

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR B SEGMENT ARAÇ İÇİN ÖN GÖVDE ÇARPMA PARÇALARININ
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cevriye Nur KÖSE

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Ocak 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR B SEGMENT ARAÇ İÇİN ÖN GÖVDE ÇARPMA PARÇALARININ
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cevriye Nur KÖSE
(506111208)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

Ocak 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111208 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **CEVRİYE NUR KÖSE**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BİR B SEGMENT ARAÇ İÇİN ÖN GÖVDE ÇARPMA PARÇALARININ TASARIMI** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sakin ZEYTİN**
Sakarya Üniversitesi

Doc. Dr. Murat BAYDOĞAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **12 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2015**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca yaptığım çalışmalarda ve araştırmalarda bütün bilgi ve deneyimini benimle paylaşan ve bana her konuda destek olan tez danışmanım Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU' na, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN' a, meslektaşım Yük. Müh. Berk DEMİREL' e ve ekip arkadaşım Bahar KORKMAZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda bana yardımını esirgemeyen, deneyimlerini benimle paylaşan iş arkadaşlarım Erkan GÜNGÖR'e, Nilay YÖRÜK'e, Mertcan KAPTANOĞLU' na, Sedat HOROZOĞLU' na, Erkan BULAK' a, Özgün KÜÇÜK' e, Ercüment Bülbül' e ve Volkan YILDIZ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez kapsamında, İstanbul Teknik Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında ve Atılım Üniversitesi Mekanik Şekillendirme Laboratuvarında yapılan test çalışmalarında emeği geçen herkese ayrıca teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca benden ilgisini ve desteğini esirgemeyen, maddi manevi her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan aileme çok teşekkür ederim.

Ocak 2015

Cevriye Nur KÖSE
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELER	5
2.1 Malzeme Seçiminin Önemi	5
2.2 Kullanılan Malzemeler	6
2.2.1 Alüminyum alaşımları.....	7
2.2.2 Çift fazlı çelikler (DP çelikleri)	9
2.2.3 Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (HSLA çelikleri)	11
2.2.4 Ultra yüksek mukavemetli çelikler	11
2.2.5 Dönüşüm kaynaklı plastisite çelikleri (TRIP çelikleri).....	12
2.2.6 İkizlenme kaynaklı plastisite çelikleri (TWIP çelikleri)	12
3. OTOMOBİL ÖN GÖVDE PARÇALARI	13
3.1 Ön Gövde Parçalarının Önemi	13
3.2 Ön Gövde Parçalarının Görevleri.....	14
3.2.1 Ana ray parçası.....	14
3.2.2 Çarpma kutusu parçası	14
3.2.3 Ön tampon parçası	15
3.3 Ön Gövde Parçalarında Kullanılan Malzemeler	15
4. OTOMOBİL ÖN GÖVDE PARÇALARI TASARIM ÇALIŞMALARI.....	17
4.1 Ön Gövde Grubu Parçaları Tasarımı.....	17
4.2 Ön Gövde Grubu Yeni Tasarım Hedeflerinin Belirlenmesi.....	20
4.3 Yeni Tasarım İçin Tasarım Metodolojisinin Oluşturulması	22
4.4 Ön Gövde Grubu Yeni Parça Detay Tasarımı.....	24
4.4.1 Ana ray tasarımı	25
4.4.1.1 Tasarım.....	25
4.4.1.2 Çekme testi.....	30
4.4.1.3 Tasarımın iyileştirilmesi	35
4.4.2 Çarpma kutusu tasarımı	40
4.4.2.1 Tasarım.....	40
4.4.2.2 Tasarımın iyileştirilmesi	48
4.4.3 Ön tampon tasarımı	50
4.4.3.1 Tasarım.....	50
4.4.3.2 Tasarımın iyileştirilmesi	54

5. YENİ ÖN GÖVDE GRUBU TASARIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	57
6. MALZEME SEÇİMİ VE PARÇA KALINLIĞININ BELİRLENMESİ	63
6.1 Tampon İçin Malzeme Seçimi.....	63
6.2 Çarpma Kutusu İçin Malzeme Seçimi.....	64
6.3 Ana Ray İçin Malzeme Seçimi.....	64
7. ÖN GÖVDE GRUBUNUN DARBE EMME ÖZELLİĞİNİN	
DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

KISALTMALAR

DP	: Dual Phase (Çift Fazlı)
HSLA	: High Strength Low Alloy (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı)
TRIP	: Transformation Induced Plasticity (Dönüşüm Kaynaklı Plastisite)
TWIP	: Twinning Induced Plasticity (İkizlenme Kaynaklı Plastisite)
FE	: Finite Element
RCAR	: Research Council For Repair
LSS	: Low Strength Steel (Düşük Mukavemet Çeliği)
HSS	: High Strength Steel (Yüksek Mukavemet Çeliği)
UHSS	: Ultra High Strength Steel (Ultra Yüksek Mukavemet Çeliği)
IF	: Arayer Atamsuz Saclar
MILD	: Yumuşak Saclar
BH	: Fırında Sertleşebilen Saclar
IS	: İzotropik Çelikler
IF-HS	: Yüksek Mukavemetli Arayer Atamsuz Saclar
CMn	: Karbon Manganezli Saclar
CP	: Kompleks Saclar
MART	: Martensitik Saclar
AHSS	: Advanced High Strength Steel (İleri Yüksek Mukavemet Çeliği)
FMVSS	: Federal Motorlu Taşıt Güvenlik Standartları
KJ	: Kilojoule
GPa	: GigaPascal
Km	: Kilometre
MPa	: MegaPascal
SSAB	: Swedish Steel Company

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Optimizasyon çalışmasının prensipleri	23
Çizelge 4.2 : Ana ray alternatif geometrileri (Malzeme – kalınlık matrisi)	27
Çizelge 4.3 : Elastisite modülünün hesaplanması	32
Çizelge 4.4 : 1.8mm kalınlık ve üç farklı yön için “DP600” elastisite modül değerleri	33
Çizelge 4.5 : 2mm kalınlık ve üç farklı yön için “DP600” elastisite modül değerleri	33
Çizelge 4.6 : İki farklı kalınlık ve üç farklı yön için “HSLA500” elastisite modül değerleri.....	34
Çizelge 4.7 : İki farklı kalınlık için “DP600” ve “HSLA500” ortalama elastisite modül değerleri.....	34
Çizelge 4.8 : İki farklı kalınlık için “DP600” ve “HSLA500” ortalama akma dayanımı değerleri	35
Çizelge 4.9 : Ana ray form optimizasyonu tasarım değişkenleri.....	37
Çizelge 4.10 : Çarpma kutusu alternatif geometrileri (Malzeme – kalınlık matrisi). 42	
Çizelge 4.11 : Çarpma kutusu form optimizasyonu tasarım değişkenleri	49
Çizelge 4.12 : Ön tampon alternatif geometrileri (Malzeme – kalınlık matrisi)	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 :Ön gövde çarpma parçaları.....	2
Şekil 2.1 :55 km/saat hız ile aracın öncen çarpması sırasında yolcu kompartmanında meydana gelen büyük deformasyon (Auto motor und sport spezial 1992, photo.H.P. Seufurt).	5
Şekil 2.2 :Alüminyum ve alaşımlarının otomotiv endüstrisindeki uygulamaları.....	8
Şekil 2.3 :Otomobillerde kullanılan gelişmiş çelik türlerinin kullanım yerleri.....	9
Şekil 2.4 :DP1180 çeliğinin tamponda uygulanması.....	10
Şekil 2.5 :DP980 çeliğinin B pillar desteğinde uygulanması.	10
Şekil 3.1 :Araç ön gövdesinin FE modeli.....	14
Şekil 3.2 :Mercedes-Benz ön gövde grubu (Yeşil parça çarpma kutusu).	15
Şekil 3.3 :Ön tampon parçası.....	15
Şekil 3.4 :Çelikler arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi.....	16
Şekil 4.1 :Ön çarpma parçaları mevcut tasarımı.....	18
Şekil 4.2 :Mevcut tasarım için ön gövde çarpma parçalarının enerji sönümleme grafiği	19
Şekil 4.3 :Ön gövde çarpma parçalarının çarpma esnasında şekil değişime durumu	19
Şekil 4.4 :Benchmark yapılan B segmenti bir aracın ön gövde grubu	20
Şekil 4.5 :Benchmark yapılan aracın tampon, çarpma kutusu ve ana ray görselleri ...	21
Şekil 4.6 :Benchmark yapılan başka bir aracın çarpma kutusu görselleri.....	21
Şekil 4.7 :Tasarım metodolojisi.....	22
Şekil 4.8 :Benchmark aracı ön gövde grubu.....	25
Şekil 4.9 :Ana ray üzerine tetikleyici tasarımı.....	28
Şekil 4.10 :Ana ray 1. burkulma modu.....	29
Şekil 4.11 :Ana ray 2. burkulma modu.....	29
Şekil 4.12 :Ana ray delik tetikleyicilerin başlangıç koşulları.....	30
Şekil 4.13 :a) Çekme numunesi (İTÜ) b) Çekme test cihazı (İTÜ).....	31
Şekil 4.14 :a) Çekme numunesi (Atılım Üni.) b) Çekme test cihazı (Atılım Üni.)..	32
Şekil 4.15 :Ray optimizasyonu sonrasında ortaya çıkan delikli tasarım	36
Şekil 4.16 :Optimize edilmiş delikli tasarımın enerji emilim grafiği	36
Şekil 4.17 :Roll form üretim tekniğine uygun ana ray geometrileri.....	37
Şekil 4.18 :Maksimum enerji emiliminin sağlandığı geometri tasarımı.....	38
Şekil 4.19 :Kanallı ray sistemi tasarımı enerji emilimi	38
Şekil 4.20 :Ana ray final tasarımı	39
Şekil 4.21 :Farklı malzemelerde deformasyon hızı etkisinin önemi (Prensip 3).....	40
Şekil 4.22 :Benchmark yapılan formlu yapıya sahip çarpma kutusu görseli	41
Şekil 4.23 :Benchmark yapılan düz yapıya sahip çarpma kutusu görseli.....	41
Şekil 4.24 :Alternatif çarpma kutusu geometrileri yol-enerji sönümleme grafiği.....	44
Şekil 4.25 :Alternatif 7 ve mevcut çarpma kutusu geometrilerinin enerji karşılaştırma grafiği	45
Şekil 4.26 :a) Mevcut tasarım b) Alternatif 7 çarpma kutusu geometrileri	45

Şekil 4.27 :Farklı geometriler için farklı malzemeler ve aynı kalınlık değerleri ile enerji emilim seviyelerinin kontrolü (Prensip 1).....	46
Şekil 4.28 :İki farklı geometrinin farklı kalınlıklarla enerji emilim seviyelerinin kontrolü (Prensip 2).....	47
Şekil 4.29 :Maksimum enerji emiliminin sağlandığı çarpma kutusu geometrisi	49
Şekil 4.30 :Optimizasyon sonrası çarpma kutusu enerji seviyeleri	50
Şekil 4.31 :Alt ve üst kenarlara form verilen ön tampon geometrisi	50
Şekil 4.32 :Düz yüzeye ve bu yüzeyde deliklere sahip ön tampon modeli	51
Şekil 4.33 :Kanallı yapıya sahip ön tampon modeli	51
Şekil 4.34 :Tampon seçimi – Tampon darbe emme enerji grafiği.....	54
Şekil 4.35 :Alternatif 2 tampon geometrisi.....	54
Şekil 5.1 :Ray geometrisinde yapılan form değişikliği.....	57
Şekil 5.2 :Sıralı deformasyonu sağlamak için ana ray üzerine eklenen tetikleyiciler	58
Şekil 5.3 :Ana ray üzerinde bulunan tetikleyicilerin burkulma başlangıcına etkisi ..	58
Şekil 5.4 :Tampon tasarımındaki değişiklik	59
Şekil 5.5 :Çarpma kutusunda kaynak edilebilirlik için bırakılan boşluk	59
Şekil 5.6 :Çarpma kutusunda burkulma eşiğini düşüren tetikleyici tasarımı	60
Şekil 5.7 :Çarpma kutusu üzerindeki radyus farklılıkları	60
Şekil 5.8 :Çarpma kutusu ile tampon arasındaki plaka.....	60
Şekil 5.9 :Düşük hızlı çarpışmada erken deforme olan çarpma kutusunun enerji sönmleme durumu	61
Şekil 7.1 :Yüksek hızlı çarpışmada daha fazla deformasyon enerjisi çıkaran optimum tasarım	65

SEMBOL LİSTESİ

km	: Kilometre
kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
kJ	: Kilojoule
s	: Saat
GPa	: Gigapascal
MPa	: Megapascal

BİR B SEGMENT ARAÇ İÇİN ÖN GÖVDE ÇARPMA PARÇALARININ TASARIMI

ÖZET

Otomotiv endüstrisinde sürücü ve yolcu emniyetinin sağlanması araç ön gövdesinde yüksek mukavemetli ve darbe emici yapıların oluşturulmasını gerekli kılmıştır. Bununla birlikte hem otomobil üreticilerinin hem de kullanıcılarının talepleri göz önünde bulundurulduğunda araç ön gövde parçalarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik çalışmalar gündeme gelmiştir.

Otomobil ön gövde parçalarının önden çarpma durumlarında belirli bir enerjiyi absorplaması gerektiği regülasyonlarla belirtilmiştir. Araçların bu regülatif değerleri sağlaması ön gövde parçalarında daha kalın kesitlerin ve mukavemetli malzemelerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu parçalarda kullanılan daha kalın kesitler araç ağırlığının artışına ve buna bağlı olarak yakıt tüketiminin artması, yolcu kapasitesinin azalması ve CO₂ emisyon seviyesinin regülatif olarak belirtilen değeri desteklememesi ile sonuçlanmaktadır. Bu durumda bu parçalar için kullanılan geometrilerin ve malzemelerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır.

Bu çalışmada benchmark ve literatür araştırmaları sonucunda otomobil ön gövde parçaları olan tampon, ana ray ve çarpma kutusu için uygun olabilecek geometriler ve malzemeler belirlenmiştir. Belirlenen tasarımlar üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılarak en uygun geometri oluşturulmuş ve malzeme seçimi yapılmıştır. Tampon, çarpma kutusu ve ana ray için uygun geometrilerin belirlenmesi sonrasında ön gövde grubunun değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında öncelikle çalışmanın hedefleri; literatür ve benchmark çalışmaları sonrasında “%15 daha hafif, darbe emme enerjisi yüksek ve roll form metodu ile üretilecek geometrilerin belirlenmesi ve doğru malzemenin tayin edilmesi” olarak belirlenmiştir. Bu hedeflere ulaşabilmek adına tasarım metodolojisi oluşturulmuştur. Çalışmalara konsept tasarımı ile başlanmıştır. Sonraki aşamalarda ise ana ray, çarpma kutusu ve tampon için alternatif tasarım çalışması yapılarak olabilecek muhtemel geometriler belirlenmiştir. Bu geometriler için malzeme – kalınlık matrisi oluşturulmuştur. Temel seviyede yapılan tasarım ve analiz çalışmaları sonrasında taslak parça geometrisi belirlenmiştir. Bu geometriler için üç temel presip belirlenerek tasarım ve analiz sürelerini optimize edebilmek için bu prensipler doğrultusunda ilerlenmiştir. Analiz çalışmaları esnasında belirlenen bu prensiplerin doğrulaması da yapılmıştır. İlerleyen aşamalarda çekme testleri yapılarak analizlere girdi teşkil edecek malzeme saptanmıştır. Sonrasında parçanın üretim metodu da göz önünde bulundurularak tasarım iyileştirilmiştir. Üç parça içinde parçalardan beklenen mekanik özellikler düşünülerek en uygun malzeme ve kalınlık belirlenmiştir.

Tüm bu aşamalar sonrasında ise parçaların birbiri ile olan ilişkileri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Tasarımda güncellemeler yapılarak son seviye analiz çalışmaları yapılmıştır.

Test, tasarım çalışmaları ve analiz sonuçları değerlendirildiğinde; darbenin ilk karşılaştığı parça olan tamponun düşük hızlarda kendisinden sonra gelen çarpma kutusu ve ana rayların etkilenmemesi için daha mukavemetli malzeme seçilmesi gerektiği analizlerde gözlemlenmiştir. Daha mukavemetli malzeme seçimi daha ince kesitlerin kullanımına imkan vermiştir. Böylece tampon parçasında ağırlık azaltılması sağlanmıştır. Ayrıca roll form metodu ile üretilebilmesi için parça geometrisi incelenmiş ve tamponun kenar yarıçapları kaldırılmıştır. Tamponun görevi düşünülmüş ve hem mekanik özellikler hem de roll form üretim tekniğine uygun olduğu için Docol 1400 malzemesi seçilmiştir. Bu malzemenin seçimi ile bu parçada daha ince bir kalınlık kullanılmıştır. Çarpma kutusu için yapılan analiz çalışmaları sonrasında düşük hızlarda çarpışma olaylarında ana rayların etkilenmemesi için tetikleyici tasarımı yapılmıştır. Tetikleyici tasarımı sonrasında yapılan analizlerde darbe enerjisi emiliminde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Yapısal olarak en önemli parçalardan biri olan ana raylar için de sıralı ve kademeli deformasyonun sağlanması adına tetikleyici tasarımı yapılmıştır. Analiz sonrasında belirlenen burkulma modları ile tetikleyicilerin yerleri belirlenmiş ve deformasyon yönlendirilmiştir. Böylece çarpma esnasında darbe enerjisinin yolcu ve sürücü bölgesine iletilmesi engellenerek yolcu ve sürücü güvenliği sağlanmıştır. Ana rayların roll form metodu ile üretilecek olmasında uygun geometrilerin belirlenmesinde etkili olmuştur.

Sonuç olarak, yapılan tasarım çalışmaları sonrasında roll form metodu da göz önünde bulundurularak belirlenen geometriler üzerinde tetikleyici tasarımı yapılmış ve deformasyon yönlendirilmiştir. Ayrıca doğru malzeme ve kalınlık seçimi ile de gövde parçalarında ağırlığın azaltıldığı ve darbe emme enerjisinin arttığı görülmüştür.

DESING OF FRONT BODY CRASH COMPONENTS FOR B SEGMENT SMALL CAR

SUMMARY

In automotive industry, use of high strength and shockabsorber structure is made essential on vehicle front body because of providing driver' s and passenger' s safety. Besides; vehicle front body components are to be developed and improved according to both automanufacturers and automobile drivers.

Regulation is emphasized that vehicle front body components have to absorb at frontal collision situation. Materials that have harder, thicker and high strength properties are used on front body components for providing regulation. Vehicle weight is increased because of using thick section on front body components; therefore, fuel consumption increases , passenger capacity decreases and CO₂ emission level does not support regulation. As a result, geometry of front body components is to be developed and improved. In addition, material selection is very important in this area.

In this study, applicable geometries and materials that are used in automotive industry were determined for front body components which were crashbox, front bumper and main rails according to benchmark studies and literature research. Designs which were determined were developed so that the best geometry was selected and study belonging to material selection was completed for this geomerty. Front body components were evaluated after design studies were completed with material selection.

In this case, firstly literature investigations and benchmark activities were done on B segment vehicles. After these activities, basic geometries belonging to front body crash components which were crash boxes, main rails and front bumper were designed. And then impact absorption energy at the time of front collision was evaluated according to Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations 208 Occupant Crash Protection. At he same time impact absorption energy belonging to basic geometries was analyzed by analysis computer programme. In this study, DS / CATIA V5 computer programme was used for design studies. In addition, HyperMesh Pre-processor computer programme was used for mesh activities which were done before analysis activities. After mesh activities, HyperView Post-processor computer programme was used for analysis studies. Finally Radioss computer programme was used for evaluating result of analysis studies. The result of impact absorption energy which was determined by FMVSS 208 regulation was compared with the result of analysis computer programme. The results showed that impact absorption energy belonging to basic design of front body crash components did not provide the regulation which was determined for having this weight and B segment vehicle. These results were taken as a reference. Benchmark studies and literature investigations were done on B segment vehicle by a private computer benchmark programme for determining new design targets.

After benchmark studies and literature investigations, targets of study were determined as selection of the best material and the most applicable geometry that should be produced with roll form method and had lighter body than the others. In addition, it should have high strength and high shock absorption energy. Design methodology was made for both reaching study targets and studying effectively. This methodology had got six steps. First step belonging to design activities started as concept design that was done for each of components according to benchmark studies and literature investigations. Materials which were used on front body crash components were determined. Alternative geometries were prepared for crash boxes, main rails and front bumper. And then material and thickness matrix was prepared for these geometries which were crash boxes, main rails and front bumper. Draft geometries were determined according to result of design and analysis studies. Basic principles were determined for this geometry and studies were proceeded with these principles which were confirmed during analysis studies. Second step, material characterization studies which were tensile tests were done because of the fact that the results were used in analysis program as an input. Third step, design was improved according to roll form production method, and it was targeted that new geometries were lighter than first geometries. So that design improve activities were done. Fourth step, connection of components with each other and other components which were situated in same front body package were viewed. After analyzing, new geometries belonging to front body crash components were updated. Fifth step, material selection was done for reduction of front body weight. At the same time, thickness was determined for components. So that it was provided that lighter geometry was designed. The last step, the new geometries belonging to front bumper, main rails and crash boxes were analysed. The analysis study was done at low speed and high speed. It was seen that when low speed collision happened, crash boxes and front bumper were deformed, and main rails were not deformed. In addition, when high speed collision happened, impact absorption energy was better than first geometry. And it was seen that both weight was reduced on front body crash components and impact absorption energy was improved by comparison first design.

When the result of study, design activities and analysis were evaluated; it was seen that bumper was important component and firstly impact faced with bumper which was used high strength materials because of the fact that main rails and crash boxes were not affected negatively at low speed. In addition, bumper was evaluated and it was seen that if this component was produced with roll form method, side radius could be removed. Docol 1400 material was used on this component because of both mechanical properties and roll form method feasibility. Thus, thin section was used on this component. After analysis studies, trigger design was done for crash boxes because of the fact that main rails were not affected negatively at low speed. Analysis was made again and it was seen that impact absorption energy was improved for this component. Trigger design was also done for main rails which were the most important structural parts for providing serial and fraction deformation. Trigger's location was determined according to the result of buckling analysis. After this study, deformation was directed with trigger. Thus, impact energy was blocked, safety of passengers and drivers was ensured. In addition, front body weight was reduced with using different materials and thin section. And consequently, environmental pollution was reduced and it is aimed reduction of CO₂ gases emission. At the same time, fuel consumption which is always very important for both producer and consumer was reduced and improved.

In conclusion, after design activities were completed according to roll form production method, trigger design was done on components and deformation was directed. In addition, right material was selected and thickness was decreased so that weight reduction studies were completed; on the other hand, impact absorption energy were increased. Final design, Docol 1400 material and 1.00mm thickness was used on front bumper component. So that high strength structure was built for this component. DP600 steel and 1.6mm thickness was used on crash boxes. Thin section was created for this component. Finally, DP780 steel and 1.8mm thickness was used on main rails. In this way, impact absorption energy was improved and weight of front body was reduced by comprasion first design.

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde sürücü ve yolcu emniyetinin sağlanması, araç ön gövdesinde yüksek mukavemetli ve darbe emici yapıların oluşturulmasını gerekli kılmıştır. Sürücü ve yolcu emniyetinin sağlanması ile yaya emniyetinin sağlanmasında da araç ön gövdesinin araç dayanımı ile birlikte yüksek ve düşük hızlar için darbe emme kabiliyeti önemli yer tutmaktadır. Sürücü, yolcu ve yaya emniyetinin sağlanmasına yönelik özel tasarımların yapılması ve ilave yapıların gelmesi, araç ön gövdesinin ağırlaşmasına neden olmaktadır. Aracın ağır bir gövdeye sahip olması yakıt tüketiminin artması ve daha fazla CO₂ salınımı ile sonuçlanmaktadır. Bu durum hem üreticiler hem de tüketiciler tarafından hoş karşılanmamaktadır. Aracın hafifletilmesi ve bununla birlikte daha az yakıt tüketimi hedeflenmektedir [1]. Ayrıca yasal zorunluluklar nedeniyle düşük CO₂ emisyon seviyesinin sağlanması, aracın hedef pazarı için güvenlik ve uluslar arası araç dayanım özelliklerinin desteklenmesi gerekmektedir [2].

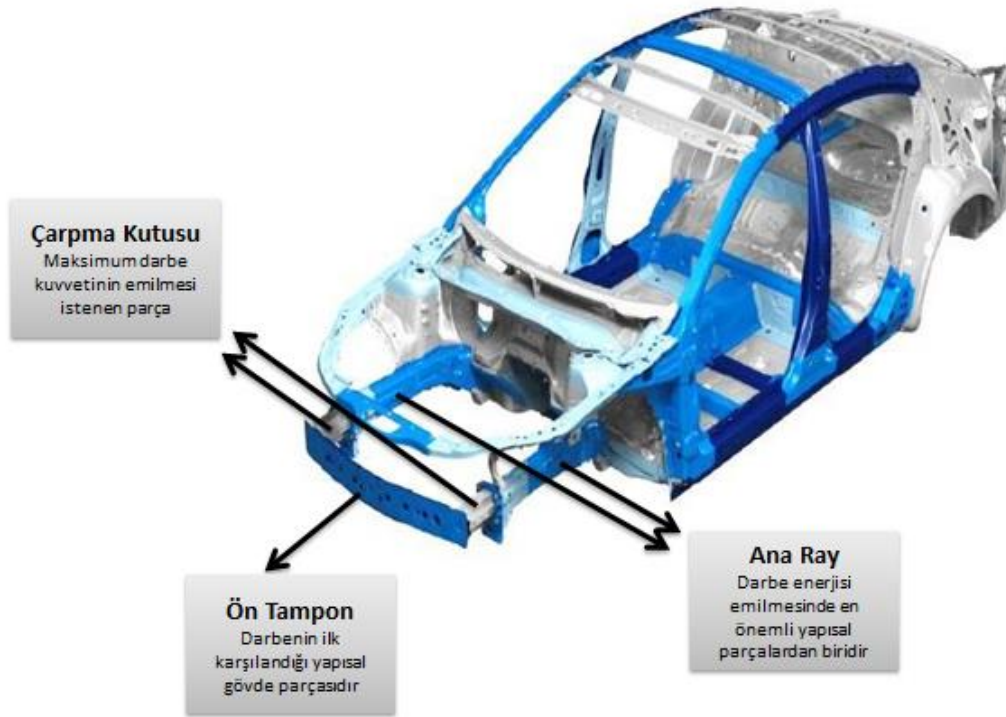
Şekil 1.1' de belirtildiği üzere ön gövdede çarpma dayanım performansını etkileyen üç ana parça vardır Bu parçalar ön tampon, çarpma kutusu ve ana ray ön gövde parçalarıdır. Çarpma enerjisinin büyük bir kısmının Şekil 1.1' de belirtilen bu üç parça tarafından karşılanması beklenmektedir [3,4].

Tampon parçası: Darbenin ilk karşılandığı parçadır. İki çarpma kutusu boyunca uzanan tampon parçası, farklı çarpma kuvvetlerinin çarpma kutusu ve ana ray parçalarına aktarılması açısından önemlidir. Kuvvet aktarımı sırasında bu parçanın deforme olarak ilk darbe enerjisini bir miktar emmesi beklenir. Darbe emici olan yüksek mukavemetli malzemelerden üretilir.

Çarpma kutusu parçası: Tampondan sonra ikincil darbe emici yapısal parçadır. İki ana ray yapısı üzerinde genellikle birer adet vardır. Tampondan sonra darbe kuvvetinin bir kısmının da bu parça tarafından emilmesi beklenir. Bu nedenle geometrik tasarımı da parçanın katmanlar halinde ezilmesine imkan verecek şekilde yapılır. Malzeme seçimi deformasyon sırasındaki hareketi nedeniyle çok önemlidir.

Çarpma kutusu parçasının tamamen ezilmeden arka bölgeye darbe kuvvetini iletiyor olması istenmemektedir. Çarpma hızlarına göre gerek tampon gerekse çarpma kutusu yapısının servis ve maliyetler açısından uygun deformasyon özellikleri gösterecek şekilde tasarlanmış olmalıdır. Özellikle düşük hızlı çarpmalarda sadece ön tamponun daha sonra çarpma kutusunun yapısının deforme olarak aracın diğer yapısal parçalarını etkilememesi önemlidir.

Ana ray parçası: Önden çarpmada darbeyi karşılan önemli diğer parçadır. Bu parçanın geri kalan enerjiyi emmesi ya da diğer ön gövde yapısal parçalarını etkilemeyecek şekilde deforme olması beklenir. Özellikle sürücü güvenliği açısından sürücü bölgesinde deformasyon olmaması direktiflerde şart koşulmuştur [4].



Şekil 1.1: Ön gövde çarpma parçaları [4]

Ön gövde parçalarının istenilen performansı sağlamasında etkili olan birçok etmen vardır. Bunlardan başlıcaları ;

- Bu parçalarda kullanılan malzemenin türü
- Parçaların üretim metodları
- Parçaların kesit alanlarıdır.

Ön gövde parçalarının hem darbelere karşı direncinin yüksek olması hem de hafif olması istendiğinden bu parçalar için seçilen malzemenin mekanik özellikleri önemlidir. Seçilen malzemeye göre üretim metodu değişmekte olup seçilen metoda göre malzemelerin mekanik özellikleri değişmektedir [5]. Son zamanlarda kullanılan imalat metodlarından birisi de roll forming prosesidir.

Roll forming, uzun şerit malzemenin istenilen kesit ve profile göre, çeşitli istasyonlardan ve adımlardan geçirilerek rollerlar aracılığıyla bükülmesi ile yapılan bir soğuk şekillendir prosesidir. Bu prosesin avantajları;

- ✓ Yüksek üretim hacmi
- ✓ Düşük işgücü alımı
- ✓ Yüksek yüzey kalitesi
- ✓ Düşük boyutsal tolerans
- ✓ Çok sert ve sünekliliği düşük olan metallerin şekillendirilebilme kolaylığı [6]

Bununla birlikte tasarımda bu parçaların darbe dirençleri ve istenilen mukavemet özellikleri göz önünde bulundurularak kesit alanları belirlenmektedir [5].

Otomotiv endüstrisindeki uygulamalar için aranan yüksek dayanım-uzama kombinasyonunun sağlanması için genellikle ön gövde parçalarında yüksek mukavemetli çelikler tercih edilmektedir. Bu sayede bu parçalarda talep edilen özellikler sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ön gövde parçaları olan tampon, çarpma kutusu ve ana rayda kullanılacak daha hafif, yüksek mukavemete sahip, düşük ve yüksek hızlarda darbe emme kabiliyeti yüksek, araç geometrisine uygun ve roll forming metodu ile üretilebilecek ön gövde parçaları tasarımı yapılarak, doğru malzemenin ve kalınlığın belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca çift fazlı çelikler üzerinde mekanik testler yapılarak seçilen kesit doğrultusunda gösterdiği mekanik özellikler incelenmiştir.

Araçların ön gövdelerinde bulunan bu üç temel parça için uygun geometri tasarımı ve doğru malzeme seçimi ile kalınlık ataması yapılarak ön gövdenin hafiflemesi ve darbe emme enerjisinin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

2. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELER

2.1. Malzeme Seçiminin Önemi

Önümüzdeki yüzyılda artarak devam eden ekolojik kaygılar, dünyadaki otomobil üreticilerini yeni arayışlara ve araştırmalara yöneltmiştir. Güvenlikten ödün vermeden ve konfordan vazgeçmeden az yakıt tüketen otomobiller için hafif, fakat mukavemeti yüksek alaşımların geliştirilmesi ve malzemelerin seçilmesi otomobil üreticilerinin hedefleri arasında yer almaktadır[8,9]. Bu isterler göz önünde bulundurulduğunda yeni tasarımlarda, araçların önden gelebilecek darbelere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, konvansiyonel uzunlamasına yapılarda ön taraftan çarpma esnasında yolcu kompartmanı deforme olmadan enerji aracın ön kısmında absorblanamamaktadır. Şekil 2.1 de, bir aracın rijid bir bariyere çarpma durumu gösterilmiştir[8].



Şekil 2.1: 55km/saat hız ile aracın önden çarpması sırasında yolcu kompartmanında meydana gelen büyük deformasyon (Auto Motor und Sport spezial 1992, photo H.P. Seufert)[8]

Yolcuların kaza anında korunması için, yolcu kompartmanı deforme olmamalı ve bu bölgede intrüzyondan sakınılmalıdır. Bunun sağlanabilmesi için de özel stiffness değerleri hesaplanmalı ve doğru malzeme seçimi yapılarak araç tasarlanmalıdır[8].

2.2. Kullanılan Malzemeler

Otomotiv endüstrisinde, taşıt araçları üretilirken, yakıt tüketimini ve araç ağırlığını azaltmak, bununla birlikte yolcu kapasitesini arttırmak için malzeme seçiminin önemi büyüktür. Bunun yanı sıra sürücü, yolcu ve yaya emniyetinin sağlanması gerekliliği de göz önünde bulundurulduğunda yüksek mukavemetli, dayanıklı ve aynı zamanda araçlarda ağırlık azaltılmasında rol alan malzemeler tercih edilmektedir[14].

Malzeme seçiminde en önemli parametreler ise hammadde ve proses maliyeti, kalite ve sağlamlık, sürekli malzeme temin edilebilirlik, mukavemet ve korozyon gibi fonksiyonel özellikler, üretim yöntemleri, oluşan atıklar ve geri dönüşebilirliktir.

Otomobil kullanıcılarının, sosyal ve küresel istekleri gittikçe artmaktadır. Bu isteklerin başında;

- ✓ Doğal kaynakların korunması
- ✓ Yakıt tüketiminin azaltılması (Araçların hafifletilmesi)
- ✓ Çevre kirliliğine karşı alınacak önlemler (CO₂ egzoz gazının emisyonlarının azaltılması, HC, CO, NO_x egzoz gazlarının emisyonlarının azaltılması)
- ✓ Kullanım güvenliğinin artırılması
- ✓ Rahat kullanımın artırılması gelmektedir.

Bu istekler göz önünde bulundurulduğunda son yıllarda otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemelerin iyileştirilmesi ve alternatif malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır[15].

Otomotiv endüstrisinde kullanılan alternatif malzemeler;

- 1) Alüminyum alaşımları
- 2) Çift fazlı çelikler (DP çelikleri)
- 3) Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (HSLA çelikleri)

- 4) Ultra yüksek mukavemetli çelikler
- 5) Dönüşüm kaynaklı plastisite çelikleri (TRIP çelikleri)
- 6) İkizlenme kaynaklı plastisite çelikleri (TWIP çelikleri)

2.2.1.Alüminyum alaşımları

Günümüz endüstrisinde çelikten sonra en fazla kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafif olmaları, iyi ısı ve elektrik iletkenlikleri, arttırılabilen mukavemet özellikleri ve korozyona karşı dirençleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için günümüzde önemli bir malzeme konumundadır. Özellikle son yıllarda, enerji tasarrufuna dönük çalışmalar, daha az yakıt harcayan, hafif ve ekonomik taşıtların üretimini gündeme getirmiş alüminyum alaşımları, otomobillerde otobüslerde, trenlerde, deniz taşıtları yapımında öncelikli olarak tercih edilen malzemeler olmuştur[9]. Bununla birlikte otomobil üreticilerinin, üretimde verimliliği korurken işletme maliyetlerini düşürmeye çalışan bir üretim anlayışı ile çevreyi daha az kirleten, malzeme geri dönüşümünün çok daha kolay olduğu, emniyet ve konforu bir arada sağlama hedefleri alüminyum ve alaşımlarının kullanılmasında belirleyici olmaktadır[14].

Alüminyum, çelik ve demire göre yaklaşık üç kat daha hafiftir. Otomobil toplam ağırlığındaki her %10' luk azalma %5-10 oranında yakıt tasarrufu sağlamaktadır. 1.400kg ağırlığındaki bir taşıtta geniş kapsamda alüminyum kullanımı taşıtın ağırlığında 300kg azalmaya neden olmakta, taşıtın toplam ağırlığında %20' lik bir azalma sağlamaktadır.

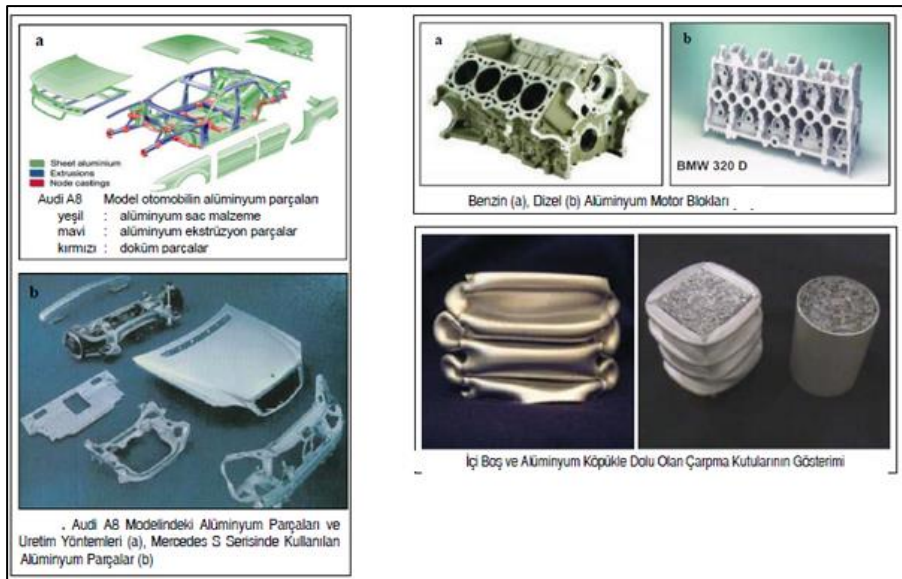
Alüminyum, demir-çelik malzemelerden sonra, mekanik özelliklerin üstünlüğü nedeniyle, çağımızın en çok kullanılan ikinci metalidir. Alüminyumun metal olarak özellikleri birçok durumda onun ideal ve ekonomik bir malzeme olmasını sağlamaktadır[9]. Alüminyumun tercih edilmesinde belirleyici özellikleri;

- ✓ Uygun mekanik özellikleri ile birlikte düşük ağırlık
- ✓ Korozyona karşı dayanım
- ✓ Alaşımlarının sağlamlık ve yumuşaklık açısından son derece çeşitli olması
- ✓ Koku ve kimyasallara karşı dayanım ve hijyenik koşullar
- ✓ Uygulanan enerjiyi barındırma yeteneği

- ✓ Geri dönüşebilir olması
- ✓ Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği
- ✓ Parlama ve alev almazlık
- ✓ Magnetik nötralite
- ✓ Kolay işlenebilme ve biçimlendirilebilmesi
- ✓ Çok farklı yöntemlerle yüzey işlemleri

Otomobillerdeki yapının kinetik enerjiyi absorbe etme kapasitesi, kullanılan malzemenin mekanik karakteristikleri, tasarım ve montaj şekilleriyle belirlenmektedir. Yapılan çok sayıda çarpma testi, enerji absorbe etme karakteristiklerinin alüminyum kullanımıyla iyileştirebildiğini göstermektedir. Bu sebeple alüminyum ön darbe sistemlerinde kullanım için idealdir.

Araçların motor kısmında alüminyum köpük malzemeler, ısı ve ses yatkınlığı özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Yine otomobillerde güvenliği artırmak nedeniyle şase ve tampon arasına yerleştirilen çarpma kutusunda, tampon ve kapılarda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Taşıtların iç ve dış panellerinde de, alüminyum levha uygulamaları ile önemli derecede araçta hafifleme sağlanmaktadır. Şekil 2.2’ de alüminyum ve alaşımlarının otomotiv endüstrisindeki uygulamaları gösterilmiştir[16].



Şekil 2.2: Alüminyum ve alaşımlarının otomotiv endüstrisindeki uygulamaları[16]

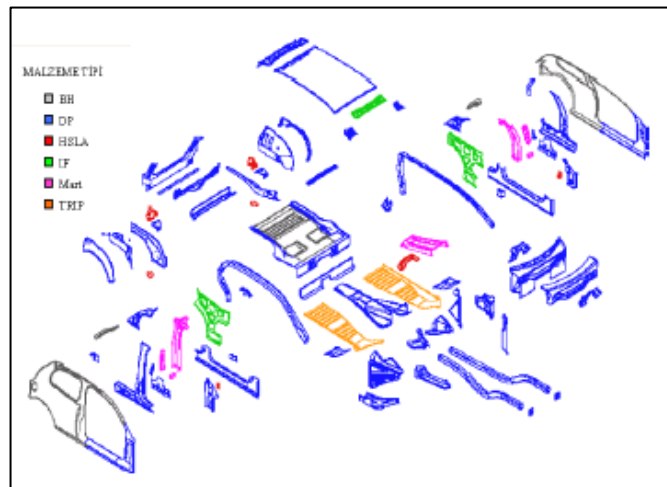
2.2.2. Çift fazlı çelikler (DP çelikleri)

Çift fazlı çelikler üretildikleri yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklere (HSLA) göre daha iyi dayanım-süneklik özellikleri göstermektedir. Bu özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde önemli bir konuma sahiptirler. Otomobil parçalarında çok iyi şekil alabilirliğe sahip çift fazlı çelikler kullanılarak araçların ağırlığı azaltılır ve yakıt tüketiminde önemli oranda tasarruf sağlanır[17].

Çift fazlı çeliklerin tercih edilme sebepleri;

- ✓ Yüksek pekleşme oranı
- ✓ Sürekli akma davranışı
- ✓ Düşük akma dayanımı
- ✓ Yüksek düzgün ve toplam uzama
- ✓ Yüksek dayanım
- ✓ Yüksek yorulma dayanımı
- ✓ Korozyon direnci

Bu özellikleri ile çift fazlı çelikler; kolay şekillendirme, şekillendirme sonrası daha da yüksek dayanım, düşük miktarda ve gecikmiş deformasyon yaşlanması, daha az malzeme kullanımı ile taşıt ağırlığının azaltılması gibi çok değerli ekonomik ve teknolojik yararlar sağlamaktadır. Şekil 2.3’ de otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türleri gösterilmiştir. Mavi renk ile belirtilen parçalar DP çeliklerinden üretilmiştir[12].



Şekil 2.3: Otomobillerde kullanılan gelişmiş çelik türlerinin kullanım yerleri[12]

Otomotiv endüstrisinde DP çelikleri Şekil 2.4 ve 2.5’ de örneklendiği gibi genellikle tampon malzemesi olarak, B pillarlarda ve jant uygulamalarında kullanılmaktadır[18].



Şekil 2.4: DP 1180 çeliğin tamponda uygulanması (kalınlık 1.35mm)[18]



Şekil 2.5: DP 980 çeliğin B pillar desteğinde uygulaması[18]

2.2.3. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (HSLA çelikleri)

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik (HSLA) daha iyi mekanik özellikler veya karbon çeliğe oranla korozyon direnci daha iyi olan çelik türüdür[4]. Çift fazlı çelikler, HSLA çeliklerine oranla daha mukavemetlidir[17].

2.2.4. Ultra yüksek mukavemetli çelikler

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik ürünleri sıradan çelikler ile karşılaştırıldıklarında geniş avantajlar sunmaktadır. Bu çeliklerin en önemli özellikleri ise nihai ürün ağırlığının azaltılmasını sağlayarak daha hafif parça yapımını mümkün kılmasıdır.

Ultra yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı ile maliyetin azalmasına yardımcı olan gerekli malzeme miktarını düşürmek mümkün olmaktadır. Bununla birlikte işlenmesi gereken malzeme miktarındaki azalma, taşıma ve depolama kapasitesinde de azalmaya yol açmaktadır. Ağırlıkta %50 oranlarında azalmaya neden olmaktadır. Bu çeliklerin yüksek mukavemet özelliği sayesinde araçların daha güvenli olması sağlanmaktadır.

Bu çeliklerin roll forming metodu ile üretilmeside mümkündür. Bu metodla üretilmiş çelikler, diğer çeliklere oranla daha iyi özelliklere sahiptir. Bu çeliklerin başlıca özellikleri;

- ✓ Aynı mukavemet özelliğine sahip çeliklerden daha dar bükülebilme yarıçapına sahip
- ✓ Kompleks parça imalatını mümkün kılar
- ✓ Diğer yüksek mukavemetli çeliklere oranla daha iyi düzlük ve boyutsal stabilite sağlar
- ✓ Roll forming ile imal edilebilir ve geri yaylanması önemli ölçüde azalır
- ✓ İyi kaynaklanabilme özelliğine sahip
- ✓ Homojen mikroyapısı

Bu çelikler otomotiv endüstrisinde, ön-arka tampon kuvvetlendirici, maşpiyel kuvvetlendiricisi, ön direk, yan darbe barları, tavan kavis ve bel kuvvetlendiricisi olarak kullanılmaktadır[6].

2.2.5. Dönüşüm kaynaklı plastisite çelikleri (TRIP çelikleri)

TRIP çelikleri otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik türlerindendir. TRIP çelikleri diğer çeliklere nazaran daha kompleks mikroyapıya sahiptir. Yeni emniyet düzenlemelerine uymak için otomobil üreticileri; çarpışma enerjisini absorplamak için ön kısmı yeniden dizayn etmekte ve yolcu kabininde içeri geçmeyi önlemeye çalışmaktadır. Bu nedenle de bu çelikler endüstride gövde parçalarında kullanılmaktadır[10].

TRIP çeliklerinin özellikleri;

- ✓ Yüksek gerinimlerde çalışma sertleşmesinin görülmesi
- ✓ Yüksek yorulma dayanımı
- ✓ Kolay şekillendirilebilme özelliği
- ✓ Yüksek mukavemet
- ✓ Düşük araç ağırlığına imkan vermesi [11]

2.2.6. İkizlenme kaynaklı plastisite çelikleri (TWIP çelikleri)

TWIP çelikleri dizayn, performans, korozyon, düşük maliyet ve yakıt tasarrufu gibi müşteri beklentilerinin yanı sıra emisyon, çevresel düzenlemeler ve kaza güvenliği gibi diğer gerekliliklerin ortaya çıkması sonucu geliştirilmiştir. Bu çelikler yüksek mukavemet ve mükemmel şekil alabilirliğinde dolayı tercih edilmektedir. Sahip oldukları yüksek çekme mukavemeti-süneklik kombinasyonu ile çevre dostu ve güvenilir olduğu ortaya çıkmaktadır. %15-30 arası yüksek mangan içeriğinin yanı sıra alüminyum, silisyum ve karbon gibi alaşım elementleri katılarak mekanik özelliklerin kontrolü sağlanmaktadır[20].

TWIP çeliklerinin genel özellikleri;

- ✓ Yüksek oranda mangan içermeleri nedeniyle yüksek mukavemet
- ✓ Mükemmel şekil alabilme kabiliyeti[21]

3. OTOMOBİL ÖN GÖVDE PARÇALARI

3.1.Ön Gövde Parçalarının Önemi

Araç tasarımı alanında kazaların önlenmesi ve kaza anında oluşacak can ve mal kayıplarının azaltılması için yeni güvenlik önlemleri geliştirilmektedir. Bu güvenlik önlemleri genel olarak aktif ve pasif güvenlik önlemleri şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Aktif güvenlik, sürücünün kazadan kaçınması için taşıtın kontrol ve frenleme yeteneklerini arttıracak şekilde bilgilendirme sistemleri ve kaza ihtimalini sezip aracı bu durumdan çıkaracak şekilde devreye giren kontrol algoritmalarını içerir. Pasif güvenlik ise bir kaza ile karşılaşılması durumunda, kazanın olumsuz etkilerini mümkün olduğunca azaltmak amacıyla araç üzerinde alınan malzeme değişikliği önlemi ve yapısal iyileştirmeler gibi tasarım önlemleridir[26].

Araçların önden çarpışması durumunda aracın önündeki deformasyonun yolcu bölmesine doğru ilerlemesi güvenlik açısından istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir. Bu tür kazalarda aracın kinetik enerjisinin dengeli ve sürekli bir biçimde sönmülmesi ile atalet etkileri azalır ve araç içindeki kişilere gelecek zararlar daha az olur. Araçların önden çarpışma durumunda yolcu kabinine daha az zarar gelmesi açısından ön tapmonun arkasında darbe emiciler kullanılır. Darbe emiciler, aracın sahip olduğu kinetik enerjiyi, plastik deformasyona uğrayarak belli bir oranda sönmülerler. Önden çarpışma anında ilk darbeyi alan tampondan sonra darbe emiciler üzerinde enerjinin belli bir kısmı absorbe edilir. Enerjinin absorbe edilmesi, ön darbe emicilerin akordiyon şeklinde katlanarak plastik deformasyona uğraması ile gerçekleşir. İlk çarpma anında tampon deforme olarak belli bir miktar enerjiyi absorbe eder ve arkasından darbe emiciler deforme olmaya başlar, eksenel yönde gelen tepki kuvveti en yüksek değerine ulaşır, daha sonra tepki kuvvetleri ortalama bir değer etrafında salınmaya başlar. Bu sırada yapı yerel burkulmalar ile iç içe katlanarak kısalır.

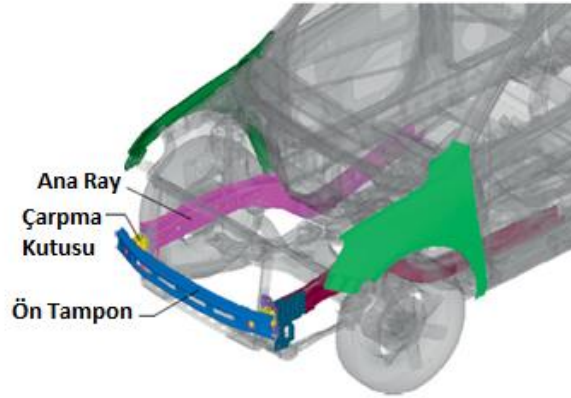
Hem sürücü ve yolcu güvenliği hem de daha hafif, çevre dostu ve otomobil kullanıcılarının beklentileri dikkate alındığında ön gövde parçalarında kullanılan malzemelerin önemi ve alternatif yeni malzemelerin kullanılması günümüzde önem kazanmaktadır. Bu tez çalışmasında bu parçalar için uygun geometri tasarımı yapılarak kullanılan alternatif malzemeler değerlendirilmiş, bu malzemelerin kesite ve roll forming metodu ile üretilmesi için mekanik özellikler kıyaslanmıştır[25].

3.2.Ön Gövde Parçalarının Görevleri

Ön gövde parçaları üç başlık altında incelenmektedir.

3.2.1. Ana ray parçası

Ana ray parçası, araç ön gövdesinde yerleşim olarak tampon ve çarpma kutusu parçasından sonra gelen bir parçadır. Şekil 3.1’ de araç ön gövdesinde bulunan parçaların FE modeli gösterilmiştir. Araç ön gövde paketi içerisinde yolcu bölgesine daha yakın bir parça olması sebebiyle kaza esnasında darbe enerjisinin bir kısmının tampon ve çarpma kutusu tarafından emilerek kalan enerjinin de ana ray tarafından emilmesi istenmektedir. Enerji emilimi açısından ve araç güvenliği açısından önemli bir yapısal parçadır.[8,36].

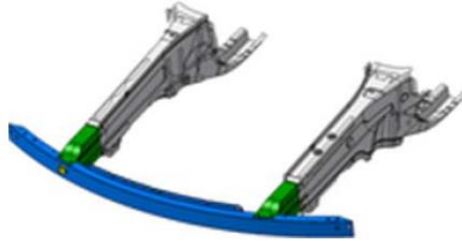


Şekil 3.1: Araç ön gövdesinin FE modeli[36]

3.2.2. Çarpma kutusu parçası

Çarpma kutusu parçası, ön tampon ve ana rayların arasında bulunmaktadır. Önden çarpma durumunda, bu parçanın plastik deformasyona uğrayarak darbe enerjisini absorblaması istenmektedir. Bu parçadan kaza esnasında göstermesi beklenen

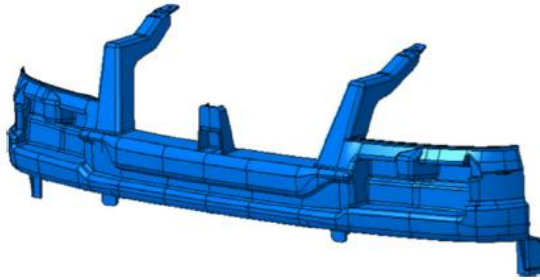
performansı “Research Council for Automobile Repair (RCAR)” regülasyonu ile belirtilmiştir [30,31]. Şekil 3.2’ de bir aracın ön gövde grubu gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Mercedes-Benz ön gövde grubu (Yeşil parça çarpma kutusu)[34]

3.2.3. Ön tampon parçası

Şekil 3.3’ de belirtilen ön tampon parçası, araçların en önemli güvenlik parçalarından biridir[28]. Kaza esnasında önden alınan darbe esnasında darbe enerjisinin emildiği parça olması aracın temel yapısal parçalarından olmasına neden olmuştur. Ayrıca darbenin ilk karşılandığı parça olması ile de darbe enerjisinin bir kısmının bu parça tarafından absorplanması istenmektedir. Regülasyonlarda da ön gövde parçaları için önden çarpma durumlarında araç gövdesinin ve yolcuların güvenliğini sağlayacak şekilde tasarımların yapılması gerekliliğinin belirtilmesi, bu parçaya ilişkin yapılan çalışmaların geniş bir yer bulmasına neden olmuştur[29].



Şekil 3.3:Ön tampon parçası [29]

3.3. Ön Gövde Parçalarında Kullanılan Malzemeler

Otomotiv sektöründe sürücü ve yolcuların emniyet ve konforu, aracın ise dayanım, performans ve ömür özelliklerini arttırmaya yönelik gelişmeler otomobil gövdelerinin ağırlaşmasına sebep olmaktadır. Otomotiv özellikleri ile ilgili bu gelişmeler araç ağırlığını arttırırken diğer taraftan çevreci standartlar CO₂ emisyon şartlarını düşürmekte, azalan doğal enerji kaynakları ve pahalılaşan enerji kullanımı

daha hafif araçların üretilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple hafif araç tasarımı yapılırken;

- ✓ CO₂ emisyon şartları
- ✓ Dayanım ve güvenlik beklentileri
- ✓ Araç performansı ve yakıt tüketimi beklentileri
- ✓ Düşük maliyet hedefleri göz önünde bulundurulmaktadır.

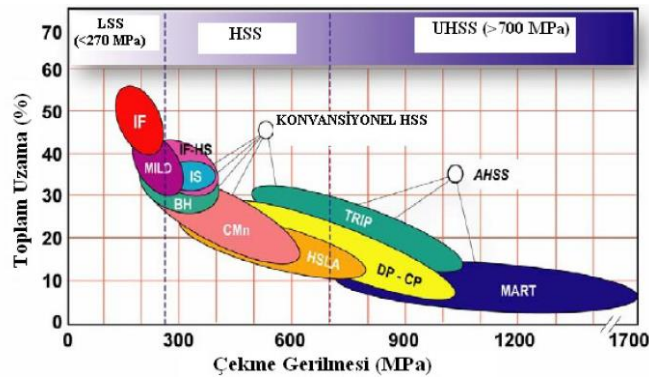
Bugüne kadar yapılan ve yapılmakta olan çalışmalar, hafif araç tasarımında teknik kısıtlar gözönüne alındığında ağırlık azaltma adına en büyük potansiyelin aracın gövde yapısında olduğunu göstermiştir. Bu sebeple gövde parçalarında kullanılacak malzemenin seçimi, araç gövdesinde özellikle çarpma, darbe ve dayanım yapısal parçalarında ve ağırlık azaltma potansiyeli olan bölgelerde çok önemlidir.

Otomobil gövdesinin hafifletilmesi ile ilgili çalışmaları ve odaklanan malzeme ile ilgili güncel yöntemleri üç ana başlık altında toplayabiliriz.

- ✓ Yeni nesil çok mukavemetli çelik kullanımı (Soğuk şekillendirme)
- ✓ Martensitik çelikler (Sıcak şekillendirme)
- ✓ Alternatif malzemeler (Alüminyum, magnezyum, yeni nesil kompozitler vb.)

Otomotiv sektöründe kullanılan malzeme teknolojileri ve çeşitliliği ancak tam olarak ticarileşmesi ve otomobil gövdesine adaptasyonunun yaygınlaşması, parça imalat teknolojileri (şekillendirebilirlik), maliyet ve montaj teknolojilerine bağlıdır.

Üst sınıf araç gövdelerinde kullanılan malzemeler incelendiğinde sıcak şekillendirmeye uygun martensitik çelikler ve çift fazlı çelikler ön plana çıkmaktadır. Şekil 3.4’ de mukavemet değerlerine bağlı olarak çelik türleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Çelikler arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi[1]

4. OTOMOBİL ÖN GÖVDE PARÇALARI TASARIM ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada küçük sınıf otomobiller olan B segmenti araçların, Şekil 4.1' de belirtilen ön gövde grubuna ait komponentlerinin tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarım çalışması sonrasında bu parçaların, Federal Motorlu Taşıt Güvenlik Standartları (FMVSS) 208 regülasyonuna uygunluğunun değerlendirilmesi için analiz çalışması yapılmış ve enerji sönümleme kapasitesi regülasyonda tariflenen değer ile mukayese edilmiştir. Analiz sonuçları referans alınarak, aynı segmentte bulunan araçların ön gövde grubu parçaları incelenerek ve bu parçaların üretim metodu da göz önünde bulundurularak tasarım iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

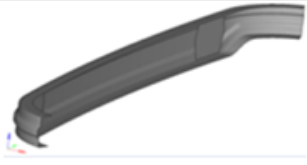
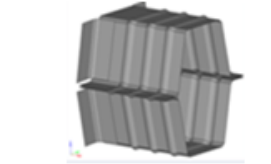
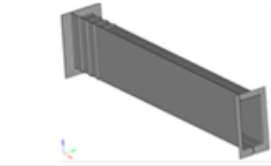
Tasarım iyileştirme çalışmalarının verimli bir şekilde yapılması ve sistematik olarak ilerlemesi için tasarım metodolojisi oluşturulmuş ve tez kapsamında yapılan çalışmalarda bu metodolojide belirtilen adımlar izlenmiştir.

4.1. Ön Gövde Grubu Parçaları Tasarımı

Mevcut tasarım yapılırken; B segmenti aracın ön bölgesinde bulunan tampon, çarpma kutuları, ve ana raylar ile bu bölgede bulunan diğer komponentlerin yerleşim durumu dikkate alınarak ve bununla birlikte aynı segmente ait araçların ön gövde grubu parçaları incelenerek Şekil 4.1' de belirtilen parça geometrileri oluşturulmuştur.

B segmenti bir aracın ön gövdesinde bir adet ön tampon, ikişer adet çarpma kutusu ve ana ray parçası bulunmaktadır.

Şekil 4.1' de bulunan bu parçalardan ana ray için HSLA500 malzemesi 2.00mm, çarpma kutusu için DP600 malzemesi 1.8mm ve ana ray için DP600 malzemesi 2mm et kalınlığı kullanılmıştır. Parça tasarımları DS / CATIA V5 programında yapılarak bu parçaların ağırlıkları program yardımı ile hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan tüm tasarım çalışmalarında bu program kullanılmıştır.

Parça Adı	Parça Resmi	Malzeme	Kalınlık (mm)	Araçta Bulunma Adedi	Birim Parça Ağırlığı (kg)	Toplam Parça Ağırlığı (kg)
Tampon		DP600	2,00	1	5,2	5,2
Çarpma Kutusu		DP600	1,8	2	0,88	1,76
Ana Ray		HSLA500	2,00	2	6,57	13,14
Toplam Ağırlık (kg)						20,1

Şekil 4.1: Ön çarpma parçaları mevcut tasarımı

Parçaların CATIA programında ağırlık ölçümleri yapılması sonrasında Federal Motorlu Taşıt Güvenlik Standartları 208 (FMVSS) regülasyonuna uygunluğu incelenmiştir.

FMVSS 208 regülasyonuna göre; aracın önden çarpma hızı 54km/s’ dir. Mevcut kütlesi 1.828kg olan aracın bu hızdaki kinetik enerjisi (4.1) yapılan denklem yardımı ile hesaplanmıştır.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = 205.65KJ \quad (4.1)$$

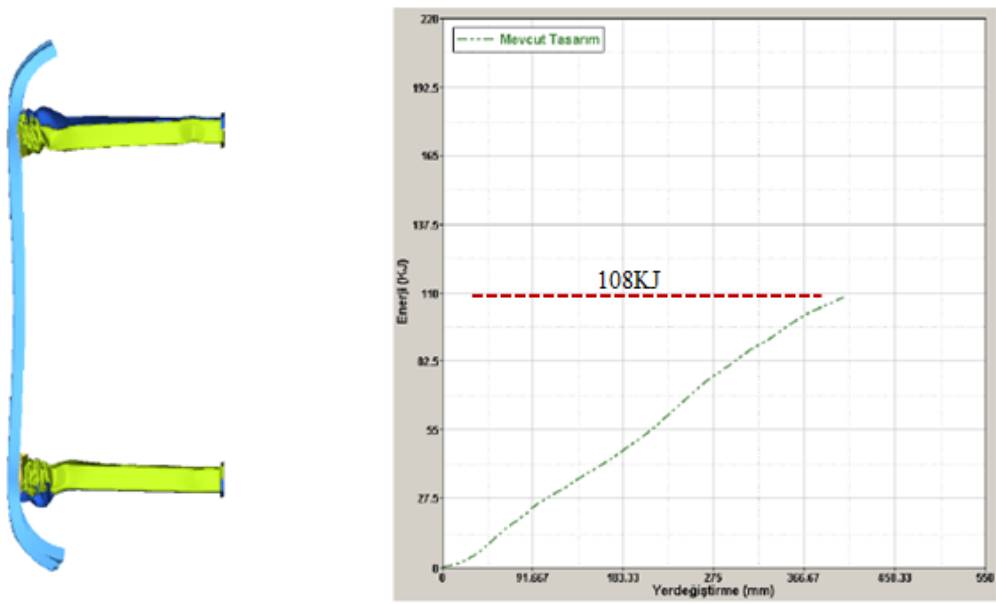
Aracın emniyetli bir şekilde sönümlemesi gereken enerji bu ağırlıktaki bir araç için 205.65KJ’ dur. Tasarımı yapılan parçaların bu enerjiyi sönümleme durumunu incelemek üzere analiz çalışmaları yapılmıştır.

Analiz çalışmalarında öncelikle HyperMesh Pre-processor programı yardımıyla parçaların analize hazır hale getirilmesi için meshleme yapılmıştır. Meshleme sonrasında HyperView Post-processor programı ile ön gövde grubunun analizi koşturulmuştur. Araç ağırlığına eşit olacak şekilde 1.828kg ağırlığına sahip düz bir duvar oluşturulmuştur. Bu duvarın 54 km/s hız ile araca çarptırılarak tüm ağırlığının araca verilmesi ile ön gövde grubu parçalarının, çarpışma anındaki durumu incelenmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi RADIOSS solver programı

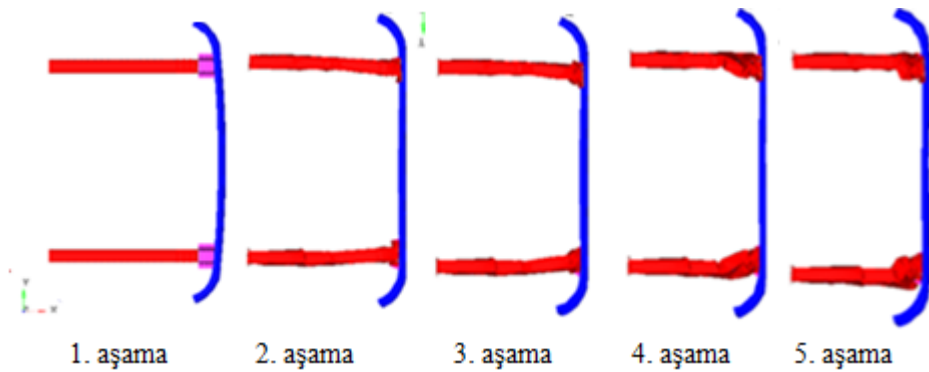
yardımıyla yapılmıştır. Bu çalışmada tüm analiz çalışmalarında bu programlar kullanılmıştır.

Şekil 4.2’ de önden çarpma anında mevcut tasarımın sönümleyebildiği darbe enerjisi ve Şekil 4.3’ de önden çarpma anında ön gövde grubu parçalarının aşamalı olarak şekil değişimi görülmektedir.

Şekil 4.2’ de belirtilen Yerdeğiştirme – Enerji grafiğine göre; bu komponentlerin önden çarpma durumunda motor ile temasının başladığı ilk 400 mm’ de sönümlendiği enerjinin 108 KJ olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2: Mevcut tasarım için ön gövde çarpma parçalarının enerji sönümleme grafiği



Şekil 4.3: Ön gövde çarpma parçalarının çarpma esnasında şekil değiştirme durumu

Şekil 4.3’ de önden çarpma esnasında ön gövde grubunun şekil değiştirme durumu 5 aşamada gösterilmiştir. 1) aşaması darbe öncesi durumu göstermektedir. 2), 3), 4)

aşamaları darbe esnasında bu komponentlerin göstermiş olduğu tepkiyi ve 5) aşamasında çarpma sonrasındaki deformasyonu simüle etmektedir.

Mevcut tasarım üzerinde yapılan bu analiz çalışması sonrasında ön gövde grubunun sönümlediği enerji 108 KJ' olup istenilen sönümleme enerjisinin %53' dür. Bu değer FMVSS 208 regülasyonunda bu segmentte ve bu ağırlıkta bir aracın sahip olması gereken 205.65 KJ enerjiyi sağlamamaktadır.

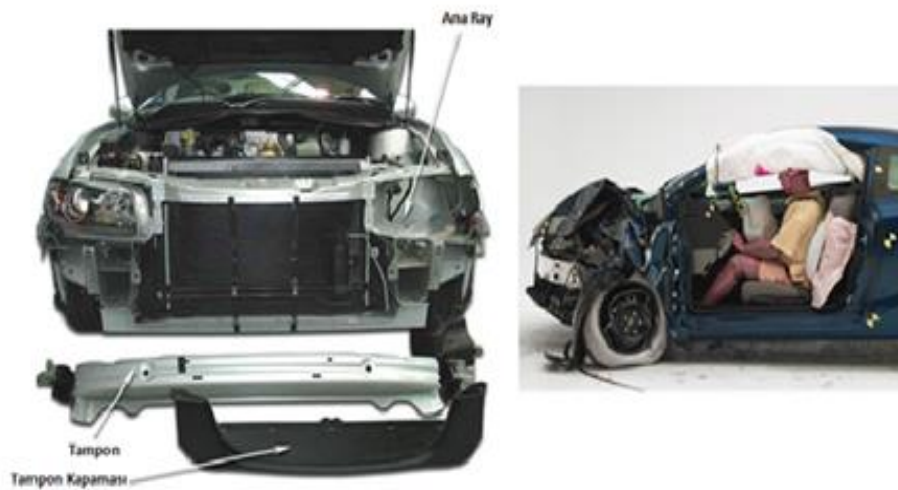
Bu durum FMVSS 208 regülasyonunun ve bununla birlikte sürücü ile yolcu güvenliğinin sağlanması adına bu parçalar için yeni tasarımın yapılmasını gerekli kılmıştır. Yeni tasarım için tasarım hedefleri belirlendikten sonra tasarım çalışmaları yapılmıştır.

4.2.Ön Gövde Grubu Yeni Tasarım Hedeflerinin Belirlenmesi

Ön gövde parçalarının emniyetli bir şekilde sönümlemesi gereken enerji olan 205.65KJ' un desteklenememesi sonrasında yeni tasarımın oluşturularak çalışmanın hedeflerinin belirlenmesi için benchmark ve literatür çalışmaları yapılmıştır.

Benchmark çalışmaları kapsamında, küçük sınıf otomobillere ait tampon, çarpma kutusu ve ana raylar incelenmiştir.

Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6' daki görseller için benchmark çalışmasının yapıldığı özel bir program kullanılmıştır. Bu program vasıtasıyla ana ray, çarpma kutusu ve ön tamponda kullanılan malzemeler ve parça geometrileri irdelenmiştir.



Şekil 4.4: Benchmark yapılan B segmenti bir aracın ön gövde grubu



Şekil 4.5: Benchmark yapılan aracın tampon, çarpma kutusu ve ana ray gösellersi



Şekil 4.6: Benchmark yapılan başka bir aracın çarpma kutusu görselleri

Benchmark çalışması sonrasında Şekil 4.4 ve 4.5’ de belirtilen komponentler incelenmiş ve yeni tasarımın geometrisinin oluşturulması, parça boyutların belirlenmesi ve malzeme seçiminin yapılmasında göz önünde bulundurulmuştur.

Literatür araştırmaları kapsamında ise otomobil ön gövde parçalarının çarpma analizlerine ilişkin makaleleler incelenmiş, bu parçalara ait geometri ve kullanılan malzemeler değerlendirilerek yeni tasarımın yapılması aşamasında bu veriler girdi olarak kullanılmıştır.

Benchmark çalışması, literatür araştırması ve analiz çalışması sonrasında bu komponentler için yeni tasarım hedefleri;

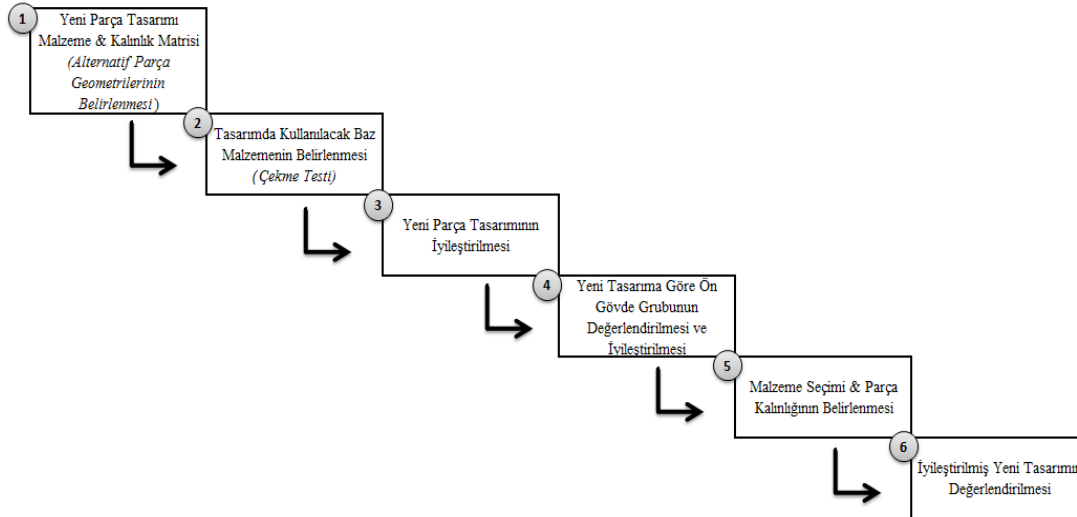
- ✓ %15 daha hafif
- ✓ Önden çarpma durumunda maksimum enerji emilimine sahip olması

- ✓ Kolay üretilebilir olması (Roll form metodu ile üretilebilir olması) olarak belirlenmiştir.

Belirlenen bu hedeflerin gerçekleştirilmesi ile bu parçalar için darbe emme enerjisinin iyileştirilmesi, yolcu ve sürücü güvenliğinin sağlanması, ağırlığın azaltılması ve buna bağlı olarak yakıt tüketimin azaltılması ve CO₂ emisyon seviyesinin azaltılmasına imkan vermesi beklenmektedir.

4.3. Yeni Tasarım İçin Tasarım Metodolojisinin Oluşturulması

Bu çalışmada belirlenen hedeflere uygun en iyi tasarımın ve doğru malzeme seçiminin yapılması için Şekil 4.7’ de belirtilen metodoloji oluşturulmuş ve çalışmalar bu metodolojiye göre yapılmıştır.



Şekil 4.7: Tasarım metodolojisi

Şekil 4.7’ de belirtilen 6 aşamadan meydana gelen tasarım metodolojisinin aşama detayları şöyledir;

1. Aşamada; mevcut tasarımın önden çarpma anında emniyetli olarak enerjiyi sönümleyememesi, tampon, çarpma kutusu ve ana raylar için yeni parça tasarımının yapılmasını gerekli kılmıştır. Bu aşamada tasarım hedeflerinin belirlenmesi ve yeni tasarıma girdi teşkil etmesi için aynı segmentte bulunan araçlar üzerinde benchmark çalışmaları yapılmıştır. Bununla birlikte ön gövde grubu parçalarının mukavemetinin artırılması ile önden çarpma durumunda sönümlenen enerji kapasitesinin arttırılmasına yönelik yapılan

makaleler incelenmiş ve bu veriler referans alınarak yeni parça geometrileri oluşturulmuştur.

Geometrilerin oluşturulmasını takiben ön gövde grubunun üç parçası için de benchmark çalışması ve literatür araştırması neticesinde günümüz teknolojisinde, araç ön gövdesi için tercih edilen malzemeler belirlenmiştir.

- ✓ FEE 420
- ✓ HSLA500
- ✓ DP 780 ve 1000
- ✓ Docol 1300 ve 1400

Bu malzemeler ile malzeme – kalınlık matrisi oluşturulmuştur. Fakat bu üç parça için en uygun geometri tasarımı, malzeme ve kalınlık parametrelerinin çok baskın olması sebebiyle geometrik optimizasyonun yapılamadığı kanaatine varılmıştır. Malzeme, kalınlık ve geometrik değişkenlerle birlikte yalnızca ana ray için onbinlerce farklı olasılık ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle de optimizasyon çalışmalarını mümkün kılmak adına Çizelge 4.1’ de belirtilen prensipler belirlenmiştir.

Çizelge 4.1: Optimizasyon çalışmasının prensipleri

PRENSİP 1	PRENSİP 2
Farklı geometrilerin birbirlerine göre enerji emilim oranları, aynı malzemeler için birbirine yakındır	Farklı geometrilerin birbirine göre enerji emilim oranları aynı malzemeler ve aynı kalınlık değerleri için birbirine yakındır
- Geometri değişken (A ve B Geometrileri) - Malzeme ve kalınlık aynı	- Geometri ve kalınlık değişken (x ve y kalınlığı) - Malzeme aynı
SONUÇ : Aynı malzeme ve kalınlığa sahip iki farklı geometrinin darbe emme enerjisi kıyaslandığı kalınlık ve malzemedan bağımsız olarak A geometrisi B geometrisinden daha iyidir.	SONUÇ : Baz malzemenin kullanıldığı A geometrisinde x kalınlığından y ($y > x$) kalınlığına geçildiğinde enerji emiliminde %20’ lik iyileşme sağlanıyorsa B geometrisinde de x kalınlığından y kalınlığına geçildiğinde iyileşme oranı yaklaşık olarak aynıdır.
PRENSİP 3	
Aynı geometri için malzemelerin “deformasyon hızı” etkilerinin malzemeler arasındaki sıralamayı değiştirmeyecek kadar küçük olduğu görülmüştür	
- Malzeme değişken - Geometri ve kalınlık aynı	
SONUÇ : Aynı kalınlık ve geometriye sahip tasarımda farklı iki malzeme kullanılarak enerji emilimleri değerlendirildiğinde; bu malzemeler için deformasyon hızları önemsenmeyecek kadar küçüktür.	

Çizelge 4.1’ de belirtilen bu prensipler her bir parça için yapılan tasarım ve analiz çalışmaları esnasında doğrulanmıştır.

2. Aşamada; literatür ve benchmark çalışmaları sonrasında ön gövde grubu parçalarında en çok kullanılan malzemeler belirlenmiştir. Belirlenen bu malzemelerin belirlenen presiplere istinaden mekanik özelliklerinin analiz çalışmalarında kullanılması için çekme testi yapılmıştır.
3. Aşamada; her bir parça için tasarım ve analiz çalışmaları sonrasında yeni tasarımın ağırlık, darbe sönümleme enerjisinin arttırılması ve roll form metodu ile üretilebilmesi gibi kısıtlarının olması parçaların bu kısıtlara uygun hale getirilebilmesi için geometrilerin iyileştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu aşamada yeni tasarımın iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.
4. Aşamada; her bir ön gövde grubu komponentinin tek başına uygun geometrisinin tespit edilmesi ile parçaların ön gövde paket alanı içerisinde bulunan diğer komponentler ve birbiri ile olan konumları incelenmiştir. Bu komponentlerin birbiri ile bu alanda bulunan diğer parçalarla olan girişim problemlerinin çözümüne yönelik geometrilerinde değişiklikler yapılmıştır.
5. Aşamada; parçaların birbiri ve aynı paket zarfında bulunan parçalarla olan ilişkisi incelendikten sonra malzeme seçimi yapılmış ve buna bağlı olarak parçaların kalınlıkları belirlenmiştir. Bu parçalar için belirlenen malzemeler, parça mukavemetinde iyileştirme yapılmasını sağlayarak, geometriye ve malzeme seçimine bağlı olarak ince kesitlerin kullanılmasına imkan vermiştir. Bu kombinasyon sonucunda ise ağırlık azaltılması sağlanmıştır.
6. Aşamada; tampon, çarpma kutusu ve ana raylar için oluşturulan yeni geometrileri, her bir parça için belirlenen malzeme ve kalınlığa göre analizi yapılarak darbe emme enerjileri değerlendirilmiştir.

4.4. Ön Gövde Grubu Yeni Parça Detay Tasarımı

Şekil 4.7’ de belirtilen tasarım metodolojisine göre ana ray, çarpma kutusu ve tampon için yeni parça detay tasarım çalışması yapılmıştır. Öncelikle bu parçalar için yeni geometriler oluşturulmuş sonrasında ise çekme testleri yapılarak baz malzeme belirlenmiş ve Çizelge 4.1’ de belirtilen prensipler doğrultusunda analiz ve yeni tasarımın iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

4.4.1. Ana ray tasarımı

4.4.1.1. Tasarım

Ana ray parçası, ön gövde grubu içerisinde yüksek oranda darbe enerjisini emme potansiyeli olan bir parçadır. Ön gövde grubu parçaları içerisinde bulunduğu konum sebebiyle de yapısal bir parça olma özelliği göstermektedir. Bu nedenle bu parça için oluşturulacak geometri, hem aracın yolcu bölgesinde emniyetli bir ortam oluşturulmasına hem de ağırlığın azaltılmasında etkili olacaktır.

Ana ray parçası için alternatif geometriler oluşturulken; yeni tasarım hedeflerinin belirlenmesi için yapılan benchmark ve literatür çalışmaları referans alınmıştır. B segmentinde bulunan araçların ana ray geometrileri incelenmiştir.

Şekil 4.8’ de özel bir benchmark programı kullanılarak çalışma yapılmış B segmenti bir araca ait ön gövde grubu görülmektedir.



Şekil 4.8: Benchmark aracı ön gövde grubu

Benchmark çalışması ve literatür araştırmaları sonrasında Çizelge 4.2’ de belirtilen alternatif ana ray geometrileri oluşturulmuş ve bu parça için kullanılan malzeme ve kalınlıklara ilişkin matris hazırlanmıştır.

Literatür araştırmaları sırasında ana ray parçasında en çok tercih edilen malzemelerin Çizelge 4.2’ de belirtildiği üzere çift fazlı çelikler (DP çelikleri) olduğu bunun yanı sıra yüksek mukavetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerinin de kullanıldığı

görülmüştür. Ana ray geometrileri için kalınlık değerleri belirlenirken; bu malzemelerin piyasada tedarik edilebileceği kalınlık aralığı, belirlenen kalınlığın araç ön gövde grubuna olan ağırlık etkisi ve seçilen malzeme ve kalınlığın üretilebilirlik üzerindeki etkisi esas alınmıştır.

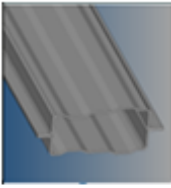
Çizelge 4.2’ de belirtilen kırmızı renk kodu ağırlığın %15’ i desteklememe durumu göz önünde bulundurularak elenmiştir. Sarı renk kodu ile belirtilen satırlar ise Çizelge 4.1’ de belirtilen prensiplere istinaden malzemedan bağımsız, parça geometrilerine bağlı olarak darbe enerjisi emme kapasitesinin iyileştirilemeyeceği düşünülen geometriler olup analiz ile doğrulaması tasarım çalışmaları içerisinde yapılmıştır. Yeşil renk kodu ise tasarım çalışmalarına devam edilecek ve analizlerle doğrulanacak geometriyi belirtmektedir.

Çizelge 4.2’ deki ana ray ağırlıkları araçta bulunan 2 adet rayın toplam ağırlığıdır.

Çizelge 4.2’ de belirtilen alternatif 1 ana ray geometrisi düz bir yüzeye sahip olup bu parçanın çarpma kutusu ile montajının yapılacağı rayın uç bölgesinde montaj çalışmasını kolaylaştırmak ve kaynak alanını arttırabilmek adına kenarlıklar tasarlanmıştır. Alternatif 2 geometrisinde ise parçanın çarpma anında darbe sönümleme enerjisine pozitif etki yaratılması amacıyla ana rayın alt ve üst yüzeylerine form verilmiştir. Alternatif 3 geometrisinde ise darbe enerjisinin maksimum seviyede sönümlenebilmesi için kanallı bir geometri oluşturulmuştur. Ayrıca bu geometri roll form yöntemine uygun bir yapıdır. Ana ray parçasının roll form metodu ile üretilmesi bu parça için oluşturulacak geometriler için alternatif tasarımların sınırlandırılmasına neden olmuştur.

Alternatif geometrilerin belirlendikten sonra bu geometriler için kullanılan malzeme ve kalınlık değerleri ile CATIA programı kullanılarak parça ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçülen ağırlık değerleri bu parçalar için teorik ağırlık değerleridir. Aynı zaman da darbe enerjisini sönümleme durumları analiz programı vasıtasıyla yapılan analiz çalışmaları ve çalışma başında yapılan ana ray geometrisi ile kıyaslanarak irdelenmiştir. Bu çalışma sonrasında yeşil renk kodu ile ifade edilen geometri ile tasarım ve tasarım iyileştirme çalışmalarına devam edilmiştir. Alternatif 1 geometrisinden alternatif 3 geometrisi oluşturulana kadar yapılan çalışmalar “Ana Ray Tasarımı” başlığı altında adım adım çalışılarak detaylandırılmıştır. Böylece ana ray için en uygun geometrinin oluşturulması sağlanmıştır.

Çizelge 4.2: Ana ray alternatif geometrileri (Malzeme – Kalınlık Matrisi)

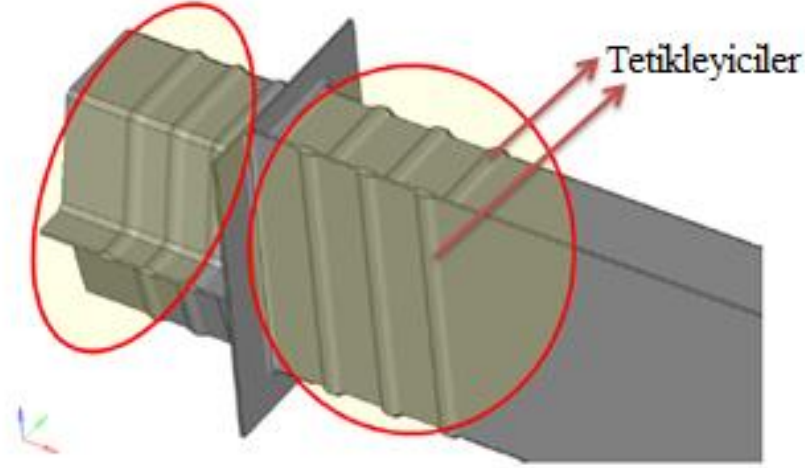
Alternatif Ana Ray Geometrileri		FEE 420				DP 600				HSLA 500			DP 780			DP 1000		
ANA RAY (alt. 1)		Kalınlık (mm)	2	2,2	2,5	2	2	2,2	2,5	1,4	1,8	2	1,4	1,8	2	1,4	1,6	1,8
		Ağırlık (kg)	12,28	13,5	15,4	12,3	13,5	15,4	8,6	11,1	12,3	8,6	11,1	12,3	9,82	6,02	9,95	
ANA RAY (alt. 2)		Kalınlık (mm)	2	2,2	2,5	2	2	2,2	2,5	1,4	1,8	2	1,4	1,8	2	1,4	1,6	1,8
		Ağırlık (kg)	11,83	13	14,8	11,8	13	14,8	8,28	10,6	11,8	8,28	10,6	11,8	9,46	5,8	9,58	
ANA RAY (alt. 3)		Kalınlık (mm)	2	2,2	2,5	2	2	2,2	2,5	1,4	1,8	2	1,4	1,8	3	1,4	1,6	1,8
		Ağırlık (kg)	10,93	12	13,7	10,9	12	13,7	7,65	9,84	10,9	7,65	9,84	10,9	8,74	5,36	8,85	

 Kırmızı renk kodu ağırlık hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

 Sarı renk kodu enerji hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

 Tasarım çalışmalarına devam edilen geometriyi belirtmektedir

Çizelge 4.2’ de belirtilen alternatif 3 geometrisi oluşturulurken öncelikle alternatif 1 geometrisi üzerinden gidilmiş ve düz bir yüzey tasarlanmıştır. Tasarlanan düz yüzeye Şekil 4.9’ da gösterilen tetikleyiciler yerleştirilmiştir. Tasarımda tetikleyicilerin kullanımı ile deformasyonun yönlendirilmesi ve kademeli deformasyonun sağlanması amaçlanmıştır.



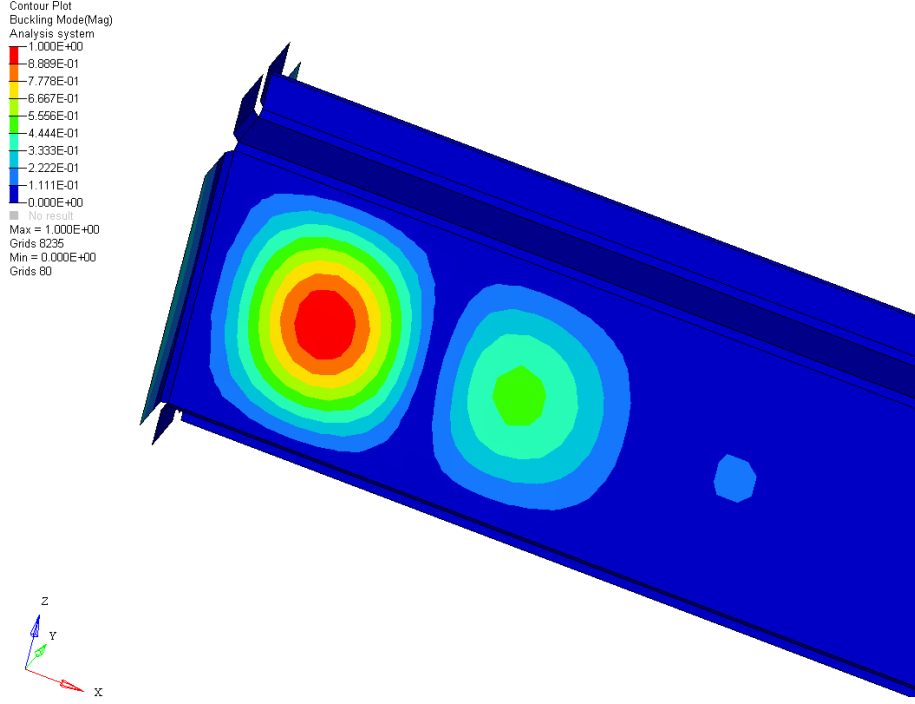
Şekil 4.9: Ana ray üzerine tetikleyici tasarımı

Bu parçanın roll form metodu ile üretilerek olması parça geometrisinin oluşturulmasında en önemli kısıtı oluşturmaktadır. Roll form metodu gereği bu metodla üretilen parçanın yüzeyinde süreklilik olması gerekmektedir. Şekil 4.9’da belirtilen geometride ise ana ray üzerinde bulunan tetikleyiciler parçanın sürekliliğini bozduğu için roll form metodu ile üretime uygun olmadığı görülmüş ve bu tasarımdan vazgeçilmiştir. Alternatif 1 ana ray geometrisinin uygun olmaması nedeniyle çalışmalara alternatif 2 ana ray geometrisi üzerinden devam edilmiştir.

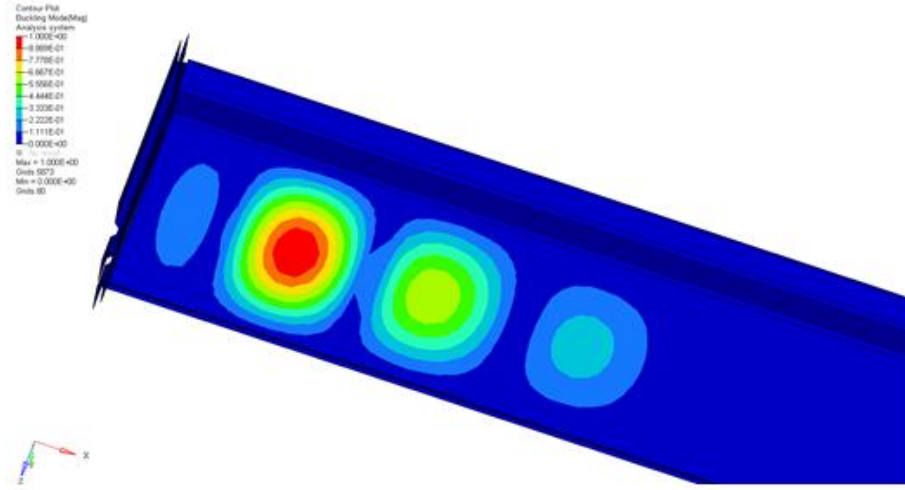
Sıralı ve kademeli deformasyonun olmasını sağlayan tetikleyiciler kanal veya parça üzerinde girinti-çıkıntı yaratacak tasarımlar olabileceği gibi parça üzerine açılacak bir delikte tetikleyici görevi görmektedir. Bu nedenle tetikleyici görevini üstlenmesi adına alternatif 2 geometrisi üzerine delikli tasarım yapılarak çalışmalara devam edilmiştir.

Darbe esnasında burkulmanın önemli bir etken olması nedeniyle deliklerin konumlarını belirlenirken raylar çarpılma yönünde yüklenip burkulma modları incelenmiş ve deliklerin konumları tespit edilmiştir.

Analizler sonucunda Şekil 4.10 ve 4.11’ de belirtilen burkulma modları dikkate alınarak deliklerin başlangıç konumları belirlenmiştir.



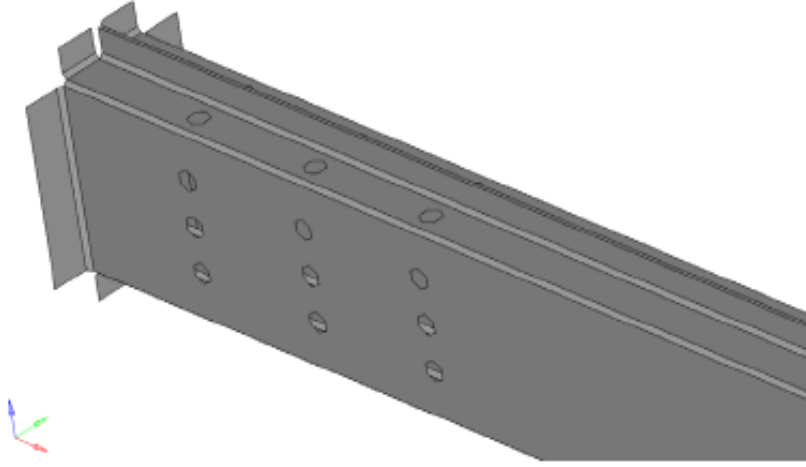
Şekil 4.10: Ana ray 1. burkulma modu



Şekil 4.11: Ana ray 2. burkulma modu

1. burkulma modu ile parçanın en zayıf noktalarını, 2. burkulma modu ise 1. moddan sonra gelen zayıf noktaları ifade etmektedir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’ deki kırmızı renk ile belirtilmiş alanlar burkulma esnasında en zayıf noktalar olup tetikleyicilerin bu bölgelerde oluşturulması halinde deformasyonun yönlendirilebileceğini

belirtmektedir. Bu analiz çalışması sonrasında burkulma modları referans alınarak Şekil 4.12’ de gösterilen delik tetikleyicilerin konumları tespit edilmiştir.



Şekil 4.12: Ana ray delik tetikleyicilerin başlangıç koşulları

Ana ray için roll form metodu ile üretime uygun Şekil 4.12’ de belirtilen geometri oluşturulduktan sonra bu geometrinin darbe emme enerjisini belirleyebilmek için analiz çalışması yapılması gerekmektedir. Şekil 4.7 tasarım metodolojisinin 1. aşamasında belirtilen prensip 1 maddesine istinaden tüm ön gövde grubu parçalarının yeni tasarım çalışmalarında ve analizlerinde kullanılmak üzere baz malzeme seçimi yapmak için bu parçalarda en çok kullanılan çift fazlı ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler üzerinde çekme testleri yapılmıştır.

4.4.1.2. Çekme testi

Literatür araştırmaları sırasında otomotiv ön gövde parçalarında en çok tercih edilen malzemelerin çift fazlı çelikler (DP çelikleri) ve yüksek mukavetli düşük alaşımlı (HSLA) çelikler olduğu görülmüştür. Bu malzemeler için İstanbul Teknik Üniversitesi ve Atılım Üniversitesi mekanik laboratuvarlarında çekme testleri yapılarak elde edilen sonuçlar, tüm ön gövde grubu yeni tasarım ve analiz çalışmalarında girdi olarak kullanılmıştır.

Çekme testleri kapsamında küçük sınıf otomobiller segmentindeki araçlarda en çok kullanılan DP600 ve HSLA500 malzemeleri seçilerek bu parçalar üzerinde testler yapılmıştır. Belirlenen iki malzeme için;

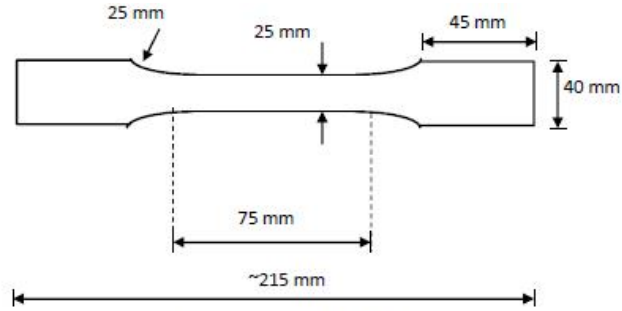
- ✓ Elastisite modülünün belirlenmiştir.

✓ Aşağıda belirtilen malzeme ve kalınlık değerleri için çekme testleri yapılmıştır.

- DP600 – 1.8mm
- DP600 – 2.00mm
- HSLA500 – 1.5mm
- HSLA500 – 2.00mm

Elastisite Modülünün Belirlenmesi:

Elastisite modülü belirlenecek DP600 2mm sac malzemesinin çekme testi Şekil 4.13 a)' da belirtilen numune hazırlanarak İTÜ mekanik laboratuvarında Instron cihazı ile yapılmıştır. DP600 1.8mm ve HSLA500 1.5mm ve 2.00mm malzemeleri içinde Şekil 4.14 a)' da belirtilen ebatlarda çekme numunesi hazırlanmış Atılım Üniversitesi' nde tekrarlı çekme testleri yapılmıştır.



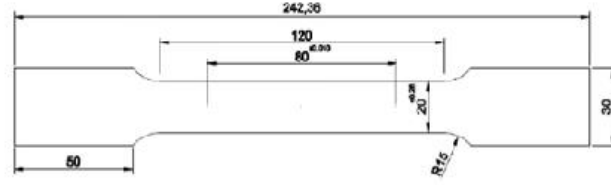
a) Çekme numunesi 1 (İTÜ)



b) Çekme testi cihazı (İTÜ)

Şekil 4.13: a) Çekme numunesi 1 (İTÜ) b) Çekme testi cihazı (İTÜ)

Elastik yüklemeler sırasında uzama Şekil 4.13 b) ve Şekil 4.14 b)' deki makro ekstansometre kullanılarak hassas olarak ölçülmüştür.



a) Çekme numunesi 2 (Atılım Üni.)



b) Çekme testi cihazı (Atılım Üni.)

Şekil 4.14: a) Çekme numunesi 2 (Atılım Üni.) b) Çekme testi cihazı (Atılım Üni.)

Elastisite modülü Çizelge 4.3’ de tekrarlı testlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3: Elastisite modülünün hesaplanması

Malzeme	Kalınlık (mm)	Hadde yönü (°)	Elastisite Modülü (GPa)	Ortalama (GPa)
DP600	1.8	0	210.9	210.15
			209.8	
			208.9	
			211.2	
			211.4	
			210.4	
			209.8	
			208.8	

Çizelge 4.4’ de DP600 çeliğinin 1.8mm kalınlık için üç farklı hadde yönünde yapılan çekme testi sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.4: 1.8mm kalınlık ve üç farklı yön için “DP600” elastisite modül değerleri

Malzeme	Kalınlık (mm)	Hadde Yönü(⁰)	Ortalama (GPa)
DP600	1.8	0	210.15
DP600	1.8	45	210.56
DP600	1.8	90	210.87

DP600 2.00 mm malzemesi için İstanbul Teknik Üniversitesi mekanik metalurji laboratuvarında yapılan testler sonrasında Çizelge 4.5’ de belirtilen elastisite modülü sonuçlarına ulaşılmıştır.

Çizelge 4.5: 2mm kalınlık ve üç farklı yön için “DP600” elastisite modül değerleri

Malzeme	Kalınlık (mm)	Hadde Yönü(⁰)	Ortalama (GPa)
DP600	2.05	0	184.66
DP600	2.05	45	192.4
DP600	2.02	90	194.8

Benchmark ve literatür çalışmaları sonrasında elde edilen verilere istinaden otomotiv endüstrisi ön gövde parçalarında en çok kullanılan malzemelerden olan DP600 çeliğinde yapılan çekme testi sonrasında, otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan diğer bir malzeme olan HSLA500 çeliği içinde çekme testi yapılmıştır. İki farklı kalınlık ve 0⁰, 45⁰, 90⁰ hadde yönlerinde yapılan test sonuçlarına göre elastisite modülü değerlerinin ortalaması alınarak HSLA500 çelik sac malzemesinin elastisite modül değerleri Çizelge 4.6’ da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6: İki kalınlık ve üç farklı yön için “HSLA500” elastisite modül değerleri

Malzeme	Kalınlık (mm)	Hadde Yönü(⁰)	Ortalama (GPa)
HSLA500	1.5	0	211.54
HSLA500	1.5	45	202.83
HSLA500	1.5	90	235.52
HSLA500	2.00	0	214.8
HSLA500	2.00	45	206.17
HSLA500	2.00	90	237.91

Çizelge 4.7’ de DP600 ve HSLA 500 malzemelerinin iki farklı kalınlık ve üç farklı yönde yapılan çekme testi sonunda elde edilen elastisite modülü değerlerinin ortalaması gösterilmiştir.

Çizelge 4.7: İki farklı kalınlık için “DP600 ve HSLA500” elastisite modülü değerleri

Malzeme	Kalınlık (mm)	Ortalama (GPa)
DP600	1.8	210.52
DP600	2.0	191.53
HSLA500	1.5	217
HSLA500	2.0	220

Yapılan testler sonrasında DP600 ve HSLA500 malzemelerinin iki farklı kalınlık değerinde ve 0⁰, 45⁰ ve 90⁰ hadde yönlerinde elastisite modülleri belirlenerek bu iki malzemenin mekanik özellikleri öb gövde grubu parçalarının görevleri de düşünülerek subjektif olarak değerlendirilmiştir.

Çekme Testleri

Her malzeme için 0/45/90 hadde yönlerinde üç tekrarlı testler yapılmıştır. Tekrarlarla elde edilen bu eğrilerden Şekil 4.8’ de belirtilen ortalama akma dayanımları edilmiştir.

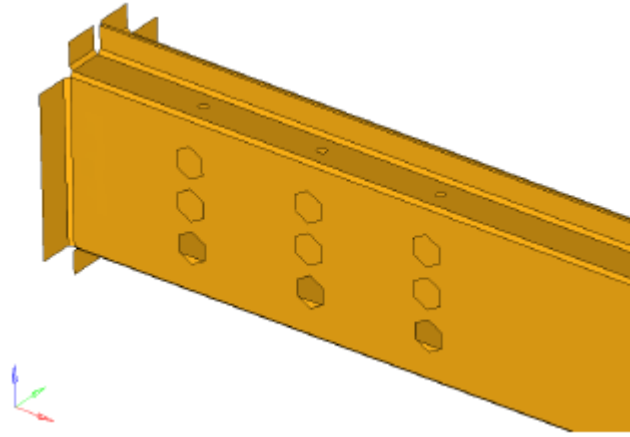
Çizelge 4.8: İki farklı kalınlık için “DP600 ve HSLA500” ortalama akma dayanımı değerleri

Malzeme	Kalınlık (mm)	Ortalama (MPa)
DP600	1.8	416.524
DP600	2.0	336.92
HSLA500	1.5	545.38
HSLA500	2.0	503.82

Çizelge 4.8’ de belirtilen akma dayanım değerleri esas alınarak baz malzeme olarak DP600 ve baz kalınlık olarak 2mm seçilmiştir. Böylece oluşturulan yapının darbe esnasında plastik deformasyona uğrayarak enerji emiliminin artırılması hedeflenmiştir. Bu baz malzeme ve kalınlık prensip 1 ve prensip 2 de belirtilen gerekçelere istinaden tüm ön gövde parçalarının tasarım ve tasarım iyileştirme çalışmalarında kullanılmıştır. Uygun geometri belirlendikten sonra istenilen hedeflere ulaşılması için malzeme seçimine bağlı olarak parça ağırlığının azaltılması ve darbe emme enerjisinin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

4.4.1.3. Tasarımın iyileştirilmesi

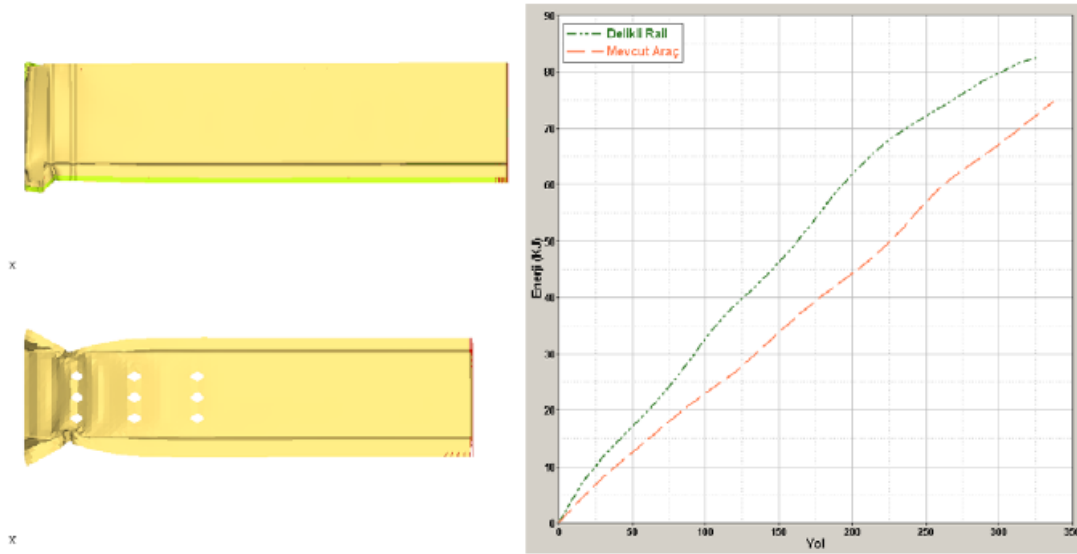
Çekme testleri sonrasında ön gövde grubu parçalarında malzemedan bağımsız olarak yeni geometrinin oluşturulması adına yapılacak çalışmalarda DP600 malzemesi ve 2.00mm kalınlık baz malzeme ve kalınlık olarak belirlenmiş, analiz ve iyileştirme çalışmalarında bu kalınlık ve malzeme esas alınmıştır. Şekil 4.9’ da belirtildiği üzere ana ray üzerine delik açılarak ana ray tasarımı yapılmıştır. Ana ray üzerine açılan deliklerin boyutları optimize edilerek Şekil 4.15’ deki tasarım oluşturulmuştur.



Şekil 4.15: Ray optimizasyonu sonrasında ortaya çıkan delikli tasarım

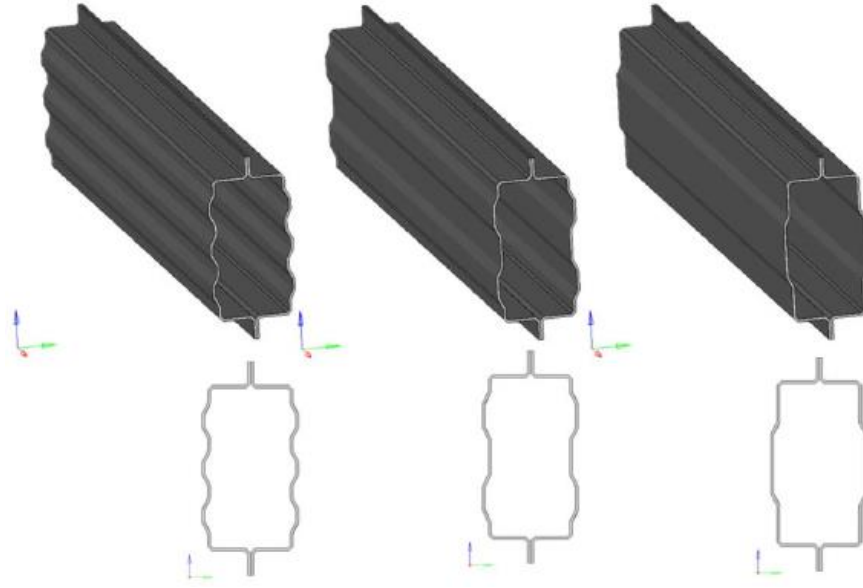
Çıkan tasarıma göre yan yüzeylerdeki deliklerin çapları artmış, üst yüzeylerdeki deliklerin çapları azalmıştır.

Şekil 4.16’ da görüldüğü üzere delik optimizasyonu sonucu ortaya çıkan tasarım mevcut raya göre daha düzgün deforme olmuştur ve enerji emilimi mevcut tasarımdan yaklaşık % 13 daha fazladır.



Şekil 4.16: Optimize edilmiş delikli tasarımın enerji emilim grafiği

Delikli tasarımın yapılması ile enerji emiliminde iyileştirme sağlanmıştır. Delikli tasarımın yanı sıra kanallı yapıya sahip geometrilerin de darbe emilimi üzerindeki pozitif etkisi göz önünde bulundurularak ve aynı sınıfta bulunan araçlar referans alınarak Şekil 4.17’ de gösterilen muhtemel olabilecek kanallı parça geometrileri oluşturulmuştur.



Şekil 4.17: Roll form üretim tekniğine uygun ana ray geometrileri

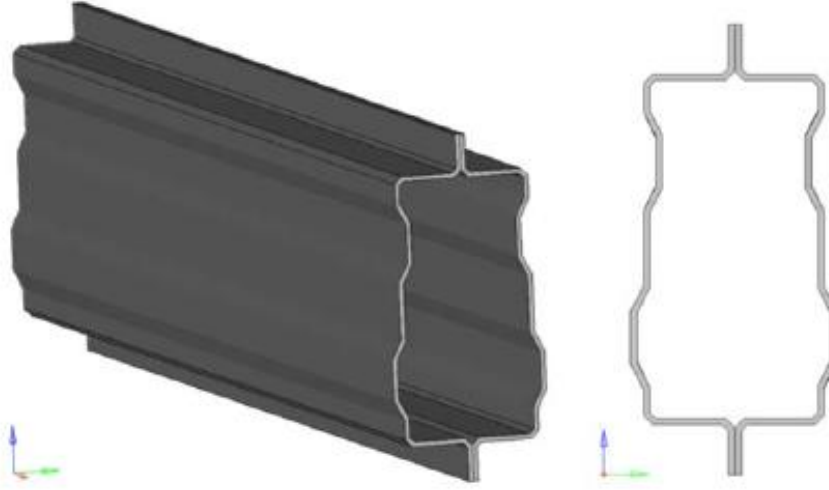
Şekil 4.17’ de belirtilen kanallı yapıların oluşturulması ile parçanın roll form metodu ile üretilmesi, kanallı yapısı sayesinde parça mukavemetinde artış olması hedeflenmiştir. Belirlenen kanallı üç alternatif geometriden hangisinin en optimum yapı olduğunu anlayabilmek için Çizelge 4.9’ de görüldüğü üzere parçanın şekil değişkenliği incelenmiştir.

Çizelge 4.9: Ana ray form optimizasyonu tasarım değişkenlikleri

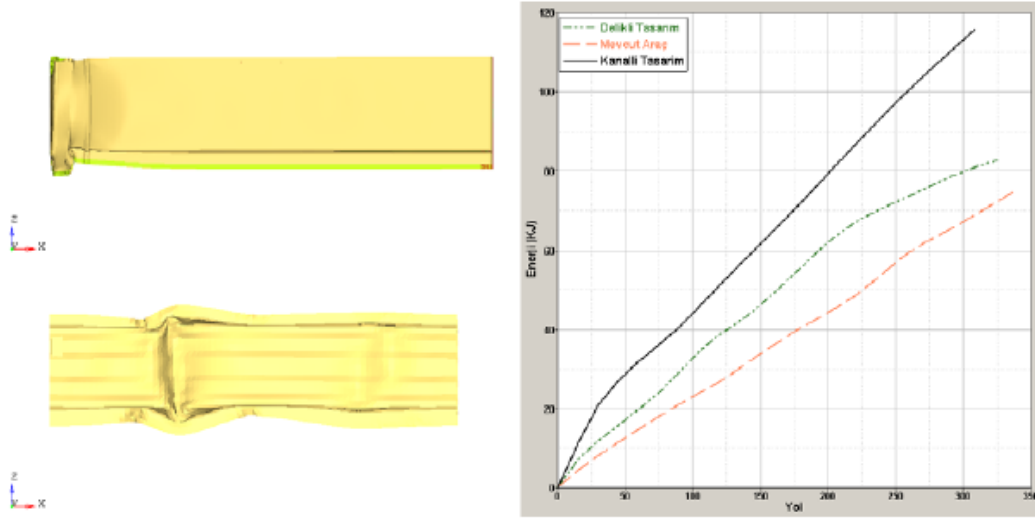
Değişkenlik adı Değişkenlik Değeri	Şekil Değişkenlik 1	Şekil Değişkenlik 2	Şekil Değişkenlik 3	Şekil Değişkenlik 4	Şekil Değişkenlik 5	Şekil Değişkenlik 6
1						
-1						

Çizelge 4.9’ de kullanılan form değişkenleri incelendiğinde parçanın ortasının değişkenlik açısından zayıf bir bölge olduğu görülmüştür. Değişkenlikler incelendiğinde üst ve alt kenarlarda yapının daha az zayıf olduğu görülmüştür. Tüm

bu değerlendirme sonucunda sıralı ve kademeli deformasyonun sağlanması için Şekil 4.18’ de ve Çizelge 4.2’ de belirtilen alternatif 3 geometrisi oluşturulmuştur. Şekil 4.19’ da kanallı ray tasarımının darbe emme enerjisi delikli ve mevcut tasarım ile kıyaslanmıştır.



Şekil 4.18: Maksimum enerji emiliminin sağlandığı geometri tasarımı

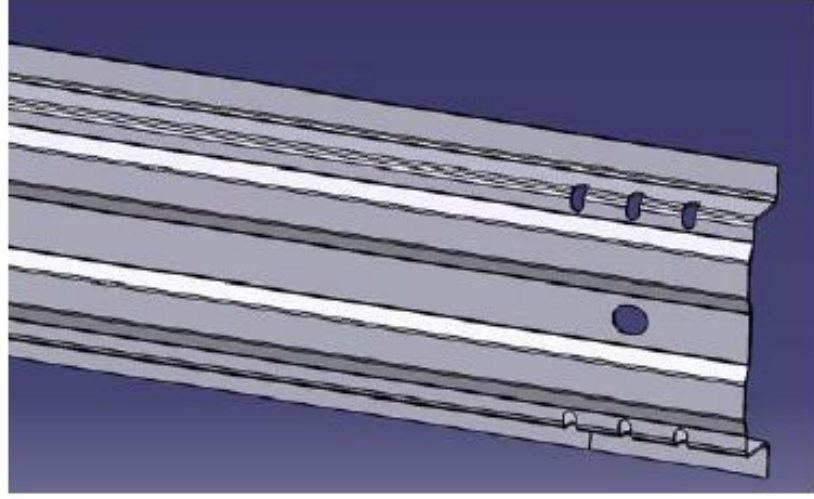


Şekil 4.19: Kanallı ray sistemi tasarımı enerji emilimi

Şekil 4.19’ da da görüldüğü üzere kanal optimizasyonu sonucu ortaya çıkan tasarım mevcut tasarımdan % 66; delikli tasarımdan % 42 daha yüksek enerji emilimine sahiptir. Kütle olarak mevcut tasarımdan % 5.2; delikli tasarımdan %1.1 daha hafiftir.

Analiz çalışmaları sonrasında Şekil 4.19’ da gibi kanallı yapının daha optimum olduğu görülmüştür. Fakat tasarımın daha da iyi seviyelere getirilmesi için kanallı

yapının yanı sıra tasarım çalışmaları esnasında delik tetikleyicilerin konumunu belirlemek için yapılan burkulma modları çalışmasına istinaden kanallı yapı üzerine tetikleyiciler (delikler) eklenmiştir. Alternatif 2 ray tasarımıdaki tetikleyici konumlarından yararlanmak ile birlikte delik sayıları ve ebatları optimize edilmiştir. Çarpma esnasında sıralı deformasyonu sağlaması adına rayların üst kısmına da Şekil 4.20’ de görüldüğü üzere delikler konumlandırılmıştır.



Şekil 4.20: Ana ray final tasarımı

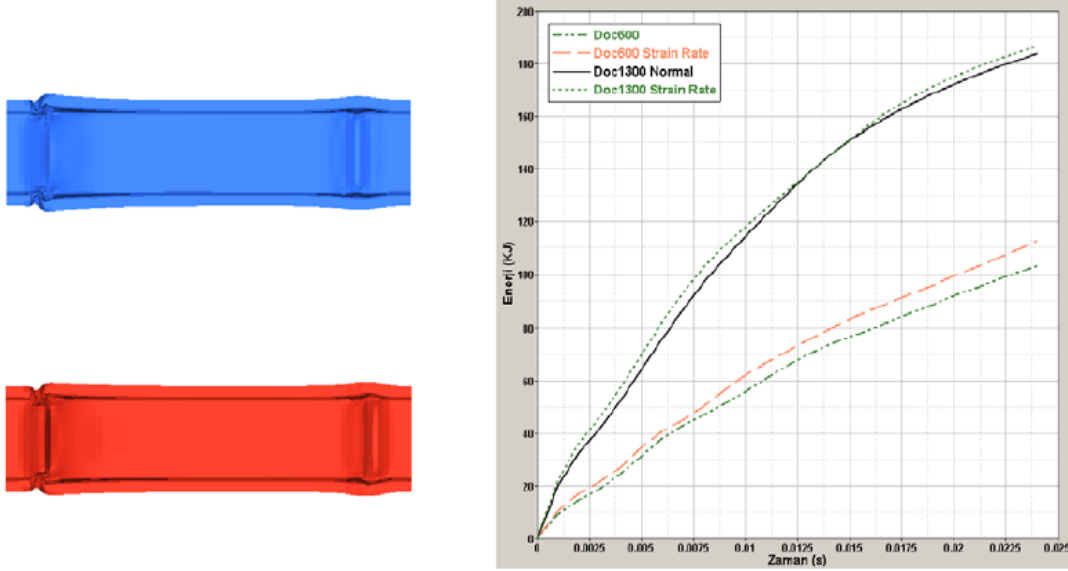
Ayrıca ana rayın kaynak prosesi için de gerekli olan deliklerin konumu belirlenmiş ve tasarım analizleri tekrarlanmıştır. Analiz sonucunda, kaynak fikstür deliklerinin ana rayların enerji emilim performansını azaltmadığı görülmüştür.

Ana ray parçası için final geometri belirlenmiş olup bu geometrinin diğer komponentlere olan ilişkisi değerlendirilerek uygun malzeme seçimine yönelik çalışmalar yapılacaktır.

Prensip 3’ ün doğrulanması : “Aynı geometri için malzemelerin “deformasyon hızı” etkilerinin malzemeler arasındaki sıralamayı değiştirmeyecek kadar küçük olduğu görülmüştür” Prensip 3 maddesinin doğrulanması adına iki farklı malzemenin analizi yapılarak deformasyon hızının enerji seviyesine yaptığı etki incelenmiştir.

Bütün malzemelerin deformasyon hızı değerleri mevcut olmadığından aynı kalınlık ve geometriye sahip ray tasarımının farklı iki malzeme kullanıldığında deformasyon hızı etkisinin enerji seviyelerini ne kadar değiştirdiği Şekil 4.21’ de incelenmiştir. Buna göre malzeme üreticilerinin verdiği verilerden yola çıkarak, Docol 1300 ve Docol 600 malzemeleri analiz edilmiştir. Docol 1300 için %1.3, Docol 600 için %8’

e yakın bir değişim görölmüştür. Bununla birlikte malzeme davranışı ihmal edilebilecek düzeyde etkilenmiştir. Bu fark enerji seviyelerinde bir sapmaya sebep olsa da ideal malzeme seçimini etkilemeyecek bir kriter olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4.21: Farklı malzemelerde deformasyon hızı etkisinin önemi (Prensip3)

Şekil 4.21’ de belirtilen analiz sonrasında tasarım metodolojisi aşamasında tasarım çalışmalarını optimize edebilmek için belirlenen prensiplerden prensip 3 doğrulanmıştır.

4.4.2. Çarpma kutusu tasarımı

4.4.2.1. Tasarım

Çarpma kutusu parçası, tampon ve ana raylar arasında kalan bir parça olup otomobil ön gövdesinde iki adet bulunmaktadır. Önden çarpma durumunda tampondan etkilenen ikinci parça olması sebebiyle plastik deformasyona uğrayarak darbe enerjisinin bir kısmını sönmülmesi beklenmektedir.

Çarpma kutusu için alternatif geometriler oluşturulduken; yeni tasarım hedeflerinin belirlenmesi için yapılan benchmark ve literatür çalışmaları referans alınmıştır. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’ de görüldüğü üzere B segmentinde bulunan araçların çarpma kutusu geometrileri incelenmiştir. İncelemeler kapsamında bu segmente ait araçların çarpma kutuları için oluşturulan geometriler ve bu parçalar için kullanılan malzemeler irdelenmiştir. Ayrıca oluşturulan geometrilerin kapladığı alan sorgulanmıştır.



Şekil 4.22: Benchmark yapılan formlu yapıya sahip çarpma kutusu görseli



Şekil 4.23: Benchmark yapılan düz yapıya sahip çarpma kutusu

Yapılan benchmark çalışmaları sonrasında çarpma kutusunda formlu ve düz yapıların kullanıldığı görülmüştür. Bu incelemelerden yola çıkarak Çizelge 4.10’ da belirtilen alternatif çarpma kutusu geometrileri oluşturulmuştur. Kırmızı renk kodu %15 daha hafif ağırlık hedefini desteklemeyen geometrileri, sarı renk kodu Çizelge 4.1’ de belirtilen prensiplere istinaden malzemeden bağımsız, parça geometrilerine bağlı olarak darbe enerjisi emme kapasitesinin iyileştirilemeyeceği düşünülen geometrileri ifade etmektedir. Bu durumun analiz ile doğrulanması tasarım çalışmaları içerisinde yapılmıştır. Yeşil renk kodu ise tasarım çalışmalarına devam edilecek ve analizlerle doğrulanacak geometriyi belirtmektedir. Çizelge 4.10’ da çarpma kutusu için yapılan ağırlık hesabı bir tane çarpma kutusuna aittir.

Çizelge 4.10: Çarpma kutusu alternatif geometrileri (Malzeme – Kalınlık matrisi)

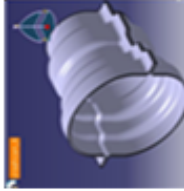
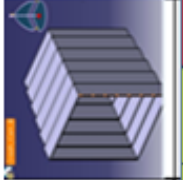
Alternatif Çarpma Kutusu Geometrileri		HSLA 340			FEE 420			DP 600			HSLA 500		
ÇARPMA KUTUSU (alt.1)		Kalınlık (mm)	1,8	2,2	2,4	1,6	2	2,2	1,6	2	1,6	2	2,2
		Ağırlık (kg)	0,90	1,10	2,40	0,80	1,00	1,10	0,80	1,00	0,80	1,00	1,10
ÇARPMA KUTUSU (alt.3)		Kalınlık (mm)	1,8	2,2	2,4	1,6	2	2,2	1,6	2	1,6	2	2,2
		Ağırlık (kg)	0,93	1,13	2,40	0,82	1,03	1,13	0,82	1,03	0,82	1,03	1,13
ÇARPMA KUTUSU (alt.4)		Kalınlık (mm)	1,8	2,2	2,4	1,6	2	2,2	1,6	2	1,6	2	2,2
		Ağırlık (kg)	0,87	1,07	2,40	0,78	0,97	1,07	0,78	0,97	0,78	0,97	1,07
ÇARPMA KUTUSU (alt.5)		Kalınlık (mm)	1,8	2,2	2,4	1,6	2	2,2	1,6	2	1,6	2	2,2
		Ağırlık (kg)	0,85	1,04	2,40	0,76	0,95	1,04	0,76	0,95	0,76	0,95	1,04

 Kırmızı renk kodu ağırlık hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

 Sarı renk kodu enerji hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

 Tasarım çalışmalarına devam edilen geometriyi belirtmektedir

Çizelge 4.10 Devamı: Çarpma kutusu alternatif geometrileri (Malzeme – Kalınlık

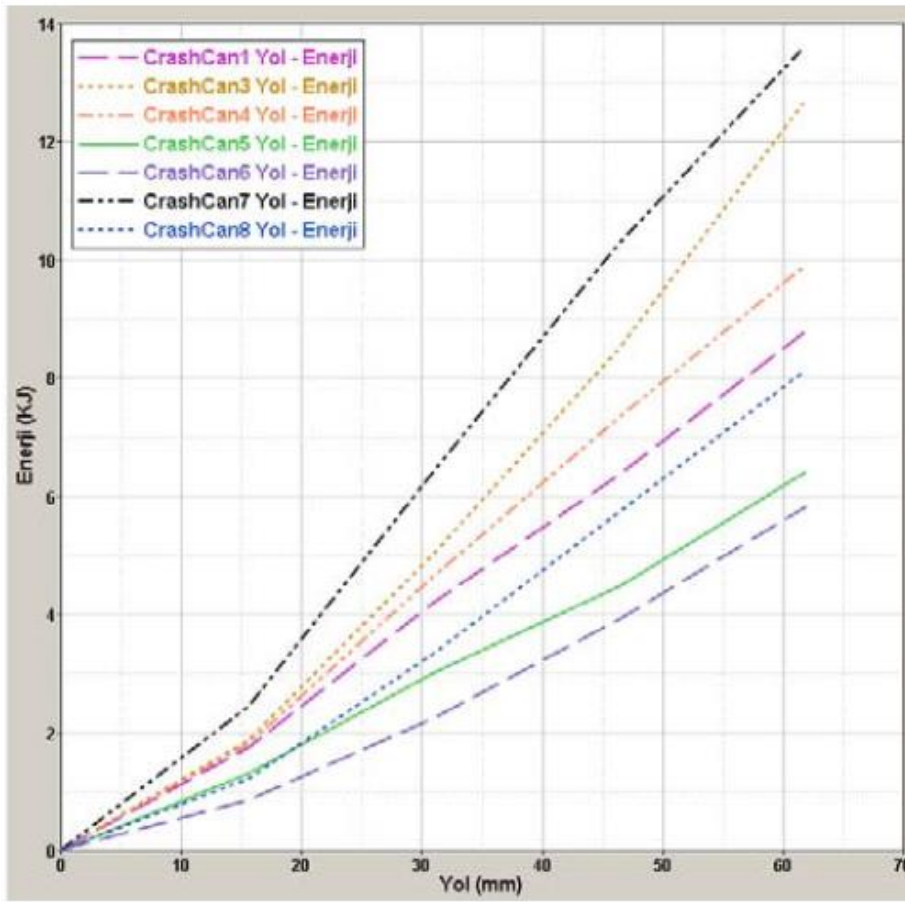
Alternatif Çarpma Kutusu Geometrileri		HSLA 340			FEE 420			DP 600			HSLA 500		
ÇARPMA KUTUSU (alt.6)		Kalınlık (mm)	1,8	2,2	2,4	1,6	2	2,2	1,6	2	1,6	2	2,2
		Ağırlık (kg)	0,68	0,83	2,40	0,60	0,75	0,83	0,60	0,75	0,60	0,75	0,83
ÇARPMA KUTUSU (alt.7)		Kalınlık (mm)	1,8	2,2	2,4	1,6	2	2,2	1,6	2	1,6	2	2,2
		Ağırlık (kg)	1,08	1,32	2,40	0,96	1,20	1,32	0,96	1,20	0,96	1,20	1,32
ÇARPMA KUTUSU (alt.8)		Kalınlık (mm)	1,8	2,2	2,4	1,6	2	2,2	1,6	2	1,6	2	2,2
		Ağırlık (kg)	0,71	0,87	2,40	0,63	0,79	0,87	0,63	0,79	0,63	0,79	0,87

 Kırmızı renk kodu ağırlık hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

 Sarı renk kodu enerji hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

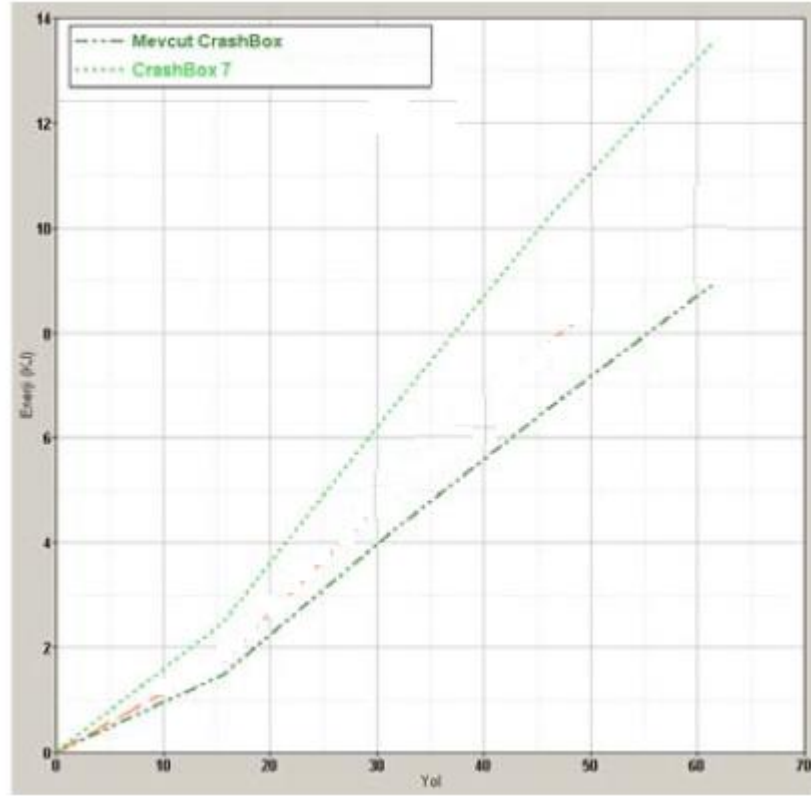
 Tasarım çalışmalarına devam edilen geometriyi belirtmektedir

Çizelge 4.10’ da yedi tane alternatif geometri oluşturulmuştur. Alternatif 1 geometrisi üzerinde çıkıntılar ve yüzeylerin birleştiği noktada delikler yaratılmıştır. Alternatif 3 geometrisinde alternatif 1 geometrisi üzerinde delik olmayan versiyonu analiz edilmiştir. Alternatif 4 ve 7’ de ise düz yüzeyler oluşturularak analiz koşturulmuştur. Alternatif 5, 6 ve 9’ da ise yüzeyde kanallar oluşturularak parçaya açılmıştır. Bu yapıların oluşturulması ile darbe sönümleme kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Çizelge 4.10’ daki geometriler oluşturulması sonrası analiz çalışması yapılarak bu geometrilerin darbe emme enerjisi Şekil 4.24’ de görüldüğü üzere karşılaştırılmıştır.



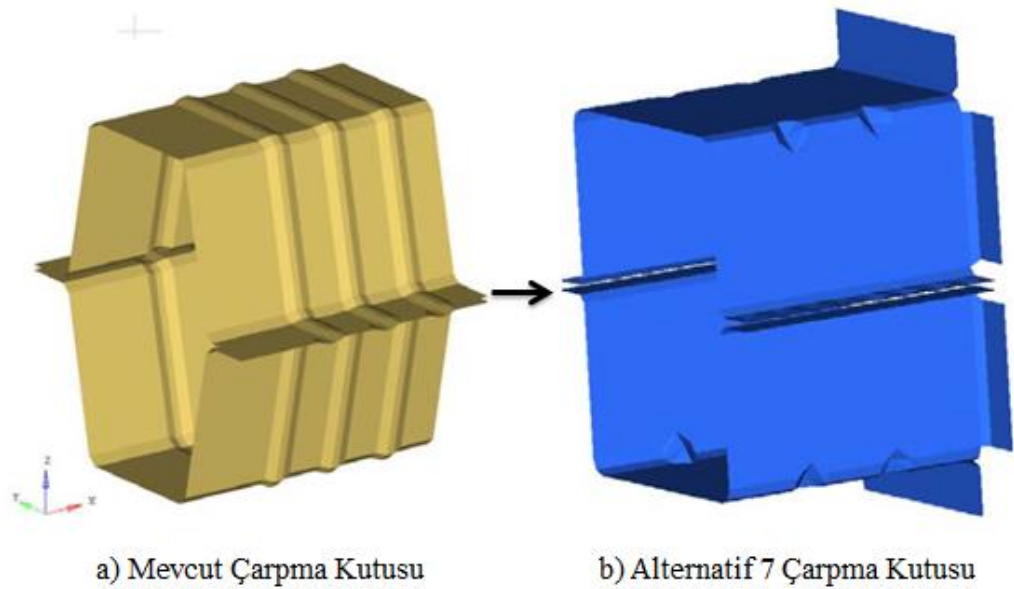
Şekil 4.24: Alternatif çarpma kutusu geometrileri yol-enerji sönümleme grafiği

Şekil 4.24’ de alternatif geometriler içerisinde darbe emme enerjisi en iyi olan geometrinin 7. alternatif olduğu görülmüştür. Bu geometri üzerinden tasarım çalışmalarına devam edilmesine yönelik çalışmalar yapılmadan önce 7. Alternatif ile mevcut tasarımın darbe sönümleme enerjileri kıyaslamak adına Şekil 4.25’ de belirtilen analiz çalışması yapılmıştır.



Şekil 4.25: Alternatif 7 ve mevcut çarpma kutusu geometrilerinin darbe emme enerjisi karşılaştırma grafiği.

Bu çalışma sonrasında mevcut alternatifler içerisinde en iyi performansı Şekil 4.26 b)'de görüldüğü üzere 90x135 mm dikdörtgen kesitli çarpma kutusu göstermiştir



Şekil 4.26: a) Mevcut çarpma kutusu b) Alternatif 7 çarpma kutusu geometrileri

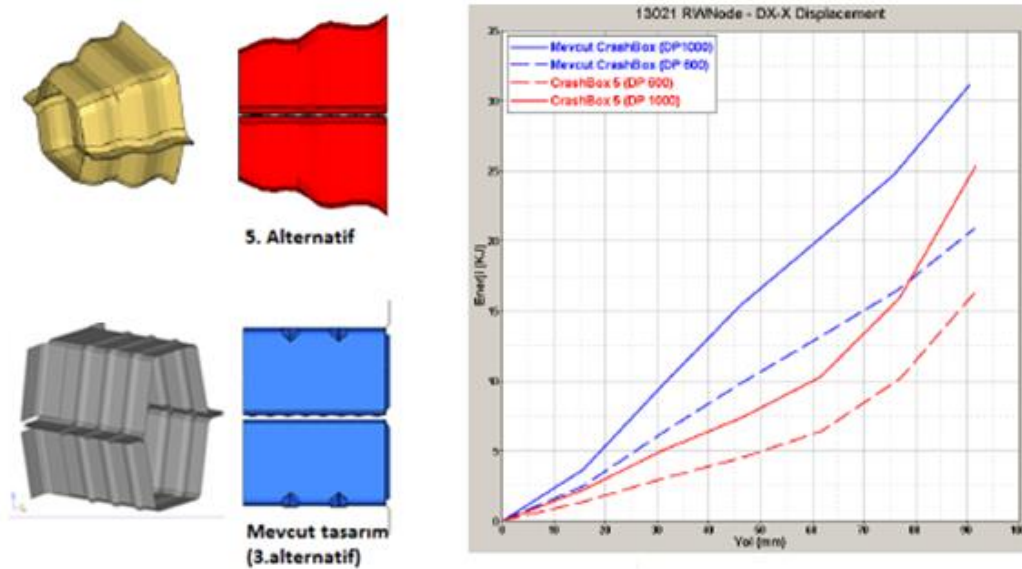
Alternatif tasarımlar içerisindeki en iyi çarpma kutusunun enerji emilimi aynı malzeme ve kalınlıktaki mevcut tasarımdan Şekil 4.25’ de de belirtildiği üzere yaklaşık %28 daha fazladır.

Konsept olarak dikdörtgen geometriye sahip bir tasarımın en iyi performansı göstermesi sonucu bu geometri temel alınarak yeni tasarımın iyileştirilme çalışmalarına devam edilmiştir.

Çarpma kutusu geometrileri oluşturulurken tasarım metodolojisinin hazırlandığı aşamada optimizasyon çalışmaları etkili bir şekilde yapabilmek için Çizelge 4.1’ de belirtilen prensip 1 ve prensip 2 maddelerinin doğrulanması amacıyla çarpma kutusu alternatiflerinden biri olan 5 nolu alternatif ile mevcut tasarım arasında analiz çalışması yapılmıştır.

Prensip 1 maddesinin doğrulanması : “Farklı geometrilerin birbirlerine göre enerji emilim oranları, aynı malzemeler için birbirine yakındır” prensibinin doğrulanması için;

- ✓ Geometrinin değişken olduğu belirtilerek 2 farklı geometri alınmıştır (Mevcut çarpma kutusu ve alternatif 5)
- ✓ Malzeme ve kalınlık sabit kabul edilerek Şekil 4.27’ de görüldüğü üzere analiz çalışması yapılmıştır.

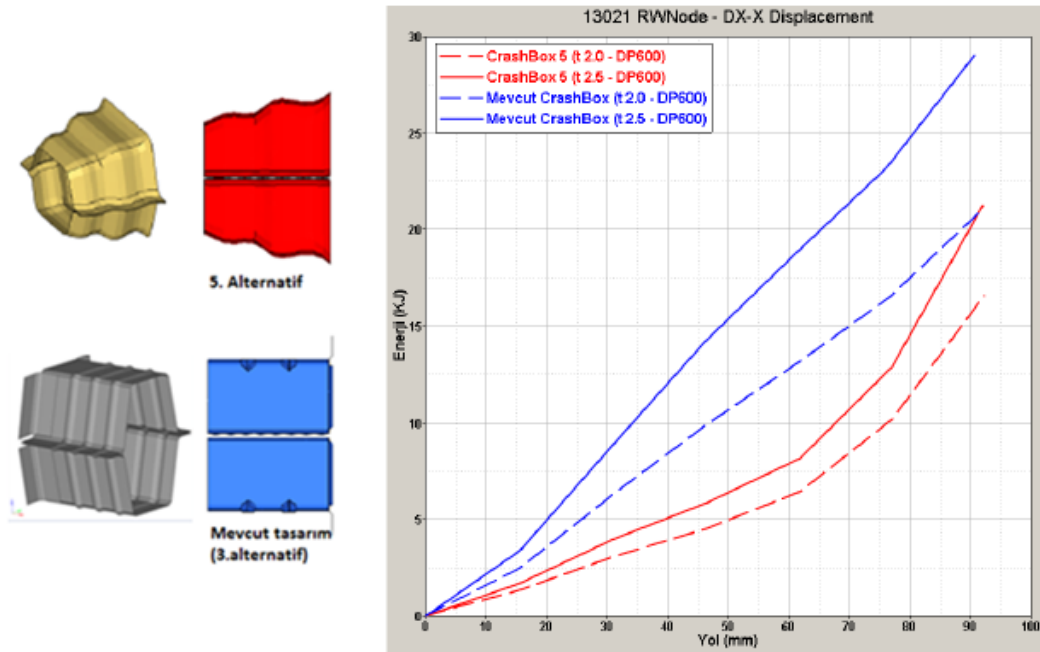


Şekil 4.27: Farklı geometriler için farklı malzemeler ve aynı kalınlık değerleri ile enerji emilim seviyelerinin kontrolü (Prensip 1)

Mevcut çarpma kutusu (alternatif 3) geometrisi enerji seviyesi ile 5.alternatif tasarımının enerji seviyesi, DP1000 ve DP600 malzemeleri kullanılarak kıyaslanmıştır. Şekil 4.27’ de görüldüğü üzere mevcut tasarımda ve alternatif 5 geometrisinde DP1000 malzemesi kullanıldığında mevcut tasarımın enerji emme kapasitesinin daha yüksektir. Aynı geometrilerde DP600 malzemesi kullanıldığında mevcut tasarımın bu malzeme ile de daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Şekil 4.27’ de her iki durumda da mevcut çarpma kutusu tasarımı 5.alternatiften yaklaşık %55 daha iyi sonuç vermiştir. Buna göre malzeme seçimi değiştiği halde tasarımların enerji emilim oranları birbirlerine göre aynı kalmıştır. Bu sonuca göre optimum geometri tasarımının bir baz malzemeye göre tasarlanabileceği prensibi doğrulanmıştır.

Prensip 2 maddesinin doğrulanması: “Farklı geometrilerin birbirine göre enerji emilim oranları aynı malzemeler ve kalınlık değerleri için birbirine yakındır” prensibinin doğrulanması için;

- ✓ Geometri ve kalınlık değişken değişken olarak alınmıştır.
- ✓ Malzeme ise sabit kabul edilerek Şekil 4.28’ de belirtilen analiz çalışması yapılmıştır.



Şekil 4.28: İki farklı geometrinin farklı kalınlıklarla enerji emilim seviyelerinin kontrolü (Prensip 2)

Şekil 4.28’ de görüldüğü üzere mevcut çarpma kutusunun enerji seviyesi 5.alternatif çarpma kutusu tasarımının enerji seviyesiyle kıyaslanmıştır. Her iki geometride de DP600 malzemesi kullanılmıştır. Bu geometrilerin 2.00mm ve 2.5mm kalınlıklardaki geometrileri analiz edilerek kalınlık değişiminin enerji emilimine etkisi incelenmiştir. Mevcut tasarımın 2.5mm kalınlık esas alınarak oluşturulduğu geometrinin 2.00mm den daha yüksek enerji emilimine sahip olduğu görülmüştür. Aynı şekilde 5. alternatifte de kalınlık artışının enerji emiliminde avantaj sağlandığı görülmüştür. Bu iki geometri aynı kalınlık değerleri için kıyaslandığında ise her iki tasarımda da kalınlık artışı yaklaşık %28 enerji artışına sebep olmuştur. İki farklı geometrinin kalınlık artışına karşı aynı oranda hassasiyet göstermesi kalınlığı dikkate almadan geometrinin optimizasyonunun yapılabileceğini göstermektedir. Bu sonuca göre optimum geometri tasarımının bir baz malzeme ile birlikte bir baz kalınlık değerine göre tasarlanabileceği prensibi doğrulanmıştır.

Bu doğrulamanın yapılması ile ana ray ve çarpma kutusunun tasarım çalışmaları esnasında referans alınan bu üç prensibinde doğru olduğu ve bu prensiblerin analiz çalışmalarını optimize ettiği görülmüştür.

Çarpma kutusu için yapılan yeni tasarım çalışması sonrasında seçilen Şekil 4.26 b)’ de belirtilen alternatif 7 tasarımı üzerinden tasarım iyileştirme çalışmalarına devam edilmiştir.

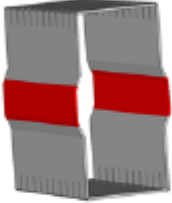
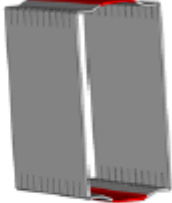
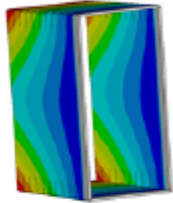
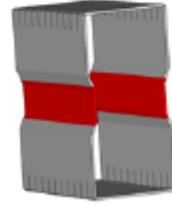
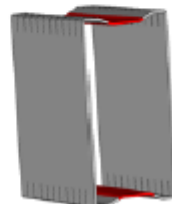
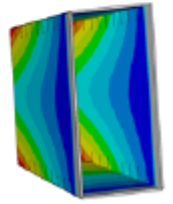
4.4.2.2. Tasarımın iyileştirilmesi

Çarpma kutusu için uygun geometrinin belirlenmesi sonrasında daha hafif, enerji emme kapasitesi daha yüksek bir geometrinin oluşturulması adına seçilen geometri üzerinden tasarım iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

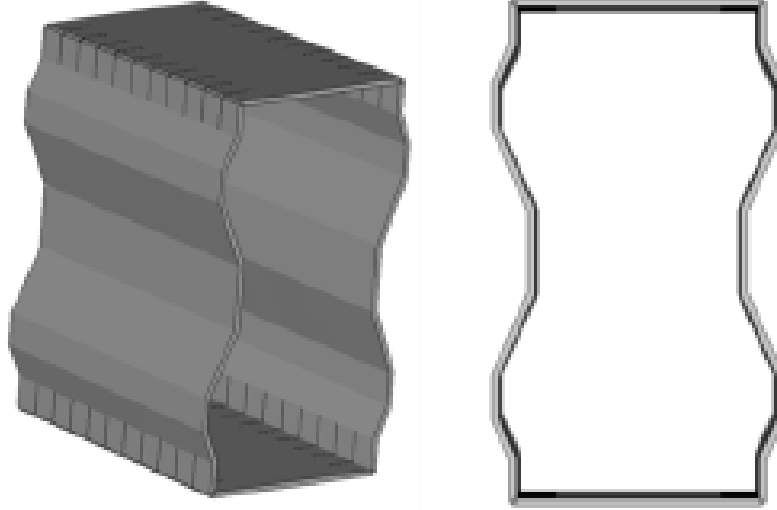
Tasarlanan geometri üzerinde tasarım değişkenleri belirlenerek Çizelge 4.11’ de belirtilen optimizasyon analizleri yapılmıştır.

Yapılan bu analiz sonrasında belirlenen geometrinin şekillendirme aşamasında yüzeyde olabilecek muhtemel formlamalarına bakılarak geometride yapılacak şekil değişikliklerinin zayıf ve güçlü noktaları belirlenmiştir. Çizelge 4.11’ de Şekil değişkenlik 3’ te görüldüğü üzere geometrinin alt ve üst yüzeylerinde formlama yapıldığında kırmızı renk ile belirtilen zayıf bölgeler oluşmaktadır. Bu nedenle bu yüzeyler düz bırakılmıştır. Sonrasında darbe enerji emilimi arttırmak için yan yüzeylere form verilmek istenmiştir.

Çizelge 4.11: Çarpma kutusu form optimizasyonu tasarım değişkenleri

Değişkenlik Adı Değişkenlik Değeri	Şekil Değişkenlik 1	Şekil Değişkenlik 2	Şekil Değişkenlik 3	Şekil Değişkenlik 4
1				
-1				

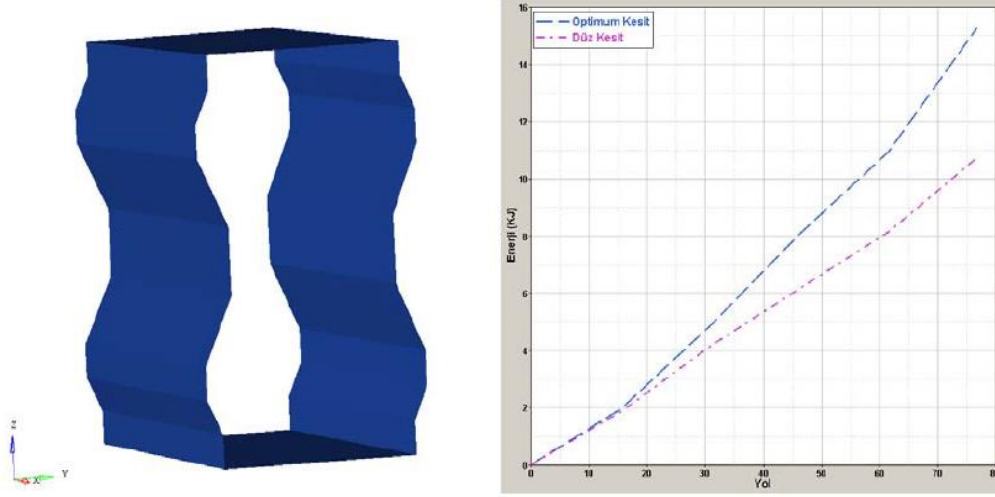
Çizelge 4.11’ de belirtilen değişkenlikler referans alınarak şekil 4.29’ da belirtilen çarpma kutusu geometrisi oluşturulmuştur.



Şekil 4.29: Maksimum enerji emiliminin sağlandığı çarpma kutusu geometrisi

Şekil 4.29’ da gösterilen geometri oluşturulduktan sonra yeni geometri analiz edilmiştir. Şekil 4.30’ da da görüldüğü üzere optimizasyon sonrası elde edilen geometri, çalışmanın başında baz olarak alınan düz dikdörtgen geometriden %42 daha yüksek enerji emilimine sahiptir.

Çarpma kutusu parçası için Şekil 4.30’ da belirtilen final geometri belirlenmiş olup bu geometrinin diğer komponentlere olan ilişkisi değerlendirilerek uygun malzeme seçimine yönelik çalışmalar yapılacaktır.



Şekil 4.30: Optimizasyon sonrası çarpma kutusu enerji seviyeleri

4.4.3. Ön tampon tasarımı

4.4.3.1. Tasarım

Ön tampon parçası ön gövde grubu içerisinde darbenin karşılaştığı ilk parçadır. Bu parçanın düşük hızlı çarpışmalarda darbe enerjini emmesi ve diğer parçaları koruması beklenmektedir. Yüksek hızlı çarpma durumunda ise deformasyona uğrayarak enerjinin bir kısmını sönmülmesi istenmektedir.

Tampon parçası için alternatif geometri çalışması yapılmadan önce aynı sınıftaki araçların tamponları incelenerek benchmark çalışması yapılmıştır.

Özel bir benchmark programı yardımıyla yapılan benchmark çalışmaları kapsamında Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’ de belirtilen geometrilere sahip ön tampon modelleri incelenmiştir.



Şekil 4.31: Alt ve üst kenarlara form verilen ön tampon geometrisi



Şekil 4.32: Düz yüzeye ve bu yüzeyde deliklere sahip ön tampon modeli



Şekil 4.33: Kanallı yapıya sahip ön tampon modeli

Benchmark çalışmalarında ön tamponda formlu ve kanallı yapıların kullanıldığı görülmüştür. Bu geometriler referans alınarak ve araç ön gövdesine tampon için ayrılan bölge esas alınarak alternatif ön tampon geometrileri oluşturulmuştur.

Oluşturulan altı tampon geometrisi Çizelge 4.12’ de gösterilmiştir.

Kırmızı renk kodu %15 daha hafif ağırlık hedefini desteklemeyen geometrileri, sarı renk kodu Çizelge 4.1’ de belirtilen prensiplere istinaden malzemedan bağımsız, parça geometrilerine bağlı olarak darbe enerjisi emme kapasitesinin iyileştirilemeyeceği düşünülen geometrileri ifade etmektedir. Bu durumun analiz ile doğrulaması tasarım çalışmaları içerisinde yapılmıştır. Yeşil renk kodu ise tasarım çalışmalarına devam edilecek ve analizlerle doğrulanacak geometriyi belirtmektedir.

Tampon için ayrılan paket alanının belirli ve dar olması tampon tasarımı için oluşturulan alternatif geometrilerin birbirine oldukça yakın olmasına sebep olmuştur. Ayrıca bu parçanın roll form metodu ile üretilecek olması da oluşturulan geometrilerin sınırlı olmasına neden olmuştur. Tampon için altı alternatif geometri oluşturulmuştur. Alternatif 1, 2, 3, 4 ve 6 geometrileri ile tampon üzerinde kanallar oluşturularak darbe emme enerjisi kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Alternatif 5 tampon geometrisi ise diğer geometrilere istinaden daha düz yapılar oluşturulmuştur.

Çizelge 4.12: Ön tampon alternatif geometrileri (Malzeme – Kalınlık Matrisi)

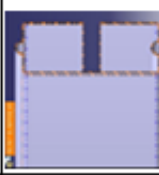
Alternatif Ön Tampon Geometrileri		DP 1000			DOCOL 1200				DOCOL 1300				DOCOL 1400		
ÖN TAMPON (alt. 1)		Kalınlık (mm)	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1	1,2	1,4	
		Ağırlık (kg)	5,46	5,85	6,24	4,68	5,07	5,46	4,68	5,07	5,46	3,90	4,68	5,46	
ÖN TAMPON (alt. 2)		Kalınlık (mm)	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1	1,2	1,4	
		Ağırlık (kg)	5,55	5,94	6,34	4,76	5,15	5,55	4,76	5,15	5,55	3,96	4,76	5,55	
ÖN TAMPON (alt. 3)		Kalınlık (mm)	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1	1,2	1,4	
		Ağırlık (kg)	5,85	6,26	6,68	5,01	5,43	5,85	5,01	5,43	5,85	4,18	5,01	5,85	

 Kırmızı renk kodu ağırlık hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

 Sarı renk kodu enaşı hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

 Tasarım çalışmalarına devam edilen geometriyi belirtmektedir

Çizelge 4.12 Devamı: Ön tampon alternatif geometrileri (Malzeme – Kalınlık

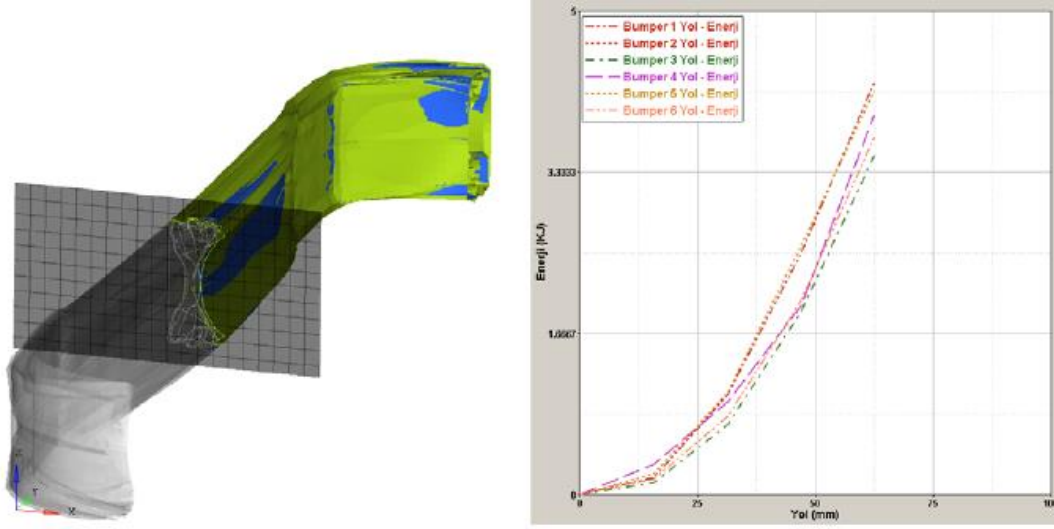
Alternatif Ön Tampon Geometrileri		DP 1000			DOCOL 1200			DOCOL 1300			DOCOL 1400			
ÖN TAMPON (alt. 4)		Kalınlık (mm)	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1	1,2	1,4
		Ağırlık (kg)	5,99	6,42	6,84	5,13	5,56	5,99	5,13	5,56	5,99	4,28	5,13	5,99
ÖN TAMPON (alt. 5)		Kalınlık (mm)	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1	1,2	1,4
		Ağırlık (kg)	5,28	5,66	6,04	4,53	4,90	5,28	4,53	4,90	5,28	3,77	4,53	5,28
ÖN TAMPON (alt. 6)		Kalınlık (mm)	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1	1,2	1,4
		Ağırlık (kg)	6,17	6,61	7,05	5,29	5,73	6,17	5,29	5,73	6,17	4,41	5,29	6,17

 Kırmızı renk kodu ağırlık hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

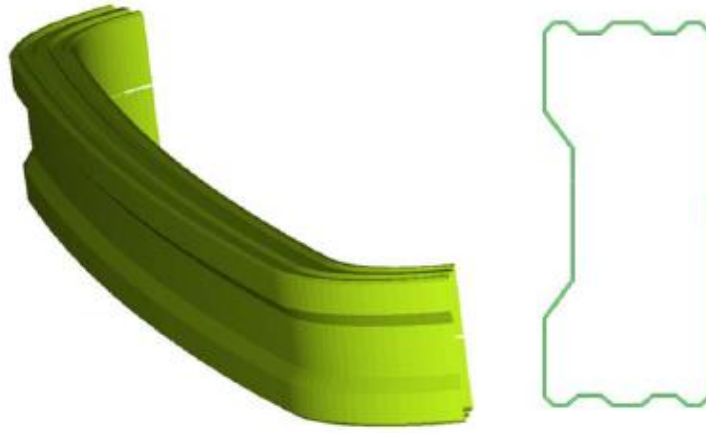
 Sarı renk kodu enaerji hedefine uygun olmadığını belirtmektedir

 Tasarım çalışmalarına devam edilen geometriyi belirtmektedir

Ön tamponun çarpışma yönündeki boyutlarının küçük olması ve çarpışma yönüne dik konumu nedeniyle de enerji sığası küçüktür. Bu tasarımlar için Şekil 4.34’ de gösterildiği üzere analiz çalışması yapılarak en yüksek şekil değiştirme enerjisine sahip olan Şekil 4.35’ de belirtilen 2 nolu alternatif geometri seçilmiştir.



Şekil 4.34: Tampon seçimi – Tampon darbe emme enerji grafiği



Şekil 4.35: Alternatif 2 tampon geometrisi

Yeni ön tampon tasarımı sonrasında bu alternatif üzerinde tasarım iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

4.4.3.2. Tasarımın iyileştirilmesi

Tamponun yolcu açısından yeterli güvenlikte ve mukavemette olması gerekmektedir. Tasarım iyileştirme çalışmaları yapılırken hen bu durum hem de tamponun roll form metodu ile üretilebilirliği göz önünde bulundurulmuştur. Literatür çalışmalarında,

kinetik enerjinin soğrulması için pnömatik ya da hidrolik şok absorblayıcıların kullanımı kadar çelik malzemelerden yapılmış ince cidarlı yapılarında sağlandığı gözlenmiştir. Bu yapıların deformasyonu araba gövdesinin frame fonksiyonunu üstlenen yapıların tüm yönlerde absorblanmasına izin vermektedir. Tasarım iyileştirme çalışmalarında bu özellikte göz önünde bulundurulmuştur.

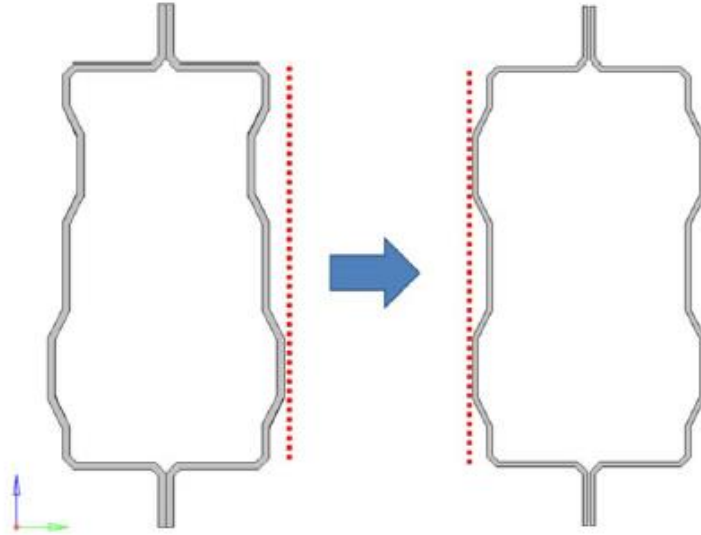
Tasarım iyileştirme çalışmaları kapsamında çarpma direncinin yükseltilmesi için iç içe iki U profil oluşturulmuştur. Böylece hem tampon desteklenmiş hem de çarpma kutusu ile kaynaklı bir komple oluşturulmuştur.

5. YENİ ÖN GÖVDE GRUBU TASARIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Her üç parça için de Şekil 4.20’ de belirtilen ana ray, Şekil 4.29’ da belirtilen çarpma kutusu ve Şekil 4.35’ de belirtilen ön tampon optimum geometrilerine ulaşıldıktan sonra parçaların birbiriyle ve ön gövde paketinde bulunan diğer parçalarla olan ilişkisi incelenmiştir. Bu inceleme sonrasında tampon, ana ray ve çarpma kutusunun birbirleriyle ve araç kompleksiyle uyumlu birleşmesini sağlayacak ve üretilebilirliği mümkün kılacak detaylar tasarlanmıştır.

Tasarımı üretilebilir hale getirebilmek için;

- 1) Ana ray ile aynı paket zarfında bulunan motor takozları vb. bağlantı braketlerinin dayanabileceği aynı derinlikte yüzey ihtiyacı için ray kesitindeki iç bükey form Şekil 5.1’ de görüldüğü üzere dış bükey hale getirilmiştir.

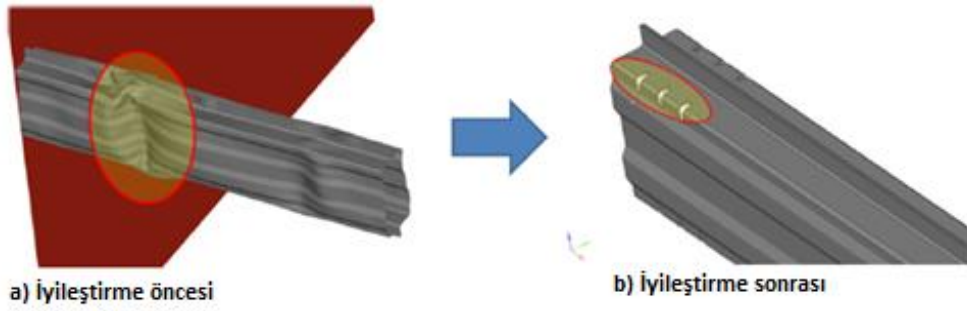


Şekil 5.1: Ray geometrisinde yapılan form değişikliği

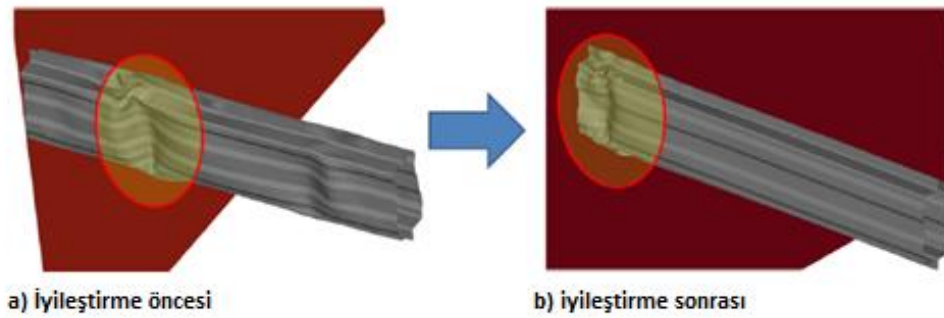
- 2) Ana ray için optimum geometri belirlenirken burkulma hareketinin rayın ortasına yakın bir bölgeden başladığı görülmüştür. Bu durum darbe esnasında enerjinin ana rayın ortasından itibaren sönümlenmesine, parçanın ön kısımlarının enerji absorplaması için kullanılamamasına sebep olmaktadır. Bu

durumu iyileştirmek amacıyla Şekil 5.2 b)' de görüldüğü üzere ana rayın en rijit bölgesi olan köşelere burkulmayı tetikleyici delikler açılarak sıralı deformasyon sağlanmıştır. Bu delikler vasıtasıyla başlangıçta Şekil 5.3 a)' da görüldüğü gibi ana rayın ön kısmında enerji sönmüleme görevinde kullanılmayan kısım tetikleyicilerin köşelere eklenmesi ile kullanılmıştır. Şekil 5.3 b)' de görüldüğü üzere köşelere tetikleyici deliklerin açılmasıyla deformasyon orta kısımdan ön tarafa yönlendirilerek sıralı deformasyon sağlanmıştır.

Bu tetikleyiciler aracılığı ile hem sıralı ve kademeli deformasyon sağlanmış bununla birlikte de önden çarma anında bu parçanın akordiyon şeklinde deformasyonunun gerçekleştirilmesi mümkün kılınmıştır. Bu durum araç ön gövdesinde enerji sönmüleme kapasitesi yüksek olan ana ray parçasının darbe emme kabiliyetinin artırılması ile sonuçlanmıştır.



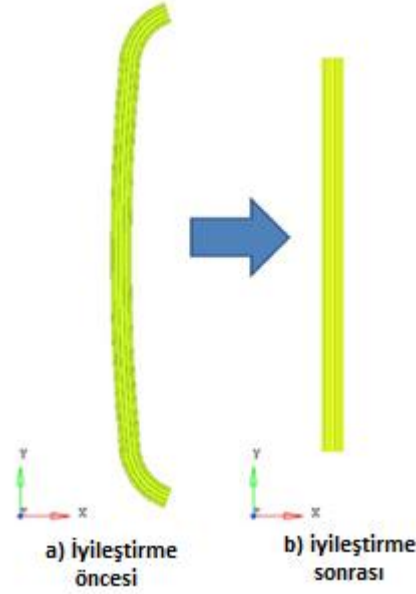
Şekil 5.2: Sıralı deformasyonu sağlamak için ana ray üzerine eklenen tetikleyiciler



Şekil 5.3: Ana ray üzerinde bulunan tetikleyicilerin burkulma başlangıcına etkisi

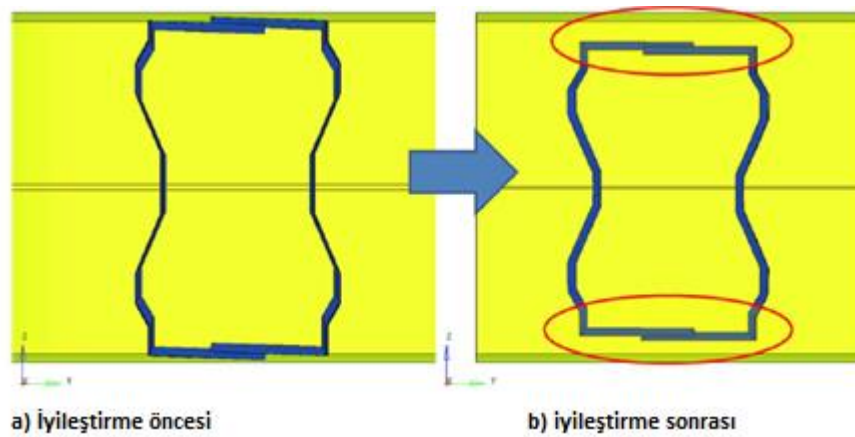
- 3) Tamponun roll form metodu ile üretilmesi için tamponun ikinci bir operasyonla yapılması gereken kenar radyusları Şekil 5.4' de belirtildiği gibi kaldırılmıştır. Bu sayede tampon ve çarpma kutusunun kolayca

birleştirilebilmesi sağlanmış ve parçalar arasında bulunan boşluk bertaraf edilmiştir.



Şekil 5.4: Tampon tasarımındaki değişiklik

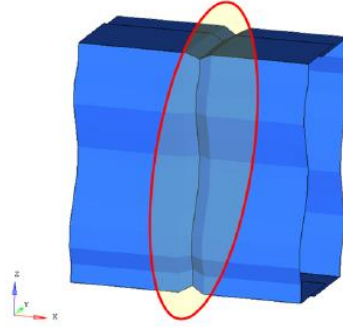
- 4) Tampon ve çarpma kutusu arasında kaynak boşluğu bırakabilmek için çarpma kutusunun yüksekliği toplamda 16mm azaltılmıştır. Ayrıca kalıpta üretilecek olan çarpma kutunun kalıp maliyetini azaltmaya yönelik ve bu komponenti oluşturan parçaların aynı kalıptan üretilebilmeleri için Şekil 5.5 b)' de görüldüğü üzere tasarımın simetrik olması sağlanmıştır.



Şekil 5.5: Çarpma kutusunda kaynak edilebilirlik için bırakılan boşluk

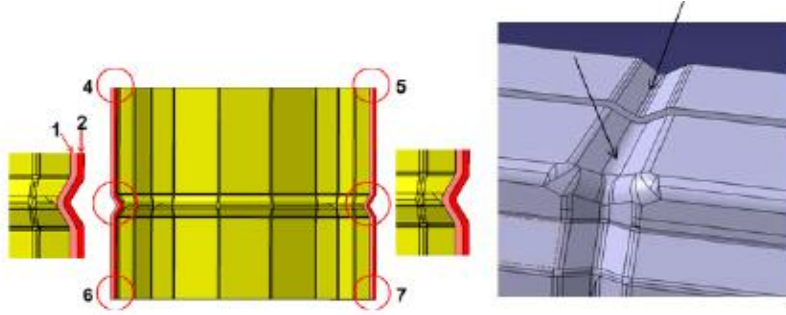
- 5) Son olarak çarpma kutusunda deformasyonunun düzenli olması için parça üzerine Şekil 5.6' da belirtildiği gibi bir tetikleyici eklenmiştir. Burada ayrıca

düşük hızlı çarpışmalarda rayların etkilenmemesi için çarpma kutularında daha düşük bir burkulma eşiğinin olması hedeflenmiştir.



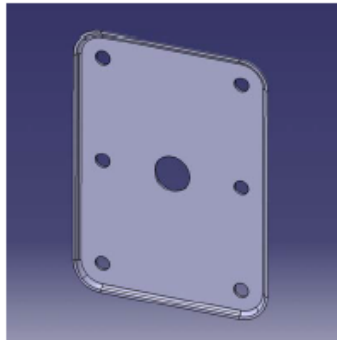
Şekil 5.6: Çarpma kutusunda burkulma eşiğini düşüren tetikleyici tasarımı

- 6) Çarpma kutusunun kalıpta üretilmesi sebebiyle iki parça olarak tasarlanmıştır. Bu iki parçanın birbiri üzerine iyi oturabilmesi için Şekil 5.7’ deki gibi radyus farklılıkları yapılmıştır.



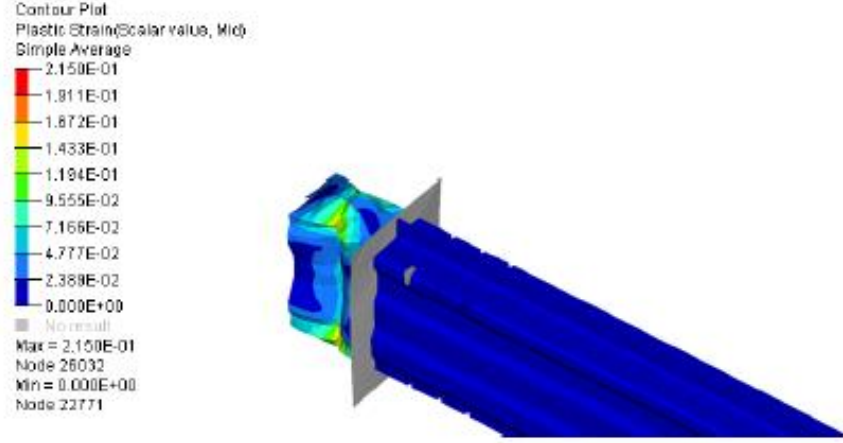
Şekil 5.7: Çarpma kutusu üzerindeki radyus farklılıkları

- 7) Aracın üretim aşamasında ana ray ile çarpma kutusunun kolayca bileştirilebilmesi için aralarına Şekil 5.8’ deki plaka tasarlanmıştır. Bu plakanın enerji emilimine olumsuz etkisinin olmaması için sahip olması gereken kalınlık için analizler yapılmıştır.



Şekil 5.8: Çarpma kutusu ile tampon arasındaki plaka

Tüm bu tasarım değerlendirme çalışması sonrasında düşük hızlarda (6 mil / saat) daha erken deforme olmaya başlayan çarpma kutusunun, rayın deforme olmasına gerek kalmadan çarpışma enerjisinin tamamını sönümleyebildiği gözlemlenmiştir. Düşük hızlarda deforme olan çarpma kutusuna ait simülasyon resmi Şekil 5.9' de gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Düşük hızlı çarpışmada erken deforme olan çarpma kutusunun enerji sönümleme durumu

6. MALZEME SEÇİMİ VE PARÇA KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

Ön tampon, çarpma kutusu ve ana ray için tasarım metodolojisi aşamasında belirlenen Çizelge 4.1' deki prensipler doğrultusunda bir baz malzeme ve kalınlık referans alınarak en uygun geometriler oluşturulmuştur. Çalışmanın hedefleri doğrultusunda parça özelliklerini iyileştirmek amacıyla üç parça için de malzeme seçimi yapılarak uygun kalınlık belirlenmiştir. Parçalarda kullanılacak malzeme ve kalınlığın belirlenmesi ile sistemin enerji analizi tekrar yapılmıştır.

6.1. Tampon İçin Malzeme Seçimi

Tampon ve darbe sönümleyiciler kinetik enerjiyi, enerjinin başka bir formuna dönüştüren sistemlerdir[4]. Bu nedenle bu komponent için malzeme seçimi çok önemlidir.

Bu çalışmada tampon için malzeme seçimi yapılırken;

- ✓ Tamponun konumu
- ✓ Tampon kesiti
- ✓ Şekillendirilebilirliği
- ✓ Tamponun hacmi
- ✓ Seçilen malzemenin elde edilebilirliği ve ulaşılabilirliği göz önünde bulundurulmuştur.

Önden çarpma esnasında yapının kademeli deformasyonu istenmektedir. Ağırlık azaltma hedefinde göz önünde bulundurulduğunda bu komponent için yüksek mukavemetli malzeme seçimi yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Böylece daha ince kesitlere sahip parça kullanımı sağlanarak bu parçanın ağırlığında azaltma yapılmasına imkan verilmiştir. Bu nedenle malzeme tedarikçisinden bildirilen 1294 MPa akma dayanımı referans alınarak Docol 1400 malzemesi kullanımına karar verilmiştir. Bu malzemenin yüksek mukavemet sahip olması ile ince kesit oluşturma

imkanı doğmuş olup parça kalınlığı 1.00mm olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte Docol malzemesinin aşağıda belirtilen özellikleri;

- ✓ Kolay şekillendirilebilir olması
- ✓ Homojen mikroyapıya sahip olması
- ✓ İyi kaynaklanabilme özelliğinin olması
- ✓ Karmaşık şekillerin üretilmesine imkan vermesi, tercih edilmesinde etkili olmuştur[6].

6.2. Çarpma Kutusu İçin Malzeme Seçimi

Çarpma kutusu için tasarım aşamasında yapılan analiz çalışmalarında baz malzeme alınan DP600 malzemesi seçilmiştir. DP600 malzemesi ile 1.6mm kalınlığında kesit oluşturularak ağırlığının azaltılması yönünde fayda sağlanmıştır. Ayrıca kolay plastik deformasyona uğraması ile darbe sönümleme işlemi kolaylaştırılmıştır.

6.3. Ana Ray İçin Malzeme Seçimi

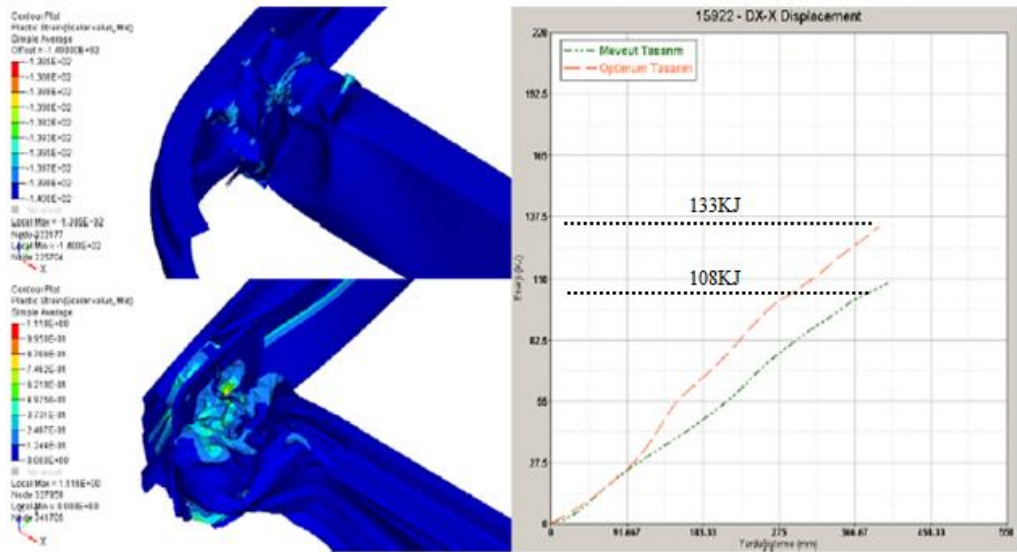
Ana ray parçasında tedarikçi firma tarafından bildirilen 466MPa akma dayanımına sahip DP780 malzemesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu malzemenin DP600'den daha mukavemetli olması bununla birlikte çok sert olmaması ve yüksek hızlı çarpışmalarda plastik deformasyona uğrayarak darbe enerjisini sönümlemesi tercih edilmesinde etkili olmuştur. DP780 malzemesinin kullanılması ile mevcut tasarımda 2.00mm (malzeme DP600) olan et kalınlığının 1.8mm'ye düşürülerek ön gövde grubunda ağırlığın azaltılması sağlanmıştır.

7. ÖN GÖVDE GRUBUNUN DARBE EMME ÖZELLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan tasarım ve analiz çalışmaları sonucunda her bir parça uygun geometri belirlenmiş sonrasında ise malzeme seçimi ve kalınlık ataması yapılmıştır. Son durumda her bir parça için belirlenen malzeme ve et kalınlıkları aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ Çarpma kutusu: DP600 malzemesi ve 1.6mm et kalınlığı
- ✓ Ray: DP780 malzemesi ve 1.8mm et kalınlığı
- ✓ Tampon: Docol 1400 malzemesi ve 1mm et kalınlığı

Çarpma kutusu, tampon ve ana ray için uygun geometrinin oluşturulması aşamasında malzemeden ve kalınlıktan bağımsız olarak analiz çalışmaları yapılmıştı. Bu çalışma sonrasında malzeme ve kalınlığın da belirlenmesi ile tüm sistemin analizi yapılarak Şekil 7.1’ de optimum tasarım ile mevcut tasarımın deformasyon enerjileri kıyaslanmıştır.



Şekil 7.1: Yüksek hızlı çarpışmada daha fazla deformasyon enerjisi ortaya çıkaran optimum tasarım

Çalışmanın başlangıcında ön gövde parçalarının darbe emme enerjisinin iyileştirilmesi ve ağırlığının %15 azaltılarak mevcut ağırlık olan 20.12kg' ın 17.1kg'a düşürülmesi hedeflenmişti.

Yapılan tüm tasarım ve analiz çalışmaları sonrasında ağırlık %19 azaltılarak 16.3kg' a düşürülmüştür. İlk 400mm' de 108KJ olan enerji emilim seviyesi 133KJ' e çıkarılarak %23' lük bir iyileşme sağlanmıştır. Bu şekilde çalışmanın başında belirlenen iki hedefede ulaşılmıştır.

8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında küçük otomobil sınıfı olan B segmenti araçlar üzerinde benchmark çalışması yapılarak Şekil 4.1' de belirtilen ön gövde grubu parçalarının tasarımı yapılmıştır. Tasarım çalışması sonrasında FMVSS 208 regülasyonuna uygunluğunun değerlendirilmesi için analiz çalışmaları yapılmıştır. Yapılan analiz çalışması sonrasında ön gövde grubunun darbe emme enerjisi bu ağırlıkta ve B sınıfında olan araçların regülatif olarak sağlaması gereken değer ile kıyaslanmıştır. Mevcut tasarımın 108KJ olan enerji emilim seviyesinin regülasyonu sağlamadığı görülmüştür. Ayrıca bu parçaların toplam ağırlığının 20.12kg olduğu görülmüştür. Bu parçalar için ağırlığın fazla olması ve enerji emiliminin az olması yeni parça tasarımı yapılmasını gerekli kılmıştır.

B segmentinde bulunan araçların ön gövde grubu parçaları incelenerek %15 daha hafif olan, darbe emme enerjisi iyileştirilmiş ve roll form metodu ile üretilebilecek parça geometrileri oluşturulması hedeflenmiştir. Bu hedeflere ulaşmak ve sistematik çalışma yapmak adına Şekil 4.7' deki tasarım metodolojisi oluşturulmuştur. Ayrıca tasarım ve analiz çalışmalarının optimize edilmesi amacıyla Çizelge 4.1' de belirtilen prensipler belirlenmiştir. Her bir parçanın detay tasarım aşamasında bu prensipler üzerinden ilerlenerek prensiplerin doğrulaması yapılmıştır.

Ön gövde grubunun her bir parçası için benchmark çalışmasından elde edilen verilerden de yararlanarak alternatif geometriler oluşturulmuştur. Oluşturulan geometriler analiz edilerek yeni tasarıma devam edilecek en uygun geometri belirlenmiştir. Belirlenen bu geometriler üzerinden tasarım iyileştirme çalışmalarına devam edilmiştir. Tasarım iyileştirme çalışması öncesinde çekme testleri ile baz olarak kullanılacak malzeme belirlenmiştir. Karakterizasyon çalışmasından elde edilen veriler analiz programında girdi olarak kullanılmıştır.

Tasarım iyileştirme çalışmaları yapılırken parçaların üretilebilir olması, ağırlığının azaltılması ve darbe enerjisini emme kapasitesinin arttırılabileceği geometriler

oluşturulmuştur. Ana ray için Şekil 4.20, çarpma kutusu için Şekil 4.29 ve ön tampon için Şekil 4.35’ deki geometriler seçilmiştir. Seçilen bu geometrilerin ön gövde paketinde birbiriyle ve bu bölgede bulunan diğer komponentlerle olan ilişkisi değerlendirilmiştir. Bu aşama sonrasında üç parça için de en uygun geometriler belirlenmiştir.

Geometrilerin belirlenmesi ile malzeme mekanik özelliklerinden yararlanılarak parçaların mukavemetlerinin iyileştirilmesi ve ağırlığının azaltılması amaçlanmıştır. Tampon için yüksek mukavemete sahip Docol 1400 malzemesi seçilerek 1.00mm kalınlığında kesit oluşturulmuş ve ağırlık azaltılması sağlanmıştır. Çarpma kutusunda DP600 çeliği tercih edilerek 1.6mm et kalınlığı oluşturulmuştur. Ana ray parçasında ise DP780 çeliği ve 1.8mm et kalınlığı kullanılması belirlenmiştir.

Uygun geometrilerin oluşturulması, malzeme seçimi ve parça kalınlığının belirlenmesi ile tüm sistemin darbe enerjisini emme durumu Şekil 7.1’ de görüldüğü üzere analiz edilmiştir.

Son durumda ön gövde grubu için çalışma başında hedeflenen %15’ den daha fazla ağırlık azaltılmıştır. Tampon, çarpma kutularının ve ana rayların toplam 20.12kg olan ağırlığı 16.3kg’ a düşürülmüştür. Enerji emilim seviyesinde % 23 oranında iyileştirilerek 108KJ’ dan 133KJ’ e çıkarılmıştır.

Tüm bu çalışmaların sonrasında elde edilen sonuçlar ve bu konu ile ilgili ileri çalışmalar için yapılan öneriler aşağıda sıralanmıştır.

1. Ön çarpma parçalarında oluşturulacak geometri ve malzeme seçiminin, ağırlık azaltılması ve darbe enerji emiliminin yüksek olmasını sağlamasının yanısıra regülasyonlara uyumu sağlamak (yolcu güvenliği açısından), yakıt tüketiminde avantaj sağlamak dolayısıyla emisyon seviyesini azaltarak çevreci bir yaklaşım oluşturmak açısından önemli olduğu görülmüştür.
2. Darbenin ilk karşılaştığı ön gövde parçası tampondur. Bu nedenle tampon malzemesi olarak daha mukavetmeli olan Docol 1400 malzemesi tercih edilmiştir. Bu malzemenin yüksek mukavemet değerine sahip olması ile daha ince kesit oluşturulmuştur. Böylece bu malzemenin kullanılması 2.00 mm olan tampon kalınlığı, 1.00 mm kalınlığı düşürülmüş ağırlıktan kazanım sağlanmıştır.

3. Tamponun roll-forming metodu ile üretilebilmesi için ilk tasarımda yapılan kenar radyusları kaldırılmış ve böylece ikinci bir operasyonun ortadan kaldırılmasına imkan vermiştir. Bu iyileştirmenin yapılması ile maliyetin azaltılması sağlanmıştır.
4. Tasarımda kademeli ve sıralı deformasyonun olacağı tasarımlar yapılarak parçaların darbe enerji emilim kabiliyetlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
5. Çarpma kutusunda plastik deformasyonun daha kolay olacağı DP600 malzemesi tercih edilerek düşük hızlardaki darbe enerjisinin çarpma kutusu tarafından emilmesi sağlanmıştır.
6. Ana rayların roll form metodu ile üretilecek olması bu parça için oluşturulacak geometrinin sürekliliğini gerektirmektedir. Bu durum ana raylar için oluşturulacak alternatif geometrilerin sayısını düşürmektedir. Roll form ile üretilecek ana ray parçasının imalat kolaylığı için geometrisi düzgün ve her bir roll form istasyonunda aynı geometri oluşturulacak şekilde tasarım yapılması gerekmektedir.
7. Ana raylarda kademeli ve sıralı deformasyonun sağlanması için tetikleyici yapılar tasarlanmıştır. Tetikleyici tasarımlarında burkulma modları referans alınmıştır. Referans noktalarından delikler açılmıştır. Ana rayın ortasında burkulma olmaması ve kademeli deformasyonun gerçekleşmesi için de rayların üst kısımlarına delikler delinmiştir. Böylece deformasyon rayların başında başlayarak kademeli olarak ilerlemesi ve bunun sonucunda deformasyonun yönlendirilmesi sağlanmıştır.
8. Ana raylarda tetikleyicilerle birlikte kanallı yapılar oluşturularak parçaların enerji emilim kapasitelerinin arttırıldığı görülmüştür.
9. Parçalarda tetikleyici kullanımı ile ilk 400mm' de 108KJ olan enerji emilim seviyesi 133KJ' e çıkarılarak %23' lük bir iyileşme sağlanmıştır.
10. Parça geometrilerinin iyileştirilmesi ve bu parçalarda mevcut tasarımda kullanılan;
 - Tampon DP600 – 2.00mm yerine Docol 1400 – 1.00mm
 - Çarpma kutusu DP600 – 1.8mm yerine DP600 – 1.6mm

- Ana ray HSLA500 – 2.00mm yerine DP780 -1.8mm tercih edilmesi ile çalışma başında 20.12kg ağırlık %19 oranında azaltılarak 16.3kg'a düşürülmüştür.

Bu konu ile ilgili ileriki çalışmalar için yapılan öneriler;

- Ön gövde parçalarında uygun geometri oluşturulurken ve bu geometriye uygun malzeme seçimi yapılırken sadece yolcu güvenliği ve ağırlık azaltılması üzerinde durulmamalı aynı zamanda yakıt tüketimi ve yapılan çalışmanın çevreye olan etkisi simüle edilerek değerlendirilmelidir.
- Darbenin ilk karşılaştığı tampon parçası için düşük hızlı çarpışmalarda çarpma kutusu ve ana rayların etkilenmeyeceği, bununla birlikte araçların satış sonrası faaliyetleride düşünülerek bir malzeme seçiminin yapılması önerilmektedir.
- Roll form metodu ile üretim yapılabilmesi için parça geometrisi sürekli olmalıdır. Parçanın tasarımı yapılırken parçaya uygun formların verilmesi ve sonrasında üretilebilirlik analizleri yapılması önerilmektedir.
- Araçların yapısal parçası olan ana raylarda enerjinin emiliminin hayati önem taşıdığı görülmüştür. Bu parçada enerji emiliminin attırılması ve deformasyonun yönlendirilerek kademeli ve sıralı olmasının sağlanması için tetikleyici tasarımının yapılması önerilmektedir.
- Tetikleyicilerin yeri belirlenirken önden çarpma durumlarında burkulmanın önemli olması nedeniyle analizlerle burkulma modlarına bakılması ve bu analizler sonucunda ortaya çıkan konumlara tetikleyicilerin yerleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Peter Simon, Peter D. Beggs** (2010). A Numerical Performance Comprasion Of Dual- Phase Steel And Aluminium Alloy Bumper Bar System. *International Journal of Crashworthiness*, Sf. 426-428
- [2] Federal Motorlu Taşıt Güvenlik Standartları (FMVSS) 208 crash protection regülasyonu
- [3] **Witteman, Willibrardus J.**(1999). Improved Vehicle Crashworthiness Design By Control Of The Energy Absorption For Different Collision Situations. *CIP – DATA Library Technische Universiteit Eindhoven*. Sf. 16
- [4] **Tayfun Sığırtaç, Gökhan Tekin, Metin Çallı, Emre Demirci, Ali R.Yıldız** (2014). Yüksek Performanslı Yeni Bir Araç Ön Gövdesinin Geliştirilmesi. *7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*. Sf 1-5
- [5] **Novita Sakunderini, Zahari Taha, Salwa Hanim Abdul-Rashid, Raja Ghazila** (2013) Optimal Multi-Material Selection For Lightweight Design Of Automotive Body Assembly Incorporating Recyclability. *Material & Design*, Sf. 846-857
- [6] SSAB Swedish Steel Docol Roll The New Generation Of Roll Forming Steels
- [7] **Frank G. Armao** (2002). Design & Fabrication Of Aluminium Automobiles. *Welding Innovation Vol. XIX, No.2* Sf 1-5
- [8] **Mehmet Karalı, Ömer Necati Cora, Muammer Koç** (1999). DP780 Çelik Sacların Mekanik Özelliklerinin Hidro-Şişirme Yöntemiyle İncelenmesi. *Karabük Üniversitesi, Karadeniz Teknik Ünivrsitesi, İstanbul Şehir Üniversitesi..*
- [9] **Tanya Aycan Başar** (2012). Alüminyum Alaşımları Ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, Cilt 53, Sayı 635, Sf. 51-58
- [10] **Fatih Hayat** (2010). Trip Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der.*, Sf. 1-12
- [11] **Fahrettin Öztürk, Serkan Toros, Emre Esener, Emrah Uysal**. Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi. *Mühendislik ve Makina*, Cilt 50 Sf. 596
- [12] **Fatih Hayat, Bilge Demir** (2009). Ticari DP600 Çelik Sacı NDK Birleştirilmelerinde Kaynak Süresinin Dalma Derinliği ve Dayanıma Etkisi. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*
- [13] Url-1 <http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf>, alındığı tarih: 10.09.2014, 22:09

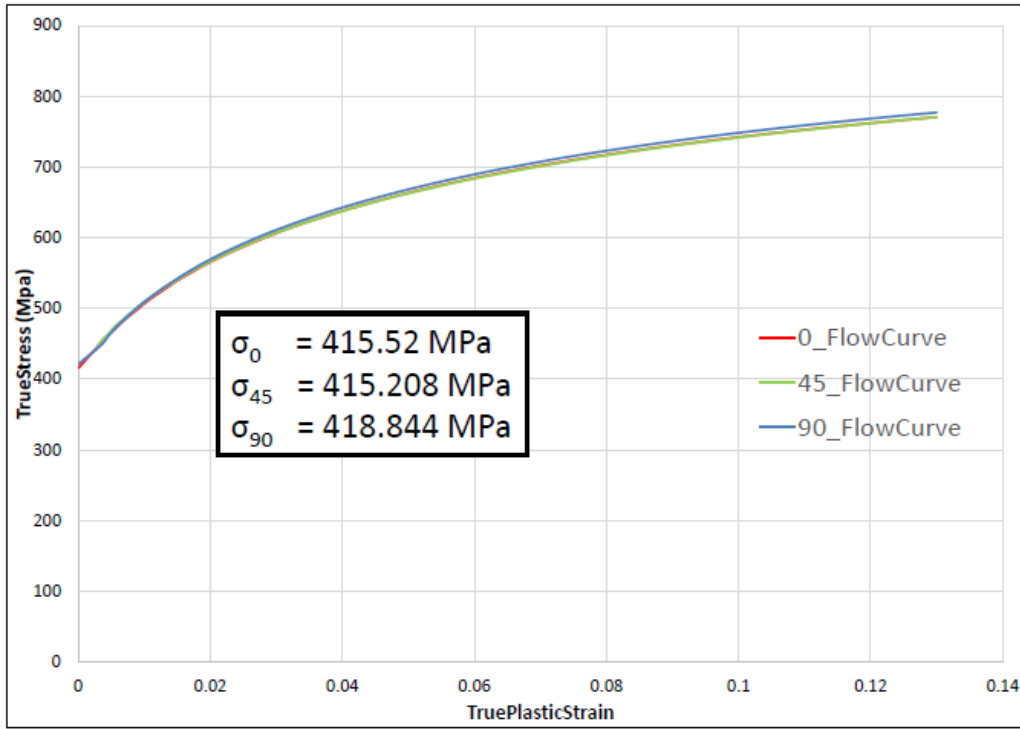
- [14] **Mert Özcömert** (2006). Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum. *İstanbul Ticaret Odası*
- [15] Url-2 <<http://eyupyaylaci.com/otomotiv-sanayinde-kullanilan-mikroalasimli-celiklerin-uretim-yontemleri/>>, alındığı tarih: 10.09.2014, 22:10
- [16] Url-3 <<http://www.aluminyumlife.com/aluminyum-alasimlari-ve-otomotiv-endustrisinde-kullanimi/>>, alındığı tarih: 13.09.2014, 14:44
- [17] **Elmas Salamcı, Fikret Kabakçı** (2011). Çift Fazlı Çeliğin Çekme Özelliklerine Mikroyapının Etkisi. *Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 26 No.2*
- [18] Url-4 <http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/A1_EN.pdf>, alındığı tarih: 13.09.2014, 16:08
- [19] Url-5
<http://www.asminternational.org/documents/10192/3466171/06117_Chapter%203B.pdf/a764507a-3499-4d23-b348-5536d31c0ba2>, alındığı tarih: 14.09.2014, 20:03
- [20] **Emre Yiğitoğlu, Mesut Kaya, Metin Çallı, Dr. Tayfun Sığırtmacı** (2014). Otomobil Kapı Barı Parçasının Yüksek Mukavemetli Malzemelerden Üretimi Ve Test Değerlerinin Karşılaştırılması. *OTEKON 14 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi (26-27 Mayıs 2014 Bursa)*
- [21] **Gökhan Güven, Havva Kazdal Zeytin, Hüseyin Aydın, Banu Berme, Adem Deniz** (2012). Fe - %31Mn - %2,4Si - %3,8Al TWIP Çeliğinin Mikroyapısal Ve Mekanik Özellikleri. *14th International Materials Symposium, Pamukkale Üniversitesi*
- [22] **O. G. Lademo, T. Berstad, M. Eriksson, T. Tryland, T. Furu, O.S. Hopperstad, M. Langseth** (2008). A Model For Process-Based Crash Simulation. *International Journal Of Impact Engineering* 35, Sf. 376-388
- [23] **L. Djapic Oosterkamp, A. Ivankovic, G. Venizelos** (2000). High Strain Rate Properties Of Selected Aluminium Alloys. *Materials Science and Engineering A278*, 225-235, Sf 1-10
- [24] **Xiaoyu li, Lijun Wong, Lijun Yong, Jinfeng Wang, Kang Li** (2014). Modelling Of Temperature Field and Pool Formation During Linear Laser Welding of DP1000 Steel. *Journal Of Materials Processing Technology* 214, 1844-1851, Sf 1-7
- [25] **İsmail Öztürk, Necmettin Kaya** (2008). Otomobil Ön Tampon Çarpışma Analizi Ve Optimizasyonu. *Uludağ Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 13, Sayı 1, Sf 1-9
- [26] **İsmail Öztürk, Necmettin Kaya, Ferruh Öztürk** (2014). Otomobil Ön Tampon Çarpışma Simülasyonu Ve Optimizasyonu. *OTEKON 2014 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Sf 1-7
- [27] **R. Kuziak, R. Kawalla, S. Waenglar** (2008). Advanced High Strength Steels For Automotive Industry. *Archives Of Civil And Mechanical Engineerin.*, Sf 103-116

- [28] **Javad Marzbanrad, Masoud Alijanpour, Mahdi Saeid Kiasat** (2002). Design And Anaylsis Of An Automotive Bumper Beam In Low Speed Frontal Crashes. *Thin Walled Structures*, Sf 902-911
- [29] **M. M. Davoodi, S. M. Sapuan, A. Aidy, N. A. Abu Osman, A. A: Oshkour, W. A. B. Wan Abas** (2012). Development Process Of New Bumper Beam Of Passenger Car: A View. *Materials And Design*, Sf 304-311
- [30] **Hee Chul Kim, Dong Kil Shin, Jung Ju Lee, Jun Beam Kwan** (2014). Crashworthiness Of aluminium / CFRP Square Hollow Section Beam Under Axial Impact Loading For Crash Box Application. *Composite Structure*.Sf 1-10
- [31] **Omer Masood Quereshi, Enrice Bertocchi** (2013). Crash Performance Of Notch Triggers And Variable Frequency Progressive – Triggers On Patterned Box Beams During Axial Impacts. *Thin Walled Structures*. Sf 98-105
- [32] **Emre Demirci, A. R. Yıldız, Fehim Semerci** (2014). Taşıtlara Önden Çarpışma Performansını Etkileyen Enerji Yutucuların Optimum Tasarımı. *OTEKON 2014 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*.
- [33] **Yoshiaki Nakazawa, Kenji Tamura, Michitaka Yoshida, Katsutoshi Takagi, Mitsutoshi Kano** (2005). Development Of Crash Box For Passenger Car With High Capability For Energy Absoption. *VIII International Conference On Computational Plasticity, COMPLAS VIII*.
- [34] **Siqi Li, Sicongma, Chenngqi Li, Xin Li** (2013). Origami Pattern Tube For Vehicle Crash Box. *Departmant Of Mechanical Engineering Blekinge Institute Of Technology Karlskrona Sweeden*, Sf 1-55

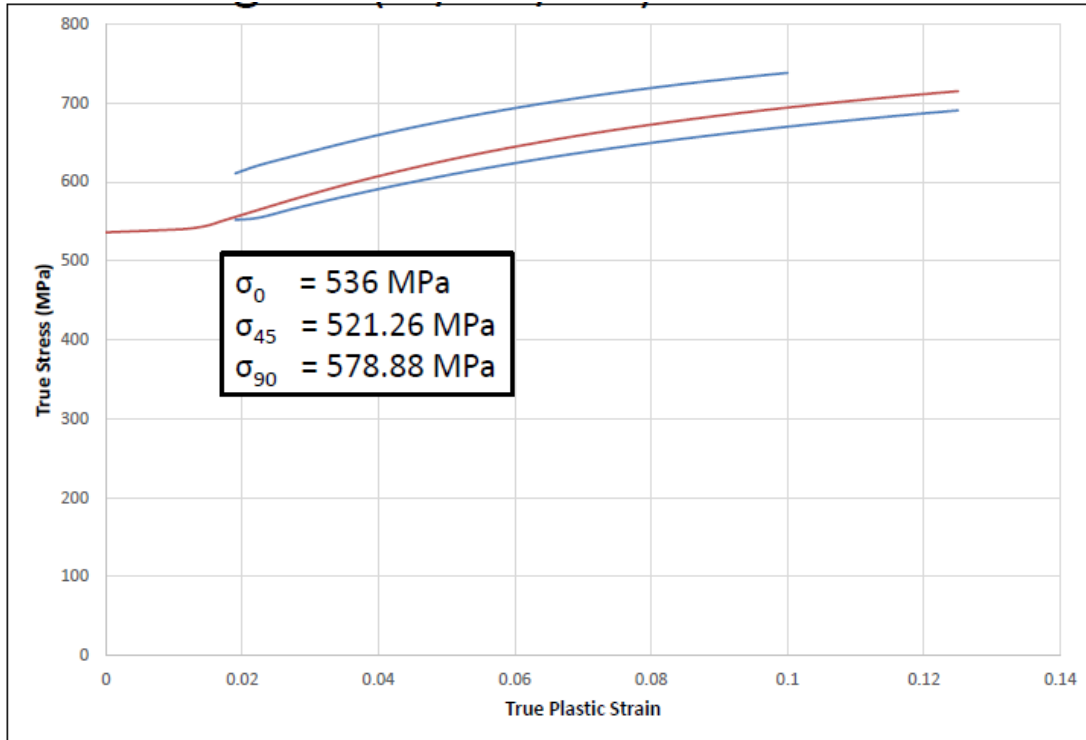
EKLER

EK A: Malzeme Çekme Testi Eğrileri

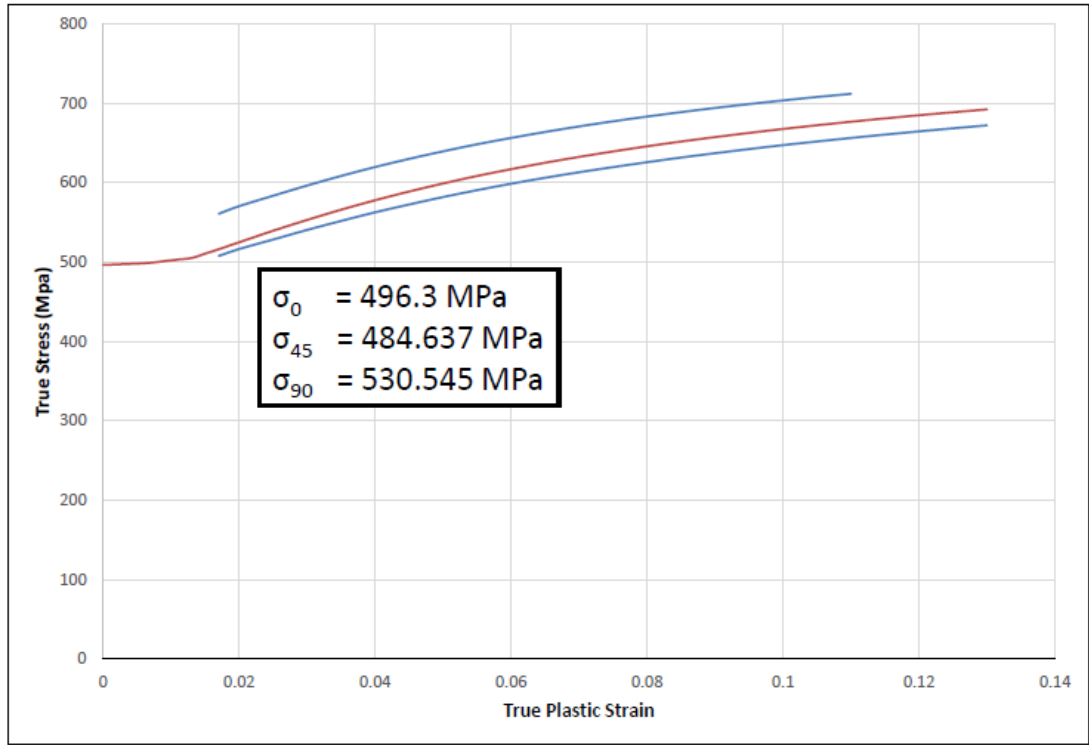
EK A



Şekil A.1: DP600 – 1.8mm için 0° , 45° ve 90° yönlerinde ortalama akma eğrileri



Şekil A.2: HSLA500 – 1.5mm için 0° , 45° ve 90° yönlerinde ortalama akma eğrileri



Şekil A.3: HSLA500 – 2.00mm için 0°, 45° ve 90° yönlerinde ortalama akma eğrileri

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Cevriye Nur KÖSE

Doğum Yeri ve Tarihi: YÜREĞİR / 11.12.1989

Adres: Kuzey Mah. Menekşe Sok. No:20 Kat:5 Körfez / Kocaeli

E-Posta: c.nurkose@gmail.com

Lisans: İstanbul Üniversitesi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (2007 – 2011)

Mesleki Deneyim: Heksagon Mühendislik ve Tasarım A. Ş.
Proje Mühendisi (10.11 - ...)

Ford Otosan A. Ş.
Staj (07.10 – 09.10)

Kormetal Sanayi ve Ticaret A. Ş.
Staj (07.09 – 08.09)