



T.C.  
Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE İÇ  
TRİM PARÇALARINDAKİ  
ÇARPIŞMA SÖNÜMLEYİCİLERİN  
OPTİMİZASYONU**

**MURAT YILDIZHAN**

**Doktora Tezi**



**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE İÇ  
TRİM PARÇALARINDAKİ  
ÇARPIŞMA SÖNÜMLEYİCİLERİN  
OPTİMİZASYONU**

**MURAT YILDIZHAN**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE İÇ TRİM PARÇALARINDAKİ ÇARPIŞMA  
SÖNÜMLEYİCİLERİN OPTİMİZASYONU

Murat YILDIZHAN

Prof.Dr. Ferruh ÖZTÜRK  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2017

Her Hakkı Saklıdır

## TEZ ONAYI

MURAT YILDIZHAN tarafından hazırlanan "OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE İÇ TRİM PARÇALARINDAKİ ÇARPIŞMA SÖNÜMLEYİCİLERİN OPTİMİZASYONU" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

**İkinci Danışman** : ---  
(Varsa Yazılacak)

**Başkan:** Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK  
Uludağ Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye:** Prof. Dr. Necmettin KAYA  
Uludağ Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

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

İmza

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Erdem UZUNSOY  
Bursa Teknik Ü. Doğa Bilimleri Mimarlık ve  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ  
Uludağ Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

İmza

Prof. Dr. Ali BAYRAM  
Enstitü Müdürü

... / ... / 2017

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

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

**Beyan ederim.**

... / ... / ...

**İmza**

**Murat YILDIZHAN**

## ÖZET

Doktora Tezi

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE İÇ TRİM PARÇALARINDAKİ ÇARPIŞMA  
SÖNÜMLEYİCİLERİN OPTİMİZASYONU

**Murat YILDIZHAN**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Otomotiv sektöründeki hızlı teknolojik gelişmelerin etkilediği birçok alan meydana gelmiştir. Yapılan tüm çalışmalar araç hızı, yakıt tüketimi, güvenlik, maliyet optimizasyonu ve ağırlık optimizasyonu gibi ana konu başlıkları içerisinde gruplanabilmektedir. Çalışmaların ve regülasyonların ana hedef gruplarından en önemlisi güvenlik uygulamalarındaki iyileşmelerdir. Pasif ve aktif güvenlik, otomotiv sektöründeki birincil öncelikli çalışmaları oluşturmaktadır. Aktif güvenlik sistemlerindeki mekatronik çalışmalar ile ilerleyen teknolojik çözümlerin yanında, pasif güvenlik sistemlerindeki malzeme bazlı teknolojik ilerlemelerin etkileri görülmektedir. Aracın maliyet iyileştirmesi sağlanırken, kalitesel kriterlerden ödün verilmemeli ve mevcut durumun da daha iyisinin sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışma ile bir düşünce olarak ortaya çıkan tasarım aşamasından ürün aşamasına kadar giden yoldaki süreçlerden bahsedilmiştir. Yandan çarpışma esnasında ortaya çıkan yerdeğişime bağlı kuvvet etkisinde kalan yolcu/sürücü hasar durumu değerlendirilmiş, bu durumun minimum etki seviyesine çekilmesi hedeflenmiştir. Mevcut durumun karakterizasyonu belirlenerek oluşturulan senaryo içerisinde TRIZ: Yeni problem çözme kılavuzu ile çözüm yöntemi araştırılmıştır. Elde edilen verilerin kullanıldığı ve bu verilerin mevcut patent durumlarına göre incelendiği çalışmanın ilk bölümlerinden sonra yapılan sayısal analizler ile homologatif testlerde istenen durumların sağlanacağı tasarımlar üzerinde çalışılmıştır.

Yandan çarpışma sönümleyici çeşitlerinin incelendiği çalışma içerisinde, TRIZ, optimizasyon teknikleri, patent kıstasları, maliyet iyileştirme ve üretilebilirlik çalışmalarının etkileri ile oluşan yeni ve benzersiz bir ürün ortaya çıkarılmıştır. Sedan projesi zaman planına uyum içerisinde tüm çalışmaların tamamlanması ile tasarım aşamasından ürün oluşumuna ve seri imalata giriş aşamaları gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Pasif güvenlik sistemleri, yandan çarpma sönümleyici, TRIZ Metodu, enerji sönümleme, abdomen analizi, pelvis analizi, MADYMO analizi, deneysel tasarım, genişletilmiş Polipropilen malzeme sönümleyici, Polipropilen malzeme yandan çarpışma sönümleyici, çelişki matrisi

**2017, xi + 131 sayfa.**

## **ABSTRACT**

Ph.D. Thesis

### **OPTIMIZATION OF SIDE CRASH ABSORBERS OF INTERIOR TRIM PARTS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY**

**Murat YILDIZHAN**

Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

There are many areas in automotive industry that have been affected by rapidly improvement of technology. Categorization of improvements about industrialization on automotive industry can be explained like speed of vehicle, consumption of fuel, safety, cost and weight optimizations. All works and regulations are aimed that improvement of safety of occupants. Safety subject that can be divided as Passive and Active systems, that are the most significant and important subjects for vehicle producers. Absolute high tech mechatronic improvements that are used in vehicle active safety components that adapted to vehicles, ales can be seen some kinds of material changing on passive safety components as improvements of new technology effects. That kind of technology improvements on safety of vehicles can be seen as optimized cost products, but it must be consequently required for safety regulations and absolute quality requirements.

Subsequently an idea is forming as a production in this study with using all methods all know-how that is gathered. In the period of side impact crash, according to intrusion to force on side area can create hazardous damages for occupant at the vehicle has been evaluated in this study and this situation has been created as a minimum damage limits. Investigation of solution about new side crash Absorber has been done with using TRIZ method for getting right characterization as current side crash Absorber. With using all know-how and information gathering from literature and research of patents, new polypropylene absorber design has been evaluated by using Computer aided engineering methods and also homologate tests that are critically steps for being in serial production.

In the study part of the kind of side crash absorbers, there has been using of some methods like TRIZ, optimization technics, patents requirements, cost optimizations and feasibility, creates a new product that is the unique component in this area. With Sedan vehicle Project time plan, new PP Absorber Project has been done with accordance of success as an unequalled product that is in serial production with patent.

**Keywords :** Passive safety systems, side crash Absorber, TRIZ methods, contradiction matrix, Energy absorption, abdomen analysis, pelvis analysis, design of experiment, Expanded polypropylene Absorber, polypropylene absorber

**2017, xi + 131 pages.**

## TEŞEKKÜR

Tüm eğitim yaşıntım ve tez çalışmaları içerisinde değerli bilgileri ile destek olurken katkıları da esirgemeyen, kıymetli hocam Prof. Dr. Ferruh Öztürk'e saygı ve teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu tez çalışmasının çekirdeğini oluşturan 1501 Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı 3150083 Proje numarası ile destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Proje kapsamında; Uludağ Üniversitesi ekibinden özverili çalışmaları ile patentli bir ürün ortaya çıkmasında emeği olan Prof. Dr. Necmettin Kaya, Arş. Gör. Emre İsa Albak, Arş. Gör. İsmail Öztürk, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. 'den Barış Efendioğlu, Barış Özgür Gövem, Ersan Ertürk, Hasan Ayartürk ve Osman Çolpan'a teşekkür ederim.

Proje çalışmasının tez aşaması süreçlerinde, iş ve eğitim zamanlarının düzenlenmesinde yardımcı olan müdürüm Ömer Keskin'e ve yöneticim Erdoğan Özdemir teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu süreç içerisinde yardımlarını, desteklerini ve güvenlerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu uzun maratonda kendileri ile görüşemeyerek fedakârlık gösteren tüm aileme sevgilerimi sunarım.

Tüm çalışmaların sonuçlanması ve tez haline dönüşmesinde; motivasyon kaynağım ve destekçim eşim Gözde Yıldızhan'a teşekkür, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Murat YILDIZHAN  
12 / 06 / 2017



## İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| ÖZET .....   | i    |
| ABSTRACT .....   | ii   |
| TEŞEKKÜR .....   | iii  |
| İÇİNDEKİLER .....  | iv   |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....   | vi   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....  | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....  | xi   |
| 1. GİRİŞ .....   | 1    |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....  | 3    |
| 2.1 Otomobil Sektöründeki Çarpışma Sönümleyiciler .....                            | 3    |
| 2.2 TRIZ: Sistematik Problem Çözme Yöntemi .....                                   | 8    |
| 2.3 Çarpışma Sönümleyici Patentler .....   | 12   |
| 2.4 Karşılaştırmalı İncelemeler (Benchmarking) .....                               | 15   |
| 2.5 Maliyet İndirimi ile İlgili Çalışmalar .....                                   | 18   |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....  | 20   |
| 3.1 Araç Çarpışma Durum Analizi Yöntemleri .....                                   | 20   |
| 3.1.1 Önden çarpma analizleri .....  | 20   |
| 3.1.2 Yandan çarpma analizleri .....   | 21   |
| 3.2 Yandan Çarpışma Sönümleyicinin Malzeme Karakterizasyon Analizleri .....        | 24   |
| 3.2.1 Bilgisayar destekli analizlerdeki sönümleyici malzeme karakterizasyonu ..... | 24   |
| 3.2.2 Deneysel malzeme karakterizasyonu .....                                      | 30   |
| 3.3 Triz Yöntemi ile Tasarım .....   | 32   |
| 3.3.1 TRIZ Bir icat çıkarma kılavuzu .....   | 33   |
| 3.3.2 Çelişki matrisi .....  | 33   |
| 3.3.3 Kuvvet iyileştirmeye dayalı çelişki matrisi .....                            | 33   |
| 3.3.4 Mukavemet iyileştirmeye dayalı çelişki matrisi .....                         | 40   |
| 3.4 Yeni Bir Sönümleyici Tasarım ve Analizleri .....                               | 44   |
| 3.4.1 Yandan çarpma sönümleyici mevcut durum .....                                 | 44   |
| 3.4.2 Yandan çarpma sönümleyici yeni tasarımlar .....                              | 46   |
| 3.4.3 Yandan çarpma sönümleyici tasarım ve enerji sönümleme analizleri .....       | 47   |
| 3.5 Abdomen Pelvis Analizleri .....  | 59   |
| 3.5.1 Pelvis analizleri .....  | 60   |
| 3.5.2 Abdomen analizleri .....   | 62   |
| 3.6 MADYMO Analizleri .....  | 62   |
| 3.7 Araç Homologatif Çarpışma Testleri .....                                       | 64   |
| 3.8 Yapısal Optimizasyon Çalışmaları .....   | 65   |
| 3.8.1 Sayısal analizler öncesi çalışmalar (Pre-Process) .....                      | 65   |
| 3.8.2 Sayısal analizlerin çözümlenmesi (Solver Running) .....                      | 67   |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.8.3 | Sonuçların görüntülenmesi ve değerlendirilmesi (Post-Process).....   | 68  |
| 4.    | BULGULAR .....   | 70  |
| 4.1   | TRIZ Yöntemi ile Sönümleyici Tasarımı .....                          | 70  |
| 4.1.1 | Kuvvet özelliği baz alınan çelişki matrisi.....                      | 70  |
| 4.1.2 | Mukavemet özelliği baz alınan çelişki matrisi.....                   | 71  |
| 4.1.3 | Kuvvet ve mukavemet özelliklerinin iyileşmesi .....                  | 72  |
| 4.2   | Yandan Çarpışma Verifikasyon Analizleri .....                        | 77  |
| 4.2.1 | Pelvis ve abdomen analiz sonuçları.....                              | 77  |
| 4.2.2 | MADYMO analiz sonuçları.....   | 88  |
| 4.3   | Yandan Çarpışma PP Malzeme Dizayn Optimizasyon Çalışmaları.....      | 90  |
| 4.3.1 | Yandan Çarpışma sönümleyici kalınlık optimizasyonu .....             | 91  |
| 4.3.2 | Optimizasyon senaryo oluşturma aşaması (HyperStudy).....             | 92  |
| 4.4   | Homologatif Test Çalışmaları .....                                   | 102 |
| 4.5   | Ürün Devreye Alma Çalışmaları .....                                  | 104 |
| 4.5.1 | Montaj analizleri ve modifikasyonlar .....                           | 104 |
| 4.5.2 | Paketleme analizleri (Packaging analizleri).....                     | 106 |
| 4.5.3 | İş emri çalışmaları .....  | 107 |
| 4.5.4 | Ürün kalifikasyon ve onay testleri.....                              | 108 |
| 4.6   | Triz Yöntemi ile Bir Sonraki Aşama Çalışması (Re-Optimizasyon) ..... | 109 |
| 5.    | TARTIŞMA VE SONUÇ .....  | 122 |
|       | KAYNAKLAR.....   | 127 |
|       | ÖZGEÇMİŞ.....  | 131 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

|             |   |
|-------------|---|
| (TTI(d))    | Göğüs Travma İndeksi                        |
| HIC         | Kafa Yaralanma Kriteri                      |
| $F_{yapı}$  | Yapısal Kuvvet Dayanımı                     |
| $F_{model}$ | Model ile Kapı Arasındaki Etkileşim Kuvveti |
| $M_{kapı}$  | Kapı Kütlesi                                |
| $V_{kapı}$  | Kapı Hızı                                   |
| $F_{MBD}$   | Hareket Edebilen Kapı Bariyer Kuvveti       |

### Kısaltmalar

### Açıklama

|          |   |
|----------|---|
| MADYMO   | Matematiksel Dinamik Model (MAtheMatical DYnamic MOdel)                             |
| EPP      | Genişletilmiş Polipropilen (Expanded Polypropylene)                                 |
| PP       | Polipropilen (Polypropylene)  |
| ECE 95   | Ekonomik Avrupa Komisyonu (Economic Commission Europe)                              |
| TRIZ     | Buluşsal Problem Çözme Teorisi (The Theory of Inventive Problem Solvings)           |
| FMVSS    | Federal Motorlu Taşıt Güvenlik Standartları(Federal Motor Vehicle Safety Standards) |
| EURONCAP | Avrupa Yeni Araç Değerlendirme Programı (European New Car Assessment Programme)     |
| GDOT     | Çok Amaçlı Optimizasyon Yazılımı  |
| RBDO     | Güvenilirlik-Bazlı Tasarım Optimizasyonu  |
| AHP      | Analitik Hiyerarşik Prosesi   |
| MDCM     | Analitik Hiyerarşik Prosesinin Çoklu Karar Kriter Metodu                            |

|       |   |
|-------|---|
| CAD   | Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)   |
| CAE   | Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering)                                |
| DTC   | Maliyet Merkezli Dizayn (Design to Cost)  |
| IFR   | TRIZ Yöntemlerinden Olan, İdealite (Ideal Final Result)                                     |
| DMCR  | Direkt Malzeme Maliyet İndirimi   |
| MPCR  | Üretim Prosesindeki Maliyet İndirimi  |
| SCCR  | Tedarik Zincirindeki Maliyet İndirimi   |
| CRDI  | Dizayn İnovasyonundaki Maliyet İndirimi   |
| NHTSA | Ulusal Otoyol Trafik Güvenlik Müdürlüğü<br>(National Highway Traffic Safety Administration) |
| DOE   | Deney Tasarımı (Design of Experiment)   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 2.1. CN101468629 patent şekli .....  | 12           |
| Şekil 2.2. US6682128 patent şekli.....   | 12           |
| Şekil 2.3. US7625023 patent şekli.....   | 13           |
| Şekil 2.4. US6247745 patent şekli.....   | 13           |
| Şekil 2.5. US7404593 patent şekli.....   | 15           |
| Şekil 2.6. Sedan araç federli kapı paneli .....  | 15           |
| Şekil 2.7. PE katkıli yandan çarpma sönümleyici .....  | 15           |
| Şekil 2.8. PU katkıli yandan çarpma sönümleyici .....  | 16           |
| Şekil 2.9. Tümleşik sönümleyicili kapı paneli .....  | 16           |
| Şekil 2.10. PUR sönümleyicili ön kapı paneli.....  | 17           |
| Şekil 2.11. EPP malzeme çarpışma sönümleyici.....  | 17           |
| Şekil 2.12. PE Katkıli sönümleyicili kapı paneli.....  | 17           |
| Şekil 2.13. EPP malzeme sönümleyicili kapı paneli .....                                      | 18           |
| Şekil 3.1. Yandan çarpma durumundaki parça hız durumları.....                                | 22           |
| Şekil 3.2. Kapı panelinin olduğu durumdaki kuvvet geçişi .....                               | 22           |
| Şekil 3.3. İyileştirilmiş yandan çarpma durumundaki parça hız durumları .....                | 24           |
| Şekil 3.4. Köpük FE simülasyon modeli.....   | 27           |
| Şekil 3.5. Basma Simülasyonu Sonuçları(gerilim zorlanma eğrisi) .....                        | 28           |
| Şekil 3.6. Basma simülasyonu sonucu görselleri .....   | 28           |
| Şekil 3.7. MAT24 numune modeli .....   | 29           |
| Şekil 3.8. MAT24 Gerilim Zorlanma .....  | 29           |
| Şekil 3.9. MAT83 Malzeme Modeli Doğrulama.....   | 30           |
| Şekil 3.10. MAT24 Malzeme Modeli Doğrulama.....  | 30           |
| Şekil 3.11. 3 Absorber malzemesi için yoğunluk değerleri .....                               | 31           |
| Şekil 3.12. Yanma durumundaki malzeme yoğunluk analizi absorber a.....                       | 31           |
| Şekil 3.13. Yanma durumundaki malzeme yoğunluk analizi absorber b.....                       | 31           |
| Şekil 3.14. Yanma durumundaki malzeme yoğunluk analizi absorber c .....                      | 32           |
| Şekil 3.15. EPP malzemededen yapılmış çarpışma sönümleyici .....                             | 45           |
| Şekil 3.16. Yeni yandan çarpışma sönümleyici tasarımlar .....                                | 46           |
| Şekil 3.17. PP malzeme stress-strain eğrisi.....   | 47           |
| Şekil 3.18. PP çarpışma modeli.....  | 48           |
| Şekil 3.19. PP malzeme absorber için absorbe edilen enerji grafiği .....                     | 48           |
| Şekil 3.20. EPP stress-strain eğrisi .....   | 49           |
| Şekil 3.21. EPP absorbe edilen enerji grafiği.....   | 49           |
| Şekil 3.22. Darbe sönümleyici analiz sınır şartları ve failure kriteri görseli çıktısı ..... | 51           |
| Şekil 3.23. Sönümleyici pad analiz sonuçları.....  | 51           |
| Şekil 3.24. Alternatif sönümleyici pad modelleri.....  | 52           |
| Şekil 3.25. Model 1 (63 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları.....                           | 52           |
| Şekil 3.26. Model 2 (102 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları.....                          | 53           |
| Şekil 3.27. Model 3 (63 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları.....                           | 53           |
| Şekil 3.28. Model 4 (115 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları.....                          | 54           |
| Şekil 3.29. Model 5 (118 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları.....                          | 54           |
| Şekil 3.30. Model 6 (100 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları.....                          | 55           |
| Şekil 3.31. Petek Modeli (66 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları.....                      | 55           |
| Şekil 3.32. Petek tasarım analiz sonuçları çıktıkları.....                                   | 56           |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.33. Çoklu Koni Modeli (54 gr) Sonlu Elemanlar Analizi .....                                    | 56 |
| Şekil 3.34. Çoklu Koni Modeli Analiz Sonuçları.....  | 57 |
| Şekil 3.35. Pad modellerin performans değerlendirme metriksi için enerji karşılaştırması.....          | 57 |
| Şekil 3.36. Sönümleyici pad petek modeli (Honeycomb) .....   | 58 |
| Şekil 3.37. Petek modeli (Honeycomb) yandan çarpma senaryosu analiz sonuçları .....                    | 58 |
| Şekil 3.38. Yandan çarpma test simülasyonu.....  | 59 |
| Şekil 3.39. Absorbe edilen enerji grafikleri .....   | 59 |
| Şekil 3.40. Model üzerinde abdomen ve pelvis bölgeleri .....   | 60 |
| Şekil 3.41. Kapı sabitleme noktaları ve kütle bölgesi (Pelvis).....                                    | 61 |
| Şekil 3.42. Kapı sabitleme noktaları ve kütle bölgesi (Abdomen) .....                                  | 62 |
| Şekil 3.43. Madymo analizinde dummy ve kapı panel etkileşimleri.....                                   | 63 |
| Şekil 3.44. NCAP yandan çarpışma testi .....   | 64 |
| Şekil 3.45. HyperMesh programı ara yüzü .....  | 66 |
| Şekil 3.46. HyperCrash Programı ara yüzü.....  | 66 |
| Şekil 3.47. HyperStudy Programı Ara yüzü.....  | 67 |
| Şekil 3.48. Ls Dyna Programı Solver Ara yüzü .....   | 68 |
| Şekil 3.49. Radios Programı Solver Ara yüzü.....   | 68 |
| Şekil 3.50. Hyperview Ara yüzü .....   | 69 |
| Şekil 3.51. HyperGraph Ara yüzü .....  | 69 |
| Şekil 4.1. Bir hidrolik sistemli yandan çarpma sönümleyici.....  | 74 |
| Şekil 4.2. Bir pnömatik sistemli yandan çarpma sönümleyici .....                                       | 75 |
| Şekil 4.3. PP ve EPP malzeme çarpışma sönümleyici tasarımların enerji sönümleme karakteristikleri..... | 77 |
| Şekil 4.4. Bal peteği(Honeycomb) tasarımı çarpışma sönümleyicinin analiz senaryosu .....               | 78 |
| Şekil 4.5. Bal peteği yandan çarpışma sönümleyici kuvvet-girişim durumu.....                           | 79 |
| Şekil 4.6. Abdomen analiz senaryosu .....  | 79 |
| Şekil 4.7. PP malzeme akordiyon tasarım abdomen kuvvet-girişim değerleri .....                         | 80 |
| Şekil 4.8. Akordiyon yapılı çarpışma sönümleyicinin analiz senaryosu .....                             | 80 |
| Şekil 4.9. Akordiyon yapılı çarpışma sönümleyicinin pelvis kuvvet-yerdeğişim değerleri .....           | 81 |
| Şekil 4.10. PP malzeme çarpışma sönümleyici tasarımları.....   | 82 |
| Şekil 4.11. EPP ve PP malzemedan yapılmış çarpışma sönümleyiciler(Dizayn1) .....                       | 84 |
| Şekil 4.12. Abdomen ve pelvis analizinde yeni analiz senaryosu koordinat sistemi .....                 | 84 |
| Şekil 4.13. Yeni koordinat sistemine göre pelvis analiz sonuç değerleri .....                          | 85 |
| Şekil 4.14. Yeni koordinat sistemine göre abdomen analiz sonuç değerleri.....                          | 86 |
| Şekil 4.15. EPP ve PP malzemedan yapılmış çarpışma sönümleyiciler(Dizayn2) .....                       | 86 |
| Şekil 4.16. Abdomen analizi için yapılan çalışmaların grafiksel gösterimi .....                        | 87 |
| Şekil 4.17. Pelvis analizi için yapılan çalışmaların grafiksel gösterimi .....                         | 87 |
| Şekil 4.18. Madymo analizlerindeki PP ve EPP malzemelerin konum görüntüleri .....                      | 88 |
| Şekil 4.19. Yeni PP malzeme tasarımlarının EPP malzeme tasarımı ile karşılaştırılması .....            | 89 |
| Şekil 4.20. Yeni bir PP malzeme Madymo analiz çalışması.....   | 89 |
| Şekil 4.21. Analiz sonuçlarına göre kuvvet-deplasman eğrileri.....                                     | 91 |
| Şekil 4.22. Side Impact Absorber HyperStudy Kalınlık Optimizasyonu Modeli .....                        | 91 |
| Şekil 4.23. PP Malzeme yandan çarpma sönümleyici yeni tasarım (mesh).....                              | 92 |
| Şekil 4.24. Pelvis Parçası .....   | 92 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 4.25. HyperStudy Programına Ls Dyna Çözücüsünü Tanıtma .....  | 93  |
| Şekil 4.26. Tasarım Değişkeni Ekleme .....  | 93  |
| Şekil 4.27. HyperStudy Response Tanımlamaları.....  | 94  |
| Şekil 4.28. DOE 1 - Central Composite.....  | 95  |
| Şekil 4.29. DOE2 - Latin HyperCube .....  | 96  |
| Şekil 4.30. Fitting İşlemi.....   | 97  |
| Şekil 4.31. İlk Optimizasyon Et Kalınlığı ve Kuvvet Değeri Sonuçları .....  | 98  |
| Şekil 4.32. İlk Optimizasyon Sonuçları .....  | 99  |
| Şekil 4.33. İkinci Optimizasyon Et Kalınlığı ve Kuvvet Değeri Sonuçları .....                                       | 101 |
| Şekil 4.34. İkinci Optimizasyon Sonuçları.....  | 101 |
| Şekil 4.35. Softtool-prototip PP Absorber Kalıpları.....  | 103 |
| Şekil 4.36. Genel durum montaj analizi.....   | 104 |
| Şekil 4.37. Detay durum montaj analizi-1 .....  | 105 |
| Şekil 4.38. Detay durum montaj analizi-2 .....  | 105 |
| Şekil 4.39. PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici tasarım 1 için montaj analizi .                                  | 106 |
| Şekil 4.40. Paketleme analizleri - kapı paneli ve yandan çarpışma sönümleyici PP malzeme .....                      | 106 |
| Şekil 4.41. Tüm sistem paketleme analizi - kapı paneli, sac ve absorber.....  | 107 |
| Şekil 4.42. Kapı paneline PP malzemededen yapılan yeni nesil yandan çarpışma sönümleyicinin adaptasyon iş emri..... | 108 |
| Şekil 4.43. Parçalara ayrılan PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici .....  | 110 |
| Şekil 4.44. Tasarım Değişkeni Ekleme .....  | 111 |
| Şekil 4.45. HyperStudy Response Tanımlamaları.....  | 111 |
| Şekil 4.46. DOE1 - Plackett Burmann .....   | 112 |
| Şekil 4.47. Absorber Parçalarının Sonuca Etki Dağılım Grafiği.....  | 113 |
| Şekil 4.48. Absorber Parçalarının Kuvvet-Ağırlık Etki Dağılımı .....  | 113 |
| Şekil 4.49. DOE2 -Central Composite.....  | 114 |
| Şekil 4.50. DOE3 -Central Composite.....  | 115 |
| Şekil 4.51. Fitting İşlemi .....  | 115 |
| Şekil 4.52. Optimizasyon Sonuçları .....  | 117 |
| Şekil 4.53. Optimizasyon Sonuçları 2.....   | 117 |
| Şekil 4.54. Optimizasyon 2 - Sonucu 1.....  | 119 |
| Şekil 4.55. Optimizasyon 2 - Sonucu 2.....  | 119 |
| Şekil 4.56. Optimizasyon sonuçlarına bağlı olarak oluşturulan yeni model.....                                       | 120 |
| Şekil 4.57. Yeni model yandan çarpışma sönümleyici analiz sonucu(kuvvet/yerdeğiştirme) .....                        | 121 |
| Şekil 5.1. EPP malzemededen yapılmış yandan çarpma sönümleyici .....  | 122 |
| Şekil 5.2. EPP malzeme yandan çarpışma sönümleyici detay görüntüleri .....  | 122 |
| Şekil 5.3. Yeni nesil PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici .....  | 123 |
| Şekil 5.4. Yeni nesil yandan çarpışma sönümleyici için detay görüntü .....  | 123 |
| Şekil 5.5. Seri imalatta kullanılan yeni nesil PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici .....                         | 124 |
| Şekil 5.6. Isometrik ön görünüş - PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici.....                                       | 124 |
| Şekil 5.7. Isometrik arka görünüş - PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici .....                                    | 124 |
| Şekil 5.8. Yandan çarpışma sönümleyicilerin kullanıldığı farklı modeller .....                                      | 125 |
| Şekil 5.9. EPP malzeme kafa çarpışma sönümleyici .....  | 125 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 3.1. Kuvvet ve hareketsiz cismin ağırlığı kesişmesi .....                          | 34  |
| Çizelge 3.2. Kuvvet ve şekil kesişmesi.....  | 36  |
| Çizelge 3.3. Kuvvet ve enerji israfı kesişmesi .....                                       | 38  |
| Çizelge 3.4. Kuvvet ve madde israfı kesişmesi.....   | 39  |
| Çizelge 3.5. Mukavemet ve hareketsiz cismin ağırlığı kesişmesi .....                       | 41  |
| Çizelge 3.6. Mukavemet ve şekil kesişmesi.....   | 42  |
| Çizelge 3.7. Mukavemet ve enerji israfı kesişmesi .....                                    | 43  |
| Çizelge 3.8. Mukavemet ve madde israfı kesişmesi.....                                      | 43  |
| Çizelge 3.9. Farklı et kalınlıkları için absorbe edilen enerji değerleri.....              | 49  |
| Çizelge 4.1. Kuvvet iyileşme faktörün çelişki matrisi sonuçları.....                       | 70  |
| Çizelge 4.2. Mukavemet iyileşme faktörün çelişki matrisi sonuçları.....                    | 72  |
| Çizelge 4.3. Kuvvet ve mukavemet özelliklerinin iyileşmesi için çelişki .....              | 73  |
| Çizelge 4.4. PP malzeme çarpışma sönümleyicilerin abdomen ve pelvis analiz sonuçları ..... | 82  |
| Çizelge 4.5. Optimizasyon-1 değişken ve kısıtları .....                                    | 98  |
| Çizelge 4.6. Optimizasyon-1 sonuçları.....   | 99  |
| Çizelge 4.7. Optimizasyon-2 değişken ve kısıtları .....                                    | 100 |
| Çizelge 4.8. Optimizasyon-2 sonuçları.....   | 102 |
| Çizelge 4.9. Optimizasyon kısıt ve değişkenleri .....                                      | 116 |
| Çizelge 4.10. Optimizasyon sonuçları genel durum .....                                     | 118 |
| Çizelge 4.11. Tasarım değişkenlerinin başlangıç,maksimum ve minimum değerleri ..           | 118 |
| Çizelge 4.12. Optimizasyon sonuçlarına göre Absorber parçalarının değerleri.....           | 119 |
| Çizelge 4.13. Yeni tasarım yandan çarpışma sönümleyici için kalınlık değerleri .....       | 120 |



## 1. GİRİŞ

Otomotiv sektörünün başlangıç temelleri atılmasından bugüne kadar yaşanan tüm teknolojik gelişmelerin ortasında insan güvenliği konusu en önemli konuların başında gelmektedir. Yapılan tüm patentli patentsiz buluşların araçlara uygulanabilir hale gelmeleri ile güvenilirliğin artırılması hedeflenmektedir. Tüm mekanik, mekatronik ve elektronik iyileşmelerin ürün şeklinde uygulamaları araç üzerinde aktif ve pasif güvenlik sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Aktif güvenlik sistemleri elektronik kontrollü ve sürücüden bağımsız olarak hareket edebilen sistemler olurken, pasif güvenlik sistemleri çarpışma anındaki hasar miktarının minimum düzeylere çekilmesini sağlayan sistemlerdir. Sonuç olarak bahsedilen sistemlerin ortak amacı, sürücü ve yolcuların araç içindeki sağlık durumlarının maksimum seviyede tutarak seyahatlerini yapabilmelerini sağlamaktır.

Kapı panellerinin bağlı bulunduğu kapı saclarından gelen darbelerin emilmesi için yapılan sac güçlendirmeleri yapılar mevcuttur. Bu yapıların ortak amaçları yandan çarpışma anında yolcu/sürücünün pelvis ve abdomen bölgelerinde oluşacak hasarın minimumuma indirilmesidir. Bu sistem basit bir pasif güvenlik sistemi olarak görünmektedir. Fakat mevcut norm ve regülasyonlar içerisinde kalınarak istenen enerji sönmüleme ve kuvvet etkilerinin minimumuna indirilmesi için ciddi anlamda test ve analizler ile parça verifikasyonları yapılmaktadır.

Çalışma içerisinde, bir fikir olarak ortaya atılmış durum, sistematik olarak işlenmiş ve çözüm yolları anlatılmıştır. Başlangıç aşamasında, elde edilen tüm kaynaklardan bilgi birikimi oluşturulmuştur. Yapılan incelemeler; karşılaştırmalı analizler, patent incelemeleri, literatür araştırmaları ve maliyet indirim önerileri olarak değerlendirilmiştir.

Mevcut araç projesi ve Teydeb proje desteğinin alındığı önemli bir projenin tüm aşamaları çalışma içerisinde anlatılmıştır. Senelerdir süregelen genişletilmiş

Polipropilen malzeme ile hazırlanmış olan yandan çarpışma sönümleyicilerin bir sonraki aşaması olan farklı malzeme ile üretilmeleri hedef alınmıştır.

TRIZ: bir icat çıkarma kılavuzu olarak isimlendirilebilen çözüm metodu kullanımı ile tüm bilgi birikimi tasarım aşamasından itibaren kullanılmıştır. Yapılan verifikasyon analizleri olarak abdomen/pelvis ve MADYMO çalışmaları yürütülmüştür. Mevcut yandan çarpışma sönümleyici EPP yani genişletilmiş Polipropilen olarak karakterize edilmiştir. Tasarım aşamasından analiz aşamasına geçen her fikri analizlerde değerlendirilerek mevcut EPP için karakteristik eğriye göre çalışmaya devam edip etmeyeceği belirlenmiştir. Analiz aşamasını geçen tasarım fikirlerinin patentlenebilirlik kontrolleri yapılmıştır. Bu değerlendirmeyi de geçen fikirler için kalıp yapılarak gerçek zamanlı testler yapılmıştır. Testlerden çıkan veriler ile optimizasyon yöntemleri kullanılarak, optimum ürün tasarımı için çıktılar alınmıştır. Bu aşamadan sonra tekrar homologatif gereklilikler için çarpışma testleri ECE 95 norm gerekliliğine göre yapılmıştır. Ürün oluşumunda TRIZ metodunun yönlendirmesi ve optimizasyon çalışmaları ile ortaya çıkan ve yeryüzünde bir ilk olan yandan çarpışma sönümleyicinin patent alınma işlemleri yapılmıştır.

Bu çalışmanın sonunda, hiçbir benzeri olmayan bir ürünün doğması gerçekleşerek, seri imalatta kullanılan ve maddi açıdan ciddi anlamda rekabetçi bir ürünün gelişiminden bahsedilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Otomotiv sektörünün öncelikli hedeflerinden bir tanesi, araç çarpışma ve kaza durumlarında yolcuların ve sürücünün güvenliğini sağlamaktır. Birçok otomobil firması bu tip durumlar için tasarladığı aktif ve pasif güvenlik sistemlerini kullanmaktadır. Yeni araçların tasarım aşamasındaki durumları değerlendirildiğinde, tek yönlü düşünce tarzının dışına çıkılan yöntemler kullanılmaktadır. Güvenlik ekipmanlarının yeterli miktarda koruma sağlamasının yanında, maliyet açısından uygun ve tasarımsal açıdan esnek yapılara sahip olmaları ve en önemlisi üretilebilir olmaları gerekmektedir. Bu tip tasarım süreçlerinde, genellikle bir önceki nesil ürün değerlendirmeye alınır ve yeni ürün çekirdeğini oluşturur. Mevcut sistemlerin anlaşılması hakkında çalışmalar yapılırken önemli aşamalardan bir tanesi de bu ürünün rakip firmalardaki durumlarının bilinmesidir. Bu tip durumlar için Benchmarking olarak bilinen çalışmalar yapılmaktadır. Tasarım süreçlerinin en önemli fazı fikrin doğduğu ve yaşam süreci boyunca hizmet edebilecek bir ürünün ortaya çıktığı geliştirme sürecidir.

Bu çalışma içerisinde bulunan kaynak araştırması bölümünde, çalışmanın çekirdek kısmını oluşturan ve tüm bilgi birikimlerinin doğmasına sebep olan fikrin ortaya çıkış kısımlarından bahsedilecektir. 5 bölümden incelenen kaynaklar kısmında, fikrin doğmasından ürün aşamasına geçene kadar kullanılacak bilgilerin özetleri yer almaktadır.

### 2.1 Otomobil Sektöründeki Çarpışma Sönümleyiciler

Slik ve Vogel(2007) yılındaki çalışmalarında; yandan çarpma kazalarında pad enerji absorpsiyonunu yanı sıra yolcuyu darbenin etkisinden korumakta olduğunu ortaya koyan bulguları değerlendirmişlerdir. Pad genellikle leğen kemiği, karın ve göğüs bölgesine gelecek şekilde yerleştirilmektedir. Bu çalışmada yüksek verimli enerji absorbe eden köpüklerin uygulamadaki avantajları gösterilmiştir. Bu malzemeler tasarımcılara yerden tasarruf, ağırlık ve maliyet avantajları sağlamasının yanı sıra önemli güvenlik avantajları sağlamaktadır. Bilgisayar destekli mühendislik benzetim metodu optimizasyon için kullanılabilmesinden de bahsedilmiştir.

FMVSS(Federal Motor Vehicle Safety Standards) (1999) raporlarına göre; gerçek kazalarda göğüs travma indeksi (TTI(d)) ile ölüm riski arasındaki korelasyonu bulmuştur. 1981-93 model 2 kapılı arabalarda gerçek yandan çarpma kazalarında TTI(d) ile ölüm riski arasında güçlü bir korelasyon vardır: Düşük TTI(d) düşük ölüm riski demektir. Yine aynı model fakat 4 kapılı arabalarda ise gerçek yandan çarpma kazalarında TTI(d) ile ölüm riski arasında zayıf bir korelasyon olduğu bulunmuştur.

Teng ve ark.(2007) ; yaptıkları çalışmada, yandan çarpma kazaları önden çarpma kazalarından sonra en fazla ölüm ve yaralanmalara neden olan kazalar olarak belirtmişlerdir. Çarpışma esnasında hızı düşürmek ve yolcu bölmesine kapının göçme derinliğini düşürmek için yan kapı direkleri geliştirilmiştir. Yan kapı direkleri yolcu ölümleri ve ciddi yaralanmalarını düşürmede büyük öneme sahip olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmada, test nümerik modelleri FMVSS-214'e göre yapılmıştır. Yan kapı direklerinin performans analizinde kapının deformasyonu ve modelin yaralanması incelenmiştir. Çalışma sonuçları yan kapı direklerinin yolcu yaralanmalarını dikkate değer biçimde düşürme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuç ve prosedürler yan kapı direklerinin optimum tasarımı için referans olarak kullanılabilir seviyede yayınlanmıştır.

Araç komponentlerinde çarpışma güvenliğinin artırılması ile düşük ağırlık ve düşük maliyet en önemli gereksinimleri teşkil etmektedir. Yan darbe koruma direkleri bu gereksinimleri karşılamalıdır. Özellikle ultra yüksek mukavemetli çelik kullanımı bu hedefe ulaşmak için verimli bir yaklaşım gösterir. Weber (2013) ; bu çalışmada pres üretimi ve profil çekme-lazer kaynak kombine prosesi karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma profil çekme alternatifinde önemli maliyet kazançları olduğunu göstermektedir. Profil çekme ve lazer kaynaktaki en son gelişmeler daha ileri seviye ağırlık ve maliyet azaltışı sağlayacaktır. Şimdiye kadar profil çekme kesitleri üniform bir et kalınlığına sahipti. Şu anda ise farklı kesitlerde farklı et kalınlıkları elde edilebilmektedir. Bu ise eşit yüklenen kesitler tasarlanmasını sağlar. Bu gelişmeler sadece yan darbe direkleri değil aynı zamanda tüm araç gövdesinde önemli bir potansiyel sağlamaktadır. Birkaç özel Avrupa profil çekme firması bu en gelişmiş

teknolojiye sahiptir ve bu firmalar otomotiv endüstrisine destek sağlayabilecek kapasitede olduğu çalışmada belirtilmiştir.

Düşük hızda bir çarpışmada tamir maliyetlerini düşürmek ve daha düşük bir sigorta kategorisini elde etmek için araçtaki hasar minimum düzeyde olmalıdır. Tampon sistemi düşük hızda bir çarpışmada aracın kinetik enerjisini absorbe etmekten sorumludur. Villalonga ve Enderich(2007); bu çalışmada düşük hızda çarpışmada gerçek çarpışma koşullarında modern bir tampon sisteminin karşılaması gereken gereksinimler tanımlamıştır. Gelişmiş teknikler kullanılarak detaylı modelleme yapılmış ve kaliteli mesh atılarak çarpışma simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Njuguna(2011);çalışmasında bir Dünya Ralli Şampiyonası aracının bir ağaca yandan çarpması durumunda enerji absorbe eden yapıların yolcuları korumasını iyileştiren bir sistem sunulmaktadır. Tasarım modeli I-DEAS 11 yazılımı ile katı olarak elde edilmiş ve çarpışma simülasyonları için PAM-Crash yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları yandan çarpma koruma sisteminin 14 m/s çarpma hızı ve 0,2 m ağaç çapında enerjinin %98'ini absorbe ettiğini ve dağıttığını göstermektedir.

Menon ve ark.(2009); çalışmalarında; çarpma durumunda çocuk sabitleme sistemlerinde kullanılan köpük ve yan kanatların nasıl bir koruma gerçekleştirdiğini incelemişlerdir. Çalışma matematiksel modeller MADYMO'da geliştirilerek gerçekleştirilmiştir. Parametrik çalışmalar farklı yoğunluk ve kalınlıklardaki EPS köpüğün ve yan kanat tasarımının kafa yaralanmalarını nasıl hafiflettiği üzerine yapılmıştır. Kafa yaralanma kriteri (HIC) için incelenen sonuçlardan köpük yoğunluğundaki artışın HIC değerini %21 oranında düşürdüğü sonucu elde edilmesine karşılık alt karın ve göğüs ivmelerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Benzer durumlar köpük kalınlığı artırıldığında da elde edilmiştir. Yan kanatları büyütme HIC değerinde önemli değişiklik meydana getirmemiştir. Modellerin yalnızca kafa çarpma için değil aynı zamanda omuz ve alt karın gibi diğer çarpma alanları için de optimum köpük yoğunluk ve kalınlığı çalışmaları yapılabileceği durumu da belirlenmiştir. Bu çalışma farklı ofset çarpışma yönlerinde simülasyonlar yürütülerek genişletilebilecek şeklindeki sonucu da ortaya çıkarmıştır.

Chotika ve ark.(2011); bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak değişik araç segmentleri için çarpışma sonrası yolcu hücresi enerji absorbe ve çökme karakteristikleri incelenmiştir. Önden ve yandan çarpışma durumları için şu faktörler incelenmiştir: İyi yapısal etkileşim, enerji absorbe davranışı, yolcu hücresi deformasyonu. Araç çarpışma simülasyonları EURONCAP şartlarında yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarından araç ağırlık ve boyutunun enerji absorbe ve çökmelerde önemli bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır.

Araç çarpışmalarında enerji yönetimindeki hedef yolcu ve yayalara gelen kuvvet ve stresleri düşürmektir. Bunun için araç komponentlerinde ileri malzemeler kullanılmaktadır. Enerji absorbe eden köpük, plastik ve polimer kompozitler gibi diğer hafif malzemelerin kullanımı gittikçe artmaktadır. Bundan dolayı bu malzemelerin enerji absorbe yeteneğini yükseltmek için nümerik modelleme ve çarpışma simülasyonları yapılmaktadır. Bu sayede zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanmaktadır. Fremgen ve ark.(2005); köpük malzemeler enerji emilim yetenekleri bakımından çok iyi sonuçlar verdiğini ortaya koyan değerlendirmelerini bu çalışmada paylaşmışlardır. Köpük malzemeler göreceli olarak hem ucuzdur hem de karmaşık parçalar kolaylıkla modellenebilmekte olduğunu da bu çalışmada incelemişlerdir.

Sinha(2007) bu çalışmasında, güvenilirlik bazlı çok amaçlı optimizasyon için bir metodoloji sunmuştur. Bu metodoloji yandan çarpma için yapısal olarak ve yolcu güvenliği için araç tasarım optimizasyonuna uygulanmıştır. Amaç fonksiyonunda ise yapısal ağırlık ve ön kapı hızı kullanılmıştır. Optimizasyon için genetik algoritma bazlı çok amaçlı optimizasyon çok amaçlı optimizasyon yazılımı GDOT kullanılmıştır.

Bilgisayarların kapasitelerinin yükselmesiyle birlikte yeni araç tasarımları daha düşük zaman ve maliyetle yapılmaya başlanmış ve aynı zamanda daha emniyetli olmuşlardır. Fakat simülasyon bazlı optimizasyon deterministik optimum tasarımlar üretir. Bu da sıklıkla tasarımların kısıt sınırlarında olmasına neden olur, modellemede ya hiç tolerans olmaz ya da çok az olur, simülasyonlarda belirsizlikler ve üretimde hatalar söz konusudur. Sonuç olarak deterministik optimum tasarımlardan güvenilir olmayan tasarımlar elde edilebilir. Bu sebepten ötürü Güvenilirlik-Bazlı Tasarım Optimizasyonu

(RBDO)'na gereksinim vardır. Youn ve ark.(2003); bu çalışmada RBDO'nun farklı uygulamalarına yer vermektedir.

Wilson(2003);bu çalışmada dokuma uzun cam elyafıyla güçlendirilmiş polipropilen matris kompozitin hasar modeli incelenmiş ve geliştirilmiştir. Sonuçların bir araç komponentine uygulanabilmesi için modelin tabaka içi hasar davranışı geliştirilmiştir.

Önden ofsetli çarpışma veya eksen dışı çarpışma durumunda enerji absorpsiyonunu 2 boyuna yapıdan sadece biri yapar. Bu da yolcu kompartmanında tehlikeli deformasyonlara neden olur. Witteman(1999),bu çalışmada daha önce yapılmış çalışmalardan farklı bir konu üzerinde çalışmış ve ofsetli çarpışmada her iki boyuna elemana yük gelmesi sağlanacak şekilde ve bu elemanların katlanarak enerji absorbe etmesi suretiyle yolcu bölmesinin deformasyonunu önleyecek bir tasarım yapmıştır. Erken katlanmayı önlemek için yeni boyuna yapılar 2 fonksiyonel komponentten oluşmaktadır: normal sabit aksenal yük seviyesi için bir iç kare ezilme kolonu ve ekstra katlanma direnci sağlayan rijit bir dış kızaklı destek yapısı. Burada entegre bir kablo sistemi kuvveti diğer boyuna yapıya taşır. Bu tasarımla araç tüm çarpışma durumlarında(full, ofsetli, eğik) benzer enerji emilimi gösterir. Nümerik çarpışma simülasyonlarıyla bu konsept optimize edilmiş ve geliştirilmiştir. Sonuçlar tüm çarpışma tiplerinde benzer yavaşlama eğrilerinin elde edilebildiğini göstermiştir.

Teixeria ve Paulino(2012); bu çalışmada araç araca yandan çarpışma durumunda pasif bir güvenlik mekanizması olarak yan kapıların içerisine gözenekli malzemelerden yapılmış pad konulmasını incelemiştir. LS-Dyna sonlu eleman analizi yazılımı ile çarpışma testleri yapılmıştır. Crash-test modellerini tanımlama ve uygulamada EuroNCAP standartları göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak rijit poliüretan köpük, IMPAXX, mikro aglomera mantar ve alüminyum köpük padler test edildi; enerji absorbe etme performansları pad olmayan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki yukarıda ifade edilen köpük malzemeler maksimum değerlerde yavaşlama vasıtasıyla yan kapılarda enerji dağıtma vazifesini gerçekleştirmiş ve araçtaki yolculara gelen yükleri düşürmektedir.

Tay ve ark.(2014);bu çalışmada araçlara yandan çarpma sanal analizleri; 5 farklı köpük malzemesi (CONFOR green, IMPAXX, MAC, PUF, DAX55) ile yapılan yan darbe sönümleyicili araç modeli ve yan darbe sönümleyicisiz araç modeli ile sonuçları incelemiştir. Sanal analiz programında oluşturulan malzeme kartları; çalışmada köpük malzemelerin test sonuçlarında elde edilen gerilme-gerinme eğrileri, sanal analizler ile doğrulanmış ayrıca kullanıma açık olan Ford Taurus 2000 model sanal aracı yapılan daha önceki testlere göre doğrulama işlemleri yapılarak yandan çarpma simülasyonlarında kullanılmıştır. Analizlerde sanal model oluşturma aşamasında HyperMesh, çözüm aşamasında ise Ls-Dyna programı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında yan çarpma esnasında yan tarafta oluşan toplam deformasyon, yan kapının içeri göçme mesafesi, çarpma esnasında köpük malzemelerin enerji sönümleme miktarları ve yan kapıdaki yanallı ivmeler incelenmiştir. Analizlerde herhangi bir sanal insan modeli kullanılmadığı bu nedenle sürücüye gelen ivme ve kuvvet değerlerinin tespit edilemediği sonuç kısmında belirtilmiştir.

## **2.2 TRIZ: Sistematik Problem Çözme Yöntemi**

Otomobil sektöründeki problem çözme yöntemlerinin uygulanması ile ilgili olarak, temel problemlerden birinin seçilmesi ve uygulanması ile ilgili olarak Gadakh ve Mawale(2013) TRIZ yöntemini kullanmışlardır. Araçların yolda ilerlerken, direksiyon çevrilmesi ile oluşan kör nokta problemi ele alınmıştır. TRIZ metotlarından biri olan Su-Field metodunu kullanmışlardır. Ön farlar, durum-gereken dönüş hareketi ve esas alan analizi olarak inceleme yapılmıştır. Bu şekilde problemin alanlara ayrılarak basitleştirilmesi ile çözüm yoluna gidilmiştir. Problemin objektifleştirilmesi de sağlanmış olmaktadır. Sistem-otomobil, alt sistem-şasi, soğutma sistemi, motor, vb. odak sistem-ön arka farları içeren ışık sistemi olarak parçalara ayrılmıştır. Sonuç olarak, mekanik bir hareketin ışık sistemi ile bağlantısını sağlayan bir sistem elde edilmiştir.

Farklı sektörler ile iç içe olan otomobil sektöründeki ihtiyaçların karşılanması için farklı dizayna sahip araçlar üretilmektedir. Bunlardan bir tanesi de Lee ve Hsieh (2009); çalışmalarının sonucu olarak dizayn edilmiştir. Her iki kasa kenarından açılan kapılara sahip kamyonet dizaynında oluşan durumun, TRIZ yöntemlerinden biri olan çelişki matrisi çözülmesi sağlanmıştır. Çalışmanın önemli noktaları ve amacı ise; açılabilir bir



mekanizma geliştirilen maliyetin düşürülmesi ve yüksek pratiklik sunmasının sağlanmasıdır. Çelişki matrisinden; sabit nesnenin uzunluğu, güç sistemin karmaşıklığı, sabit nesnenin uzunluğu, dayanıklılık ve güvenilirlik durumları problem tanımında değerlendirilmiştir. Bu durumların çıktıları olarak, yüzlerce patent mentalitesinden oluşturulmuş çözüm basamakları kullanılmıştır.

Otomobil sektöründeki üretim artışlarına bağlı olarak ortaya çıkan şehirlerdeki park problemlerinden dolayı farklı çözümler üretilmiştir. Manohar ve Kalla (2012); TRIZ metodunun alt yöntemlerinden olan çelişki matrisini kullanarak, park sorununa çözüm yolları aramışlardır. Çelişki matrisinden; hareketli nesnenin uzunluğu, hareketli nesnenin hacmi, şekil, dayanıklılık, hareket eden cismin ağırlığı, güvenilirlik durumları seçilmiştir. Bu durumların incelenmesi ve değerlendirmesinin bir sonucu olarak yeni bir kısalan-uzayan şase fikri ortaya çıkmıştır.

Changqing ve Ark.(2005); TRIZ metotlarını alt kısımlarda inceleyerek bir case study üzerinde çalışmışlardır. Çelişki matrisi kullanılarak, araçlarda birçok komponentin bağlı bulunduğu bir parçanın modifikasyonu sonucunda fikstür üzerinde durması tartışılmıştır. Birçok fikrin ortaya çıktığı çözümler arasından, manyetik bağlantı kullanımını pratik ve uygulanabilir bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

Yeni bir tasarım sürecindeki tüm adımların derlendiği çalışmada, Dubravcik ve ark.(2012); TRIZ metodunun alışılmışın dışındaki beyin fırtınası özelliği ile çelişkiler matrisinden bahsedilmiştir. Proje geliştirme sürecinde TRIZ metodu var olan platformlar ile yeni şekiller arasındaki çelişkilerin çözülmesinde kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Var olan bir otobüs gövdesinin detayını, Butdee ve Vignat (2008) ; Triz metodunu kullanarak yeniden gerçekleştirmişlerdir ve CAD /CAE mühendislik yardımları ile değerlendirme yapmışlardır. Ağırlık anlamındaki azalma ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntem yine üretim ve dizayn aşamalarında kullanılarak, maliyet ve zamandan kazanç sağlanabilmektedir.

Analitik Hiyerarşik proses(AHP)'in çoklu karar kriter metodu(MDCM) ile geliştiren aracının kullanılması ile TRIZ metodunun geliştirilme çalışması, Rosli(2013) tarafından çalışma içerisinde incelenmiş ve bu tümleşik sistem araçların torpido geliştirme fazında kullanılmıştır. Sistematik bir geliştirme süreci ortaya çıkartılarak çalışmaların daha da genişletilmesi ve farklı durumlara uygulanması ile ilgili öngörüler paylaşılmıştır.

Bu çalışmada Adhikary ve Buktar(2014); standart normlara göre değerlendirmelerin yapıldığı ve güvensiz durumların olduğu ortamlarda yapılan aktivitelerin elimine edilmesi incelenmiştir. TRIZ yöntemlerinin değerlendirmelerde kullanıldığı çözümler uygulanmıştır. Çalışma ortamı olarak, motorların temizleme yapıldığı alanlar kullanılmıştır.

Inovatif ürün geliştirme süreçlerinden biri de TRIZ yönteminin kullanıldığı ve desteklendiği çalışmalardır. Yang ve ark.(2012); yaptıkları çalışmada TRIZ ve A-TRIZ yöntemini kullanarak hazırladıkları case study (örnek çalışmalar) çalışmaları ile efektif ve inovatif dizaynların oluşturulmasından bahsetmişlerdir. Case study olarak ele aldıkları yeni nesil bir kalem için çelişki matrisinden yararlanarak, alışılmış formların dışında bir ürün ortaya çıkarılarak, TRIZ yönteminin sistematik olarak ürün dizayn süreçlerinde kullanılması ile yeni nesil ürünlerin ortaya çıkarılabileceğini belirtmişlerdir.

Rosli ve Ark.(2013), TRIZ yöntemini kullanarak otomobil kapı panellerindeki dizayn çalışmalarını değerlendirmeye alırken, AHP(Analitik Hiyerarşik proses) yaklaşımı ile çelişkiler matrisindeki seçim kriterlerini değerlendirmek için kullanmışlardır. TRIZ çalışmasının önemli basamaklarından biri olan çelişkiler matrisindeki ilerleyişte, sistematik bir yol olarak AHS metodunun kullanılması gerçekleştirilen çalışmada, harcanan mali değerler ve eforun iyi bir şekilde kullanımı gerçekleşirken aynı zamanda geliştirme aşamasındaki ürünün dizayn etkinliğini de artırıcı olduğu bir durum ortaya konmuştur.

Filmore(2005),TRIZ yönteminin yenilikçi bir dizayn aracı olduğunu ortaya koyduğu çalışmasında, otomobillerdeki geleneksel tasarımlardan biri olan tekerlekleri ele alarak,

bu dizaynın bir sonraki aşamaya geçirilmesindeki örnekleri ortaya koyarak bu çalışmaların TRIZ ile iç içe olduğunu belirtmiştir. Tasarımsal olarak son noktaya gelindiği öne sürülen ürünleri TRIZ yöntemi ile tekrar değerlendirmeye alındığında yenilikçi ürünlerin ortaya çıkabileceği konusunda inceleyen bir çalışmadır.

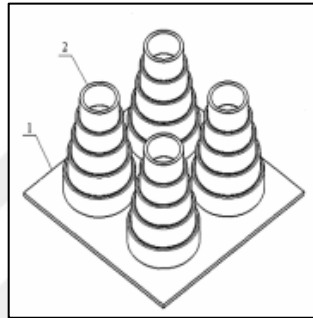
DTC(Design to Cost) Maliyet indirimi çalışmalarında Bakar ve Rahim (2014); TRIZ yöntemini kullanarak case study çalışmalarında bulunmuşlardır. Yeniden tasarlanan ürünlerin TRIZ yöntemi çerçevesinde değerlendirilmesi ile maliyet iyileştirme çalışmalarında farklı bir yöntem ortaya koyulmaktadır. Bu çalışmada, sac metal baskılarındaki artık malzemelerin diğer ürünlerde kullanımı değerlendirilmektedir. Bir anlamda bu çalışma, DTC yöntemindeki boşlukların TRIZ yöntemi ile doldurulmasını ve elde edilen sonuçları ortaya koymaktadır.

Otomobil yakıt tüketim iyileştirme çalışmalarından bir olan hibrit model araçlardaki hibrit yöntemlerin değerlendirilmesinde Roy ve ark.(2013); TRIZ metodolojisini kullanmışlardır. CO2 emisyonlarının azaltılmasında hangi hibrit metodolojisinin daha verimli olduğunun araştırıldığı bu çalışmada, optimizasyon problemi maliyet - kütle ve kompleks yapı olması durumlarına göre değerlendirilmiştir. TRIZ yöntemlerinden olan, idealite (IFR-Ideal Final Result) değerlendirmesine tabi tutulan hibrit modeller değerlendirilmiştir. TRIZ yöntemi tüm bu hibrit modellerdeki akıllıca düşünme mantığını sisteme katmış ve idealiteye yakın değerlere sahip çözümü ortaya koyabilmiştir.

Carvalho ve Back(1999) yaptıkları çalışma içerisinde, TRIZ yönteminin idealite ve teknik sistem değerlendirmesinden bahsetmişlerdir. Özellikle çelişkiler matrisini kullanarak bir transmisyon braketinin farklı tasarımının değerlendirilmesinin yapıldığı çalışmada, sistematik olarak TRIZ yönteminin tasarım aşamasında ele alınmasının mümkün olduğunun belirtilmesini gerçekleştirmişlerdir.

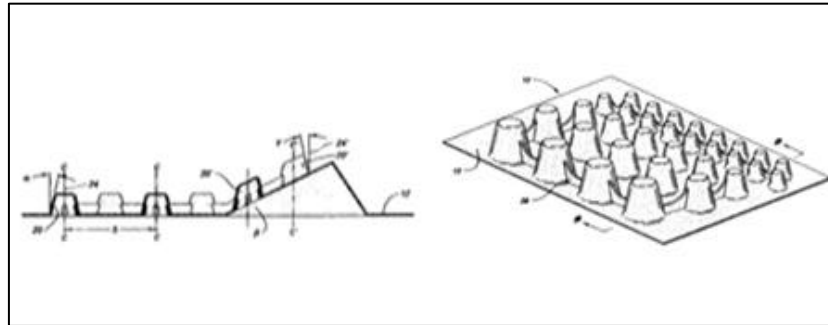
### 2.3 Çarpışma Sönümleyici Patentler

Yutao ve ark.(2011); CN101468629 (B) no'lu Çin dokümanında en az bir enerji absorbe elemanı ve bu enerji absorber elemanın bağlı olduğu bir koruma yüzeyinden oluştuğundan bahsedilmektedir. Enerji absorber elemanı birbirine bağlantılı olan ve farklı boyutlarda bulunan boru şeklindeki yapıların birleştirilmesi ile oluşmakta olup, Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. CN101468629 patent şekli

Carroll ve ark.(2004),US6682128 (B2) no'lu patentlerinde yapısal olarak sınırlandırmalardan bahsetmişlerdir. İstek 1,İstem 7 ve 11'de;kompozit olarak modüler enerji absorbe elemanlarının konumlanması çift şekilde tasarlanmış gama yapısı şeklinde olup, bu gama yapısı birçok girintilerin bulunduğu alt yüzey, birçok girintinin bulunduğu bir üst yüzey ve alt yüzey ile üst yüzey arasına uzanan bir duvar yapıdan oluştuğunu belirtmektedir. Oluşturulan bu duvarlar bir alfa açısı ile eğimli bir şekil almaktadır. Bu alfa açısı 0 ile 45 derece arasında olduğu belirtilmektedir. Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. US6682128 patent şekli



Cormier ve Audi(2008); US7404593 (B2) no'lu patent dokümanı 1. İsteminde;

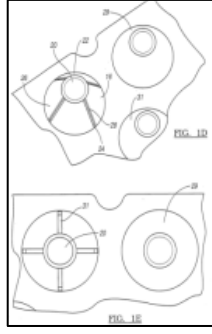
- en az bir enerji absorbe modülü bulunduğu,
- bu absorbe modülün en az bir enerji absorbe ünitesi içerdiği,
- en az bir alt yüzey üzerinde ağırlık dengesi veya bağlantı için en az bir boşluk içerdiği
- enerji absorbe ünitesinin yan duvarı üzerinde açıklık oluşturan en az bir boşluğun (boşluğun tarifname içerisinde bir parçanın çıkartılarak o yerde boşluk oluşturulması tanımı içermektedir.) bulunması,
- enerji absorber ünitesinin duvar yüzeyinin gelen kuvvet yönünde eğimli olduğundan bahsedilmektedir.

US7404593 (B2) no'lu patent dokümanı 19. İsteminde;

- en az bir enerji absorbe modülü bulunduğu,
- bu absorbe modülün en az bir enerji absorbe ünitesi içerdiği,
- en az bir alt yüzey üzerinde ağırlık dengesi veya bağlantı için bulunan bir boşluk içerdiği fakat ifadesi kullanımı ile bu boşluğun kullanılmaması durumu özelliğinin de eklenmesi,
- enerji absorbe ünitesinin yan duvarı üzerinde açıklık oluşturan en az bir boşluğun bulunması, fakat ifadesi ile birlikte bu boşluğun kullanılmadan da absorber modülünün çalışabileceğinden,
- enerji absorber ünitesinin duvar yüzeyinin gelen kuvvet yönünde eğimli olduğundan bahsedilmektedir.

US7404593 (B2) no'lu patent dokümanı 20. İsteminde 1. İstemde belirtilen boşluk sayısının absorbe modülünün ağırlığının ayarlanması için sayısının değiştirilebileceği 0, 1, 2, 3, . . . , 1000 ; ve enerji absorbe ünitesinin yan duvarı üzerinde açıklık oluşturan en az bir boşluğun sayısının ayarlanarak absorbe ünitesinin enerji emilimini ayarlanabileceğinden bahsedilmektedir.

US7404593 (B2) no'lu patent dokümanının bağımsız istemleri dikkatlice irdelendiğinde, anlatım tarzının koruma kapsamını geniş tutmak adına karmaşılaştırıldığı görülmektedir. Bu karmaşıklık istemlerin koruma altına aldığı özelliklerin belirlenmesinde birbirinden farklı yorumların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Şekil 2.5.'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.5.** US7404593 patent şekli

## 2.4 Karşılaştırmalı İncelemeler (Benchmarking)

Sedan bir araçtaki çarpışma sönümleyici yapının kapı panellerine adaptasyonu şeklinde yapılmış bir çalışma ile karşılaşılmıştır. Sadece ön kapılarda bulunan bu yapı, aracın madalyon kısmının altında bulunmakta ve sac yapısı ile dik konumlandırılmıştır. Sönümleyici özelliğinden ziyade daha çok bir çarpışma anında mukavim bir yapı olacak şekilde dizayn edilmiştir. Şekil 2.6. içerisinde örnek verilmiştir.



**Şekil 2.6.** Sedan araç federli kapı paneli

Poliamit katkıli olarak tasarımı yapılan bu sönümleyicinin, hafif olması dikkat çekmektedir. Materyal olarak PE malzeme kullanılması ve mevcut patentlerdeki tasarım kriterleri içerisinde tasarlanması, birim fiyatın yüksek olduğunu belirtmektedir. Şekil 2.7. içerisinde örnek olacak bir çalışma gösterilmiştir.



**Şekil 2.7.** PE katkıli yandan çarpma sönümleyici

Poliüretan malzemeden yapılan çarpışma sönümleyiciler, yapıları gereği montaj esnasında kalitesel problemler oluşturmaktadırlar. Aynı zamanda birim fiyatın yüksek olması farklı alternatiflere yönelmeyi beraberinde getirir. Örnek olacak bir çalışma şekil 2.8 de gösterilmiştir.



**Şekil 2.8.** PU katkılı yandan çarpma sönümleyici

En önemli gelişmelerden bir tanesi de sönümleyicilerin paneller ile tümleşik olmasıdır. Hem proses hem de materyalden önemli maliyet kazançları sağlamaktadırlar. Şekil 2.9'da bu duruma uyan başka bir araçtan alınan kapı panel iç yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.9.** Tümleşik sönümleyicili kapı paneli

Poliüretan bir çarpışma sönümleyicinin uygulandığı kapı panelleri de yaygın olarak kullanılan çeşitlerden biridir. Daha önceki kalitesel dezavantajların yanında, PUR malzemenin bir dezavantajı da dizayn esnekliğinin olmamasıdır. Şekil 2.10.'da gösterilmiştir.





**Şekil 2.10.** PUR sönümleyicili ön kapı paneli

Expanded Polipropilen materyalin kullanıldığı birçok örnek absorber bilgilerine ulaşılmıştır. Bu tasarımlar hafiflik kazançlarının yanında, çevresel kirleticilik, dizayn esnekliğinin az olması ve yüksek birim maliyeti ile tercih sebebi olmaktan çıkmaktadırlar. Şekil 2.11.'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.11.** EPP malzeme çarpışma sönümleyici

Polietilen katkı polipropilen materyallerden meydana gelen tasarımlarda, sınırlı yüzey şekillerinin kullanılabilmesi yakınında yüksek birim maliyet ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.12.'de örnek gösterim yapılmıştır.



**Şekil 2.12.** PE Katkılı sönümleyicili kapı paneli

Polipropilen yapılarıdaki hafiflik ile üretilen sönümleyicilerin en önemli dezavantajlarından biri de yüksek maliyet olmaktadır. Yüksek ağırlık ve yüksek maliyet tezatlarının optimum noktasında üretilecek ürünler, gelecekteki absorber tasarımlarına yön verecektir. Şekil 2.13.'te EPP (genişletilmiş polipropilen) malzemeden yapılmış yandan çarpışma sönümleyicinin kapı paneline monte edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 2.13. EPP malzeme sönümleyicili kapı paneli

## 2.5 Maliyet İndirimi ile İlgili Çalışmalar

Henriksson ve Kjellander(2015); Master tezlerinde değindikleri maliyet indirimi anlayışı ile yeniden dizayn konusunu çalışmışlar ve bu tez çalışmasını Volvo otomotiv iç trim tasarım bölümü ile tümleşik bir çalışma olarak hazırlamışlardır. Sistematik olarak otomotiv şirketindeki maliyet indirimi konularını ürün bazlı çalışarak çözmüş ve ortaya düzenli bir çalışma çıkmıştır. Ürünlerin maliyetlerini yeniden tasarım aşamasında değerlendirmede kullanılacak sistematik düzen, TRIZ yöntemi ile yeniden dizayn çalışmaları ile benzerlik göstermektedir.

Çalışmanın ilk ayağında, müşteri değer algısını azaltmadan yapılabilecek maliyet indirimi konularından bahsedilmiştir. Daha sonrasında maliyet indirimi oluşturabilecek parçaların potansiyellerinin ve gereksinimlerinin ortaya konulması ile sistematik belirlenmeye başlanmıştır. Belirlenen parçaların sorumlu mühendisleri ile hat yürüyüşleri yapılmıştır. Elde edilen bilgiler Pahl&Beitz ve Pugh matrislerinde değerlendirilmiştir. Benchmarklar yaparak durum değerlendirmesi genişletilmiştir. Fikir oluşturma fazında ise ürünler yeniden ve gereksinimlerine göre tasarlanmıştır. Problemlerin parçalara ayrılarak çözülmesi ilkesi ile faydalı bilgiler ve maliyet azaltım önerileri çalışma sonunda ortaya çıkmıştır.

Gilotra ve Kandoi(2015); yayınladıkları çalışmalarında maliyet indirimi uygulamalarını 5 başlık altında toplamışlardır. DMCR yani Direkt malzeme maliyet indirimi uygulamalarında, dizayn aşamasındaki iyileştirmelerin yanında diğer alternatif olarak malzeme değişikliklerinden bahsedilmiştir. MPCR olarak üretim prosesindeki maliyet indirim çalışmalarının bir grup olarak değerlendirildiğinden bahsedilmiştir. PSCR olarak karşımıza çıkan başlık içerisinde ise aynı tip parçaların incelendiği ve ortaklaştırılabildiği bir inceleme yapılmıştır. SCCR kısmında tedarik zincirindeki maliyet indirimi konularından bahsedilirken, CRDI olarak dizayn inovasyonundaki maliyet indirim yönteminden bahsedilmiştir.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Araç Çarpışma Durum Analizi Yöntemleri**

Bu bölümde araç ve içerisinde harekete tabi olan sürücü ve yolcuların, aracın çarpışma durumundaki zamana bağlı hız ve oluşan kuvvet durumları incelenecektir. Örnek olarak fren yapan veya çarpışma anındaki hız durumları gösterilecektir. Bu durum uygulamaların araç ve araç veya araç ve duran cisim için değerlendirilebilir.

##### **3.1.1 Önden çarpma analizleri**

Önden çarpma iki taraflı bir durumdur. İlk etki, araç bariyere çarptığında önden çarpma sonucu ortaya çıkan etkidir. Aracın kinetik enerjisi, aracın ön yapısının değişmesinde rol oynar. Aracın ön-uç, arka veya yan bölgelerinin, çarpışma anında absorbe etme yetenekleri ile deformasyona uğramalarına; enerji yönetimi veya darbeye dayanma gücü denmektedir.

İkinci etki ise, yolcu veya sürücünün çarpışma anında aracın ivmeli bir şekilde durması ile hareketlerine devam etmeleri ve araç iç parçalarına temasları ile gerçekleşmektedir. Bir kısım kinetik enerji deformasyon yaratacak şekilde iç trim parçalarında aktarılıp harcanmakta olur. Geri kalan kinetik enerji ise yolcu ve sürücünün yavaşlaması için harcanmaktadır.

İkinci etki süresince, sürücü ve yolcu iç trim parçaları veya güvenlik parçaları ile temaslarında yaralanabilmektedir. İnsan vücudunun kinetik enerjisi kademeli olarak dağıtılmalıdır. Bu durum ortaya insan vücudunda hasar yaratmayan kazaların çıkmasını sağlayabilir. Eğer araç hızı ve insan hızı arasında çarpışma anında yüksek fark var ise, yüksek miktarda enerji akışının sağladığı deformasyon yolcu/sürücü ve iç trim/güvenlik parçaları arasında olacaktır. Eğer ikinci etki çok kısa zaman içerisinde olur ise, durumun yarattığı sonuç kuvveti insan tolerans limitlerinin üstünde olabilir. Kinetik enerji dağılımı ikinci etkide bahsedilen şekilde olur ise sürücünün/yolcunun ağırlığı ve iç trim parçalarına temas eden sürücünün/yolcunun hızının diferansiyelidir.

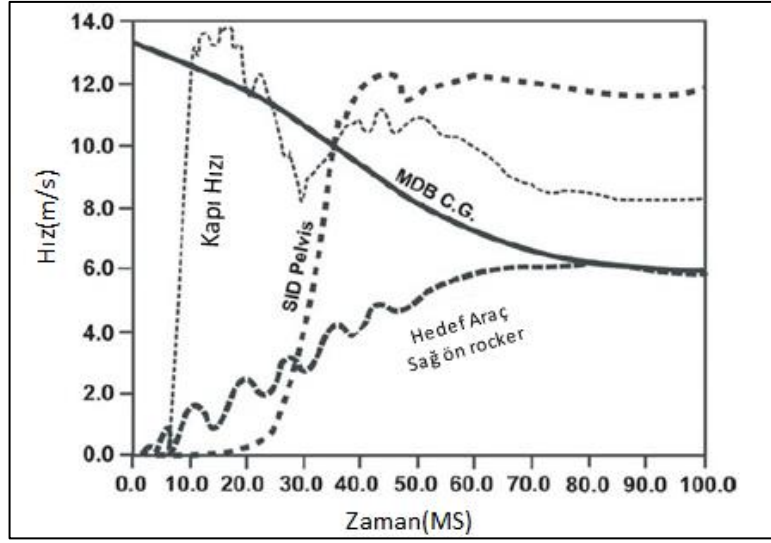
Enerji absorbe etme özelliği olan iç trim parçaları ve yine enerji sönümlenme özelliği olan kemer veya airbagler iki önemli sinerjik fayda sağlamaktadır. İlki ride-down olarak bilinen yavaşlama durumunu artırmaktır. Diğeri ise ikinci etkinin enerji absorbe etme özelliğidir. Ride down özelliği sürücü/yolcunun kademeli olarak hızının azaltılmasının yönetimine verilen isimdir. Çarpışma anında, aracın hızı ve sürücünün hızı aynı başlangıç değerini sahiptir. Bu hızın sıfır değerine ani kavuşması ile sürücünün de ani bir şekilde sıfır hızına ulaşması durumu için engelleyici-durdurucu bir kuvvet gerekir. Enerji akışı işte bu durum içerisinde gerçekleşmektedir. Yolcunun emniyet kemeri takmadığı durumlarda durdurucu kuvvet açık bir şekilde iç trim parçalarının dizayn aşamasında bu ihtimal değerlendirilerek tasarlandığı malzemeler, parçalardır. İnsani limitlerin üzerinde meydana gelen ilk temas, sonucu yüksek deformasyon değerleri olan durumları ortaya çıkarmaktadır.

Enerji absorbe materyalleri, insanın tolere edebileceği kuvvet değerlerine göre dizayn aşamasında seçilmektedir. Bu materyaller, çarpışma olduğundaki enerji sönümlemeyi yapmaktadırlar. Ve çarpışmadan dolayı, ikinci etkideki sürücü/yolcu hız durumunun uzun periyotta azaltılmasını sağlarlar ki rijit bir materyal ile sürücü/yolcu karşılaşmadan bu durum makul limitlere çekilmelidir. Bu durum daha az deformasyon kuvvetinin sürücü/yolcu üzerinde oluşmasına sebep olur.

### **3.1.2 Yandan çarpma analizleri**

Zaman skalasındaki hız bilgileri, FMVSS 214 (Federal Motor Vehicle Safety Standart) 'in analizlerinde belirtildiği gibi yapısal iyileşme ve yolcu/sürücü hasar almalarını önleyici yöntemlerin etkileri incelenebilir.

Etkili çarpışma durumunun değerlendirildiği NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration) yandan çarpma durum analizinde, hız faktörünün etkilerini görebileceğimiz şekil 3.1.'de aşağıda belirtilmiştir.

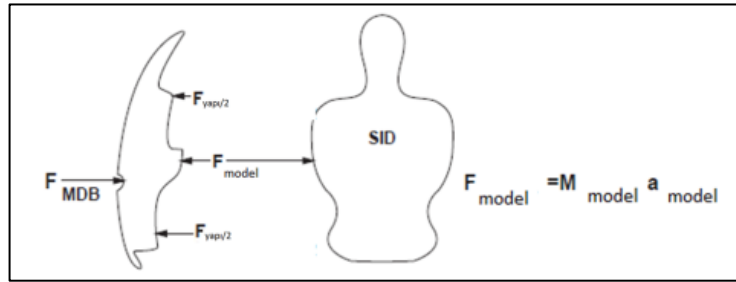


Şekil 3.1. Yandan çarpma durumundaki parça hız durumları

Hız parametreleri aşağıda belirtilen bölgelerden alınarak numerik integreasyon yöntemi oluşturulmuştur.

- Hareket eden deformasyon bariyerinin ağırlık merkezi
- Hedef aracın sol-el ve etki bağımsız sallanan cismi
- Kol dayama bölgesi
- Yan etki model pelvisi

Kapı ve model arasındaki etkileşme kuvvetlerinin temelleştirildiği şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kapı panelinin olduğu durumdaki kuvvet geçişi

$F_{yapı}$  yapısal kuvvet dayanımı olarak sistemde yer almaktadır. Kapı içerisindeki yapının ve tüm mekanizmaların oluşturduğu bir kuvvettir.

$F_{model}$  ise model ile kapı arasındaki etkileşim kuvvetidir. Buna reaksiyon kuvveti de diyebiliriz.

Newton'un ikinci kuramını kullanarak; sistemdeki kuvvetlerin toplamı, kapı içerisindeki yer değişimin oranının lineer momentum durumuna eşittir.

$$-\frac{d}{dt} [M_{kapı} v_{kapı}] = \sum F = F_{MBD} - F_{yapı} - F_{model} \quad (3.1)$$

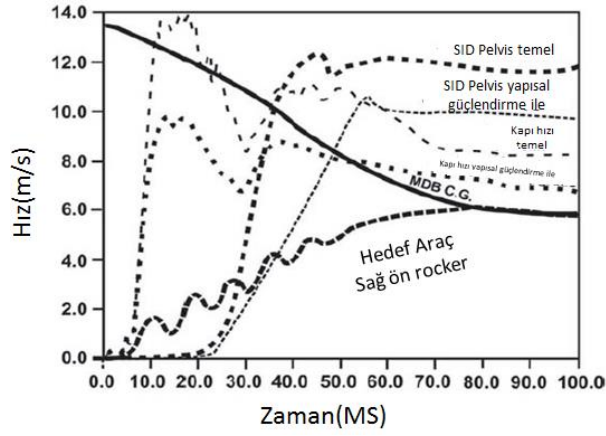
$$F_{model} = F_{MBD} + \frac{d}{dt} [M_{kapı} v_{kapı}] - F_{yapı} \quad (3.2)$$

MDB kuvvetinin düşürülmesi, Model üzerindeki kuvvetin azalmasına sebep olmaktadır. Kapının daha hafif yapılması ile lineer momentum oranının düşürülmesi veya kapının girişim değerinin düşürülmesi, model üzerine gelecek kuvveti düşürebilir. Gövdenin oluşturduğu kuvveti artırmak da, model üzerine gelecek kuvvet durumunu azaltacaktır.

Yandan çarpma durumu meydana geldiğinde, model üzerindeki kuvvetin azalabilmesi için aşağıdaki durumlar meydana gelmelidir.

- Kapı girişimin ve hızın azalımı gerekmektedir. Bu durumu ortaya çıkarabilmek yan sacların mukavimliği ve dayanımı artırılabilir.
- Model üzerine gelebilecek ve yüksek derecede kuvvet değeri oluşturabilecek noktalarda ekstra bir yapı uygulanabilir. Açılabilen hava yastıkları veya ekstradan eklenen yandan çarpışma sönümleyiciler bu durumlar için ideal örneklerdir.

Yapısal olarak bir iyileştirme yapılması için varsayımsal iyileştirmeler simule edilerek durum değerlendirilmesi şekil 3.3. içerisinde belirtilmiştir. Yapısal olarak yapılan iyileştirme ile model üzerindeki hız faktörünün azaldığı gözlemlenebilir.



Şekil 3.3. İyileştirilmiş yandan çarpma durumundaki parça hız durumları

### 3.2 Yandan Çarpışma Sönümleyicinin Malzeme Karakterizasyon Analizleri

Araçların yandan çarpma durumları meydana geldiğinde, kapı sac ve plastik panelleri ilk etkiye tepki veren malzemeler olmaktadır. Formülasyon, analiz ve testler ile bu durum değerlendirmeye alındığında, çarpışmanın sönümlenmesi için ekstra tasarlanmış parçalar veya dizayn değişiklikleri görülmektedir. Farklı araçların incelenmesi sonucunda ortaya çıkan çeşitlenmeler kaynaklar bölümünde incelenmiştir. Bu durum içerisinde farklı sönümleyici parçaların malzeme karakteristiğinin anlaşılabilmesi için malzeme laboratuvarında testler yapılmıştır. Malzeme analizleri aynı zamanda sayısal alanda da önemli bir durum oluşturmaktadır. Çözümüne giden yolda, en önemli adımlardan bir tanesi de sayısal sonuçların doğru olarak çalışmayı yönlendirmesidir. Sayısal analizlerin senaryolarının oluşturulmasında kullanılan malzeme kart tanımlarından bu bölümde bahsedilmiştir.

#### 3.2.1 Bilgisayar destekli analizlerdeki sönümleyici malzeme karakterizasyonu

Bu bölümde malzeme model tanımları yapılarak malzeme karakteristiklerinin farklı padlerde enerji absorbe açısından etkileri anlatılmıştır. Enerji absorbe için kullanılacak padler, güvenlik ile ilgili sağlanması istenen regülasyonları (firma normları standartları) karşılayacak şekilde farklı malzeme modelleri ve yapısal model karakteristik parametre değerlerinde tasarlanarak, çarpışma test simülasyonları ile fiziksel test zaman ve maliyet kayıpları önlenmektedir. Malzeme modeli tanımı ve karakteristiklerinin belirlenmesi sanal ortamda analizler ve test doğrulanması açısından önem taşımaktadır.



Darbe emiciler, aracın sahip olduğu kinetik enerjiyi, deşormasyona uğrayarak belli bir oranda sönümler. Analizler Expanded polypropylene (EPP) ve polypropylene (PP) için yapılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak darbe emici malzemesinin seçimi üzerinde durulmuş, mevcut kapı panel darbe sönümleyici analizleri ve yeni bir darbe sönümleyici tasarımı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar:

- EPP malzeme (Mat57 ve Mat83) doğrulaması
- PP malzeme (Mat24) doğrulaması
- Analiz şartları belirlenmesi
- PP malzeme için model denemeleri

Modelleme çalışmalarında iki malzeme tipi ele alınmıştır: Mat83 (Mat Fu Chang Foam) ve MAT57 (Low Density Foam). EPP (Expanded polypropylene) köpük şekil değiştirme hızına bağlı, tersine kullanılabilir bir köpüktür. Mat83 ile bu tip bir köpüğün modellenmesi amaçlanmıştır. Bu tip köpüklerde Poisson oranının 0'a eşit olduğu ve malzeme eksenleri arasında herhangi bir bağıntının olmadığı kabul edilir. Deneysel tek eksenli sıkıştırma sonuçları direkt veri olarak kullanılabilir ve kompleks malzeme parametrelerinin tanımlanmasına gereksinim yoktur. Farklı şekil değiştirme hız sonuçları malzeme kartına işlenebilir.

Mat57 yüksek sıkıştırılabilir, düşük yoğunluklu elastik bir köpüktür. Yükleme ardından yükü kaldırma sonrası malzeme başlangıçtaki şekline döner. Bu durum modele düşük bir histerik yük boşaltma değeri ve yüksek bir şekil faktörü verilmesi ile olur. Yük eğrisi en yüksek noktasına ulaştıktan sonra aniden düşer, düşük bir histerik yük boşaltma değerinde ve yüksek bir şekil faktöründe hızlı bir şekilde boşalır. Bu malzemede düşük strain-rate hassasiyeti elde etmek için düşük bir sönümleme faktörü kullanılır. Model girdisi olarak gerilme-hacimsel uzama kullanılır.

Köpük malzemelerin özelliklerinin incelenmesi ve malzeme model kartlarının tanımlanması için FE yaklaşımı ile simülasyonlara ve fiziksel testlere gereksinim duyulmaktadır. Köpüklerin mekanik davranışının belirlenmesinde 4 tip test yapılır:

Quasi-statik basma testi, drop testi, darbe testi, serbest hareket kafa form testi.

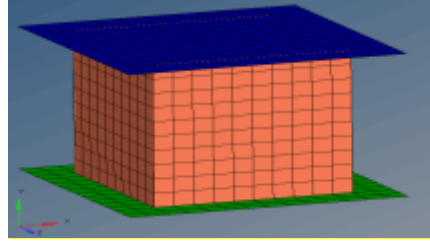
Dinamik basma testi olan drop testinde ise yüksek hızda (yüksek şekil değiştirme hızı) malzeme davranışı elde edilir. Bu testte numune üzerine belli bir yükseklikten ağırlık bırakılır. Bu işlem farklı hız ve enerjiler için tekrarlanır. Test için düz diskler kullanılır. Basma gerilmesi-uzama eğrisinin şekil değiştirme hızından bağımsızdır.

Köpüklerin basma özelliklerinin belirlenmesinde ASTM D1621 test standardı kullanılmaktadır. Bu standart malzemenin basma ve akma dayanımı ile basma elastisite modülünün hesaplanmasını tanımlar. Bu test yöntemi ile deformasyon verisi elde edilir, yük-deformasyon eğrisinden her yük değerindeki sıkıştırma gerilmesi ve efektif elastisite modülü hesaplanır.

EPP ve PP malzemeleri modeli tanımı için öncelikle testler sonucu elde edilen strain-stres eğrileri simülasyonlarla elde edilerek malzeme modeli oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan bu malzeme modelleri ile yan darbe sönümleyici tasarımları yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk aşamada köpük malzeme modelini doğrulamak için basma testinin simülasyonu yapılmıştır. Sonlu eleman analizleri temel olarak model hazırlama ve sınır şartları atama, çözüm işlemi ve sonuçları inceleme olarak 3 aşamada incelenir. Köpük malzeme için yapılacak basma testi simülasyonunda model hazırlama ve sınır koşulları atama işlemi Hypermesh, çözüm işlemi Lsdyna ve sonuçları inceleme ve grafik okuma işlemi ise Hyperview programında yapılmıştır.

PP malzeme için, EPP malzemede olduğu gibi farklı basma hızlarında farklı strain-stres eğrileri oluşmaktadır. PP malzeme için Ls-Dyna malzeme kartlarından MAT24 (Mat\_piecewise\_linear\_plasticity) isimli malzeme kartı seçilmiştir. Bu malzeme kartı ile farklı strain rate oranlarına sahip strain-stres eğrileri tanımlanabilmektedir. Ayrıca malzeme kartı içerisinde failure kriteri uygulayarak, elemanların istenilen strain değerlerine ulaştığında kopması sağlanabilmektedir.

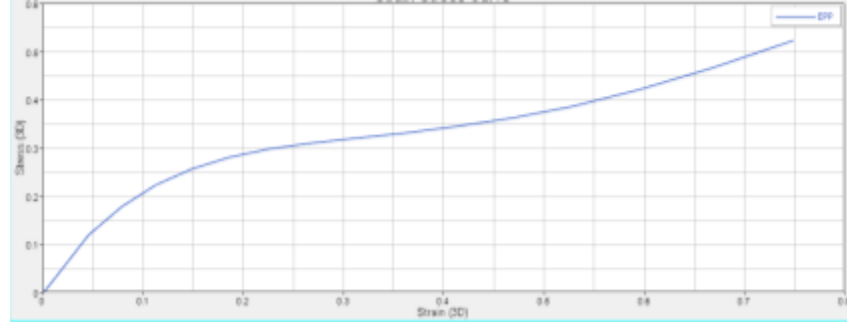
Malzeme modelini doğrulamak için hazırlanmış model şekil 3.4.' de gösterilmiştir. Model 3 temel parçadan oluşmaktadır. Modelde mavi, açık kahverengi ve yeşil renkler sırasıyla baskı plakası, köpük ve sabit plakayı temsil etmektedir.



**Şekil 3.4.** Köpük FE simülasyon modeli

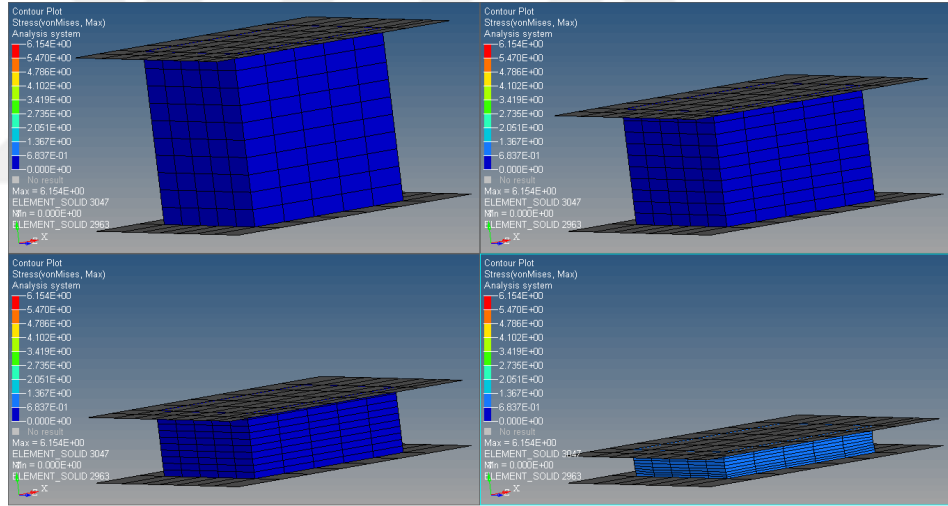
Model de köpük üç boyutlu hexagon tip elemanlarla, baskı plakası ve sabit plaka ise iki boyutlu quad tip elemanlarla modellenmiştir. Köpük model için malzeme kartı bir üst başlıkta belirtilen sebepler nedeniyle MAT83 tip kart seçilmiş ve strain- stress eğrisi kart içine eğri olarak tanımlanmıştır. Plakalar, çelik malzemenin temsil edilebileceği MAT1 tip malzeme kartı ile modellenmiştir ayrıca sabit bir elastisite modülü, yoğunluk ve poisson oranı değerleri girilmiştir.

Model içerisinde baskı plakasının köpüğe olan etkisini oluşturmak için iki parça arasında kontak tanımlanmıştır. Kontak kartı için surfacetosurface kartı seçilmiş ve iki adet kontak surface tanımlanmıştır. Kontak surface tanımlama işlemi iki şekilde yapılabilir; yüzey elemanlar seçilebilir ya da üç boyutlu elemanlardan, eleman yüzeyleri seçilebilir. Kontak surfacelerden biri impactor seçilirken diğeri ise köpük malzemenin impactor malzemeye bakan elemanlarının yüzeyleri seçilmiştir. Modelin basma testini simüle etmesi amacıyla sabit plaka altı serbestlik derecesinde de sabitlenmiş, baskı plakası ise (-y) yönünde sabit 4 km/h lik hız ile köpük modeli sıkıştırarak şekilde sınır şartları belirlenmiştir. Basma simülasyonu sonuçları şekil 3.5’ de görülmektedir. 50 mm kenar uzunluğuna sahip MAT83 malzeme kartı ile tanımlanmış küp şeklindeki köpük malzemenin sonuçları, literatürde yer alan çalışmalarda malzemenin karakteristiğiyle benzerlik göstermektedir.



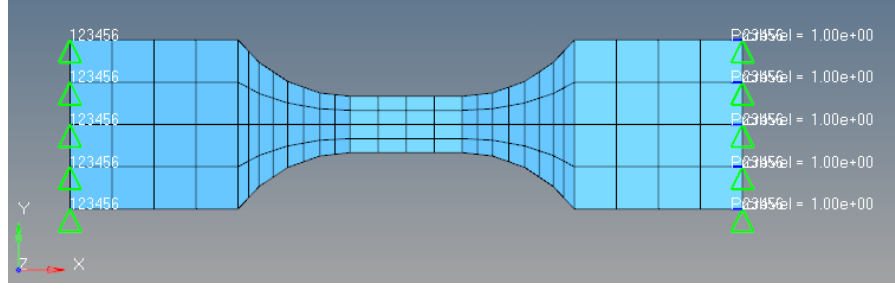
Şekil 3.5. Basma Simülasyonu Sonuçları(gerilim zorlanma eğrisi)

Köpük malzemelerde poisson oranı '0' kabul edildiğinden köpük malzemeye ait nodeları sadece tek yönde serbest bırakarak daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Basma simülasyonunda (+y) yönünde hareket verildiğinden köpük malzemeye ait nodeları sadece y ekseninde serbestlik derecesine sahip ve Şekil 3.6.' da simülasyon sonuç görsellerinde görüldüğü gibi daha doğru bir model kurulmuş olmaktadır.



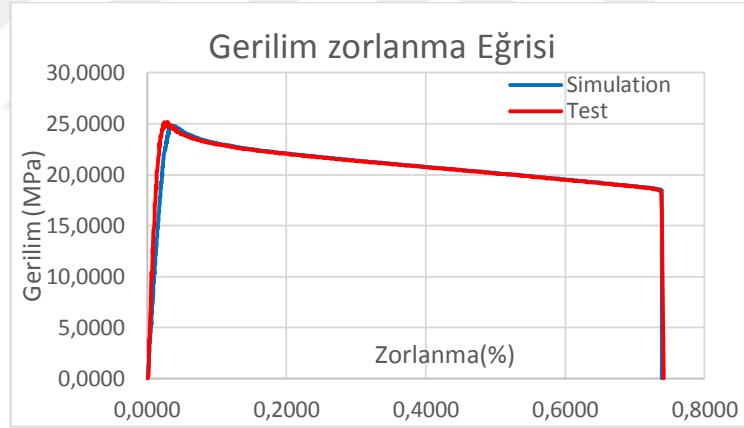
Şekil 3.6. Basma simülasyonu sonucu görselleri

PP malzeme modeli doğrulamak için kurulan model şekil 3.7.'de görülmektedir. Bu modelde test prosedüründe olduğu gibi aynı numune üzerinden bir taraf sabit diğer taraftan sabit hızda çeki uygulanacak şartlarda simülasyon yapılmıştır. Test şartlarını tam sağlayabilmek amacıyla parçanın sol tarafı 6 serbestlik derecesinde sabitlenmiş sağ tarafında ise sadece X ekseninde harekete izin verilmiştir. Parçanın sağ tarafından 100 mm/s'lik sabit bir hız ile numune çekilerek simülasyon test şartlarıyla aynı koşullarda yapılması sağlanmıştır.



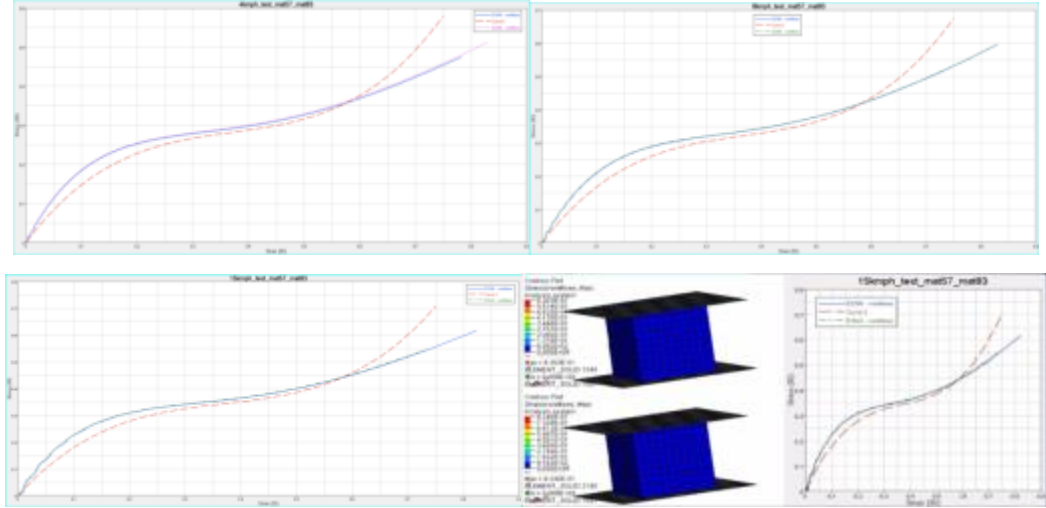
**Şekil 3.7.** MAT24 numune modeli

Simülasyonda numuneye ait malzeme kartı olarak MAT24 seçilmiştir. Bu kart içerisinde test sonuçlarında elde edilen strain-stres eğrileri uygun strain değerlerine bağlı olarak girilmiştir. Ayrıca malzeme kartı içerisinde failure kriteri değeri olarak 0.74 değeri atanmıştır. Herhangi bir elemanın strain değeri 0.74 değerine ulaştığında bu elemanın kopması sağlanmıştır. Parçaya section\_shell tipi property tanımlanmış ve Shell eleman formülasyonu Elform=2 olarak seçilmiştir. PP malzeme için elde edilen test ve analiz sonuçları şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



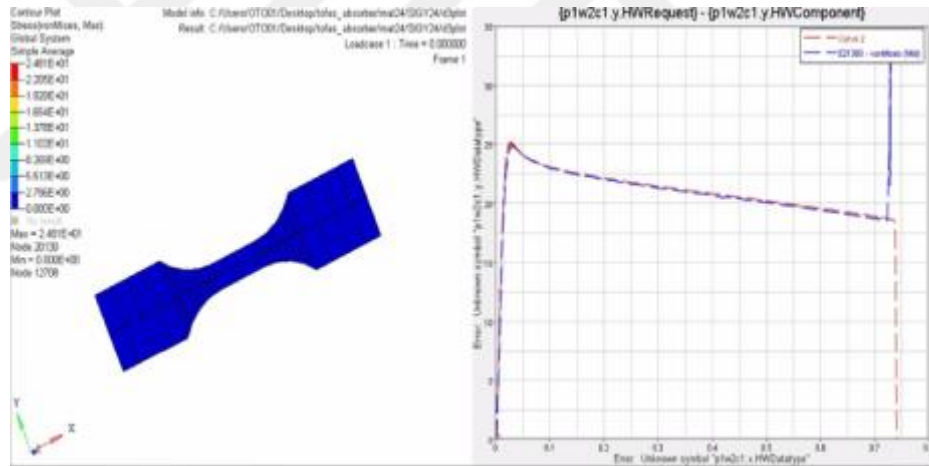
**Şekil 3.8.** MAT24 Gerilim Zorlanma

Yapılan malzeme modeli doğrulama çalışmaları çıktılarını korelasyon değerleri göz önünde tutularak değerlendirilmiştir. MAT83 Malzeme Modeli Doğrulama çalışması çıktılarını grafiksel görselleri aşağıda verilmiştir. Şekil 3.9.'da incelemeler gösterilmiştir.



Şekil 3.9. MAT83 Malzeme Modeli Doğrulama

MAT24 Malzeme Modeli Doğrulama çalışması çıktıları grafiksel görselleri aşağıda verilmiştir. Bu durum da 3.10.'da gösterilmektedir.

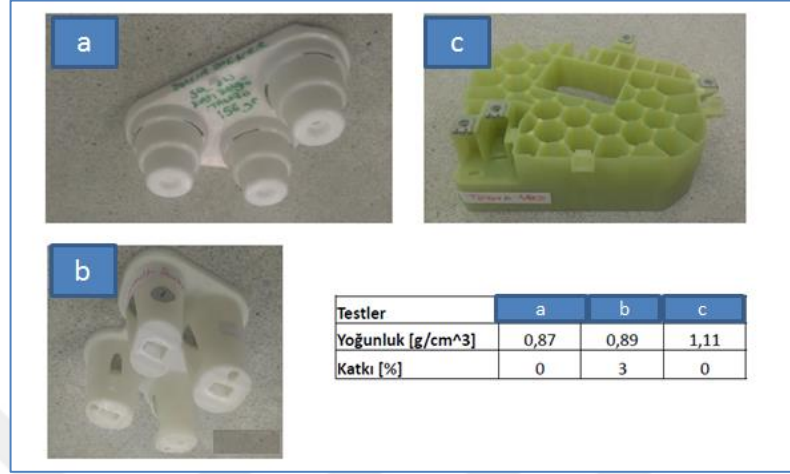


Şekil 3.10. MAT24 Malzeme Modeli Doğrulama

### 3.2.2 Deneysel malzeme karakterizasyonu

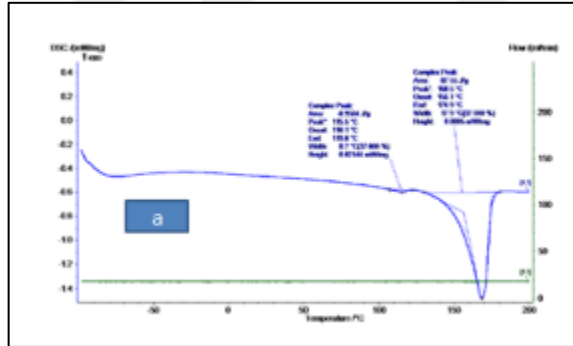
Sedan araçtan çıkan kapı absorber parçaları polipropilen malzemeye benzerlik göstermektedir. Birbirlerinden farkı; bir absorber parçası %3 lük katkı ihtiva etmektedir. Sağ üst köşedeki kapı absorber parçası ise Poliamit 66 malzemesine benzerlik göstermektedir. Diğer parçalardan parça tasarımı ve montajlama şekli açısından farklıdır. Parça vidalama sistemi ile kapıya montajlanmaktadır.

3 Absorber içerisinde en yüksek mukavemet sağ üst köşedeki aracın parçasına aittir. Bu durumun genel özeti aşağıdaki şekil 3.11.'de verilmiştir.

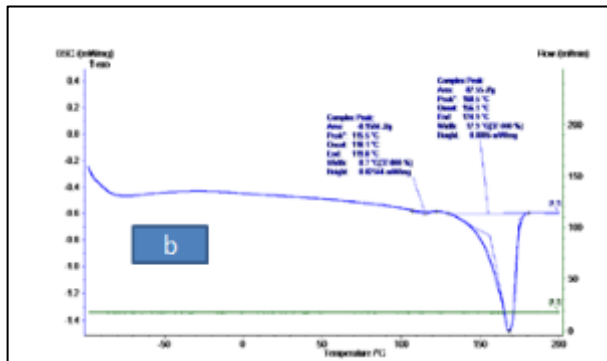


Şekil 3.11. 3 Absorber malzemesi için yoğunluk değerleri

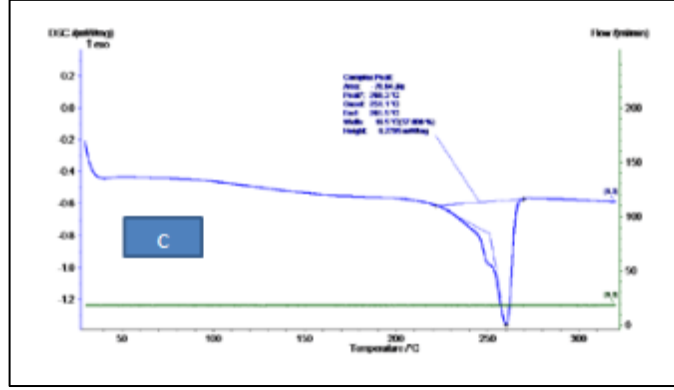
Malzeme yanma durumuna göre katkı analizlerinin yapıldığı şekiller, 3.13., 3.14. ve 3.15. aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.12. Yanma durumundaki malzeme yoğunluk analizi absorber a



Şekil 3.13. Yanma durumundaki malzeme yoğunluk analizi absorber b



Şekil 3.14. Yanma durumundaki malzeme yoğunluk analizi absorber c

### 3.3 Triz Yöntemi ile Tasarım

Tasarım sürecinde geleneksel yöntemlerin dışına çıkılarak TRIZ yöntemlerinden çelişki matrisinden faydalanılmıştır. Araç çarpışma durumlarında yolcuların ve sürücünün pasif güvenlik sistemleri ile maksimum koruma altında olması gerekmektedir. Bu durumlardan bir tanesi de yandan çarpışma durumudur. Bu tip durumlarda yolcuların ilk temasta oldukları parçalar kapı iç panelleridir. Panellerin, dış bölgeden gelen yer değişime bağlı anlık kuvvet aktarımlarını sönmölemeleri beklenmektedir. Çalışmanın literatür ve benchmarking aşamalarında belirtildiği gibi, birçok farklı yapı bu görevi yerine getirmek için tasarlanmıştır. Tasarım aşamasında, geleneksel yöntemlerin yerine kullanılan TRIZ yöntemi için herhangi bir tasarımsal durum olmadığı varsayımı ile yola çıkmaktadır.

Otomobil yandan çarpma durumlarında, araç dış sac deformasyonu ile oluşan anlık enerji akışlarının sürücü/yolcu teması esnasında ciddi deformasyon sonuçlu yaralanmalar ortaya çıkmaktadır. TRIZ yöntemi kullanımı için çarpışma durumundaki şartları göz önünde bulunduracağız ve sadece kapı panel-kapı sac parçalarının olduğu durum içerisinde yöntem uygulanmasını değerlendirecektir.

TRIZ yöntemlerinden bir tanesi olan çelişki matrisi kullanımı, tasarım aşamasında değerlendirme aracı olarak seçilmiştir. Otomobil yandan çarpışma durumu ele alındığında, dış kapı sacına gelen kütleli ivmeye sahip objenin sahip olduğu enerjinin aktarımı söz konusu olmaktadır. Bu enerji aktarımı sac panelin içe doğru



deformasyonunu gerçekleştirirken, sac ile iç kapı paneline enerji ve kuvvet iletimi de akabinde gerçekleşmektedir. Bu durumların sonucu olarak son enerji aktarımı, hareketli objeden araç dış kapı sacına, daha sonrasında kapı sacından plastik kapı iç paneline geçmektedir. Son olarak da yolcu/sürücü 'ye bu enerji aktarımı ulaşmaktadır. Bu durum TRIZ mantığıyla değerlendirmeye alınırken alt çözüm metotlarından biri olan çelişki matrisi dikkate alınmıştır. Çelişki matrisindeki durum iyileşme ve kötüleşme durumları oluşturulması gerekmektedir.

### **3.3.1 TRIZ Bir icat çıkarma kılavuzu**

TRIZ, Rus bilimadamı Genrich Altshuller tarafından binlerce patentin incelenmesi sonucunda ortaya çıkan bir çalışmadır. Her bir patentin detaylarına inerek seneler boyunca kayıt altına alınmış teknik detayları içermektedir. Bütün patentlerin kategorileri ayrılması ve temel fizik kuramları ile birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. TRIZ , Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch ve The Theory of Inventive Problem Solvings isimleriyle literatürde geçmektedir.

### **3.3.2 Çelişki matrisi**

TRIZ yöntemlerinden bir tanesi olan çelişki matrisinden bu çalışma içerisinde faydalanılmıştır. 39 x 39 adet teknik özellikten, durumun kötüleşmesi ve iyileşmesi için seçimler yapılmıştır. Bu seçimlerin kesiştikleri bölümlerde ortaya çıkan 40 adet teknik örnek ve yöntem bilgilerinden faydalanılmıştır. Yöntem, çalışma içerisinde ilerlenecek bir yol ve yön göstermektedir.

### **3.3.3 Kuvvet iyileştirmeye dayalı çelişki matrisi**

Çelişki Matrisinin kullanımını gerçekleştirmek için, sistemdeki durum ele alınarak mevcut senaryo oluşturulmalıdır. Yukarıda bahsedilen enerji geçişlerinde ortaya çıkan durumlar değerlendirilmelidir. Enerji geçişi ile ortaya çıkan kuvvetin etki kuvveti olarak düşünülmesi ile sistem içerisindeki durumu iyileştiren bir tepki kuvvetinin oluşması gerektiği düşüncesi oluşmaktadır. Bu düşünce yapısı ile ilk olarak “iyileştirmek istediğimiz özellik”, değerlendirme içerisine yani çelişki matrisine alınmıştır. Çelişki

matrisinde bu özelliğe karşılık gelen ve sistem içerisinde yapılan iyileştirmeye karşın kötüleşme sağlayan özellik olarak “hareketsiz cismin ağırlığı” özelliği ele alınmaktadır. Çelişki matrisinde 10 numara ile takip edilen Kuvvet özelliğinin iyileştirilmesi gerçekleştiğinde, kötüleşen özellik olarak hareketsiz cismin ağırlığı numara 2 ile takip edilmektedir. Bu özelliklerin çelişki matrisinde kesiştikleri hücredeki önerilen çözümler çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Kuvvet ve hareketsiz cismin ağırlığı kesişmesi

|     |   | 1   | 2                                | 3   | ... |
|-----|---|-----|----------------------------------|-----|-----|
|     | İstenmeyen Sonuç                        | ... | Hareketsiz<br>Cismin<br>Ağırlığı | ... | ... |
|     | Sistemde İyileştirme İstenen Özellikler | ... | ...                              | ... | ... |
| 1   | ...                                     | ... | ...                              | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...                              | ... | ... |
| 10  | Kuvvet                                  | ... | 1, 18, 13, 28                    | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...                              | ... | ... |

Çelişki matrisindeki eşleştirme yapıldığında, 40 buluş özelliği içerisinde yer alan tekniklerden 4 tanesi ön plana çıkmıştır. Bunlar 1 numara bölümlenme, 18 numara mekanik titreşim, 13 numara ters eylem, mekanik sistemin yerine koyma özelliği ise 28 numara ile belirlenmiştir.

Her iki özelliğin de kesiştiği matrisin ortaya çıkardığı teknik önerilerin açıklamalarına göre düşünce yapısındaki olguları incelenmiştir. 18 numara ile belirlenen özellik mekanik titreşim özelliğidir. Mekanik Titreşim çözüm yolu, bir nesnenin titreşiminin sağlanması ile ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak titreşen ağza sahip bir kesme bıçağında kullanılan teknik olarak görülebilir. Titreşim özelliğinin kullanıldığı diğer bir örnek de, titreşim frekansının kullanıldığı sağlık sektöründeki uygulamalardan biri olan böbrek taşlarının kırılması uygulamasıdır.

Çelişki matrisinden elde edilen diğer bir yöntem önerisi de Ters Eylem 13 numara ile takip edilen teknik önerisidir. Bu çözüm yöntemi önerisi için problemin çözülmesinde kullanılan yöntemin tersine işletilmesi önerilmektedir. Örnek olarak iç içe geçen parçaları ayırırken dışarıdan ısıtılan parça yerine içerideki parçanın soğutulması durumu değerlendirilebilir. Hareketli parçaların hareketsiz hale getirilerek sabit parçaların hareketli hale getirilmesi durumu da yine bu teknik çözüm önerisinde sunulmaktadır. Koşu bantları, otomotiv üretim bantlarındaki montaj prosesinin açısız hareketler ile ilerletilmesi, yürüyen merdivenler gibi öneriler bu teknik çözümün sonucudur.

Matrisin problem durumuna göre sunduğu diğer bir teknik çözüm önerisi de bölümlenme olarak 1 numara ile takip edilmektedir. Nesnenin birbirinden bağımsız parçalara ayrılması, nesnenin kolayca parçalara ayrılabilmesi gibi durumlar ile izah edilebilir. Tırların kamyon ve römork olarak ayrılması, modüler mobilyalar ve bilgisayar yapılarının bireysel bilgisayar sistemlerine dönüşmesi gibi örnekler bu teknik için verilebilir.

Çözüm önerilerinden, çelişki matrisinde ortaya çıkmış olan diğer bir tanesi de mekanik sistemin yerine koyma numara 28 olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekanik sistemlerin yerine farklı sistemler kullanılması olarak da bu öneri değerlendirilebilir.

Çelişki matrisinden, kuvvet özelliğinin iyileştirilmesi beklenen durumu değerlendirirken kötüleşen diğer durum ise şekil olmaktadır. Kapı sac paneli ve kapı iç plastik paneli için enerji sönmemesi beklenen durum düşünüldüğünde, kuvvetin iyileşmesi için şekil değişikliğinin olması gerektiği bilinmektedir. Matris içerisinde bu iki durum eşleştirildiğinde ortaya çıkan durumlar incelenmiştir. Aşağıdaki çizelge 3.2’de çelişki matrisindeki durum değerlendirilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Kuvvet ve şekil kesişmesi

|     |   |     |             |     |     |
|-----|---|-----|-------------|-----|-----|
|     |   | ... | 12          | ... | ... |
|     | İstenmeyen Sonuç                        | ... | Şekil       | ... | ... |
|     | Sistemde İyileştirme İstenen Özellikler | ... | ...         | ... | ... |
| 1   | ...                                     | ... | ...         | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...         | ... | ... |
| 10  | Kuvvet                                  | ... | 10.35.40.34 | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...         | ... | ... |

Çelişki matrisi kullanılarak yapılan eşleştirme sonucunda ortaya çıkan teknik çözüm önerileri incelenmiştir. Öncelikle 10 numara olarak sıralanmış olan öncü eylem özelliğinden bahsedilmiştir. Öncü eylem tekniği ile yapılan uygulamalar, ürün için ileride gerekecek işlemin önceden tanım olması gibi bir durum içermektedir. Bu duruma örnek olarak, yapışkanlı duvar kâğıdı ve ameliyat yapılmadan önceki aletlerin steril hale getirilmesi verilebilir. Ayrıca diğer bir düşünüş şekli de taam zamanında üretim yapan fabrikaların kanban sistemleri ve esnek üretim hücreleri olarak, nesnelerin gereken zamanda kullanıma alınması için bulunması gereken uygun yerlerin önceden belirlenmesine örnek olarak verilebilir.

Öneri teknik özellik olarak 35 numara ile belirlenmiş olan fiziksel ve kimyasal özellikler şeklinde çelişki matrisinden ortaya çıkmıştır. Bir anlamda bu özellik parametre değişikliği olarak da algılanabilir. Durum şartlarına göre bir cismin fiziksel durumunu değiştirmek teknik anlamda bir çözüm oluşturmaktadır. Şekerlerin normalde akışkan olan merkezlerini önce dondurup sonra çikolataya batırmak, oksijen ve nitrojen gazlarının sıvı halde taşıyarak daha az hacim kaplamalarını sağlamak da bir teknik yöntem çözümdür. Cisimlerin yoğunluklarını ve kıvamını değiştirmek için verilen bazı örnekler olarak, katı sabun yerine sıvı sabun kullanılması veya balın daha sıvı hale getirilerek daha kullanışlı halde olması gibi durumlar gösterilebilir. Cismin esnekliğini değiştirmek; kauçuğun esneklik azaltıcı kükürt ile sertleşerek kullanılması ve izolasyon malzemeleri kullanılarak bir yerdeki fiziksel değişimlerin başka bir yere geçişini engellemek gibi örneklerden bahsedebiliriz. Cismin sıcaklığının değiştirilmesi durumu

ile ilgili olarak, tıbbi örnekleri düşük sıcaklıklarda saklamak ve ameliyat yapılırken bölgesel uyuşmaya sebep olması için soğutulan sprelerin kullanılması gibi durumlar da örnek olarak verilebilir.

Teknik çözüm önerilerinden bir diğeri olarak karşımıza çıkan özellik ise 40 numara ile takip edilmekte olan ve çelişki matrisinde yer alan Kompozit malzeme kullanım önerisidir. Önerinin detaylarında ise, tek çeşit malzeme kullanımı yerine birleşik malzemelerin kullanımı yer almaktadır. Karbon fiber karışımlarından yararlanılan golf sopalarının yanında, cam elyaf kullanılmış sörf tahtaları da bu önerilen teknik içerisinde sunulan örneklerden bazılarıdır.

Bir cismin işlevini tamamlamış kısımlarının uzaklaştırılması gibi, gereksiz bölgelerden kurtulmak ve sadeleştirmeye gitmek özelliği de 34 numara ile takip edilmektedir. İlaç kapsullarının suda çözülmesi, uzay mekiğinin birkaç bölümden oluşması ve görevleri sonrasında atılmaları ve buzdan yapılmış kaplar kullanarak bazı yapıların şekillendirildikten sonra buzun eriyerek geriye istenen şeklin kalması gibi örnekler bu teknik ile gerçekleştirilmişlerdir. Kendi kendini bileyen çim biçme makineleri ve jeneratör motorunu çalıştırmak için kullandığı enerjiyi motor çalışış tekerler dönmeye başladıktan sonra yeniden geri kazanması gibi örnekler de tüketilen parçaların gereksinim aşamasında sürece geri katılım sağlama ile alakalı örneklerdir.

Çarpışma anında oluşan kuvvet değerine karşı koyabilecek yine kuvvet varlığının belirlenmesi için, kuvvet değerinin iyileşmesi gerçekleşirken enerji israfının olduğunu varsayabiliriz. Çelişki matrisinden bu iki durumun değerlendirmesi yapılmalıdır. Çizelge 3.3 içerisinde kesişme noktasındaki numaralar ile belirtilen teknik çözüm önerileri bulunabilir.

**Çizelge 3.3.** Kuvvet ve enerji israfı kesişmesi

|     |   |     |               |     |     |
|-----|---|-----|---------------|-----|-----|
|     |   | ... | 22            | ... | ... |
|     | İstenmeyen Sonuç                        | ... | Enerji İsrafı | ... | ... |
|     | Sistemde İyileştirme İstenen Özellikler | ... | ...           | ... | ... |
| 1   | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |
| 10  | Kuvvet                                  | ... | 14,15         | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |

Kuvvetin iyileşmesini istediğimiz durumlarda, mevcut durumu alanı içerisinde enerji miktarını artırabiliriz ve bu durumun gerekenden daha fazla oluşması görülebilir. Birçok çalışmada over-engineering dediğimiz durumlar ile karşılaşmaktadır.

Kesişme bölgesinde incelenmesi gereken teknik çözümlerden 14 numara ile belirtilen çözüm, yuvarlama metodudur. Yuvarlama, küresellik ve bükümlülük olarak da belirtilebilir. Parçaların yüzeylerin veya biçimlerin köşeli olması ve yerine yuvarlak olması, düz yüzeylerden küresel geçilmesi; kübik yapılar yerine küresel yapılar kullanılması bu durum için genel uygulamalardır. Mimaride dayanıklılık artırılması için kemer ve kubbelerin kullanılması, silindir top helezon ve kubbe şekillerinin kullanılması gibi örnekler bulunabilir.

Yine aynı alanda kesişme noktasının verdiği bir teknik çözüm ise 15 numara ile takip edilen dinamiklik buluş önerisidir. Bir nesnenin, dış çevrenin ya da sürecin karakteristik özelliklerinin, en uygun çalışma koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanması ya da buna izin verilmesi durumdur. Ayarlanabilir direksiyon, sürücü koltukları ve aynalar bu duruma örnektir. Bir bütünün, birbirine bağlı olarak hareket etme ve yeteneği olan alt parçalara bölünmesi olarak, örnek vermek gerekirse kelebek biçimli bilgisayar klavyesi verilebilir.

Kuvvet faktörünün iyileşme sağlanması istendiği durumlar içerisinde son eşleşen ve kötüye giden durum olarak madde israfı sekmesi ortaya çıkmaktadır. Çelişki matrisinde bu iki durum kesişime girdiğinde ortaya çıkan 4 adet teknik çözüm önerisi bulunmaktadır. Çizelge 3.4 içerisinde bu kesişme noktası ve eşleştirme verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Kuvvet ve madde israfı kesişmesi

|     |   |     |                  |     |     |
|-----|---|-----|------------------|-----|-----|
|     |   | ... | 23               | ... | ... |
|     | İstenmeyen Sonuç                        | ... | Madde İsrafi     | ... | ... |
|     | Sistemde İyileştirme İstenen Özellikler | ... | ...              | ... | ... |
| 1   | ...                                     | ... | ...              | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...              | ... | ... |
| 10  | Kuvvet                                  | ... | 8, 35<br>, 40, 5 | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...              | ... | ... |

Kesişim kümesindeki ilk teknik çözüm önerisi 8 numara ile ön plana çıkmış olan, karşı ağırlık kullanımudur. Bu teknik çözüm, ağırlığı azaltma, ağırlığı dengeleme olarak da bilinmektedir. Nesnelerin kaldırılabilmesi için ağırlığı sorun yaratmayacak başka parçalarla birleştirilmesi durumu yani örnek vermek gerekirse, kütük yığınlarının su üzerinde rahat hareket edebilmesi için köpük tozları eklenmesi veya reklam panolarının sabit durması için helyum balonlarının kullanılması gibi durumlar gösterilebilir. Nesnelerin çevre ile ilişkisinin artırılması için ağırlığı sorun yaratmayacak başka parçalarla birleştirmek de bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Uçak kanatlarının havalanması için fırtına bantlarının kullanılması ve yine kanatların üstündeki havanın yoğunluğunu artırarak ve kanat altındaki havanın yoğunluğunu azaltarak kalkışı kolaylaştırması da örnek olarak verilebilir.

Numara 35 ile bahsedilen kimyasal ve fiziksel özelliklerin değişmesi daha önceki çakışma içerisinde yer almış ve incelenmişti.

Çelişki matrisindeki kesişme noktasındaki diğer bir çözüm önerisi de, 40 numara ile takip edilen kompozit malzeme kullanımudur. Tek çeşit malzeme yerine birleşik

malzemelerin kullanımının önerildiği bir yönlendirmedi. Epoksiresin ve karbon fiber alaşımlarının metalden daha dayanıklı ve daha esnek olması sayesinde golf sopalarının bu malzemelerden yapılması bir örnek çalışmadır. Cam elyaftan yapılmış sörf tahtalarının da daha kolay ve uygun maliyetlerde olması da önemli bir örnektir. Bu madde de daha önceki tablolarda değinilerek değerlendirmeye alınmıştır.

Kuvvet faktörünün iyileştiği fakat madde israfının kötüleştiği durumlarda, çelişki matrisinin verdiği son çözüm önerisi de 5 numaralı kombinasyon olarak ortaya çıkmaktadır. Kaynaştırma ve birleştirme olarak da karsımıza çıkan bu çözüm önerisi; paralel işlerin yapılması için özdeş ya da benzer nesne parçalarının kaynaştırılması ya da birleştirilmesi anlamına gelmektedir. Ağ içinde birleştirilmiş kişisel bilgisayarlar, paralel işlemcili bilgisayar içerisinde binlerce mikroişlemci gibi örnekler verilebilir. Bitişik ya da paralel şekilde operasyonları düzenleme, işlemleri bir araya getirme gibi bir mantalitenin uygulandığı çözümlere örnek olarak, tıbbi ölçüm cihazlarında kan testiyle ayna anda farklı birçok ölçüm yapılması, stor ve panjurlarda çıtaların birbirlerine bağlanması verilebilir.

#### **3.3.4 Mukavemet iyileştirmeye dayalı çelişki matrisi**

İyileştirme beklenen durum için çelişki matrisi tekrar gözden geçirilmiştir. İyileştirilecek durumun çarpışma anındaki mukavemet bilgisi olduğu varsayılarak kötüleşme beklenen durumların analizi gerçekleştirilmiştir. 14 numara ile takip edilen Mukavemet durumunun iyileştirileceği zamanlarda, kötüleşme beklenen 4 durum analize dâhil edilmiştir. Bunlar, 2 numara hareketsiz cismin ağırlığı, 12 numara ile şekil, 22 numara ile enerji israfı ve 23 numara ile madde israfı olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, çelişki matrisinden ortaya çıkan bu durumlara ait teknik çözüm önerileri incelenecektir.

İstenmeyen sonuç olarak hareketsiz cismin ağırlığının kötüleştiği durum ile mukavemet özelliğinin iyileştiği durum kesişmesinde ortaya çıkan çizelge 3.5’de verilmiştir.



**Çizelge 3.5.** Mukavemet ve hareketsiz cismin ağırlığı kesişmesi

|     |   | 1   | 2                                | 3   | ... |
|-----|---|-----|----------------------------------|-----|-----|
|     | İstenmeyen Sonuç                        | ... | Hareketsiz<br>Cismin<br>Ağırlığı | ... | ... |
|     | Sistemde İyileştirme İstenen Özellikler | ... | ...                              | ... | ... |
| 1   | ...                                     | ... | ...                              | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...                              | ... | ... |
| 14  | Mukavemet                               | ... | 40, 26, 27, 1                    | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...                              | ... | ... |

Çelişki matrisinden ortaya çıkan teknik çözüm önerilerinden ilk olan 40 numara ile takip edilen kompozit malzeme kullanım önerisini daha önce de değerlendirilmişti. Bu önerinin ortaya yeniden çıkmış olması problemin çözümünde kullanım yapılması ihtimalini artırmaktadır.

Ortaya çıkan diğer bir teknik çözüm önerisi de 26 numara ile takip edilen, kopyalama önerisidir. Zor bulunan, pahalı, kırılğan cisimlerin kendileri yerine kopyalarının kullanılması önerisi bu durum için değerlendirebilir. Bir cisim ya da süreci örneği ile değiştirmek de bu çözüm önerisi içerisine girmektedir. Görsel kopyaların incelenmesi durumunda, kızılötesi ve ultraviyole kopyaların kullanılması da bu çözüm durumunda kullanılabilir önerilerdendir.

27 numara ile anlatılan diğer bir çözüm önerisi de ucuz ve kısa ömürlü nesnelere kullanılması önerisidir. Örnek olarak, pahalı olmayan bir cismi belirli özelliklerini kapsayan birkaç ucuz kopyası ile değiştirmek olarak verilebilir.

Son olarak da 1 numara ile belirtilen bölümlenme örneğidir. Bu özellik de daha önceki analizlerde karşılaşılmıştır.

Mukavemet özelliğinin sistem içerisinde iyileştiği durumlarda, kötüleşmesi beklenen diğer durum ise şekil kriteri olarak düşünülmektedir. Bu durumda oluşan çelişki matrisindeki kesişme sonucu ortaya çıkan teknik çözümler aşağıdaki çizelge 3.6 içerisinde verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Mukavemet ve şekil kesişmesi

|     |   |     |                |     |     |
|-----|---|-----|----------------|-----|-----|
|     |   | ... | 12             | ... | ... |
|     | İstenmeyen Sonuç                        | ... | Şekil          | ... | ... |
|     | Sistemde İyileştirme İstenen Özellikler | ... | ...            | ... | ... |
| 1   | ...                                     | ... | ...            | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...            | ... | ... |
| 14  | Mukavemet                               | ... | 10, 30, 35, 40 | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...            | ... | ... |

10 numara ile teknik çözüm olarak çelişki matrisinden önerilen öncü eylem çözümü önceki durumlarda incelenmişti.

Bu eşleşme içerisinde diğer öneri yöntemlerinin dışında olacak olan numara 30 ince film ve zar metodu bulunmaktadır. Esnek kabukların ve ince şeritlerin üç boyutlu yapıların yerine kullanılması, kış aylarında tenis sahalarının örtülmesi için şişirilebilir bir yapının kullanılması örneği ile açıklanabilir. Dış etkenlere karşı cisimlerin izole edilmesi için esnek kabukların ve ince şeritlerin kullanılması, su depolarında çift kutuplu ince bir filmin kullanımı ile buharlaşmayı önlemek teknik çözüm önerisi ile anlatılabilir.

Çelişki matrisinden elde edilen diğer çözüm önerileri 35 numara fiziksel/kimyasal özellikler ve kompozit malzeme ile belirtilen 40 numara daha önceki bölümlerde anlatılmıştı.

Sistem içerisinde kötüleşen durum olarak enerji israfının düşünülmesi ve iyileşen durumun mukavemet özelliği olarak belirlenmesi durumunda aşağıdaki çizelge 3.7 oluşmaktadır.

**Çizelge 3.7.** Mukavemet ve enerji israfı kesişmesi

|     |   |     |               |     |     |
|-----|---|-----|---------------|-----|-----|
|     |   | ... | 22            | ... | ... |
|     | İstenmeyen Sonuç                        | ... | Enerji İsrafı | ... | ... |
|     | Sistemde İyileştirme İstenen Özellikler | ... | ...           | ... | ... |
| 1   | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |
| 14  | Mukavemet                               | ... | 35            | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |

Çelişki matrisinden elde edilen teknik çözüm önerisi, 35 numara ile daha önceden incelenmiş olan fiziksel ve kimyasal özelliklerin değişmesi önerisidir. Bu öneri daha önceki bölümlerde incelenmiştir.

Çarpışma durumunda kuvvet iletiminin minimize edilmesi için parçaların mukavemet özelliklerinin olduğundan iyi olması beklenir. Bu durum hâsıl olduğunda; madde israfı yani madde kullanımının kötüleşeceği, bir anlamda artacağı beklenmektedir. Çelişki matrisinde bu durum incelendiğinde aşağıdaki çizelge 3.8’de belirtilen teknik çözüm önerileri bulunmaktadır.

**Çizelge 3.8.** Mukavemet ve madde israfı kesişmesi

|     |   |     |               |     |     |
|-----|---|-----|---------------|-----|-----|
|     |   | ... | 23            | ... | ... |
|     | İstenmeyen Sonuç                        | ... | Madde İsrafı  | ... | ... |
|     | Sistemde İyileştirme İstenen Özellikler | ... | ...           | ... | ... |
| 1   | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |
| 14  | Mukavemet                               | ... | 35, 28, 31,40 | ... | ... |
| ... | ...                                     | ... | ...           | ... | ... |

Çalışmanın daha önceki bölümlerinde; 35 numara ile karşımıza çıkan fiziksel ve kimyasal özelliklerin değişmesi, 28 numara ile mekanik sistemin yerine koyma ve 40 numara ile kompozit malzeme kullanımı bu eşleştirmede de karşımıza çıkmıştır. Daha önceki bölümlerde bu teknik öneriler incelenmiştir. Farklı bir çözüm önerisi olarak 31 numara ile belirtilen gözenekli yapı kullanımı karşımıza çıkmaktadır. Gözenekli cisimler kullanmak ya da cisimlere gözenekli elemanlar eklemek, ağırlığı azaltmak için bir cisme delikler açmak gibi durumlar değerlendirilebilir.

### **3.4 Yeni Bir Sönümleyici Tasarım ve Analizleri**

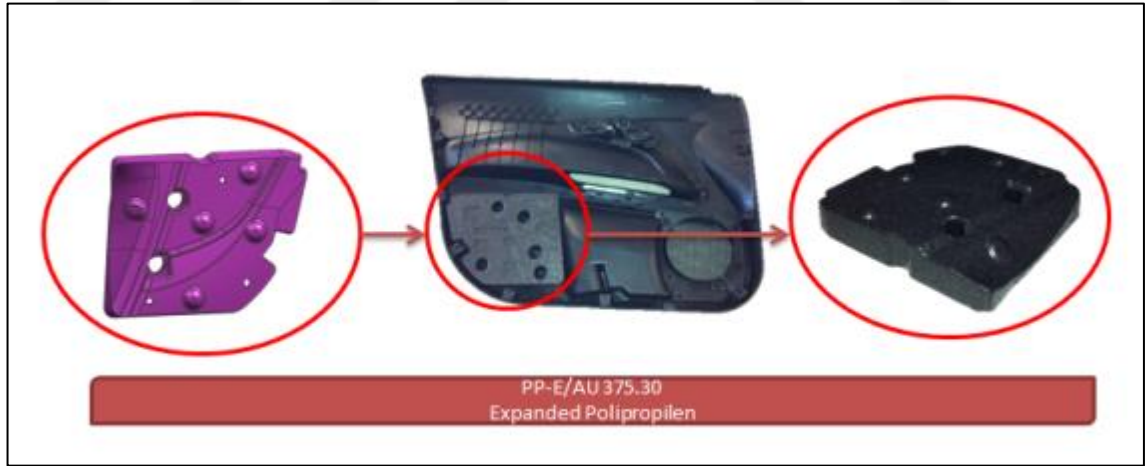
Çalışmanın bu bölümünde, otomobil yandan çarpma durumlarında yolcu ve sürücü üzerindeki etkilerin azaltılması için yapılan sönümleyici parçaların dizayn aşamaları değerlendirilme kademelerinden bahsedilecektir. Analizler, tasarımların şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu aşamaya kadar gelinen tüm bilgilerin kullanıldığı temel bölüm bu kısımdır. Kaynak araştırmasındaki tüm bilgi ve kuramların aktif olarak kullanılması ile tasarımsal şekillendirmeler bu bölümde yapılmıştır. Yapılan tüm analiz çalışmaları birbiri ile bağlantılıdır. Sönümleyici tasarım işleminde kullanılan Abdomen/pelvis analizleri temel basamağı oluştururken, MADYMO analizleri de testler öncesi verifikasyon kısmında ortaya çıkmaktadır.

#### **3.4.1 Yandan çarpma sönümleyici mevcut durum**

Kaynak araştırmalarının bir çıktısı olarak, otomobil sac ve kapı paneli arasında olması gereken bir yapı netleşmektedir. Yürüyen bir proje içerisine adapte olması için hızlı ve düzgün adımların atılması gerekmektedir. Bu aşamada değerlendirme kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterlerden en önemlisi tasarım çalışmalarıdır. Tasarım çalışmasında sadece ürün tasarımının üç boyutlu çalışmasının tamamlanması yeterli değildir. Ürün, tam olarak doğduğu andan itibaren müşterinin son kullandığı güne kadar aşamalar düşünülerek tasarlanmalıdır. Tasarım çalışmalarımız mevcut kapı paneli ve kapı sacı arasında, kapı paneli montajına uygun olacak şekilde düşünülmüştür. Mevcut patentlerdeki yapılar değerlendirilmesi için, bu şekillere benzer dizaynlar çalışılmıştır. Absorbe özelliği kazandırabilecek dizaynlar çalışılmıştır.

İlerleyen bir proje içerisinde yeni bir dizayn çalışması yapmak için proseslerin hızlı ve koordinatif şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Sedan araç projesinde yapılan ve dizayn olarak pozitif sonuç alınmış, mevcut ticari araçlarda da kullanılmış yandan çarpma sönümleyici parçalar bulunmaktadır. Bu parçaların malzeme özellikleri daha önceki bölümlerde incelenmişti. Baz alınan yandan çarpma kapı panel içine monte edilen parçanın malzemesi EPP (Expanded Polipropilen) olarak belirlenmişti. Analizler bu şekilde pozitif sonuçlanmış ve projenin yürüyen evrelerinde kalıp yapımı başlamıştı. Bu aşamada TEYDEB projesinden alınan destek, fikirlerin ürüne dönüşebilmesi için bir itici güç olmuştur. Yapılan analizler baz alınarak ve kaynak araştırması bölümünde bahsedilen tüm evreler kullanılmış ve dizayn aşamasında, EPP malzeme ile yapılan analizlerin tekrarlanması için UG NX modelleme tekniği kullanılmıştır. İlk aşamada yapılan modeller ile analizlere girdi oluşturacak yandan çarpma sönümleyiciler ortaya çıkarılmıştır. Bu dizaynlar sistem çalışmasını, yani senaryo oluşumundaki durumların değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Sedan projesinde, başlangıç değer bütçelerine alınan ve üzerinde tasarımsal çalışmaların yapıldıktan sonra ürüne dönüşen parça Şekil 3.15.'de gösterilmiştir.

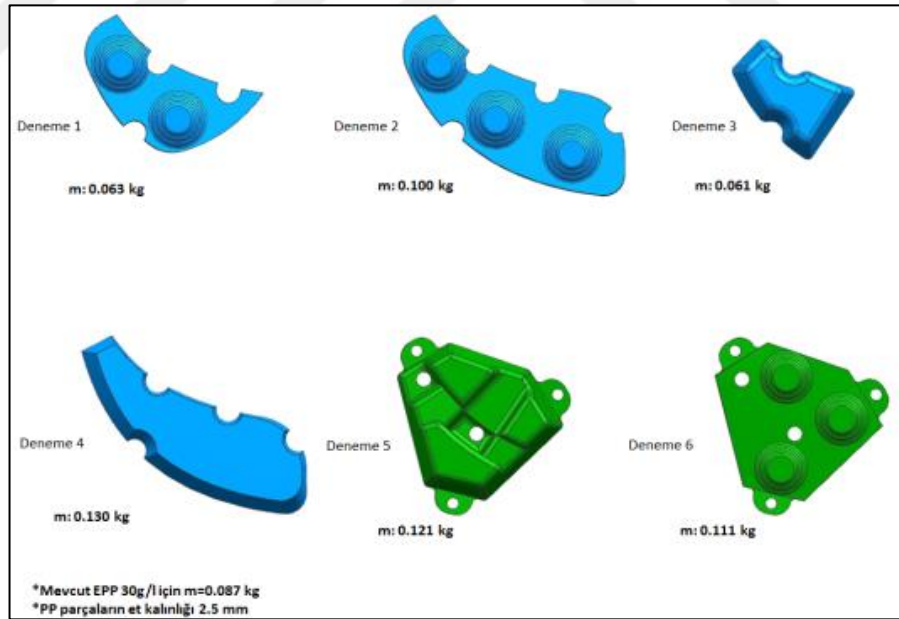


Kapı panelinde Sac ve plastik kapı paneli arasında kalınan bölgede, dizayn kriterlerine uyumlu bir tasarım yapılmıştır. Bu EPP yandan çarpışma sönümleyici, ileriki bölümlerde bahsedilecek olan Abdomen/pelvis ve Madymo analizlerinden geçerek dizayn aşamasından ürün aşamasına geçiş için ön şartları kabul görmüştür. Eş zamanda alınan Teydeb desteği ile yeni dizayn için çalışmalar bu noktada başlamıştır.

Kısıtlı zaman içerisinde dizayn çalışmalarının doğru yönde ilerleyebilmesi için mevcut EPP dizaynı baz alınarak çalışmalar yapılmıştır. EPP malzemeden yapılan yandan çarpışma sönümleyici için analizler incelenmiştir. Analiz senaryolarının çalışması için farklı yandan çarpışma sönümleyici tasarımları oluşturulmuştur.

### 3.4.2 Yandan çarpma sönümleyici yeni tasarımlar

Mevcut durum tasarımındaki kriterlerin değerlendirilebilmesi için Ls-Dyna yazılımı kullanılarak elde edilmiş değerler bulunmaktadır. Bu değerler baz alınarak analiz çalışmalarına başlanması ve ürüne geçiş için ön koşulun sağlanması gerekir. Bu aşamada tüm analiz senaryolarının düzgün bir şekilde çalışabilmesini simule edebilmek adına, parça bazlı analizler yapılmıştır. Bu analizlere girdi olacak şekilde yeni nesil PP malzeme ile kullanılan tasarımlar alınmıştır. Aşağıdaki şekil 3.16. ve anlatımlarda bu parçalara ait analizlerden bahsedilmiştir. Bu analizlerin akabinde, projeye hızla adapte olabilecek bir tasarım çalışmasının ortaya çıkartılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.16. Yeni yandan çarpışma sönümleyici tasarımlar

Modellerin oluşturulmasında en önemli etken, benchmarking ve patentlerde karşılaşılan konik yapıların kullanılmasıdır. Deneme 1 ve Deneme 2 numaralı tasarımlar, bu bilgi birikimlerinin ürünleridir. Farklı bir tasarım, patentlerden elde edilen bilgilerin

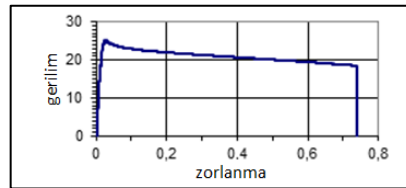
yansımalarından kaçınılmak, bu çalışmaların sonuçları ise Deneme 3 ve 4 olmuştur. Deneme 5 ile gösterilen tasarım tamamen, kapı sac ve kapı plastik iç panel için oluşturulmuştur. Arada kalan boşluğun doldurulması gerektiği düşünülerek yapılan bir tasarımdır. Son olarak Deneme 6 ise, tüm benchmarking sürecinde karşımıza çıkan konik yapıların üçgensel alandaki dizaynlarından oluşmaktadır. Bu tasarımların bir yol haritası olarak kullanılması için basit bir senaryo oluşturulmuştur. Gelecek bölümde bu konudan bahsedilmiş ve analizlerin tasarımsal çalışmalar yöne verebilecek bilgileri elde edilmiştir.

### 3.4.3 Yandan çarpma sönümleyici tasarım ve enerji sönümleme analizleri

Bu bölümde bir önceki bölümde doğrulama çalışmaları verilen EPP ve PP olmak üzere 2 farklı malzeme üzerinden çalışmalar yapılmıştır. EPP malzeme ile var olan yan darbe sönümleyici parçası incelenmiş, PP malzeme ile alternatif tasarımlar üzerine çalışılmıştır. Her iki malzeme içinde test sonucu elde edilen strain-stres eğrileri sanal simülasyonlar yardımıyla doğrulanarak malzeme kartları oluşturulması çalışmaları da bir önceki bölümde detaylı verilmiş bu bölümde modeller ile ilişkisi açısından malzeme seçimi başlığı altında özet şeklinde verilmiştir.

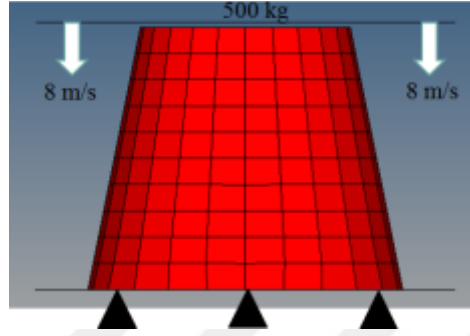
Simülasyonlarda pre-process ve post-process aşamasında darbe emicilerin modellenmesi, sonlu elemanlarına ayrılması, sınır şartı ve malzeme tanımlamaları HyperMesh yazılımında yapıldı. Çözücü olarak Ls-Dyna kullanıldı.

Malzeme seçimi aşamasında polipropilen (PP) ve expanded polypropylene (EPP) malzemeleri karşılaştırılmış ve ilk aşamada PP için analizler yapılmıştır. PP stres-strain eğrisi Şekil 3.17.'de görülmektedir.



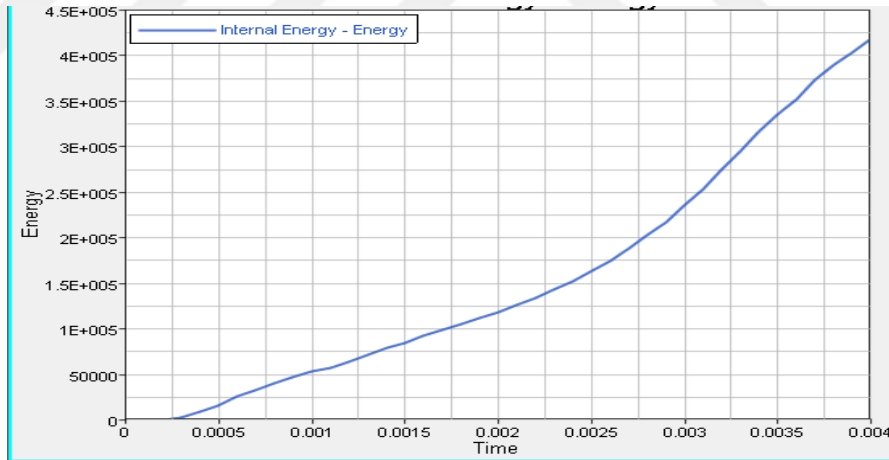
Şekil 3.17. PP malzeme stress-strain eğrisi

Bu aşamada Şekil 3.18.'deki gibi konik bir yapı modellenerek altından 6 eksen için de sabitlendi. 500 kg kütlede, 29 km/h hızında bir plaka bu yapıya çarptırıldı. Bu hızın seçilmesinin sebebi Euro NCAP testlerinde bu hız değerinin referans alınmasıdır. Baskı plakasının sadece düşey doğrultuda hareketine izin verildi.



Şekil 3.18. PP çarpışma modeli

Analizler 2,3,4 ve 5mm et kalınlıklarında koniler için yapıldı. 2 mm et kalınlığındaki koninin absorbe ettiği enerji Şekil 3.19.'da görülmektedir.



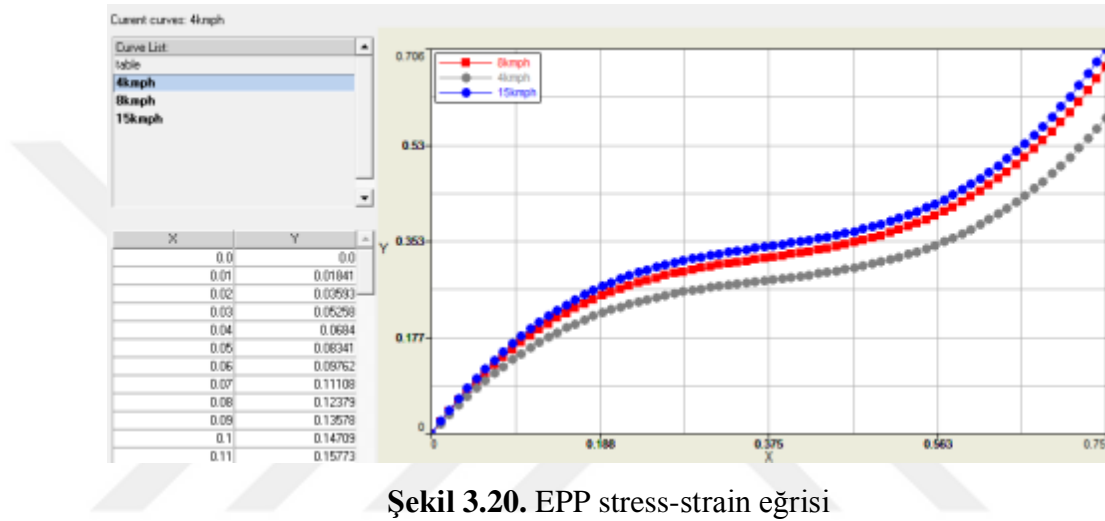
Şekil 3.19. PP malzeme absorber için absorbe edilen enerji grafiği

Grafiğe bakılacak olursa 500 kg'lık kütleinin 29 km/s'lik hızla darbe emiciye çarptığı dikkate alınarak 4 ms'lik süre içinde toplam kinetik enerjinin %2.6'lık bölümünün absorbe edildiği sonucu çıkarılabilir. Farklı et kalınlığı için yapılan analiz sonuçları çizelge 2.9'da verilmiştir. EPP malzemesinin stress-strain eğrisi Şekil 3.20.'de verilmiştir.



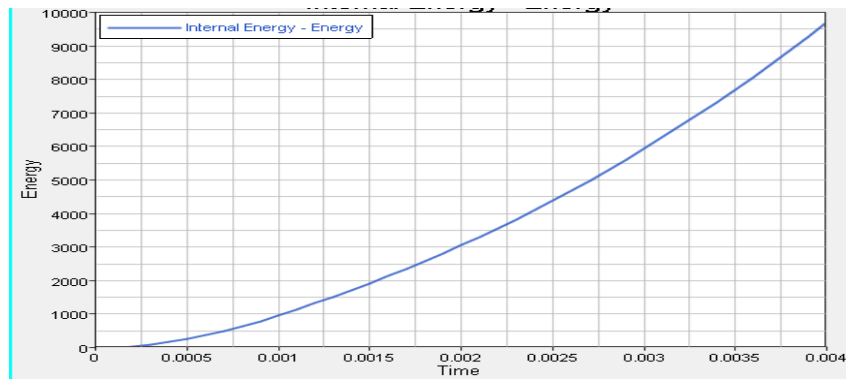
**Çizelge 3.9.** Farklı et kalınlıkları için absorbe edilen enerji değerleri

| t (mm) | E(J) | Oran(%) |
|--------|------|---------|
| 2      | 420  | 2,63    |
| 3      | 700  | 4,38    |
| 4      | 1000 | 6,25    |
| 5      | 1350 | 8,44    |



**Şekil 3.20.** EPP stress-strain eğrisi

PP malzemesi ile aynı sınır şartlarında analiz yapılmış ve Şekil 3.21.' de verilen enerji-zaman eğrisi elde edilmiştir.



**Şekil 3.21.** EPP absorbe edilen enerji grafiği

Bu analizler sonucunda Şu sonuçlar çıkarılmıştır:

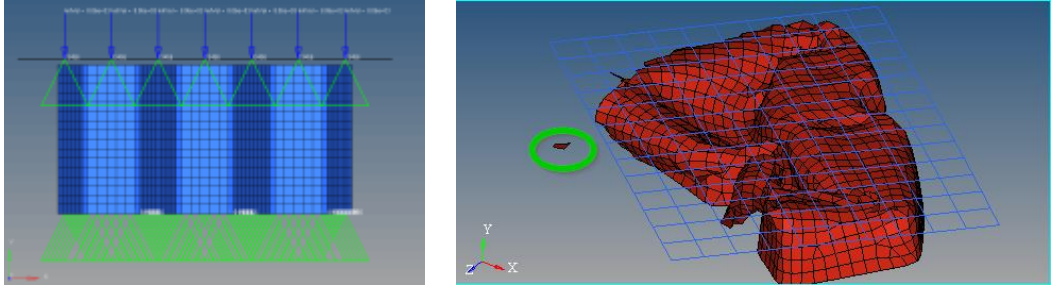
- PP için et kalınlığı arttıkça absorbe edilen enerji artmaktadır.
- EPP malzeme için yapılan analiz sonucunda absorbe ettiği enerjinin yaklaşık 10 joule olduğu görölmüŐtür.
- 5 mm et kalınlığındaki PP malzemenin absorbe ettiği enerji EPP malzemeninkine göre bariz bir Şekilde üstündür. Bu sebeple kapı panelinde kullanılacak darbe emici malzemesi PP olarak seçilmiş ve bundan sonraki analizler PP için yapılacaktır.

Bu aşamada bir önceki aşamada seçilen PP malzeme için örnek darbe sönümleyiciler için analizler yapılmıştır. Analizler için sınır şartları:

- 100 kg'lık baskı plakası 29 km/h (8055 mm/s) ilk hız ile sönümleyici parçaya çarptırıldı.
- Baskı plakası sadece düşey doğrultuda hareket serbestisine sahiptir.
- Sönümleme parçası tabandan 6 serbestlik derecesinde de kısıtlıdır.

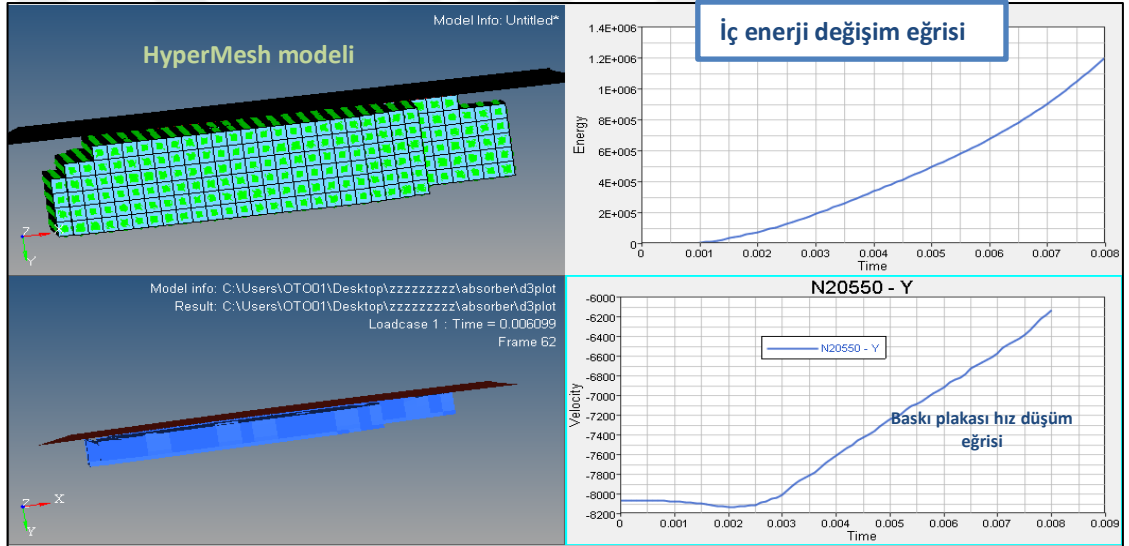
Analiz sınır şartları ve failure kriteri, herhangi bir eleman 0.74 strain değerine ulaştığında o eleman kopacak Şekilde tanımlandığı için elde edilen görsel çıktıları Şekil 3.22'de verilmiştir. Darbe sönümleyici çalışmasında yapılan çalışmalar:

- İlk olarak EPP ve PP malzemelerinin test dataları ile aynı şartlarda oluşturulan simülasyonların korelasyonu sağlanarak malzeme ve property kartları oluşturulmuştur.
- Araçta kullanılan absorber modelinin enerji sönümleme miktarı bulundu.
- Yapılan çeŐitli denemeler sonucunda PP(failure kriteri uygulanmış) malzemedен en uygun absorber tasarımlarına analizler uygulandı.
- Araçta kullanılan absorber ile PP malzemelerden yapılan tasarımlar karşılaştırıldı.
- Yan kapı simülasyonu için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada sadece yan kapıya bir rijit body çarptırılarak mevcut absorber ve PP modeller kıyaslanacaktır.
- Petek modeline yandan çarpma analizi modeli simülasyonu yapıldı.



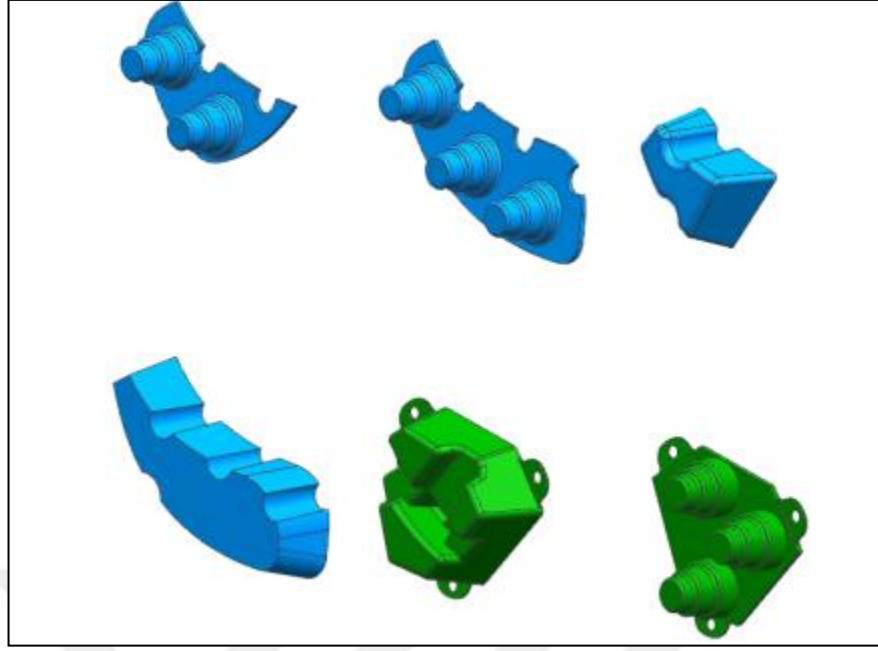
Şekil 3.22. Darbe sönümleyici analiz sınır şartları ve failure kriteri görseli çıktısı

Mevcut absorber köpük malzemeden yapıldığı için analiz EPP malzeme ile yapılmıştır. Diğer tüm analizler PP malzeme için yapılmıştır. Mevcut absorber analiz sonuçları Şekil 3.23' de verilmiştir.



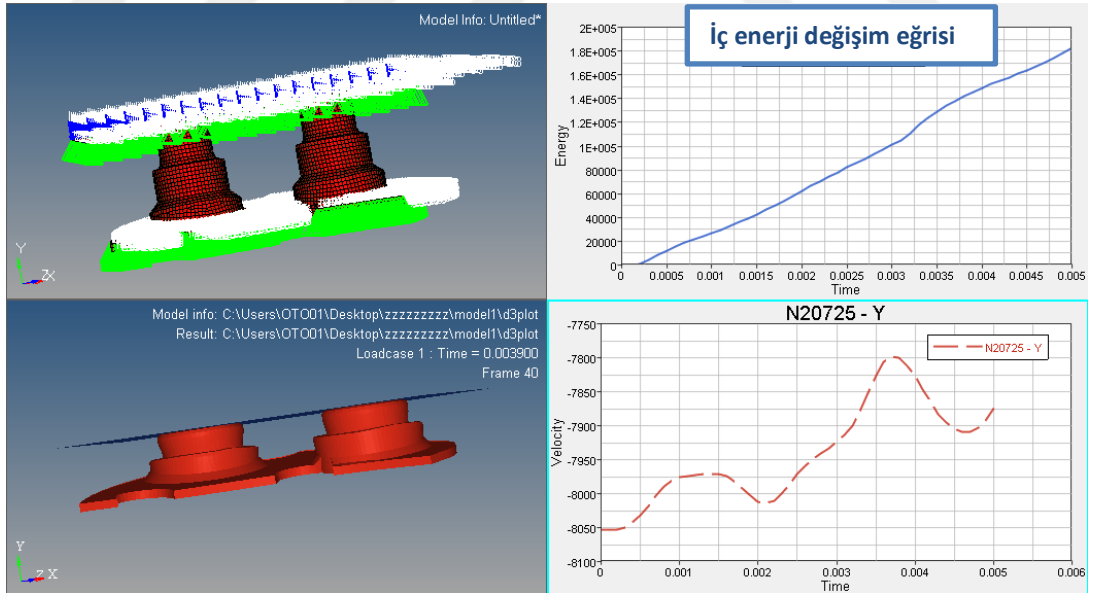
Şekil 3.23. Sönümleyici pad analiz sonuçları

Yandan çarpışma sönümleyici için alternatif PP malzeme dizayn ve tasarımları şekil 3.24. içerisinde gösterilmiştir.

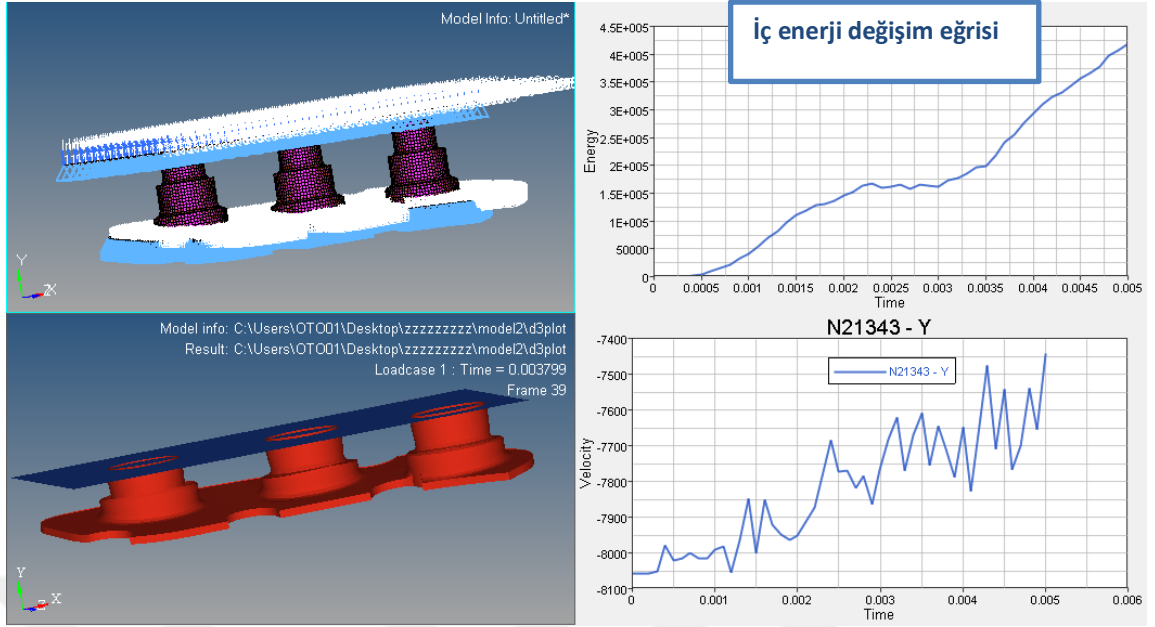


**Şekil 3.24.** Alternatif sönümleyici pad modelleri

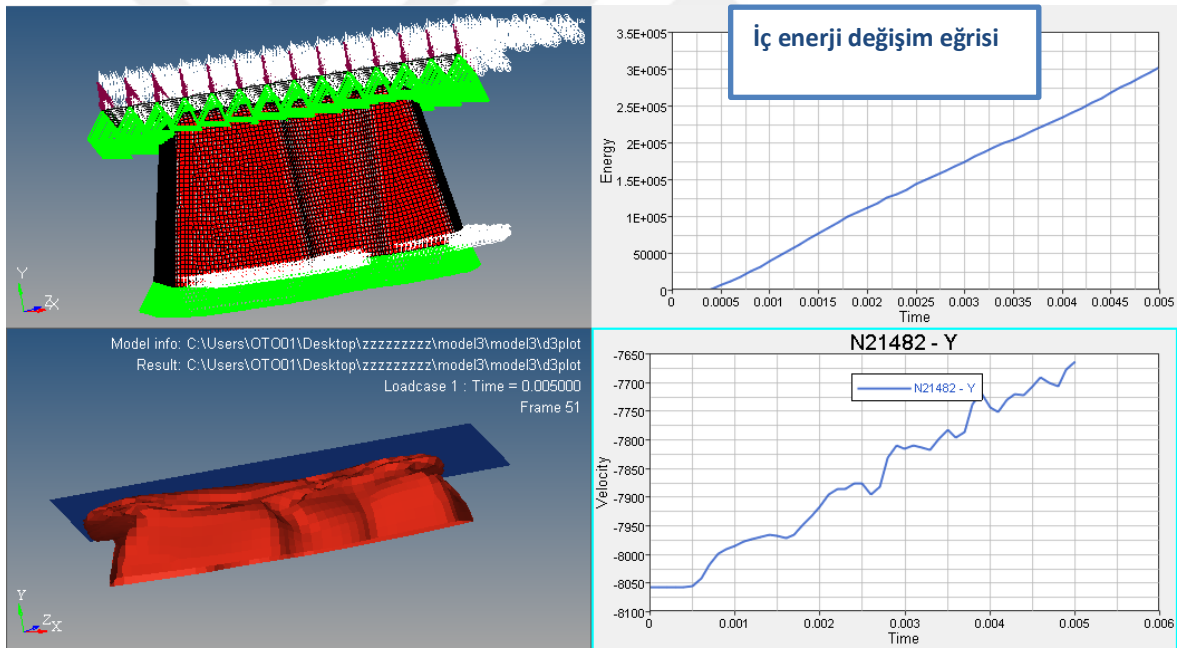
Bu modellerin analiz şartları ve sonuçları aşağıdaki şekillerde, 3.25., 3.26., 3.27., 3.28., 3.29. ve 3.30. ile gösterilmiştir.



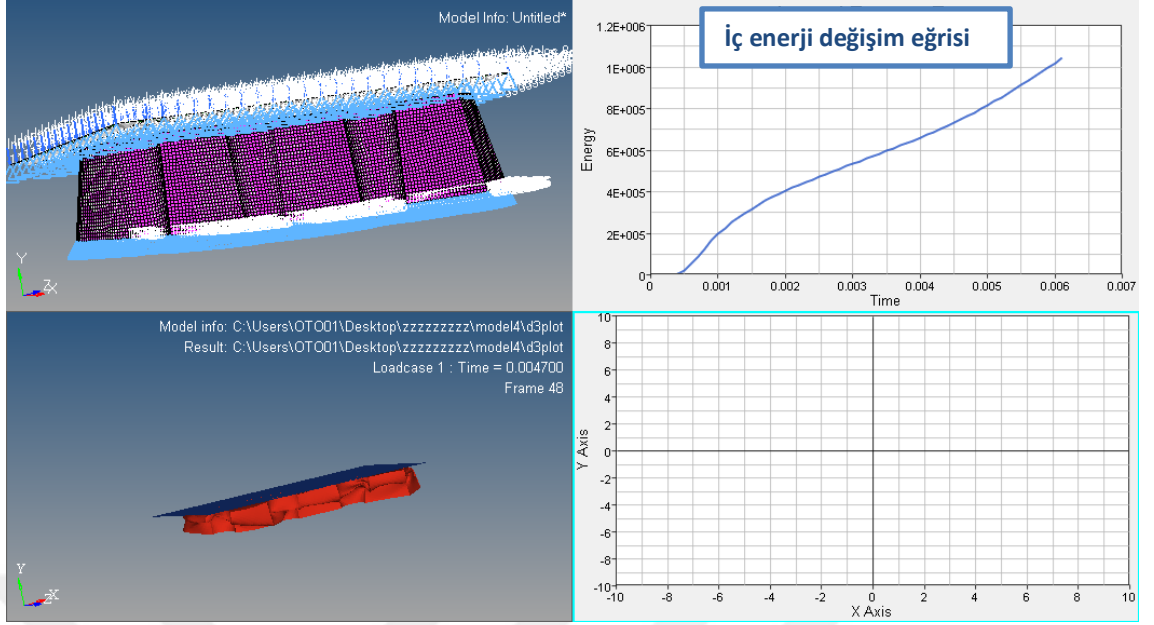
**Şekil 3.25.** Model 1 (63 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları



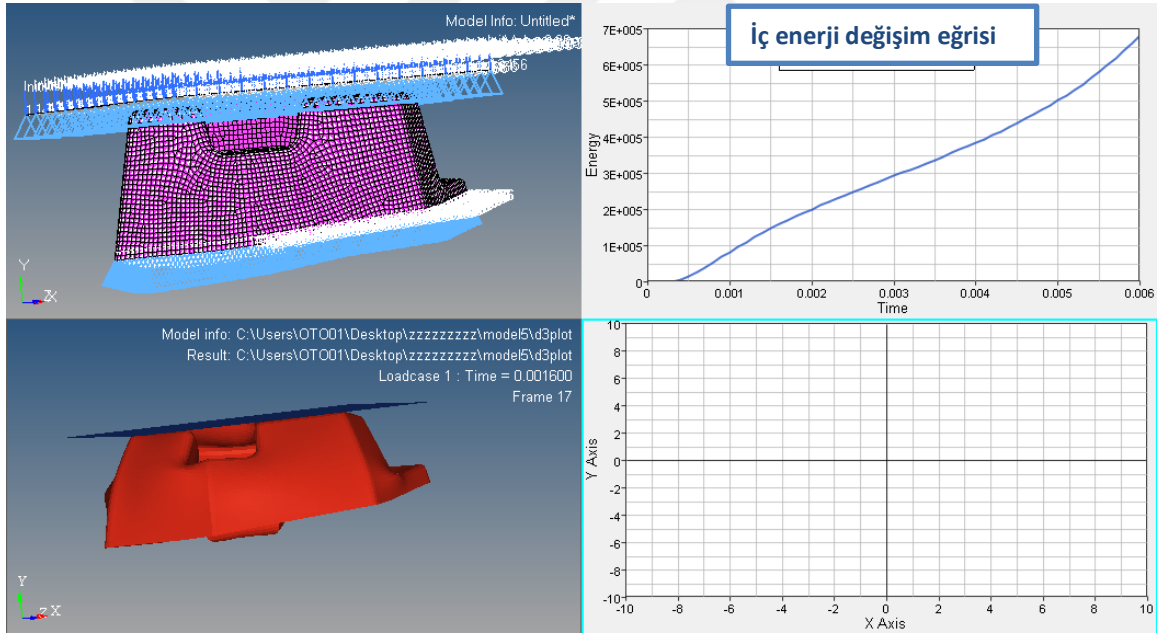
Şekil 3.26. Model 2 (102 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları



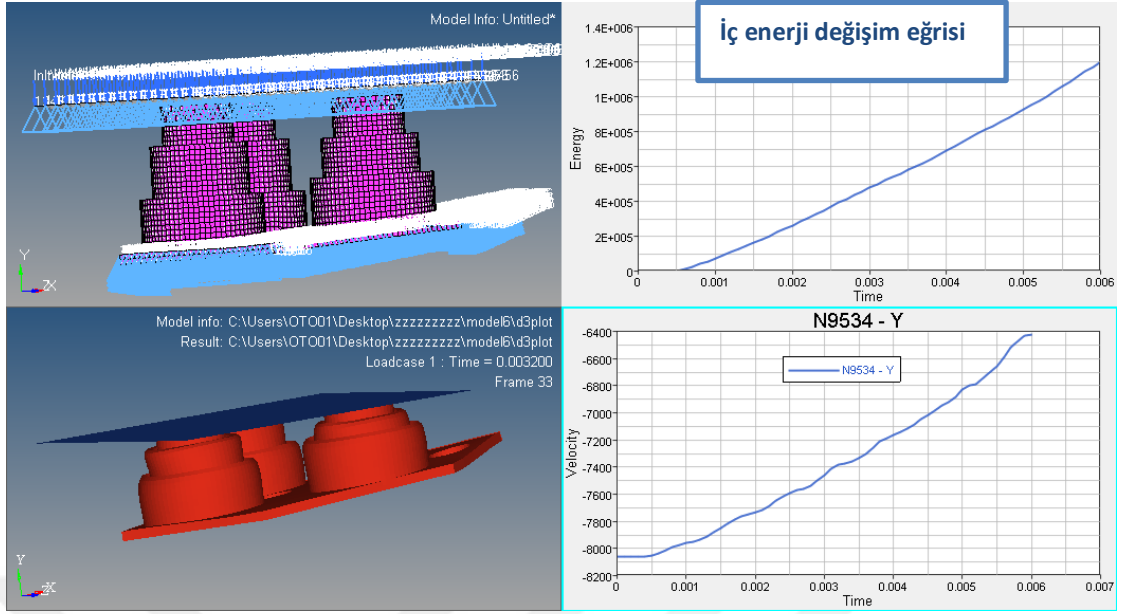
Şekil 3.27. Model 3 (63 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları



Şekil 3.28. Model 4 (115 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları

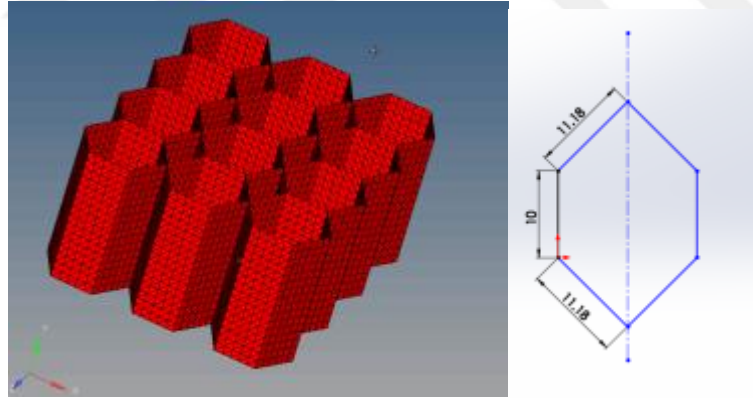


Şekil 3.29. Model 5 (118 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları



**Şekil 3.30.** Model 6 (100 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları

Alternatif modellere ek olarak ayrıca petek ve çoklu koni modeli analizleri yapılmıştır. Petek modeli çıktıları model tasarımı Şekil 3.31’de ve analiz sonuçları çıktısı Şekil 3.32’de verilmiştir.

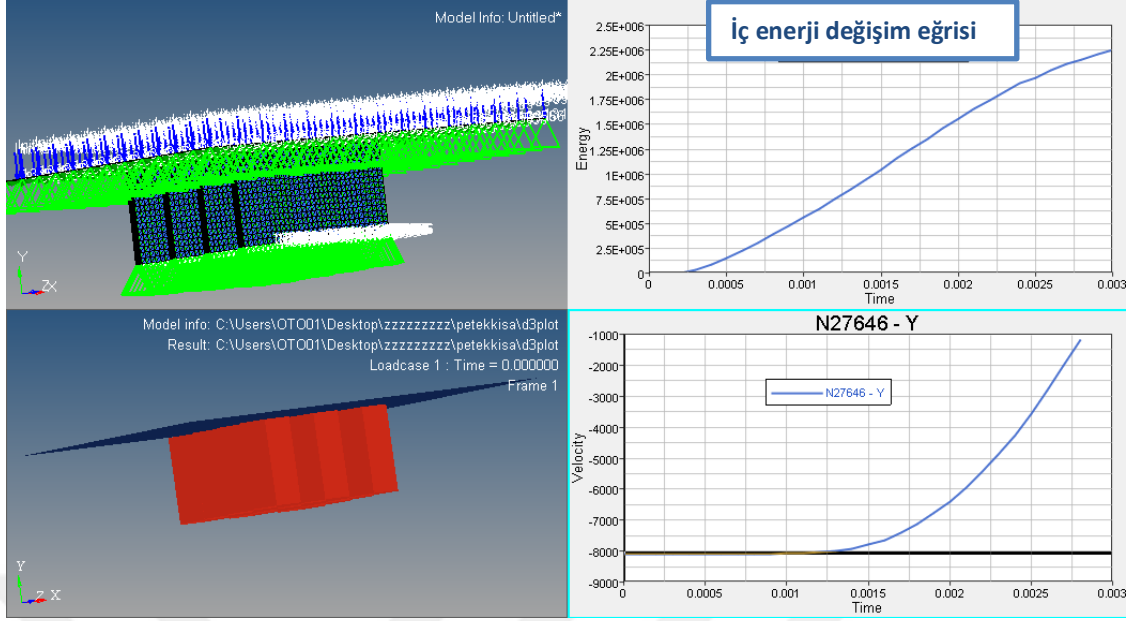


**Şekil 3.31.** Petek Modeli (66 gr) Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları

Yükseklik: 25 mm

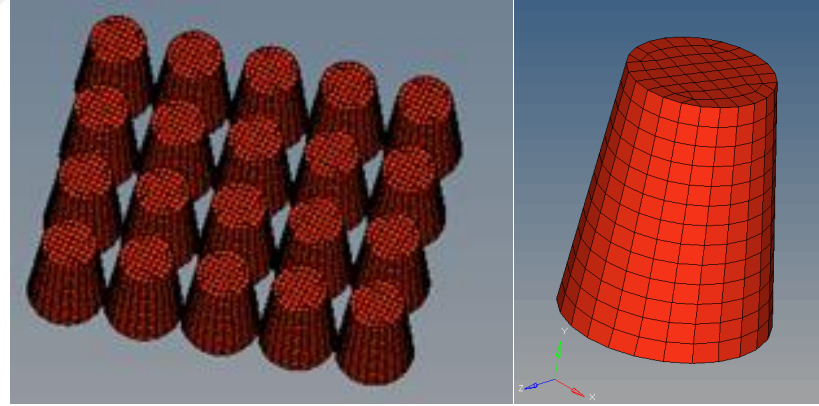
Kalınlık: 2.5 mm

Petek Sayısı: 12



**Şekil 3.32.** Petek tasarım analiz sonuçları çıktıları

Çoklu koni modeli çıktıları model tasarımı Şekil 3.33’ de ve analiz sonuçları çıktısı Şekil 3.34’ de verilmiştir.



**Şekil 3.33.** Çoklu Koni Modeli (54 gr) Sonlu Elemanlar Analizi

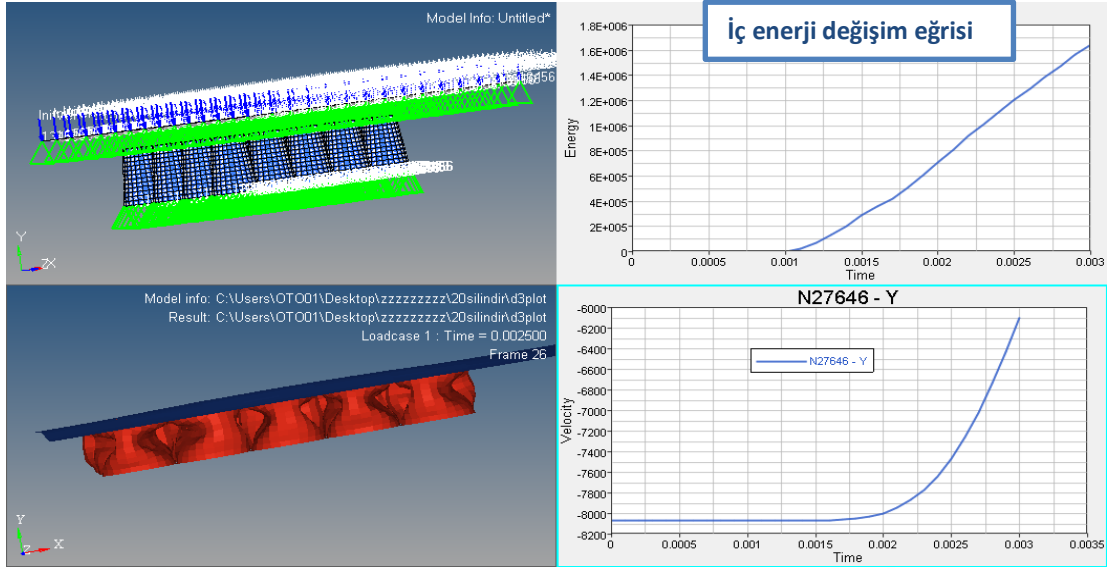
Tavan yarıçapı: 7 mm

Yükseklik: 25mm

Kalınlık: 1.5mm

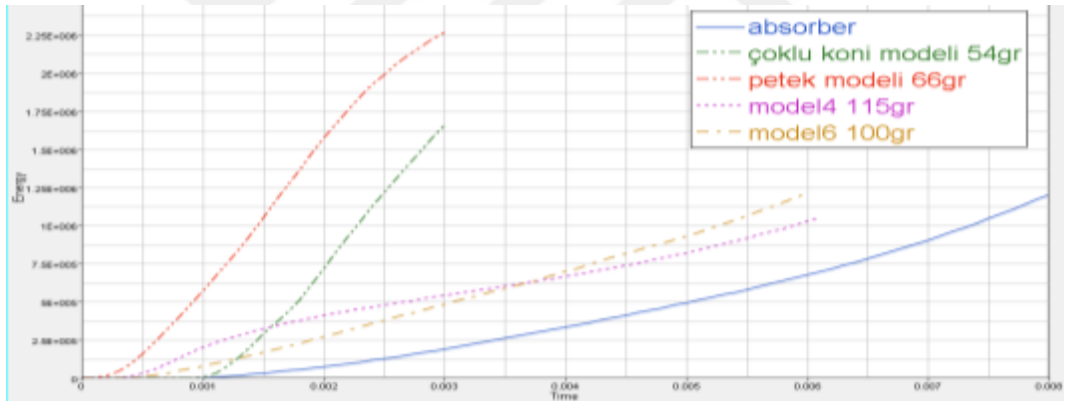
Koni adedi: 20 Adet





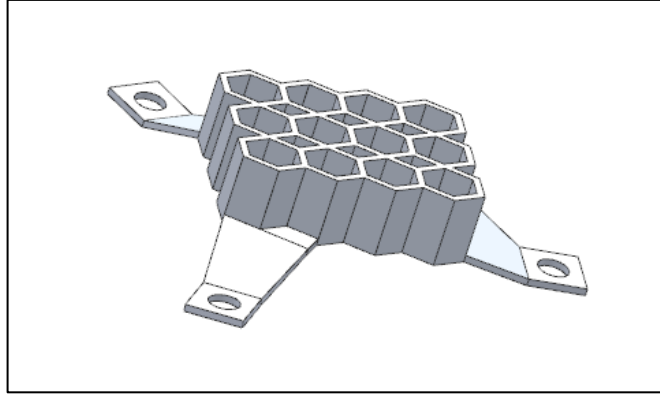
**Şekil 3.34.** Çoklu Koni Modeli Analiz Sonuçları

En iyi sonuç elde edilen 5 modelin enerji karşılaştırmaları Şekil 3.35.'de verilmiştir.



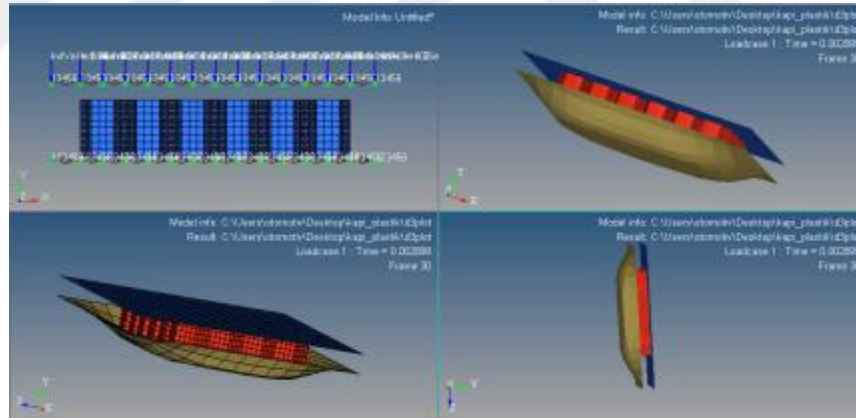
**Şekil 3.35.** Pad modellerin performans değerlendirmesi metriksi için enerji karşılaştırması

Mavi ile gösterilen absorber isimli sonuç şuan araçta kullanılan pad absorber modelini göstermektedir. Yapılan analiz sonuçlarına göre araçta kullanılacak en uygun modeller petek ve koni olmaktadır. Petek yapısı ayrıca uzay ve uçak endüstrisinde de kullanılmaktadır. Şekil 2.36.'da detay gösterim yapılmıştır.



**Şekil 3.36.** Sönümleyici pad petek modeli (Honeycomb)

Petek modeli (Honeycomb) yandan çarpma senaryosunda 100 kg'lık kütle 29km/h hızla PP malzemeden yapılmış sarı duvara çarpmaktadır. Yapılan simülasyon sonucunda sarı duvarda yırtılma olmadığı Şekil 3.37.'de görülmektedir . Ancak parçanın bal peteği yapısından dolayı mukavemet davranışı nedeni ile olası penetrasyon göz önünde tutularak petek modelinin kullanılmamasına karar verilmiştir.



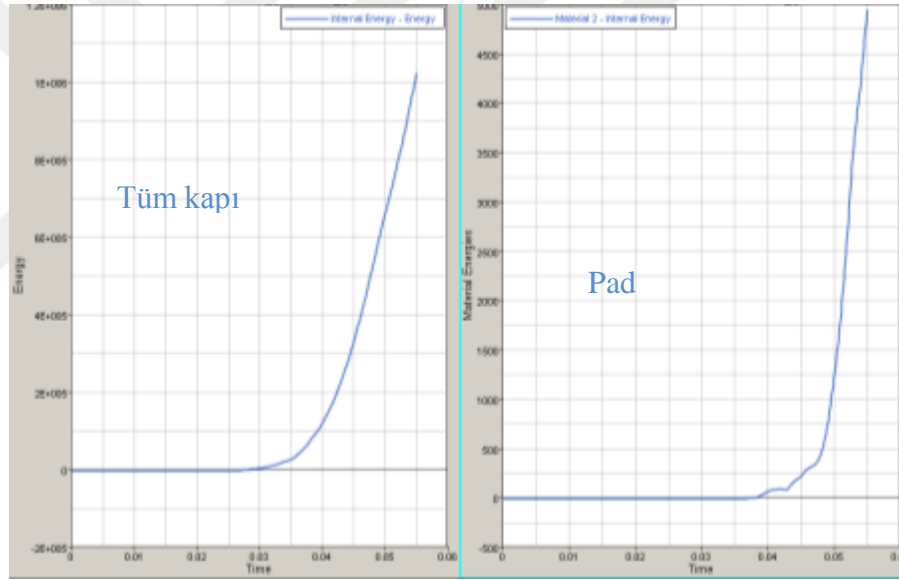
**Şekil 3.37.** Petek modeli (Honeycomb) yandan çarpma senaryosu analiz sonuçları

Mevcut absorber modelinin de çarpışma simülasyonu Euro NCAP pole side impact (yandan çarpma) testinin HyperMesh programına uyarlanması ile yapılmıştır. Absorber kapı paneline şekildeki gibi monte edilerek sınır şartı olarak kapı menteşelerden 6 eksende de sabitlendi. Yandan çarpma test standardında verilen ölçü (pole çapı 254 mm) ve hızda (29 km/h) bir rijit silindir kapıya yandan absorber merkezinden çarptırıldı. Analiz süresi 55 ms olarak alınmıştır. Analiz görüntüleri ve NCAP çarpışma testi Şekil 3.38'de görülmektedir.



Şekil 3.38. Yandan çarpma test simülasyonu

Çarpışma simülasyonu yapıldığında elde edilen enerji grafikleri Şekil 3.39.' da verilmiştir.

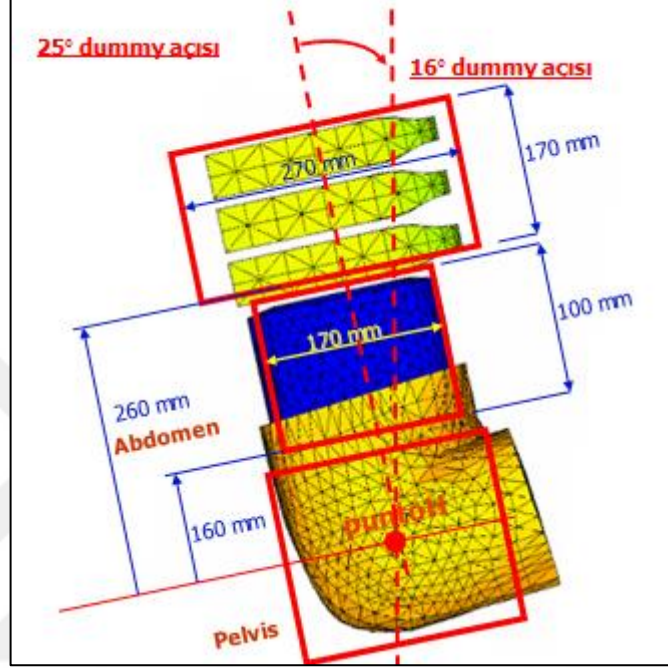


Şekil 3.39. Absorbe edilen enerji grafikleri

### 3.5 Abdomen Pelvis Analizleri

Araç çarpışma analizlerinde yandan çarpışma analizlerinin değerlendirilmesi için bazı senaryoların oluşturulduğu bilgisayar ortamında çalışmalar yapılır. Yandan çarpışma analizlerinde ilk aşamada yapılan, ön bilgi veren, daha az donanım kullanan ve tüm araç modeline gerek olmayan bir senaryoya başvurulur. Aracın iç bölgesinden dış bölgesine doğru, plastik kapı paneline temas edecek ve belirli bir yer değişim elde edecek

seviyede senaryo bilgisayar ortamında gerçekleştirilir. Bu analizler LS-Dyna yazılımında gerçekleştirilmiştir. Senaryo gereği iki aşamadan analiz yapılmaktadır. Bu aşamalarda sürücünün veya yolcuların pelvis ve abdomen bölgelerinin temsil edildiği bir sistem kurulur. Şekil 3.40’da sürücü üzerindeki bölgeler belirtilmiştir.



Şekil 3.40. Model üzerinde abdomen ve pelvis bölgeleri

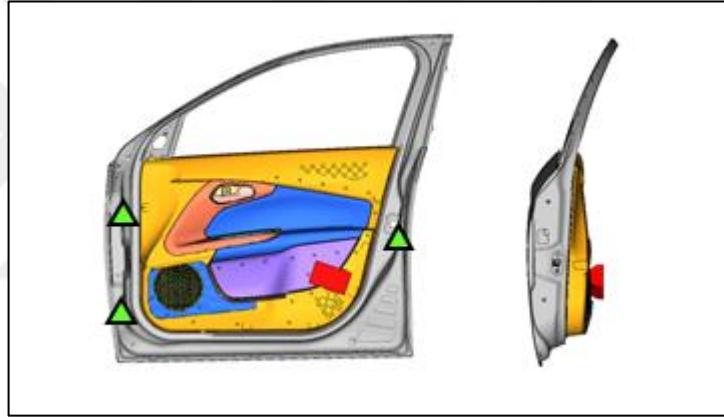
### 3.5.1 Pelvis analizleri

Pelvis analizleri, sürücü veya yolcunun dışardan gelecek yanal kuvvetleri simule eden ve tersten çalışan bir kurguya göre uyarlanmışlardır. Bu analizlerde kapı paneline içten gelen 4,4kg’lık bir kütlenin yarattığı etki incelenmektedir. Bu etkinin, kuvvet ve girişim oranları ile istenen kriterleri sağlaması kontrol edilmiştir.

Tasarım süresince, referans alınan ve mevcut projeye adapte edilmesi düşünülen EPP yandan çarpma sönümleyici parçanın enerji absorbe etme yeteneğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu duruma göre bazı tasarımlar oluşturulmuştur. Bu aşamada bu tasarımların, istenen sınır şartlarındaki karakteristikleri pelvis analizlerine göre değerlendirilecektir.

Çalışmanın bu bölümünde gerekli olan zaman kısıtı ve sedan projesine uyum çalışması için analizlerin, karakteristik olarak EPP yandan çarpma sönümleyici parçasına benze olanlarla yapılması kararlaştırılmıştır.

Pelvis analizleri yapılırken, araç sac ve plastik parçaların stress-strain eğrileri kullanılacak yazılımın içeriğine eklenmelidir. Sabitlenen parçaların fix denilen yazılım tanımları yapılmalıdır. Kullanılan Ls-Dyna yazılımı ile tanımlar bilgisayar ortamına aktarılır. Mesh denilen, sonlu elemanlar metoduna uygun hale getirilen parçalara malzeme karakteristiği kazandıran bilgiler de yüklenir. Şekil 3.41’de görüldüğü şekilde, yazılım içerisine kütle(kırmızı renk) , impaktör olarak eklenir. Üçgen noktalardan görüldüğü üzere, üç bölgeden kapı sabitlenir.

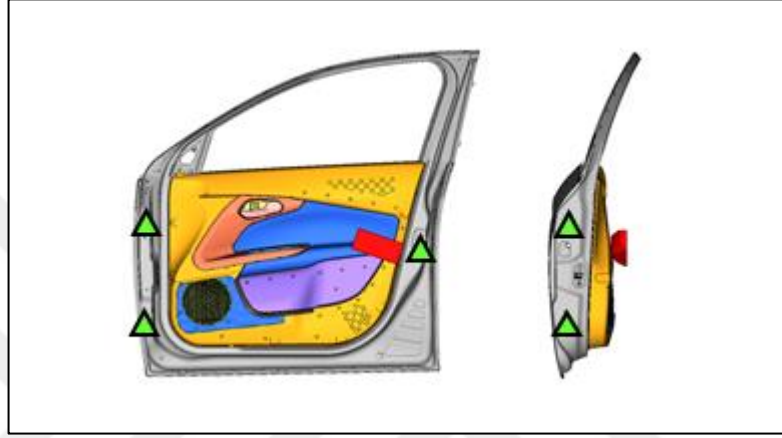


**Şekil 3.41.** Kapı sabitleme noktaları ve kütle bölgesi (Pelvis)

Kütlesel impaktör, yazılım içerisinde 4,4 kg olarak kayıt edilir. Kapı panelinde şekil 3.41.’de görüldüğü şekilde ilk başlangıç hızı 8,89 mm/ml’lik değer ile kütle kapı paneline doğru fırlatılır. İçten gerçekleşen etki kuvveti ile panel sacındaki yer değişim miktarı analiz edilir. İstenen değerler, pelvis analizleri için 50mm’lik girişim değerinde 1,5kN altında kalınmasıdır. Bu şekilde analizler, elde edilen dizaynlardaki yandan çarpma sönümleyiciler için yapılmış ve ileriki bölümlerde sonuçlar paylaşılmıştır.

### 3.5.2 Abdomen analizleri

İnsan vücudunun çarpışma anında aldığı hasarın bir bölümü de, pelvis bölgesinin üst kısmında yer alan abdomen bölgesinde gerçekleşmektedir. Bu bölgenin simule edilmesi de aynı pelvis bölgesi analizlerinde belirtildiği gibi gerçekleşmektedir. Pelvis analizlerindeki benzer özelliklerin sıralandığı analiz şekil 3.42.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Kapı sabitleme noktaları ve kütle bölgesi (Abdomen)

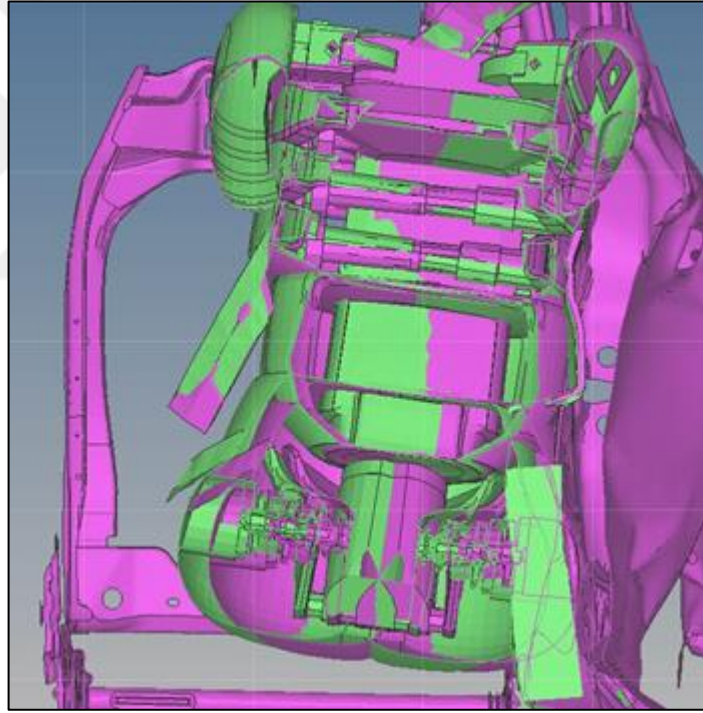
Kırmızı renkle gösterilen 4,4kg'lık kütle 8,89mm/MS hız ile içten, aracın dışına doğru fırlatılır. Kullanılan yazılım Ls-Dyna ve çözüm için hazırlanan materyal tanımlamaları parçaların özelliklerine göre yazılıma yüklenmiştir. Bu analiz de, kütle olarak tanımlanan elementin kapı iç plastiğine çarptıktan sonraki yer değişim miktarının 50mm olduğu andaki kuvvet değerinin 3,5kN altında olması beklenmektedir.

### 3.6 MADYMO Analizleri

Abdomen ve Pelvis analizlerinden elde edilen bilgiler, çalışmanın temel değerlendirmelerini oluşturmaktadır. Basit bir tasarım veya bir tasarımın değişikliği, malzemenin değiştirilmesi azaltılması veya artırılması gibi tüm değişiklikler hızlı bir şekilde abdomen ve pelvis analizleri ile ilk değerlendirmelerine kavuşabilir. Yandan çarpışma analizlerinin temeli olarak bu analizleri gösterebiliriz. Yapılan analizler, istenilen kuvvet değerlerinde sonuçlar verir ise, bu durumda ikinci seviye analizler olan Madymo analizlerine geçilir. Madymo(MAthematical DYnamic MOdel) analizleri,



adından da anlaşılacağı gibi Madymo isimli yazılım aracılığı ile yapılmaktadır. Bu yazılım içerisinde gerçek araç özelliklerine sahip modelleme yapılmaktadır. Tüm komponentlerin malzeme karakteristikleri yazılım içerisine yüklenir. Sürücü ve yolcuları simule edebilecek dummy adı verilen modeller yazılım içerisine yüklenir. ECE 95 testlerinde belirtildiği üzere yandan çarpma aracını simule edebilecek ve 50km başlangıç hızıyla araca çarpabilecek bir senaryo hazırlanır. Şekil 3.43’de gösterildiği üzere dummy üzerinden sayısal ortamda oluşan bilgiler çarpışma anındaki durum için kayıt edilir. Bu bilgiler için belirlenen sınır şartlarının altına düşülmesi istenir ve çalışmanın başarılı bir şekilde gerçek zamanlı testlere gönderebilmesi için temel koşullardan biri olarak kabul edilir. Bu analizlerde, pelvis abdomen bölgelerinin yanında ribs diye bilinen omurga bölgelerinin de durumu kontrol edilmektedir.



**Şekil 3.43.** Madymo analizinde dummy ve kapı panel etkileşimleri

Çalışma içerisinde, birçok bilgi birikimi oluşturulmuştur. Kaynak araştırmasından elde edilen bilgilerin, yandan çarpma sönümleyici parçalarının tasarımlarına birebir etkileri olmuştur. Dizayn edilen tüm sönümleyici tasarımları, abdomen ve pelvis analizlerine alınmıştır. Bu analizlerden geçebilen, istenilen değerleri elde edebilen tasarımlar bu kısımda anlatılan Madymo analizlerine alınmıştır. Madymo analizleri 2 kere yapılmıştır

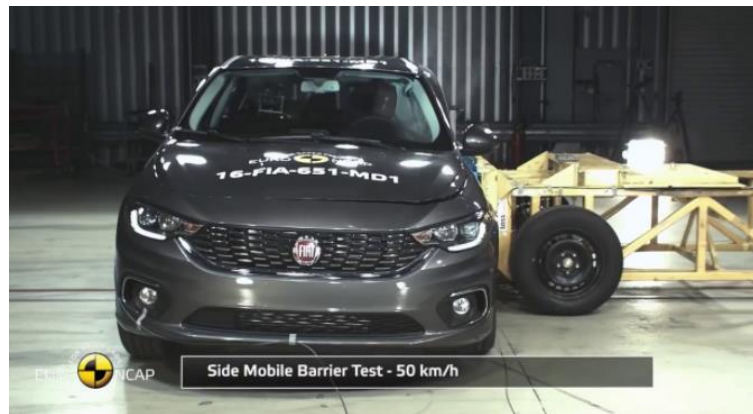
ve istenilen değerlere kavuşan tasarımlar için test merkezine araç ve yeni parçalar hazırlanmıştır.

### 3.7 Araç Homologatif Çarpışma Testleri

Proje içerisindeki dizayn aşamalarında ilerleme kaydeden yandan çarpma sönümleyici tasarımları için validasyon aşaması başlamaktadır. Bu aşamanın gerçekleştirilmesi için güvenlik merkezinde gerçekleştirilen ve ECE 95 standartlarına uyumlu olan yandan çarpışma testleri yapılmaktadır. Bu testlerin istenilen sonuçlar ile çıkmasının ardından, aracın homologasyonu çarpışma kriterleri göz önünde bulundurulmuş olarak verilir.

Çarpışma testlerine kadar ilerlemiş olan tasarımların soft tool kalıp denilen, alüminyumdan yapılan kalıpları yapılmaktadır. Bu kalıplar kesinlikle seri imalatta kullanılmayan kalıplardır. Yapılan çalışmalar ile kısa sürede elde edilebilen kalıplarından çıkan yeni nesil yandan çarpışma sönümleyiciler, manuel işlemler ile kapı panellerine monte edilerek çarpışma testlerine gönderilebilir.

Çarpışma testlerinden NCAP çarpışma testleri de önemli bir değerlendirme kuruluşudur. Sedan projesinden elde edilen bilgi birikiminin yansıtıldığı modelin NCAP yandan çarpma test sonrası görüntüsü Şekil 3.44'de verilmiştir.



Şekil 3.44. NCAP yandan çarpışma testi



### 3.8 Yapısal Optimizasyon Çalışmaları

Bu bölüme kadar elde edilen bilgi birikimin kullanıldığı son seviye çalışmaları bu bölümde gerçekleştirilmiştir. Yandan çarpma sönümleyicinin, birçok bilgi birikimine refere şekilde oluşması gerçekleşirken ortaya çıkan şeklin belirli kıstaslar içerisinde optimize edilmesi gerekmektedir. İlerleyen sedan projesindeki zaman kıstaslarına uyum için şekil olarak belirli bir noktaya getirilen sönümleyici için optimizasyon çalışması ile ağırlık ve kalınlık değerleri çalışılmıştır.

Optimizasyon çalışmaları tamamen sayısal ortamda gerçekleştirilmiştir. Modelleme işlemleri için; Altair firmasının HyperMesh, HyperCrash, HyperStudy yazılımları kullanılmıştır. Çözücü olarak Ls Dyna ve Radioss yazılımları kullanılırken, sonuçların görülebileceği post-process kısmında ise Hyperview ve Hypergraph yazılımları kullanılmıştır.

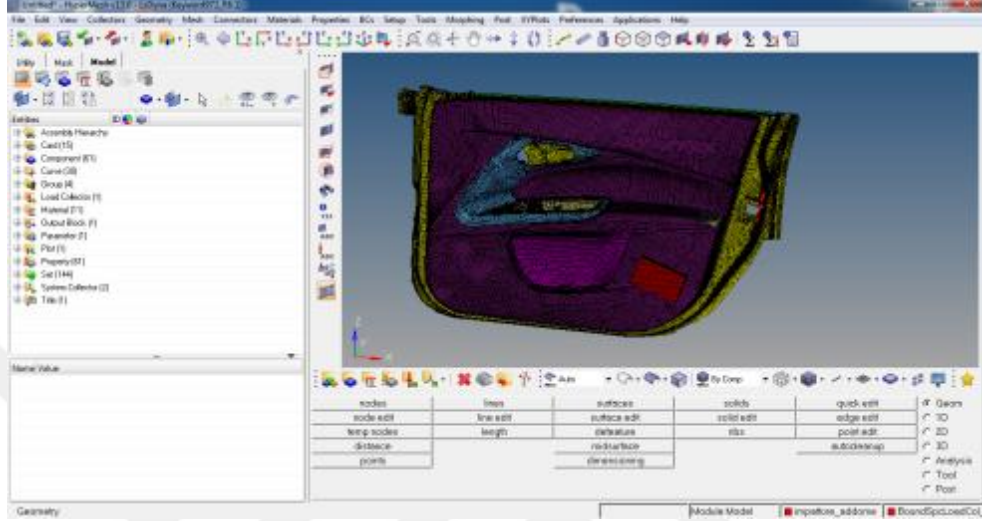
Side İmpact Absorber HyperStudy Optimizasyonu 3 temel aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar;

1. Pre-Process.....: HyperMesh - HyperCrash - HyperStudy
  2. Solver.....: LsDyna - Radioss
  3. Post Process...: HyperView – HyperGraph
- şeklinde gerçekleşir.

#### 3.8.1 Sayısal analizler öncesi çalışmalar (Pre-Process)

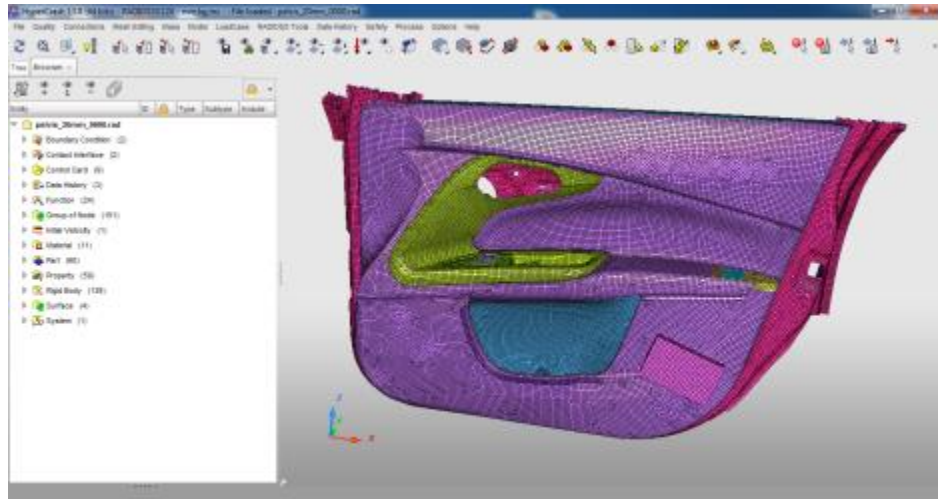
Pre-process aşamasında fiziksel problemin sanal olarak sınır şartlarının tanımlandığı, modellemenin yapıldığı aşamadır. Bu aşamada mesh oluşturulması, fiziki sınır şartlarının sanal olarak belirtilmesi; hız, kuvvet ağırlık gibi şartların ve malzeme değerleri olmak üzere fiziki olan bütün şartların belirlendiği aşamadır. Bu çalışmada model hazırlama çalışmaları HyperMesh programında, kolaylığı açısından bazı durumlarda sınır şartlarının tanımlanması için HyperCrash programı ve optimizasyon için ise şartların tanımlanması ve hazırlık çalışmaları ise HyperStudy programında yapılmıştır.

HyperMesh, sanal modelin mesh oluşturulması, malzeme değerlerinin girilmesi, elemanlarının özelliklerinin belirlenmesi, analiz çıktılarının tanımlanması gibi analiz öncesi bütün aşamaların yapıldığı programdır. Programın arayüzü şekil 3.45.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.45. HyperMesh programı ara yüzü

Şekil 3.46. ile gösterilen HyperCrash programı sınır şartlarının daha kolay tanımlanması nedeniyle bazı durumlarda HyperMesh de mesh atılması gibi işlemlerden sonra sınır şartlarının tanımlanması aşamasında kullanılmıştır.



Şekil 3.46. HyperCrash Programı ara yüzü

Şekil 3.47’de gösterilen HyperStudy programında kalınlık optimizasyonu için ön çalışmalar yapılmaktadır. Burada DOE çalışmaları için tip ve şartların belirlenmesi, optimizasyon tipi seçimi ve şartları tanımlanır.

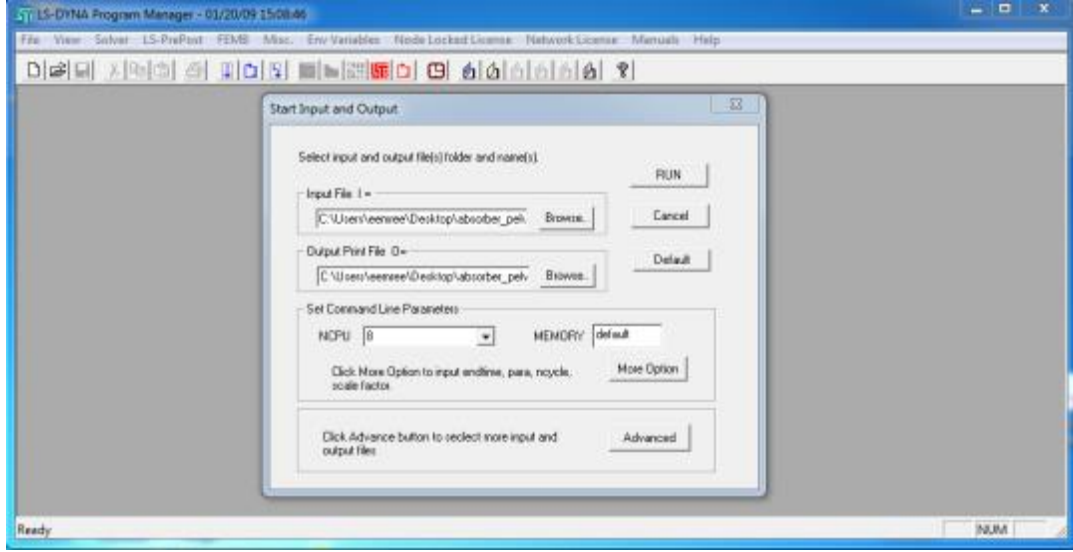
| Iteration | Mass      | MassRate  | ForceX-Mean | ForceY-Mean | ForceZ-Mean | ForceX-Mean | ForceY-Mean | ForceZ-Mean | ForceX-Mean | ForceZ-Mean |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1         | 2.800000  | 2.814598  | 25.800000   | 3.1723479   | -23.059839  | 3.2679072   | -8.4818604  | 3.2813125   | -13.289392  | 3.2511516   |
| 2         | 2.1043871 | 2.1728282 | 45.215122   | 3.0406743   | 18.776239   | 3.8385885   | -34.841553  | 3.0803202   | -18.884293  | 2.9844888   |
| 3         | 2.1742420 | 2.1588282 | 45.842856   | 3.0236239   | 18.579529   | 3.8271247   | -25.209588  | 3.0534361   | -18.096256  | 2.9563435   |
| 4         | 2.1757787 | 2.1572508 | 45.805907   | 3.0361740   | 18.688548   | 3.8282489   | -25.175072  | 3.0641255   | -18.077860  | 2.9535742   |
| 5         | 2.1783138 | 2.1609588 | 45.537238   | 3.0370838   | 18.638478   | 3.8288530   | -25.130388  | 3.0859808   | -18.044861  | 2.9588931   |
| 6         | 2.1778783 | 2.1594237 | 45.552343   | 3.0368818   | 18.638230   | 3.8284819   | -25.148564  | 3.0830788   | -18.051888  | 2.9582188   |
| 7         | 2.1778783 | 2.1594237 | 45.552343   | 3.0368818   | 18.638230   | 3.8284819   | -25.148564  | 3.0830788   | -18.051888  | 2.9582188   |
| 8         | 2.1778559 | 2.1595686 | 45.511831   | 3.0386909   | 18.639311   | 3.8285266   | -25.138818  | 3.0836186   | -18.050849  | 2.9582818   |
| 9         | 2.1778777 | 2.1595302 | 45.528558   | 3.0385881   | 18.638612   | 3.8285443   | -25.138815  | 3.0836185   | -18.050842  | 2.9582818   |
| 10        | 2.1778777 | 2.1595302 | 45.528558   | 3.0385881   | 18.638612   | 3.8285443   | -25.138815  | 3.0836185   | -18.050842  | 2.9582818   |
| 11        | 2.1778629 | 2.1595254 | 45.528427   | 3.0386008   | 18.638680   | 3.8285473   | -25.138728  | 3.0836188   | -18.050518  | 2.9582818   |
| 12        | 2.1778629 | 2.1595254 | 45.528427   | 3.0386008   | 18.638680   | 3.8285473   | -25.138728  | 3.0836188   | -18.050518  | 2.9582818   |
| 13        | 2.1787947 | 2.1596284 | 45.548120   | 3.0389702   | 18.639860   | 3.8286085   | -25.127217  | 3.0836125   | -18.049598  | 2.9582808   |
| 14        | 2.1787947 | 2.1596284 | 45.548120   | 3.0389702   | 18.639860   | 3.8286085   | -25.127217  | 3.0836125   | -18.049598  | 2.9582808   |
| 15        | 2.1787947 | 2.1596284 | 45.548120   | 3.0389702   | 18.639860   | 3.8286085   | -25.127217  | 3.0836125   | -18.049598  | 2.9582808   |

Şekil 3.47. HyperStudy Programı Ara yüzü

### 3.8.2 Sayısal analizlerin çözülmesi (Solver Running)

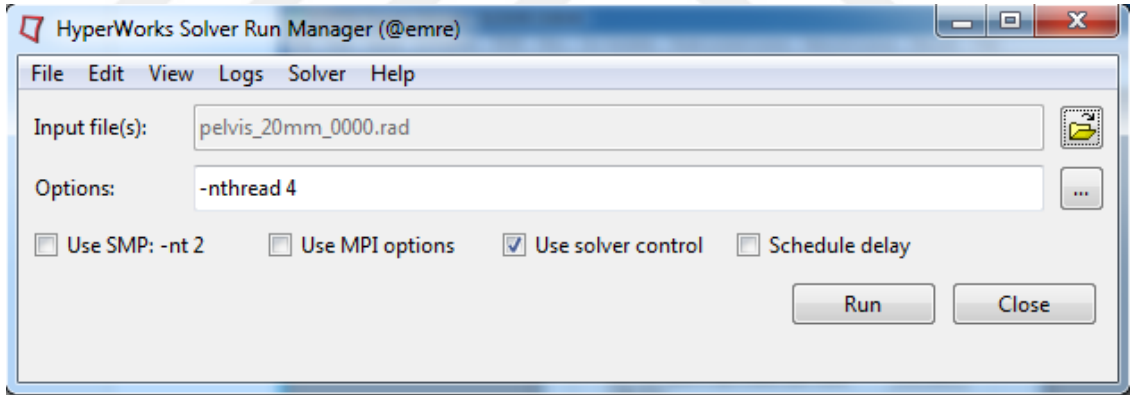
Solver olarak bu çalışmada iki program kullanılmıştır. Bu programlar Ls Dyna ve Radioos programlarıdır. Çözümlerde Explicit ve çarpma analizlerinde doğruluğu daha fazla olan Ls Dyna programı çoğunlukla kullanılmış bazı durumlarda ise Radioos çözücüsü kullanılmıştır.

Şekil 3.48.’de gösterilen Ls Dyna çözücüsü Explicit ve çarpma problemlerinde verdiği doğruluk açısından bu çalışmada genellikle kullanılmıştır.



Şekil 3.48. Ls Dyna Programı Solver Ara yüzü

Şekil 3.49’da gösterilen Radioos çözücüsü HyperWorks programı altında bulunduğu için bazı durumlarda Ls Dyna sonuçları ile kontrol ve yaklaşım denemek için kullanılmıştır.

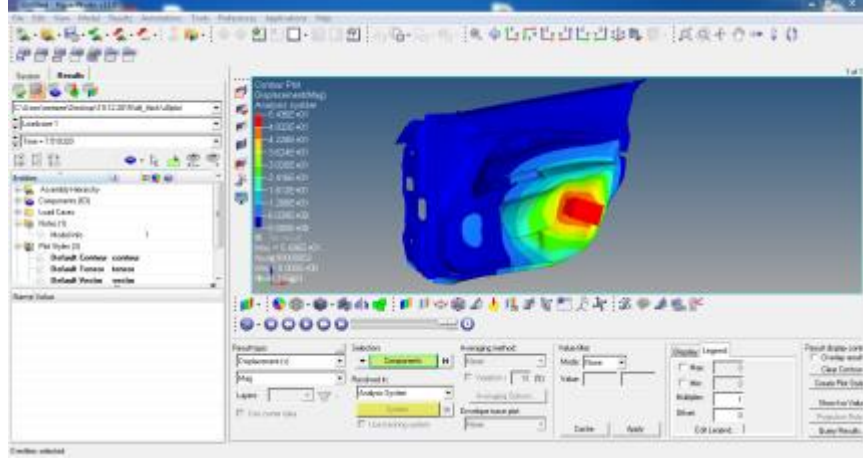


Şekil 3.49. Radioos Programı Solver Ara yüzü

### 3.8.3 Sonuçların görüntülenmesi ve değerlendirilmesi (Post-Process)

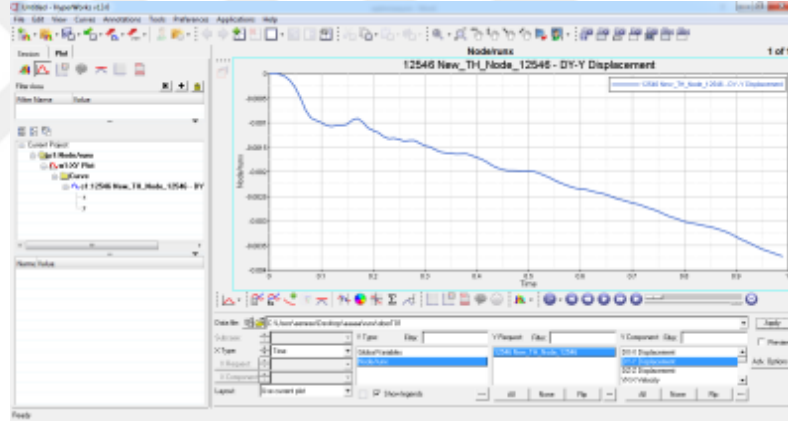
Post-process aşamasında Ls Dyna ve Radioos çözücülerıyla çözdürülen modeller Hyperview ve HyperCrash programlarında görüntülenmektedir.

Şekil 3.50’de görüldüğü üzere Hyperview ara yüzünde sonuçların animasyonları oynatılmakta ve görsel olarak sonuçları incelenebilmektedir.



Şekil 3.50. HyperView Ara yüzü

Şekil 3.51.'de görüldüğü şekilde HyperCrash ara yüzünde sonuçlara ait eğriler çizdirilir ve istenilen sonuçlar görüntülenir.



Şekil 3.51. HyperGraph Ara yüzü

## 4. BULGULAR

### 4.1 TRIZ Yöntemi ile Sönümleyici Tasarımı

Daha önceki bölümlerde bahsedilen çelişki matrisinin kullanılması ile ortaya çıkan bazı bilgilerin tümleşik bir sistemde incelenmesi bu bölümde gerçekleştirilmiştir. Çelişki matrisinde ortaya çıkan çözüm önerileri çalışmanın gidişatı içerisinde gerekli olan yönlendirmeleri tasarım aşamasında ortaya çıkarmıştır. Bir sonraki aşamada TRIZ yöntemi – çelişki matrisi tekrar kullanılmıştır. Fakat bu aşamada, daha önceki bölümlerde anlatılan çelişki matrisinde ortaya çıkan durumlar değerlendirilecektir.

#### 4.1.1 Kuvvet özelliği baz alınan çelişki matrisi

Çarpışma anında ortaya çıkan etki ve tepki kuvvetlerinin, senaryo içerisinde düşünülmesi ile ortaya çıkan çelişki matrisi genel tablosu aşağıdaki çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kuvvet iyileşme faktörün çelişki matrisi sonuçları

|     |  | 1   | 2                                | 3   | ... | 12                | ... | 22               | 23              |
|-----|--|-----|----------------------------------|-----|-----|-------------------|-----|------------------|-----------------|
|     | İstenmeyen<br>Sonuç                              | ... | Hareketsiz<br>Cismin<br>Ağırlığı | ... | ... | Şekil             | ... | Enerji<br>İsrafı | Madde<br>İsrafı |
|     | Sistemde<br>İyileştirme<br>İstenen<br>Özellikler | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...             |
| 1   | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...             |
| ... | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...             |
| 10  | Kuvvet   | ... | 1, 18, 13,<br>28                 | ... | ... | 10, 35, 40,<br>34 | ... | 14, 15           | 8, 35, 40, 5    |
| ... | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...             |

Kuvvet sistemdeki iyileşen özellik olurken; hareketsiz cismin ağırlığı, şekil, enerji ve madde israfı kötüleşen özellikler olmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, tekrar eden ve matrisin sunduğu teknik özelliklere konsantre olunur. Yandan çarpışma anındaki durum değerlendirmeye alındığında ve bu durumun kuvvet üzerinden yorumlanmasına başlanıldığında teknik çözüm önerileri de matristen ortaya çıkmaktadır. Tüm özellikler daha önceki bölümlerde incelenmişti. Bu noktada tekrar eden özelliklere dikkat çekilmek istenmiştir. Tekrar eden teknik çözüm önerileri bu aşamada 35 ve 40 numara ile belirtilen; fiziksel ve kimyasal özelliklerin yani parametrelerin değiştirilmesi ve kompozit malzeme kullanımınıdır. Bu iki özelliğin detay örnekleri ile düşünce yapısındaki etkileri daha önceki bölümlerde incelenmiştir. Mukavemet ile ilgili olan kısmın incelenmesi yapıldıktan sonra, tekrar eden özelliklere göre tasarımdaki etkiler incelenecektir.

#### **4.1.2 Mukavemet özelliği baz alınan çelişki matrisi**

Mukavemet özelliğinin çalışma içerisinde iyileşen özellik olarak belirlenmesi ile aşağıdaki tabloda görülen çelişki matrisinden kesişme noktaları görülebilir. Çizelge 4.2’de verilen bu kesişmelerin sonuçları olarak teknik çözüm önerileri görülmektedir. Bu bölümdeki tekrar eden teknik özelliklerin incelenmesinden önce, önceki bölümlerde teknik özelliklerin hepsi incelenmiştir. Bu bölümde genel çerçeveden tekrar eden teknik özellikler kontrol edilecektir ve bunların düşünce yapısındaki değişkenliklere sebep olduğu tasarımlar incelenecektir.

**Çizelge 4.2.** Mukavemet iyileşme faktörün çelişki matrisi sonuçları

|     |  | 1   | 2                                | 3   | ... | 12                | ... | 22               | 23                |
|-----|--|-----|----------------------------------|-----|-----|-------------------|-----|------------------|-------------------|
|     | İstenmeyen<br>Sonuç                              | ... | Hareketsiz<br>Cismin<br>Ağırlığı | ... | ... | Şekil             | ... | Enerji<br>İsrafı | Madde<br>İsrafı   |
|     | Sistemde<br>İyileştirme<br>İstenen<br>Özellikler | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...               |
| 1   | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...               |
| ... | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...               |
| ... | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...               |
| 14  | Mukavemet  | ... | 40, 26, 27,<br>1                 | ... | ... | 10, 30, 35,<br>40 | ... | 35               | 35, 28, 31,<br>40 |

Bu kesişmeler değerlendirildiğinde ortaya çıkan ve tekrar eden teknik çözüm önerileri; bir önceki bölümde anlatılan ve kuvvet özelliğinin iyileştirilmesi durumunda ortaya çıkan öneriler aynıdır. Kompozit malzeme kullanımı ve faz geçişlerinin kullanılması ile eşleşen 35 ve 40 numaraları değerlendirmeye alınmıştır.

#### 4.1.3 Kuvvet ve mukavemet özelliklerinin iyileşmesi

Daha önceki bölümlerde anlatılan tüm özellik eşleşmelerinden ortaya çıkan çözümleri bu aşamada düşünce yapılarındaki iyileştirme için kullanılmıştır. Mevcut senaryonun basit bir şekilde, yandan çarpışma anında sac ve plastik kapı panelinden oluştuğu bilinmektedir. Bu durum içerisindeki değerlendirmeleri ele aldığımızda çelişki matrisine iyileşen özellikler girilmiştir. Aynı duruma zıt olarak kötüleşen özellikler de seçilmelidir. Sonuç olarak çarpışma senaryosu içerisinde çıkabilmek için durumlar incelenir ve teknik çözümler çelişki matrisinde tekrarlananlar olarak ilk aşamada ele alınırlar. Genel tablo, hem kuvvet hem de mukavemet iyileştirilmesi baz alındığında aşağıdaki gibi oluşmaktadır. Çizelge 4.3'de kuvvetin ve mukavemetin iyileşme gereğine karşın, cismin ağırlığı, şekli enerji ve madde israf durumu kötüye gitmektedir.



**Çizelge 4.3.** Kuvvet ve mukavemet özelliklerinin iyileşmesi için çelişki

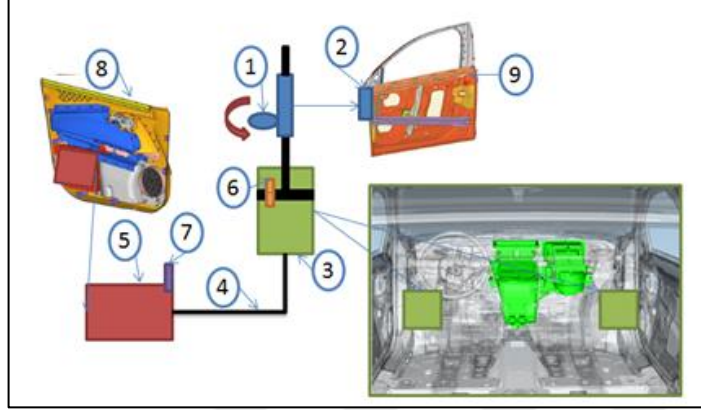
|     |  | 1   | 2                                | 3   | ... | 12                | ... | 22               | 23                |
|-----|--|-----|----------------------------------|-----|-----|-------------------|-----|------------------|-------------------|
|     | İstenmeyen<br>Sonuç                              | ... | Hareketsiz<br>Cismin<br>Ağırlığı | ... | ... | Şekil             | ... | Enerji<br>İsrafı | Madde<br>İsrafı   |
|     | Sistemde<br>İyileştirme<br>İstenen<br>Özellikler | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...               |
| 1   | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...               |
| ... | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...               |
| 10  | Kuvvet   | ... | 1, 18, 13,<br>28                 | ... | ... | 10, 35, 40,<br>34 | ... | 14, 15           | 8, 35, 40, 5      |
| ... | ...  | ... | ...                              | ... | ... | ...               | ... | ...              | ...               |
| 14  | Mukavemet  | ... | 40, 26, 27,<br>1                 | ... | ... | 10, 30, 35,<br>40 | ... | 35               | 35, 28, 31,<br>40 |

Tüm tablolar incelendiğinde, ortaya çıkan ve tekrarlayan çözüm önerileri incelenmiştir. Hem kuvvet ve hem mukavemet iyileştirmeleri göz önünde bulundurulduğunda; çelişki matrisinde 1 numaralı bölümlenme 28 numaralı mekanik sistemin yerine koyma ve 10 numaralı öncü eylem oluşturma teknik özellikleri 2şer kez tekrarlanmaktadır. Fakat çelişki matrisi asıl çözüm tekniği sunuşunu, 35 ve 40 numara ile 5'er kez tekrarlamaktadır. 35 numara ile refere edilen teknik çözüm önerisi daha önceki bölümlerde anlatıldığı şekilde, fiziksel ve kimyasal özelliklerin faz geçişlerinin kullanılmasıdır. 40 numara ile refere edilen özellik ise kompozit malzeme kullanımınıdır.

Elde edilen bu düşünce yapısı ve çözüm önerilerini basit bir şekilde çarpışma senaryosu içerisine yerleştirilmiştir. Tüm çözüm önerileri direkt olarak kullanılır durumda değildir. Fakat her birinin çözüm yolu üzerinde etkileri vardır. Kapı dış sacı ve kapı iç plastik panel arasında bir sönümlenme parçasının olmadığı düşünülerek kullanılan çelişki matrisinin getirdiği çözüm önerileri değerlendirilmiştir. Bölümlenme özelliği her bir problem için kullanılabilen en önemli çözümlerden bir tanesidir. Bu özellik ile



Aynı şekilde düşünce yapısı ve hidrolik kullanımın mümkün olmadığı araçlarda akışkan olarak hava kullanımı ile pnömatik bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem şekil 4.2.'de gösterilmiştir ve B2526 ile buluş bildirimi olarak sistemde yerini almıştır.



Şekil 4.2. Bir pnömatik sistemli yandan çarpma sönümleyici

Ürün içerisinde gerekecek işlemin önceden tanımlı olması şeklinde açıklanmış olan ve numara 10 ile çelişki matrisinden sunulan teknik çözüm 2 kez tekrar etmiştir. Bu önemli bir durumun oluşmasını sağlayan bir özelliktir. Çarpışma anına kadar sistem içerisindeki tüm bileşenler normal davranışlarını sergilemekte iken, çarpışma anında amaçları dışında hareket etmelerini sağlayacak ön görümlü karakteristik özellik yüklenmesi gerekmektedir. Daha önceki örneklerde görüldüğü üzere ortaya çıkan feder yapıları hem mevcut oldukları bölgelerde rijitlik hem de çarpışma anında mukavemet sağlamaktadırlar. Daha farklı yapıları kullanılan yandan çarpma sönümleyiciye sahip kapı panelleri de malzemelerin enerji sönümlenme özelliklerinden yararlanmışlardır. Bu aşamada karşımıza çıkan malzemelerin özellikleridir. Polietilen özellikteki malzemelerden üretilmiş yandan çarpma sönümleyiciler ile karşılaşmıştık. Bu çalışmalarını ve çelişki matrisinin yönlendirmesini inceledikten sonra ek bir sönümleyici ihtiyacı olduğu ortaya çıkmaya başlamıştır. Çarpışma sönümleyiciler rijit yapılarının yanında, tasarımsal olarak dizaynlarındaki farklı açılar ve şekiller ile çarpışma anındaki kuvvetin dağılmasını ve sönümlenmesini sağlamaktadırlar. Bu özellik ile gelecekte meydana gelebilecek bir durumun önlenmesi için dizayn içerisinde gizlenen bir özellik oluşturulabilir.

Kuvvet ve mukavemet özelliklerinin sistemde iyileşmesini beklediğimizde çelişki matrisine başvurduğumuz bu bölümde, kendini en çok tekrarlayan teknik çözüm

önerilerinden ilk olanı 35 numara ile ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal özelliklerin faz geçişlerinden yararlanmaktadır. Çalışmanın ilk aşamalarında karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılırken tüm örneklerde tasarımsal değişiklikler görülmüştür. Feder yapıları, yeni bir panele monte edilmiş epp veya pp malzemedan yapılmış sönümleyici, ya da farklı bir malzemedan örneğin poliüretan gibi yandan çarpışma sönümleyicileri incelendi. Tümünde görülen ve çelişki matrisinin önerdiği, enerji sönümlenmesi için bir yapının olması idi. Enerji sönümlenmesi ve kuvvetin azaltılması için sistemin bu parçaları arasında enerjinin kullanılması gerekmektedir. Düşünce yapısı bize, tasarımsal iyileştirmeler ile enerji sönümleme amacıyla yapılmış aksiyonlara yönelmemizi söylemektedir. Malzemelerin akma sınırlarına kadar enerjileri absorbe edebilme ve plastik şekil verme eğrilerinde kalabilme özelliklerini kullanmak da bu aşamada tasarımın yönlendirilmesini sağlamaktadır. Yapılacak yeni bir dizayn için, akma sınırına kadar ilerleyebilecek ve sonrasında plastik şekil verme özelliği ile içerisinde enerji harcayabilecek bir yapının olması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Son olarak kendini 5 kez tekrarlayan bir teknik özellikten bahsedilecektir. Bu özellik de numara 40 ile takip edilen kompozit malzeme kullanımınıdır. Sedan projesi ile eşlenikli giden çalışma içerisinde, EPP genişletilmiş polipropilen malzeme ile tasarlanmış parçaların kalıpları projeye uygun şekilde ilerlemekte idi. Projeye dâhil olabilmek ve ürün aşamasında önemli bir avantaj kaydetmek için kısıtlar ve durumların değerlendirmeleri yapılmıştır. Mevcut parçadan daha ucuz olabilmesi için malzeme değerlendirmeleri yapılmıştır. Çelişki matrisinin önerdiği kompozit malzeme kullanımı, kapı paneli ve yandan çarpma sönümleyici ikilisi düşünüldüğünde ortaya çıkan bir kavram olmaktadır. Sistemin ihtiyacı olan teknik çözümlerden bir tanesi bariz bir şekilde çelişki matrisinden ortaya çıkmıştı. Birçok firma parçaları incelediğinde bu tip kompozit uygulamalar kullanılmış olduğu görüldü. Özellikle poliüretan ve metal malzemelerin birleşimlerinde bu yöntemden yararlanılmıştı. Hatta bazı farklı bölgelerde kullanılan çarpışma sönümleyicilerin kompozit malzemedan yapıldığı görülmektedir. Fakat en önemli kriter bu çalışma içerisinde, mevcut projenin ucuz ve seri imalata uygulanabilir bir çözüme ihtiyacı olması idi. O yüzden oluşturulan bilgi birikimi ile ilk çalışmalar analizlere yollanmıştır.

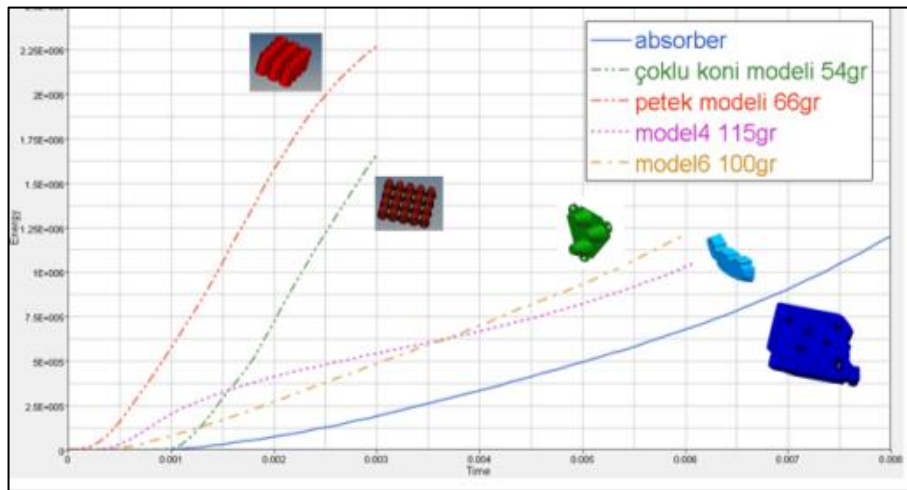
## 4.2 Yandan Çarpışma Verifikasyon Analizleri

Bir önceki bölümden de netleştiği üzere yapılması uygun görülen yandan çarpma sönümleyici parçasının şekil çalışmaları yapılmıştır. Dizayn edilen tasarımlar birçok girdi oluşturacak bilginin ışığında değerlendirilmiştir. Dizayn aşamasından sonraki bölümler hakkında bilgi verilmişti. Analizlerin sonuçları hakkında bilgilendirmeler ve izlenen yol haritası aşağıdaki bölümlerde bahsedilmiştir.

### 4.2.1 Pelvis ve abdomen analiz sonuçları

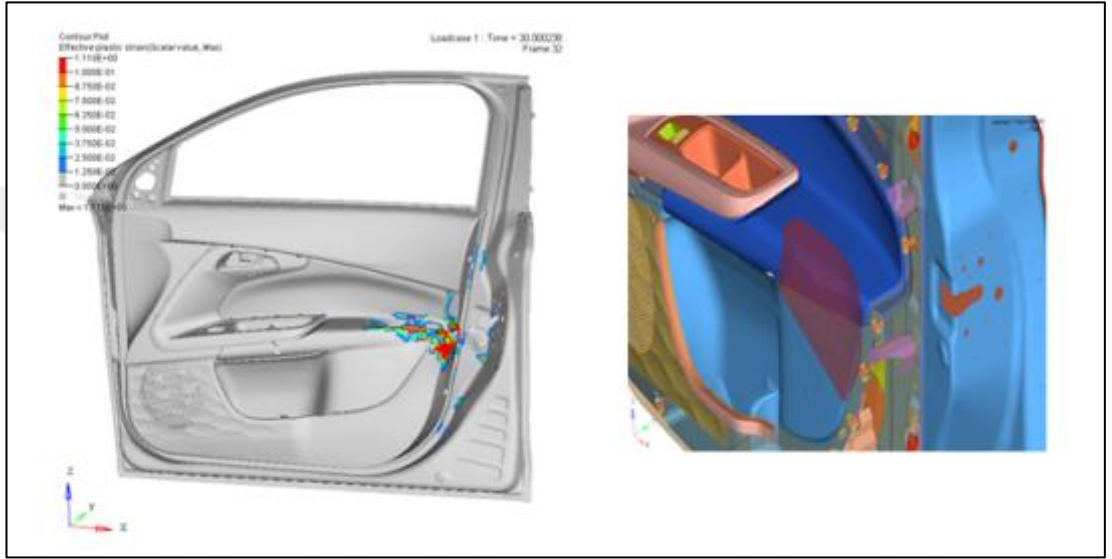
Sedan projesi çerçevesinde ilerleyen proje için hız ve doğru kararlar alınması gerekiyordu. Bu yüzden bazı durumlarda yapılan dizayn çalışmalarının sadece pelvis veya abdomen analizlerinden biri değerlendirilerek uygun olmadığı tespit edilir ise çalışmaya devam edilmiyordu. Oluşturulan tüm yandan çarpma sönümleyici parçaları için enerji sönümleme değer grafikleri incelenmişti. Bu grafiklerden ortaya çıkan sonuçlara göre EPP genişletilmiş polipropilen karakteristiği ile en yakın olan parça dizaynları analizler içerisine alınmıştır.

Şekil 4.3.'de görüldüğü üzere, çalışmanın hangi şekil tasarımı ile devam edebileceği belirlenmek için temel analizler yapılmıştır.



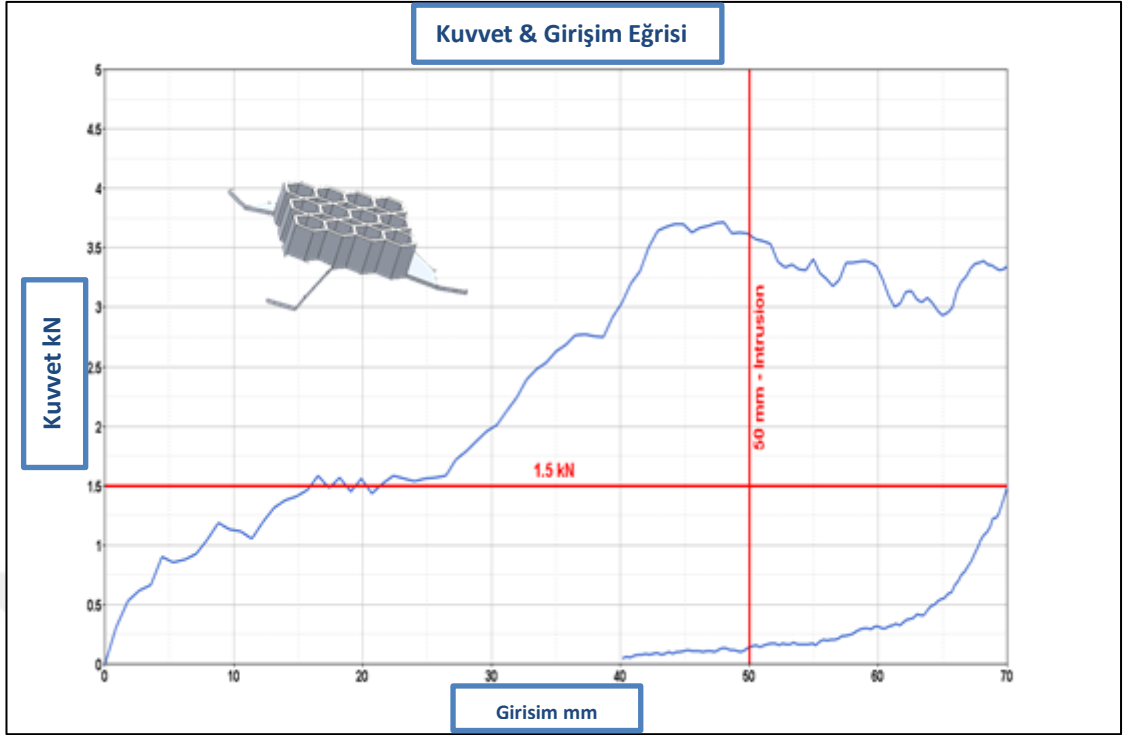
Şekil 4.3. PP ve EPP malzeme çarpışma sönümleyici tasarımların enerji sönümleme karakteristikleri

İlk aşamada Honeycomb denilen ve adından da anlaşılabilen bal peteği yapılarında bir tasarım ele alınmıştır. Bu tasarım enerji sönümleme kriterleri kısa surede çok yüksek değerlere çıkan bir tasarımdır. Fakat epp genişletilmiş Polipropilen malzemenin karakteristik yapısına ters bir karakteristik yapı gösterdiği grafikten anlaşılmaktadır. Şekil 4.4.'de gösterilen araç kapı paneli içerisine bal peteği şeklinde yapılan yandan çarpma sönümleyici konularak analiz yapıldığı görülmektedir.



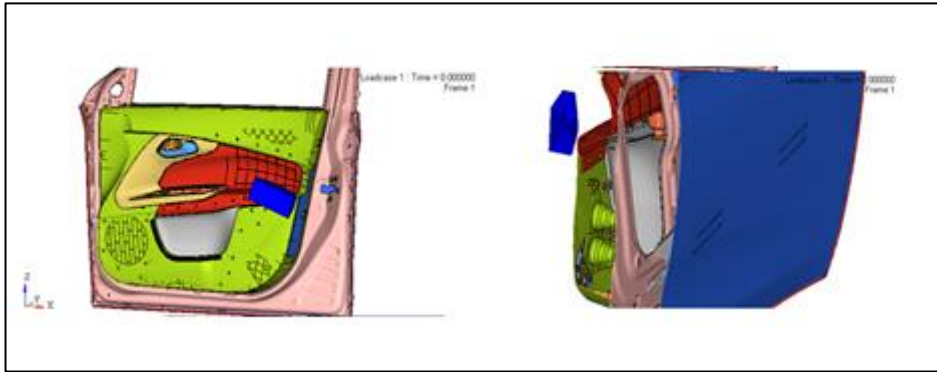
**Şekil 4.4.** Bal peteği(Honeycomb) tasarımlı çarpışma sönümleyicinin analiz senaryosu

Ls Dyna yazılımının kullanılması ile yapılan değerlendirmesi aşağıdaki şekil 4.5.'de verilmiştir. Bal peteği tasarımlı yandan çarpma sönümleyicinin abdomen analiz sonuçları, istenen 50mm yer değişimindeki 1,5kN değerinin üstünde çıkmaktadır. Grafikten anlaşıldığı şekilde, 50mm girişim yapıldığındaki değer 3,7kN değerlerine kadar çıkmıştır.



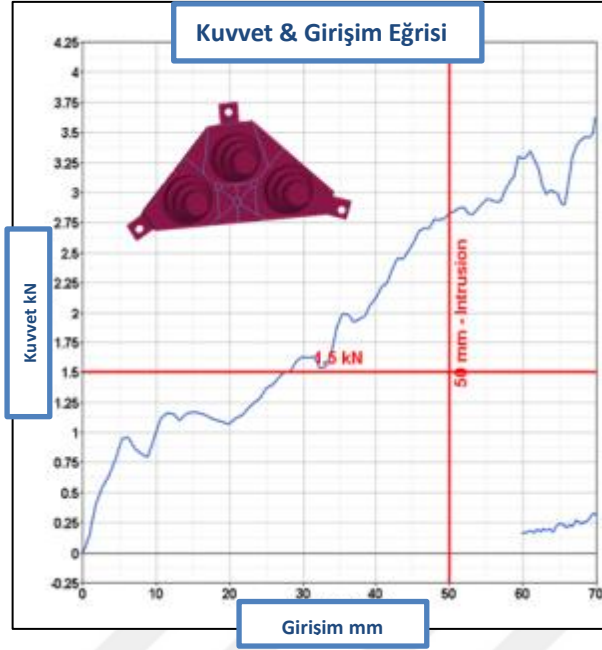
Şekil 4.5. Bal peteği yandan çarpışma sönümleyici kuvvet-girişim durumu

Diğer modelleme yapılan yandan çarpma sönümleyici için abdomen analizini gerçekleştirmek için senaryo hazırlanmış ve analiz koşturulmuştur. Şekil 4.6.'da görülen kütle belirtilen lokasyondan fırlatılarak analiz değerlendirilmesi yapılmıştır.



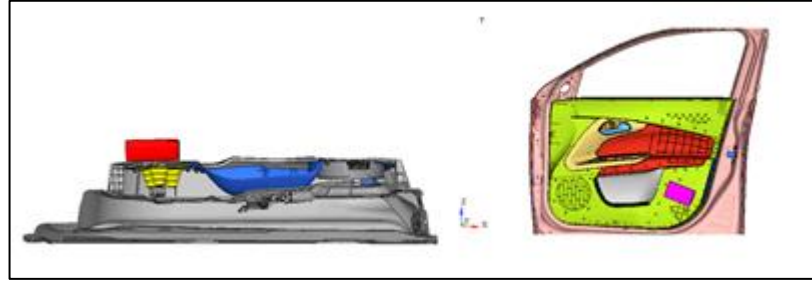
Şekil 4.6. Abdomen analiz senaryosu

Analiz sonuçların grafiği şekil 4.7.'de verilmiştir. Tanımlanan kütle için 50mm girişimi olduğundaki kuvvet durumu 1,5kN üzerinde çıkmıştır ki bu durum tamamıyla sürücü veya yolcunun zarar görebileceği limitlerin üstündedir. Bulunan değer 2,82kN değerinde çıkmıştır.



Şekil 4.7. PP malzeme akordiyon tasarım abdomen kuvvet-girişim değerleri

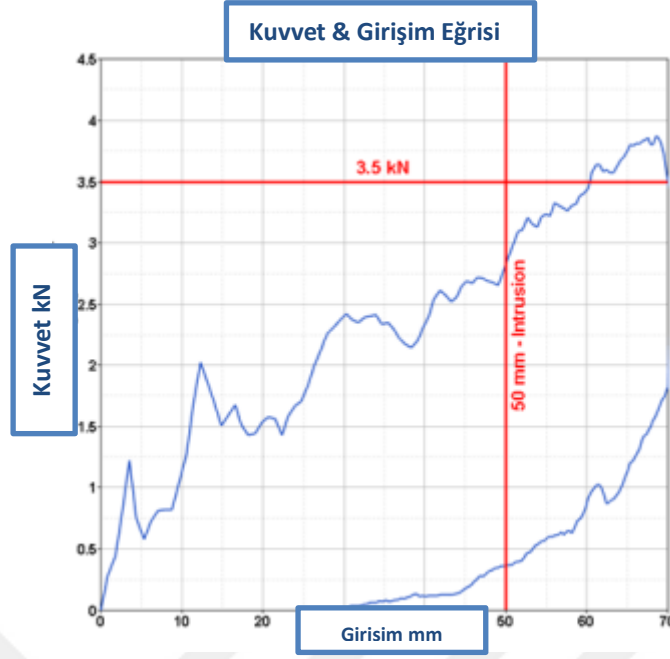
Bu durum için özel bir işlem yapılarak, abdomen analizlerinden negatif sonuçlanmış bir tasarımın pelvis durumu değerlendirilmiştir. İki analiz arasındaki durumun anlaşılabilmesi için böyle bir yöntem seçilmiştir. Analizin uygulama senaryosundan kesitler şekil 4.8.'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Akordiyon yapılı çarpışma sönümleyicinin analiz senaryosu

Kuvvete maruz kalındığı 50mm girişim içerisindeki durumun anlaşılabilmesi şekil 4.9.'da kuvvet-girişim eğrisi tanımlanmıştır.

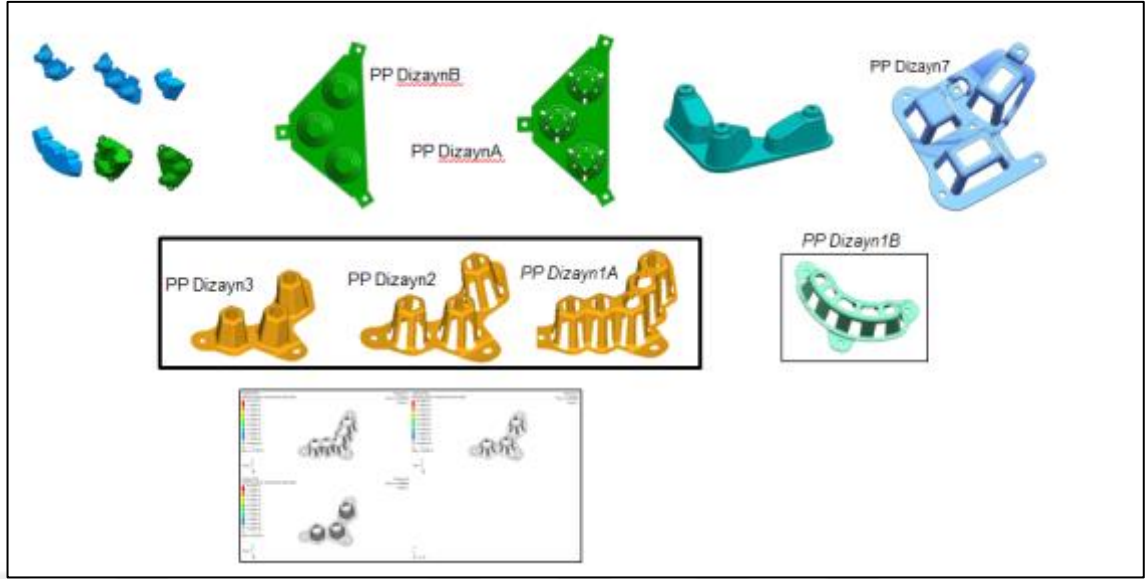




**Şekil 4.9.** Akordiyon yapılı çarpışma sönümleyicinin pelvis kuvvet-yerdeğişim değerleri

Abdomen analizinin aksine, pelvis analizinde değerler istenen şekilde ortaya çıkmıştır. Analizler senaryo olarak hem HyperWorks yazılımında hem de Ls Dyna yazılımında yapılabilir durumda olmuştur. Teydeb projesi kapsamında her iki yazılım ile çalışmaların yapılabilirliği aynı analizlerin farklı bilgisayar ve yazılımlarda yapılarak doğrulanması ile devam etmiştir.

Bu aşamadan sonra farklı dizaynlar ile oluşturulmuş yandan çarpma sönümleyicilerinin analizleri yine abdomen ve pelvis olarak yapılmıştır. Tüm tasarımlar şekil 4.10.'da gösterilmiştir. Sedan projesinde kullanılabilmesi için bağlantı noktaları mevcut durumu sağlayabilecek şekilde yapılmaktadır.



**Şekil 4.10.** PP malzeme çarpışma sönümleyici tasarımları

Tüm tasarımların pelvis ve abdomen analizleri yapılması ilerleyen bir süreç halinde gerçekleştirilmiştir. Sıra ile yapılan analizler devam ederken, araç oluşumu da devam ettiğinden dolayı farklı parçaların tasarımlarında değişiklik olmakta idi. Bu yüzden analizlerin referans parçası olan EPP genişletilmiş Polipropilen için farklı zamanlarda analizler de yapılmıştır. Tüm bu çalışmaların değerleri çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** PP malzeme çarpışma sönümleyicilerin abdomen ve pelvis analiz sonuçları

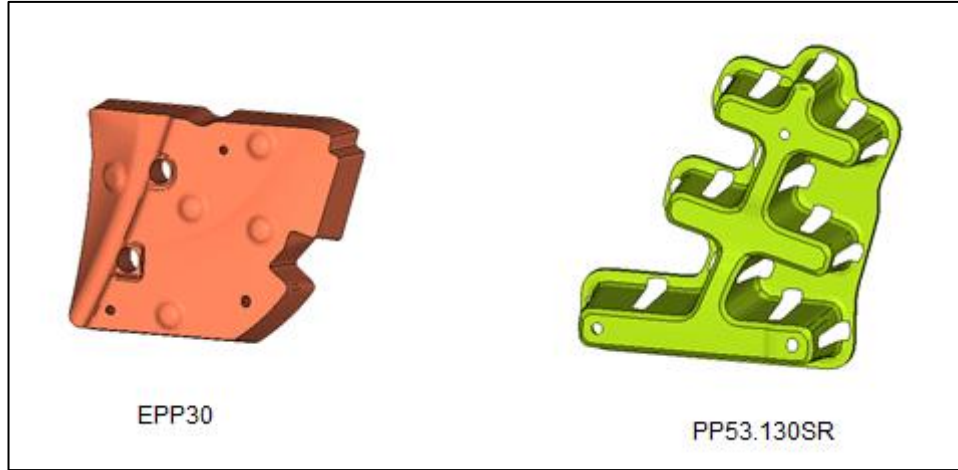
|                           | <3,5kN | <1,5kN  |
|---------------------------|--------|---------|
| Absorber                  | Pelvis | Abdomen |
| EPP                       | 3,8    | 4,6     |
| PP <u>DizaynA</u>         | 2,82   | 2,82    |
| PP <u>DizaynB</u>         | 2,87   | 2,82    |
| EPP(panel <u>modifi</u> ) | 3,2    | 2,85    |
| PP Dizayn (Dizayn 7)      | 3,3    | 2,84    |
| EPP                       | 4,1    | 2,85    |
| PP Dizayn1A               | 3,85   | 2,85    |
| PP Dizayn2                | 3,85   | 2,81    |
| PP Dizayn3                | 4      | 2,80    |
| PP Dizayn1B               | 3,75   | 2,81    |

Yapılan en önemli kararlardan bir tanesi de, kapı panel malzemesi olan PP 53.180SR malzemesinin yandan çarpma sönümleyicisi için de seçilmiş olmasıdır. Projenin amaçlarından bir tanesi de bir sonraki faz çalışmalarında, kapı paneline bütünleşik olan yandan çarpma sönümleyicilerin tasarlanmasıdır. Bu yüzden malzeme seçiminde bu konunun önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Tüm bu çalışmalar birbiriyle bağlantılı yapılmıştır. Yazım sırasındaki durumun dışında, ilerleyen ve devreye giriş tarihi belirli olan bir proje için eş zamanlı yapılan birçok çalışma oluşturulmak zorunda kalmıştır. Bu aşamaya kadar gelen tasarımlardan en iyi sonuç verenleri değerlendirilmiş ve Madymo analizlerinde değerlendirilmişlerdir. İleriki bölümde detayları anlatılacak olan Madymo Faz 1 değerlendirmeleri negatif olarak geri dönmüştür. Bu yüzden farklı bir yöntem oluşturulması için çalışma baştan tekrar gözden geçirilmiştir.

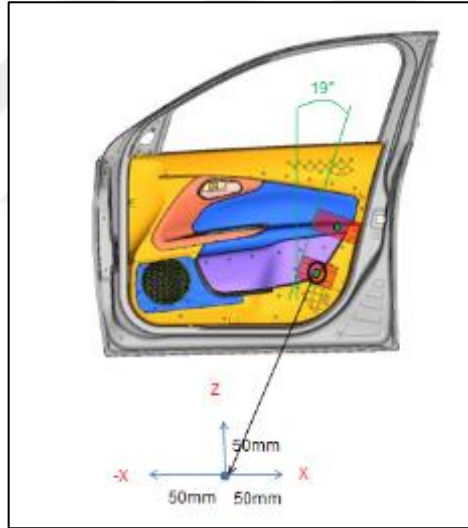
Faz 1 Madymo analizlerinden negatif gelen sonuçların incelenmesi ile yeniden bir tasarım çalışması oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalarda EPP yandan çarpışma sönümleyicilerin çevre sınırlarının korunması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda tüm analizlerde kullanılan tasarımların dikkatle incelenmesi sonucunda, farklı patentler ile benzerlikler ortaya çıkmıştır. Bu yüzden bu aşamaya kadar elde edilen tüm bilgiler yeni bir tasarımın oluşması için yeniden derlenmiştir. Tüm patentlenebilir bilgiler derlenmiş, abdomen-pelvis-Madymo analiz sonuçlarından elde edilen bilgiler, tasarımsal değişikliklerin analiz sonuçlarına etkileri incelenmiştir. Son aşamada 2 adet yeni dizayn çalışması yapılmıştır.

Dizayn çalışmalarından ilk çalışma Polipropilen ve Expanded Polipropilen olmak üzere şekil 4.11.'de gösterilmiştir ve abdomen pelvis analizlerinde daha detaylı çalışabilmek için yeni bir yöntem denenmiştir.



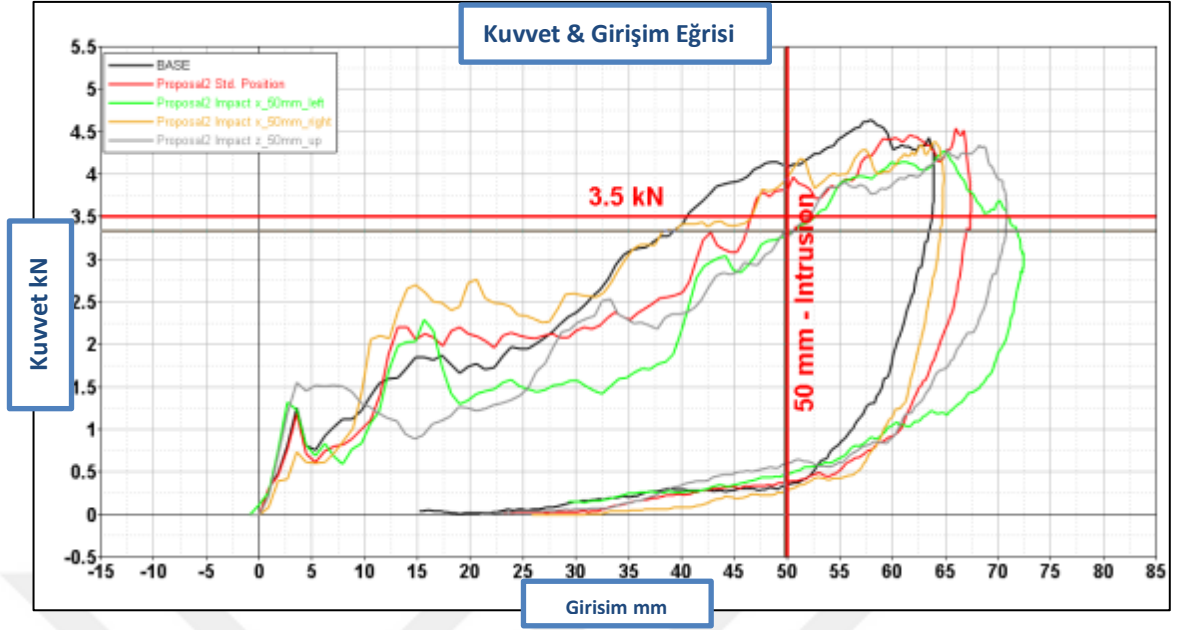
**Şekil 4.11.** EPP ve PP malzemeden yapılmış çarpışma sönümleyiciler(Dizayn1)

Şekiller içerisinde malzeme bilgileri verilmiştir. Bütün analizlerin yapıldığı kütle uygulamalarında 50mm x ve z eksenlerinde koordinat belirlenerek bu bölgelerdeki değerler de analiz içerisine alınmıştır. Şekil 3.12.'de bu koordinatlar gösterilmiştir



**Şekil 4.12.** Abdomen ve pelvis analizinde yeni analiz senaryosu koordinat sistemi

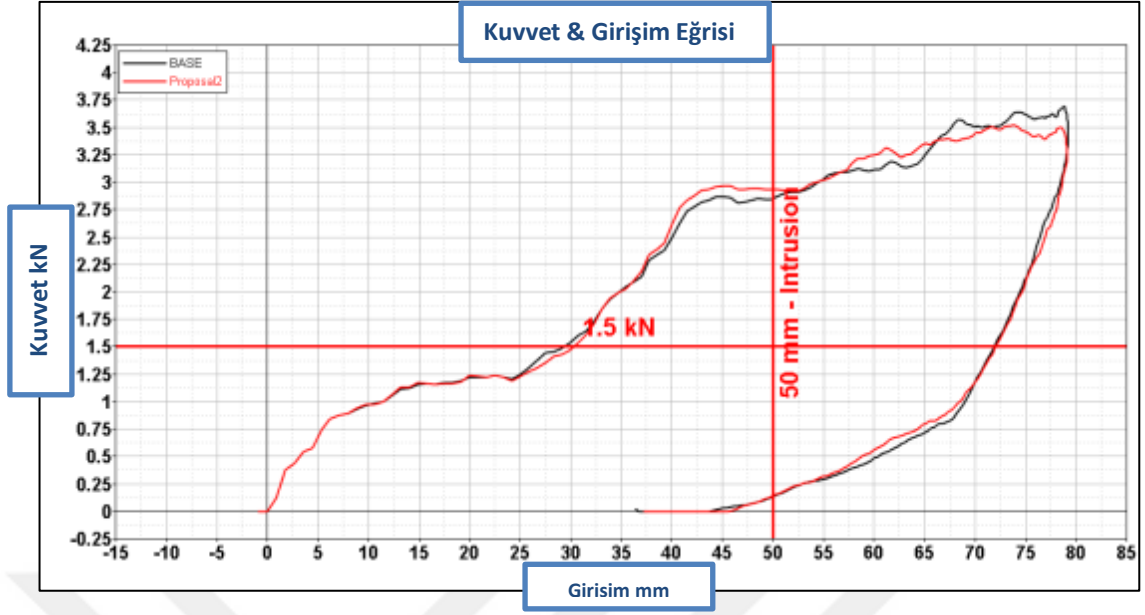
Analizler bu tasarım için belirtildiği şekilde yapılarak aşağıda verilen karşılaştırmalı kuvvet- girişim değerleri olarak grafiksel gösterimde, Şekil 4.13.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Yeni koordinat sistemine göre pelvis analiz sonuç değerleri

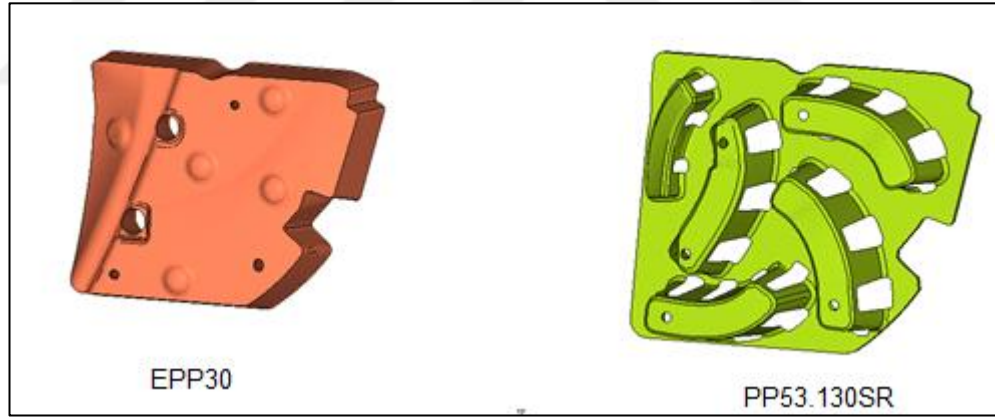
Karakteristik eğrilere bakıldığında, epp ve pp yeni tasarım için benzer özellikler görülmekte olup, eğri hareketleri ve çıkılan maksimum değerler birbirlerine yakın olarak çıkmıştır. Verilen değerler pelvis analizlerinin sonuçları olup 3,5kN'un altında çıkan değerler bulunmaktadır.

Abdomen analizlerinde ise daha zorlayıcı şartlar meydana gelmektedir. 1,5kN'luk değer altına inmesi için yapılan tasarımlar panel yapısı kaynaklı aksamalara da uğramaktadır. Şekil 4.14.'de gösterilen grafiksel gösterimde, karakteristik benzeşim görülürken, istene değerlere inilemediği belirlenmiştir.



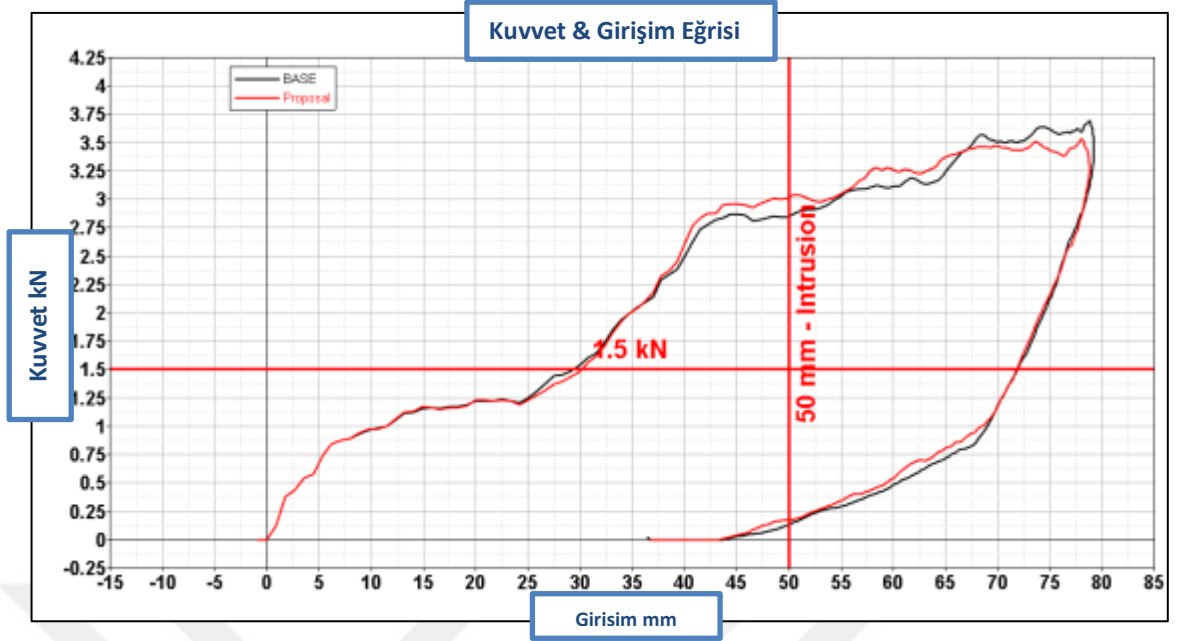
Şekil 4.14. Yeni koordinat sistemine göre abdomen analiz sonuç değerleri

Diğer bir tasarım için de yukarıda belirtilen adımlar uygulanmıştır. Şekil 4.15'de görüntüsünün epp malzeme ile karşılaştırıldığı durum verilmiştir.



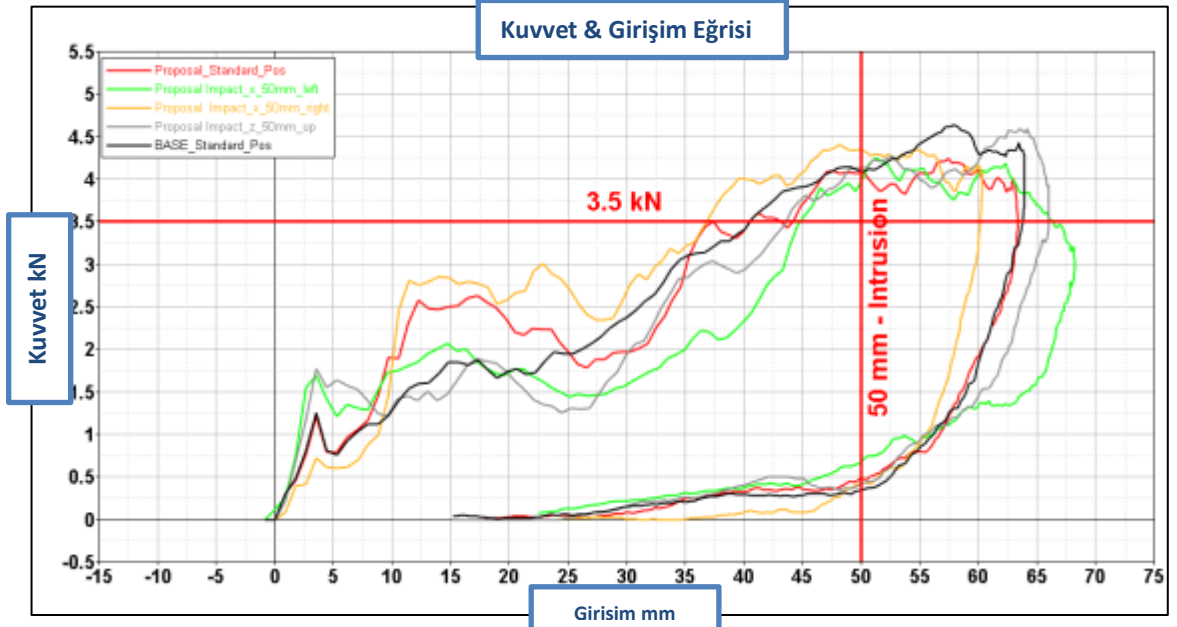
Şekil 4.15. EPP ve PP malzemeden yapılmış çarpışma sönümleyiciler (Dizayn2)

Abdomen analizi için yapılan çalışmaların grafiksel gösterimi şekil 4.16'da verilmiştir. 1,5kN'luk değerlere inilememesi dışında karakteristik eğriler birbirine çok benzemektedirler.



Şekil 4.16. Abdomen analizi için yapılan çalışmaların grafiksel gösterimi

Pelvis bölgesindeki hassasiyet için çalışmalar detaylı bir şekilde devam etmiştir. Aşağıda belirtilen grafiksel gösterimde, şekil 4.17. için yapılan çalışmaların karakteristik eğrilerin birbirilerine çok benzediği ve çarpışma anında birbirlerine çok benzer tepki verdiklerini görebiliriz.



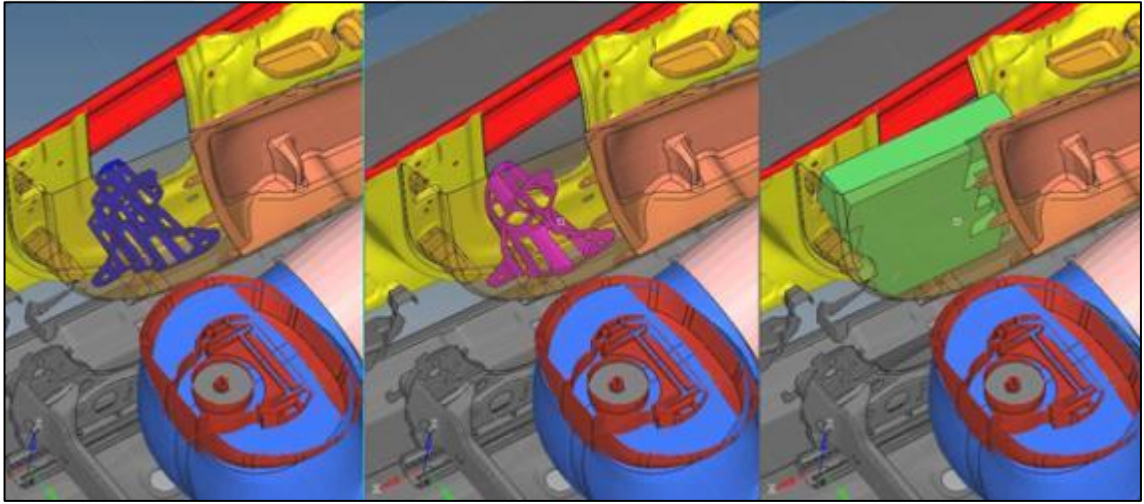
Şekil 4.17 Pelvis analizi için yapılan çalışmaların grafiksel gösterimi



Daha önce de belirtildiği gibi Madymo analizleri FAZ 2 olarak belirtilen kısımda tasarımların Madymo analizlerindeki değerlendirmeleri incelenecektir.

#### 4.2.2 MADYMO analiz sonuçları

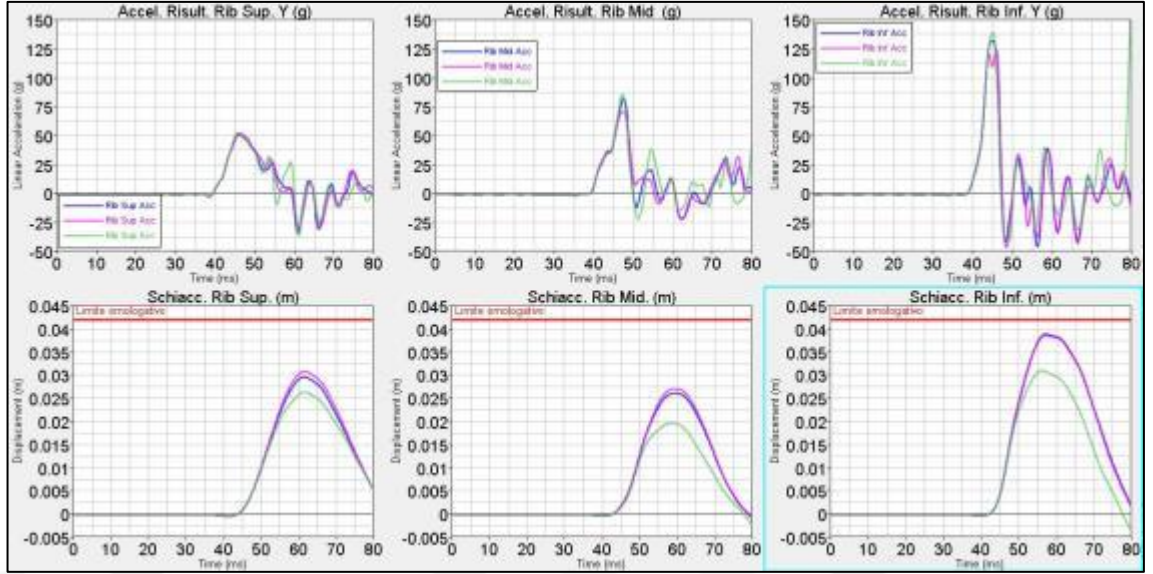
Madymo analizleri 2 fazda yapılmıştır. Bu bölümde yapılan analizlerin değerlendirilmesi yapılacaktır. 1.Faz analizlere girdi olan 2 çeşit PP malzeme tasarımı, EPP malzameden yapılan yandan çarpma sönümleyicinin Madymo analiz sonuçları şeklinde karşılaştırılacaktır. Analize giren modeller hakkındaki görüntüler Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Madymo analizlerindeki PP ve EPP malzemelerin konum görüntüleri

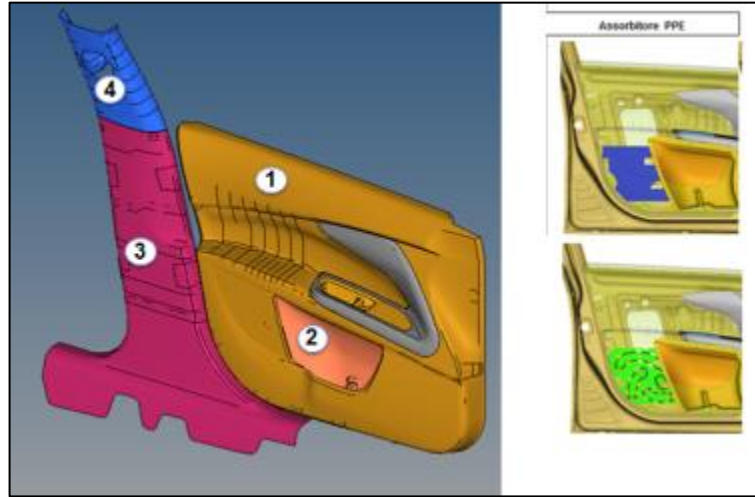
Analiz sonuçları incelediğinde yapılan PP malzeme tasarımlarının karakteristik eğrilerinde, istenmeyen seviyede yükselen yer değiştirme bilgileri bulunmaktadır. Bunlar sınır bölgeye çok yaklaştığından dolayı şekil 4.19.’da gösterildiği şekilde, olumsuz olarak değerlendirilmiştir.





**Şekil 4.19.** Yeni PP malzeme tasarımlarının EPP malzeme tasarımı ile karşılaştırılması

Alınan değerlendirme sonuçlarının işlenmesi ve daha fazla detay çalışma sonrasında yapılan yeni PP malzeme çarpışma sönümleyici için yeniden senaryo oluşturulmuş ve MADYMO analizi koşturulmuştur. Bu durum için şekil 4.20.'deki senaryo, analiz programında çalıştırılmıştır.



**Şekil 4.20.** Yeni bir PP malzeme Madymo analiz çalışması

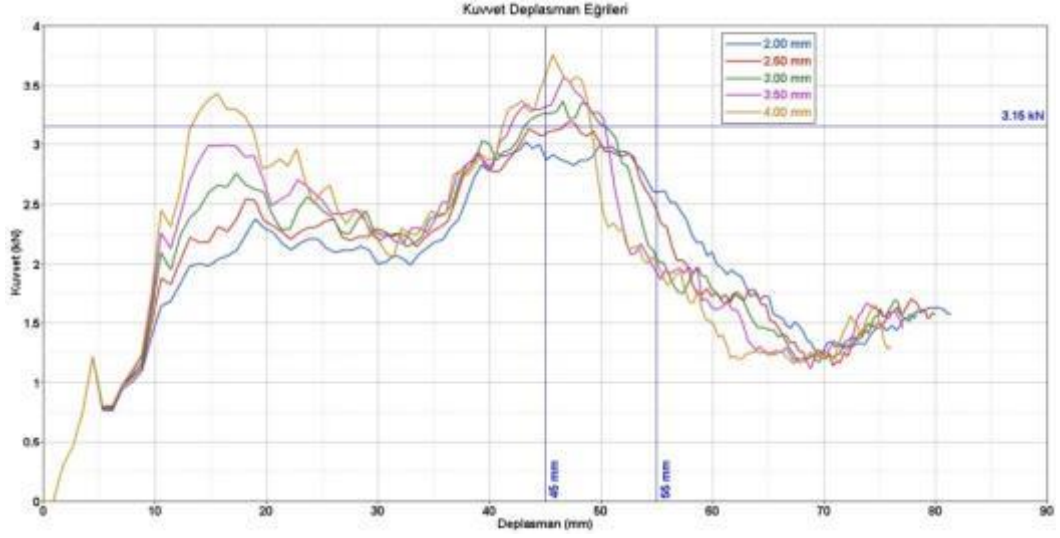
Yapılan çalışmalar sonucunda kalınlık 4mm olacak şekilde dizayn edilmiş tasarımın çalıştığı ve kuvvet değerlerinin istenen sınırlar içerisinde (2500N) kaldığı anlaşılmıştır.

### 4.3 Yandan Çarpışma PP Malzeme Dizayn Optimizasyon Çalışmaları

Bu aşamada absorber parçası 2,00mm, 2,50mm, 3,00mm, 3,50mm ve 4,00mm et kalınlığı tanımlanarak analizler çözdürülmüş ve kabaca analiz sonuçlarına bağlı olarak absorber parçasının kalınlığının hangi aralıkta optimum değerlere ulaşılacağını ön görülecektir.

Bu çalışmada Solver olarak Ls Dyna modeli kullanılarak sonuçlar bastırılmıştır. Analiz sonuçları şekil 4.21.'de gösterilmiştir. Bu grafikte belirlenen kalınlıklara bağlı olarak deplasman-kuvvet grafiği çizdirilmiştir. Bu grafikte eğrilerin ait olduğu kalınlık değeri belirlenmiştir. Analiz sonuçları incelenirken maksimum kuvvet olan 3.50 kN'luk değer %10 oranında emniyet verilmiş olan 3.15kN'luk değer baz alınmıştır. Benzer şekilde pelvisin Y eksenindeki 50 mm yer değiştirmesi asıl amaç olarak bakılırken %10 farkları da incelenmiştir. Bu grafikte 45mm ve 55mm değerleri ve 3,15 kN değerleri mavi çizgilerle belirlenmiştir.

Grafik sonuçları incelendiğinde pelvisin Y ekseninde 50 mm yer değiştirmesi incelendiğinde 3,00mm ve 3,50mm et kalınlığına sahip modellerin emniyetli değer olan 3,15kN'luk değeri geçtiği görülmüştür. Grafiğe göre 4,00mm et kalınlığına sahip modelin ise maksimum kuvvet noktasına 48 mm gibi değerlerde ulaştığı ve birden düştüğü görülmektedir. 2,00mm ve 2,50mm et kalınlığına sahip modellerin 50 mm yer değiştirmede birbirine çok yakın kuvvet değerleri verdiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre en iyi et kalınlığının 2,00 ile 3,00 aralığında olacağı basit olarak ortaya çıkarılmaktadır.

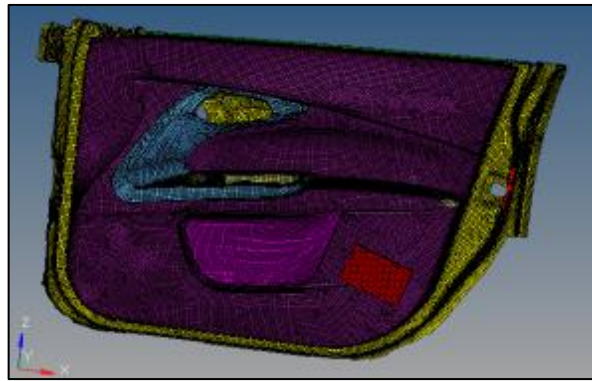


Şekil 4.21. Analiz sonuçlarına göre kuvvet-deplasman eğrileri

İlerleyen optimizasyon çalışmalarında kuvvet ve ağırlık kazancı verileri de eklenerek modeli eniyileme çalışmaları anlatılacaktır.

#### 4.3.1 Yandan Çarpışma sönümleyici kalınlık optimizasyonu

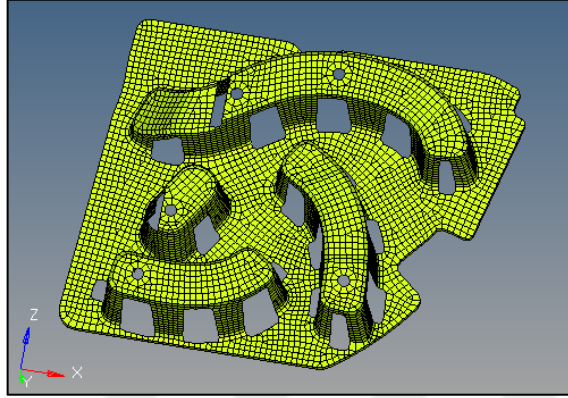
Side İmpact Absorber HyperStudy Kalınlık Optimizasyonu çalışmasında side impact absorber parçasının et kalınlığı 2.00 mm ile 4.00 mm arasında tasarım değişkeni olarak tanımlanarak en uygun et kalınlığının bulunması için optimizasyon yapılmıştır. Bu çalışmada şekil 4.22.'de görülen model kullanılmıştır.



Şekil 4.22. Side İmpact Absorber HyperStudy Kalınlık Optimizasyonu Modeli

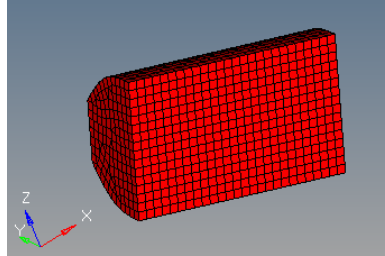
Şekil 4.23'de görülen side impact absorber parçasına başlangıç değeri 3.00 mm olmak üzere, minimum 2.00 mm ile maksimum 4.00 mm arasında et kalınlığı için tasarım

değişkeni tanımlanmıştır. Side impact absorber modeli; 6403 adet eleman, 6870 adet node'dan oluşmaktadır ve ortalama 4.00 mm boyutunda elemanlarla oluşturulan mesh yapısı %4.6 üçgen oranına sahiptir.



**Şekil 4.23.** PP Malzeme yandan çarpma sönümleyici yeni tasarım (mesh)

Şekil 4.24.'de görülen 4.30 kg'lık absorber parçası 8.89 mm/ml'lik ilk hız ile yan kapının içinden şekil 6.da görülen şekilde çarpmaktadır. Pelvis parçasının çarpması sonucu sönümleyicide oluşan kuvvet değerlerine bakılmaktadır. Analiz sonuçlarında pelvis parçasının Y ekseninde 50 mm deplasmanı ele alınmaktadır.



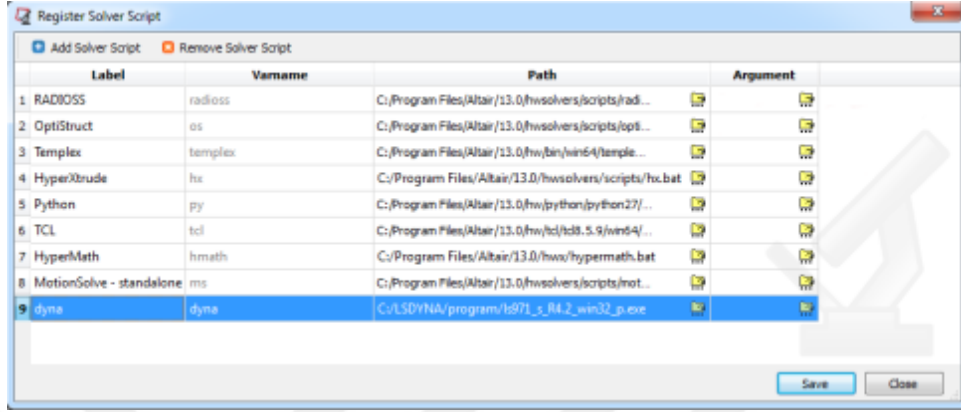
**Şekil 4.24.** Pelvis Parçası

#### **4.3.2 Optimizasyon senaryo oluşturma aşaması (HyperStudy)**

HyperStudy programında Side İmpact Absorber Optimizasyonu için sırasıyla bir kez ilk çözüm, sonra iki kez DOE çalışması, bir kez fitting işlemi ve son olarak ise optimizasyon işlemi yapılmaktadır.

Bu optimizasyon çalışmasında optimizasyon şartlarının tanımlanması değişkenlerin belirlenmesi için HyperStudy programı, gerekli zamanlarda çözüm için ise Ls Dyna

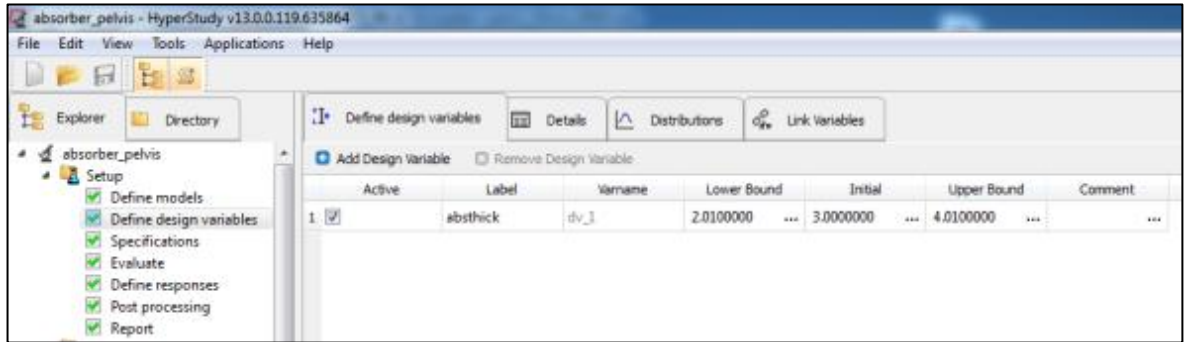
çözücüsü kullanılmıştır. Gerekli zamanlarda Ls Dyna çözücüsünü kullanmak için şekil 4.25.'de gösterildiği biçimde Ls Dyna çözücüsü tanıtılır ve çözüm işlemleri Ls Dyna çözücüsü ile yapılır.



Şekil 4.25. HyperStudy Programına Ls Dyna Çözücüsünü Tanıtma

İlk çözüm safhasında HyperStudy programı tasarım değişkenin başlangıç değerinde bir kez çözüm yapmaktadır. Ayrıca tasarım değişkenleri ve istenilen response'lar bu aşamada tanımlanmaktadır.

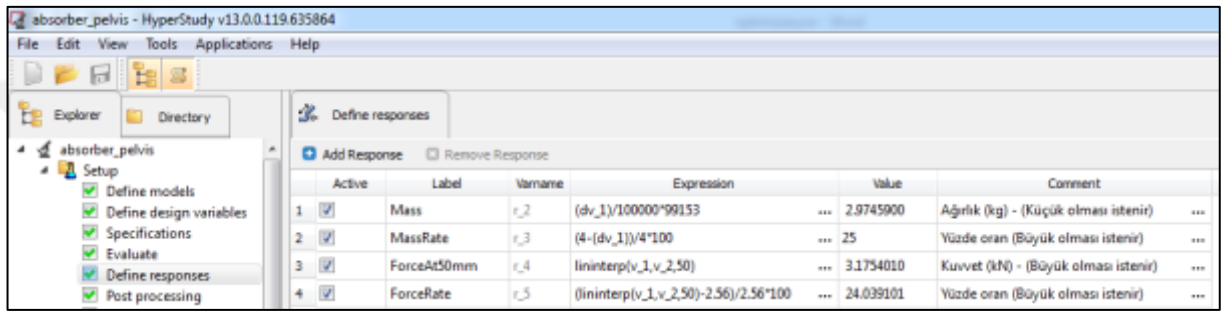
HyperStudy programında absorber parçasının et kalınlığı şekil 4.26'da görülen şekilde eklenmiştir. Bu modelde absorber parçasının et kalınlığı için tanımlanan tasarım değişkeni için; başlangıç değeri 3.00 mm, minimum değer 2.01 mm ve maksimum değer ise 4.01 mm olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.26. Tasarım Değişkeni Ekleme

Response tanımlama işleminde optimizasyonda kullanılacak tanımlamalar yapılır. Bu tanımlamalar optimizasyonda istenilen amaç fonksiyonları ya da kısıt fonksiyonları olabilir ya da o anda görmek istediğiniz farklı bir fonksiyonda olabilir.

Şekil 4.27.'de görülen temel olarak 4 adet response tanımlanmıştır. Bu response'lar Mass, MassRate, ForceAtmm ve ForceRate olarak adlandırılmıştır ve fonksiyonu expression kısmında, ilk çözüm sonucu değerleri value kısmında gösterilmiş ve comment kısmında ise yorumlar yapılmıştır.



| Active                              | Label       | Varname | Expression                            | Value     | Comment                               |
|-------------------------------------|-------------|---------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Mass        | r_2     | (dv_1)/100000*99153                   | 2.9745900 | Ağırlık (kg) - (Küçük olması istenir) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | MassRate    | r_3     | (4-(dv_1))/4*100                      | 25        | Yüzde oran (Büyük olması istenir)     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | ForceAt50mm | r_4     | lininterp(v_1,v_2,50)                 | 3.1754010 | Kuvvet (kN) - (Büyük olması istenir)  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | ForceRate   | r_5     | (lininterp(v_1,v_2,50)-2.56)/2.56*100 | 24.039101 | Yüzde oran (Büyük olması istenir)     |

Şekil 4.27. HyperStudy Response Tanımlamaları

Mass, response ifadesi absorber parçasının toplam ağırlığını veren cevap fonksiyonudur. Bu fonksiyon ifadesi optimizasyonda amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Mass fonksiyonu  $(dv_1)*D*A$  şeklinde tanımlanmıştır. Burada;

- ✓  $dv_1$ : tasarım değişkeni değeri ( $2.01 \text{ mm} < dv_1 < 4.01 \text{ mm}$ )
  - ✓ D: absorber malzemesinin yoğunluğu
  - ✓ A: absorber parçası alanı ( $\text{mm}^2$ )
- olarak tanımlanmıştır.

MassRate ise  $4.00 \text{ mm}$ 'lik absorber parçasına göre o anki absorber parçasının yüzdelik olarak oranını vermektedir. Bu ifade  $(4-(dv_1))/4*100$  fonksiyonuyla ifade edilmektedir. Burada;

- ✓ 4:  $4.00 \text{ mm}$ 'lik parçanın et kalınlığı
- ✓  $dv_1$ : tasarım değişkeni değeri ( $2.01 \text{ mm} < dv_1 < 4.01 \text{ mm}$ )
- ✓ 100: Yüzdelik oran

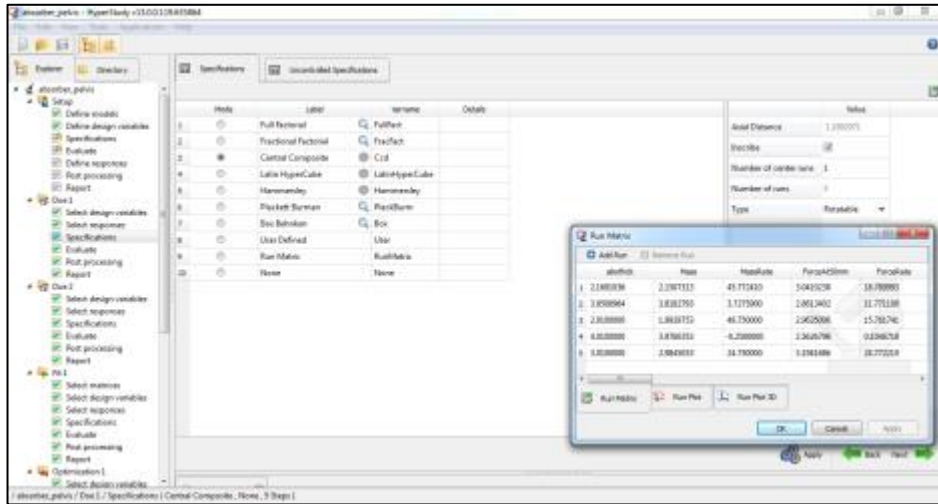


ForceAtmm cevap fonksiyonu Y ekseninin o andaki deplasmanında oluşan toplam kuvvet değerini vermektedir. Bu ifade 'lininterp(v\_1,v\_2,Y)' fonksiyonuyla bulunmaktadır. Burada;

- ✓ Lininterp: lineer enterpolasyon için kullanılan terim
- ✓ v\_1: deplasman sonuçları
- ✓ v\_2: toplam kuvvet sonuçları
- ✓ Y: Toplam kuvvet değeri istenen Pelvis Y eksen deplasman değeri

ForceRate cevap fonksiyonu 4.00 mm'lik absorber o anki parçanın kuvvet değerinin parçasının kuvvet değerine yüzdelik orandır. Bu ifade '(lininterp(v\_1,v\_2,50)-2.56)/2.56\*100' fonksiyonuyla bulunmaktadır. Burada 2.56 ifadesi 4.00 mm'lik sönümleyicinin toplam kuvvet değeridir.

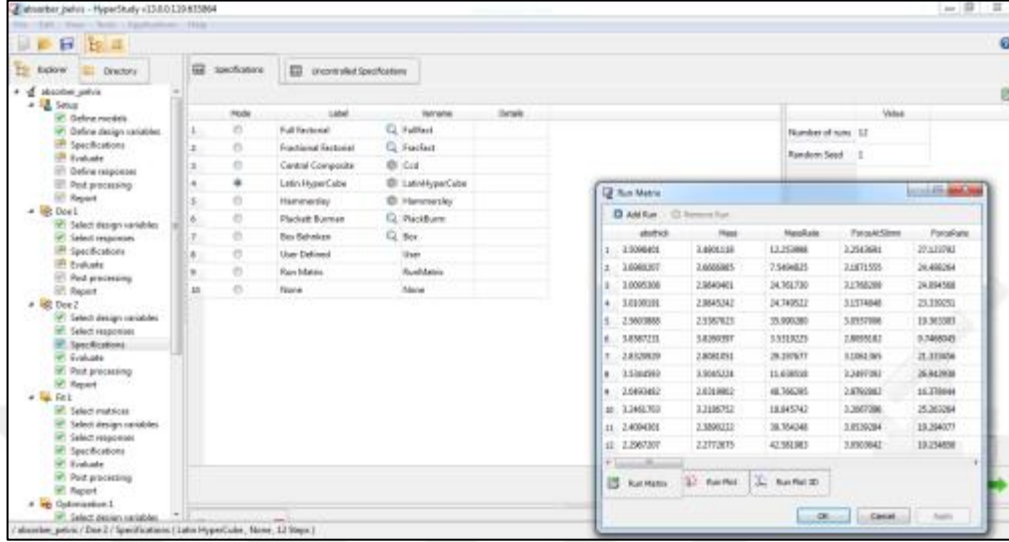
DOE1 de Central Composite tipi DOE seçilerek çalışma yapılmıştır. Central Composite DOE modeli tasarım değişkenini şekil 12.de gösterildiği gibi 5 farklı değer (2.169, 2.851, 2.01, 3.01, 4.01) atayarak ayrı ayrı Ls Dyna çözücüsüne göndererek çözüm yaptırmaktadır. Ls Dyna çözülen modellerden istenilen response'lar hesaplanmaktadır. Bu sonuçlar Mass, MassRate, ForceAtmm ve ForceRate olarak şekil 4.28.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. DOE 1 - Central Composite

DOE2 de Latin HyperCube tipi DOE modeli seçilmiştir. Bu DOE tipinde tasarım değişkeni istenilen kadar bölünmeye izin vermektedir ve bu değer 12 olarak (3.510, 3.698, 3.01, 3.010, 2.560, 3.858, 2.832, 3.534, 2.050, 3.246, 2.410, 2.297) seçilmiştir. .

Ls Dyna çözülen modellerden istenilen response'lar hesaplanmaktadır. Bu sonuçlar Mass, MassRate, ForceAtmm ve ForceRate olarak şekil 4.29.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. DOE2 - Latin HyperCube

Fitting işlemi, simülasyonlar az olduğunda ya da gürültülü yanıtlar alındığında çalışmanın etkinliğini arttırmak için sonuçların yumuşatılması işlemi yapmaktadır. Şekil 4.30.'da arayüz gösterilmiştir.

Bu optimizasyon çalışmasında MLSM fitting modeli seçilerek DOE1 ve DOE2 sonuçları fitting işlemine tabi tutularak ortak bir sonuç elde edilmiştir. Şekil 3.30'da DOE1 ve DOE2 çalışmalarının birleştirilmiş ve MLSM metoduyla işlenmiş sonuçları görülmektedir. Bu şekilde Mass\_MLSM, MassRate\_MLSM, ForceAtmm\_MLSM ve ForceRate\_MLSM sütunları fitting işlemi sonucunda elde edilen sonuçları temsil etmektedir. Bu sonuçlar DOE1 ve DOE2 sonuçları göz önüne alınarak sonuçların gürültülerden arındırılarak yumuşatılması ve birleştirilmesi sonucu elde edilmiştir.

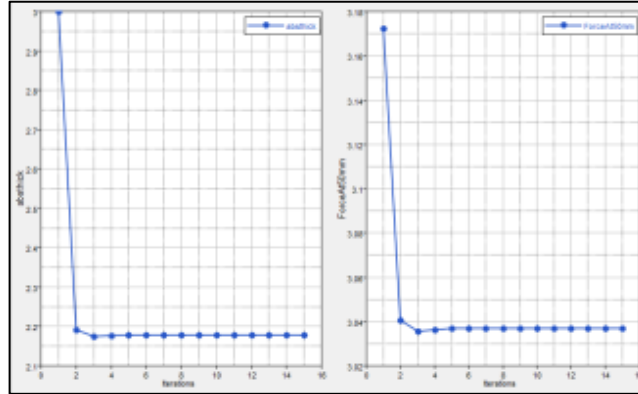




**Çizelge 4.5.** Optimizasyon-1 değişken ve kısıtları

| Tasarım Değişkeni (Absorber Et Kalınlığı) |                             |          |
|---|-----------------------------|----------|
| Minimum                                   | Başlangıç                   | Maksimum |
| 2,01 mm                                   | 3,00 mm                     | 4,01 mm  |
| Amaç Fonksiyonu                           |                             |          |
| Mass<br>(Ağırlıklandırma)                 | Kuvvet<br>(Ağırlıklandırma) |          |
| 0,25                                      | 0,75                        |          |
| Kısıt Fonksiyonu                          |                             |          |
| Force                                     |                             |          |
| 3,15 kN                                   |                             |          |

Optimizasyon sonucunda birçok farklı şekilde (şekil 4.31. ve şekil 4.32.) sonuç alınabilmekte ve okunarak yorum yapılabilmektedir. Şekil 20.de İterasyon sayısına bağlı olarak et kalınlığı değeri ve toplam kuvvet değerlerinin grafikleri gösterilmiştir. Grafikten 15. İterasyon sonucunda en iyi değere 2,18 mm et kalınlığında ve 3,04 kN'luk kuvvet değerinde ulaşıldığı sonucuna ulaşılmaktadır.



**Şekil 4.31.** İlk Optimizasyon Et Kalınlığı ve Kuvvet Değeri Sonuçları

**Şekil 4.32.** İlk Optimizasyon Sonuçları

Bu optimizasyon aşamasında pelvisin Y ekseninde 50 mm deplasmanı yanı sıra  $\pm 5$  mm deplasman değerleri içinde gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki çizelgede pelvisin Y ekseninde 45mm ile 55 mm arasındaki yer değişiminin sonuçları gösterilmiştir. Absorber kalınlığı, o çözümdeki kalınlığın 4 mm ye oranı (kalınlık oranı), kuvvet değeri, kuvvet oranı (Pelvisin belirtilen deplasmandaki değerinin 4 mm et kalınlıklı sönümleyicide elde kuvvete oranı) ve o deplasman değerinde 4mm'lik et kalınlığına sahip absorber da oluşan kuvvet değerleri gösterilmektedir.

**Çizelge 4.6.** Optimizasyon-1 sonuçları

| Pelvis Y ekseninde deplasmanı | Absorber Kalınlığı | Kalınlık Oranı (4mm ye göre) | Kuvvet  | Kuvvet Oranı | 4mm et kalınlığındaki Kuvvet Değeri |
|-------------------------------|--------------------|------------------------------|---------|--------------|-------------------------------------|
| 45 mm                         | 2,21 mm            | 44,76%                       | 3,04 kN | -14,73%      | 3,57 kN                             |
| 46 mm                         | 2,39 mm            | 40,23%                       | 3,09 kN | -16,39%      | 3,70 kN                             |
| 47 mm                         | 2,55 mm            | 36,15%                       | 3,24 kN | -8,60%       | 3,55 kN                             |
| 48 mm                         | 3,25 mm            | 18,64%                       | 3,42 kN | -3,68%       | 3,55 kN                             |
| 49 mm                         | 2,80 mm            | 30,08%                       | 3,26 kN | 1,64%        | 3,21 kN                             |
| 50 mm                         | 2,18 mm            | 45,55%                       | 3,04 kN | 18,63%       | 2,56 kN                             |
| 51 mm                         | 2,01 mm            | 49,75%                       | 2,97 kN | 28,67%       | 2,31 kN                             |
| 52 mm                         | 2,01 mm            | 2,00%                        | 2,95 kN | 29,33%       | 2,28 kN                             |
| 53 mm                         | 2,01 mm            | 2,00%                        | 2,85 kN | 32,01%       | 2,16 kN                             |
| 54 mm                         | 2,16 mm            | 46,10%                       | 2,76 kN | 38,10%       | 2,00 kN                             |
| 55 mm                         | 2,05 mm            | 48,70%                       | 2,61 kN | 38,49%       | 1,88 kN                             |

Çizelge 4.6'ya göre absorber için pelvisin 50 mm deplasmanın en iyi et kalınlığı değeri 2,18 mm de olmaktadır ve kuvvet değeri 3,04 kN çıkmaktadır. Bu değer maksimum olan 3.50 kN değerinin %10'lu toleransı olan 3,15 kN u sağlamaktadır ve en iyi sonucu vermektedir. Diğer deplasman değerleri de incelendiğinde kalınlık oranı ve kuvvet

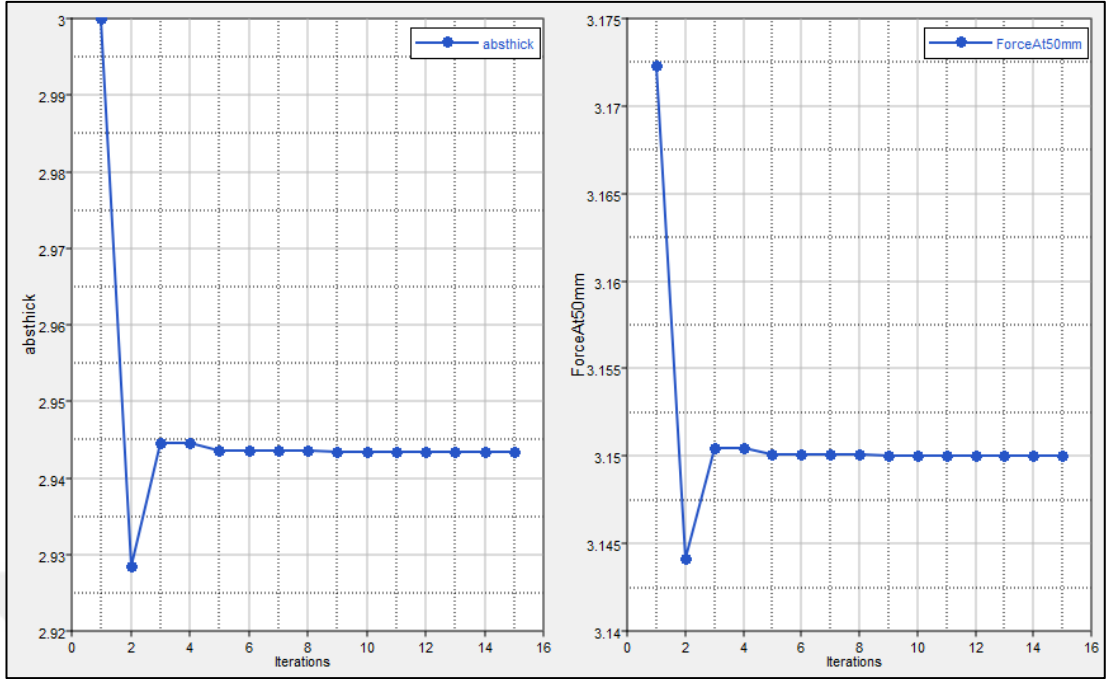
oranlarına bağılı olarak en iyi sonuca 2,00 - 2,50 mm et kalınlığı arasında ulaşılaacağı görülmektedir.

Bu optimizasyon aşamasında aşağıdaki çizelge 4.7’de belirtilen tasarım değişkeni, amaç fonksiyonu değerleri girilmiştir. İkinci optimizasyonda kuvvet değeri 3,15 kN olacak şekilde pelvisin Y ekseninde 45-55 mm deplasman değerlerindeki Absorber et kalınlığı değerleri incelenmiştir.

**Çizelge 4.7.** Optimizasyon-2 değişken ve kısıtları

| Tasarım Değişkeni (Absorber Et Kalınlığı) |           |          |
|---|-----------|----------|
| Minimum                                   | Başlangıç | Maksimum |
| 2,01 mm                                   | 3,00 mm   | 4,01 mm  |
| Amaç Fonksiyonu                           |           |          |
| Sabitlenmiş Kuvvet                        |           |          |
| 3,15 kN                                   |           |          |

Optimizasyon sonucunda birçok farklı şekilde (şekil 4.33 ve şekil 4.34) sonuç alınabilmekte ve okunarak yorum yapılabilmektedir. Şekil 4.33’de İterasyon sayısına bağılı olarak et kalınlığı değeri ve toplam kuvvet değerlerinin grafikleri gösterilmiştir. Şekil 4.33’den İterasyon sonucunda pelvisin Y ekseninde 50 mm deplasman yaptığıında 3.15kN kuvvet 2,94 mm de ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 4.33. İkinci Optimizasyon Et Kalınlığı ve Kuvvet Değeri Sonuçları

| Iteration | abstthick | MassRate   | ForceAt50mm | ForceRate | ForceAt50mm | ForceRate50mm | Force40mm  | ForceRate40mm | Force45mm  | ForceRate45mm |
|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|-------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
| 1         | 3.000000  | 25.000000  | 3.1723479   | 21.020839 | 3.2079013   | -8.4618004    | 3.2832129  | -11.289382    | 3.251570   | -8.4180848    |
| 2         | 2.9284907 | 26.908467  | 26.788735   | 3.1441359 | 22.817818   | 3.2179265     | -8.8817277 | 3.2807408     | -11.628450 | -8.3195077    |
| 3         | 2.9445692 | 26.819580  | 26.387271   | 3.1504612 | 23.064892   | 3.2291346     | -8.5489508 | 3.2724818     | -11.554789 | -8.3456418    |
| 4         | 2.9445692 | 26.819580  | 26.387271   | 3.1504612 | 23.064892   | 3.2291346     | -8.5489508 | 3.2724818     | -11.554789 | -8.3456418    |
| 5         | 2.9434878 | 26.818585  | 26.412551   | 3.1500625 | 23.049313   | 3.2384282     | -8.5878362 | 3.2723386     | -11.558957 | -8.3462382    |
| 6         | 2.9434878 | 26.818585  | 26.412551   | 3.1500625 | 23.049313   | 3.2384282     | -8.5878362 | 3.2723386     | -11.558957 | -8.3462382    |
| 7         | 2.9434878 | 26.818585  | 26.412551   | 3.1500625 | 23.049313   | 3.2384282     | -8.5878362 | 3.2723386     | -11.558957 | -8.3462382    |
| 8         | 2.9434878 | 26.818585  | 26.412551   | 3.1500625 | 23.049313   | 3.2384282     | -8.5878362 | 3.2723386     | -11.558957 | -8.3462382    |
| 9         | 2.9434205 | 26.8184957 | 26.414337   | 3.1500343 | 23.048213   | 3.2383784     | -8.5882338 | 3.2723884     | -11.558288 | -8.3461396    |
| 10        | 2.9434205 | 26.8184957 | 26.414337   | 3.1500343 | 23.048213   | 3.2383784     | -8.5882338 | 3.2723884     | -11.558288 | -8.3461396    |
| 11        | 2.9434205 | 26.8184957 | 26.414337   | 3.1500343 | 23.048213   | 3.2383784     | -8.5882338 | 3.2723884     | -11.558288 | -8.3461396    |
| 12        | 2.9434205 | 26.8184957 | 26.414337   | 3.1500343 | 23.048213   | 3.2383784     | -8.5882338 | 3.2723884     | -11.558288 | -8.3461396    |
| 13        | 2.9433787 | 26.8184403 | 26.415523   | 3.1500154 | 23.047418   | 3.2383449     | -8.5701695 | 3.2723881     | -11.558288 | -8.3460727    |
| 14        | 2.9433787 | 26.8184403 | 26.415523   | 3.1500154 | 23.047418   | 3.2383449     | -8.5701695 | 3.2723881     | -11.558288 | -8.3460727    |
| 15        | 2.9433787 | 26.8184403 | 26.415523   | 3.1500154 | 23.047418   | 3.2383449     | -8.5701695 | 3.2723881     | -11.558288 | -8.3460727    |
| 16        | 2.9433787 | 26.8184403 | 26.415523   | 3.1500154 | 23.047418   | 3.2383449     | -8.5701695 | 3.2723881     | -11.558288 | -8.3460727    |

Şekil 4.34. İkinci Optimizasyon Sonuçları

Bu optimizasyon aşamasında pelvisin Y ekseninde 50 mm deplasmanı yanı sıra  $\pm 5$  mm deplasman değerleri içinde gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki çizelge 4.8'de pelvisin Y ekseninde 45mm ile 55 mm arasındaki yer değişiminin sonuçları gösterilmiştir. Absorber kalınlığı, o çözümdeki kalınlığın 4 mm ye oranı (kalınlık oranı), kuvvet değeri, kuvvet oranı (Pelvisin belirtilen deplasmandaki değerinin 4 mm et kalınlıklı

sönümleyicide elde kuvvete oranı) ve o deplasman değerinde 4mm'lik et kalınlığına sahip absorber da oluşan kuvvet değerleri gösterilmektedir.

**Çizelge 4.8.** Optimizasyon-2 sonuçları

| Pelvis Y eksenli deplasmanı | Absorber Kalınlığı | Kalınlık Oranı (4mm ye göre) | Kuvvet  | Kuvvet Oranı | 4mm et kalınlığındaki Kuvvet Değeri |
|-----------------------------|--------------------|------------------------------|---------|--------------|-------------------------------------|
| 45 mm                       | 2,83 mm            | 29,23%                       | 3,15 kN | -11,74%      | 3,57 kN                             |
| 46 mm                       | 2,61 mm            | 34,87%                       | 3,15 kN | -14,87%      | 3,70 kN                             |
| 47 mm                       | 2,43 mm            | 39,29%                       | 3,15 kN | -11,27%      | 3,55 kN                             |
| 48 mm                       | 2,52 mm            | 37,06%                       | 3,15 kN | -11,27%      | 3,55 kN                             |
| 49 mm                       | 2,52 mm            | 37,00%                       | 3,15 kN | -1,87%       | 3,21 kN                             |
| 50 mm                       | 2,94 mm            | 26,40%                       | 3,15 kN | 23,05%       | 2,56 kN                             |
| 51 mm                       | 2,81 mm            | 29,74%                       | 3,10 kN | 34,44%       | 2,31 kN                             |
| 52 mm                       | 2,80 mm            | 30,12%                       | 2,99 kN | 31,22%       | 2,28 kN                             |
| 53 mm                       | 2,38 mm            | 40,48%                       | 2,89 kN | 33,85%       | 2,16 kN                             |
| 54 mm                       | 2,21 mm            | 44,76%                       | 2,77 kN | 38,65%       | 2,00 kN                             |
| 55 mm                       | 2,17 mm            | 45,83%                       | 2,64 kN | 31,91%       | 2,00 kN                             |

Bu sonuçlara göre kuvveti 3.15 kN'a sabitlediğimizde pelvisin Y ekseninde 50 mm deplasmanında en iyi değere 2,94 mm et kalınlıklı absorber ile ulaşıldığı görülmektedir. Bütün grafik incelendiğinde 2,30 -2,80 mm arasındaki et kalınlığı değerlerinin absorber kalınlığı için en iyi değerler vereceğine ulaşılmaktadır.

Yapılan iki optimizasyon sonucu incelendiğinde pelvisin Y ekseninde 50 mm deplasman yaptığında kuvvet, kuvvet oranı, kalınlık ve kalınlık oranları incelendiğinde; ilk optimizasyon ağırlık ve kuvvet amaç fonksiyonlu olarak yapılmıştır. Bu durum için optimum et kalınlık aralığı 2,00-2,50 mm olarak sonuçlanmıştır. İkinci optimizasyon 3,15 kN kuvvete amaç fonksiyonlu olarak yapılarak 2,30mm-2,80mm kalınlık aralığı değeri ile sonuçlanmıştır.

#### 4.4 Homologatif Test Çalışmaları

Çalışmaların tüm aşamalarında, sedan projesine uyum ve Teydeb projesinde vaat edilen hedeflerin başarılması için çalışılmıştır. Bu aşamada, hedef olarak ürün devreye alma çalışmalarına geçiş yapabilmek için hem sedan projesini hem de Teydeb projesini itici bir güç olarak kullanmak gerekiyordu. Araçların proje aşamalarında en önemli verifikasyon adımlarından bir tanesi ide homologatif testlerden başarı ile geçmiştir.



Bunun için yapılacak en önemli test ise ECE 95 çarpışma testleridir. Bu testler İtalya güvenlik merkezinde yapılmaktadır. İstenilen pelvis abdomen bölgelerindeki sonuçların alınması için gereken şartların sağlanmış olması gereklidir. Tüm bilgisayar destekli analizlerden geçilmesi gerekmektedir. Bu aşamaların gerçekleşmesinden sonra testlerin yapılması gereklidir. Testlerin yapılması için soft tool kalıp denilen, alüminyum malzemeden hızlı bir şekilde üretilen fakat seri imalatta kullanılmayan kalıplar yapılarak ilk numuneler üretilmiştir.

İlk numunelerin test değerlendirmelerinden gelen geri bildirimler sonucunda yeni numunelerin yapılması gerektiği bildirilmiştir. Yeni soft tool kalıpları yine çok kısa sürelerde yapılarak yeni numune gönderimi yapılmıştır. Bu kalıpların şekilleri şekil 4.35.'de gösterilmiştir. Çıkan prototip parçaların bazıları İtalya test merkezine gönderilmesi için kapı paneli montaj edilmiş ve hazırlanmıştır. Bazılar da ürünün onaylanması durumunda kullanılacak işlemlerde kullanılmak üzere depoya kaldırılmıştır.



**Şekil 4.35.** Softtool-prototip PP Absorber Kalıpları

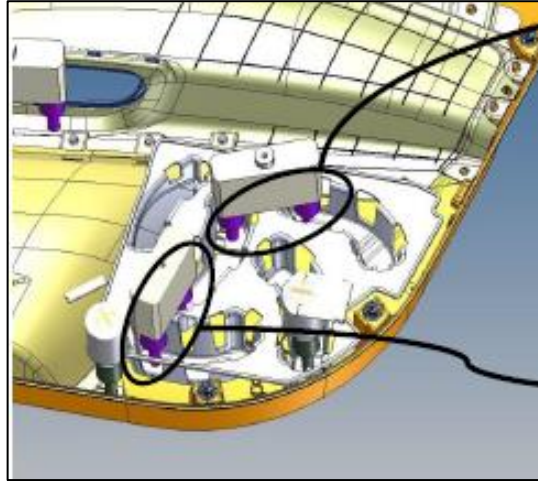
Güvenlik merkezinden gelen onay yazısından sonra ürünün devreye alınması için mevcut durum değerlendirmesi yapılmıştır. İleriki bölümlerde ürün devreye alınması hakkında bilgiler verilecektir.

## 4.5 Ürün Devreye Alma Çalışmaları

Homologatif olarak aracın onay almasının ardından, kullanılan PP sönümleyici için uygulanabilirlik analizleri yapılmıştır.

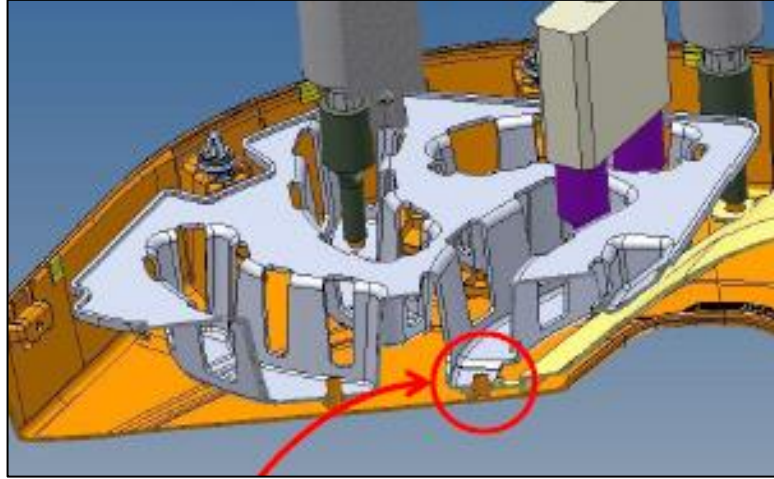
### 4.5.1 Montaj analizleri ve modifikasyonlar

Mevcut sedan projesinin ilerleyişi devam etmekte ve doğal olarak tüm EPP malzeme yandan çarpışma sönümleyici kalıpların yapım aşaması devam etmekte idi. Kapı panellerinin çalışmalarında ise aynı şekilde tasarım çalışmaları tamamlanmış ve kalıpların tamamlanması sürecinin sonuna gelmişti. Teydeb projesi ile ivmelenen PP malzeme yandan çarpışma sönümleyicinin devreye girebilmesi için tüm alternatifler eşlenikli bir şekilde çalışmakta idi. Bu çalışmalardan bir tanesi de, PP malzemeden yapılan yandan çarpışma sönümleyicinin kapı paneline montajlanma analizleridir. Bu analizler, kapı paneli üreticisi ile yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Analizlere göre, EPP yandan çarpma sönümleyici kullanılmadan, PP malzemeden yapılan sönümleyici kullanılması durumunda yapılması gereken montaj aparatı modifikasyonlar ortaya çıkmıştır. Şekil 4.36'da genel durumdan bahsedilirken, şekil 4.37. ve şekil 4.38.'de detay görüntüler yer almaktadır.

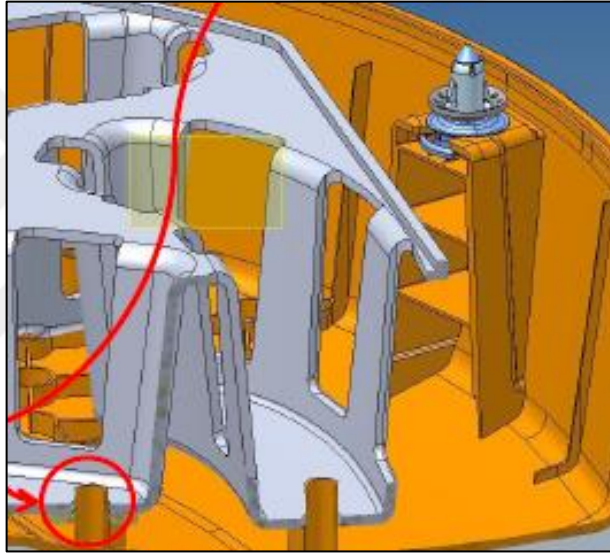


Şekil 4.36. Genel durum montaj analizi



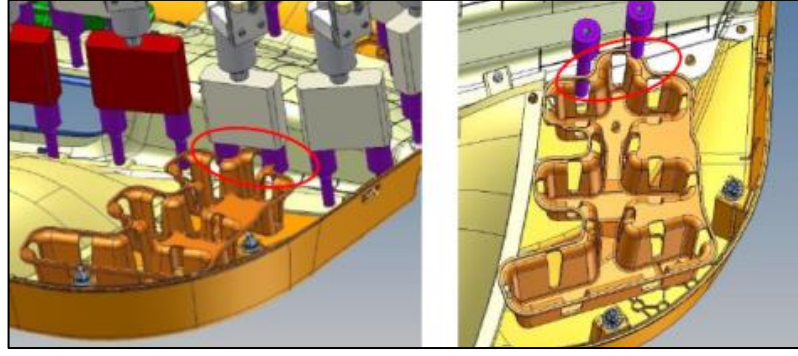


Şekil 4.37. Detay durum montaj analizi-1



Şekil 4.38. Detay durum montaj analizi-2

Tasarımlardan ikincisinin de analizi yapılmıştır. Hangi tasarım ile ilerleneceğinin karar verilmesi ve projeye adaptasyonun çok sınırlı bir sürede olma ihtimali üzerinde durularak, eş zamanlı montaj analizleri yapılmıştır. Şekil 4.39.'da ikinci tasarım için sonotrot'ların mevcut durumundan, PP yandan çarpma sönümleyici yapıldığındaki farklılıklar incelenmiştir.

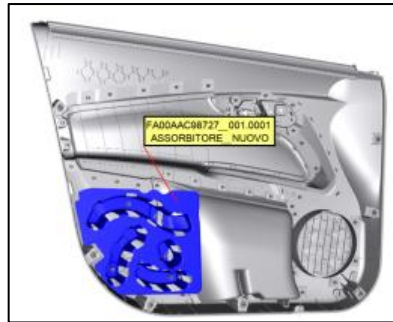


**Şekil 4.39.** PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici tasarım 1 için montaj analizi

Bu tip durumlar için yine yan sanayi firması ile irtibata geçilerek oluşabilecek durumlar için maliyet analizler ide istenmiştir. Bütçelendirme konusu da eş zamanlı çalışılarak, sedan projesinin seri imalata geçmeden önceki, montaj aparat değişikliği bilgileri derlenmiştir. Hem zaman planları hem de maliyet bilgileri alınmış ve sedan proje yürütücüleri ile paylaşılmıştır.

#### **4.5.2 Paketleme analizleri (Packaging analizleri)**

Paketleme analizleri, bir değişiklik olduğunda veya proje aşamasında olması gereken önemli adımlardan bir tanesidir. Bu analizlerin yapılması için mevcut EPP yandan çarpışma sönümleyicisinin lokasyonuna yerleştirilen yeni PP malzeme yandan çarpışma sönümleyicinin dataları ilgili birim ile paylaşılmıştır. Tüm montaj yapılan durumlardaki girişim miktarları değerlendirilmiştir. Öncelikle kapı paneli ile yandan çarpışma sönümleyicinin modelleme montaj durumu değerlendirilmiştir. Bu analiz için görüntüyü şekil 4.40.'da görebiliriz.



**Şekil 4.40.** Paketleme analizleri - kapı paneli ve yandan çarpışma sönümleyici PP malzeme

Analizin ilk kısmında böyle bir durumun değerlendirmesi pozitif olarak sonuçlanmış ve kapı paneli ile yeni yaratılan PP malzeme yandan çarpışma sönümleyicisi için herhangi bir montaj problemi olmadığı görülmüştür.

Bir diğer analiz yapılması gereken kısım ise kapı panelinin iç plastik kısmı ile sac kısmının montajlanmasındaki durumdur. Bu durum için şekil 4.41'deki gösterim yapılmıştır. Şekil içerisinde hem kapı sacı hem de plastik kapı paneli görülmekte, bunların yanında da yeni nesil pp malzeme yandan çarpışma sönümleyici analiz içerisinde değerlendirilmiştir. Girişimler incelenmiş, olması gereken ve normlarda bildirilen parça arası uzaklıklar kontrol edilmiştir.



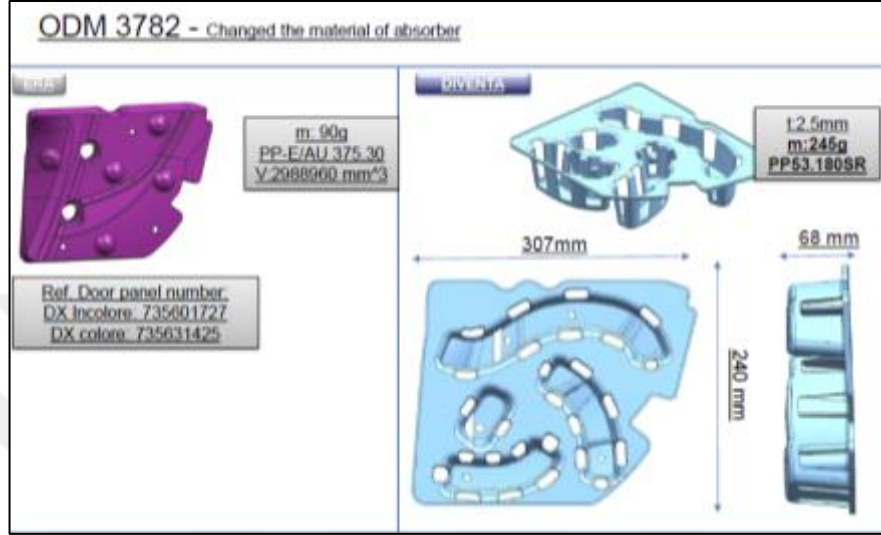
**Şekil 4.41.** Tüm sistem paketleme analizi - kapı paneli, sac ve absorber

Her iki analiz için de parçaların normlarda belirtilen değerlere göre etkileşimleri incelenmiştir. Sonuç olarak paketleme analizlerinden herhangi bir negatif sonuç elde edilmemiş ve tasarım kriterlerine göre ürüne dönüşülebilir bir aşama kaydedilmiştir.

### **4.5.3 İş emri çalışmaları**

Sedan projesindeki ilerleyiş içerisinde yapılacak olan yeni PP malzeme çarpışma sönümleyici için maliyet değerleri kalıp, aparat ve montaj aparatı – kaynak makinesi modifikasyonu için hesaplanmıştır. İşleyişin Teydeb projesinden bir ürün oluşturma aşamasına geçebilmesi için, fabrika içerisinde bir iş emri oluşturulması gerekmektedir.

Bu aşamada, yapılacak değişiklik öncesi ve sonrası olacak şekilde hazırlanır. Örnek olarak şekil 4.42.'de bu durum gösterilmiştir. Kayıt altına alınan dokümantasyon işlemi ile aşağıda verilmiştir. Bu çalışma ile yan sanayiye bildirim giderek satın alma süreçleri başlamaktadır.



Şekil 4.42. Kapı paneline PP malzemeden yapılan yeni nesil yandan çarpışma sönümleyicinin adaptasyon iş emri

#### 4.5.4 Ürün kalifikasyon ve onay testleri

Ürün devreye alma çalışmalarından maliyet anlaşmaları yapıldıktan sonra parçanın ürün olarak kullanılabilmesi için bazı testlerden pozitif sonuçlar alması gerekmektedir. Ürün oluşturma aşamasında yapılan analizler önceki bölümlerde verilmiştir. Bu bölümde, ürüne dönüşme kararı verilen tasarımın kullanılabilmesi için yapılan testlerden bahsedilecektir. Testler kapı panelleri ile birlikte yapılmıştır. Genel testler, şartnamede belirtilen detaylara göre;

- Ölçüler toleranslar, görünüm ve yüzey kontrolü
- Malzeme
- Görünüm kontrolü
- Koku testi
- Markalama
- Renk ölçümü

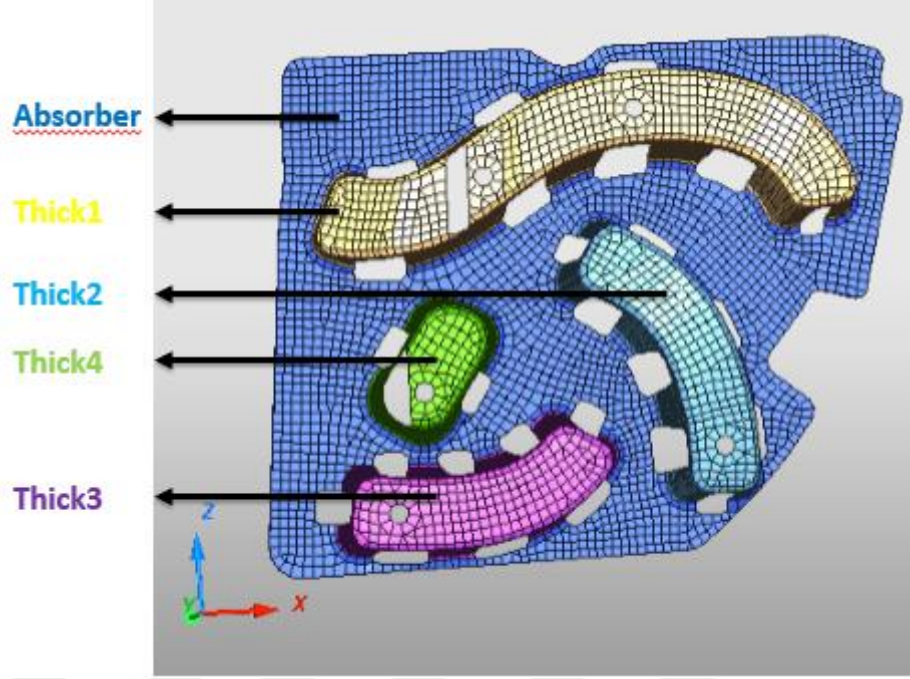
- Parlaklık ölçümü
- Desen
- Isı testi
- Nem testi
- Isı çevrimi
- Düşük ısıda darbe etkisi
- Kolçak dayanım testleri

olarak firma ile belirlenmiştir. Bu testler içerisinde en önemlisi 4 mevsim şartlarını simule edebilen ve 4 tekerlek üzerinden tahrik yetisine sahip kabin içerisinde yapılan pave testidir. Ürün kalıptan çıktığı hali ile yapılan testten herhangi bir geri bildirim almadan çıkmıştır. Böylece testlerin tümünden başarılı bir şekilde çıkan yeni tasarım PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici için seri imalata giriş şartları sağlanmıştır.

#### **4.6 Triz Yöntemi ile Bir Sonraki Aşama Çalışması (Re-Optimizasyon)**

Sedan projesinin zaman planına uyum sağlanırken izlenen tüm adımlar neticesinde, proje planına uygun halde devreye giriş yeni bir ürün ile gerçekleşmiştir. Bu ürünün patentli bir şekilde tüm dünyada satışa sunumu yapılmıştır. Proje sürecinin devreye girişi ile çalışmalar hız kesmemiş ve TRIZ yönetimi tekrar aynı koşullar için oluşturulmuştur. Bölümlendirme teknik özelliğinden yola çıkarak parçalara ayrılması durumundaki değerlendirme kriteri bu bölümde baz alınmıştır.

Değişken Kalınlıklı Side Impact Absorber HyperStudy Optimizasyonu çalışmasında side impact absorber parçası 5 farklı parçaya bölünerek optimizasyonu yapılmıştır. Burada her parçaya farklı propertyler atanarak her parçaya ait et kalınlığı değişken olarak tanımlanmıştır ve sonuçta 5 farklı tasarım değişkeni ortaya çıkmıştır. Şekil 4.43'de Absorber modelinin parçalara ayrılmış hali ve isimleri görülmektedir.



Şekil 4.43. Parçalara ayrılan PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici

Şekil 4.43’de görülen parçalara ayrılmış side impact absorber parçasına başlangıç değeri 2,50 mm olmak üzere, minimum 0,50 mm ile maksimum 3,00 mm arasında et kalınlığı için her parçaya yarı ayrı tasarım değişkeni tanımlanmıştır. Side impact absorber modeli; 6403 adet eleman, 6870 adet node'dan oluşmaktadır ve ortalama 4.00 mm boyutunda elemanlarla oluşturulan mesh yapısı %4.6 üçgen oranına sahiptir.

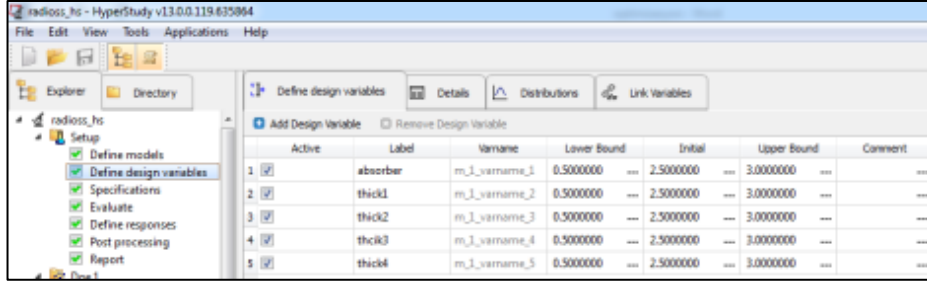
HyperStudy programında Değişken Kalınlıklı Side İmpact Absorber Optimizasyonu için sırasıyla bir kez ilk çözüm, sonra üç kez DOE çalışması, bir kez fitting işlemi ve son olarak ise optimizasyon işlemi yapılmıştır.

Bu optimizasyon çalışmasında optimizasyon şartlarının tanımlanması değişkenlerin belirlenmesi için HyperStudy programı, gerekli zamanlarda çözüm için ise Radios çözücüsü kullanılmıştır.

İlk çözüm safhasında HyperStudy programı tasarım değişkeninin başlangıç değerinde bir kez çözüm yapmaktadır. Ayrıca tasarım değişkenleri ve istenilen response’lar bu aşamada tanımlanmaktadır.



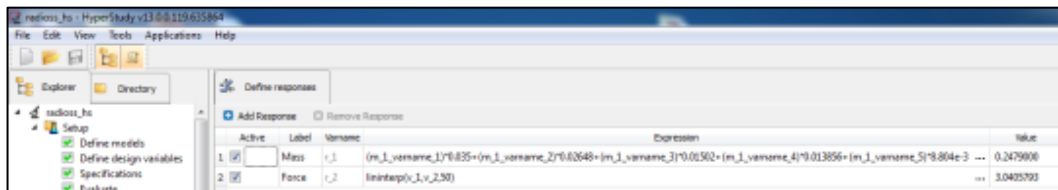
HyperStudy programında 5 parçaya bölünmüş absorber parçalarının et kalınlıkları şekil 4.44'de görülen şekilde eklenmiştir. Bu modelde absorber parçalarının et kalınlıkları için tanımlanan tasarım değişkenlerinin; başlangıç değeri 2,50 mm, minimum değeri 0,50 mm ve maksimum değeri ise 3,00 mm olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.44. Tasarım Değişkeni Ekleme

Response tanımlama işleminde optimizasyonda kullanılacak tanımlamalar yapılır. Bu tanımlamalar optimizasyonda istenilen amaç fonksiyonları ya da kısıt fonksiyonları olabilir ya da o anda görmek istediğiniz farklı bir fonksiyonda olabilir.

Bu çalışmada şekil 4.45'de görülen 2 adet response tanımlanmıştır. Bu response'lar Mass ve Force olarak adlandırılmıştır ve fonksiyonu expression kısmında, ilk çözüm sonucu değerleri value kısmında gösterilmiştir.



Şekil 4.45. HyperStudy Response Tanımlamaları

Mass, response ifadesi absorber parçasının toplam ağırlığını veren cevap fonksiyonudur. Bu fonksiyon ifadesi optimizasyonda amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Mass fonksiyonu

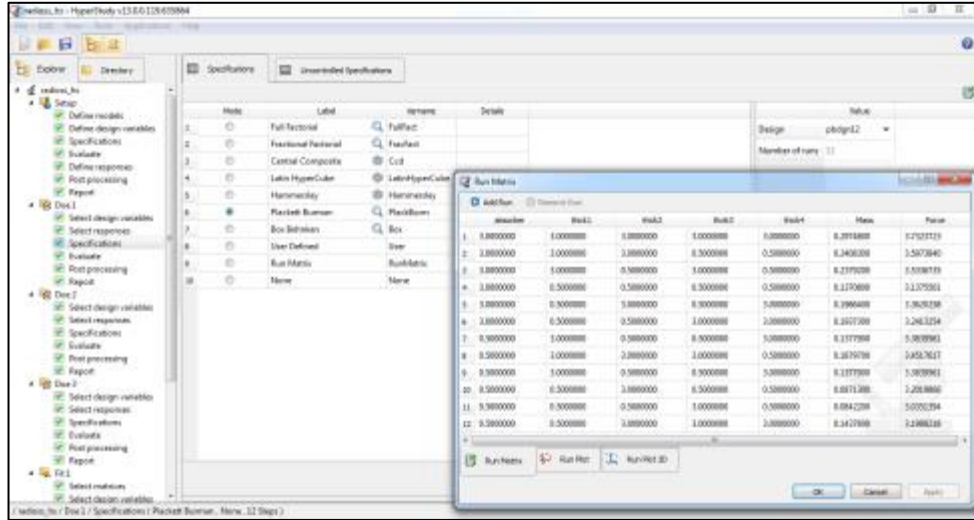
'(m\_1\_varname\_1)\*Y1+(m\_1\_varname\_2)\*Y2+(m\_1\_varname\_3)\*Y3+(m\_1\_varname\_4)\*Y4+(m\_1\_varname\_5)\*Y5' şeklinde tanımlanmıştır. Burada;

- ✓ m\_1\_varname\_X: X parçasının et kalınlığı ( $0,50 \text{ mm} < m_1\_varname\_X < 3,00 \text{ mm}$ )
- ✓ Yx: X parçasının alanı ( $\text{mm}^2$ ) olarak tanımlanmıştır.

Force cevap fonksiyonu Y ekseninin 50 mm deplasman yaptığında oluşan toplam kuvvet değerini vermektedir. Bu ifade 'lininterp(v\_1,v\_2,Y)' fonksiyonuyla bulunmaktadır. Burada;

- ✓ Lininterp: lineer enterpolasyon için kullanılan terim
- ✓ v\_1: deplasman sonuçları
- ✓ v\_2: toplam kuvvet sonuçları
- ✓ Y: Toplam kuvvet değeri istenen Pelvis Y eksen deplasman değeri

DOE1 çalışmasında Plackett Burmann tipi DOE modeli seçilmiştir. Bu modelde 12 adet model oluşturulmuş ve her çalışmada sönümleyicinin her parçası için farklı değerler tanımlanmıştır. DOE1 çalışmasında değişkenleri model kendi otomatik olarak atamıştır ve 3,00 ve 0,50 değerlerini her değişkene gelecek şekilde değiştirmiş ve değerler şekil 4.46'da gösterilmiştir.

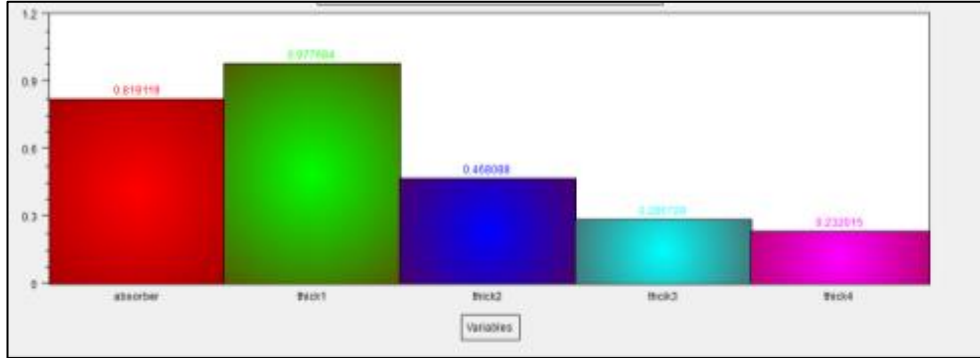


Şekil 4.46. DOE1 - Plackett Burmann

DOE1 çalışması absorber parçalarının sonuca ne ölçüde etki ettiğini bulmak amacıyla yapılmıştır. Şekil 4.47.'de her parçanın sonuca etkileri görüntülenmektedir. Bu grafiğe

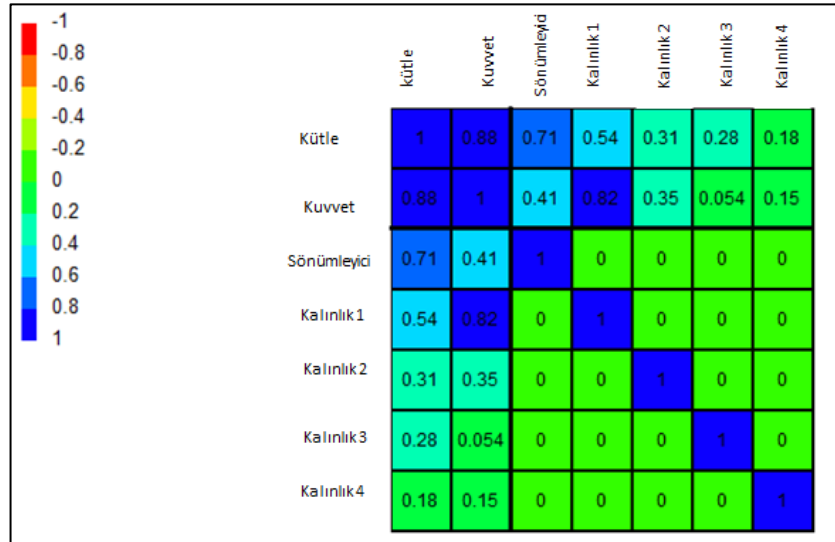


göre sonuca en fazla etki eden parça thick1 iken en az etkiyi thick4 yapmıştır. Bu grafiğe göre thick3 ve thick4 ün etkileri diğer 3 parçaya göre etkisinin daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4.47. Absorber Parçalarının Sonuca Etki Dağılım Grafiği

Şekil 4.48’de absorber parçalarının kuvvet ağırlık dağılımları gösterilmiştir. Bu grafiğe göre Absorber parçasının ağırlığa etkisi 0,71 iken kuvvete etkisi ise 0,41 dolaylarındadır. Fakat thick1 parçasının ise ağırlığa etkisi 0,54 iken kuvvete etkisi ise 0,82 dolayındadır, yani daha az ağırlık ile daha fazla kuvvet elde edilebilmektedir. Thick3 parçasının ağırlık kuvvet oranı çok az olduğu için bu parça kaldırılabilir sonucuna ulaşılmaktadır, thick 4 parçasının ise kuvvet oranı ağırlık oranı iyi fakat etkisi az bulunmuştur.

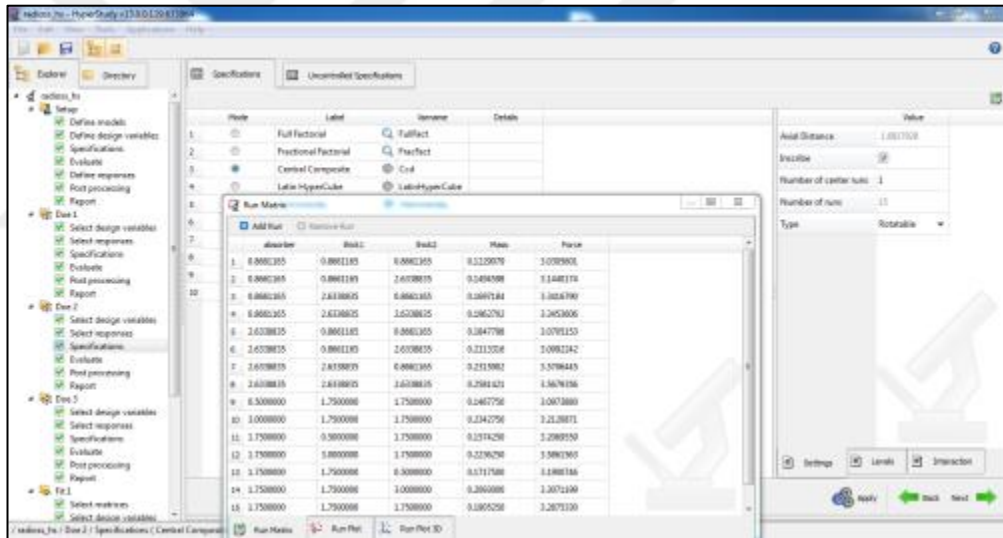


Şekil 4.48. Absorber Parçalarının Kuvvet-Ağırlık Etki Dağılımı

Bu sonuçlar neticesinde ve optimizasyon süresini kısaltmak amacıyla thick3 ve thick4 parçaları tasarım değişkeni olmaktan çıkarılmıştır.

DOE2 çalışması için Central Composite tipi DOE metodu seçilmiştir. DOE1 sonucunda thick3 ve thick4 değerlerinin gereksiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuca bağlı olarak thick3 ve thick4 parçaları optimizasyon süresini azaltmak amacıyla tasarım değişkeni olmaktan çıkartılmış Absorber, thick1 ve thick2 olmak üzere 3 tasarım değişkeni üzerinden DOE çalışması yapılmıştır.

Central Composite DOE çalışmasında 3 değişken için 15 run çalıştırılacaktır. Bu run çalışmaları için her Absorber parçasına verilen et kalınlığı değeri ve o değerlere bağlı olarak elde edilen sonuç şekil 4.49’da gösterilmiştir.

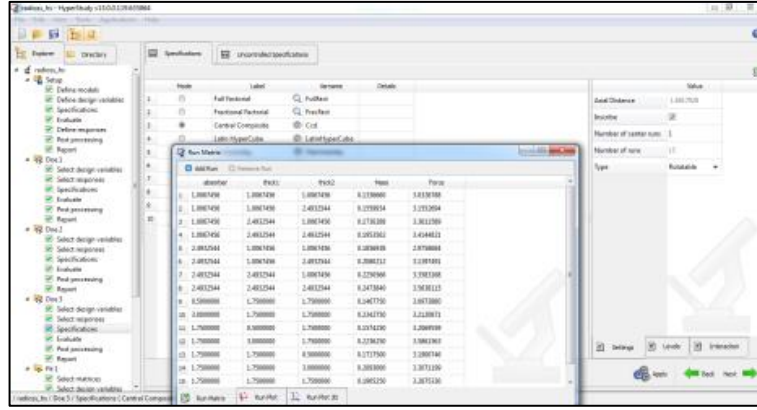


| Run | Absorber  | Thick1    | Thick2    | Mass      | Price     |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1   | 0.888235  | 0.8881185 | 0.888235  | 0.2229970 | 3.078903  |
| 2   | 0.888235  | 0.8881185 | 2.6108825 | 0.2404598 | 3.1448178 |
| 3   | 0.888235  | 2.6108825 | 0.888235  | 0.2609184 | 3.0283790 |
| 4   | 0.888235  | 2.6108825 | 2.6108825 | 0.2862793 | 3.2653606 |
| 5   | 2.6108825 | 0.8881185 | 0.888235  | 0.2847798 | 3.0791153 |
| 6   | 2.6108825 | 0.8881185 | 2.6108825 | 0.2213208 | 3.0802142 |
| 7   | 2.6108825 | 2.6108825 | 0.888235  | 0.2515982 | 3.2798443 |
| 8   | 2.6108825 | 2.6108825 | 2.6108825 | 0.2581421 | 3.3678156 |
| 9   | 0.5000000 | 1.7500000 | 1.7500000 | 0.2407756 | 3.0073883 |
| 10  | 1.0000000 | 1.7500000 | 1.7500000 | 0.2342756 | 3.2138871 |
| 11  | 1.7500000 | 0.5000000 | 1.7500000 | 0.2374256 | 3.2989250 |
| 12  | 1.7500000 | 1.0000000 | 1.7500000 | 0.2296256 | 3.5881265 |
| 13  | 1.7500000 | 1.7500000 | 0.5000000 | 0.2171500 | 3.1888186 |
| 14  | 1.7500000 | 1.7500000 | 1.0000000 | 0.2060000 | 3.3072190 |
| 15  | 1.7500000 | 1.7500000 | 1.7500000 | 0.1805256 | 3.2671120 |

Şekil 4.49. DOE2 -Central Composite

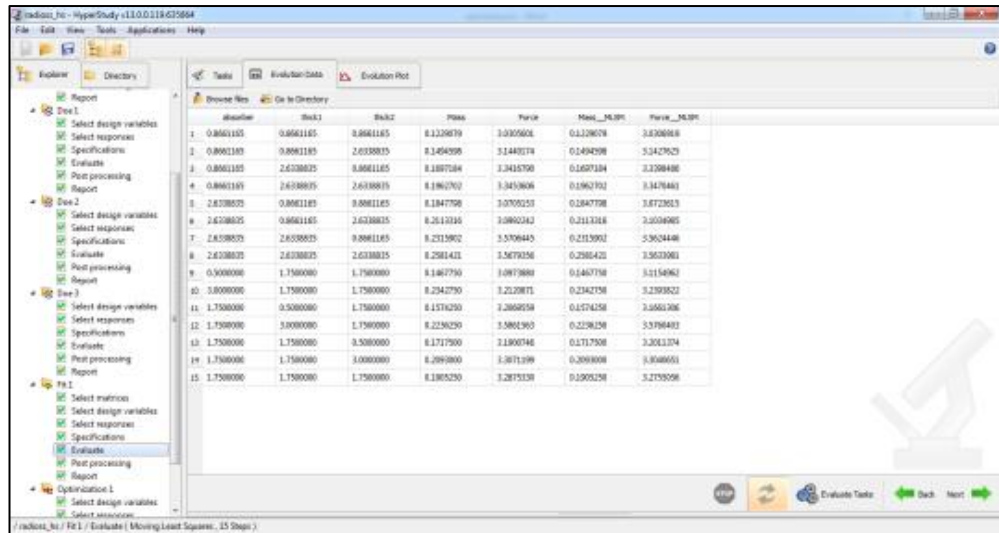
DOE3 çalışmasında da DOE2 de olduğu gibi Central Composite tipi DOE metodu seçilmiştir. Bu metodun seçim nedeni 15 run vermesi, çalışma için uygun olması ve optimizasyon süresi gözetilerek seçilmiştir.

DOE3 kapsamında da DOE2 de olduğu gibi sadece Absorber, thick1 ve thick2 parçaları tasarım değişkeni olarak seçilmiştir. Bu değişkenlerin aldıkları değerler ve bu değerlere karşılık kuvvet ve ağırlık değerleri şekil 4.50’de gösterilmiştir.



Şekil 4.50. DOE3 -Central Composite

Fitting işlemi, simülasyonlar az olduğunda ya da gürültülü yanıtlar alındığında çalışmanın etkinliğini arttırmak için sonuçların yumuşatılması işlemi yapmaktadır. Bu optimizasyon çalışmasında da MLSM fitting modeli seçilerek DOE1 ve DOE2 sonuçları fitting işlemine tabi tutularak ortak bir sonuç elde edilmiştir. Şekil 4.51'de DOE1 ve DOE2 çalışmalarının birleştirilmiş ve MLSM metoduyla işlenmiş sonuçları görülmektedir. Bu şekilde Mass\_MLSM, ve Force\_MLSM sütunları fitting işlemi sonucunda elde edilen sonuçları temsil etmektedir. Bu sonuçlar DOE1 ve DOE2 sonuçları göz önüne alınarak sonuçların gürültülerden arındırılarak yumuşatılması ve birleştirilmesi sonucu elde edilmiştir.



Şekil 4.51. Fitting İşlemi

Değişken Kalınlıklı Side Impact Absorber Optimizasyonu için tasarım değişkeni olarak absorber, thick1 ve thick2 seçilmiştir. Amaç fonksiyonu için ise kuvvet ve ağırlık sonuçları seçilmiştir. Seçilen bu değerler aşağıdaki çizelge 4.9'da verilmiştir. Burada kısıt fonksiyonu 3,07 kN olarak seçilmiştir, bunun sebebi 2,50 mm'lik et kalınlığına sahip model baz alınarak bu optimizasyon başlatıldığı için 2,50mm et kalınlıklı Absorber parçasına denk olması için bu kısıt tanımlanmıştır.

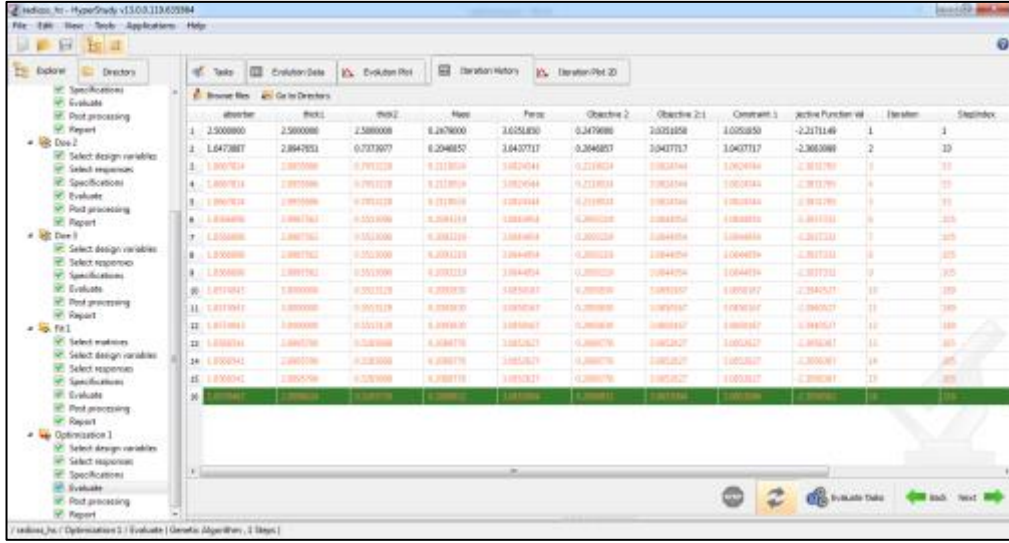
**Çizelge 4.9.** Optimizasyon kısıt ve değişkenleri

| Tasarım Değişkenleri (Absorber, thick1, thick2) |                          |          |
|---|--------------------------|----------|
| Minimum   | Başlangıç                | Maksimum |
| 2,01 mm   | 3,00 mm                  | 4,01 mm  |
| Amaç Fonksiyonu                                 |                          |          |
| Mass (Ağırlıklandırma)                          | Kuvvet (Ağırlıklandırma) |          |
| 3,3   | 1                        |          |
| Kısıt fonksiyonu                                |                          |          |
| 3,07 kN   |                          |          |

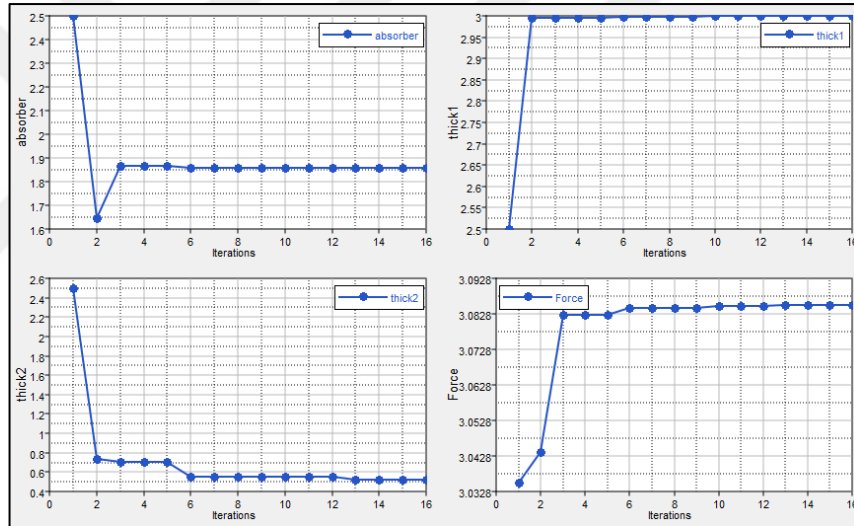
Bu optimizasyon için Genetik Algoritma tipi optimizasyon metodu seçilmiştir. Bu optimizasyon metodunda verilen değerler aşağıdaki grafikte belirlenmiştir.

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Minimum İterasyon Sayısı  | 25   |
| Maksimum İterasyon Sayısı | 15   |
| Popülasyon Boyutu         | 20   |
| Mutasyon Oranı            | 0.01 |
| Elitizm Oranı             | 10%  |

Şekil 4.52 ve şekil 4.53 deki sonuçlar incelendiğinde kısıt fonksiyonuna uygun olan 3,08 kN'luk değere Absorber parçası 1,86 mm, thick1 3,00mm ve thick2 değeri ise 0,53 mm değerinde ulaşmıştır. Bu değerler bu optimizasyon şartı için optimum değerlerdir. Bu değerlere göre thick2 kaldırılabilir.



Şekil 4.52. Optimizasyon Sonuçları



Şekil 4.53. Optimizasyon Sonuçları 2

DOE1 çalışması göz önüne alındığında thick3 parçasının kaldırılabilirliği sonucuna ulaşılmıştır. Optimizasyon çalışmasında ise thick2 değeri 0,53mm değeri bulunmuştur ve bu parçanın da kaldırılabilirliği ortaya çıkmaktadır. Optimizasyon parçasının 1,86 mm çıkan değeri 2,00 mm üretim kısıtı olan alt limite çıkarılır. Genel tablo aşağıda çizilege 4.10 olarak özetlenmiştir.

**Çizelge 4.10.** Optimizasyon sonuçları genel durum

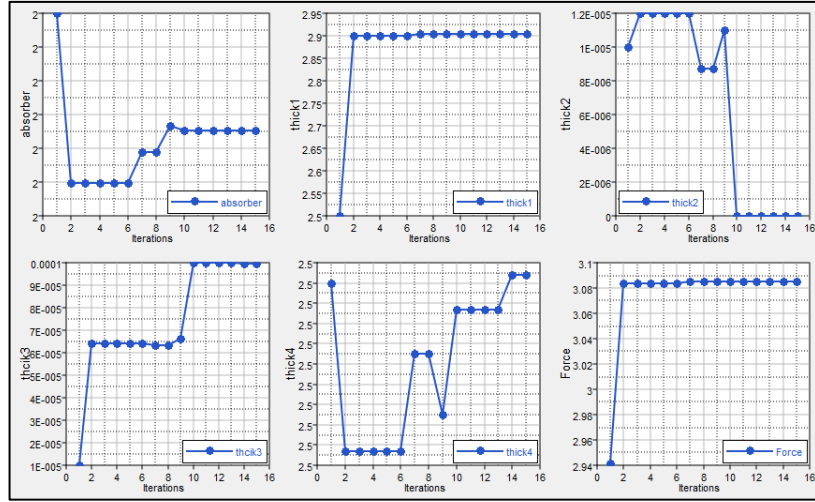
|          | Optimizasyon Sonucu Değer | Sabitlendiği Değer | SABİTLEME NEDENİ                                 |
|----------|---------------------------|--------------------|--|
| Absorber | 2,00                      | 2,00               | Opt. sonucuna göre üretim alt limit kalınlığı    |
| Thick1   | 3,00                      | x                  |  |
| Thick2   | 0,53                      | 0,00               | Kaldırılabilir                                   |
| Thick3   | x                         | 0,00               | DOE1 Metodu sonucuna bağlı olarak kaldırılabilir |
| Thick4   | x                         | 2,50               |  |

Yukarıdaki grafiğe göre tasarım değişkenleri değiştirilerek tekrar optimizasyon yapılmıştır. Bu optimizasyon çalışmasında tüm şartlar aynı bırakılmış sadece alınan tasarım değişkenleri aşağıdaki çizelge 4.11 ile verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Tasarım değişkenlerinin başlangıç, maksimum ve minimum değerleri

|          | Minimum | Başlangıç | Maksimum |
|----------|---------|-----------|----------|
| Absorber | 1,9999  | 2,0000    | 2,0001   |
| Thick1   | 0,5000  | 2,5000    | 3,0000   |
| Thick2   | 0,0000  | 0,0000    | 0,0001   |
| Thick3   | 0,0000  | 0,0000    | 0,0001   |
| Thick4   | 2,4999  | 2,5000    | 2,5001   |

Bu tasarım değişkeni değerleri sonuçları şekil 4.54 ve 4.55’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş ve çizelge 4.12’de sonuçlar verilmiştir.



Şekil 4.54. Optimizasyon 2 - Sonucu 1



Şekil 4.55. Optimizasyon 2 - Sonucu 2

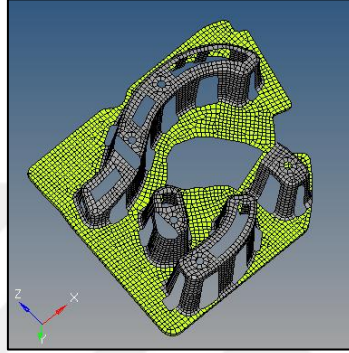
Çizelge 4.12. Optimizasyon sonuçlarına göre Absorber parçalarının değerleri

|          | Optimum Et Kalınlığı |
|----------|----------------------|
| Absorber | 2,0000               |
| Thick1   | 2,9000               |
| Thick2   | 0,0000               |
| Thick3   | 0,0000               |
| Thick4   | 2,5000               |

Kuvvet değeri 3,08 kN ağırlığı ise 204 gr'dır. 2,50 mm sabit kalınlıklı parçanın ağırlığı ise 248 gr'dır. Sonuç olarak optimizasyon sonucunda değişken kalınlıklı Absorber

modelinde sabit 2,50 mm et kalınlıklı modelle aynı kuvvet değerlerine %18 daha hafifletilmiş bir şekilde ulaşılmaktadır.

Optimizasyon sonucuna bağlı olarak şekil 4.56'da gösterilen model oluşturulmuştur. Bu modelde optimizasyon sonucuna göre kaldırılması gereken thick2 üzerinde bağlantı bölgesinin bulunması nedeniyle bir kısmı bırakılarak kaldırılmıştır. Çizelge 4.13 ile de kalınlık değerleri verilmiştir.



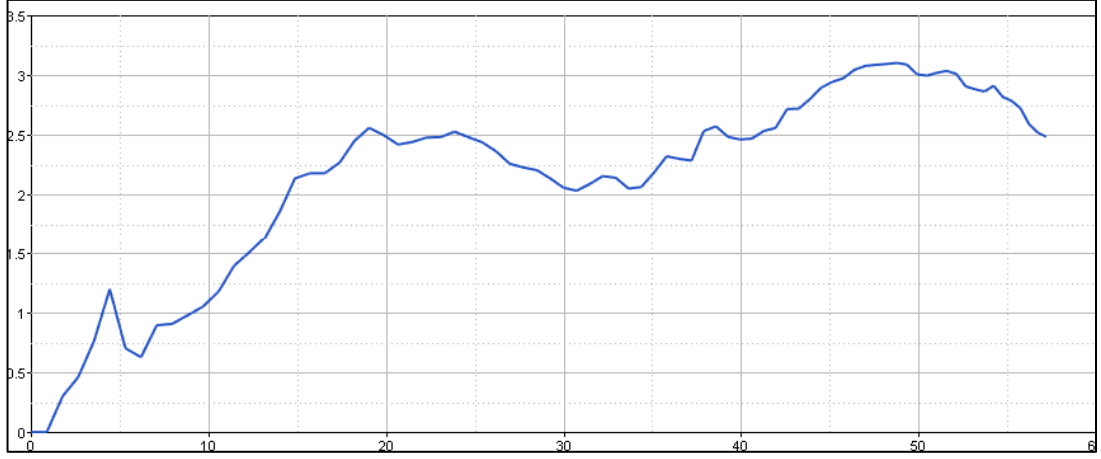
**şekil 4.56.** Optimizasyon sonuçlarına bağlı olarak oluşturulan yeni model

**Çizelge 4.13.** Yeni tasarım yandan çarpışma sönümleyici için kalınlık değerleri

|          | Et Kalınlığı |
|----------|--------------|
| Absorber | 2,0000       |
| Thick1   | 3,0000       |
| Thick2   | 3,0000       |
| Thick3   | 3,0000       |
| Thick4   | 3,0000       |

Bu değerler belirlenirken bazı boşaltmalarda yapılmıştır. Sonuç olarak 227 gr gelen modelin sonucu şekil 4.57.'de gösterilmiştir. Bu sonuca göre 3,00 kN kuvvete 227 gr'dık bir model ile ulaşılmıştır.





**Şekil 4.57.** Yeni model yandan çarpışma sönümleyici analiz sonucu(kuvvet/yerdeğiştirme)

Belirlenen son model 2,50 mm et kalınlığına sahip 248 gr'lık modele göre %9 daha hafif, %2 ise kuvvet kaybı yaşanmıştır. Ağırlıktaki hafifleme kuvvete göre daha önemli ölçülerde olduğu için belirlenen son model kullanılabilir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmanın bu bölümünde yapılan tüm işlemlerin sonuçları ve etkilerinden bahsedilecektir. Teydeb projesinin ve Sedan projesinin sağladığı ivme ile yapılan tüm çalışmaların patentli bir ürüne dönüş sürecinden bahsedilecektir. Yapılan çalışma ile ortaya çıkan ürünün farklı durumlarda kullanılan parçalar için bir düşünce yapısı oluşturmuştur. Son olarak bu bölümde sedan projesine yetişmeyen fakat teorik alanda çalışmaların bir sonraki aşamaya geçmesini sağlayan TRIZ yöntemiyle yeniden dizayn durumu değerlendirilmiştir.

Tüm çalışmalar sonucunda ortaya çıkan bilgi birikiminin sayısal alandan fiziksel ortama geçmesi sağlanmıştır. Benzer modellerden daha uygun maliyetle elde edilen yandan çarpışma PP malzeme sönümleyicinin sedan projesinde kullanımı yapılmıştır. ODM denilen ordine di modifica – iş emri çalışmaları beraber tüm seri imalata geçiş fazı tamamlanmıştır. Şekil 5.1.'de kapı panelinde yapılması düşünülen EPP yandan çarpışma sönümleyicinin montaj hali görülmektedir.



**Şekil 5.1.** EPP malzemedan yapılmış yandan çarpma sönümleyici

Detay görüntüleri aşağıda şekil 5.2.'de görülen EPP malzeme yandan çarpma sönümleyicinin birim fiyatının, Teydeb destekli yapılan bu çalışma içerisinde ciddi oranda azaltılmıştır.



**Şekil 5.2.** EPP malzeme yandan çarpışma sönümleyici detay görüntüleri

Tüm çalışmalar neticesinde, plastik enjeksiyon kalıbından çıkarak tüm gereksinimleri yerine getiren ve maliyet açısından rekabetçi bir ürün olan PP malzeme yandan çarpışma sönümleyicinin şekli 5.3.'de verilmiştir.



**Şekil 5.3.** Yeni nesil PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici

Üretime geçmeden önce kapı paneli üzerindeki montaj edilme noktaları için iyileştirmeler yapılmıştır. Şekil 5.4.'de detay görünüm yer almaktadır.



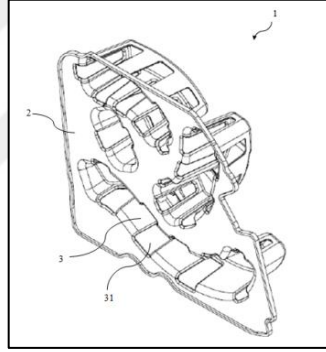
**Şekil 5.4.** Yeni nesil yandan çarpışma sönümleyici için detay görüntü

Tüm kapı paneli, yani PP malzeme yandan çarpışma sönümleyicisinin monte edilerek seri üretime gönderildiği hali şekil 5.5.'de verilmiştir. Bir önceki sürüm yandan çarpışma sönümleyici yani EPP malzemeden yapılan çalışma için kalitesel problemlerden bir tanesi de, EPP malzemenin yapısı gereği kulakçıklardan kopması idi. Bu durum da yeni nesil sönümleyici ile ortadan kalkmış oldu.

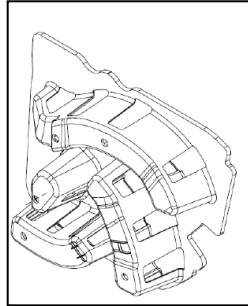


**Şekil 5.5.** Seri imalatta kullanılan yeni nesil PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici

Araç homologasyonu çalışmalarından sonra ürünün devreye girebilmesi için patent gereksinimleri oluşturularak patent başvurusu ürün için yapılmıştır. Tüm isterler, ürünün hem yurt içi hem de yurt dışında kullanımı için hazırlanmıştır. Şekil 5.6. ve 5.7.'de patent çizimleri verilmiştir. Bu çizimler hazırlanan tarifname ile Ankara patent bürosuna gönderilerek patent başvurusu tamamlanmıştır.



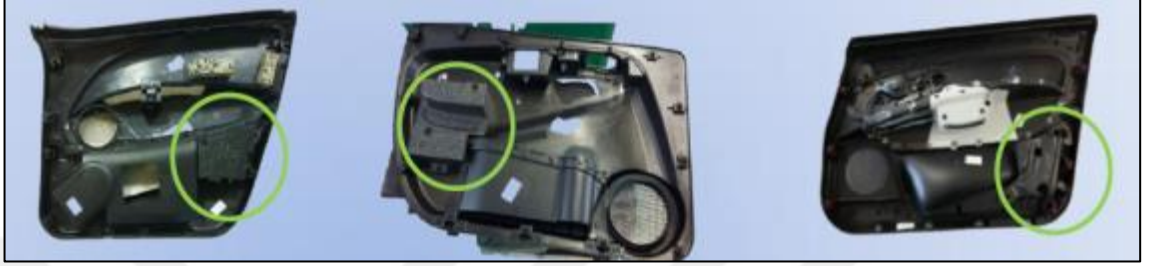
**Şekil 5.6.** Isometrik ön görünüş - PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici



**Şekil 5.7.** Isometrik arka görünüş - PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici

Elde edilen bilgi birikimi ile yetkinliklerin artması sonucunda uygulanan tüm çalışma verileri başka problemlerin çözümünde kullanılabilir duruma gelmiştir. Araç modellerinde farklı yerlerde gereksinim haline gelen pasif güvenlik öğelerinden bir olan

çarpışma sönümleyiciler için malzeme dönüşümleri önerileri tanımlanmıştır. Diz çarpma, yandan çarpma ve kafa çarpma testleri için yapılan tüm ürünler için çalışmalar başlatılmıştır. Kullanılan kapı üzerinde bulunan yandan çarpışma sönümleyici EPP malzemedeki PP malzemeye geçiş önerileri farklı modellerde öneri olarak çalışılmaktadır. Bu modeller şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.8.** Yandan çarpışma sönümleyicilerin kullanıldığı farklı modeller

Çalışmanın başarılı bir şekilde sonlanması ile yapılan tüm önerilerdeki çalışmalar hız kazanmıştır. Öneri sisteminden yapılan girişler sonrasında, EPP malzemedeki yapılan çarpışma sönümleyicilerin PP malzemedeki yapılabilmesi ve bir ürün ortaya konabilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Şekil 5.9.'da bu önerilerden bir tanesi olan kafa çarpma sönümleyicinin EPP malzemedeki yapılmış hali bulunmaktadır.



**Şekil 5.9.** EPP malzeme kafa çarpışma sönümleyici

Konu hakkında PP malzemedeki çarpışma sönümleyici için, rekabetçi ve çevreye duyarlı bir ürün çalışmaları devam etmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda;

- EPP malzemedan yapılan yandan çarpışma sönümleyicinin karakteristik eğri değerlerinin, PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici karakteristik eğrilerine benzerliği %10'luk tolerans değerleri içerisinde kalmaktadır.
- FCA grup içerisindeki ilk PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici ortaya çıkmıştır. Ulusal ve Uluslararası patentler alınmıştır.
- Türkiye ve dünyada benzersiz tasarıma sahip PP malzeme bazlı ilk yandan çarpışma sönümleyici olarak, seri imalatta kullanımı 2015 yılından itibaren başlamıştır.
- EPP malzeme yandan çarpışma sönümleyici üretimi ile ortaya çıkan çevreye zararlı gaz üretimi, PP malzeme üretimi ile %5 oranında azalmaktadır.
- EPP malzeme yandan çarpışma sönümleyicilerin kapı panellerinin montajı sırasında oluşan ıskarta miktarı, PP malzeme yandan çarpışma sönümleyicinin seri imalatta kullanılması ile sıfırlanmıştır.
- EPP malzemedan üretilen yandan çarpışma sönümleyicinin, üretiminde kullanılan enerji miktarı, PP malzemedan yapılan çarpışma sönümleyicinin enerji miktarından %5-6'lık oranda daha fazla olmaktadır.
- EPP malzemedan PP malzemeye geçerek yeni bir tasarım ürünü ortaya çıkarıldığında, parça başına 1,5€ araç başı ise 3€ maliyet indirimi alınmıştır.
- EPP malzemedan yapılan çarpışma sönümleyiciye göre PP malzemedan yapılan çarpışma sönümleyici, aracın ağırlığının 400 gr'lık artırmaktadır.
- Pelvis/Abdomen analizleri konusundaki yetkinliğin artması ve bilgi birikiminin artması gerçekleşmiştir.
- Teydeb projesi anlamında %60 üzeri destek ve seri imalatta kullanılan bir ürün çıktısının olması, nadir görülen proje örnekleri arasına girilmesini sağlamıştır.
- Çalışma sonrası üretilen yeni PP malzeme yandan çarpışma sönümleyici ile yurtdışı bağlılık azalmış ve bu konudaki yetkinlik artmıştır.

TRIZ yönteminin tekrar son aşamada uygulanması ile yaratılan optimize yandan çarpma sönümleyici; seri imalatta kullanılmaya başlanan versiyonuna göre %18 daha hafiftir. Bu tasarım için de yeni patent başvurusu yapılmıştır. TRIZ yönteminin uygulanması ile -0,1 €/parça ve malzeme azaltım çalışması yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

**Adhikary,S., Buktar,R. 2014.** Product Quality improved using TRIZ:A case study in increasing innovative options in manufacturing sector application of triz to reduce of particulate matter in cleaned engine blocks. *IJRET:International Journal of Research in Engineering and Technolgy.* 03,(03).

**Albak,E., Yıldızhan,M., Efendioğlu,B., Öztürk,İ., Solmaz,E., Kaya,N. Öztürk,F. 2016.** Araç Yan Çarpışma Enerji Sönümleyicisinin Optimum Tasarımı. OTEKON 2016 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 23 - 24 Mayıs 2016, BURSA.

**Altshuller, G. 2013.** Yenilik Algoritması : İcat Çıkarma Kitabı – TRIZ . Sistem Yayıncılık, 2013.

**Altshuller,G., 2007.** Ve Birden Mucit Ortaya Çıkıverdi : Yaratıcı Problem Çözme Teorisi. Elma Yayınevi,2007.

**Anonim, 1999.** Evaluation of FMVSS 214 Side Impact Protection Dynamic Performance Requirement. DOT HS 809 004, NHTSA Technical Report,1999.

**Audi,R., Brooks,R., Cormier,J., Smith,D., Rossi,M. 2009.** Modular energy absorber with ribbed wall structure. US7625023

**Bakar,N., Rahim,Z. 2014.** Design to Cost Framework in Production Design Using Inventive Problem Solving Technique(TRIZ). *RISUS-Journal on Innovation and Sustainability.* 5,(2179).

**Bois,P., Chou,C., Fileta,B., Khalil,T., King,A., Mahmood, H., Mertz, H., Wismans,J. 2004.** Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection. American Iron and Steel Institute, 2000 Town Center, Southfield, Michigan 48075,Page 188-201.

**Butdee,S.,Vignat,F. 2008.** TRIZ Method for light weight bus body structure design. *Journal of Achievments in Materials and Manufacturing Engineering.* 31(2).

**Carroll,P., Cormier,J., Smith,D., Audi,R. 2001.** Formed energy absorber. US6247745

**Carroll,P., Cormier,J., Smith,D., Audi,R. 2004.** Composite energy absorber. US6682128

**Carvalho,M.A., Back, N. 1999.** Triz Methodology and Its use in Systematic Engineering Design. 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 22-26 Novembre 1999,Aguas de lindola,Sao Paulo.

**Changqing,G., Kezheng ,H., Yong,Z. 2005.** Creative conceptual design ideas can be gotten with TRIZ methodology. *The TRIZ Journal*,Jun 09,2005.

- Chotika,T., Biermann,J., Koetnuyom,S. 2011.** Energy Absorption Analysis of Various Vehicles under Crash Test Simulation. CST09 , The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering,19-21 October, 2011, Krabi, Thailand
- Cormier,J., Audi, R. 2008.** Modular energy absorber of varying topography and method for configuring same. US7404593
- Dubravcik,M., Babjak,S., Kender,S. 2012.** Product Design techniques in Automotive Production. *American International Journal of Contemporary Research.* 2,(5).
- Filmore,P. 2005.** Why reinvent the wheel-The Efficacy of systematic problem solving method TRIZ and iits value for innovation in engineering and its implications for engineering management. HKIVM,7th International Conference,June 2005.
- Fremgen,C., Mkrтчyan,L., Huber,U., Maier,M. 2005.** Modeling and testing of energy absorbing lightweight materials and structures for automotive applications. *Science and Technology of Advanced Materials,* 6, (8) : 883–888
- Gadakh,V., Mawale,M. 2013.** Application of TRIZ to solve Automotive headlight problem. *Journal of Mechanics&Industry Research,* 1(1):24-26.
- Gilotra,A., Kandoi, D. 2015.** Value Engineering: Cost Reduction of on-road&off-road vehicles. Whitepaper, L&T Technology Services. <http://www.larsentoubro.com/media/32026/wp-val-engg-onroad-offroad-vehicles.pdf>
- Henriksson,K., Kjellander,M. 2015.** Redesign for cost reduction of cars interior:Identification of opportunities and development of concepts. Department of Product and Production Development, Chalmers University of Technology, Gothenburg,Sweden 2015.
- Lee,H.S., Hsieh,L.C. 2009.** Innovaitve Design of an automotic car-door Opening System. *Proceesings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientist.* II,(18).
- Manohar,M., Kalla,P. 2012.** Innovative Conceptual Design on Car using TRIZ Method for Optimum Parking Space, *IOSR Journal of Engineering(IOSRJEN),* 2,(8):52-57.
- Menon,R., Ghati,Y., Jain,P., Tanji,H. 2009.** Evaluation of the effectiveness of side impact protection of children in child restraint systems. *The Canadian Association of Road Safety Professionals (CARSP),* 99: 752.



- Njuguna,J. 2011.** The Application of Energy Absorbing Structures on Side Impact Protection Systems. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 40,(4): 208-207.
- Paulino,M.,Dias,T. 2012.** On the Use of Polyurethane Foam Paddings to Improve Passive Safety in Crashworthiness Applications. *InTech*, 10, (5772) : 337-354.
- Rosli,M.U., Ariffin,M.K, Sapuan, S.M., Sulaiman, S. 2013.** Integrated AHP-TRIZ Innovation Method for Automotive Door Panel Design. *International Journal of engineering and Technology*, 5,(3).
- Roy,F., Gazo,C.,Ossart,F.Marchand,C. 2013.** TRIZ Methodology adapted to Hybrid powertrains. 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 22-26 Novembre 1999,Aguas de lindola,Sao Paulo.
- Sinha, K. 2007.** Reliability-based multiobjective optimization for automotive crashworthiness and occupant safety. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 33,( 3) : 255–268.
- Slik, G.,Vogel, G. 2007.** Use of High Efficient Energy Absorption Foam in Side Impact Padding. 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV),2007
- Tay,Y.Y., Lim, C.S., Lankarani, H.M. 2014.** A finite element analysis of high-energy absorption cellular materials in enhancing passive safety of road vehicles in side-impact accidents. *Journal International Journal of Crashworthiness*, 19,(3).
- Teng, T.L. , Chang, K.C., Nguyen, T.H. 2007.** Crashworthiness Evaluation of Side-Door Beam of Vehicle. *Technische Mechanik*,Band 28,Heft 3-4,(2008),268-278,Manuskripteingang,2007.
- Uzair,M., Rosli,M. 2013.** Car's Dashboard Improvement Design Concepts through Integration of AHP and TRIZ. International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, ISAHP 2013.
- Villalonga,L.,Enderich,T. 2013.** Advanced Simulation Techniques for Low Speed Vehicle Impacts. 6.LS DYNA Anwenderforum,Frankenthal 2007.
- Weber,H. 2013.** Advanced concepts for side impact protection beams. 8th International ATA Conference,Florence,Paper N03A1024(2013).

- Wilson,M. 2003.** Finite Element Analysis of Glass Fibre Reinforced Thermoplastic Composites for Structural Automotive Components. *Doctoral degree*. Department of Mechanical Engineering. University of Nottingham,England.
- Witteman,W.J. 1999.** Improved Vehicle Crashworthiness Design by Control of the Energy Absorption for Different Collision Situations. *Doctoral degree*. Department of Mechanical Engineering. Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven.Holland.
- Yang,C.M., Kao,C.H., Liu,T.H. 2012.** An Innovative Product Design Approach Based on TRIZ's Inventive Principles. *Int. J. Systematic Innovation*, 2(2), 1-8 (2012).
- Yıldızhan,M., Efendioğlu,B., Öztürk,İ., Albak,E., Kaya,N. Öztürk,F. 2014.** Araç Yan Çarpışma Sönümleyicilerin Optimum Tasarımı: Kapı Darbe Sönümleyici Tasarım ve Analizi. OTEKON 2014, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 26 - 27 Mayıs 2014, BURSA.
- Yıldızhan,M., Efendioğlu,B., Öztürk,İ., Albak,E., Kaya,N. Öztürk,F. 2016.** Design of improved energy absorbing pads to reduce occupant injuries in vehicle side impact. *Int. J. of Vehicle Design*, 71, (1/2/3/4) : 174 – 190
- Youn,B.D., Choi, K.K., Yang, R.-J., Gu, L. 2003.** Reliability-based design optimization for crashworthiness of vehicle side impact. *Struct Multidisc Optim* 25, 1–12 (2003),DOI 10.1007/s00158-003-0345-0.
- Yutao,G., Ming,L., Yue,L. 2011.** Energy-absorbing device and automobile door the device. CN101468629.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat YILDIZHAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Zonguldak 1983  
Yabancı Dili : İngilizce / İtalyanca  
Eğitim Durumu  
Lise : Zonguldak Y.D.A Kozlu Lisesi  
Lisans : U.Ü. Makine Mühendisliği  
Y.Lisans : U.Ü. Makine Mühendisliği  
Çalıştığı Kurum ve Yıl : TOFAS A.Ş. 07.01.2013 - Devam Ediyor  
İletişim : murat.yildizhan@tofas.com.tr