriterlerine uygun ve tutarlı analiz sonuçları elde edilmiştir.

Yapılan çalışmaya ait fiziksel bir ürün bulunmadığı için, bu çalışmaya ait gerçek çarpışma testi sonucu bulunmamaktadır. Çalışmamızı aynı tarz koltuklar tasarlayıp analiz çalışmalarını yürüten koltuk üretici firmalarının elde ettikleri fiziksel test bulguları ile kıyasladığımızda, çalışmamızın tutarlı olduğu ve çalışmamıza ait bir prototip imalatı sonrası fiziksel teste tabi tuttuğumuzda, olumlu sonuçlar alınacağı kanısı oluşmuştur.

Tüm ürün geliştirme sürecinde görülmüştür ki, parça üzerindeki çok küçük bir tasarım değişikliği parçaya gelen yüklerin dağılımına pozitif ya da negatif anlamda ciddi katkılar sunabilmektedir. Ya da parça için seçilmiş olan malzemenin değiştirilmesi, parça üzerine gelen yüklerin dağılımında pozitif anlamda önemli oranda katkı yapabilmektedir.

Destek alınan firmanın yürüttüğü deneysel bir koltuk test projesinde, çalışmamızda kullanılan civata-yay eleman benzetimi yaklaşımıyla civata seçimi yapılmış, elde edilen test sonuçlarının, civata-yay eleman benzetimi yaklaşımını doğruladığı görülmüş olup, bunlar çalışmayı destekler nitelikte sevindirici sonuçlardır.

Çalışmamızda en önemli noktalardan birisi şüphesiz ki civata-somun gibi bağlantı elemanlarına gösterilen yaklaşımdır. Civata bağlantıları çalışmamızda, yay(spring)

eleman olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım zaten tasarım ve optimizasyon sürecinde sürekli karşılaşılan deneme yanılma sürecini kısaltmış ve SEY modelinde kullanılan eleman sayısının azaltılmasını sağlamıştır. Civata-somun bağlantıları spring eleman olarak kabul edilip, rijit olarak tanımlanmış, bu elemanlara gelen bileşke yükler değerlendirilerek uygun civata-somun elemanlarının seçilmesi sağlanmıştır. Bu sayede ürün geliştirme süreci ciddi ölçüde kısaltılmaktadır.

Ayrıca bu çalışma, tasarım ve optimizasyon çalışmalarında sonlu elemanlar uygulamalarının önem ve gerekliliğini bir kez daha kanıtlar niteliktedir.

KAYNAKLAR

- [1] Moss, S., Crash test modelling technology, Automotive Engineer v.24 no2, USA, Feb., 1999
- [2] Thomke, S., Holzner, M., Gholami, T., The Crash in The Machine Scientific American v.280 no3, USA, Mar., 1999
- [3] May. M., Cybercrash, New Scientist. v. 155p., USA, Sept., 1997
- [4] Burr, S., Hertema, D., Sweeney, J., Taking a Hit: Modeling The Parameters Of Thermoplastics in Car Crashes, Plastic Engineering v. 53 p. 43-46, USA, Sept., 1997
- [5] Glaskin, M., Body Of Evidence, Engineering, England, 1996
- [6] Öztürk, F., Şendeniz, G., Ayyıldız, G., Dolaylar, E., Araç Koltuk Bağlantılarının Benzetim Teknikli Optimum Tasarımı, 6. Otomotiv Teknolojileri kong., Bursa, 2012
- [7] Öztürk, F., Şendeniz, G., Yolcu Koltuklarında Topoloji Tasarım Yaklaşımları İle Optimizasyon, 7. Otomotiv Teknolojileri Kong., Bursa, 2014
- [8] Kartkaya, M. A. Bir ticari aracın ön çarpışma dayanımını arttırmaya dayanık bir uygulama. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011
- [9] Tar, C. S. M2 sınıfı bir ticari aracın ECE-R66 standardına uygun bilgisayar ortamında tavan ezilme analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2009
- [10] Yaşar, F. N3 sınıfı ağır bir aracın ECE-R29 standardına uygun önden çarpma analizi ve iyileştirme çalışması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011
- [11] Güzelsoy, A. F. Ticari araçlarda güvenlik mevzuatı gereği koltuk bağlantı dayanımını arttırmaya yönelik bir uygulama. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011

- [12] Garcia Nieto, P. J., Vilan Vilan, J. A., Del Coz Diaz, J. J., Matias, J. M., Analysis and study of an automobile rear seat by FEM, International Journal Of Computer Mathematics, 2009
- [13] Rush, C., Crash testing: using computers to save lives, International Journal Of Trauma Nursing, 2000
- [14] Viano, D. C., Seat design principles to reduce neck injuries in rear impacts, Traffic Injury Prevention, 2008
- [15] Eraslan, M., Cibelek, N., Polat, E. Otobüs Koltuğu Geliştirilmesi. 7. Otomotiv Teknolojileri Kong., Bursa, 2014.
- [16] Rifkin, J. Üçüncü Sanayi Devrimi. 1. Baskı, İletişim Yayınları, İstanbul, 2014
- [17] Ergür, H. S., Dilmeç, M., Halkacı, H. S., Shingley' den Makine Mühendisliğinde Tasarım. 8. Metrik Basımdan Çevrim, Literatür, İstanbul, 2015
- [18] Dixon, J. R., Design engineering: inventiveness, analysis and decision making, New York, Mc Graw-Hill, 1966
- [19] Penny, R. K., Principle of Engineering Design. Postgraduate 46, 344-349, 1970
- [20] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H., Mühendislik tasarımı sistematik yaklaşım. 1. Baskı, Hatiboğlu Yayınları, Ankara, 1-6, 2010
- [21] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum entwickeln und konstruieren technischer systeme und produkte. Dusseldorf: VDI-Verlag 1993
- [22] ECE R 17-Motorlu taşıtlar koltuklar, koltuk bağlantı parçaları ve baş dayama yerleri konusunda taşıtların onayı ile ilgili hükümler, Ankara, 2002
- [23] Topçu, M., Taşgetiren, S. Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu. www.sonluelemanlar.net, Erişim Tarihi: 28.01.2015
- [24] Hrennikoff, "Solution of Problems in Elasticity by the Frame Work Method", Journal of Applied Mechanics, Cilt 8, No.4, ss. 69-175, Aralık 1941
- [25] D. McHenry, "A Lattice Analogy for the Solution of Plane Stress Problems", Journal of Institution of Civil Engineers, Cilt 21, ss. 59-82, Aralık 1943

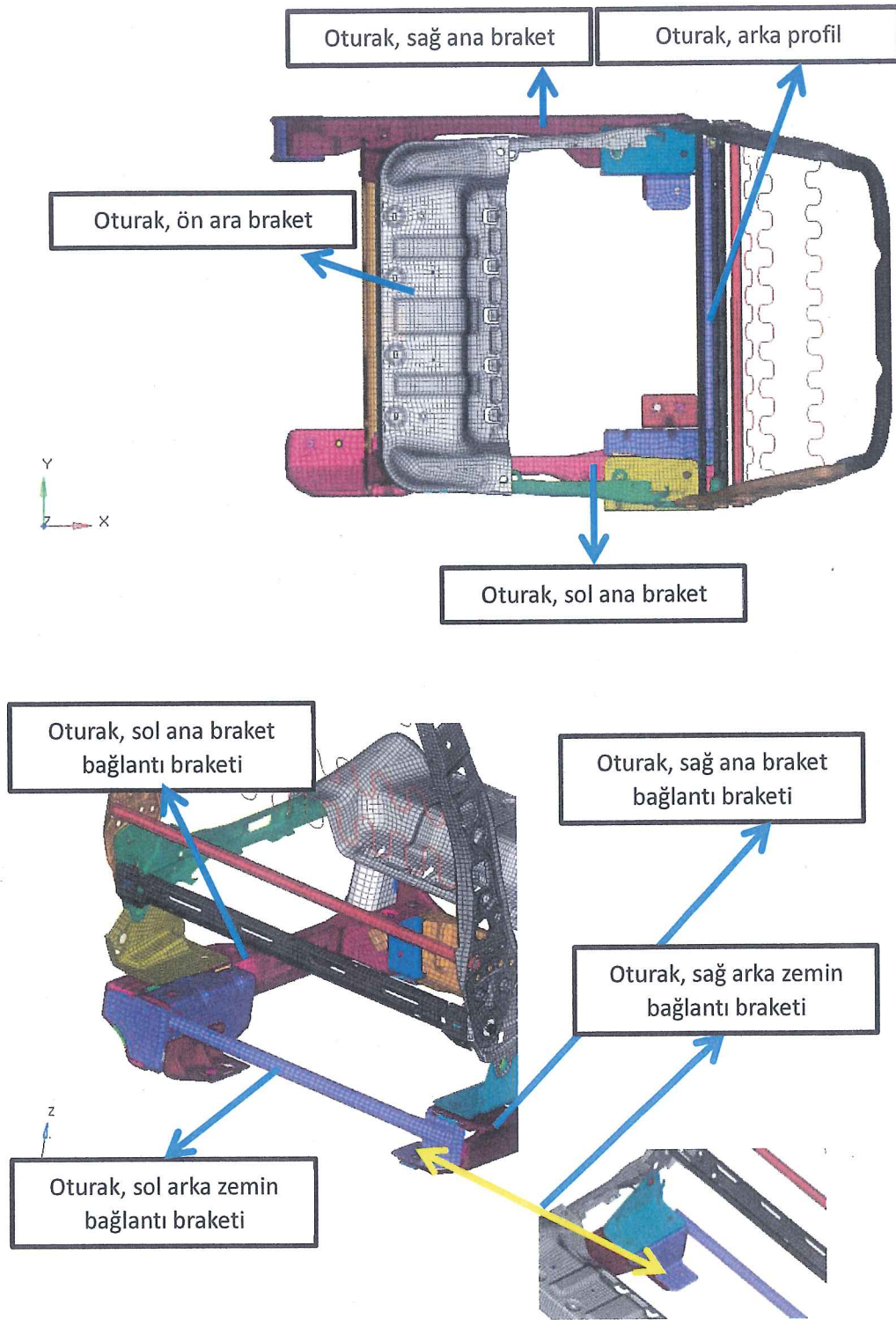
- [26] N. M. Newmark, "Numerical Methods of Analysis in Bars, Plates, and Elastic Bodies", Numerical Method in Analysis in Engineering(ed. L. E. Ginter), Macmillan, 1949
- [27] Bulla, M. Radioss Advanced 2010
- [28] Bulgur, A. Koltuk bağlantı elemanlarının mukavemetinin; ilk hız koşulları ve dummy etkisi ile crash testi esnasında simülasyonu. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2006
- [29] Bathe, K. J., John-Wiley and Sons. Finite Element Procedures, NY, 1996
- [30] Hallquist, J. O. LS-DYNA Theoretical Manual, LSTC, Livermore, 1997
- [31] www.s-t.com.tr/altair-radioss.html, Erişim Tarihi: 28.01.2015
- [32] Sarısaç, S. Araç koltuğu destek saç parçalarının topoğrafya optimizasyonu ile tasarımı ve analizi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2016

EK-1



Şekil 7.1. Koltuğa Ait Sonlu Elemanlar Modeli(R12)

EK-2



Şekil 7.2. Koltuğa Ait Bazı Parçaların İsimleri

REVİZYONLAR

R1- İlk olarak H noktası tanımlandı. Koltuk zemin bağlantı braketleri montaj resim içerisine çekilerek düzenlendi. Seri üretime alınmış bir koltuk referans alınarak koltuk bileşenleri tasarlandı. İlk analize tabi tutuldu. Bir çok noktada yırtılma hatta koltuğun kopup fırlama riski görüldü.

R2- Oluşturulan data, seri üretime alınmış referans data eşliğinde her bir parça detaylı olarak gözden geçirildi. Referans datada her bir parça üzerinde oluşturulmuş kaburga yönlerine dikkat edilerek biz de çalışmamızda gelebileceğini düşündüğümüz doğrultularda kaburga eklendi.

R3- Seri üretime alınmış data eşliğinde yapısal şekillendirmelere devam edildi.

R4- Referans data incelemeleri ile kendi datamızı şekillendirmeye devam edildi. Yapısal olarak zayıflatmama düşüncesiyle uygun olabileceği düşünülen noktalara boşaltmalar yapıldı. Bunlar sonrasında analize tabi tutuldu. Analiz sonucunda düzeltilmeler görüldü ancak hala yırtılmalar bulunmaktadır.

R5- Bu aşamada kaburga yapılarında düzenlemeye özen gösterildi. Özellikle kaburga yapıların birleşim noktalarındaki yuvarlatmalar(radyus) imal edilebilir olmasına özen gösterildi. Bazı boşaltmalar zayıflatıyor düşüncesiyle iptal edildi. Bazı güçlü görülen parçalara ise zayıflatmayacak şekilde hafifletme amaçlı boşaltma delikleri eklendi. Değişiklikler sonrasında yapılan analizde plastik gerilmenin yine istenen seviyede olamadığı görülmekte. Kalıcı şekil değişimi gerçekleşmekte. Fakat burada sorun kalıcı şekil değişiminin olması değil yırtılma riskinin olmasıdır.

R6- Çalışmalarda koltuğun yırtılma riskini yok etmek esas amacımız olmak ile birlikte aynı zamanda koltuğun maliyetini de düşürme çabası olmalıdır. Bu yüzden gelen yüklerin dağılımı homojen görülen yırtılma riski görülmeyen parçaların uygun görülenlerini adım adım daha düşük kaliteli saç malzeme ile analize tabi tutmaya karar verildi. İlk olarak zemine bağlantı braketlerinin yanlarındaki sağlam solllu bulunan büyük parçalara ait malzeme daha düşük akma gerilmesine sahip dolayısıyla daha düşük maliyete sahip bir saç malzeme olarak tanımlandı ve teste tabi tutuldu. Analiz sonuçları kayda değer bir şekilde değişmemekle birlikte R3' te görülen problemin devam edildiği görüldü. Ayrıca bu iki parça için yapılan malzeme değişikliği ihtiyacımızı karşılar şekilde görülmüştür.

R7- R6' da yaptığımız çalışmayı bir adım öteye götürmek adına malzemelerinde değişiklik yaptığımız iki braketin arasındaki malzemeleri de değiştirerek analiz yaptık. Daha düşük akma gerilmesine sahip bir malzeme kullanmamız doğal olarak maliyetimizi seri üretim şartlarında büyük oranda etkiler. Yapılan malzeme

değişikliği sonrası tekrarlanan analiz aslında bu parçalar için önceki kullanılan malzemelerin gereksiz şekilde beklenenden üstün özellikte olduğunu gösterdi.

R8- Yırtılma riski olan parçalara geri dönülürse, problemlerin yoğunlaştığı braketlerde yük dağılımını düzenlemek adına radyus değişikliğine gidilmesi uygun görüldü. Yapılan sonlu elemanlar analizi ile radyus değişikliklerinin analize az miktarda fayda sağlasa da kayda değer bir katkı sağlanmadığı görülmüştür.

R9- R8' de radyus değişikliği yapılmış braketlere dayanımı daha yüksek malzemeler tanımlandı. Bu hale göre analiz gerçekleştirildi. Malzeme değişikliğinin bu braketlere gelen yük dağılımına etkisi olsa da yırtılma riskini bertaraf etmediği görülmüştür.

R10- R8' de radyus değişikliği yapmış olduğumuz malzemede yırtılmanın olduğu bölgede tasarım değişikliğine gidildi. Son hale göre yapılan analiz sonuçlarında görülmüştür ki, toplam plastik gerilme oranı kritik seviyenin altına düştü. Ancak bu tasarım değişikliği zemin bağlantı braketine gelen gerilmenin artmasına neden olmuştur.

R11- Zemin bağlantı braketine gelen yükü dağıtmak ve o bölgeyi güçlendirmek adına malzeme değişikliğine gidilmiştir. Bu sayede zemin bağlantı braketinde görülen yırtılma riski de güvenli bölgeye çekilmiştir.

R12- R11' de elde edilen sonuçları malzemelerin yorulma etkisiyle çarpma anında daha fazla zarar görme ihtimali ile daha güvenli bölgeye çekme adına zemin bağlantı braketlerinin malzemelerinde akma dayanımı daha yüksek olan bir malzeme seçilerek tekrar analiz edildi. Ve bu sayede daha homojen daha dengeli bir yük dağılımı gerçekleştirildi.

ÖZGEÇMİŞ

Özgür ÖZLÜ 1978 yılında Bursa'da doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini Bursa'da tamamladı. 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezuniyet sonrası Martur A.Ş., Toyota Motor Europe ve TSI Aviation Seats gibi özel sektöre ait çeşitli firmalarda çalıştı. Halen Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.