ROLL-FORM ÜRETİM YÖNTEMİNE UYGUN TAŞIT EMNİYET ELEMANLARININ TASARIM VE SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

Şenol ŞEN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ROLL-FORM ÜRETİM YÖNTEMİNE UYGUN TAŞIT EMNİYET ELEMANLARININ TASARIM VE SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

Şenol ŞEN

Prof. Dr. Murat YAZICI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ROLLFORM ÜRETİM YÖNTEMİNE UYGUN TAŞIT EMNİYET ELEMANLARININ TASARIM VE SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

Şenol ŞEN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat YAZICI

Bu tez çalışması ile B sınıfı bir araçta ön kısımda konumlandırılan çarpışma sönümleyici grubun içerisinde bulunan tampon kirişi için roll-form üretim yöntemine, lazer kaynak gerekliliklerine uygun olarak ve belirlenen tasarım uzayı içinde kalarak Catia programında yeni kesitler tasarlanmıştır. RCAR 15(+1/0) km/saat hız, %40 ofset ve 10° açılı rijit bariyer ile çarpışma senaryosunda yeni geliştirilen kesitlerin çarpışma performansları mukayese edilen (benchmark) ürüne göre karşılaştırılıp, sonuçları incelenmiştir. Ansys Mechanical APDL Product Launcher 2020 R1 programında ve Ls-dyna çözücüsünde sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Tampon malzemesi olarak Docol 1400 çelik malzemesi kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında, darbe emici çarpışma kutuları kıyas üründeki darbe emici yapılar ile aynı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada tampon özgül enerji değerinin araca aktarılan kuvvet ve çarpma ekseni yönünde yer değiştirme değerleri göz önünde bulundurularak arttırılması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Roll-form, sonlu elemanlar analizi, pasif emniyet elemanları, araç güvenliği, çarpışma enerjisi sönümleme, lazer kaynak, tampon, ultra yüksek mukavemetli çelik.

2022, ix + 68 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN AND FINITE ELEMENT ANALYSIS OF VEHICLE SAFETY PARTS SUITABLE FOR ROLL FORMING

Şenol ŞEN

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

Supervisor: Prof. Dr. Murat YAZICI

With this thesis, new sections were designed in the Catia program, in accordance with the roll-form production method, laser welding requirements, and within the determined design area for the bumper equipment in the crash management group located in the front of a class B vehicle. The crash performances of the new developed sections in the collision scenario with RCAR 15(+1/0) km/h speed, 40% offset and 10° angle rigid barrier were compared according to the benchmark product and the results were examined. Finite element analyzes were carried out in Ansys Mechanical APDL Product Launcher 2020 R1 program and Ls-dyna solver. Docol 1400 material was used as bumper material. Within the scope of the thesis, shock absorber crash boxes are used as the same shock absorbing structures in the benchmark product. In this study, the bumper specific energy value was increased by considering the acting force to the frame of vehicle and the displacement values in the direction of the impact axis.

Key words: Roll-forming, finite element analysis, passive safety elements, vehicle safety, crashworthiness energy absorbtion, laser welding, bumper, ultra high strength steel.

2022, ix + 68 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, bir taşıt çarpışma sönümleyici grubunda bulunan tamponun çarpışma esnasında doğrusal olmayan burkulması durumunun açık (explicit) sonlu elemanlar yöntemiyle analizlerini ve mukayese edilen ürüne göre sonuçlarının kıyaslanmasını içerir.

Çalışma süresince bilgi ve fikir paylaşımlarıyla desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Murat YAZICI ‘ya, TKG OTOMOTİV A.Ş. ‘den Mehmet EROĞLU’ na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, hayatımın her anında desteklerini esirgemeyip bana her zaman güç veren aileme sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Şenol ŞEN
17/01/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1 Dünya'da ve Ülkemizde Araçlarda Çarpışma 3
1.2 Araçlarda Yüksek ve Düşük Hızlarda Çarpışma Regülasyonları ve Testleri 5
1.3 Çarpışma Sönümleyici Grubu Detay Bilgileri 10
1.4 Çarpışma Analizleri için Simülasyon Programları 15
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 15
3. MATERYAL ve YÖNTEM 21
3.1 Mukayese Edilen (Benchmark) Ürünün Teknik Detayları 21
3.2 Çarpışma Analizleri için Explicit (Açık) Sonlu Elemanlar Yöntemi 23
3.3 Tampon Kirişi Üretiminde Kullanılan Çelik Malzemeler 24
3.3.1 Geleneksel Çelikler Hakkında Genel Bilgiler 25
3.3.2 Yüksek Mukavemetli Çelikler (HSS, HSLA) 25
3.3.3 Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler (AHSS) 25
3.4 Tampon Kirişi Üretim Yöntemleri 26
3.5 Tampon Kirişi Birleştirme Yöntemleri 29
3.6 Ön Tampon Kiriş Tasarımlarının İncelenmesi 30
3.7 Ön Tampon Kirişi Tasarımı Sonlu Elemanlar Modeli 33
3.7.1 Geometri 33
3.7.2 Koordinat Sistemi 36
3.7.3 Birim Sistemi 37
3.7.4 Malzeme Modeli 37
3.7.5 Kullanılan Eleman Tipleri 38
3.7.6 Ağ Yapısı 38
3.7.7 Bağlantılar 42
3.7.8 Sınır Koşulları 42
3.7.9 Yükleme Durumu 43
4. BULGULAR 44
4.1 Çarpışma Sönümleyici Grubu 1 Çalışması 44
4.2 Çarpışma Sönümleyici Grubu 2 Çalışması 45
4.3 Çarpışma Sönümleyici Grubu 3 Çalışması 45
4.4 Çarpışma Sönümleyici Grubu 4 Çalışması 46
4.5 Çarpışma Sönümleyici Grubu 5 Çalışması 46
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 47
KAYNAKLAR 49
EKLER 52
EK 1. Çarpışma sönümleyici grup 1 tampon kesiti 1 sönümlenen enerji değeri 53
EK 2. Çarpışma sönümleyici grup 1 toplam sönümlenen enerji değeri 53
EK 3. Çarpışma sönümleyici grup 1 kontak enerji değeri 54
EK 4. Çarpışma sönümleyici grup 1 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri 54
EK 5. Çarpışma sönümleyici grup 1 X ekseni yer değiştirme değeri 55

EK 6. Çarpışma sönümleyici grup 1 tampon 1 ağırlık değeri 55
EK 7. Çarpışma sönümleyici grup 2 tampon kesiti 2 sönümlenen enerji değeri 56
EK 8. Çarpışma sönümleyici grup 2 toplam sönümlenen enerji değeri 56
EK 9. Çarpışma sönümleyici grup 2 kontak enerji değeri 57
EK 10. Çarpışma sönümleyici grup 2 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri 57
EK 11. Çarpışma sönümleyici grup 2 X ekseni yer değiştirme değeri 58
EK 12. Çarpışma sönümleyici grup 2 tampon 2 ağırlık değeri 58
EK 13. Çarpışma sönümleyici grup 3 tampon kesiti 3 sönümlenen enerji değeri 59
EK 14. Çarpışma sönümleyici grup 3 toplam sönümlenen enerji değeri 59
EK 15. Çarpışma sönümleyici grup 3 kontak enerji değeri 60
EK 16. Çarpışma sönümleyici grup 3 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri 60
EK 17. Çarpışma sönümleyici grup 3 X ekseni yer değiştirme değeri 61
EK 18. Çarpışma sönümleyici grup 3 tampon 3 ağırlık değeri 61
EK 19. Çarpışma sönümleyici grup 4 tampon kesiti 4 sönümlenen enerji değeri 62
EK 20. Çarpışma sönümleyici grup 4 toplam sönümlenen enerji değeri 62
EK 21. Çarpışma sönümleyici grup 4 kontak enerji değeri 63
EK 22. Çarpışma sönümleyici grup 4 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri 63
EK 23. Çarpışma sönümleyici grup 4 X ekseni yer değiştirme değeri 64
EK 24. Çarpışma sönümleyici grup 4 tampon 4 ağırlık değeri 64
EK 25. Çarpışma sönümleyici grup 5 tampon kesiti 5 sönümlenen enerji değeri 65
EK 26. Çarpışma sönümleyici grup 5 toplam sönümlenen enerji değeri 65
EK 27. Çarpışma sönümleyici grup 5 kontak enerji değeri 66
EK 28. Çarpışma sönümleyici grup 5 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri 66
EK 29. Çarpışma sönümleyici grup 5 X ekseni yer değiştirme değeri 67
EK 30. Çarpışma sönümleyici grup 5 tampon 5 ağırlık değeri 67
ÖZGEÇMİŞ ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
E	Elastisite modülü
σ_y	Akma gerilmesi
ν	Poisson oranı
ρ	Malzemenin yoğunluğu

Kısaltmalar	**Açıklama**
mm	Milimetre
kN	Kilo newton
MPa	Mega pascal
kg	Kilogram
SE	Sönümlenen enerji
d	Yer değiştirme
P	Eksenel kuvvet
M	Kütle
km	Kilometre
kj	Kilo joule
AE	Absorbe enerji
SE	Özgül (Spesifik) enerji
V	Hacim
s	Saniye

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Karbondioksit Emisyon Değeri. 2
Şekil 1.2. Dünya Sağlık Örgütü Trafik Kazalarındaki Ölüm Sayıları (Anonim 2021)..... 4
Şekil 1.3. GM devrilme testi (Anonim 2015). 5
Şekil 1.4. RCAR önden çarpışma senaryosu (Anonim 2021). 9
Şekil 1.5. RCAR arkadan çarpışma senaryosu (Anonim 2021). 9
Şekil 1.6. Açık tampon sistemi (Anonim 2020). 10
Şekil 1.7. Kapalı tampon sistemi örnek 1. 11
Şekil 1.8. Kapalı tampon sistemi örnek 2. 11
Şekil 1.9. Kapalı tampon sistemi örnek 3. 12
Şekil 1.10. Kapalı tampon sistemi örnek 4. 12
Şekil 1.11. Ön çarpışma sönümleyici grubun araç üzerindeki konumu (Anonim 2016). 13
Şekil 1.12. Çarpışma sönümleyici grubu. 13
Şekil 1.13. Günümüzde tercih edilen tampon kirişi kesitleri. 14
Şekil 2.1. Roll-form proses aşamaları. Sheu, Yu ve Wang, (2017) 18
Şekil 3.1. RCAR structure test. 22
Şekil 3.1. Tampon kiriş kesiti tasarım uzayı. 22
Şekil 3.4.1. TKG Otomotiv roll-form hattı 27
Şekil 3.4.2. Roll-form proses akışı 27
Şekil 3.4.3. İç büküm yarı çapı. 28
Şekil 3.4.4. Tampon kirişi final büküm prosesi 29
Şekil 3.4.5. Roll-form prosesi çiçek açınımı 29
Şekil 3.6.1. Çarpışma sönümleyici grubu 1 31
Şekil 3.6.2. Çarpışma sönümleyici grubu 2 31
Şekil 3.6.3. Çarpışma sönümleyici grubu 3 32
Şekil 3.6.4. Çarpışma sönümleyici grubu 4 32
Şekil 3.6.5. Çarpışma sönümleyici grubu 5 32
Şekil 3.6.6. Tampon kirişi boşaltma ve delikleri 33
Şekil 3.7.1.1 Geliştirilen 3 boyutlu dataların detayları (CAD) 34
Şekil 3.7.1.2 Tampon kirişi kesiti 1 34
Şekil 3.7.1.3 Tampon kirişi kesiti 2 34
Şekil 3.7.1.4 Tampon kirişi kesiti 3 35
Şekil 3.7.1.5 Tampon kirişi kesiti 4 35
Şekil 3.7.1.6 Tampon kirişi kesiti 5 36
Şekil 3.7.2.1 Koordinat sistemi yan görünüş 36
Şekil 3.7.2.2 Koordinat sistemi üst görünüş 37
Şekil 3.7.6.1 Çarpışma sönümleyici grubu 1 ağ yapısı 39
Şekil 3.7.6.2 Tampon kirişi kesiti 1 ağ yapısı 39
Şekil 3.7.6.3 Çarpışma sönümleyici grubu 2 ağ yapısı 39
Şekil 3.7.6.4 Tampon kirişi kesiti 2 ağ yapısı 40
Şekil 3.7.6.5 Çarpışma sönümleyici grubu 3 ağ yapısı 40
Şekil 3.7.6.6 Tampon kirişi kesiti 3 ağ yapısı 40
Şekil 3.7.6.7 Çarpışma sönümleyici grubu 4 ağ yapısı 40
Şekil 3.7.6.8 Tampon kirişi kesiti 4 ağ yapısı 41
Şekil 3.7.6.9 Çarpışma sönümleyici grubu 5 ağ yapısı 41
Şekil 3.7.6.10 Tampon kirişi kesiti 5 ağ yapısı 41

Şekil 3.7.6.11 Rijit bariyer ağ yapısı 41
Şekil 3.7.6.12 Rijit bariyer ağ yapısı detayı 42
Şekil 3.7.8.1 Sınır koşulu 43
Şekil 3.7.9.1 İlk hız bilgisi 43
Şekil 3.7.9.2 Rijit duvar 44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. NCAP testleri ve değerlendirme yöntemleri (Anonim 2021). 7
Çizelge 2.1. Karşılaştırma Tablosu(K. J. Kim & Won, 2008). 17
Çizelge 3.1.1. Mukayese edilen ürünün çarpışma performans değerleri. 23
Çizelge 3.4.1. TKG Otomotiv roll-form hattı bilgileri..... 28
Çizelge 3.7.4.1 Docol 1400 malzeme bilgileri..... 38
Çizelge 3.7.4.2 CR440Y780T-DP_UC malzeme bilgileri..... 38
Çizelge 4.1.1. Çarpışma sönümleyici grubu 1 performans değerleri. 44
Çizelge 4.1.2. Çarpışma sönümleyici grubu 2 performans değerleri. 45
Çizelge 4.1.3. Çarpışma sönümleyici grubu 3 performans değerleri. 45
Çizelge 4.1.4. Çarpışma sönümleyici grubu 4 performans değerleri. 46
Çizelge 4.1.5. Çarpışma sönümleyici grubu 5 performans değerleri. 46
Çizelge 5.1. Çarpışma sönümleyici grupların performans tablosu. 47

1. GİRİŞ

Hayatımızda otomobiller en önemli teknoloji ürünlerinden biridir şüphesiz. İcatlarından bu yana zaman içerisinde bilimin önderliğinde teknolojinin de gelişimi ile otomobillerin gelişimi farklı tasarım ve konseptler ile önümüze çıkmıştır. Mühendisliğin temeli olan her zaman daha iyisini elde etmek adına yapılan çalışmalar ile günümüze kadar belirli aşamalardan geçerek gelmiştir. İnsanların yaratıcılıklarını kullanarak, beklentilerine karşılık verebilmek ve bununla birlikte otomotiv firmaları arasındaki rekabet ortamının sonucu olarak otomobillerin gelişimi hızla gerçekleşmiştir.

Global otomobil piyasasındaki rekabet günümüzde otonom araçlar, yenilikçi malzeme ve üretim teknolojileri olarak kendilerinden söz ettirmektedir. Ayrıca, mevcut araçlarda kullanılan petrol artık yerini elektrik, hidrojen ve hibrit sistemlere bırakmaktadır.
Gerek yasal gereklilikler gerekse müşteri tercihleri otomobil sektörünün hızla gelişmesine ve bu sektörün dünyada belirleyici ve yönlendirici bir dinamik etken olmasına neden olmaktadır.

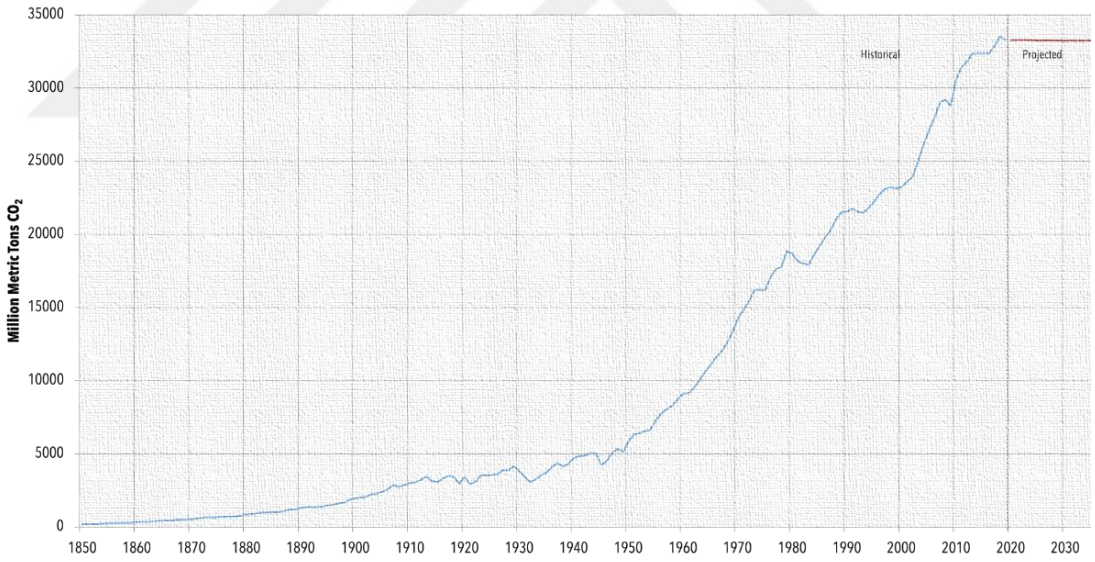
Otomotiv sektöründeki tüm bu yenilik ve gelişimlere, çağın ilerlemesi ile toplumların bilinçlenmesine rağmen oluşan kazalar çözülemeyen bir sorun olarak hala önümüzde bir sorun olarak bulunmaktadır. Gelişmiş ülkelerin katı trafik düzenlemeleri ve uygulamaları trafik kazalarını azaltmaktadır. Aynı durum gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde görülmemektedir. Sektörde kazaları önlemek amacıyla hem aktif hem de pasif emniyet elemanları düşünülmüş ve uygulanmıştır. Aktif emniyet elemanları ile kazayı önlemeye çalışmak ve pasif elemanları ile de kazanın şiddetini azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüzde ayrıca başka bir sorun olan “küresel ısınma” çok önemli ve güncel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Toplumlar ve hükümetler bu olağanüstü olguyu durdurmanın bir yolunu aramaktadır.

Fosil yakıtların birçok amaç için yakılması, sanayi devriminin gerçekleştiği 1750 yılından sonra aniden artmıştır. Küresel ısınmanın temel nedeni karbon emisyonlarıdır. Fosil

yakıtların yanma reaksiyonu sonucunda karbondioksit, kükürt dioksit ve karbon monoksit gibi zararlı ürünler üretilip doğrudan atmosfere salınarak sera etkisine neden olur. Yıllık grafiği Şekil 1.1'de verilmiştir. Uluslararası Otomobil Üreticileri Örgütü (Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles) (OICA-2020) istatistiklerine göre, 2020 yılında dünya genelinde yaklaşık 77 milyon otomobil ruhsatlandırılmıştır. Bu değer 2015 yılında 90 milyon civarındadır, pandemi sebebiyle günümüzde üretim azalmıştır. Araçların neredeyse tamamı enerjilerini üretmek için fosil yakıtları yakmaktadır. Şekil 1.1 yükselen karbon emisyon değerlerini göstermektedir.

Başka bir önemli konu, fosil yakıt rezervlerinin yeryüzündeki sınırlılıkları nedeniyle bulunabilirliği ile ilgilidir. Şu anda yeryüzünde fosil yakıtlara artan talep gözlenmektedir. Petrol, kömür ve gaz gibi fosil yakıtların tükenme süreleri dikkate alındığında dünyanın kömür için yaklaşık 114 yıl, gaz için 52 yıl ve petrol için 50 yılı kapsayan rezervleri bulunmaktadır (2015).



Şekil 1.1. Karbondioksit Emisyon Değeri.

Öte yandan, birçok üretim şirketi ürünlerini üretmek için dökme malzeme kullanmaktadır. Tüm üretim aşamalarının sonunda genellikle talaş şeklinde hurda malzemeler oluşur. Bu nedenle hurda maliyetinin en aza indirildiği, ultra yüksek mukavemetli sacların bükülebildiği ve yüksek üretim hızına sahip makaralı şekil verme

hatlarının (roll-form) günümüz şartlarında giderek artan kullanım oranı bulunmaktadır ve sabit kesitli ürünler özelinde tercih edilmektedir.

Günümüz modern araçlarında çarpışma veya çarpma güvenliğini arttırma açısından geliştirilmiş olan tampon kirişi (Crash Beam), ezilme kutusu (Crash Box), kapı barı (Side Door Beam), elektrikli araçların batarya kutuları (Battery Housings) gibi pasif emniyet elemanları mevcuttur. Bu emniyet elemanlarının üretim yöntemlerini belirleyen en önemli parametreler elemanın geometrisi, ağırlığı ve malzeme özellikleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

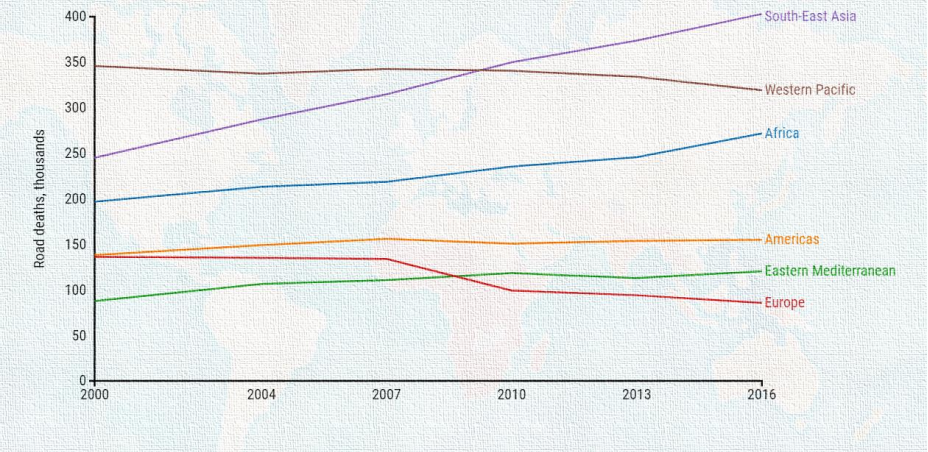
Yapılan bu çalışma ile de günümüz araçlarındaki başlıca problemler olan ağırlık ve maliyet konularında iyileştirmeler hedeflenmiştir. Belirtilen hedefler açısından düşünüldüğünde yüksek mukavemetli çelik parçaların üretimine imkân veren dolayısıyla ağırlık ve maliyet optimizasyonu sağlanacağı düşünülerek proje çalışmaları başlamıştır. Ayrıca bu çalışma ile karayolu taşıtlarından kaynaklanan karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlamak amaçlamaktadır. Bu, aracın ağırlığının azaltılmasıyla sağlanabilir. Çünkü ağır vasıta hareket etmek için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyar ve daha fazla yakıt kullanılır. Ultra yüksek mukavemetli çelik sacların kullanılabilmesi ile kesit ve kalınlıktaki değişimler ile ağırlığı azaltmak mümkündür.

Bu bağlamda B sınıfı bir araç için önden çarpışmada RCAR düşük hız çarpışma regülasyonunda en belirleyici senaryo olan 15 (+1/0) km/saat hız, %40 ofsetli, 10° açılı sabit ve deforme olmayan bariyere tam çarpışma araştırılmış ve daha sonra çarpma enerjisinin büyük bir çoğunluğunu sönümlemek için hayati önem taşıyan tampon kiriş sistemi geliştirilerek en uygun çözüme ulaşılmıştır. Amaç, mevcut ürüne göre özgül enerji değerini artırmaktır.

1.1 Dünya'da ve Ülkemizde Araçlarda Çarpışma

Bir aracın başka bir araçla veya canlı/cansız bir varlık ile istemsiz ve kontrolsüz olarak etkileşimine araçlarda çarpışma olarak nitelendirebiliriz.

Her yıl yaklaşık 1,25 milyon insan trafik kazalarında hayatını kaybetmektedir. Dikkatsiz araç kullanmak, trafik kurallarına uymamak, içki içmek ve aşırı hız yapmak trafik kazalarına neden olur. Şekil 1.2'de de gösterildiği üzere gelişmiş ülkelerde trafik kazalarında ölüm sayısı, gelişmekte olan veya gelişmemiş ülkelerde meydana gelenlerden daha düşüktür.



Şekil 1.2. Dünya Sağlık Örgütü Trafik Kazalarındaki Ölüm Sayıları (Anonim 2021).

Kazaları azaltmak için alkollü araç kullanmayı önlemek ve yüksek hızlı araç kullanmayı önlemek veya yapılacak eğitim ve bilinçlendirmeler ile trafik kurallarına riayet etmeyi sağlatmak gibi önleyici faaliyetler uygulamak bilinen yaygın çözümler arasındadır. Ayrıca, araç tasarımlarında yapılan iyileştirmeler ile de sürücü, yolcu ve yaya güvenliğini arttırmak gerekmektedir.

Kara yollarında birçok farklı kaza çeşidi mevcuttur; önden, yandan, arkadan çarpışma, takla atma ya da yaya çarpmayı örnek gösterebiliriz.

Yapılan bu tez çalışması ile de darbe emici grubun önden çarpışma durumu nümerik olarak incelenerek mevcut çarpışma kutuları tasarımlarının aynı kalması şartı ile tampon kirişi kesitinin tasarım, üretim parametreleri dikkate alınarak geliştirilmesi sağlanmış ve çarpışma sönümleyici grubun ve tampon kirişinin çarpışma performansı karşılaştırılan (benchmark) ürüne kıyasla iyileştirilmiş ve ağırlığı azaltılmıştır.

1.2 Araçlarda Yüksek ve Düşük Hızlarda Çarpışma Regülasyonları ve Testleri

Motorlu araçlar güvenlik tarihinde ilk ölümcül kaza 31 Ağustos 1869'da bir kadının ölümü ile sonuçlanan kaza olarak bilinmektedir. Muhtemelen bu kazadan sonra güvenliğin sadece araçlar için değil, yayalar ve yolcular için de olması gerektiği bilinci uyanmıştır.

Araç güvenliği tarihinin en önemli mihenk taşı çarpışma testlerinin başlangıcıdır. ''GM'' (General Motors) ilk bariyer ve otomobil ile çarpışma testini ve ayrıca devrilme testini 1934 yılında gerçekleştirmiştir.



Şekil 1.3. GM devrilme testi (Anonim 2015).

1967'de Amerika'da araçların çarpışma performanslarının değerlendirilebilmesi adına Ulusal Otoban Trafik Güvenliği (National Highway Traffic Safety-NHTSA) Administration kurulmuştur ve 1979'da yaygın kullanılan otomobillerin çarpışma testlerini yapmaya başlamış ve sonuçlarını kamuoyu ile paylaşmıştır.

Araçlarda yüksek hızda çarpışma regülasyonları ve testlerinden bazıları aşağıdaki gibidir:

- İlk yeni araç değerlendirme programı (U.S. NCAP), Amerika Birleşik Devletleri'nde 1973 tarihli motorlu araç bilgi ve maliyet tasarruf yasasının ikinci başlığı altında, otomobillerin göreceli olarak çarpışmaya dayanıklılıkları hakkında tüketicilere bilgi sağlamak adına oluşturulmuştur. NHTSA, 1978'de yüksek hızda ön bariyer çarpışma

testleri yaparak yeni arabaların yolcu koruma yeteneklerini değerlendirmeye başlamıştır. U.S. NCAP' in ilk amacı tüketicilere otomobillerin göreceli güvenlik potansiyelinin ölçüsünü sunmak ve ikinci hedefi araç üreticilerini araçlarında daha yüksek güvenlik seviyeleri tasarlamaya teşvik etmek için pazar güçleri oluşturmak idi.

- Dünya çapında yeni araç değerlendirme programı (Global NCAP), 2011'de NCAP programları arasında uluslararası iletişimi sağlayabilmek adına ve değişimlerin dünyada genel olarak ortak yürütülebilmesi adına kurulmuştur.

- Euro NCAP Avrupa'da satılan arabaların fiziksel testlerini gerçekleştirip bağımsız olarak güvenlik performanslarını değerlendirip yayınlayan bir şirkettir. 1997 yılında kurulan Euro NCAP Avrupa'da 12 üye ülkesi bulunmaktadır.

- Avustralya Yeni Araç Değerlendirme Programı (ANCAP), Avustralya merkezli ve 1993 yılında kurulmuş bir otomobil güvenliği performans değerlendirme programıdır. Avustralya ve Yeni Zelanda'da satılan binek ve hafif ticari araç için çarpışma testi sonuçlarını yayınlamaktadır.

- Güneydoğu Asya için Yeni Araç Değerlendirme Programı veya ASEAN NCAP olarak tanınan, Malezya Yol Güvenliği Araştırmaları Enstitüsü (MIROS) ve Küresel Yeni Araba Değerlendirme Programı (Global NCAP) tarafından birlikte oluşturulan bir otomobil güvenliği derecelendirme programıdır. 7 Aralık 2011 tarihinde Hindistan'ın Yeni Delhi kentinde kurulmuştur.

- Yol Güvenliği Sigorta Enstitüsü (IIHS) Amerika'da 1959 yılında kurulan ve kâr amacı gütmeyen bir organizasyondur. Arlington, Virginia'da merkezi buluna kuruluş otomobil sigorta şirketleri tarafından finanse edilmektedir. Motorlu araçlarda kaza sayısının, yaralanmaların ve maddi hasar miktar oranlarını azaltmak için çalışır. Kuruluş en çok tercih edilen binek araçlar için güvenliği arttırmak amacıyla araştırma ve değerlendirmelerde de bulunmaktadır.

Aşağıdaki çizelge NCAP programlarında yapılan testleri ve değerlendirme yöntemlerini açıklamaktadır.

Çizelge 1.1. NCAP testleri ve değerlendirme yöntemleri (Anonim 2021).

Test Kuruluşu	Test Metotları	Değerlendirme Yöntemi
Euro NCAP	Önden, Sabit Bariyer Çarpışma Testi Önden, Ofsetli, Hareketli, Bariyer Darbe Testi Yan Darbe Testi Direğe Yandan Çarpma Testi Yaya Koruma Testleri Koltuk ve Emniyet Kemeri Testleri Çocuk Güvenliği Çarpışma Testleri	Değerlendirme test verilerine göre 1 ile 5 yıldız arasında ölçeklendirilerek belirlenir.
US NCAP	Önden, Sabit Bariyer Çarpışma Testi Önden, Ofsetli, Açılı Hareketli, Bariyer Darbe Testi Yan Darbe Testleri Direğe Yandan Çarpma Testi Devrilme Testi Yaya Koruma Testleri	Değerlendirme test verilerine göre 1 ile 5 yıldız arasında ölçeklendirilerek belirlenir.
ANCAP	Önden, Sabit Bariyer Çarpışma Testi Önden, Ofsetli, Hareketli Bariyer Darbe Testi Yan Darbe Testi Direğe Yandan Çarpma Testi Yaya Koruma Testleri Koltuk ve Emniyet Kemeri Sürücü Testleri Çocuk Güvenliği Çarpışma Testleri	Değerlendirme test verilerine göre 1 ile 5 yıldız arasında ölçeklendirilerek belirlenir.
Asean NCAP	Önden, Ofsetli, Sabit Bariyer Darbe Testi Yaya Koruma Testleri Yan Darbe Testi Çocuk Güvenliği Çarpışma Testleri	Değerlendirme test verilerine göre 1 ile 5 yıldız arasında ölçeklendirilerek belirlenir.
IIHS	Önden, Ofsetli, Sabit Bariyer Darbe Testleri Yan Darbe Testi Tavan Dayanım Testi Yaya Koruma Testleri Koltuk ve Emniyet Kemeri Sürücü Testleri Çocuk Güvenliği Çarpışma Testleri	Değerlendirme test verilerine göre 4 seviye (iyi, kabul edilebilir, marjinal ve kötü) üzerinden yapılır.

Araçlarda düşük hızda çarpışma gereksinimleri aşağıdaki gibi sırasıyla açıklanmıştır:

- ABD tampon kirişi yönetmeliği 49cfr581 yalnızca ABD Ulusal Karayolu Taşımacılığı Güvenliği İdaresi (NHTSA) tarafından "binek otomobiller" olarak sınıflandırılan araçlar için ve bu araçların ön ve arka tampon sistemleri için geçerlidir. Sarkaç (Pendulum) testleri olarak testler gerçekleştirilmektedir. 4 km/saat alından tam çarpışma olarak, 2,5 km/saat köşelerden açılı çarpışmalar gerçekleştirilmektedir.

- Avrupa tampon kirişi yönetmeliği ECE R42 yalnızca Avrupa hükümeti tarafından M1 olarak sınıflandırılan araçlar için geçerlidir. M1 sınıfı araç, binek otomobilleri, minibüsleri ve spor araçları içeren yolcu taşıyan herhangi bir araçtır. ECE R42 regülasyonu ön ve arka tampon sistemleri için geçerlidir. ABD regülasyonu gibi burada da sarkaç (pendulum) testleri olarak testler gerçekleştirilmektedir. 4 km/saat alından tam çarpışma olarak, 2,5 km/saat köşelerden açılı çarpışmalar gerçekleştirilmektedir.

- CMVSS 215 Kanada motorlu araçlar güvenlik standardıdır. Bu standarda göre ABD regülasyonu part581'e göre ya da Avrupa regülasyonu ECE R42'ye göre testler gerçekleştirilmelidir.

- GB17354 Çin düşük hız tampon kirişi regülasyonudur. Bu regülasyon Avrupa regülasyonu ECE R42'yi referans göstermektedir.

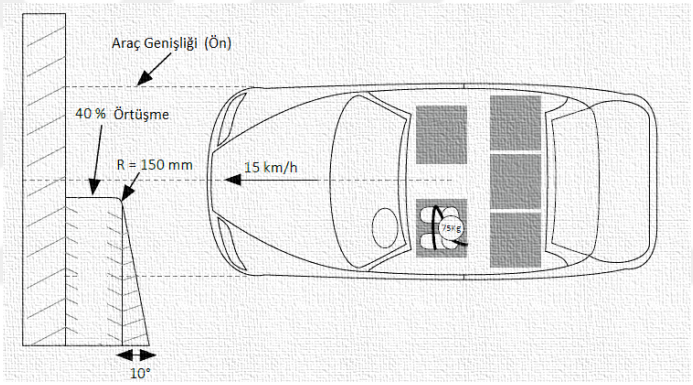
- KMVSS 93 Kore düşük hız tampon kirişi regülasyonudur. Bu regülasyon Avrupa regülasyonu ECE R42'yi referans göstermektedir.

- AIS006 Hindistan düşük hız tampon kirişi regülasyonudur. Bu regülasyon Avrupa regülasyonu ECE R42'yi referans göstermektedir.

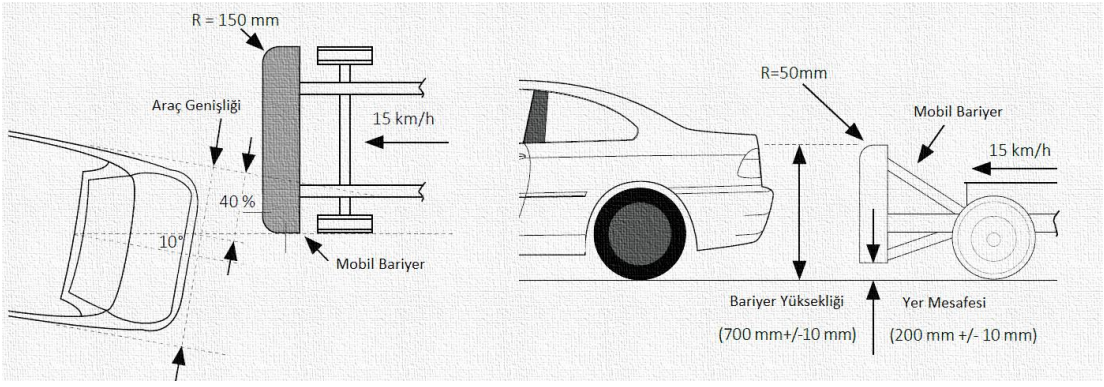
Yolcularını yüksek çarpma hızlarında korumaya yönelik araç yapılarının tasarımına ek olarak, son yıllarda aracın ön tasarımını büyük ölçüde etkileyen düşük hızlardaki çarpışmalar için gereksinimler ve test prosedürleri ön plana çıkmıştır. Binek otomobillerin ilk sigorta sınıflandırması ve standart onarım maliyetlerini belirlemek için RCAR (15 km/saate hızla çarpma testleri) sınıflandırma testleri kullanılır. Otomotiv Onarımı Araştırma Konseyi (RCAR), dünya çapında 26 sigorta araştırma merkezinden oluşan küresel bir organizasyondur. Amaçları, araç hasar direncini, onarıla bilirliği, güvenliği ve emniyeti iyileştirmek için performans bilgilerini test etmek ve sağlamaktır. Veriler, araçlarının tasarımını ve performansını iyileştirmek için araç üreticilerine ve ayrıca satın alma kararlarını etkilemek için tüketicilere sağlanır. Sigorta sınıflandırma testlerini karşılamak için birçok araç, aracın önündeki uzunlamasına elemanlara

ayrılabilir bir bağlantı yoluyla bağlanabilen, enerji emici elemanlara (çarpma kutuları) sahip travers sistemleri ile donatmıştır.

Çarpışma sönümleyici tampon grupları için en fenomen ve belirleyici gereklilik 15 (+1,0) km/saat %40 örtüşen 10° açı ile gerçekleştirilen RCAR regülasyonundan gelen çarpışma senaryosudur. Ön ve arka tampon sistemleri için geçerlidir. Ön ve arka CMS grupları için çarpışma senaryoları Şekil 1.4 ve Şekil1.5'te gösterilmiştir. Test aracı önceden hasar görmemiş ve seri üretimi temsil etmelidir. Önden çarpma sırasında oluşan hasarın arkadan çarpmanın sonuçlarını etkilememesi koşuluyla araç önden ve arkadan çarpma için kullanılabilir. Araç ağırlığı, aracın boş ağırlığı artı sürücü (75 kg) ve dolu yakıt deposudur.



Şekil 1.4. RCAR önden çarpışma senaryosu (Anonim 2021).



Şekil 1.5. RCAR arkadan çarpışma senaryosu (Anonim 2021).

1.3 Çarpışma Sönümleyici Grubu Detay Bilgileri

Bir otomobilin ön ve arkasında bulunan çarpışma sönümleyici grupları güvenlik parçalarıdır ve bu nedenle önemi yüksektir.

Diğer araçların çarpmasına karşı bir bariyer görevi gören çarpışma sönümleyici gruplar, bir çarpışma sırasında yolcuların hayatta kalması ve içindeki herkesin sağlığı için ve araç şasisine etki eden kuvvet sonucu hasarı en aza indirmek için çok önemlidir.

Günümüzde en çok kullanılan çarpışma sönümleyici grupları aşağıdaki gibidir:

A. Açık Tampon Sistemi

Şekil 1.6'da gösterildiği gibi bu sistem, tampon kirişinin ("metal ön yüz çubuğu" olarak da adlandırılmaktadır) aracın şekillendirilmiş bir yüzeyidir ve görülebilen yerdedir. Bir aracın ön veya arka kısımlarında kullanılabilmektedir. Doğrudan gövde yapısına veya çerçeveye monte edilir ve düşük hızlı bir çarpışmada birincil enerji emici olarak bulunmaktadır. Bu sistem geçmişte yaygın olarak kullanılıyordu, ancak son zamanlarda bazı hafif, orta ve ağır hizmet kamyonlarında kullanılmaktadır.

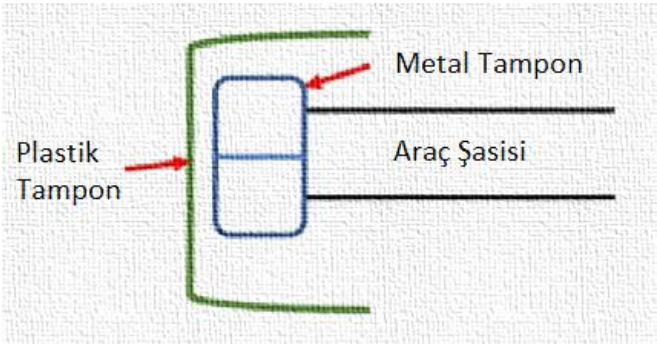


Şekil 1.6. Açık tampon sistemi (Anonim 2020).

B. Kapalı Tampon Sistemi

Kapalı tampon sisteminde çarpışma sönümleyici grubun etrafı, plastik koruyucu tampon ile kapatılmıştır. Kapalı tampon sistemine kendi içerisinde de dört adet örnek verebiliriz.

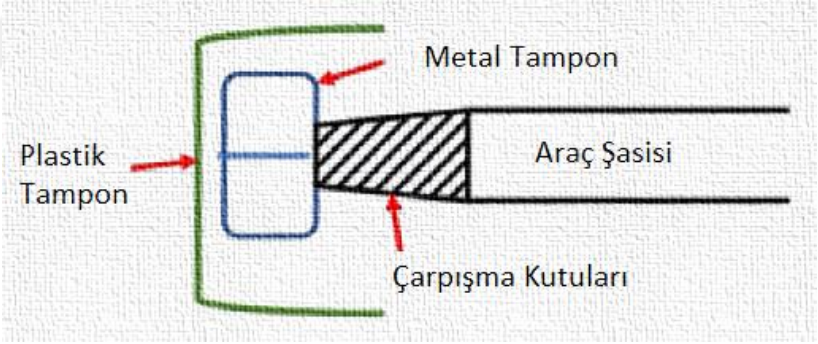
- Plastik Tampon – Metal Tampon Kirişi – Araç Şasisi



Şekil 1.7. Kapalı tampon sistemi örnek 1.

Bu kapalı tampon sisteminde metal tampon kirişi araç şasisine direk montajlıdır ve etrafı plastik tampon ile kapatılmıştır.

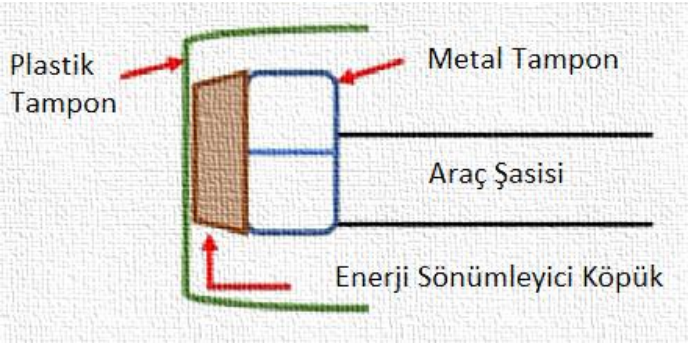
- Plastik Tampon – Metal Tampon Kirişi – Çarpışma Kutuları – Araç Şasisi



Şekil 1.8. Kapalı tampon sistemi örnek 2.

Bu kapalı tampon sisteminde metal tampon kirişi, çarpışma kutuları ile birlikte araç şasisine montajlıdır ve etrafı plastik tampon ile kapatılmıştır.

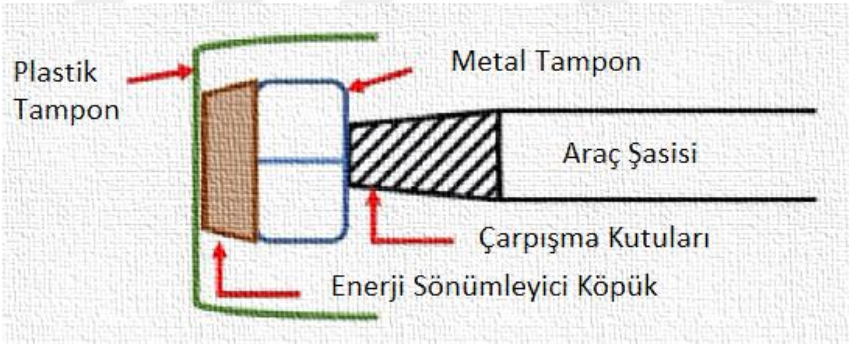
- Plastik Tampon – Köpük – Metal Tampon Kirişi – Araç Şasisi



Şekil 1.9. Kapalı tampon sistemi örnek 3.

Bu kapalı tampon sisteminde Örnek 1'e ek olarak enerji sönümleyici köpük kullanılmaktadır.

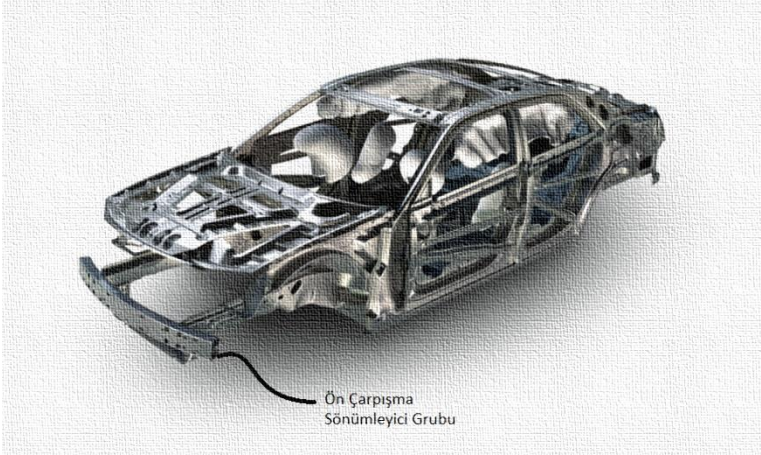
- Plastik Tampon – Köpük – Metal Tampon Kirişi – Çarpışma Kutuları – Araç Şasisi



Şekil 1.10. Kapalı tampon sistemi örnek 4.

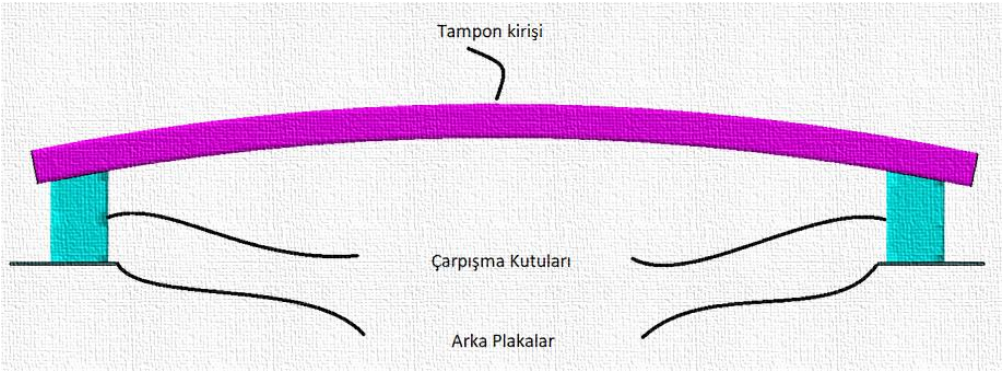
Bu kapalı tampon sisteminde Örnek 3'e ek olarak enerji sönümleyici köpük kullanılmaktadır.

Ön çarpışma sönümleyici grubun araç üzerindeki konumu da Şekil 1.11'da ki gibidir.



Şekil 1.11. Ön çarpışma sönümleyici grubun araç üzerindeki konumu (Anonim 2016).

Çarpışma sönümleyici grubunu aşağıda Şekil1.12'de göreceğiniz üzere tampon kirişi, çarpışma kutuları ve arka plakalardan oluşmaktadır. Pasif emniyet elemanı olarak geçen bu grubun amacı çarpışma esnasında aracın şasisine gelen kuvvetin belirli bir oranda sönümlemesini sağlamak, şasinin zarar görmesini önlemek ve yolcu kabinine olan etkiyi azaltmaktır. Çarpışma esnasında, çarpışma sönümleyici grup darbeye bağlı olarak deforme olamaya başlamakta, plastik deformasyona uğrayarak aracın kinetik enerjisini sönümlemeye çalışmaktadır. Sönümleme esnasında ani kuvvet değişiklikleri şasiye zarar verebilmektedir. Çarpışma sönümleyici grubun çarpışma esnasındaki sönümleme eğrisi olabildiğince stabil olmalıdır. Tasarımda yapılacak bazı boşaltma ve yüzeysel kabartmalar ile ve malzeme seçimlerinin doğru yapılması ile yönlendirmelidir.

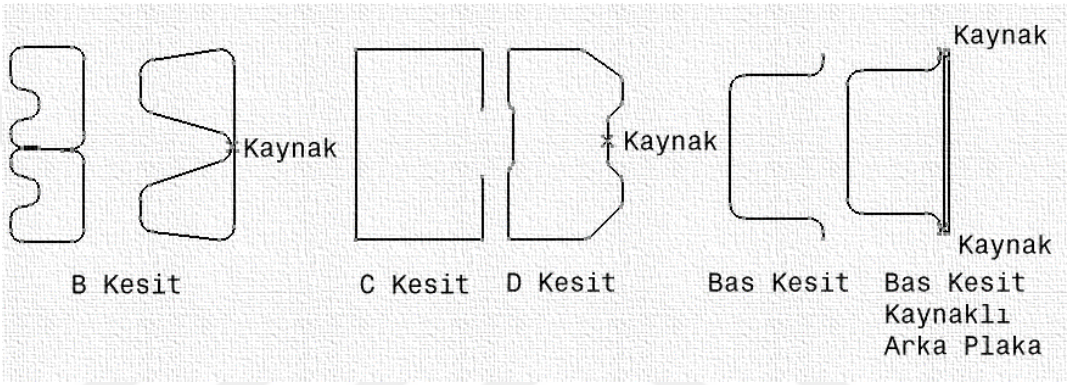


Şekil 1.12. Çarpışma sönümleyici grubu.

Çarpışma sönümleyici grupta bulunan tampon kirişinin görevi çarpışma esnasında kuvveti çarpışma kutularına iletmek ve sonrasında enerji sönümlemektir. Çarpışma esnasında gelen kuvvetin yaklaşık üçte biri tampon kirişi tarafından sönümlenebilmektedir.

Tampon kirişleri daha çok akması 980 MPa üzerinde olan ultra yüksek kalitede çelik malzemelerden ve yüksek kalite alüminyum malzemelerden tercih edilmektedir.

Günümüzde en çok tercih edilen tampon kirişi kesitleri aşağıda belirtilmiştir:



Şekil 1.13. Günümüzde tercih edilen tampon kirişi kesitleri.

Bu çalışmada mevcut B sınıfı bir araçta kullanılan Şekil 1.8- Kapalı tampon sistemi örnek 2'deki gibi çarpışma sönümleyici grubu referans alınarak, belirli bir tasarım alanı içerisinde kalarak ve RCAR (15 km/saat hızla çarpma testleri) regülasyonuna göre ön tampon kirişi kesiti (B kesit) geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Özgül enerji değeri birim kütle başına yaptığı iştir (kj/kg). Karşılaştırılan tampon kirişi tasarımına göre özgül enerji değeri arttırılmıştır.

Absorbe edilen enerji denklemi;

$$AE = \int_0^d P(x)dx \tag{1.1}$$

Özgül (Spesifik) enerji denklemi;

$$SE = \frac{\mathrm{AE}}{\mathrm{m}} \tag{1.2}$$

1.4 Çarpışma Analizleri için Simülasyon Programları

Bu tür programlar çarpışma analizleri gibi statik/dinamik problemleri simule etmek için kullanılan dinamik sonlu elemanlar programıdır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde çarpışma analizleri için daha çok LS-DYNA simülasyon programı olmak üzere ANSYS, ALTAIR (RADIOSS), PAM-CRASH, ABAQUS VE MSC. MARC programlarının tercih edildiği görülmüştür.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Hinz ve Lewkowicz (2017) çalışmalarında ECE R42, RCAR ve FMVSS 581 düşük hız çarpışma regülasyonlarının önemini belirterek çarpışmaların %82'sinin düşük hızda ve %70'inin tamir edilebilir olduğunu belirtmektedirler ve bu düşük hız çarpışma regülasyonları hakkında amaçları ve yöntemleri hakkında bilgi vermektedirler. Düşük hız çarpışma testlerinin araçların valide edilebilmesi için bir unsur olduğunu söylemektedirler. RCAR 1972'den beri çarpışma sönümleyici grupları geliştirmeyi amaçlayan bir kurumdur. RCAR regülasyonunda tampon kiriş yüksekliğinin önemini açıklamaktadır ve artık neredeyse tüm araçların yüksekliğinin aynı olduğunu, bu yükseklikteki değişimin tamir bedelini etkilediğini belirtmektedirler. ECE R42 Avrupa regülasyonudur ve bu regülasyonun Amerika eşleniği FMVSS 582 (Part 581)'dir. Temel olarak çarpışma sönümleyici gruplar için testlerin araçlı yapılarak sigorta bedellerinin ortaya çıktığını, ekipman bazında yapılan testlerin belirli hedefler doğrultusunda ürün tasarımına yönelik yapıldığını açıklamaktadırlar. RCAR ve ECE R42 senaryolarının öneminin eşit olduğundan bahsetmektedirler. Bu çalışmada düşük hız regülasyonlarının önem sıralamasını böyle açıklasa da OEM'ler ile yaptığımız çalışmalarda Avrupa pazarında RCAR regülasyonunun ürünlerin tasarlanmasında uyulması gereken regülasyon olarak tecrübe ettiğimizi belirtmek isterim.

Abeyrathna, Rolfe ve Weiss, (2017) çalışmalarında iki çift faz yüksek mukavemetli çelik (AHSS) ile ve bir martensit yapıda ultra yüksek mukavemetli çeliğin (UHSS) iki farklı malzeme kalınlığında makaralı şekillendirme prosesinde (roll-form) bir C kesiti büküm esnasında boyuna büküm gerilmelerini ve buna bağlı olarak parçada üzerindeki durumu deneysel ve istatiksel olarak incelemişlerdir. Bu deneysel incelemeyi SSAB firmasından

tedarik ettikleri malzeme numunelerine makaralı şekillendirme prosesini simüle edecek şekilde yuvarlanma yönünde çekme testleri gerçekleştirerek ve devamında geri yaylanmayı ve boyuna deformasyon değerlerini teorik olarak hesaplamaktadırlar. Bu çalışma ile büküm açısının artmasıyla boyuna deformasyon artışı ve büküm boyunun artmasıyla boy gerinim azalışını gözlemlenmiştir. Ayrıca malzeme akma mukavemetinin artması ile boyuna deformasyon ve geri yaylanmanın arttığı belirtilmiştir. Geri yaylanmayı büküm (flanş) uzunluğunun nispeten arttırılarak çözülebildiği açıklanmıştır. Makaralı şekil verme hattındaki istasyonlar arası mesafenin artması ile yüzeysel bozuklukların, eğilmelerin (marullanma) azaldığı tespit edilmiştir.

Belingardi, Beyene ve Koricho, (2013) çalışmalarında e-cam/epoksi pultrüze edilmiş tampon kirişi ele alınmış ve enerji emme kapasitesi çelik ve e-cam/epoksi kumaş kompozit ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, kiriş kesit profilini ve kiriş eğriliğini çarpışma performansını optimize etmek amacıyla Abaqus / Explicit sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak düşük hızlı darbe sonlu eleman simülasyonları gerçekleştirmişler. Analizlerde 1000 kg rijit bariyer ve 15 km/saat çarpışma hızları kullanılmış ve buna göre değerlendirmeler yapılmıştır. Tampon kirişi kesitlerindeki kıvrımların optimize edilmesi gerektiği, tampon kirişlerinin 2862 mm büküm yarı çapında çatlak davranışının en iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. E-cam/epoksi, çelik ve e-cam/kumaş kompozit ile karşılaştırıldığında enerji sönümleme açısından karşılaştırılabilir olduğunu fakat çarpışma analizleri sonrasında oluşan pik kuvvet değerinin yüksek olduğu belirtilmekte malzeme geliştirilerek, kopma (fail) değerlerinin iyileştirilmesi ile pik kuvvet değerinin azaltılması mümkün olacağı belirtilmektedir.

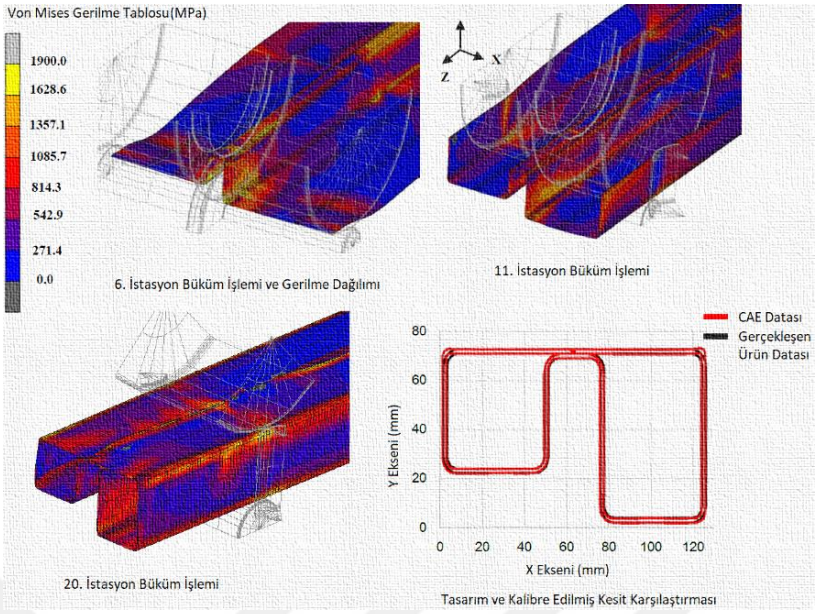
Tanlak, Sonmez ve Senaltun, (2015) çalışmalarında yüksek hız çarpışma senaryosunda kutu kesit olan tampon kirişlerinin çarpışma performansı altında şekil optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Genetik ve Nelder&Mead algoritmaları kullanılarak optimizasyon çalışması yapılmıştır. Yüksek hız çarpışma senaryosunda 64 km/saat hızla deforme edilebilen bariyere, %40 (ofset) bariyer-tampon kirişi örtüşmeli çarpma olarak gerçekleştirilmiştir. Abaqus / Explicit sonlu elemanlar analiz programı kullanılmıştır. Mevcut tampon kirişi tasarımına göre daha iyi performans veren iki kesit geliştirilmiştir ve en iyisi mevcuda göre %16 daha iyi sonuç elde edildiği görülmüştür.

Kim ve Won, (2008) çalışmalarında açık kesit çelik bir tampon kirişi kesitindeki yükseklik değişimi ve kalınlık değişimleri sonrası çarpışma performansını incelemişlerdir. Ls-dyna yazılımını kullanarak 4 km/sat hız senaryosunda bariyere çarpma analizleri ve tampon kirişi burulma analizleri sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Burulma rijitliğini arttırmanın çözümü tampon kirişi kesit yüksekliğini arttırmak olduğu tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek mukavemetli boron çeliği kullanarak ve beş adet arka plaka ile güçlendirilerek çarpışma performansından ödün vermeden %30 ağırlık azaltması gerçekleştirilmiş aşağıda da gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Karşılaştırma Tablosu(K. J. Kim & Won, 2008).

Malzeme ve Kesit	Maksimum Girişim (mm)	Ağırlık (kg)
SPFC780 (□)	21,3 mm (%100)	6,5 (%100)
SPFC780 (⊏)	31,0 mm (%146)	4,3 (%66,2)
Boron Steel (⊏)	24,6 mm (%115)	4,3 (%66,2)
Boron Steel (5 arka plaka)	21,2 mm (%99)	4,6 (%70,8)

Sheu, Yu ve Wang, (2017) çalışmalarında roll-form üretim yönteminin ultra yüksek mukavemetli bir malzeme kullanarak B kesit tampon kirişi üretiminin uygunluğunu belirtmektedirler. Çekme mukavemeti 1400 MPa olan bir malzeme ile B kesitin proses ve roll-form kalıp tasarımı çalışılmıştır. Çiçek açınım diyagramını yani proses adımlarını 20 adımda gerçekleştiğini açıklamaktadırlar. Proses simülasyonu ile büküm esnasında parça üzerinde oluşan maksimum gerilmelerin, geri yaylanma etkisinin katlanma ve kırışmaların kontrol edildiğini belirtmektedirler. Proses adımlarından bazıları ve reel üretim ile tasarım karşılaştırması aşağıdaki şekilde belirtilmektedir.



Şekil 2.1. Roll-form proses aşamaları. Sheu, Yu ve Wang, (2017)

Öztürk, (2008) çalışmalarında çarpışma sönümleyici grubun Ls-dyna yazılımında 57 km/saat hızda rijit bir bariyere %40 ofsetli çarpışma ile enerji sönümleme kabiliyetini incelemişlerdir. Bu çalışmada ayrıca deney tasarım metodu ile toplam ağırlığın minimize edilmesi için Matlab programında boyut optimizasyonu çözdürülmüştür. Oluşturulan geometrilerde enerji absorbsiyonunda fazla değişiklik olmamasına karşın çarpışma başlangıcındaki maksimum kuvvetin mevcut değere göre düşürüldüğü açıklanmaktadır.

Bilbay *vd.*, (2019) çalışmalarında otomotiv endüstrisinde kullanılan iki yüksek mukavemetli çeliğin (FEE340 ve DP600) aynı ön çarpışma kolu modelinde kullanılarak 64 km/saat hızda rijit bariyer ile çarpışma senaryosunda Abaqus yazılımını kullanarak bilgisayar ortamında analiz edildiği belirtilmektedir. Bu çalışma ile her bir eleman tarafından sönümlenen enerji miktarı, toplam yer değiştirme, iletilen yük miktarı ve çarpışma kuvveti verimliliği parametreleri dikkate alındığı açıklanmaktadır. FEE340 malzeme ile oluşan pik kuvvetin optimum olduğu fakat yer değiştirme değerinin arttığı belirtilmektedir.

Chiandussi ve Avalle, (2002) çalışmalarında konik çelik bir boru otomotiv endüstrisinde kullanılmak amacıyla tasarım değişkenleri belirlenerek optimizasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Konik ucun dayanımı azaltarak katlanmasına izin verildiği ve

devamında yük taşıma kapasitesi değişmeden maksimum ezilme yükünün azaltıldığını açıklamaktadırlar. Optimizasyon işlemi olarak, yanıt yüzeyi metodolojisine dayalı çok noktalı bir yaklaşım şeması kullanıldığı belirtilmektedir.

Marzougui *vd.*, (2013) çalışmalarında 2010 Toyota Yaris sedan aracının yüksek hızdaki çarpışma senaryolarında sonlu elemanlar modelini doğrulama çalışması gerçekleştirildiği belirtilmektedir. Aracın NCAP senaryolarında tam çarpışma ve ofsetli çarpışmalar olarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiş bu analizleri NHTSA testleri ile elde edilen gerçek verilerle karşılaştırdıklarını ve doğrulandığını açıklamaktadırlar. Bu sonuçların uyuşmasıyla birlikte deforme edilebilir bariyer testleri ile ve direğe darbe testleri ile simülasyonların karşılaştırıldığını, sonuçların tutarlı olduğunu ve aracın çeşitli çarpışma senaryolarında yeterli dayanıma sahip olduğu belirtilmektedir.

Bhardawaj, Sharma ve Sharma, (2020) çalışmalarında kare ve dikdörtgen kesitli çarpışma kutularının alüminyum ve çelik malzemeleri kullanılarak çarpışma performanslarını arttırmak amacıyla gerçekleştirdiklerini açıklamaktadırlar. Ls-dyna yazılımı kullanılarak sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kare kesitin her iki malzeme ile dikdörtgen kesite göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmektedir. Alüminyum kare kesit çelik kare kesite göre daha hafiftir fakat özgül enerji değeri çelik kare kesitte daha fazla olduğu belirtilmektedir. Pik kuvvet değerinin de Al kare kesitte çok daha düşük olduğu açıklanmaktadır.

Kim ve Lee, (2017) çalışmalarında mevcut ön tampon kirişi modelinde sabit kesit sandviç kompozit malzeme kullanarak RCAR regülasyonu 16 km/saat hız %40 ofset ve 10°açılı rijit duvar ile çarpışma analizlerini Ls-dyna simülasyon programını kullanarak gerçekleştirildiğini belirtmektedirler. 80 mm ve 100 mm yer değiştirme değeri aralıklarında sönümlenen enerji değerleri ölçülmüştür. Çarpışma kutularına farklı yönde kalınlıklar verilerek uygulanması ve köpük uygulamaları incelendiği belirtilmektedir. Köpüklü uygulamanın daha az zaman aralığında daha fazla enerji sönümlediği açıklanmaktadır.

Natarajan, Joshi ve Tyagi, (2020) çalışmalarında beş adet farklı ön tampon kirişi modellerinin alüminyum, cam mat termo plastik (GMT) ve yüksek mukavemetli sac kalıplama bileşiği (SMC) malzemeleri ve bazı konvansiyonel çelik ve alüminyum malzemelerin de dikkate alınarak RCAR regülasyonunda bulunan 10 km/saat deforme edilebilir bariyer ile çarpışma ve 15 km/saat %40 ofset, 10°açılı rijit duvar ile çarpışma senaryolarına göre çarpışma performanslarını Ls-dyna simülasyon programını kullanarak araştırdıkları belirtilmektedir. Beş farklı modelde kalınlık ve yüzeylerde değişkenlikler ile tasarımların verimliliği arttırılmaya çalışıldığı belirtilmekte beşinci modelde kalınlık artırımı sonucunda enerji sönümleme açısından en iyi sonuca ulaşıldı açıklanmaktadır.

Salifu *vd.*, (2021) çalışmalarında araçlarda güvenlik parçası olarak görev yapan bırakılmış çift şapkalı bir tampon kirişinin alüminyum Al (3105-H18) ve karbon fiber-epoksi kompozit olmak üzere iki farklı malzeme ile yapılmış ve yüksek hızlı çarpışma senaryosunda, sonlu eleman simülasyon programı Abaqus kullanılarak analizlerinin gerçekleştiği açıklanmaktadır. Analiz senaryosu darbe düşürme testi olarak rijit bir dairesel direğin düşürülmesi şeklinde simüle edildiği görülmektedir. Her iki malzemenin tepkileri karşılaştırılmış ve sonuçlar karbon fiber-epoksi kompozitin çarpışma sırasında alüminyum kadar eşit miktarda enerji emdiğini belirtmektedirler, bunun dışında diğer önemli bir parametre olan yer değiştirme değerinin Al malzeme ile performansın epoksi kompozit malzemeye göre daha iyi olduğu açıklanmaktadır.

Sonawane ve Shelar, (2018) çalışmalarında metal bir ön tampon kirişi için IIHS regülasyonuna göre merkezi çarpışma (10 km/saat), sol köşe çarpışma (5 km/saat ve %15 ofset) ve sağ köşe çarpışma (5 km/saat ve %15 ofset) olmak üzere üç senaryoda düşük hız çarpışma analizleri Ls-dyna simülasyon programı kullanılarak gerçekleştirildiği belirtilmektedir. Bu çalışmada Mat24 malzeme kartı kullanıldığı, analiz dataları oluşturulurken izotropik malzeme kabul edilmiş, tüm kaynak, cıvata, perçinli bağlantılar emniyetli olduğu var sayılmış, preste üretim nedeniyle üretimden kaynaklı kalıcı gerilmeler analize dahil edilmemiştir. Analizlerin sadece ekipman bazında olamayarak, komple bir araçla birlikte simülasyonların gerçekleştirildiği görülmektedir. Malzeme yüzey tasarımı, kesit ve kalınlık değişimleri sonrasında elde edilen sonuç 1,3 kat enerji sönümleme değerinin artmasıdır.

Özel, Karagöz ve Beytüt, (2020) çalışmalarında beş farklı kesitteki aynı ağırlıkta tampon kiriş modelinin Alüminyum AA6061-T6 malzemesini kullanarak yüksek hız çarpışma senaryosuna göre 56 km/saat hız ile rijit duvara ve direğe olmak üzere Radioss / Explicit programını kullanarak çarpışma analizleri gerçekleştirildiği açıklanmaktadır. Johnson-Cook malzeme modeli kullanıldığı belirtilmektedir. Çarpışma analizlerinde sönümlenen enerji değeri, pik ve ortalama çarpışma kuvvetleri, çarpışma kuvveti verimi ve özgül enerji sönümleme parametrelerini dikkate alarak simülasyonları gerçekleştirdiklerini belirtmektedirler. Analizlerinde dataları kabuk eleman olarak hazırlamışlar. Gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri sonrası rijit bariyere çarpma ile rijit duvara çarpma sonucunda çarpışma performans değerleri farklı çıkmaktadır. Burada model 1 yüksek enerji sönümleme ve düşük pik kuvveti açısından en tercih edilen kesit olarak ortaya çıkmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

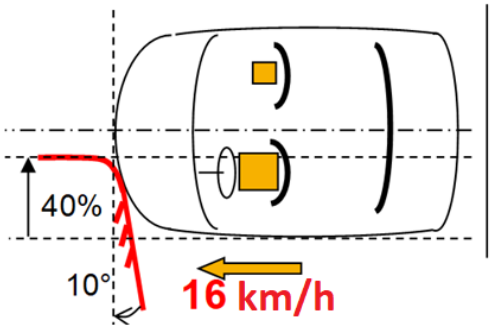
3.1 Mukayese Edilen (Benchmark) Ürünün Teknik Detayları

Mukayese edilen ürün hali hazırda B sınıfı bir araçta kullanılmakta olan çarpışma sönümleyici grubudur.

Tampon kirişi, roll-form prosesi ile üretilmektedir ve tampon kirişi kesiti ‘’B’’ kesit olarak tasarlanmıştır. Tampon kirişi kendi içerisinde gaz altı kaynak ile birleştirmektedir ve tasarım gaz altı kaynak dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Tampon kiriş malzemesi olarak ultra yüksek mukavemetli çeliklerden Docol 1400 çeliği olarak tercih edilmiştir.

Çarpışma kutuları ve arka plakalar preste şekil verme prosesi ile üretilmektedir. Çarpışma kutularının ve arka plakaların malzemesi yüksek mukavemetli çeliklerden XE 450B çeliği olarak tercih edilmiştir.

Mukayese edilen ürünün çarpışma performansı en belirleyici senaryo olan RCAR Structure senaryosuna göre kontrol edilmiş, simülasyonlar bu senaryoya göre gerçekleştirilmiştir. Mevcut elimizde bulunan şartnamede RCAR Structure senaryosu aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

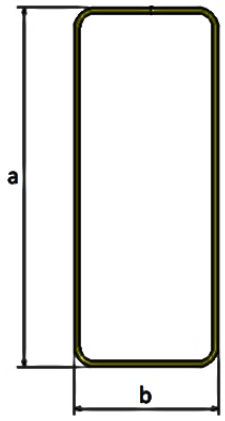


Şekil 3.1. RCAR structure test.

Otomotiv ana sanayi firmaları çarpışma testlerini yukarıda Şekil3.1'de belirtildiği gibi araçla birlikte aracın hareket etmesi koşulu ile kızak (sled) test olarak gerçekleştirmedirler. Kızak testi sahte bir araç kullanılarak çarpışma sönümleyici ekipmanın üzerine montajı vasıtasıyla da gerçekleştirilebilmektedir fakat maliyeti yüksek olması nedeniyle tercih edilmemektedir.

OEM tedarikçi firmaları tasarımı gerçekleştirilen ürünler için kızak (sled) teste göre maliyeti uygun olan darbe düşürme (drop) testlerini tercih etmektedirler. Bu çalışmada da drop test yöntemi olarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Burada çarpışma sönümleyici grup sabittir, rijit bariyer 1065 kg olarak girilmiştir ve 16 km/saat hıza sahiptir.

Mukayese edilen (benchmark) ürün tampon kiriş tasarımı aşağıdaki belirtilen tasarım kısıdına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Tampon kiriş kesiti tasarım uzayı.

‘’b/a’’ oranı 0,4’tür. Kesitin iç bükey yarı çapları malzeme tedarikçisinin önerdiği değerler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Catia V5 programında tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ansys 2020 Workbench ara yüzünde analiz datası oluşturulmuştur. Elimizde bulunan mevcut şartnameye göre Ls-prepost programında oluşturulan datada Workbench ara yüzünde gerçekleştirilemeyen eklemeler ve kontroller gerçekleştirilmiştir. Ansys Mechanical APDL Product Launcher 2020 R1 programında ve Ls-dyna çözücüsünde final olarak oluşturulan ‘’.k’’ dosyası koşturularak sonlu elemanlar analizi sonuçları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3.1.1. Mukayese edilen ürünün çarpışma performans değerleri.

RCAR Structure (16 km/saat hız, %40 Ofset ve 10° açılı bariyer çarpışma senaryosu)					
Sönümlenen Enerji (Tampon kirişi)	Sönümlenen Enerji (Toplam)	Yer Değiştirme (x Ekseni)	Aktarılan Kuvvet (x Ekseni)	Özgül Enerji (Tampon kirişi)	Tampon Kirişi Ağırlığı
3,54 kj	10,1 kj	83,2 mm	178 kN	0,88 kj/kg	4,014 kg

3.2 Çarpışma Analizleri için Explicit (Açık) Sonlu Elemanlar Yöntemi

Explicit (açık) dinamik analizlerde çözülecek kısmi diferansiyel denklemler, kütle (m), momentum ve enerjinin Lagrange koordinatlarında korunumunu ifade etmektedir. Bunlar, bir malzeme modeli ve bir dizi başlangıç ve sınır koşuluyla birlikte, sorunun tam çözümünü tanımlamaktadır.

Explicit (açık) dinamik sistemde mevcut olan Lagrange formülasyonları için ağ yapısı (mesh), modellediği malzeme ile hareket eder ve bozulur ve kütlenin korunumu otomatik olarak sağlanır. Herhangi bir zamanda yoğunluk (ρ), bölgenin mevcut hacminden ve ilk kütlesinden ($\rho_0 V_0$) belirlenebilir.

$$\frac{\rho_0 V_0}{V} = \frac{m}{V} \tag{3.1}$$

Momentumun ($\rho\ddot{x}$) korunumunu ifade eden kısmi diferansiyel denklemler, ivmeyi gerilme tensörü σ_{ij} ile ilişkilendirir.

$$\rho\ddot{x} = b_x + \frac{\partial\sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial\sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial\sigma_{xz}}{\partial z} \tag{3.2}$$

$$\rho\ddot{y} = b_y + \frac{\partial\sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial\sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial\sigma_{xz}}{\partial z} \tag{3.3}$$

$$\rho\ddot{z} = b_z + \frac{\partial\sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial\sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial\sigma_{xz}}{\partial z} \tag{3.4}$$

Enerjinin korunumu şu şekilde ifade edilir:

$$\dot{e} = \frac{1}{\rho}\left(\sigma_{xx}\dot{\varepsilon}_{xx} + \sigma_{yy}\dot{\varepsilon}_{yy} + \sigma_{zz}\dot{\varepsilon}_{zz} + 2\sigma_{xy}\dot{\varepsilon}_{xy} + 2\sigma_{yz}\dot{\varepsilon}_{yz} + 2\sigma_{zx}\dot{\varepsilon}_{zx}\right) \tag{3.5}$$

Bu denklemler, bir önceki zaman adımının sonundaki girdi değerlerine dayalı olarak modeldeki her eleman için açıkça çözülmektedir. Çözümün kararlılığını ve doğruluğunu sağlamak için küçük zaman artışları kullanılır. Explicit (açık) dinamikte herhangi bir denge biçimi aranmaz, bir sonraki zaman noktasındaki sonuçları tahmin etmek için sadece önceki zaman noktasından sonuçları alınmaktadır. İterasyon için bir gereklilik yoktur.

İyi tasarlanmış bir explicit (açık) simülasyonda kütle, momentum ve enerji korunmalıdır. Yalnızca kütle ve momentum korunumu uygulanmakta, enerji zamanla birikir ve çözüm sırasında değişimi izlenmektedir. Çözümün kalitesine ilişkin geri bildirim, momentum ve enerji korunumu özetleri aracılığıyla sağlanabilir.

3.3 Tampon Kirişi Üretiminde Kullanılan Çelik Malzemeler

Yassı haddelenmiş çelik malzemeler çok yönlü malzemelerdir. Uygun kütle-maliyet oranı ve yeterli mukavemetleri ile uygunluk sağlarlar. Mevcut yüksek hacimli üretim altyapısı ile çarpışma sönümleyici gruplar için en çok tercih edilen malzemedir.
Çelik, mükemmel enerji emme kapasitesine, yüksek sertleştirilebilme oranlarına ve çok iyi formabilite özelliğine sahiptir. Aynı zamanda çeliğin üretim aşamasında tamamen geri

dönüştürüle bilirliği ve düşük enerji talebi, onu yaşam döngüsü sera gazı emisyonlarını azaltması tercih edilebilirliğini arttırmaktadır.

Çelik endüstrisi, çeliği otomotivde tercih edilen malzeme haline getirmek için yeni, daha gelişmiş, yüksek mukavemetli çelik (AHSS) ve ultra yüksek mukavemetli çelik (UHSS) kaliteleri ortaya çıkararak çeliğin kullanımını arttırmaktadır. Birbirinden farklı ve karmaşık tampon kirişi kesitleri tasarlarken; %50'ye varan uzamalara sahip çelik kaliteleri, 1900 MPa gerilme değerinin üzerinde çekme mukavemetine sahip çelik kaliteleri ile çarpışma sönümleyici sistemlerin kütlesinin azalmasını sağlamaktadır.

Otomotiv endüstrisinde geleneksel ortalama mukavemetteki çelikler, yüksek mukavemetli çelikler, gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler kullanılmaktadır.

3.3.1 Geleneksel Çelikler Hakkında Genel Bilgiler

Bu çeliklerin üretimi yaygındır. Formabilite açısından çok uygundur ve genel olarak kapı, çamurluk ve bagaj kapakları gibi araç dış boyalı yüzeyleri dahil olmak üzere üretimi zor parçalarda kullanılmaktadır. Ferritik bir mikro yapıya sahiptir.

3.3.2 Yüksek Mukavemetli Çelikler (HSS, HSLA)

Bu çelikler orta mukavemetli olup, yaklaşık 400-800MPa arasında kopma gerilmesine sahiptirler. Çeşitli gövde ve şasi parçalarında, süspansiyonlar ve tekerleklerde kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetli (HSS) ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çelikleri, esas olarak mikro alaşım elementlerinin eklenmesiyle güçlendirilen tek fazlı ferritik mikro yapılardır.

3.3.3 Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler (AHSS)

AHSS çelikleri genellikle 500 MPa kopma mukavemeti değerinden büyük yüksek mukavemetli çelikler olarak literatürde geçmektedir. Bu çelikleri de kendi içerisinde çift faz çelikler, trip çelikleri ve ultra yüksek mukavemetli çelikler olarak bölebiliriz. Araçta

birçok gövde parçasında (çapraz kiriş, travers ve darbe emici kutular vb.) kullanılmaktadır. Bu çeliklerin araç tasarımlarında kullanımı ile gürültü, titreşim ve yol tutuş performansları iyileştirmek, önden veya arkadan çarpışmalarda çarpışma sönümleme ve izinsiz deformasyon performanslarını arttırmak amaçlanmaktadır. AHSS, temel olarak, benzersiz mekanik özellikler üretmek için yeterli miktarlarda martensit, beynit, östenit gibi ek fazlar içeren bir mikro yapıya sahip çeliklerdir.

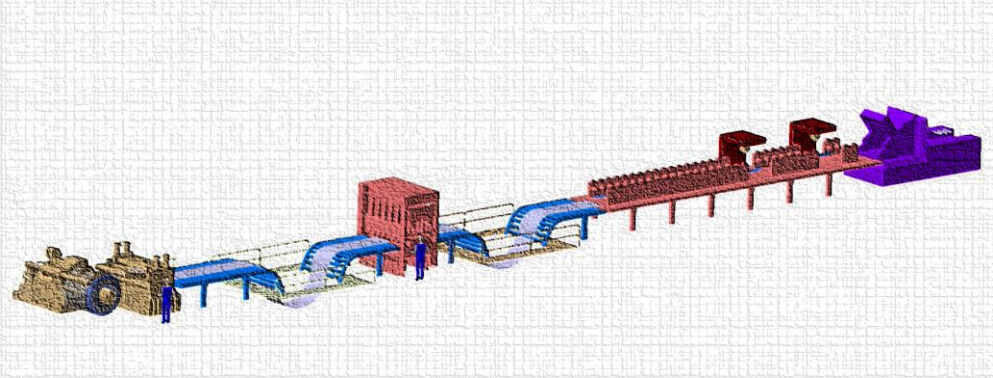
Tampon kiriş malzemesi olarak 980 MPa kopma mukavemeti değeri üzerinde olan ultra yüksek mukavemetli çelikler tercih edilmektedir. Bu çelikler martensit yapıdadırlar. Ayrıca araçların A, B direkleri ve çatı rayları gibi yüksek dayanıma ihtiyaç duyulan parçalarında da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada da tampon kirişi malzemesi olarak Docol 1400 malzemesi kullanılmıştır. Ls-dyna sonlu elemanlar programında kullanılmak üzere Mat24 Gissmo malzeme kartı Docol 1400 malzemesi için oluşturulmuştur. Çarpışma kutuları ve arka plakaların malzemesi CR440Y780T-DP_UC olarak analizlerde kullanılmıştır. Malzeme bilgileri malzeme tedarikçisinden alınan gerçek gerilim-gerçek gerinim eğrileri girilerek oluşturulmuştur.

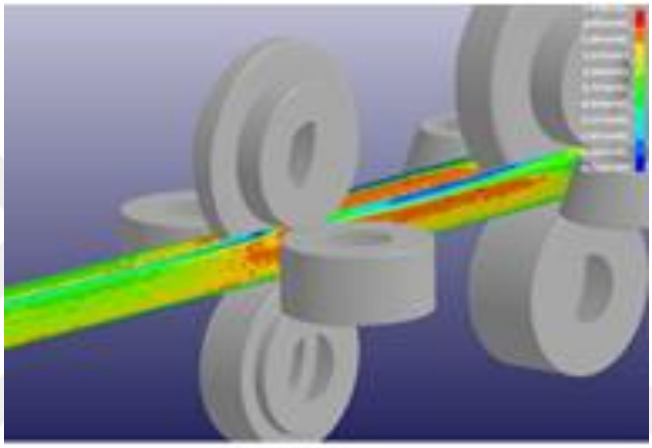
3.4 Tampon Kirişi Üretim Yöntemleri

Tampon kiriş tasarımları hedeflenen birçok farklı üretim yönteminin üretim kriterlerini dikkate alarak geliştirilmektedir. Oluşturulan tasarım, malzeme ve varsa birleştirme yöntemi başlıca etken parametrelerdir. Tampon kirişi üretiminde roll-form üretim, preste şekil verme, hidro-form üretim en çok tercih edilen üretim yöntemleridir.

Tasarımlar TKG Otomotiv roll-form üretim hattının proses kriterlerine göre oluşturulmuştur. Mukayese edilen ürün de mevcut roll-form hattının kriterlerini karşılamaktadır.



Şekil 3.4.1. TKG Otomotiv roll-form hattı



Şekil 3.4.2. Roll-form proses akışı

Roll-form prosesi temel kısıtları aşağıdaki gibidir.

- ‘’t’’ malzeme kalınlık değeri,
- ‘’r’’ büküm yarı çapı,
- ‘’R’’ final kesitin büküm yarı çapı,
- Kesitin açınım değeridir.

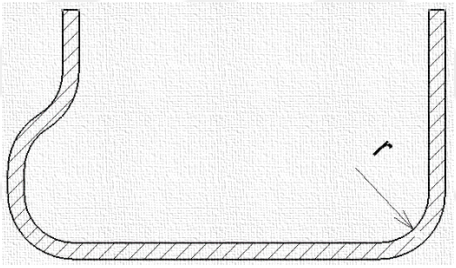
‘’t’’ sac malzemenin kalınlık değeridir. Hattın malzeme kalitesine göre ve bükebileceği kalınlık değerleri mevcuttur ve bu hattın teknik özelliğidir. Hatta kullanılacak malzemelerin çekme gerilmesi değerlerine uygun olarak kalınlık seçilir. Docol 1400 malzeme mevcut tasarım kalınlığında hatta bükülebilmektedir.

Hatta çelik malzemeler için aşağıdaki tabloda belirtilen kriterlere göre malzeme ve kalınlık tercih edilmektedir.

Çizelge 3.4.1. TKG Otomotiv roll-form hattı bilgileri.

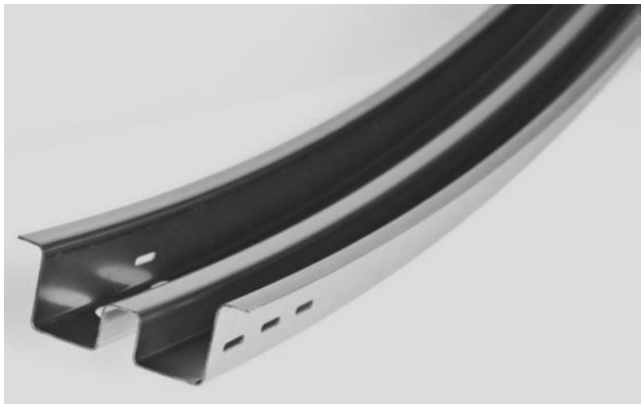
Çelik Malzeme	
Malzeme Kalınlık	Malzeme Kalitesi
1 mm	Rm:1700 MPa
1.6 mm	Rm:1500 MPa
2.4 mm	Rm:800 MPa
3.0 mm	Rm:400 MPa

‘’r’’ tampon kiriş kesitinin oluşturulması esnasında, flanşın minimum iç büküm yarı çapıdır. Malzeme tedarikçisinden alınan bilgiler dikkate alınarak belirlenmektedir. Genel olarak ultra yüksek mukavemetli çeliklerde iç büküm yarı çap değeri kalınlığın minimum 4 katı olarak tercih edilmektedir.



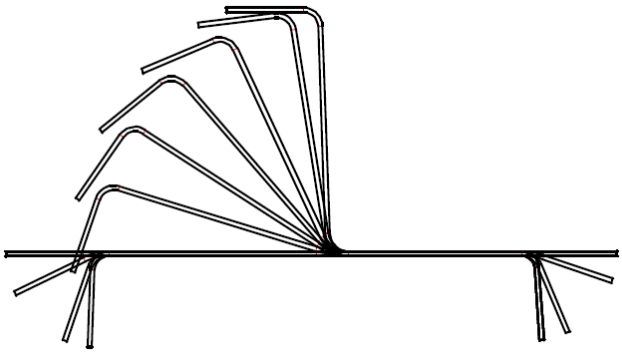
Şekil 3.4.3. İç büküm yarı çapı.

Bükme işlemlerinin gerçekleşmesi kesitin oluşması ile ve diğer bir deyişle çiçek açınımı tamamlandıktan sonra oluşturulan kesit düz haldedir. Aşağıda da belirtildiği gibi düz halde akan kesit final olarak bükülmekte ve kesilmektedir. Buradaki büküm yarı çapı bükme ünitesinin teknik özelliklerine bağlıdır. Bükme ve kesme işlemi roll-form hattından ayrı bir ünite de gerçekleştirilebilmektedir. Kıyas edilen üründeki büküm yarı çapı değişmemiştir.



Şekil 3.4.4. Tampon kirişi final büküm prosesi

Tampon kirişi kesitlerinin açınım sac genişlik değerinin istenilen hatta üretilebilmesi için hattın limit değerlerine uyması gerekmektedir. Açınım değerleri UBECO programında kontrol edilmiştir ve mevcut roll-form hattında üretime uygundur.
Tüm bu parametreler dikkate alındığında geliştirilen kesitler TKG roll-form hattında üretilebilmek adına proses kontrolleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4.5. Roll-form prosesi çiçek açınımı

3.5 Tampon Kirişi Birleştirme Yöntemleri

Tampon kiriş kesitlerinin birleştirilmesinde lazer kaynak ve gaz altı kaynağı tercih edilen kaynak tipleridir.
Gaz altı kaynak ile birleştirme prosesi makine maliyeti olarak avantajlıdır fakat düşük kaynak hızı ve kaynak esnasında çok yüksek sıcaklığın uygulanması ve buna bağlı olarak parçalarda yüzey bozukluklarının oluşması başlıca dezavantajlar olarak gözükmektedir.

Gaz altı kaynağı dikkate alınarak gerçekleştirilen tasarımlarda kaynak edilen bölgeler arasında kontrollü boşluklar bulunmaktadır ve bu boşluklar dolgu malzemesi ile doldurulmaktadır. Malzeme, kalınlık ve kaynak parametrelerine bağlı olarak tasarlanan boşluklar (gerekli tolerans aralığında olduğu sürece) ile mevcut kaynak mukavemetinde bir değişim gerçekleşmemektedir.

Lazer kaynak ile birleştirme prosesini değerlendirdiğimizde makine yatırım maliyetinin yüksek olması dezavantajıdır. Yüksek kaynak hızına sahiptir. Robotlu kaynak hücrelerinde ya da roll-form hattına entegre edilerek lazer kaynak prosesi yüksek üretim hızlarında verimli çalışabilmektedir. Gaz altı kaynak prosesi ile karşılaştırıldığında parça üzerinde kaynağın etki ettiği alanın lazer kaynak prosesinde çok daha az olarak gözükmektedir. Kaynak etki alanın az olması ile kaynak dikişi sonrası oluşan kalıcı gerilmelerin düşük olması sonucu oluşan çarpılmalar ve şekil bozuklukları gibi problemler lazer kaynak prosesinde çok daha az olarak gözükmektedir. Ayrıca lazer kaynağı dikkate alınarak gerçekleştirilen tasarımlarda kaynak edilen bölgeler arasında boşluk istenmemektedir. Bu boşluklar üretim esnasında, üretimden yönteminden gelen toleranslarla yönetilebilmektedir.

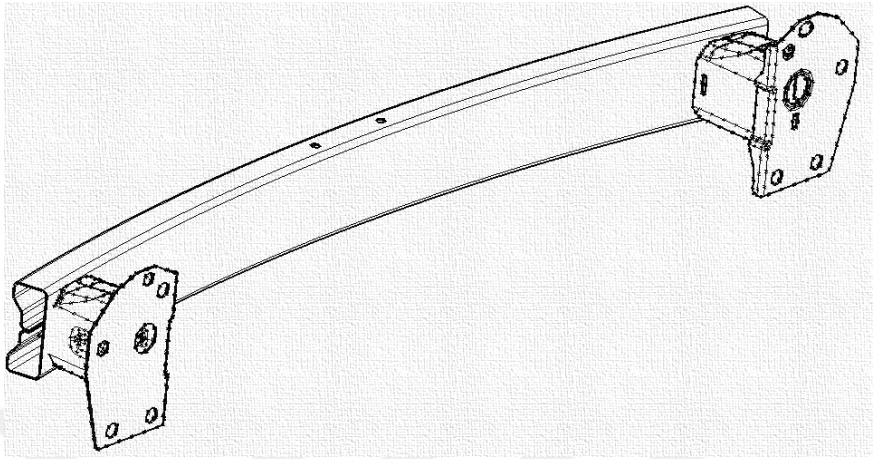
Mukayese edilen ürün gaz altı kaynak prosesine göre tasarlanmış ve üretilmiştir. Yapılan çalışmada yine mevcut tasarım alanı içerisinde kalınarak tampon kiriş kesitleri lazer kaynak prosesine göre geliştirilmiştir. Kaynak edilecek bölgeler arası boşluklar roll-form üretim toleransından gelen üretim toleransları ile yönetilmekte, üretim esnasında boşluksuz birleştirme sağlanmaktadır. Lazer kaynağı dolgu malzemesiz lazer kaynağıdır.

3.6 Ön Tampon Kiriş Tasarımlarının İncelenmesi

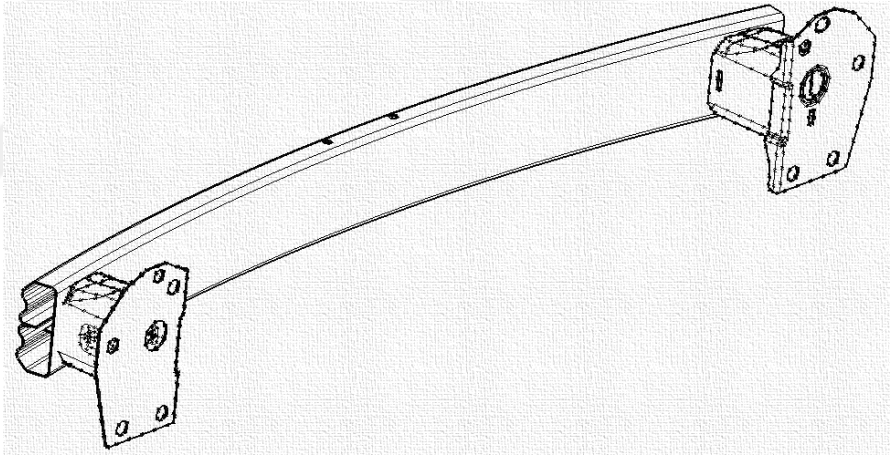
B segmenti araç ön tampon kirişi ağırlıkları 4-6 kilogram arasında değişmektedir. Ön tampon kirişi tasarımlarında çoğunlukla çelik, alüminyum gibi sac malzemeler tercih edilmektedir.

Mukayese ürünün tasarım uzayı içinde kalarak, roll-form prosesinde üretile bilirlik kriterlerine ve lazer kaynaklı birleştirme prosesinin kriterlerine uygun 5 adet tampon kiriş

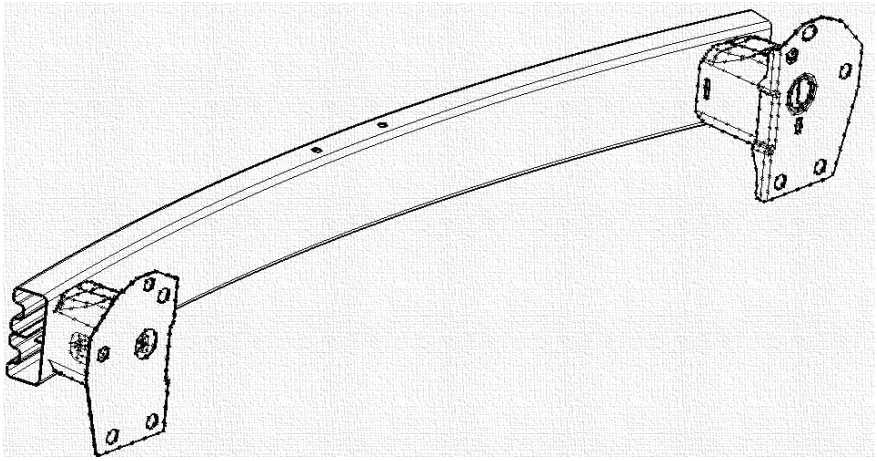
kesiti geliştirilmiş, mevcut çarpışma kutuları kullanılarak çarpışma performansları incelenmiştir.



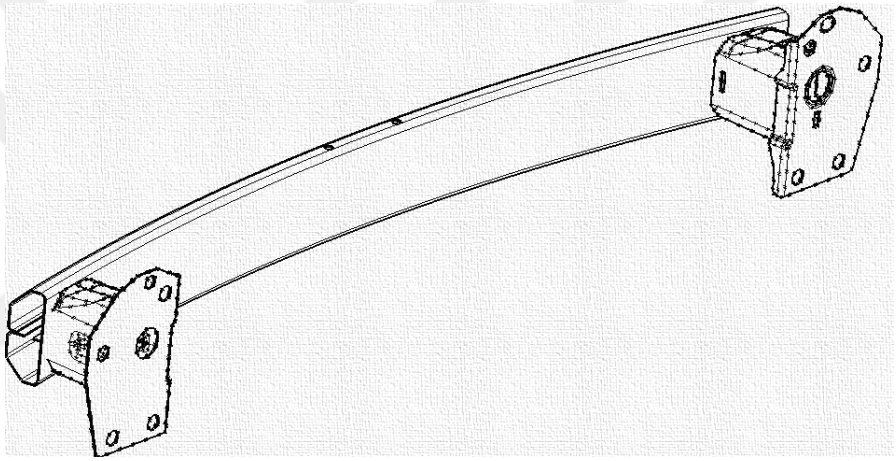
Şekil 3.6.1. Çarpışma sönümleyici grubu 1



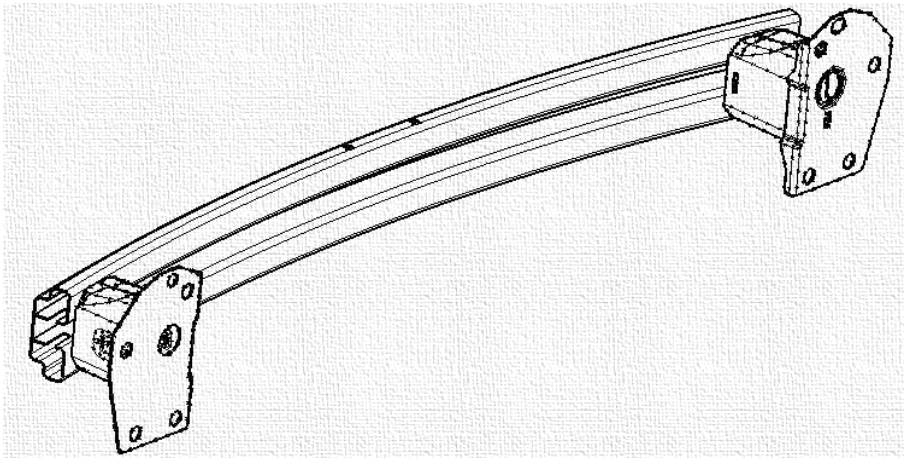
Şekil 3.6.2. Çarpışma sönümleyici grubu 2



Şekil 3.6.3. Çarpışma sönümleyici grubu 3



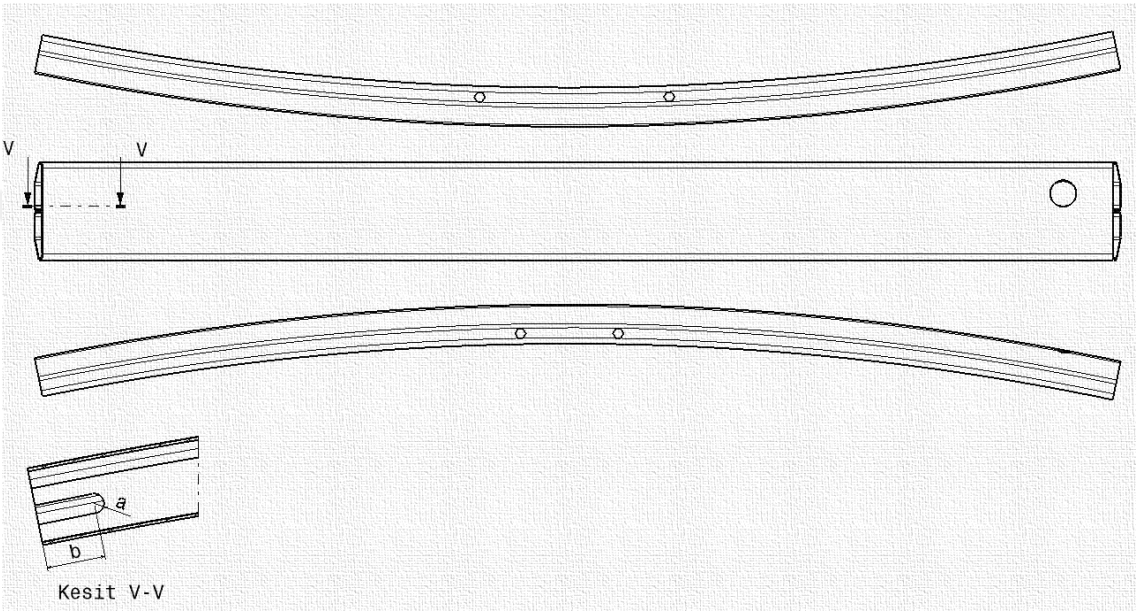
Şekil 3.6.4. Çarpışma sönümleyici grubu 4



Şekil 3.6.5. Çarpışma sönümleyici grubu 5

Tampon kirişi tasarımlarında görüldüğü üzere roll-form hattında üretilebilecek birbirinden farklı kesitler tasarlanmıştır.

Tampon kirişi üzerinde, mukayese edilen üründe olduğu gibi kenar boşaltmalar ve dört adet montaj delikleri mevcuttur. Kenar boşaltmaların amacı çarpışma esnasında katlanmalara izin vermek ve çarpışma performansını arttırmaktır. a/b oranı 0,16'dır.



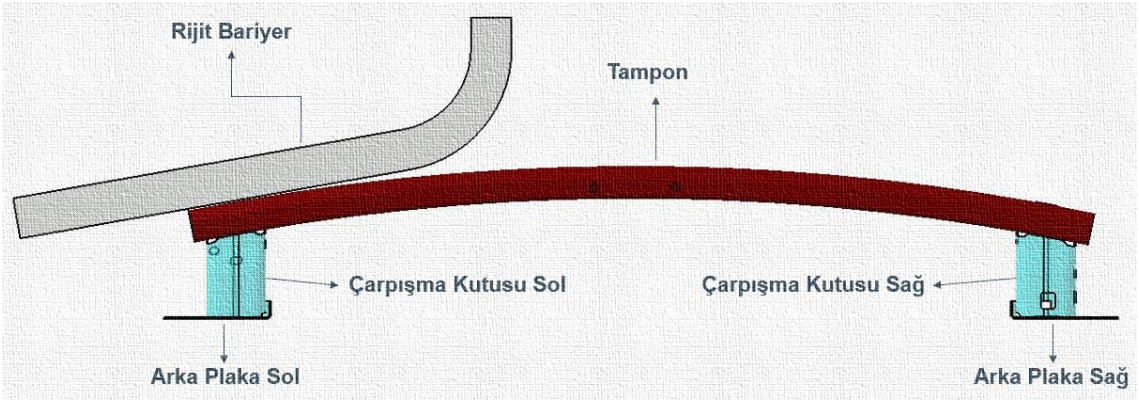
Şekil 3.6.6. Tampon kirişi boşaltma ve delikleri

Ayrıca çeki demiri mili için tampon kirişi üzerinde bulunan iki adet boşaltma deliğinin roll-form prosesi sonrasında lazer kesim işlemiyle delinmesi söz konusudur. Lazer kesim prosesi dikkate alınarak tampon kirişi kesitleri geliştirilmiştir.

3.7 Ön Tampon Kirişi Tasarımı Sonlu Elemanlar Modeli

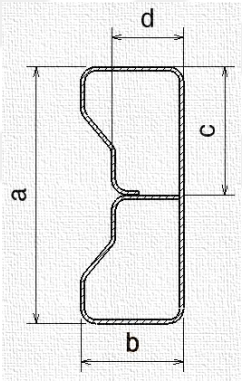
3.7.1 Geometri

Çarpışma sönümleyici grubun bileşenleri ve rijit bariyerin cad ortamındaki bilgileri Şekil 3.7.1.1'de gösterilmiştir.



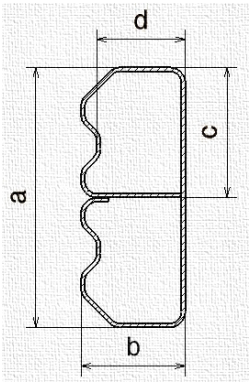
Şekil 3.7.1.1 Geliştirilen 3 boyutlu dataların detayları (CAD)

Geliştirilen 5 adet tampon kirişi kesitinin geometrik detayları sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.



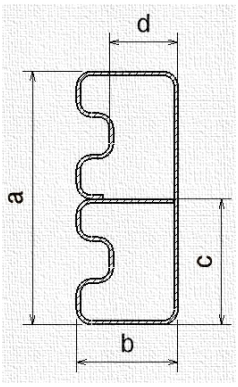
Şekil 3.7.1.2 Tampon kirişi kesiti 1

Şekil 3.7.1.2 Tampon kirişi kesiti 1'de b/a oranı 0,4, d/b oranı 0,7, c/a oranı 0,5'dir.



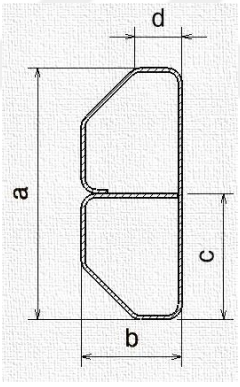
Şekil 3.7.1.3 Tampon kirişi kesiti 2

Şekil 3.7.1.3 Tampon kirişi kesiti 2'de b/a oranı 0,4, d/b oranı 0,85, c/a oranı 0,5'dir.



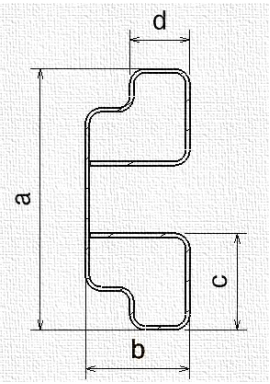
Şekil 3.7.1.4 Tampon kirişi kesiti 3

Şekil 3.7.1.4 Tampon kirişi kesiti 3'de b/a oranı 0,4, d/b oranı 0,68, c/a oranı 0,50'dir.



Şekil 3.7.1.5 Tampon kirişi kesiti 4

Şekil 3.7.1.5 Tampon kirişi kesiti 4'de b/a oranı 0,4, d/b oranı 0,47, c/a oranı 0,50'dir.

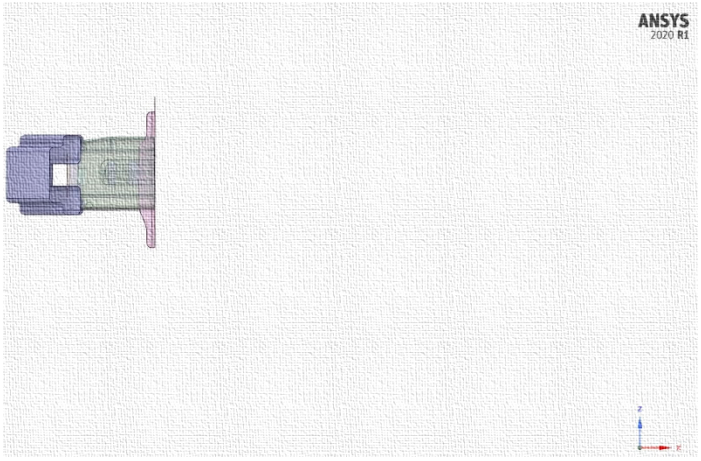


Şekil 3.7.1.6 Tampon kirişi kesiti 5

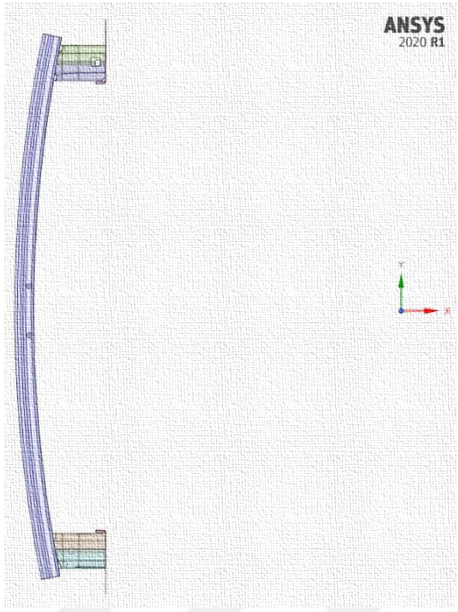
Şekil 3.7.1.6 Tampon kirişi kesiti 5'de b/a oranı 0,4, d/b oranı 0,85, c/a oranı 0,37'dir.

3.7.2 Koordinat Sistemi

Çarpışma sönümleyici grubu mukayese edilen ürünün mevcut araç sıfır konumu korunarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Buna göre çarpışma sönümleyici grubun orijini araç orijinidir. Şekil 3.7.2.1 ve Şekil 3.7.2.2'de çarpışma sönümleyici grubun koordinat sistemi görsel olarak verilmiştir.



Şekil 3.7.2.1 Koordinat sistemi yan görünüş



Şekil 3.7.2.2 Koordinat sistemi üst görünüş

3.7.3 Birim Sistemi

Sonlu elemanlar modelinde ton (t), milimetre (mm), Newton (N), saniye (s) ve Kelvin (K) değerleri birim sistemini oluşturmaktadır.

3.7.4 Malzeme Modeli

Çarpışma sönümleyici grubu oluşturan kabuk elemanlarla modellenmiş parçalar Ls-dyna malzeme kartı kütüphanesinde farklı deformasyon hızlarının bilgilerini içeren ve metaller için en çok kullanılan MAT_024 Piecewise lineer isotropic plasticity adı verilen malzeme modeli kullanılmıştır. Tampon kiriş malzemesinde MAT_024 malzeme modeline ek olarak Add_erosion adı altında Gissmo malzeme kartı kullanılmıştır. Gissmo malzeme kartı farklı gerilme hızlarında gerçek gerinim-gerçek gerilme diyagramları, hasar katsayısı ve triaxiality değerleri bulundurmaktadır. Bu sayede hasarın doğru tespitine çalışılmaktadır.

Yapıya çarpan rijit duvar ise MAT_20 rijit adı verilen malzeme modeli ile modellenmiştir.

Çizelge 3.7.4.1 Docol 1400 malzeme bilgileri

Parametre	Simge	Değer	Birim
Yoğunluk	ρ	7,85 10^{-9}	ton/mm^3
Akma Mukavemeti	σ_{ak}	1150	MPa
Elastisite Modülü	E	210000	MPa

Çizelge 3.7.4.2 CR440Y780T-DP_UC malzeme bilgileri

Parametre	Simge	Değer	Birim
Yoğunluk	ρ	7,85 10^{-9}	ton/mm^3
Akma Mukavemeti	σ_{ak}	440	MPa
Elastisite Modülü	E	200000	MPa

3.7.5 Kullanılan Eleman Tipleri

Çarpışma sönümleyici grubu oluşturan tampon kirişi, çarpışma kutuları ve arka plakalar Ansys Spaceclaim ara yüzünde sac parçaların sabit kalınlığı olması nedeniyle orta yüzeyleri alınarak kabuk eleman olarak tasarlanmıştır. Bu kabuk elemanlar ‘’Element_Shell’’ olarak oluşturulmuş ve eleman formülasyonu ‘’Section_Shell’’ kartı ile tanımlanmaktadır. Tasarım açısından zor, çarpık geometrilerde önerilen formülasyon ‘’ELFORM’’, ‘’EQ. 1’’ çarpışma kutuları için kullanılmıştır. Daha yüksek doğruluk için modifiye edilmiş tam entegre kabuk eleman formülasyonu ‘’EQ. -16’’ tampon kirişi için kullanılmıştır. ‘’SHRF’’ olarak belirtilen kayma faktörü programın önerdiği değer olan 0,833 olarak uygulanmıştır. ‘’NIP’’ olarak belirtilen kabuk eleman kalınlığı yönündeki integrasyon nokta sayısı 8 olarak uygulanmış daha hassas sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır.

3.7.6 Ağ Yapısı

Tasarımları gerçekleştirilen çarpışma sönümleyici grupların Ansys Workbench ara yüzünde analiz dataları oluşturulmuştur. Mesh yapısı olarak müşterilerden aldığımız bilgilere istinaden minimum mesh boyutunun 3 mm olması gerektiği, triangle mesh oranının ise %8’i geçmemesi gerektiği elimizde mevcuttur ve bu değer çalışma datalarında %1 civarındadır. Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken daha çok Quad elemanlar ile modelin oluşturulmasına dikkat edilmiştir. Kıyas edilen üründe yapılan

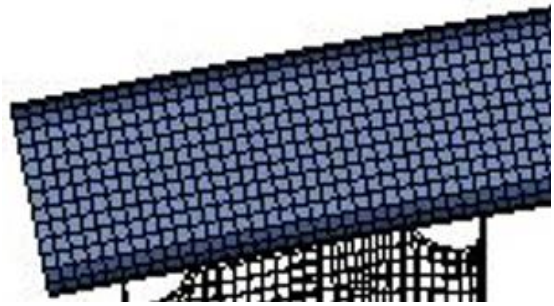
mesh kararlılık çalışması sonrasında tüm çarpışma sönümleyici grupların analizlerinde 3 mm mesh boyutu kullanılmıştır.

Ağ yapısını oluştururken hesaplanacak zaman adımın düşük hesaplanmaması için ‘’CFL time step’’ ile mesh yapısına göre zaman adımı hesaplanmış ve bu değere göre de biraz daha yüksek en yakın değer analizlerde kullanılmıştır. Ağ yapısını oluşturan elemanların zaman adımı analizlerde gene olarak 2e-07 olarak kullanılmıştır.

Ağ yapılarına ait görseller aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



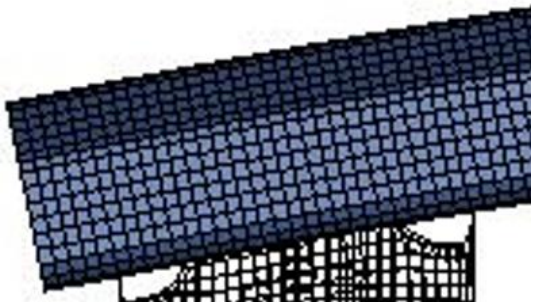
Şekil 3.7.6.1 Çarpışma sönümleyici grubu 1 ağ yapısı



Şekil 3.7.6.2 Tampon kirişi kesiti 1 ağ yapısı



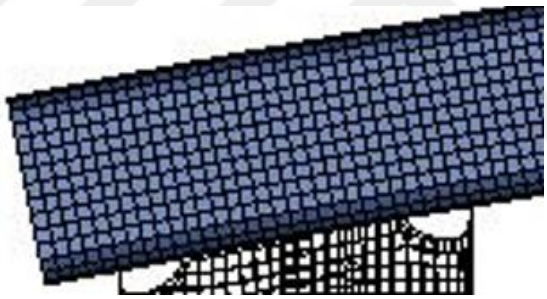
Şekil 3.7.6.3 Çarpışma sönümleyici grubu 2 ağ yapısı



Şekil 3.7.6.4 Tampon kirişi kesiti 2 ağ yapısı



Şekil 3.7.6.5 Çarpışma sönümleyici grubu 3 ağ yapısı



Şekil 3.7.6.6 Tampon kirişi kesiti 3 ağ yapısı



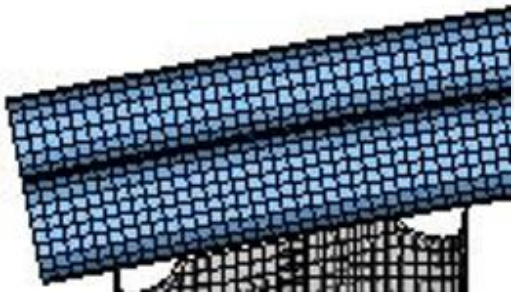
Şekil 3.7.6.7 Çarpışma sönümleyici grubu 4 ağ yapısı



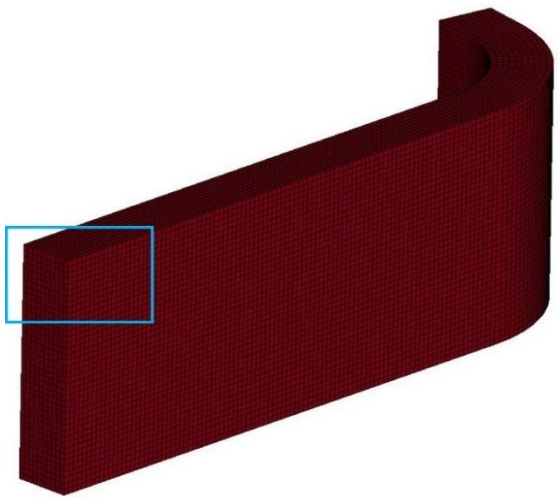
Şekil 3.7.6.8 Tampon kirişi kesiti 4 ağ yapısı



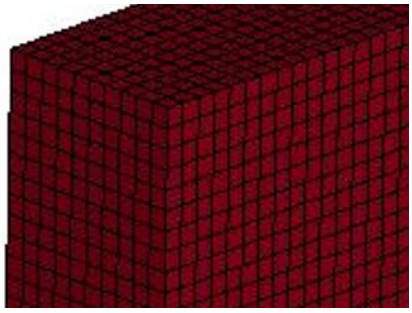
Şekil 3.7.6.9 Çarpışma sönümleyici grubu 5 ağ yapısı



Şekil 3.7.6.10 Tampon kirişi kesiti 5 ağ yapısı



Şekil 3.7.6.11 Rijit bariyer ağ yapısı



Şekil 3.7.6.12 Rijit bariyer ağ yapısı detayı

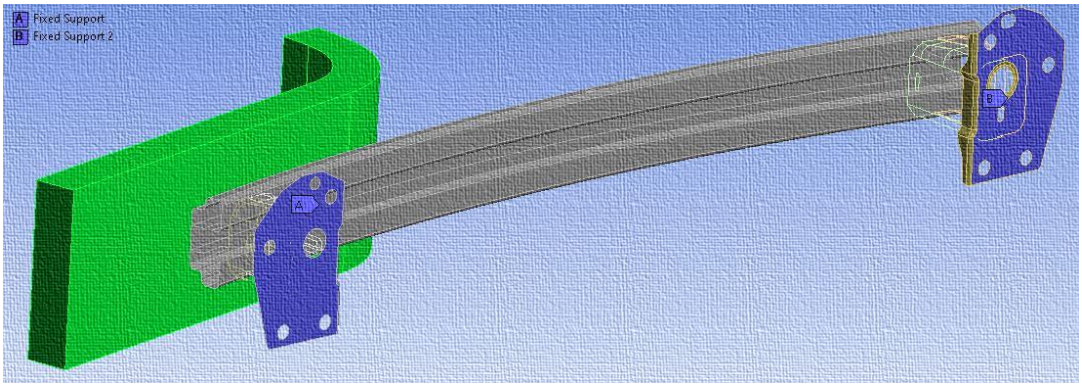
3.7.7 Bağlantılar

Çarpışma sönümleyici grup içerisinde zamana bağlı analiz çözümü esnasında oluşabilecek temaslar için ‘’CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE’’ temas tanımlaması yapılmıştır. ‘’FS’’ statik sürtünme katsayısı 0,2, ‘’FD’’ dinamik sürtünme katsayısı 0,15 olarak girilmiştir. ‘’SOFT’’ temas formülasyonu ‘’EQ.1’’ olarak ve ‘’SOFSCL’’ faktörü 0,1 olarak girilmiştir.

Rijit duvar ile tampon kirişi ön yüzeyleri arasında rijit duvar ‘’Master’’ ve tampon kirişi ön yüzeyleri ‘’Slave’’ olmak üzere ‘’CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE’’ bağlantı tanımlanmıştır. ‘’SOFT’’ temas formülasyonu ‘’EQ.2’’ olarak ve ‘’SOFSCL’’ faktörü 0,1 olarak girilmiştir. Rijit bariyer kütlesi çarpışma sönümleyici gruba baskı uygulayarak, ezilmesinin gerçekleşmesi sağlanmaktadır.
Çarpışma sönümleyici gruptaki birbirleri arasındaki kaynaklı birleştirmelere ‘’CONTACT_TIED_SHEEL_EDGE_TO_SURFACE_BEAM_OFFSET’’ temas tanımlaması uygulanmıştır.

3.7.8 Sınır Koşulları

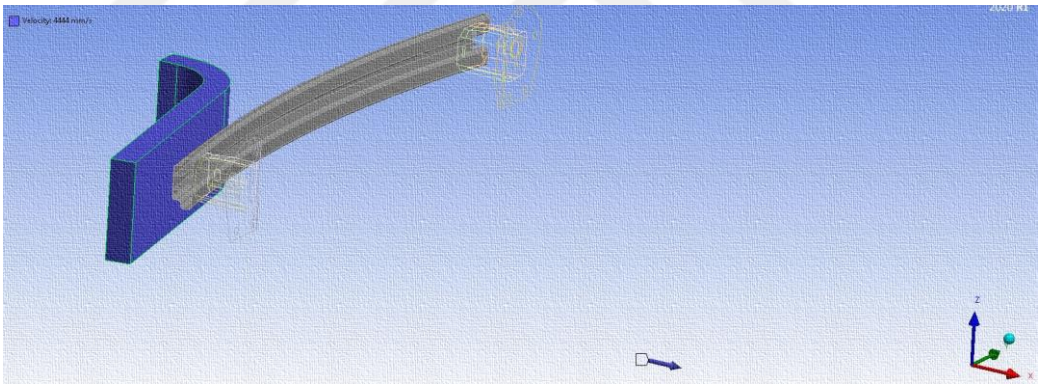
Geliştirilen tüm çarpışma grubu analizlerinde arka plakaların arka yüzeylerinden sabitlenmiştir.



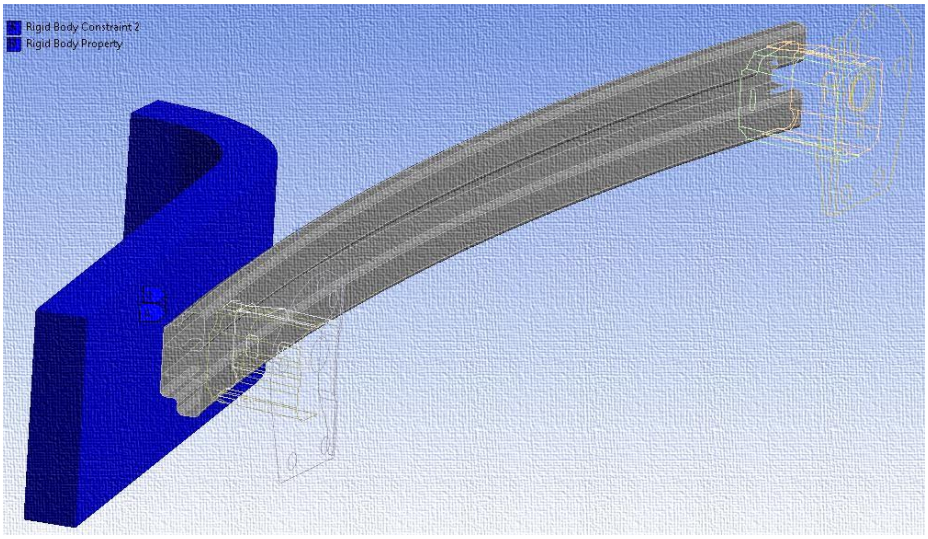
Şekil 3.7.8.1 Sınır koşulu

3.7.9 Yükleme Durumu

Rijit bariyerin ağırlığı 1065 kg alınmıştır. ‘’INITIAL_VELOCITY_RIGID_BODY’’ kartı kullanılarak +x yönünde 4444 mm/s (16 km/saat) ilk hız bilgisi girilmiştir. Toplamda sistemde yaklaşık olarak 10,5 kj enerji verilmektedir.



Şekil 3.7.9.1 İlk hız bilgisi



Şekil 3.7.9.2 Rijit duvar

4. BULGULAR

Araç ön çarpışma grubunda mevcut çarpışma kutularını ve arka plakaları kullanarak roll-form üretime uygun farklı tampon kirişi kesitleri tasarlanarak mevcut kıays ürüne göre çarpışma performansları ayrı ayrı raporlaması aşağıdaki gibi yapılmıştır.

4.1 Çarpışma Sönümleyici Grubu 1 Çalışması

Çarpışma sönümleyici grubu 1'in ve tampon kirişi kesiti 1 ile yapılan çarpışma performanslarının araştırıldığı analizler tamamlanmıştır. Yapılan analizlerin özet tablosu aşağıda belirtilmiştir. Analizlerin detaylı sonuçları EK1-EK6 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.1.1. Çarpışma sönümleyici grubu 1 performans değerleri.

RCAR Structure (16 km/saat hız, %40 Ofset ve 10° açılı bariyer çarpışma senaryosu)					
Sönümlenen Enerji (Tampon kirişi)	Sönümlenen Enerji (Toplam)	Yer Değiştirme (x Ekseni)	Aktarılan Kuvvet (x Ekseni)	Özgül Enerji (Tampon kirişi)	Tampon Kirişi Ağırlığı
3,71 kj	10 kj	82,6 mm	167 kN	0,95 kj/kg	3,921 kg

4.2 Çarpışma Sönümleyici Grubu 2 Çalışması

Çarpışma sönümleyici grubu 2'nin ve tampon kirişi kesiti 2 ile yapılan çarpışma performanslarının araştırıldığı analizler tamamlanmıştır. Yapılan analizlerin özet tablosu aşağıda belirtilmiştir. Analizlerin detaylı sonuçları EK7-EK12 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.1.2. Çarpışma sönümleyici grubu 2 performans değerleri.

RCAR Structure (16 km/saat hız, %40 Ofset ve 10° açılı bariyer çarpışma senaryosu)					
Sönümlenen Enerji (Tampon kirişi)	Sönümlenen Enerji (Toplam)	Yer Değiştirme (x Ekseni)	Aktarılan Kuvvet (x Ekseni)	Özgül Enerji (Tampon kirişi)	Tampon Kirişi Ağırlığı
3,78 kj	10,1 kj	82,9 mm	159 kN	0,96 kj/kg	3,943 kg

4.3 Çarpışma Sönümleyici Grubu 3 Çalışması

Çarpışma sönümleyici grubu 3'ün ve tampon kirişi kesiti 3 ile yapılan çarpışma performanslarının araştırıldığı analizler tamamlanmıştır. Yapılan analizlerin özet tablosu aşağıda belirtilmiştir. Analizlerin detaylı sonuçları EK13-EK18 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.1.3. Çarpışma sönümleyici grubu 3 performans değerleri.

RCAR Structure (16 km/saat hız, %40 Ofset ve 10° açılı bariyer çarpışma senaryosu)					
Sönümlenen Enerji (Tampon kirişi)	Sönümlenen Enerji (Toplam)	Yer Değiştirme (x Ekseni)	Aktarılan Kuvvet (x Ekseni)	Özgül Enerji (Tampon kirişi)	Tampon Kirişi Ağırlığı
3,32 kj	10 kj	82,1 mm	159 kN	**0,75 kj/kg**	**4,419 kg**

4.4 Çarpışma Sönümleyici Grubu 4 Çalışması

Çarpışma sönümleyici grubu 4'ün ve tampon kirişi kesiti 4 ile yapılan çarpışma performanslarının araştırıldığı analizler tamamlanmıştır. Yapılan analizlerin özet tablosu aşağıda belirtilmiştir. Analizlerin detaylı sonuçları EK19-EK24 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.1.4. Çarpışma sönümleyici grubu 4 performans değerleri.

RCAR Structure (16 km/saat hız, %40 Ofset ve 10° açılı bariyer çarpışma senaryosu)					
Sönümlenen Enerji (Tampon kirişi)	Sönümlenen Enerji (Toplam)	Yer Değiştirme (x Ekseni)	Aktarılan Kuvvet (x Ekseni)	Özgül Enerji (Tampon kirişi)	Tampon Kirişi Ağırlığı
3,66 kj	10,1 kj	**85,2 mm**	171 kN	0,99 kj/kg	3,703 kg

4.5 Çarpışma Sönümleyici Grubu 5 Çalışması

Çarpışma sönümleyici grubu 5'in ve tampon kirişi kesiti 5 ile yapılan çarpışma performanslarının araştırıldığı analizler tamamlanmıştır. Yapılan analizlerin özet tablosu aşağıda belirtilmiştir. Analizlerin detaylı sonuçları EK25-EK30 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.1.5. Çarpışma sönümleyici grubu 5 performans değerleri.

RCAR Structure (16 km/saat hız, %40 Ofset ve 10° açılı bariyer çarpışma senaryosu)					
Sönümlenen Enerji (Tampon kirişi)	Sönümlenen Enerji (Toplam)	Yer Değiştirme (x Ekseni)	Aktarılan Kuvvet (x Ekseni)	Özgül Enerji (Tampon kirişi)	Tampon Kirişi Ağırlığı
3,78 kj	10,1 kj	80,6 mm	**186 kN**	0,97 kj/kg	3,873 kg

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Gerçekleştirilen bu tez çalışması ile b sınıfı bir araçta çarpışma sönümleyici grubunda bulunan tampon kirişi yapısının roll-form üretime uygun olarak çarpışma performansının arttırıldığı kesitlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla aynı tasarım uzayı içinde kalarak, roll-form prosese uygun, lazer kaynak prosesine uygun geometriler CAD ortamında geliştirilmiştir. Tampon kirişi malzemesi olarak ultra yüksek mukavemetli DOCOL 1400 çeliği GISSMO malzeme kartı kullanılarak nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma sonrasında tampon kirişlerinin çarpışma performansları aşağıdaki özet tabloda birleştirilmiştir.

Çizelge 5.1. Çarpışma sönümleyici grupların performans tablosu.

	Sönümlenen Enerji (Tampon kirişi)	Sönümlenen Enerji (Toplam)	Yer Değiştirme (x Ekseni)	Aktarılan Kuvvet (x Ekseni)	Özgül Enerji (Tampon kirişi)	Tampon Kirişi Ağırlığı
Kesit1	3,71 kj	10 kj	82,6 mm	167 kN	0,95 kj/kg	3,921 kg
Kesit2	3,78 kj	10,1 kj	82,9 mm	159 kN	0,96 kj/kg	3,943 kg
Kesit3	**3,32 kj**	10 kj	82,1 mm	159 kN	**0,75 kj/kg**	**4,419 kg**
Kesit4	3,66 kj	10,1 kj	**85,2 mm**	171 kN	0,99 kj/kg	3,703 kg
Kesit5	3,78 kj	10,1 kj	80,6 mm	**186 kN**	0,97 kj/kg	3,873 kg

Bir çarpışma sönümleyici grubun uygunluğuna tampon kirişi sönümleme enerji değeri ve ağırlığı ile belirlenen özgül enerji değeri, x ekseninde oluşan ezilmeye istinaden oluşan yer değiştirme değeri ve yine x ekseninde çarpışma esnasında oluşan maksimum kuvvet değerlerine bakılarak karar verilmektedir.

Kesitleri birbiri ile karşılaştıracak olursak sadece tampon kirişi kesiti 5 kesit tipi olarak ‘’B’’ kesit olarak adlandırılan kesit tipinden farklıdır, diğer dört kesit ‘’B’’ kesit olarak tasarlanmıştır.
Tabloda da görüldüğü üzere kesit 3 ile yapılan analizler sonrasında mukayese edilen ürün ile kıyaslama yapıldığında tampon kirişinin çarpışma enerjisinin, sönümleme değerinin, ağırlığının ve buna binaen özgül enerji değerinin daha az olduğu gözükmektedir.

Kesit 4’ün performansı incelendiğinde mukayese edilen ürüne ürüne göre x ekseninde yer değiştirme değeri büyüktür.

Kesit 5’in sonuçlarına bakıldığında x ekseninde çarpışma yönünde araca aktarılan maksimum kuvvetin mukayese edilen ürüne göre büyük olduğu gözükmektedir.

Kesit 1 ve 2’nin çarpışma performansları incelendiğinde birbirine yakın olduğu ve çarpışma yönünde oluşturdukları direnç ile optimum sonuçları aldığımız gözükmektedir. Mukayese edilen ürünle karşılaştırıldığında çarpışma performanslarının çok daha iyi olduğu, x ekseni yer değiştirme değeri ve aktarılan maksimum kuvvet değeri parametrelerinin de uygunluğunu sağlayarak %9 oranında özgül enerjinin arttığı ve x ekseninde çarpışma yönünde araca aktarılan maksimum kuvvetin yaklaşık %10,7 azaldığı tespit edilmiştir. X ekseni yer değiştirme değerleri açısından da bu iki kesitin daha iyi sonuçlarının olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile b sınıfı bir araç için alternatif iki adet tampon kirişi kesiti geliştirmiştir.

KAYNAKLAR

Anonim, 2015. Gm facts innovation milestones. https://plants.gm.com/dld/content/Pages/news/us/en/2015/may/500m-milestone/0504-500m/_jcr_content/rightpar/sectioncontainer_0/par/download_0/file.res/GM-FACTS-INNOVATION-MILESTONES.pdf-(Erişim tarihi:24.09.2021).

Anonim, 2017. Annual Report & Financial Statements. https://static1.squarespace.com/static/5fb4ea8933ae6c208c3dac41/t/6061a7eacc316960f5b0c611/1617012731738/globalncapannualreport2017.pdf.-(Erişim tarihi:28.09.2021).

Anonim, 2021. Safety Companion 2021. https://www.carhs.de/en/companion-poster/product/safetycompanion-2021-pdf-download.html-(Erişim tarihi:01.10.2021)

Anonim, 2020. Steel Bumper Systems for Passenger Cars and Light Trucks - 7th Edition. https://shop.steel.org/a/downloads/-/51a620bc54762866/f4cf9218d2739bce-(Erişim tarihi:03.10.2021)

Anonim, 2016. https://www.moparmagazine.com/2016/06/unibodyframe-re-alignment/-(Erişim tarihi:05.10.2021)

Anonim, 2021. https://extranet.who.int/roadsafety/death-on-the-roads/#trends/deaths--(Erişim tarihi:01.09.2021)

Anonim, 2021. https://www.c2es.org/content/international-emissions/-(Erişim tarihi:29.08.2021)

Abeyrathna, B., Rolfe, B., & Weiss, M. (2017). The effect of process and geometric parameters on longitudinal edge strain and product defects in cold roll forming. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *92*(1–4), 743–754. https://doi.org/10.1007/s00170-017-0164-x

Belingardi, G., Beyene, A. T., & Koricho, E. G. (2013). Geometrical optimization of bumper beam profile made of pultruded composite by numerical simulation. *Composite Structures*, *102*, 217–225. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.02.013

Bhardawaj, S., Sharma, R. C., & Sharma, S. K. (2020). Analysis of frontal car crash characteristics using ANSYS. *Materials Today: Proceedings*, *25*, 898–902. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.358

Bilbay, F., Reis, M., Gülçimen Çakan, B., & Çakır, M. (2019). Otomobillerde Ön Çarpişma KoluMalzemesi Olarak Fee340 Ve Dp600Malzemelerin Çarpişma

Performanslarinin Karşilaştirilmasi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, *24*(1), 415–428. https://doi.org/10.17482/uumfd.492461

Chiandussi, G., & Avalle, M. (2002). Maximisation of the crushing performance of a tubular device by shape optimisation. *Computers and Structures*, *80*(27–30), 2425–2432. https://doi.org/10.1016/S0045-7949(02)00247-X

Hinz, T., & Lewkowicz, R. (2017). Some selected methods and purpose of the low speed tests for estimation of the vehicle bumpers vulnerability to damage. *Mechanik*, *90*(5–6), 476–479. https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.5-6.62

Kim, B., & Lee, W. (2017). Analysis of Crash Impact of Composites Stay-shaped Bumper using FEM Method. *International Journal of Computing, Communication and Instrumentation Engineering*, *4*(2). https://doi.org/10.15242/ijccie.ae0417130

Kim, K. J., & Won, S. T. (2008). EFFECT OF STRUCTURAL VARIABLES ON AUTOMOTIVE BODY BUMPER IMPACT BEAM. *International Journal of Automotive Technology*, *09*(2), 713–717. https://doi.org/10.1007/s12239

Marzougui, D., Samaha, R., Nix, L., & Kan, C. (2013). Extended Validation of the Finite Element Model for the 2010 Toyota Yaris Passenger Sedan (MASH 1100kg Vehicle). *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*, *July*.

Natarajan, N., Joshi, P., & Tyagi, R. K. (2020). Design improvements of vehicle bumper for low speed impact. *Materials Today: Proceedings*, *38*(xxxx), 456–465. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.212

Özel, S., Karagöz, S., & Beytüt, H. (2020). Crashworthiness Investigation of Vehicle Front Bumper Beam With Different Cross-Sections Under Axial Dynamic Load. *European Journal of Technic*, *10*(1), 97–105. https://doi.org/10.36222/ejt.625873

Öztürk, İ. (2008). Otomobil Ön Tampon Çarpışma Analizi ve Optimizasyonu. *Crash Analysis of Vehicle Front Bumper and Its Optimization*, *13*(1), 119–127. https://doi.org/10.17482/uujfe.76414

Salifu, S., Desai, D., Ogunbiyi, O., Sadiku, R., Adesina, O., & Adesina, O. (2021). Comparative study of high velocity impact response of aluminium 3105-H18 and carbon fibre-epoxy composite double hat bumper beams. *Materials Today: Proceedings*, *38*(xxxx), 712–716. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.828

Sheu, J. J., Yu, C. H., & Wang, J. K. (2017). Die Designs of Cold Roll Forming Process for Car Bumper Using Advanced High Strength Steel. *Procedia Engineering*, *207*,

1308–1313. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.888

Sonawane, C. R., & Shelar, A. L. (2018). Strength Enhancement of Car Front Bumper for Slow Speed Impact by FEA Method as per IIHS Regulation. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, *99*(5), 599–606. https://doi.org/10.1007/s40032-017-0365-y

Tanlak, N., Sonmez, F. O., & Senaltun, M. (2015). Shape optimization of bumper beams under high-velocity impact loads. *Engineering Structures*, *95*, 49–60. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.03.046

https://www.oica.net/category/production-statistics , 24.08.2021

https://ourworldindata.org/grapher/years-of-fossil-fuel-reserves-left , 28.08.2021

https://one.nhtsa.gov/nhtsa/timeline/index.html , 10.09.2021

https://www.ancap.com.au/ancap_evolution , 29.09.2021

https://www.iihs.org/about-us , 29.09.2021

https://www.safetywissen.com/requirement , 30.09.2021

EKLER

EK 1. Çarpışma sönümleyici grup 1 tampon kesiti 1 sönümlenen enerji değeri

EK 2. Çarpışma sönümleyici grup 1 toplam sönümlenen enerji değeri

EK 3. Çarpışma sönümleyici grup 1 kontak enerji değeri

EK 4. Çarpışma sönümleyici grup 1 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri

EK 5. Çarpışma sönümleyici grup 1 X ekseni yer değiştirme değeri

EK 6. Çarpışma sönümleyici grup 1 tampon 1 ağırlık değeri

EK 7. Çarpışma sönümleyici grup 2 tampon kesiti 2 sönümlenen enerji değeri

EK 8. Çarpışma sönümleyici grup 2 toplam sönümlenen enerji değeri

EK 9. Çarpışma sönümleyici grup 2 kontak enerji değeri

EK 10. Çarpışma sönümleyici grup 2 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri

EK 11. Çarpışma sönümleyici grup 2 X ekseni yer değiştirme değeri

EK 12. Çarpışma sönümleyici grup 2 tampon 2 ağırlık değeri

EK 13. Çarpışma sönümleyici grup 3 tampon kesiti 3 sönümlenen enerji değeri

EK 14. Çarpışma sönümleyici grup 3 toplam sönümlenen enerji değeri

EK 15. Çarpışma sönümleyici grup 3 kontak enerji değeri

EK 16. Çarpışma sönümleyici grup 3 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri

EK 17. Çarpışma sönümleyici grup 3 X ekseni yer değiştirme değeri

EK 18. Çarpışma sönümleyici grup 3 tampon 3 ağırlık değeri

EK 19. Çarpışma sönümleyici grup 4 tampon kesiti 4 sönümlenen enerji değeri

EK 20. Çarpışma sönümleyici grup 4 toplam sönümlenen enerji değeri

EK 21. Çarpışma sönümleyici grup 4 kontak enerji değeri

EK 22. Çarpışma sönümleyici grup 4 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri

EK 23. Çarpışma sönümleyici grup 4 X ekseni yer değiştirme değeri

EK 24. Çarpışma sönümleyici grup 4 tampon 4 ağırlık değeri

EK 25. Çarpışma sönümleyici grup 5 tampon kesiti 5 sönümlenen enerji değeri

EK 26. Çarpışma sönümleyici grup 5 toplam sönümlenen enerji değeri

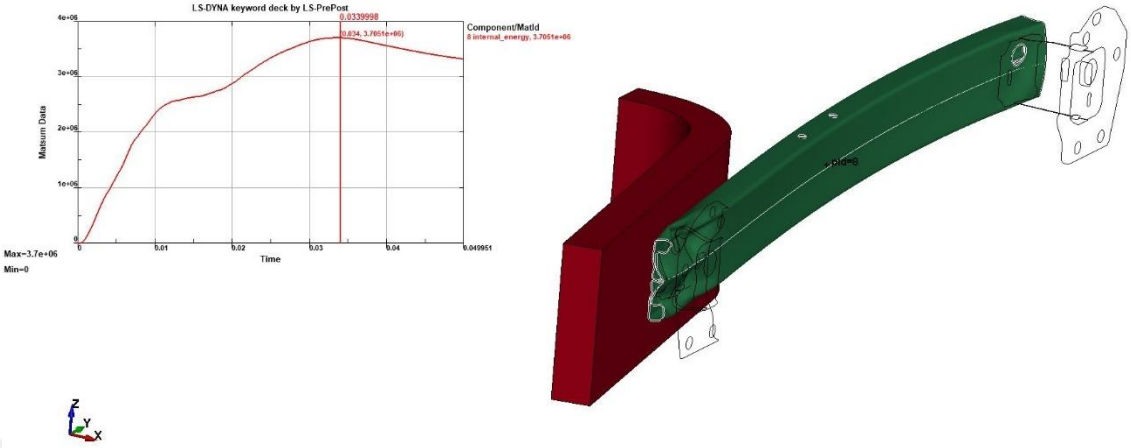
EK 27. Çarpışma sönümleyici grup 5 kontak enerji değeri

EK 28. Çarpışma sönümleyici grup 5 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri

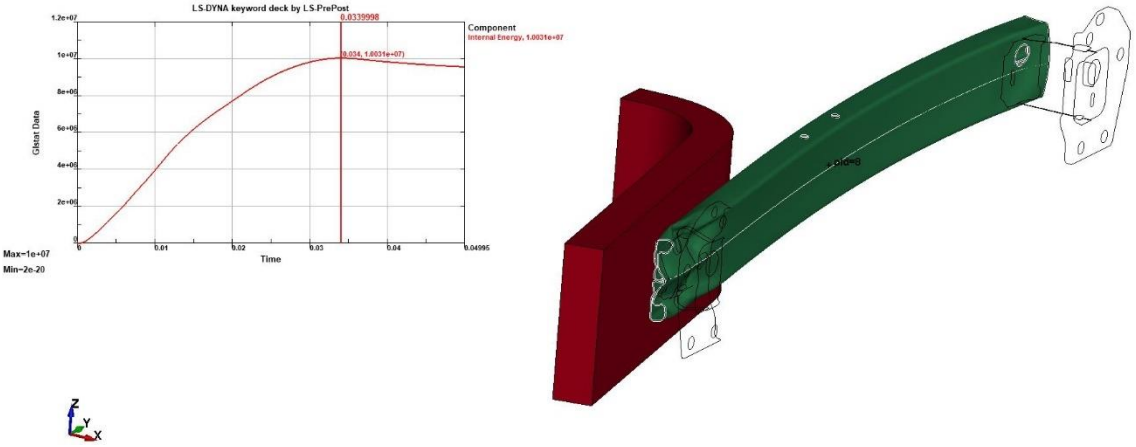
EK 29. Çarpışma sönümleyici grup 5 X ekseni yer değiştirme değeri

EK 30. Çarpışma sönümleyici grup 5 tampon 5 ağırlık değeri

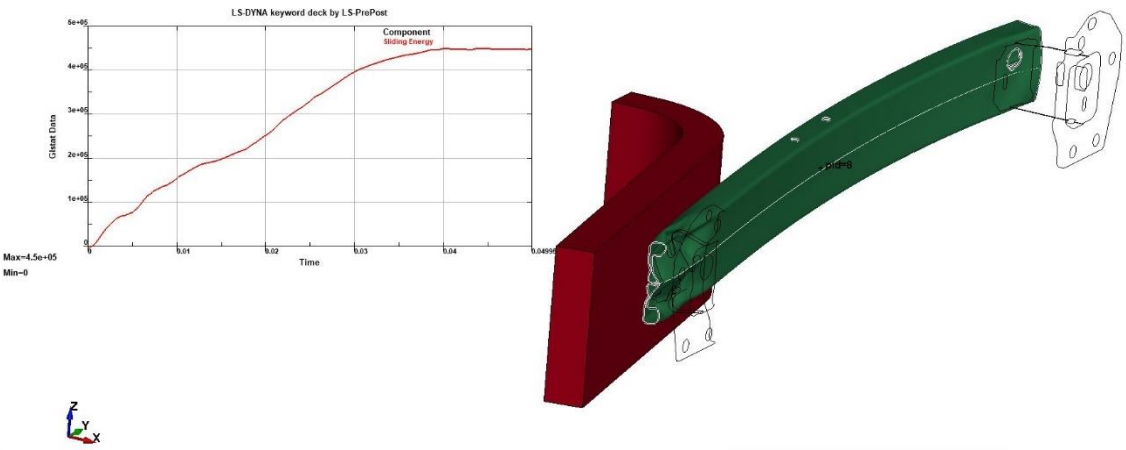
EK 1. Çarpışma sönümleyici grup 1 tampon kesiti 1 sönümlenen enerji değeri



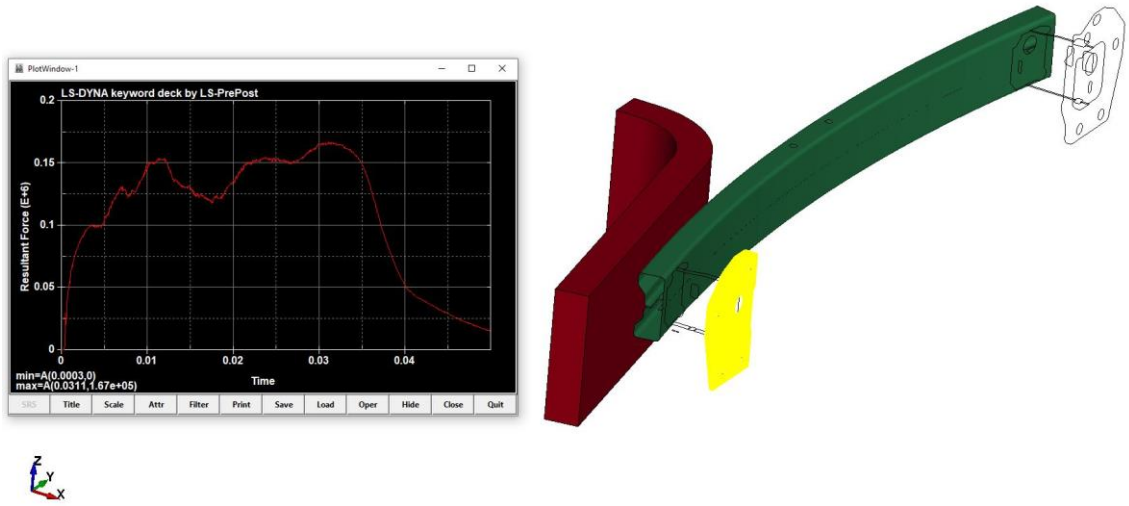
EK 2. Çarpışma sönümleyici grup 1 toplam sönümlenen enerji değeri



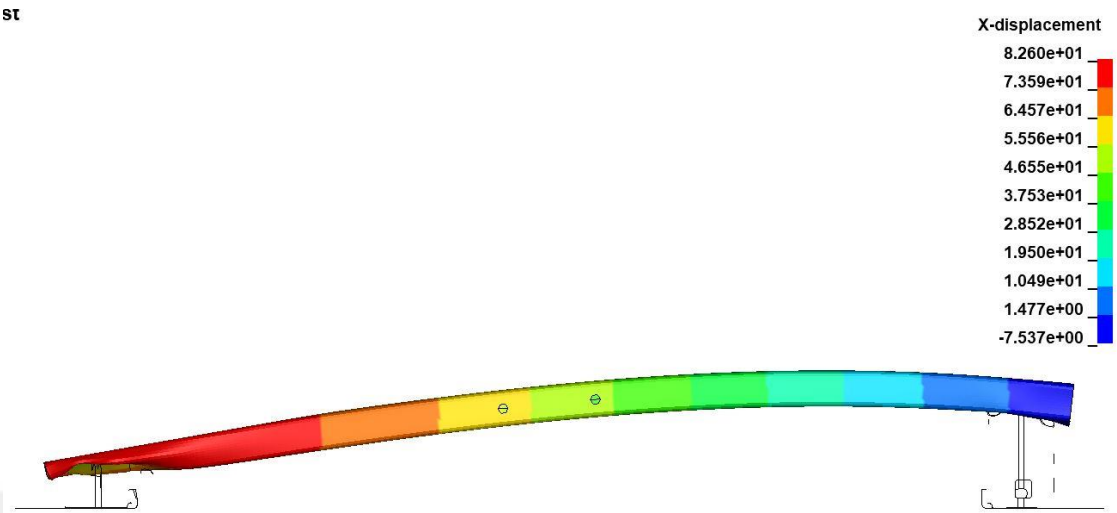
EK 3. Çarpışma sönümleyici grup 1 kontak enerji değeri



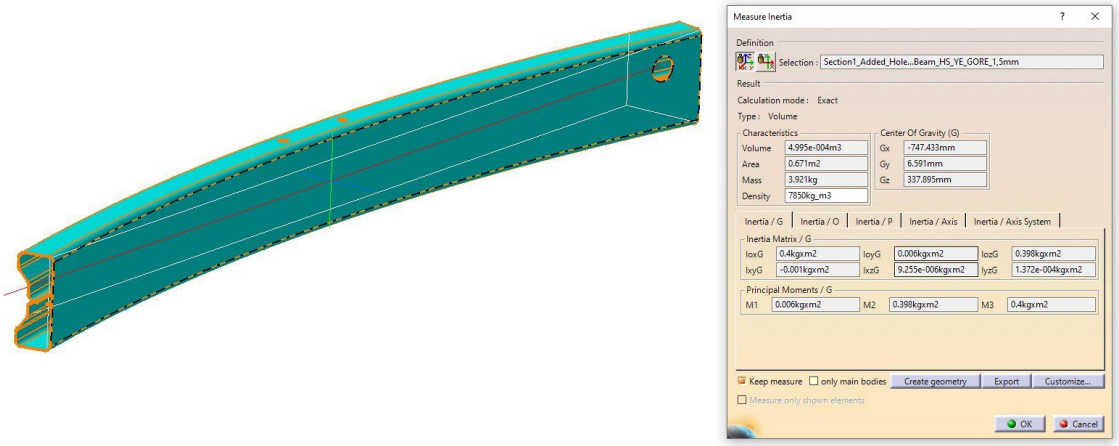
EK 4. Çarpışma sönümleyici grup 1 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri



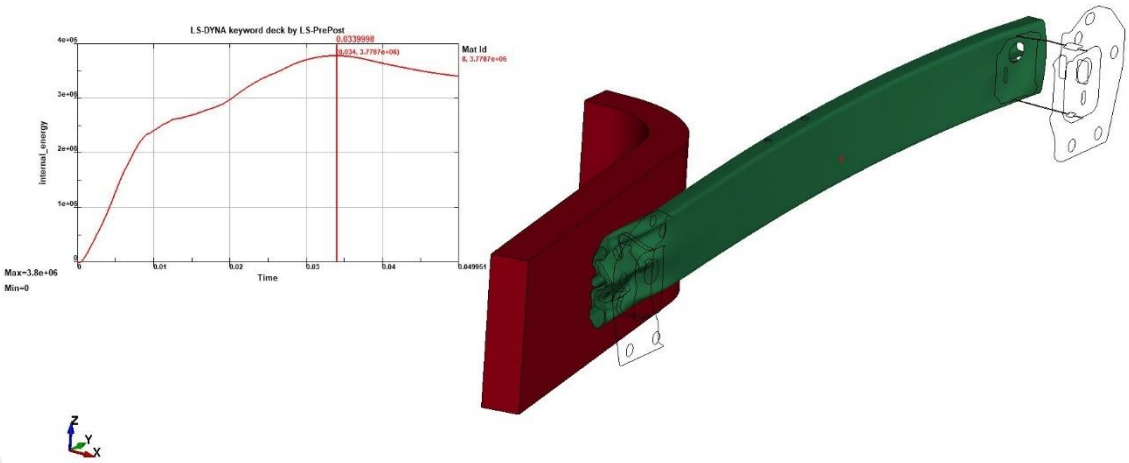
EK 5. Çarpışma sönümleyici grup 1 X ekseni yer değiştirme değeri



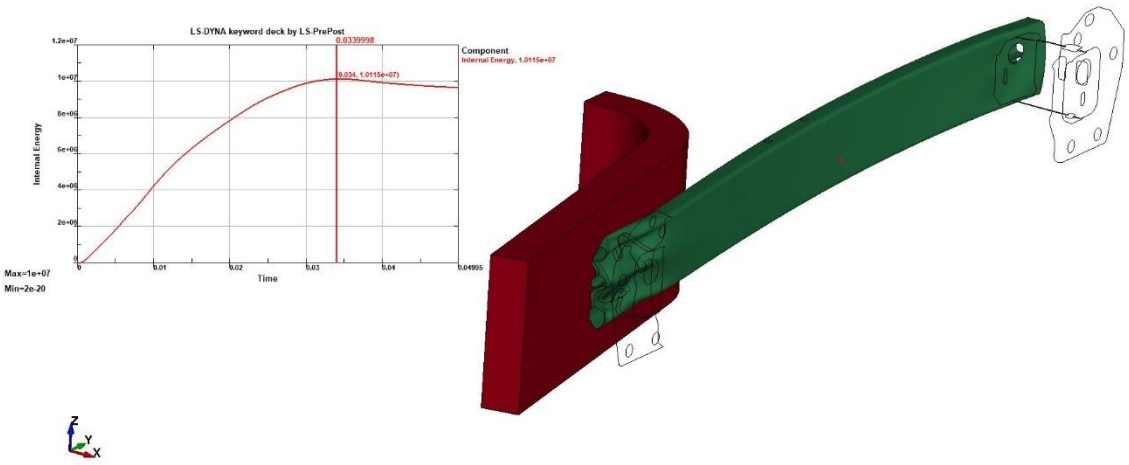
EK 6. Çarpışma sönümleyici grup 1 tampon 1 ağırlık değeri



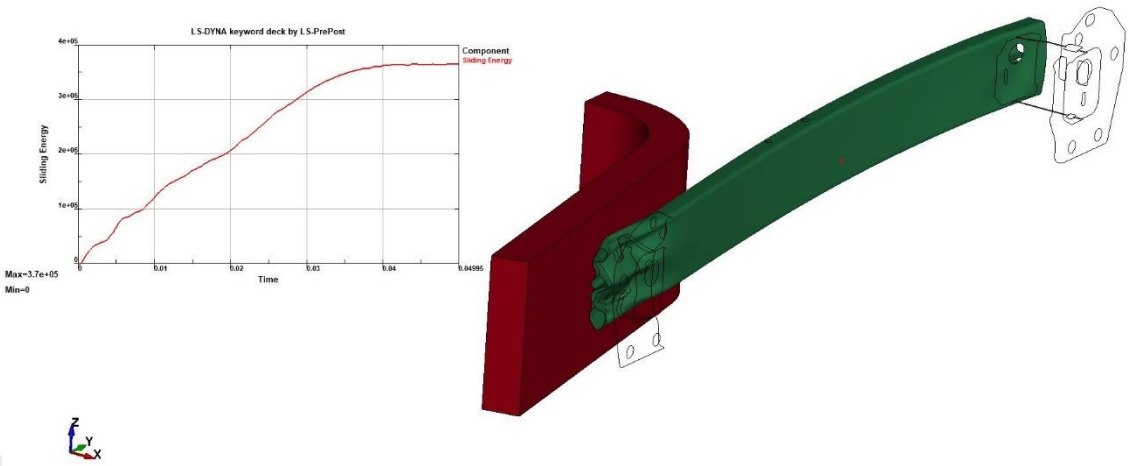
EK 7. Çarpışma sönümleyici grup 2 tampon kesiti 2 sönümlenen enerji değeri



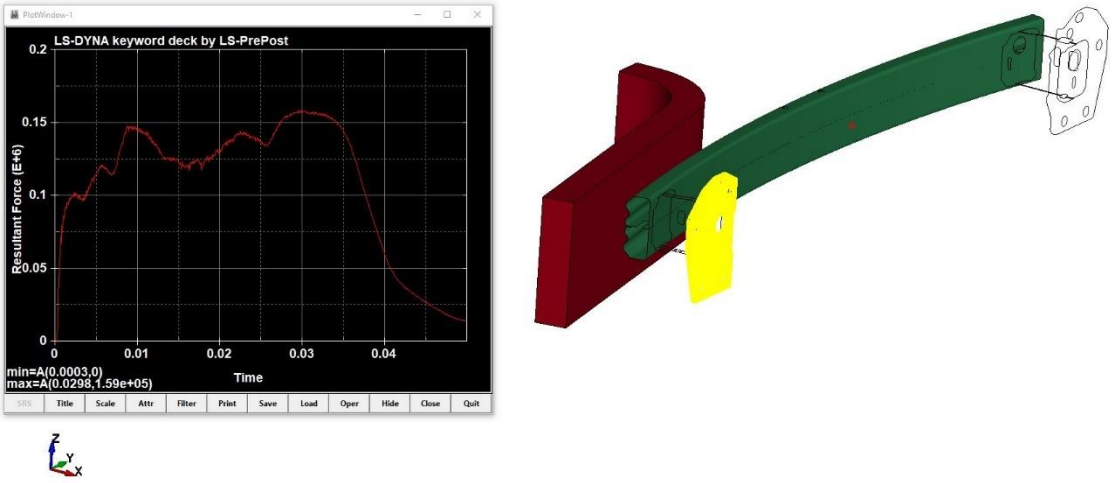
EK 8. Çarpışma sönümleyici grup 2 toplam sönümlenen enerji değeri



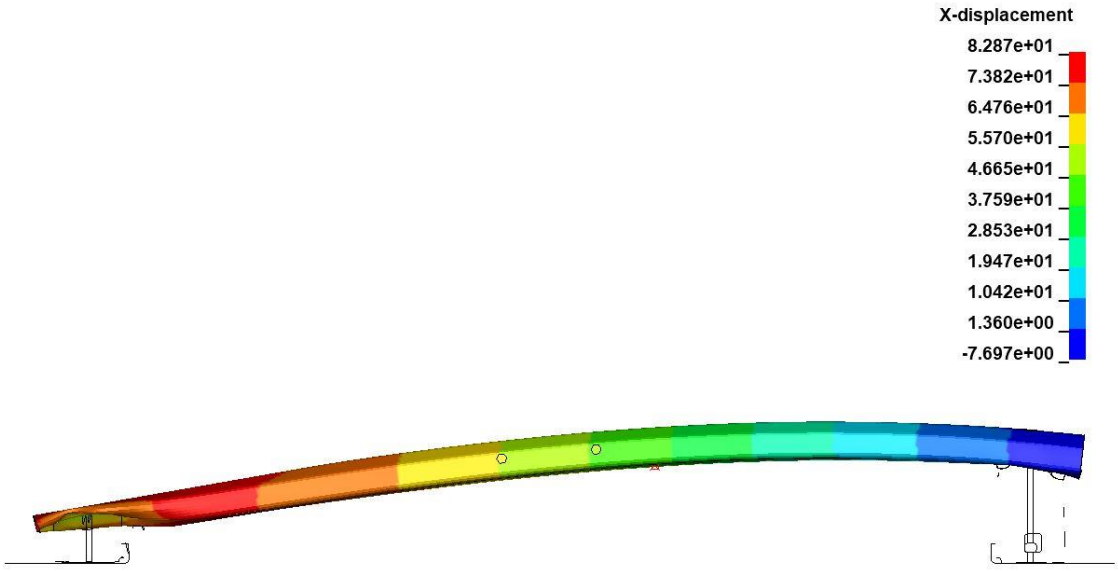
EK 9. Çarpışma sönümleyici grup 2 kontak enerji değeri



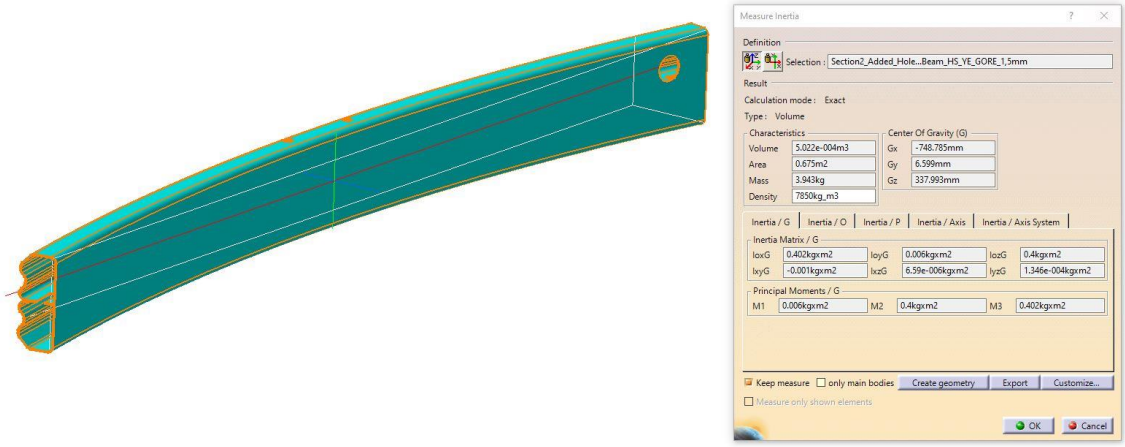
EK 10. Çarpışma sönümleyici grup 2 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri



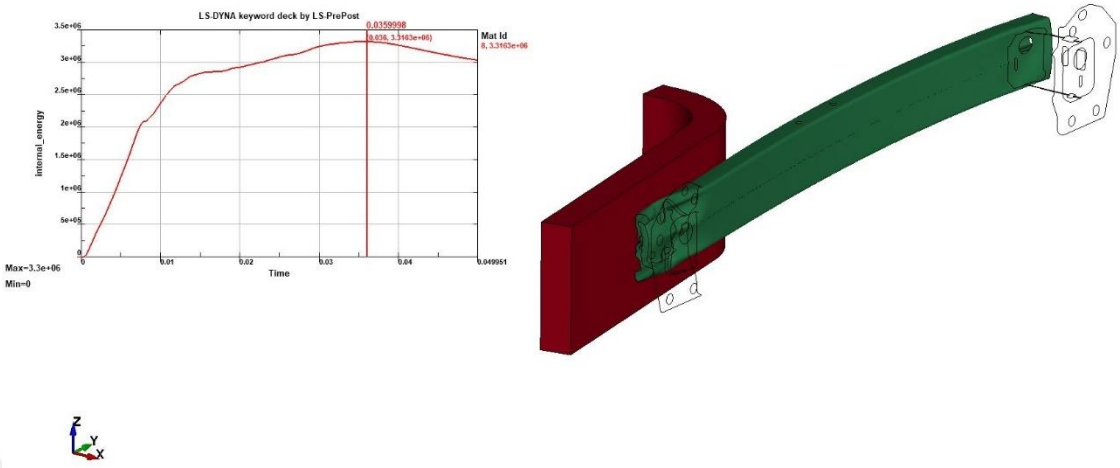
EK 11. Çarpışma sönümleyici grup 2 X ekseni yer değiştirme değeri



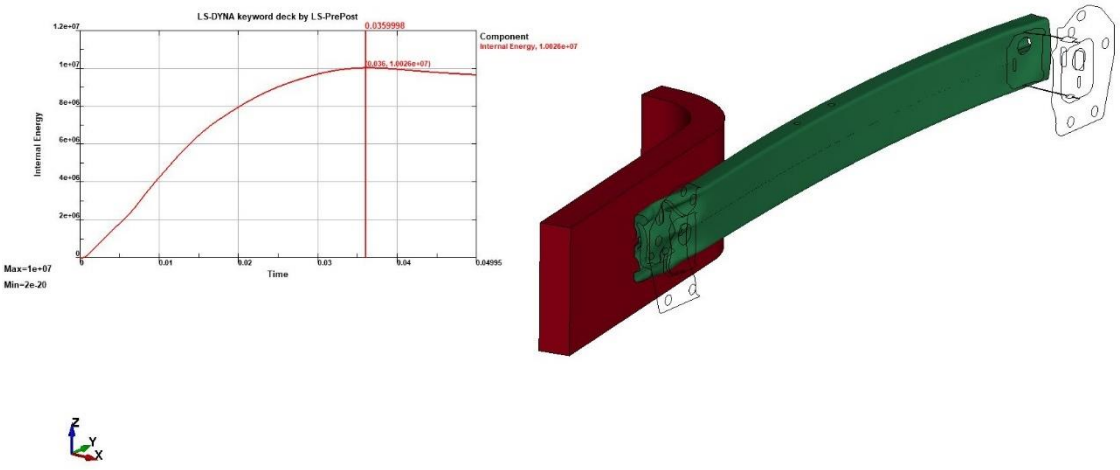
EK 12. Çarpışma sönümleyici grup 2 tampon 2 ağırlık değeri



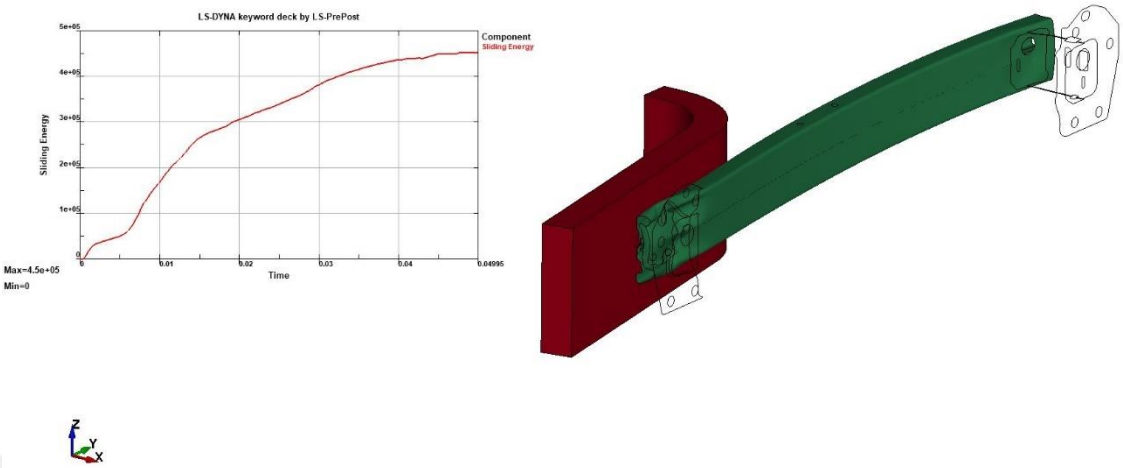
EK 13. Çarpışma sönümleyici grup 3 tampon kesiti 3 sönümlenen enerji değeri



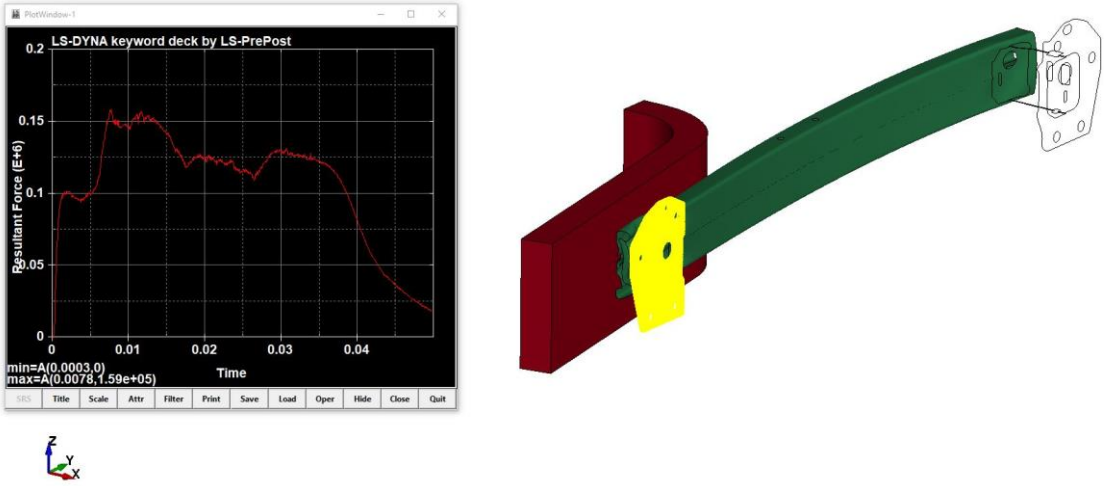
EK 14. Çarpışma sönümleyici grup 3 toplam sönümlenen enerji değeri



EK 15. Çarpışma sönümleyici grup 3 kontak enerji değeri



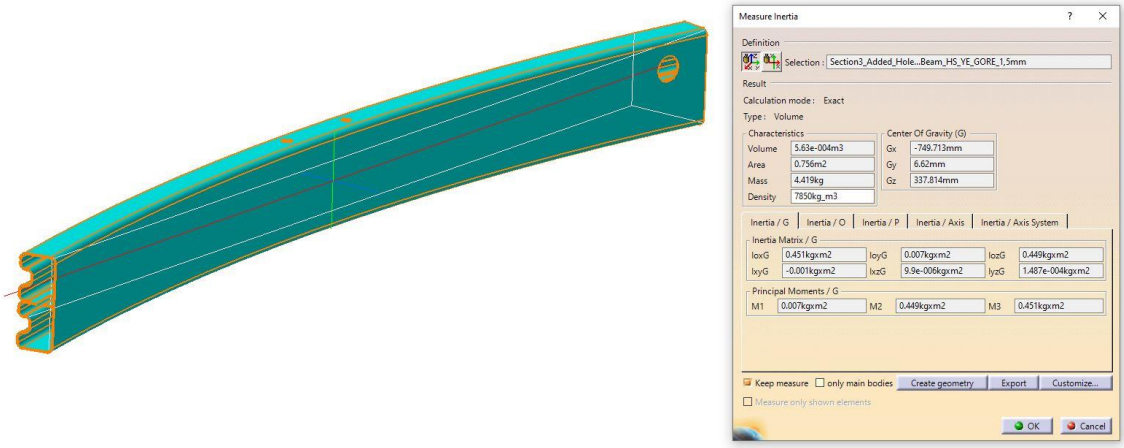
EK 16. Çarpışma sönümleyici grup 3 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri



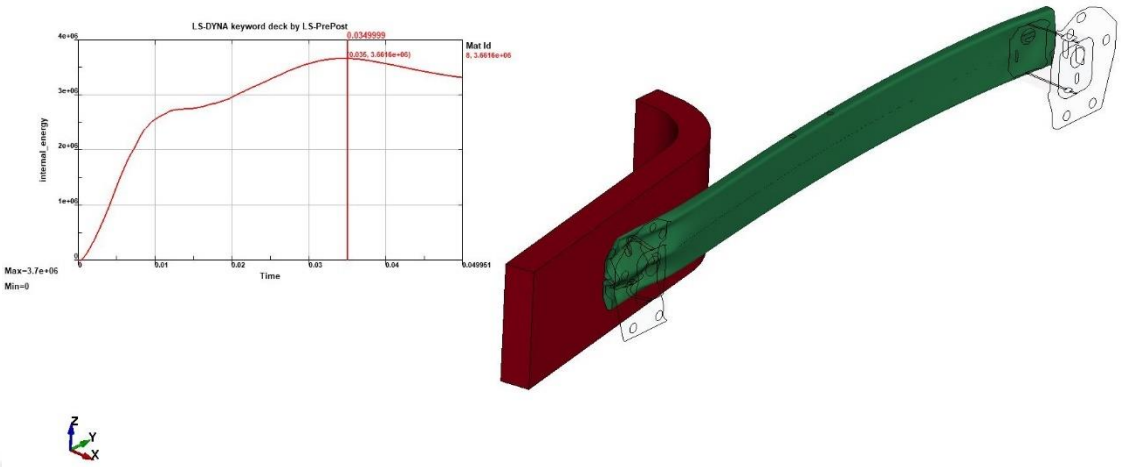
EK 17. Çarpışma sönümleyici grup 3 X ekseni yer değiştirme değeri



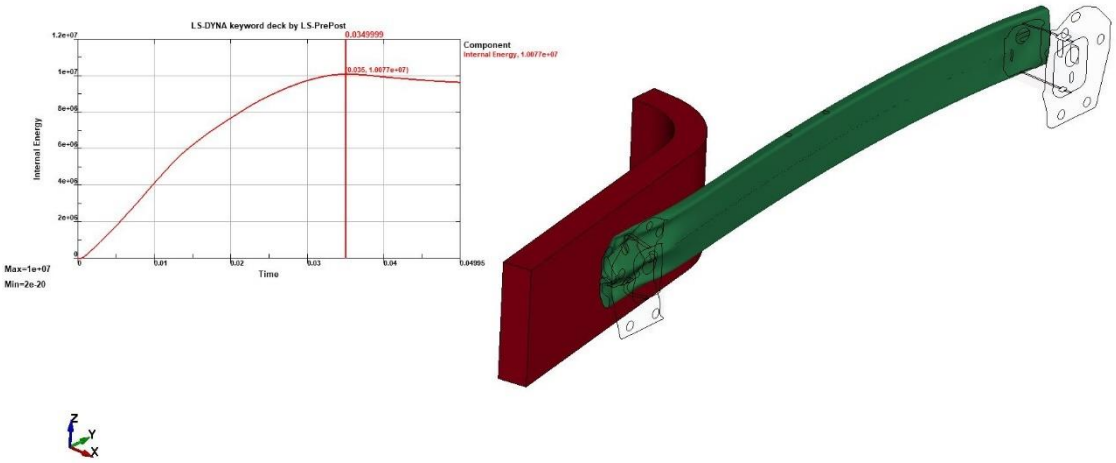
EK 18. Çarpışma sönümleyici grup 3 tampon 3 ağırlık değeri



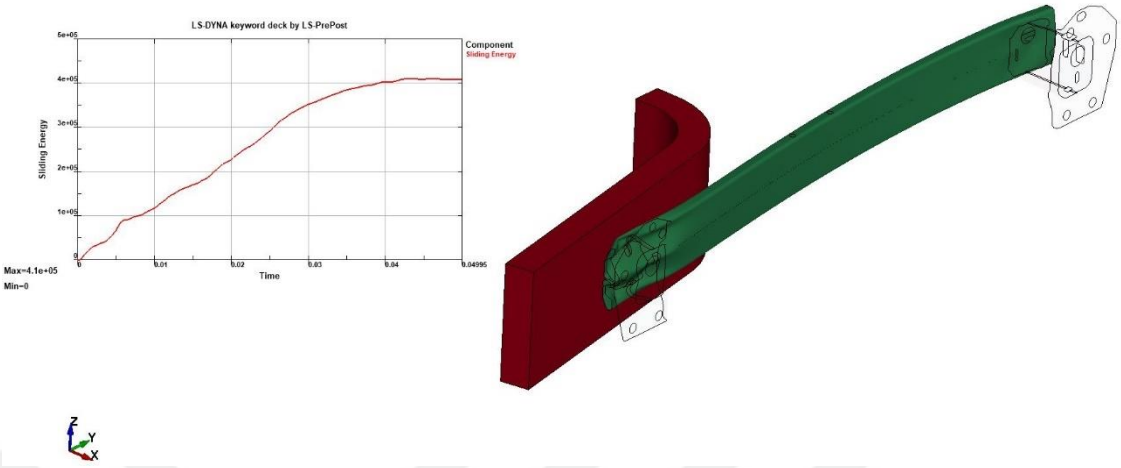
EK 19. Çarpışma sönümleyici grup 4 tampon kesiti 4 sönümlenen enerji değeri



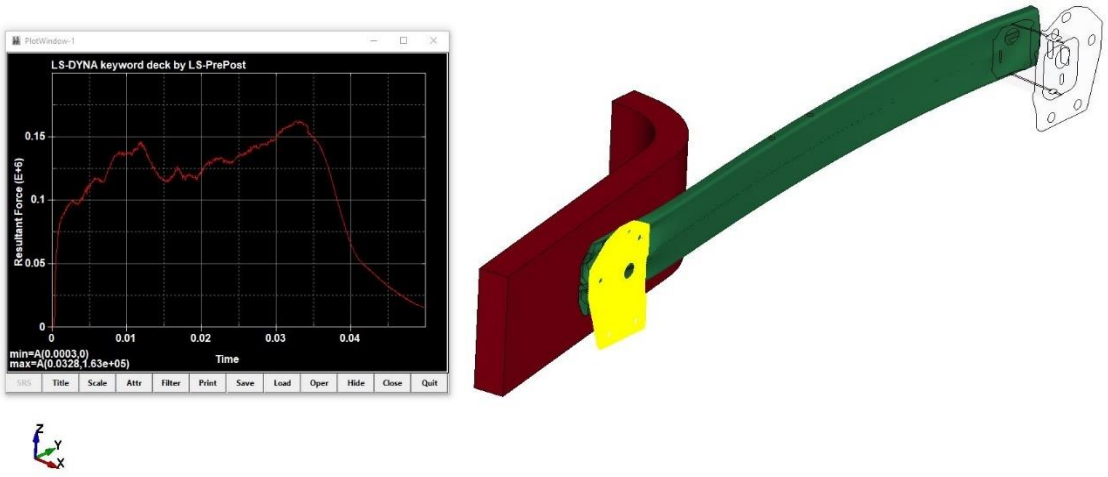
EK 20. Çarpışma sönümleyici grup 4 toplam sönümlenen enerji değeri



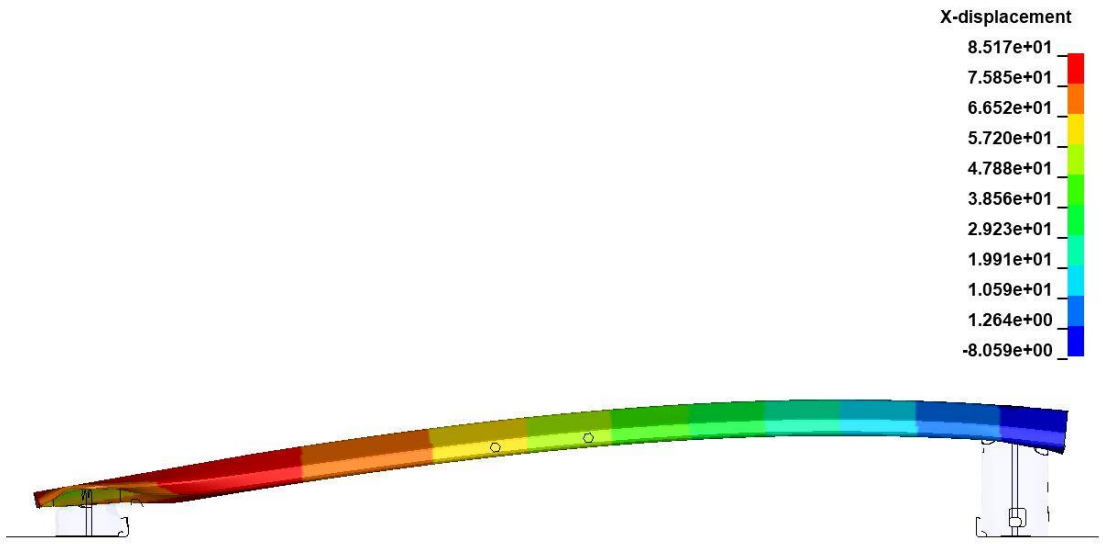
EK 21. Çarpışma sönümleyici grup 4 kontak enerji değeri



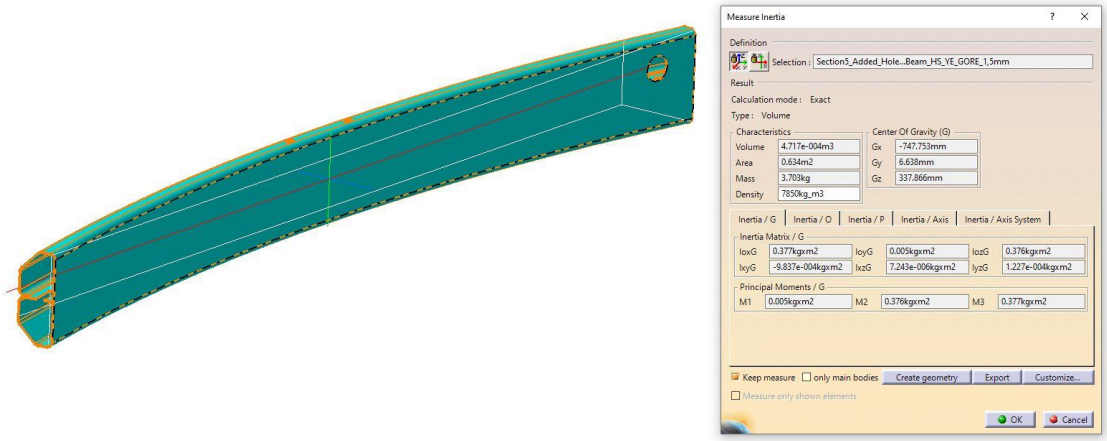
EK 22. Çarpışma sönümleyici grup 4 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri



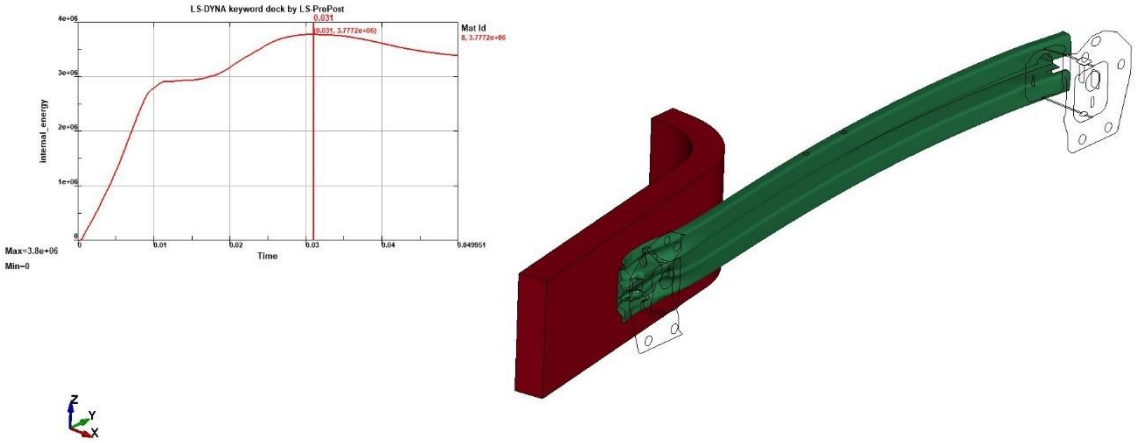
EK 23. Çarpışma sönümleyici grup 4 X ekseni yer değiştirme değeri



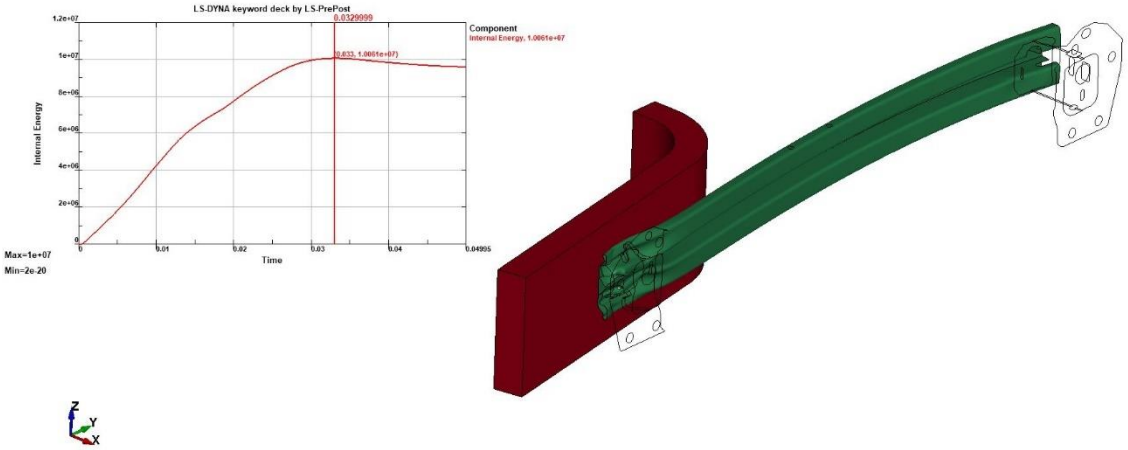
EK 24. Çarpışma sönümleyici grup 4 tampon 4 ağırlık değeri



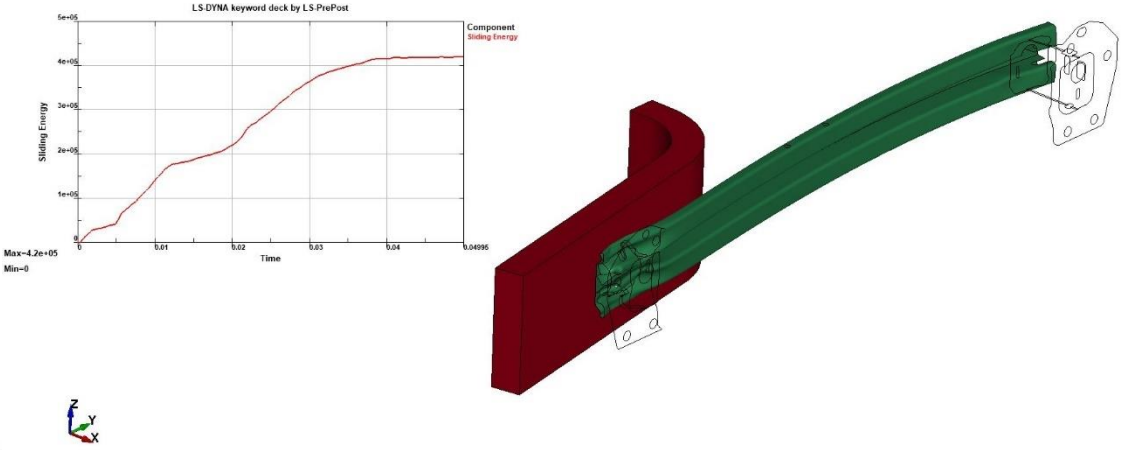
EK 25. Çarpışma sönümleyici grup 5 tampon kesiti 5 sönümlenen enerji değeri



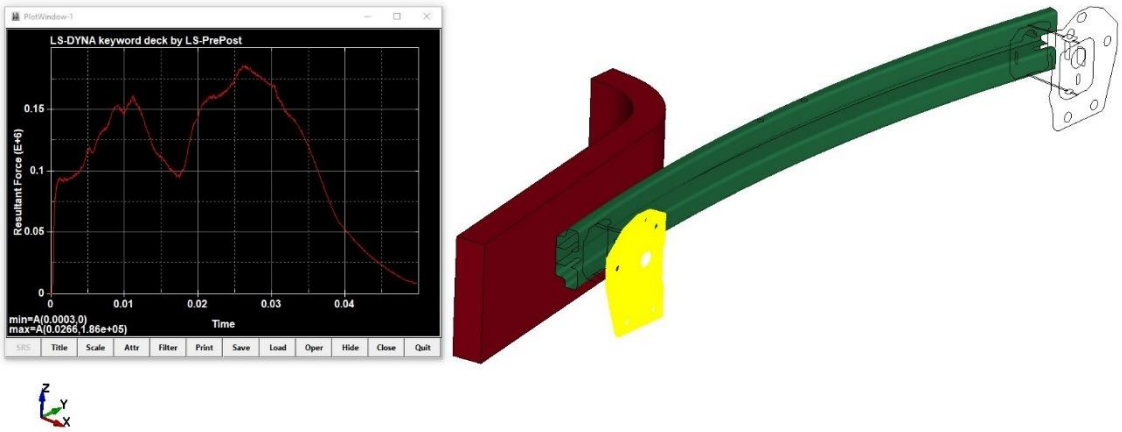
EK 26. Çarpışma sönümleyici grup 5 toplam sönümlenen enerji değeri



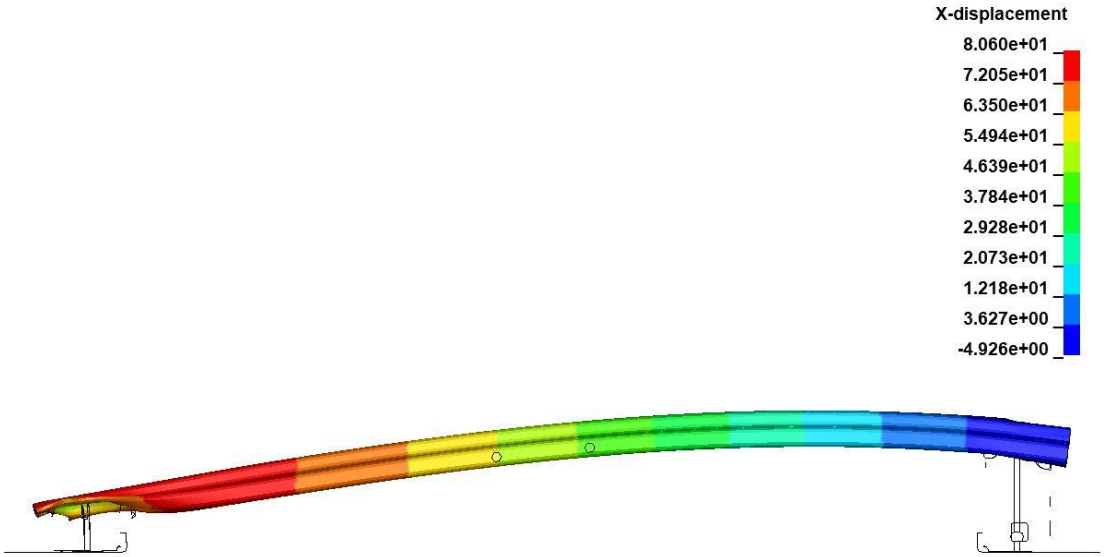
EK 27. Çarpışma sönümleyici grup 5 kontak enerji değeri



EK 28. Çarpışma sönümleyici grup 5 araç şasisine aktarılan kuvvet değeri



EK 29. Çarpışma sönümleyici grup 5 X ekseni yer değiştirme değeri



EK 30. Çarpışma sönümleyici grup 5 tampon 5 ağırlık değeri

