

**GENLEŞTİRİLMİŞ POLİPROPİLEN TAMPON DOLGU  
MALZEMELERİNDE YOĞUNLUĞUN YAYA ÇARPIŞMA  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR  
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

**Selda BULUT**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENLEŞTİRİLMİŞ POLİPROPİLEN TAMPON DOLGU MALZEMELERİNDE  
YOĞUNLUĞUN YAYA ÇARPIŞMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN SONLU  
ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

Selda BULUT  
0000-0002-1769-6193

Doç. Dr. Murat REİS  
ORCID: 0000-0001-5853-488X  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022  
Her Hakkı Saklıdır

**TEZ ONAYI**

Selda BULUT tarafından hazırlanan “GENLEŞTİRİLMİŞ POLİPROPİLEN TAMPON DOLGU MALZEMELERİNDE YOĞUNLUĞUN YAYA ÇARPIŞMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Murat REİS

**Başkan** : Doc. Dr. Murat Reis İmza  
0000-0001-5853-488X  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Dr. Öğ. Üyesi Kenan TÜFEKÇİ İmza  
0000-0001-5358-1396  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Dr. Öğ. Üyesi Nurettin Gökhan ADAR İmza  
0000-0001-6888-5755  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**

.././.....

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

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

**beyan ederim.**

**04/09/2022**

**Selda BULUT**

## TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Doc. Dr. Murat Reis  
04/09/2022

Selda Bulut  
04/09/2022

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum  
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum  
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

## ÖZET

Yüksek Lisans

### GENLEŞTİRİLMİŞ POLİPROPİLEN TAMPON DOLGU MALZEMELERİNDE YOĞUNLUĞUN YAYA ÇARPIŞMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

**Selda BULUT**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Murat REİS

Tampon darbe emiciler taşıtlarda tampon ve çarpışma kutusu arasında yer alan ve çarpışma anında tampondan aldığı enerjinin bir kısmını sönmüleyerek, çarpışma kutusuna ileten pasif güvenlik yapılarıdır. Bu yapılar düşük hızlardaki park kazalarında veya taşıt yaya çarpmalarında belirgin bir rol üstlenirken, yüksek hızlı kazalarda ihmal edilebilir seviyede düşük enerji sönmüleme özelliğine sahiptir. Bu çalışmada tampon darbe emici malzemelerin yoğunluk değişiminin, taşıt ile yaya kazalarında yayanın yaralanması üzerine etkisi bilgisayar destekli simülasyonlar ile incelenmiştir. Simülasyonlarda yayanın çarpma anında taşıta temas eden bacak kısmı için silindirik ve düz olmak üzere iki farklı yaya modeli belirlenmiştir. Belirlenen bu rijit yaya modeli taşıt tamponuna ortadan ve çeyrek dilimden çarpacak şekilde ayarlamıştır. Simülasyonlar düşük hızlı taşıt yaya çarpmalarında dahi tamponun, tampon darbe emici yapıya kadar deforme olduğunu ve yayaya etkiyen çarpışma kuvvetini darbe emicinin yoğunluğuna bağlı olarak ciddi şekilde arttığını göstermektedir. Ayrıca aracın orta noktasından gerçekleştirilen çarpışmalarda tampon darbe emici tasarımı gereği çarpışmaya direk katıldığı ve aktif rol oynadığı görülmüştür. Fakat tamponun çeyrek diliminden çarpmalarda ise tampon darbe emici çarpışmaya katılmadan, tampon direk katılarak tepki kuvveti iletmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Genleştirilmiş Polipropilen, Tampon Darbe Emici, Çarpışma Performansı, LS Dyna, Hypemesh, Meta, Ansa  
**2022, xiii + 60 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DENSITY OF EXPANDED POLYPROPYLENE BUMPER FILLING ON PEDESTRIAN COLLISION PERFORMANCE BY FINITE ELEMENT METHOD**

**Selda BULUT**

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

**Supervisor:** Assoc. Prof. Murat REIS

Bumper energy absorber lays between bumper and crush box in vehicles. It is described as a passive safety structure that absorbs the energy conducted by the bumper during the crash. Although they are very efficient at low-speed crushes such that pedestrian-involved or parking accidents, their effectiveness is neglected at high-speed crushes as they can absorb energy less than significant. In this study, bumper energy absorber is examined through computer-associated simulations to investigate the effect of different material densities of bumper energy absorber on pedestrian-involved accidents. For this reason, the points of contact of a pedestrian are determined as rigid square, and cylindrical, separately. Also, the crush is arranged as if the point of contact is at the middle and quarter part of the bumper of a vehicle. The simulation result shows that the force acting on the pedestrian increases with respect to an increase in the density of the bumper energy absorber because even in low-speed crushes, the bumper deforms to the point where it reaches the energy absorber structure. Moreover, the bumper energy absorber is directly involved in the center collision thanks to its natural design shape. On the other hand, before the bumper energy absorber involves the collision, the bumper involves the collision directly and creates the reaction force.

**Key words:** Expanded Polypropylene, Bumper Energy Absorber, Crash Performance, LS Dyna, Hypermesh, Bumper  
**2022, xiii + 60 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın ilk aőamasından son aőamasına kadar tım sőr boyunca beni yönlendiren ve destekleyen ve st düzey bilgi birikimiyle tezimin oluőmasında büyük rolü bulunan danışman hocam Doç. Dr. Murat REİS' e teőekkürlerimi sunarım.

Deneysel ve sayısal analiz çalıőmalarım sırasında gerekli araç gereçlerin temininde yardımlarını esirgemeyen TOFAŞ yönetimine ve POLMAR ekibine, teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın tım aőamalarında maddi, manevi desteklerini üzerimde hissettiğim sevgili babam, annem ve eőime en içten teőekkürlerimi sunarım.

Selda BULUT  
04/09/2022



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	5
2.1. Literatür Taraması.....	5
2.2. Genleştirilmiş Polipropilen Köpük, “Expanded Polypropylene” (EPP) Malzeme.....	9
2.3. EPP (Genleştirilmiş Köpük) Malzeme Mekanik Özellikleri .....	12
2.3.1. Hafiflik .....	14
2.3.2. Yapısal Dayanım.....	14
2.3.3. Enerji Sönümlleme.....	14
2.3.4. Geri Dönüşüm .....	14
2.3.5. Isı Yalıtımı .....	14
2.3.6. Akustik İzolasyon .....	15
2.3.7. Kimyasal Dayanım.....	15
2.4. Genleştirilmiş Polipropilen Köpük, EPP Malzeme Üretim Yöntemleri.....	15
2.4.1. Reçine Doldurma ve Kalıbın Kapatılması .....	17
2.4.2. Buharlaştırma .....	18
2.4.3. Soğutma .....	19
2.5. (EPP) Malzemenin Otomobil Üzerindeki İşlevi ve Konumu .....	19
2.6. Şok Darbe Emilimi ile İlgili Tanımlamalar .....	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Malzeme Üretimi ve Malzeme Seçimi.....	24
3.2. Numune Fiziksel Testleri ve Çıktıları .....	25
3.3. İki Farklı Yoğunluktaki Numunenin, 2 Farklı Geometride ve 2 Farklı Konumda Bulunan Yayayı Simüle Eden Geometrilere Gerçekleştirdiği Çarpışmanın ve Performanslarının Bilgisayar Simülasyonları İle İncelenmesi .....	29
3.3.1. Geometrilere Oluşturulması.....	30
3.3.2. Ağ (Mesh) Yapısının Oluşturulması .....	34
3.3.3. Analiz İşlemi .....	36
4. BULGULAR.....	41
4.1. Hypermesh Statik Analiz Çıktısı.....	41
4.2. 2 Farklı Yoğunluktaki Tampon Darbe Emicinin, Yayayı Simüle Eden Kare ve Silindirik Yapılar İle Çarpışma Durumunun Analizi.....	42
4.2.1. Sonuçların Karşılaştırılması.....	46
5. SONUÇ (TARTIŞMA ve SONUÇ).....	54
KAYNAKLAR .....	56
ÖZGEÇMİŞ .....	60

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
F	Kuvvet
d	Yoğunluk
m	Kütle
V	Hacim
ET	Emilen Toplam Enerji
Fort(F%50)	Ortalama Ezilme Kuvveti
Sson	Son Deformasyon Miktarı
Silk	İlk Deformasyon Miktarı
Fmaks	Maksimum Kuvvet
$\eta$	Verimlilik
Em	Özgül Enerji Emilimi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
EPP	Expanded Polypropylene Foam
EPS	Expanded Polystyren Foam
ABS	Anti-lock Braking System
TCS	Traction Control System
EBS	Electronic Breaking System
EBD	Electronic Brake Force Distribution
NCAP	New Car Assessment Programme
LDPE	Low-density Polyethylene
VOC	Volatile Organic Compounds
RBE2	Rijit Body Element
DY	Düşük Yoğunluklu
YY	Düşük Yoğunluklu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. 2021 Trafik Kazalarının Oluş Şekline Göre Sınıflandırılması .....	1
Şekil 1.2. Yıllara ve Çeşitlerine Göre Yaya Ölüm Miktarları.....	2
Şekil 2.1. EPP Köpük Malzeme Yapısı .....	10
Şekil 2.2. EPS Köpük Malzeme Yapısı .....	11
Şekil 2.3. EPP Malzeme Mekanik Özellikleri .....	12
Şekil 2.4. EPP Malzeme Özet Üretim Prosesi .....	16
Şekil 2.5. EPP Malzeme Detay Üretim Prosesi .....	16
Şekil 2.6. Tampon Amortisörü EPP Malzeme Otomobil Üzeri Konumu.....	20
Şekil 2.7. Tampon Amortisörü EPP Malzeme Detay Görseli.....	20
Şekil 2.8. İdeal Bir Çarpışma: Kuvvet-Deformasyon Miktarı Grafiği .....	22
Şekil 3.1. Numunelerin Mikroskop Altı Tanecik Görüntüsü.....	24
Şekil 3.2. 6 Adet Numunenin Görüntüsü .....	25
Şekil 3.3. PP- E/AU 250- 30 g/dm <sup>3</sup> , 3 Adet Numune Kuvvet Deplasman Eğrisi.....	26
Şekil 3.4. PP- E/AU 800- 205 g/dm <sup>3</sup> , 3 Adet Numune Kuvvet Deplasman Eğrisi....	26
Şekil 3.5. Hesaplama Metodu .....	27
Şekil 3.6. Oluşturulan Basit Model .....	30
Şekil 3.7. Oluşturulan Tampon Darbe Emici Modeli .....	30
Şekil 3.8. Çarpışmaya Etki Eden Maksimum Kesitin Tespiti.....	31
Şekil 3.9. Silindirik Geometrilik Yaya Modeli ve Ölçüleri, Konum 1 Görüntüsü .....	32
Şekil 3.10. Silindirik Geometrilik Yaya Modeli, Konum 2 Görüntüsü .....	32
Şekil 3.11. Kare Geometrilik Yaya Modeli ve Ölçüleri, Konum 1 Görüntüsü.....	33
Şekil 3.12. Kare Geometrilik Yaya Modeli, Konum 2 Görüntüsü.....	33
Şekil 3.13. Tampon Darbe Emici Ağ Yapısı .....	34
Şekil 3.14. Çarpışma Kutusu & Darbe Emici Ağ Yapısı.....	35
Şekil 3.15. Statik Analiz Kuvvet Değişimi İzlenen Noktalar (Yeşil) .....	36
Şekil 3.16. 4 Farklı Senaryo (A-B-C-D-) ve 2 Farklı Yoğunluk ile Oluşturulan Çarpışma Modelleri .....	38
Şekil 3.17. SPC Tanımlanan Noktalar (Tampon Önden (A) ve Üstten Görüntü (B)) ..	39
Şekil 4.1. PP-E/AU 250 Düşük Yoğunluklu Malzemenin 3. Noktadaki Durumu.....	41
Şekil 4.2. PP-E/AU 800 Yüksek Yoğunluklu Malzemenin 3. Noktadaki Durumu ....	42
Şekil 4.3. Tamponun Orta Noktasından Gerçekleşen, Kare Yaya ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın t=135 ms Boyunca Durumu .....	43
Şekil 4.4. Tamponun Çeyreğinden Gerçekleşen, Kare Yaya ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın t=135 ms Boyunca Durumu .....	44
Şekil 4.5. Deplasman-Zaman Eğrileri Sırasıyla (Tampon Üzerindeki Bir Noktadan Ölçülen Yer Değiştirme). a.) Senaryo 1 (DY ve YY), b.) Senaryo 2 (DY ve YY), c.) Senaryo 3 (DY ve YY), d.) Senaryo 4 (DY ve YY). .....	49
Şekil 4.6. Kuvvet-Zaman Eğrileri Sırasıyla (Tampon Üzerindeki Bir Noktadan Ölçülen Reaksiyon Kuvveti). a.) Senaryo 1 (DY ve YY), b.) Senaryo 2 (DY ve YY), c.) Senaryo 3 (DY ve YY), d.) Senaryo 4 (DY ve YY). .....	48
Şekil 4.7. Kuvvet-Deplasman Eğrileri Sırasıyla. (Tampon Darbe Emici Üzerindeki Bir Noktadan Ölçülen) a.) Senaryo 1 (DY ve YY), b.) Senaryo 2 (DY ve YY), c.) Senaryo 3 (DY ve YY), d.) Senaryo 4 (DY ve YY) .....	47
Şekil 4.8. Sönümlenen Enerji-Zaman Eğrileri Sırasıyla. (Absorber Üzerindeki Bir Noktadan Ölçülen) a.) Senaryo 1 (DY ve YY), b.) Senaryo 2 (DY ve YY), c.) Senaryo 3 (DY ve YY), d.) Senaryo 4 (DY ve YY). .....	50

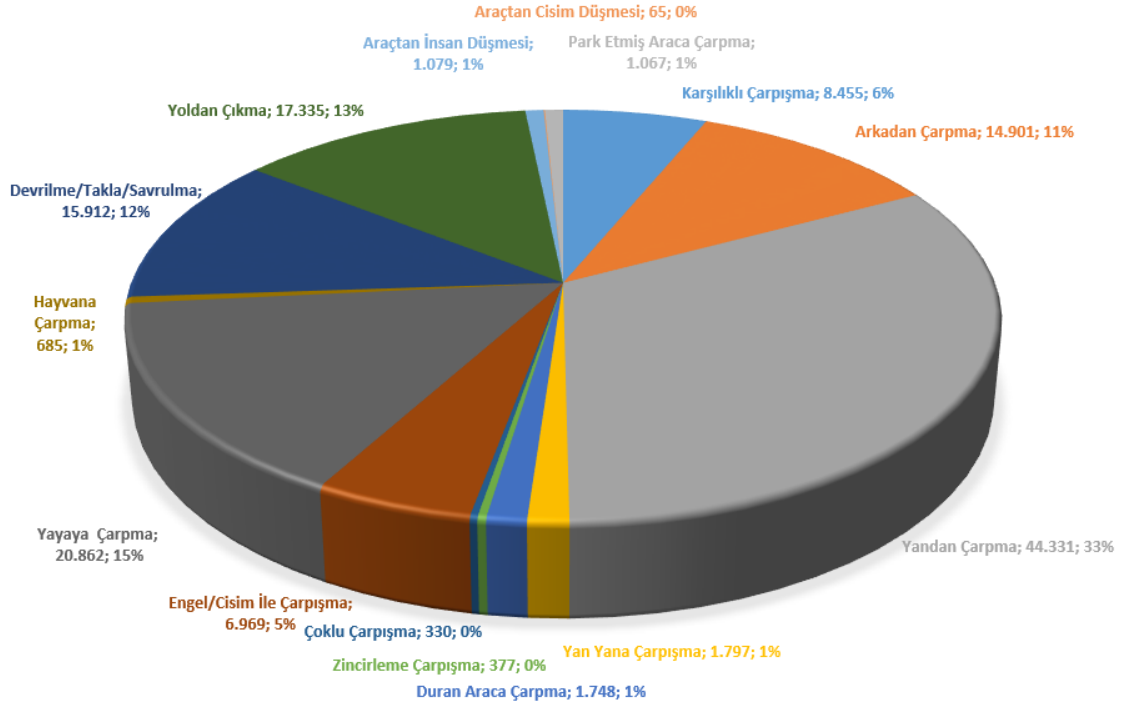
Şekil 4.9.	Sabit Yoğunlukta ve Geometride, Tamponun Ortasından ve Çeyreğinden Gerçekleşen Çarpışmanın Yer Değiştirme-Zaman Eğrileri.....	51
Şekil 4.10.	Sabit Yoğunlukta ve Geometride, Tamponun Ortasından ve Çeyreğinden Gerçekleşen Çarpışmanın Reaksiyon Kuvvet-Zaman Eğrileri.....	51
Şekil 4.11.	Sabit Yoğunlukta ve Geometride, Tamponun Ortasından ve Çeyreğinden Gerçekleşen Çarpışmanın Kuvvet-Yer Değiştirme (Enerji) Eğrileri.....	52
Şekil 4.12.	Sabit Yoğunlukta ve Sabit Konumda, Kare ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın Yer Değiştirme-Zaman Eğrisi.....	52
Şekil 4.13.	Sabit Yoğunlukta ve Sabit Konumda, Kare ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın Kuvvet-Zaman Eğrisi.....	53
Şekil 4.14.	Sabit Yoğunlukta ve Sabit Konumda, Kare ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın Kuvvet-Zaman Eğrisi.....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. EPP Malzeme Fiziksel Özellikleri .....	13
Çizelge 2.2. EPP Malzeme Kimyasal Özellikleri .....	13
Çizelge 3.1. Fiziksel Testlerde Kullanılan 6 Numunenin Test Çıktıları.....	29

## 1. GİRİŞ

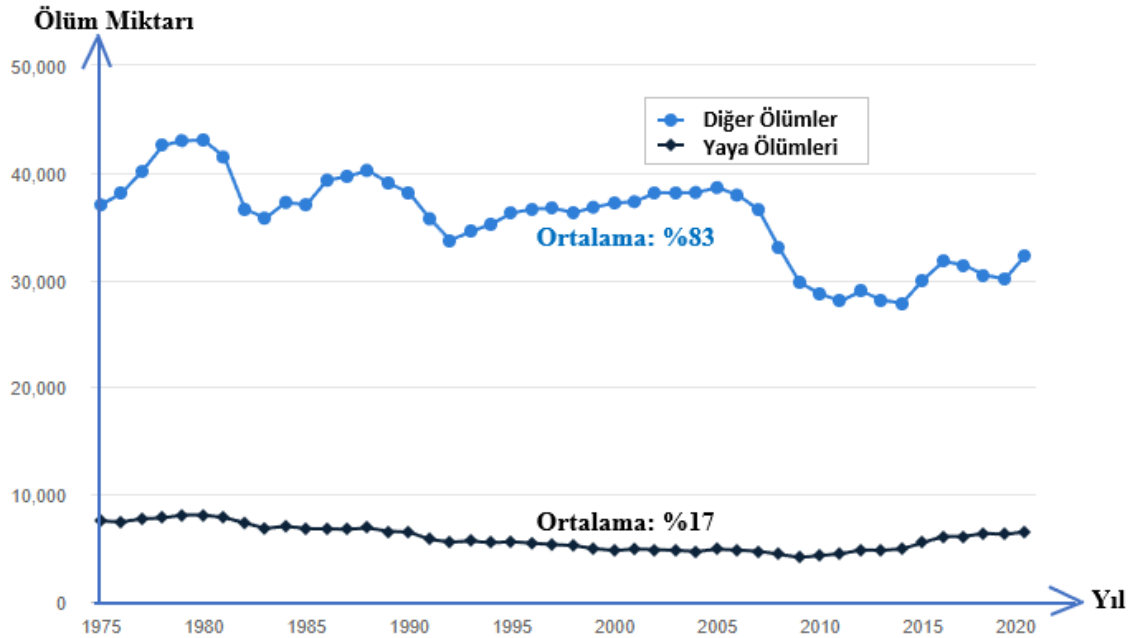
Kentlerdeki nüfus artışının yarattığı hareketliliğe bağlı olarak barınma ve ulaşım ihtiyaçları hızla artmaktadır. Ayrıca tüm bu taleplere ek son 2 yıldır da içerisinde bulunduğumuz pandemi süreci ile insanlar toplu taşımadan çok bireysel araçları ile ulaşımı tercih etmeye başlamışlardır. Bu durum geçmiş yıllara ek trafikte bulunan araç sayısını daha da artırmış ve trafikteki araç yoğunluğu en yüksek seviyelere ulaştırmıştır. Trafik yoğunluğu artması sebebiyle de olası otomobil çarpışmalarının görülme ihtimalini artırmıştır. Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Başkanlığı' nın 2021 yılında yayınlamış olduğu “2021 Yılı Ölümlü-Yaralanmalı Trafik Kazalarının Oluş Şekline Göre Sınıflandırılması” Şekil 1.1' deki gibidir.



Şekil 1.1. 2021 Trafik Kazalarının Oluş Şekline Göre Sınıflandırılması

Veriler analiz edildiğinde, her ne kadar “Yandan Çarpma” miktarı diğer çarpışma türlerine göre sayıca fazla olmasına rağmen taşıtların geometrisi ve tasarımları gereği ön ve arka tamponlarının dahil olduğu “Yayaya Çarpma, Arkadan Çarpma, Karşılıklı Çarpışma, Engel/Cisim İle Çarpışma” türlerinin miktarı toplamları daha fazla olduğu

görülmektedir. Ayrıca genele bakıldığında yaşanan kazaların ortalama %17'sinde yayaların ölümü ile sonuçlanmıştır. Bu sebeple oranlara bakıldığında yaya can güvenliği önem kazanmıştır.



**Şekil 1.2.** Yıllara ve Çeşitlerine Göre Yaya Ölüm Miktarları  
([www.iihs.org/topics/fatality-statistics/detail/pedestrians#trends](http://www.iihs.org/topics/fatality-statistics/detail/pedestrians#trends) 2022)

Taşıtın güvenliğini sağlamak üzere geliştirilmiş birçok yapı mevcuttur. Taşıtlarda güvenlik sistemleri olarak, aktif ve pasif olmak üzere iki önemli gruba ayrılır. Aktif güvenlik sistemleri kazanın meydana gelme olasılığını düşüren sistemler olup, yani kaza anından öncesi ile ilgilidirler. Pasif güvenlik sistemleri ise kazanın meydana geldiği anda, taşıt içindeki ve dışındakiler için ölüm veya yaralanma ihtimalini düşüren sistemlerdir, yani kaza anı ile ilgilidirler. Aktif Güvenlik Sistemleri elektronik kontrol üniteleri ile kontrol edilir ve araçlar modernleşip geliştikçe çok daha fazla aktif güvenlik sistemi bulunmaktadır. Aktif Güvenlik Sistemleri;

**ABS:** Açılımı Anti-Lock Braking System'dir. Tanım olarak bakıldığında kitleme önleyici sistemlerdir.

**TCS:** Açılımı Traction Control System'dir. Bir çekiş kontrol sistemidir.

**ESP:** Açılımı Electronic Stability Programme'dır. Elektronik denge sağlayan bir sistemdir

**EBD:** Açılımı Electronic Brake Force Distribution'dır. Elektronik fren kuvveti dağıtım sistemidir.

**Park Sensörleri:** Aracın çevresindeki nesnelere algılayarak, kabin içinde sürücüye uyarı veren sistemlerdir.

**Şerit Takip Sistemi:** Araçta bulunan sensörler ile aracın seyir halindeki şeridini algılar ve aracı bu şerit içerisinde tutmaya çalışır.

**Şehir İçi Fren Desteği:** Öndeki aracı takip sistemidir. Sürücünün frene basmadığı olası risk durumlarında, aracın kendi kendine yavaşlamasını ve durmasını sağlar.

**Yorgunluk Tespit Sistemi:** Sürücünün direksiyon hareketlerini düzenli olarak kaydeder ve sürücünün, yolculuğun devamına ne kadar hazır olduğunu ya da olmadığını bildirir.

Aşağıda örnekleri verilen ve Pasif Güvenlik Sistemleri olarak geçen sistemler, acil durum esnasında aracın içerisinde ve/veya dışarısında bulunanların yaralanma ve/veya ölüm tehlikesini azaltırlar. Pasif Güvenlik Sistemleri;

**Air-Bag:** Hava yastığı olarak tanımlanır. Çarpışma esnasında otomobilin içerisinde bulunanların maruz kalabilecekleri kuvvetleri sönmüleyerek yaralanma olasılığını minimize eder.

**Emniyet Kemer:** Kaza esnasında ileri yönde hareketi engeller. Emniyet kemeri sayesinde kişiler araçtan fırlamaz ve kabin içinde çarpmalar yaşanmaz.

**Aktif Gergili Emniyet Kemer:** Kaza esnasında hava yastığıyla kombine bir şekilde çalışır. Hava yastığı aktifleştğinde gergi de emniyet kemerini kişiyi, koltuğa doğru hareket ettirecek şekilde çeker. Bu sistem yardımıyla ileri yöndeki hareket minimize edilir.



**Koltuk Kafalıkları:** Amaç, geri yönde olan hareketi engellemek ve olası kuvvetleri sönmölemekdir. Boyun hasarlarından korur.

**Gövde ve Çarpışma Kutuları:** Araçlar, güvenlik bakımından değerlendirildiğinde iki alt başlıkta kategorize edilebilir. Güvenli (hasara uğramayan) bölge ve hasara uğrayan bölge. Acil durum esnasında yaşam alanının hasara uğramaması önem teşkil eder. İkinci bölgenin deformasyona uğrayıp kaza esnasında oluşan enerjiyi sönmölemesi beklenir. Gövde ve şase tasarımı hususunda bu ister, kritik bir önem arz eder.

Çarpışmanın en çok etkilediği, deforme olan bölgelerde de otomobil üreticileri deformasyon miktarını azaltan ve ortaya çıkan bütün enerjiyi sönmöleyen sistemlerin gelişimine önem verir. Bu paralar üzerinde birçok optimizasyon çalışması yapar.

Çarpışma kutuları ve tampon darbe emici dolgu malzemeleri aracın ön ve arka kısmında bulunur. Darbe emiciler tampon ile çarpışma kutusu arasında kalır. Olası çarpışma durumunda darbe ile ilk teması tampon aracılığı ile direk alır. Ortaya çıkan enerjiyi, darbeyi emerek taşıtın, yayaların ve yolcuların en az şekilde etkilenmelerini sağlar. Bu takviye elemanı sönmöleyiciler “Genleştirilmiş Polipropilen (Expanded Polypropylene)” malzemelerden üretilir. Çünkü “Genleştirilmiş Polipropilen” malzemeler yapısı gereği hafif, otomobil endüstrisinde kanıtlanmış performansı, sistem kütlesinde %30'a varan azalma sağlaması, düşük hızlı çarpmalarda sıfır hasar ve yaya-yolcu güvenliği sebebiyle tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında da “Genleştirilmiş Polipropilen (Expanded Polypropylene)” tampon dolgu malzemesi olan sönmöleyici malzemenin yoğunluk değişiminin etkisi deneysel ayrıca, kare ve silindirik yayayı simüle eden yapıların otomobil ile gerçekleştirdiği tamponun tam orta noktasından ve çeyrek diliminden yapılan çarpışmaların durumu bilgisayar simülasyonları ile incelenecektir.

## **2.KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Bu bölüm, Literatür Taraması ve Kuramsal Temeller alt başlıklarıyla kategorize edilmiştir. Literatür Taraması' nda Genleştirilmiş Polipropilen malzemenin yoğunluk değişimi ve çarpışma performansı ile ilgili daha önce yapılan bilimsel çalışmalar incelenerek bu bölümde yer verilmiştir. Kuramsal Temeller bölümünde ise Genleştirilmiş Polipropilen (EPP) malzeme üretim yöntemleri, mekanik özellikleri ve araç üzerindeki konumu hakkında detaylı bilgi verilecektir.

### **2.1. Literatür Taraması**

Genleştirilmiş Polipropilen tampon darbe emici, amortisörü; dekoratif plastik tamponun arkasında bulunan ve çarpışma sırasında oluşan enerjiyi alan kısımdır. Ön uç modülünün tamamı (yani tampon enerji emici, hava kılavuzları ve aşırı kalıplanmış araba çamurluğu ve tampon eteği hava ızgaraları) arkasındaki tüm mekanik bileşenleri korur. Tampon amortisörün imalatında kullanılan teknoloji ve malzeme seçimi de bir çarpışma durumunda yaya koruması üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir.

Yayalara yönelik NCAP çarpışma testlerine (düşük hız 30 km/s) daha uygun parçalara sahip olmak için hafif, daha az sert plastik bir çözümler aranmaktadır. Bu sebeple şok, enerji emici ve aynı zamanda son derece hafif olan Genleştirilmiş Polipropilen (EPP) malzemeleri tercih etmektedirler. Kapalı hücreli genleştirilmiş malzeme, pasif güvenlik sistemlerinde başarılı uygulamalarıyla yaygın olarak bilinir. Ayrıca toplam işlevde önemli bir ağırlık azalma sağlar. Parçalar son derece hafif ve yayalar için güvenlidir.

Artık otomobil üreticileri, geleneksel plastik işlevini Genleştirilmiş Polipropilen köpükle değiştirmektedirler. Motorun hızlanan hava akışı ile aerodinamik işlevselliği korunarak, modüllere göre 3 ila 4 kg'lık bir işlev için 4'e bölünen önemli bir araç ağırlık tasarrufu sağlanmaktadır. Bu getirilere ek yaya şok emiliminin verimliliğini artırmaktadırlar.

Re'my ve arkadaşları (2006), şok enerjisini emmek için Genleştirilmiş Polipropilen köpükler (EPP) kullanılabilceğini belirttiler. Ayrıca bu köpük yapının performansını mikro yapı ve ayrıca dinamik yükleme sırasında uygulanan gerinim oranı gibi çeşitli parametrelerin bir fonksiyonu olarak incelediler. Yapının basma gerilmesi, gerilme davranışını; köpük yoğunluğunun ve deformasyon hızının, akma sonrası gerilim ve sertleşme katsayısı üzerindeki etkilerini göstermek için 0.01 ila 1500 s<sup>-1</sup> arasında çok çeşitli mühendislik gerinim oranlarında araştırmışlardır. 34 ile 150 kgm<sup>-3</sup> arasında çeşitli yoğunluklar ele alınmış ve mikro yapısal yönler incelenmiştir. Son olarak, köpüklerin kapalı hücrelerinde tutulan gazın katkısını değerlendirmek için, yarı statik ve dinamik yükleme hızlarında bir akışkan odasında sıkıştırma testleri yapılmıştır. Hücre duvarları kalınlaşması sebebiyle yoğunluk arttıkça köpük kuvvetinin arttığını görmüşlerdir. Bu, köpükteki dökme malzemenin artmasının bir sonucudur. Ayrıca gerinim hızı sertleşmesi olgusunun, daha yüksek yoğunluklu köpükler için daha belirgin olduğu bulunmuştur. Bu fenomenin, köpük hücrelerinin dinamik burkulması sırasında daha kalın (yani daha ağır) hücre duvarları üzerinde daha belirgin olan mikro-atalet etkileri oluşturması ile ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Philippe (2007), hidrostatik kuvvet durumunda köpük davranışının incelenmesi için yeni bir deneysel aparat ile çalışmalarını yapmıştır. Basınç altında numune deformasyonunun yüksek hızlı görüntülerini elde ederek, görüntü işleme ile analizlerine çalışmalarına da yer verdi. Polipropilen köpükler üzerinde hem statik hem de yüksek gerilme oranlarında hidrostatik sıkıştırma testleri gerçekleştirmiştir. Köpüğün gerilim-hacimsel gerinme tepkisi, iki gerinim hızında yüklenen 35 ila 120 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki köpük numuneleri için belirlenmiştir. Hidrostatik sıkıştırma altındaki köpüklerin tepkisini doğrusal olmayan bir elastik aşamayı, ardından plastik akma davranışı gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca güvenlik konusundaki uygulamalar için kompozit sandviç yapılarda kullanılan polipropilen köpük üzerinde dinamik çarpma yükleme deneyi yapmışlardır. Sıkıştırma sırasında numunenin değişimini gösteren mikrotomografik çekimler yapmışlardır. Çıkan sonuçları tahmine dayalı modellerin oluşturulmasına ve doğrulanmasına yardımcı olması için eklemiştirler. Bu çalışmalar paralelinde yararlı nicel ölçümleri çıkarmak için görüntü işleme gerekliliği ile hareket etmişlerdir. Bu tür bir işleme için, örneğin her bir boncuk

için temsili bir hacmi belirleyerek boncuk yoğunluğu gibi değerleri, her bir boncuk ve sıkıştırmanın her aşaması ile ilişkilendirilerek, açıklamışlardır. Bu sayede mezoskopik ölçekte tahmine dayalı bir model oluşturmuşlardır.

Davoodi ve arkadaşları (2007), fiber takviyeli epoksi kompozit tampon amortisörün kavramsal tasarımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kompozitin yaya enerji emicisi olarak araba tamponunda enerji soğurulması için kullanılmasını kapsamaktadır. Soğurucu özelliği deneysel olarak analiz edilmiş ve bu deneylerden elde edilen veriler, tasarımda kullanılacak enerji soğurucu sayısına karar vermek için kullanılmıştır. Her iki ucunda iki yuva bulunan elips şeklindeki kompozit enerji soğurucunun nihai tasarımı düşünülmüştür. Enerji emicinin ön panoya ve tampona sabitlenmesi yöntemi de ayrıca incelenmiştir.

Cronin ve Oullet (2016), polimerik köpük malzemelerin darbe durumlarında, koruma amacıyla enerji emici malzemeler olarak kullanıldığına yer vermişlerdir. Bu köpükler ile tasarım yapmak için birçok deformasyon hızında küçük numuneler ile mekanik özellikleri tespit etmek gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında detaylıca iki farklı yoğunlukta üç kapalı hücreli polimerik köpüğün (Düşük Yoğunluklu Polietilen, Genişletilmiş Polistiren ve Genişletilmiş Polipropilen) mekanik özelliklerini  $0.01 \text{ s}^{-1}$  ila  $100 \text{ s}^{-1}$  arasında bir deformasyon hızı aralığında incelemişlerdir. Her bir köpük malzemesi için üç farklı nominal numune boyutu (10 mm, 17 mm ve 35 mm) belirleyerek test etmişlerdir. Genel olarak, polimerik köpük malzemeler belirli bir gerilme miktarı için artan deformasyon oranı ile artan stres sergilediklerini söylemişlerdir. Küçük numuneler, EPS malzemeleri için belirli bir gerilme hızında ve deformasyonda daha düşük stres değerleri gösterirken, EPP ve LDPE malzemeleri için daha az etki gösterdi. Son test kalıcı deformasyonun kalitatif bir değerlendirmesi, EPS için boyut etkileri gösterirken, LD ve EPP malzemeleri genellikle bir miktar iyileşme sergilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, özellikle EPS ve EPP malzemeleri için numune makro yapısında yoğunlukta değişikliği gözlemlemişlerdir. EPS ve EPP köpük malzemeleri, numune yoğunluğunda büyük bir değişkenlik sergilemişlerdir. Değişkenlik, numune boyutu ile ilişkilendirilmiştir. Daha küçük

numuneler, ortalama olarak daha düşük bir yoğunluğa sahip olması sebebiyle bunun malzemede bulunan boşluklardan kaynaklanabileceği varsayılmıştır.

Karthik ve arkadaşları (2017), EPP köpüklerinin mekanik özelliklerindeki değişimi ve bunun performans tahminleri üzerindeki etkisini anlamak üzerine çalışmışlardır. Mekanik özelliklerde tedarikçiler arası değişimi incelemek için küresel bölgelerdeki üç tedarikçiden talep ettikleri EPP köpükleri çalışmalarında kullanmışlardır. Tedarikçi farklılığı ile oluşan varyasyonun araç performansı üzerindeki etkisini anlamak için, düşük hız ve yaya koruma (ped-pro) yük durumları için bir malzeme modeli geliştirilmiş ve Ls Dyna aracılığı ile doğrulamışlardır.

Albak ve arkadaşları (2018), Formula SAE yarış arabasının ağırlık azaltma gereksinimlerini karşılamak için standartta göre %10 daha hafif darbe sönümleyici tasarlanmıştır. Bu tasarım aşamasında ilk adım olarak darbe emici yapılar ve teknik özellikler karşılaştırılarak, hafif bir darbe sönümleyici tasarlamak için temel malzeme olarak 100 g/l yoğunluğa sahip EPP köpük malzemesinin kullanılmasına karar vermişlerdir. Ayrıca, şekil ve analiz tekniklerinin ana hatları da tanımlanmıştır. Daha sonra 100 g/l EPP köpük malzemesinin sanal modeli için validasyon işlemi yapılarak seçilen EPP köpük malzemesinin, ağırlık azaltma gereksinimlerini başarılı bir şekilde karşılamak için formül SAE yarış arabası için hafif bir darbe zayıflatıcı tasarlamak için kullanılabileceğini göstermektedirler. Gelecekteki çalışmalarda, köpük darbe zayıflatıcı için bir optimizasyon modeli oluşturularak daha fazla ağırlık azaltma ve yeni yapısal tasarım geliştirilebileceğini belirtmişlerdir.

Yanqing ve arkadaşları (2018), EPP Köpük (Genleştirilmiş Polipropilen) ile doldurulmuş alüminyum peteklerin dinamik darbe tepkisini ve özelliklerini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Doldurulmuş peteğinin ilk tepe kuvvetinin ve ortalama kuvvetinin, alüminyum petek ile köpük arasındaki etkileşim etkisine bağlı olarak önemli ölçüde iyileştiği, ancak spesifik enerji sönümlemesinin (SEA) azaldığı bulundu. Çalışmalarında, EPP köpük dolgusunun, çıplak alüminyum peteklerin darbe özelliklerini iyileştirmede

etkili olduğunu göstermişlerdir. Doldurulmuş peteklerin dinamik etkisini sayısal analiz yöntemleri ile de araştırmışlardır. Deformasyon sürecinde, petek duvarı ile EPP köpüğü arasındaki etkileşimi ele almışlardır. Farklı dolgu tiplerindeki özelliklerin karşılaştırılmasıyla da tek hücreli dolgunun dolgu malzemesi kullanırken, yük direncini artırmak için iyi bir seçim olduğunu göstermişlerdir.

Mortona ve arkadaşları (2019), polimer genişletilmiş köpüklerin, düşük ağırlıkları ve mükemmel enerji soğurma yetenekleri nedeniyle genellikle darbe azaltma ve koruma için kullanıldığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında Genleştirilmiş Polipropilenin (EPP) mekanik testinden elde edilen deneysel sonuçlara yer vermişlerdir. Benzer nominal yoğunluğa ( $30\text{kg/m}^3$ ) ancak farklı morfolojiye sahip iki EPP köpüğünün sıkıştırma ve çekme tepkilerini karşılaştırmışlardır. Her iki köpüğü de, gerinim hızı ile olan ilişkisini belirlemek için düşük ila orta gerilim oranlarında ( $10^{-3}$  ila  $100\text{s}^{-1}$ ) sıkıştırma oranlarında test etmişlerdir. Ayrıca köpük tipinin sıcaklık ile olan ilişkisini, çalışma sıcaklığının önemini vurgulamak için  $-30^\circ\text{C}$  ve  $60^\circ\text{C}$  arasındaki sıcaklıklar için hem sıkıştırma miktarını hem de gerilim oranlarını ölmüşlerdir. Hem gerinim hızının hem de sıcaklığın mekanik özellikler üzerinde kesin bir etkiye sahip olduğu ve her iki EPP köpüğünün morfolojisi bu oluşacak total yanıtı etkilediğini belirtmişlerdir.

## **2.2. Genleştirilmiş Polipropilen Köpük, “Expanded Polypropylene” (EPP) Malzeme**

EPP malzeme ilk olarak 1970' lerde yeni polipropilen formları üzerine yapılan araştırmaların bir sonucu olarak geliştirilmiştir. Malzemenin ilk uygulamaları 1982'de Japonya'da otomotiv üreticileri tarafından denenmiştir. O zamanlardan beri EPP' ye olan talepler kısmen, otomobil üreticilerinin ağırlığı azaltırken ve çevresel faydaları iyileştirirken enerji yönetimi işlevlerini iyileştirme ihtiyacından kaynaklı, küresel ölçekte büyük bir ivme kazanmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanması, bir tampon sistemindeki enerji emici bir komponentte kullanılmak üzere başlamıştır. EPP, koltuklar ve diğer iç bileşenler dahil olmak üzere çok sayıda diğer otomotiv parçaları ve sistemleri için yaygın olarak halen kullanılmaktadır. Ayrıca genişletilmiş polipropilen köpük malzemesinin otomotiv sektörü harici uygulamaları firmalar için bir araştırma geliştirme

alanı olma özelliğini taşımaktadır. Düşük kütle ve yüksek mukavemet isterlerinin olduğu bütün alanlarda örnekleri ile karşılaşmak mümkündür.

EPP malzeme, polipropilenin işlenmesi ve boncuksu ve köpüksü bir kompozisyon kazandırılması yolu ile üretilir. Beyaz renge sahip olmasından ötürü Polistiren Sert Köpük (EPS-Expanded Polystyren Foam) ile sürekli karıştırılan genleştirilmiş polipropilen malzemeler, işin özü, EPS malzeme köpükten oldukça ayrılmaktadır. EPP malzeme, daha çok otomotiv sektöründe kullanılmakta olup yapısal isterleri karşılarken EPS ise özellikle paketleme, izolasyon gibi amaçlarla kullanılır. Aynı zamanda, EPP malzeme sıvılar karşısında gösterdiği performans sayesinde denizcilikte de önemli bir yer tutar. Geri dönüştürülebilir zira herhangi bir kimyasal kullanılarak üretilmez. Bu bakımdan çevre dostudur. Moleküler yapısı sayesinde ise uzun bir yaşam ömrüne sahiptir.



**Şekil 2.1.** EPP Köpük Malzeme Yapısı  
([www.polmar.com.tr/epp.php](http://www.polmar.com.tr/epp.php) 2021)



**Şekil 2.2.** EPS Köpük Malzeme Yapısı  
([www.malzemebilimi.net/strafon-nedir-nasil-uretilir-eps-ile-farki-nedir.html](http://www.malzemebilimi.net/strafon-nedir-nasil-uretilir-eps-ile-farki-nedir.html) 2021)

Genişletilmiş Polipropilen (EPP) malzeme, sürücüler, yolcular ve yayalar için yol güvenliğini artırmak için üstün darbe emme performansı sunar. Yapılan ön ve arka tampon enerji sönümleyiciler, rakipsiz bir enerji emilimi ve olağanüstü performans sunar. Bir araç, bir çarpışma ile karıştığında ilk temas noktası ön ve arka tamponlardır. Bu nedenle otomobil üreticileri, yolcuları ve yayaları daha güvenli tutmak için doğru çözüm olarak Genişletilmiş Polipropilen (EPP) yüksek etkili şok emme özellikleri sebebiyle tercih etmektedirler.

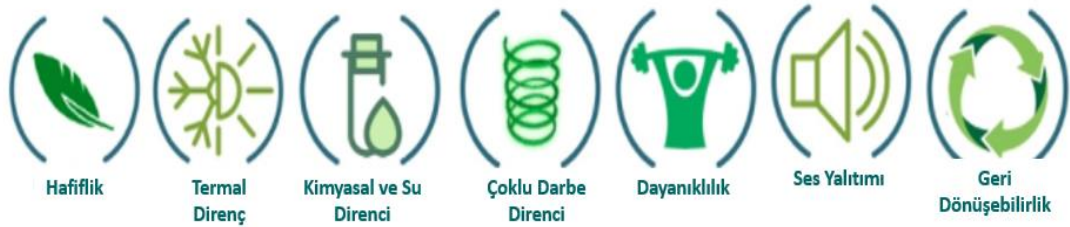
EPP malzeme üstün şok emme özelliklerine ek olarak; hafif, dayanıklı, yolcuları mümkün olduğunca güvende tutan, otomobillerin toplam ağırlığını ve CO2 emisyonlarını azaltan aynı zamanda çarpışma testi sonuçlarını iyileştirebilen yüksek performanslı malzeme arayışında olan otomotiv mühendislerinin ilk tercih ettiği malzemelerdendir. EPP malzeme tercih sebepleri: Kanıtlanmış Performans, sistem kütlelerinde %30'a varan azalma, düşük hızlı çarpmalarda sıfır hasar, ağırlık optimizasyonu ve yaya güvenliği' dir. Daha ağır otomobil bileşenlerinin EPP ile değiştirilmesi, yıllık araç üretim sayıları ile çarpıldığında önemli maliyet ve enerji tasarrufu sağlayan %70'e varan parça ağırlığında azalma sağlamaktadır.



Sektör geliştikçe otomobillerden düşük ağırlık, verimlilik ve artan güvenlik kriterleri beklenmektedir. Ayrıca bu gelişmişlik artan otomobil fiyatları, zekâ veya otomasyon seviyesinden bağımsız olarak herhangi bir aracın geleceğe yönelik öncelikli nitelikleridir.

### 2.3. EPP (Genleştirilmiş Köpük) Malzeme Mekanik Özellikleri

Genleştirilmiş Polipropilen (EPP) malzemeler, yüksek özgül mukavemete sahip olmakla birlikte darbelere karşı direnç, termal ve akustik izolasyon, enerji sönümleme, kimyasal direnci noktalarında da üstün özellikler gösterirler. Üstelik tamamıyla geri dönüştürülebilir bir malzemedir. EPP malzemelerin 18 ila 260 g/l arası öz kütle değerlerinde üretimi söz konusudur.



**Şekil 2.3.** EPP Malzeme Mekanik Özellikleri  
([www.polmar.com.tr/epp.php](http://www.polmar.com.tr/epp.php) 2021)

EPP malzemelerin, şekil değiştirme sonrası geri kazanım oranı yüksektir, ısı direnci tatmin edici düzeydedir. Bunların yanı sıra, cisimlerin ağırlığını hatırı sayılır derecede azaltabilir. Kalıplanabilir ve kalıpta çeşitli formlara dönüştürülebilir. Tokluğu yüksektir. Genel fiziksel özellikleri Çizelge 2.1’ de ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.2.’ de belirtilmiştir.

**Çizelge 2.1.** EPP Malzeme Fiziksel Özellikleri

<b>Yoğunluk (g/l)</b>	20g/l .... 200 g/l
<b>Çekme Dayanımı (kPa)</b>	270 kPa .... 1930 kPa
<b>Çekme Uzaması (%)</b>	%21 .... %7,5
<b>Basma Dayanımı (kPa)</b>	%25' de 80 kPa .... 2000 %50' de 150 kPa .... 3000 kPa %75' de 350 kPa .... 9300 kPa
<b>Kalıcı Şekil Değişimi (%)</b>	%25 Gerilme, 22H, 23°C' de %13,5 .... 10,5
<b>Yanma Hızı (mm/min)</b>	100mm/dk .... 12 mm/dk

Kimyasal Özellikler: Alt kimyasallara 7 Gün / 22°C ' de daldırılarak maruz bırakılmıştır. Yapısında herhangi bir değişiklik olmayanlar 1 ile, hafif değişiklik olanlar 2 ile gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2.** EPP Malzeme Kimyasal Özellikleri

Petrol / Benzin	2
Motorin	2
Gaz Yağı	2
Mineral Yağ	2
Tolüen	2
Aseton	2
Etil Alkol	1
n-Heptan	2
Etil Asetat	1
Metil Etil Keton	2
%10 Sülfirik Asit	1
%10 Nitrik Asit	1
%10 Hidroklorik Asit	1
%10 Sodyum Hidroksit	1
Amonyum Solüsyonu	1

### **2.3.1. Hafiflik**

EPP malzemeler, otomotivde güvenlik maksadıyla ve ağırlık kaygılarından dolayı kullanılır. Örneğin koltuk sistemlerinin ağırlığını 10 kg'a kadar azaltabilir. Aynı zamanda araç ağırlığı ortalama yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını etkiler. Ortalama olarak her 100 kg araç kütlesi için CO2 çıkışı 10 g / km artar. EPP sayesinde tasarruf edilen ağırlık yoluyla çevreye verilen zarar da azalır.

### **2.3.2. Yapısal Dayanım**

EPP, uygulamalarda yük taşıyıcı yapısal destek olarak kullanılıp yüksek dayanım ağırlık oranı sunmaktadır. EPP, genel yapının mimarisine zarar gelmeden ciddi yükler altında çalışabilir.

### **2.3.3. Enerji Sönümleme**

EPP malzemeler yapısı gereği şekil değişimine uğramadan, darbelere karşı dayanım sergileyerek yüksek performansta enerji sönümlerler. Otomotiv uygulamalarında enerji sönümleyici olarak iyi bir seçimdir. High Density EPP, çok yüksek yük altında çalışan ağır endüstriyel uygulamalar için bile kullanılabilir.

### **2.3.4. Geri Dönüşüm**

EPP malzemeler çevre dostu, tamamıyla geri dönüştürülebilen bir malzemedir. Üretimi esnasında da çevreye zararlı kimyasallar kullanılmaz.

### **2.3.5. Isı Yalıtımı**

EPP malzemeler gıda, tıbbi malzeme ve diğer termal izolasyon isterlerinin bulunduğu uygulamalarda ısı yalıtımı sağlar. İzolasyon özellikleri, esneklik ve kalıplanabilirlik gibi

özelliklerle birleştirildiğinde, HVAC uygulamalarında kullanım için önemli bir seçenek haline gelir.

### **2.3.6. Akustik İzolasyon**

EPP otomobilde önemli bir ister olan akustik konularında da iyileştirmeye yol açar. Motor muhafazası olarak ses seviyesini azaltır; ağırlığını azaltır, bu sebeplerle aracın manevra kabiliyetini iyileştirir.

### **2.3.7. Kimyasal Dayanım**

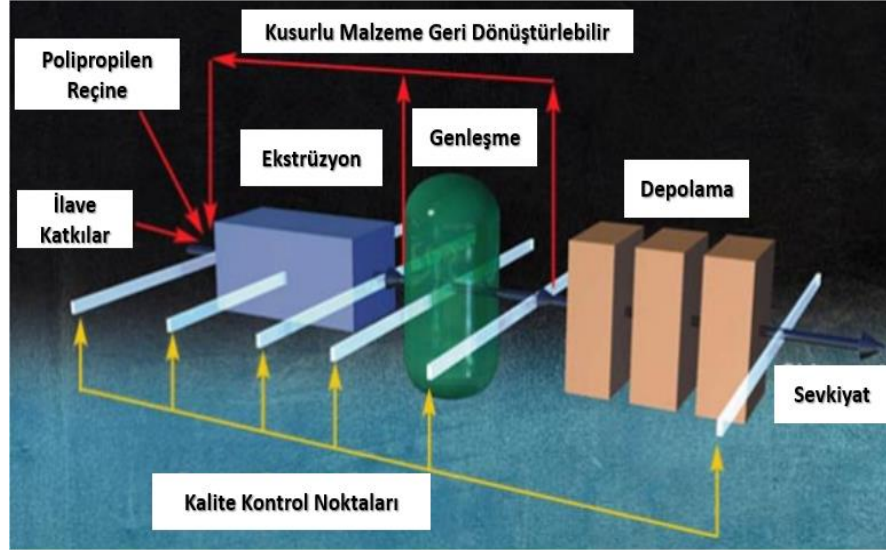
EPP; Geniş bir sıcaklık aralığında (-40°... +100°) çalışmaktadır. Ayrıca Otomotiv Sıvıları, Hidrokarbonlar, Kloroflorokarbonlar, Ketonlar, Esterler, Alkoller, Alkaliler, İnorganik Asitler gibi birçok kimyasal karşısında üstün direnç gösterirler.

## **2.4. Genleştirilmiş Polipropilen Köpük, EPP Malzeme Üretim Yöntemleri**

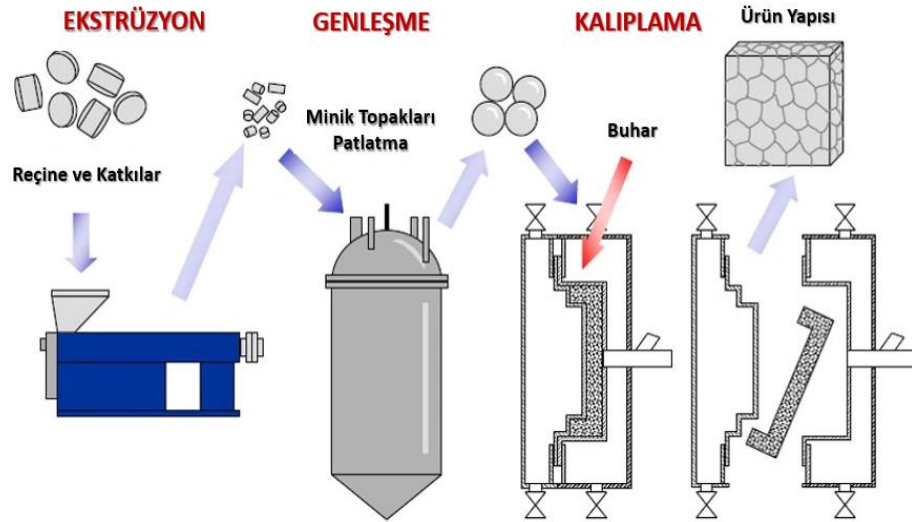
Polipropilen hammaddesi içerisine çeşitli maddelerin eklenerek kompozisyonunun manipüle edilmesi ve sonrasında buhar basıncı yardımıyla polipropilen boncukların sıkıştırılması sonucu EPP malzemeler üretilmiş olur. Üretim esnasında boncuklar, bir kalıba enjekte edilir ve akabinde tek bir yapı olarak işlemleri yapılır.

EPP malzeme üretim süreci karmaşıktır. Hem ileri seviye teknik bir uzmanlık hem de özel ekipmanlar kullanmayı gerektirir. Polipropilen reçine, çok adımlı özel bir işlemde ihtiyaç duyulan diğer bileşenlerle birleştirilir. Hassas bir şekilde kontrol edilen koşullar altında, ekstrüde edilmiş boncuklar genişerek, genişmiş polipropilen boncuk köpükten kararlı bir şekilde şekillendirilmiş EPP boncuklar haline gelir. Nihai ürün biçiminde farklı varyasyonlar üretmek için diğer özel imalat teknikleri de ilaveten kullanılabilir. EPP köpük boncuklar daha sonra kalıplara enjekte edilir. Çoğu durumda, uygun maliyetli çok gözlü alüminyum kalıplar kullanılır. Basınç ve buhar ısı, boncukları bitmiş bir şekle sokar. Bitmiş EPP köpük parçası, orijinal ekipman üreticisinin ürününe dahil edilen alt

montajlarda önemli bir bileşen haline gelir. Genel anlamda EPP malzeme işlenmesi genellikle iki ana aşamayı içerir; ön genişleme ve buharlı kalıplamadır.



Şekil 2.4. EPP Malzeme Özet Üretim Prosesi  
([https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Expanded\\_Polypropylene\\_EPP.aspx](https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Expanded_Polypropylene_EPP.aspx) 2021)



Şekil 2.5. EPP Malzeme Detay Üretim Prosesi  
(Prabhu 2019)

Ön genleşme aşamasında, ham reçine boncuklar, orijinal boyutlarının 50 katına kadar artmasına neden olan bir prosten geçer ve genellikle buhar olmak üzere bir ısı kaynağına maruz bırakılır.

Buharlı kalıplama aşaması, önceden genişletilmiş boncukları bir kalıba enjekte edilmesiyle başlar. Buharlı kalıplama işleminde, polimer köpük işlemede hem ısıtma ortamı hem de üfleme maddesi olarak buhar (su buharı) kullanılır. Kalıplama işlemi bir dizi işlemden oluşur. Bu işlemler sırasıyla şekilde de görüldüğü gibi buharlama, basıncı düşürme, soğutma ve kalıplama işlemleridir.

Buharlama işlemi polimerik boncukları yumuşatır, ergitir. Yapısına buharı nüfuz eder, boncuklar yoğunlaşmaya başlar. Basıncı düşürüldüğünde, hücrelerde yoğunlaşan su, köpükleri gazlaştırmaya ve genişletmeye başlar.

Müteakip su soğutması ile boncukların ara yüzleri katılaştır ve boncuklar arasında verimli bağlanma meydana gelir. Buharlı kalıplamanın iki önemli avantajı vardır. Birincisi köpük için ısıtma ortamı olarak buharın kullanılması nedeniyle numuneler boyunca sıcaklık homojendir. İkincisi ise bu sayede kolaylıkla üç boyutlu (3D) şekillendirme yeteneği vardır.

Bu son kalıplama aşamasının döngü süresi, kalıp konfigürasyonuna, parça yoğunluğuna ve reçine tipine bağlıdır. Bazı tasarımlarda, bu işlem, takım içine yerleştirilmiş kesici uçların etrafında kalıplanmasını sağlar. Bu sonrası proses kullanıma hazır bileşenlerin imal olmuş olur veya bir sistemin parçası olarak kullanılacak parçaların paketlenme ve taşıma sürecine geçilebilir. EPP malzeme elde etme adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

#### **2.4.1. Reçine Doldurma ve Kalıbın Kapatılması**

İlk işlem adımında reçine ve ilave katkıları makineye doldurulur ve partiküller bu sayede, dolmuş enjektörleri vasıtasıyla basınçlı hava vasıtasıyla kalıp boşluğuna girer. Partiküller arası boşluk hidrolik maşalar kullanılarak bir sıkıştırma kuvveti uygulanarak kapatılır.

Dolum işlemi kalıp, genellikle elektrik kullanılarak yapılır. Doldurma işlemi iki farklı yöntemle yapılabilir:

#### **2.4.1.1. Kesme Kenarı / Çatlama-Bölme İşlemi:**

Çatlama-yarma işleminde, dolum sırasında kalıp tam olarak kapanmaz. Köpük parçacıkları bu nedenle neredeyse hiç basınç olmadan kalıp boşluğuna girerler, daha sonra kalıbın kapatılmasıyla mekanik olarak sıkıştırılırlar. Bu işlem türü için, kalıbın "kesme kenarı" denen parçaya sahip olması gerekir. Çatlama-Bölme işlemi, özellikle daha yüksek malzeme yoğunluklarına sahip çok ince kalıplanmış parçaların üretimi için uygundur.

#### **2.4.1.2. Sıkıştırma / Basınç ile Doldurma Yöntemi:**

Partiküllerin sıkıştırılarak, uygulanan basınç ile dolumu, basınç sistemi ile kalıp arasındaki basınç düşüşüne dayanır. Bir hava akımı vasıtasıyla partiküller, doldurma enjektörleri vasıtasıyla kalıbın boşluğuna üflenir. Dinamik basınç olarak bilinen yerleşik aşırı basınç, köpük boncukları sıkıştırır. Artan dinamik basınçla, köpük boncuklar daha fazla sıkıştırılır, bu da bir boşluğa daha fazla boncuk yerleştirilebileceği anlamına gelir. Böylece daha yüksek bir dinamik basınç, bileşen yoğunluğunda da bir artışa yol açar. Kullanılan malzeme tipine bağlı olarak, karşı basınç bireysel olarak ayarlanır ve genellikle 0,8 ile 4,0 bar arasındadır.

#### **2.4.2. Buharlaştırma**

İkinci işlem adımı, sıkıştırılmış EPP boncuklarının buharla işlenmesini içerir. Sıcaklık, buhar basıncı ile kontrol edilir. Hammaddeye ve istenen kalıplanmış parça yoğunluğuna bağlı olarak, 2.5 ila 4 bar arasında bir buhar basıncında EPP malzemeler elde edilir. EPP köpük boncuklarının işlenmesi için 140 ila 160°C arasında bir sıcaklık gereklidir. Proses kontrolüne bağlı olarak çapraz buharlaştırma ve otoklav buharlaştırma arasında bir ayırım yapılabilir. Standart proses kontrolünde önce çapraz buharlaşma gerçekleşir. Bu işlem iki

kalıp yarısından birinde açık buhar vanası ve kapalı kondens vanası ile gerçekleşirken aynı zamanda diğer taraftaki vanalar zıt konfigürasyondadır. Bu nedenle buhar, özellikle bileşen içindeki parçacıkların homojen sinterlenmesini sağlaması gereken kalıp boşluğunun iç kısmından akar. Tam kaynaşmayı garantilemek için otoklav buharlaştırması genellikle çapraz buharlaştırmayı takip eder. Bu proses adımında buhar, bir taraftan yoğuşma valfleri kapalıyken diğer taraftan partiküllerin arasından akar. Bu buharlaştırma yöntemi, kalıplanan parçanın kalıp duvarından ayrılmasını sağlayarak, kalıptan çıkarmayı olumlu etkilerken, parça yüzeyinde homojen bir kaynaşma sağlar.

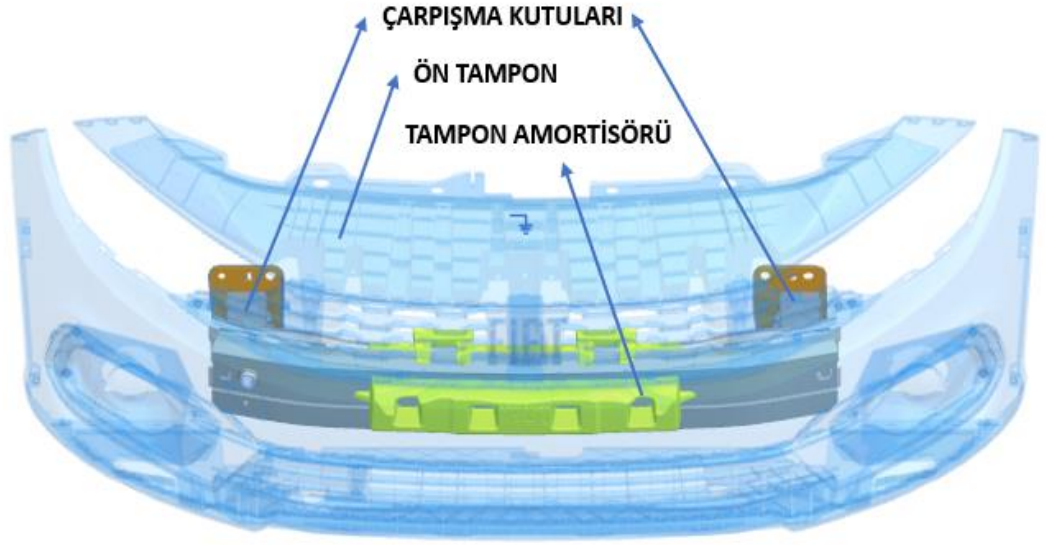
### **2.4.3. Soğutma**

Genellikle su ile püskürtmeli soğutmayı içeren aktif soğutma vasıtasıyla, buharlaştırma işleminden sonra yaklaşık 140°C sıcaklığa sahip olan kalıplanmış parça yaklaşık 80°C'ye soğutulur. Ardından soğutma işlemine devam edilir. Soğutma prensibi esas olarak ısıyı buharlaştırarak soğutmaya dayanır. Bu işlemde su, kalıp aracılığıyla dolaylı olarak kalıplanan parçadan ısıyı çeker. Bu adım, köpük yapısının gerekli stabilizasyonunu sağlar ve ardından kalıptan rahat bir şekilde çıkarma imkânı sunar.

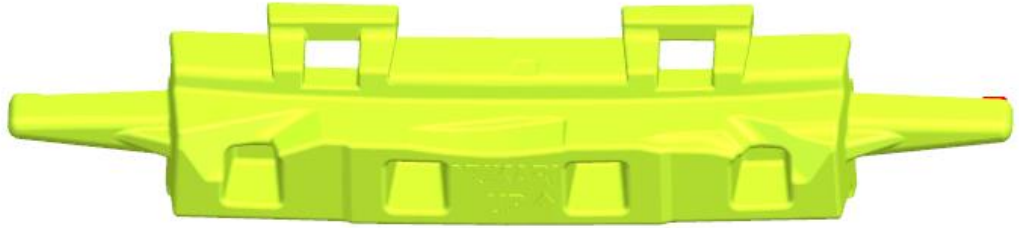
### **2.5. (EPP) Malzemenin Otomobil Üzerindeki İşlevi ve Konumu**

Tampon amortisörü, dekoratif plastik tamponun arkasında bulunan ve düşük çarpışma hızlarında ortaya çıkan çarpışma enerjisinin önemli bir kısmını sönmleyen bir elemandır. Ön uç modülünün tamamı (yani tampon enerji emici, hava kılavuzları ve aşırı kalıplanmış araba çamurluğu ve tampon eteği hava ızgaraları) arkasındaki tüm mekanik bileşenleri korur. Tampon amortisörün imalatında kullanılan teknoloji ve malzeme seçimi de bir çarpışma durumunda yaya koruması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.





**Şekil 2.6.** Tampon Amortisörü EPP Malzeme Otomobil Üzeri Konumu



**Şekil 2.7.** Tampon Amortisörü EPP Malzeme Detay Görşeli

## 2.6. Şok Darbe Emilimi ile İlgili Tanımlamalar

Tampon amortisörlerinin yük altında nasıl davrandığını açıklayabilmek için bazı kavramlar kullanılmaktadır. İdeal tampon amortisörünün temel kavramlarından olan çarpışma kuvveti, deplasman ve enerji eğrileri incelenecektir. Tampon amortisörünün optimum enerji emilimi ile hem mekanik özelliklerini koruması aynı zamanda içinde bulunan yolcuya ve yayaya da minimum deformasyon etkisini yaratması beklenmektedir. Bu sebeple tampon amortisörünün enerji emilimi ve ezilme kuvveti verimi yüksek olması ile bu durumu koruması sağlanır. Bu aynı zamanda çarpışma anında maksimum kuvvet ile ortalama kuvvet arası farklılığın minimum olması hedeflenmektedir.

Tüm bu bulgular paralelinde karbon salınımı için hafiflik de beklenen bir diğer özelliktir. Özgül enerji emilimi ne kadar yüksek olması beklense de hafifletme de göz önünde bulundurulduğunda optimum değer yakalanmalıdır. Deformasyon verimi de ezilme miktarının ilk boya oranı ile bulunmaktadır. Tampon amortisörleri enerjiyi yapısındaki ezilme ile sağladığından bu değer de yüksek olması beklenir.

Emilen toplam enerji, sönmülenen enerji kuvvet- yer değiştirme eğrisi altında kalan alanın (denklem 1) integre edilmesi ile hesaplanmıştır.

$$E_t = \int_{\delta_{ilk}}^{\delta_{son}} F d\delta \quad (1)$$

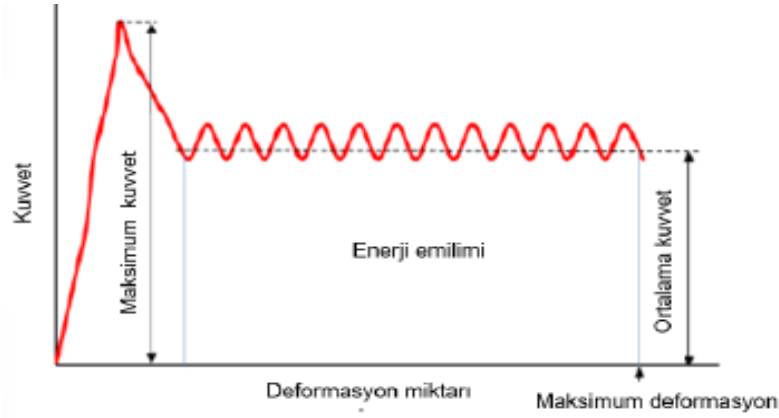
İlk çarpışma (pik değer) kuvvetinin, yolculara zarar gelmesini önleyecek şekilde, belli bir eşik değerinden düşük olması istenir. [Rao ve ark. 2016]. Buna göre, tampon amortisörünün ilk maksimum çarpışma kuvveti azaltılarak avantaj sağlanmaktadır. Aynı zamanda, ilk çarpışmadan sonra oluşan ortalama kuvvetin düşük ve ilk çarpışma kuvvetine yakın olması beklenir.

Ortalama çarpışma kuvvet denklem 2' de belirtildiği gibi, total çarpışma enerjisinin aksel yöndeki toplam ezilme miktarına bölünmesiyle elde edilir. Formülde belirtildiği gibi;  $F_{ort}$  ortalama ezilme kuvveti,  $E_t$  toplam sönmüleme enerjisini,  $S_{son}$  son deformasyon miktarını,  $S_{ilk}$  ise ilk deformasyon miktarını göstermektedir.

$$F_{ort} = \frac{E_t}{\delta_{son} - \delta_{ilk}} \quad (2)$$

Ortalama çarpışma kuvvetinin hesapladıktan sonra, ortalama çarpışma kuvvetinin maksimum (ilk yüksek pik) kuvvete oranını ifade eden çarpışma kuvveti verimliliği ( $\eta$ ), denklem 3 ile hesaplanmaktadır. Çarpışma kuvveti verimliliği hesaplandığında bulunan değer, ideal olan 1 değerine yaklaşması, kararlı kuvvet – deplasman eğrisine yaklaşması demektir. Dolayısıyla bu değer yüksek olması istenmektedir. Bu durum ortalama kuvvete oranla çok fazla pik kuvvetler görülmesi, yolcuların az zarar görmesini sağlayarak yüksek emilime sebep olur. Öte yandan, ortalama kuvvetin, pik kuvvetin fazla altında kalması, enerji emilimini düşürecektir.

$$\eta = \frac{F_{ort}}{F_{maks}} \quad (3)$$



**Şekil 2.8.** İdeal Bir Çarpışma: Kuvvet-Deformasyon Miktarı Grafiği (Çelik 2020)

Ayrıca tampon enerji sönmüleyicilerde, emilen toplam enerjinin çarpışma kutusunun ağırlığına oranı olarak hesaplanmaktadır. Tampon amortisörünün birim kütlesi başına düşen özgül enerji emilimi olarak da ifade edilebilir. Denklem (4)'te de belirtildiği gibi özgül enerji emilimi ( $E_m$ ), emilen toplam enerjinin ( $E_T$ ), Çarpışma kutusunun ağırlığına ( $m$ ) bölünmesi ile elde edilir.

$$E_m = \frac{E_T}{m} \quad (4)$$

Özgül enerji emilimi, tampon amortisörlerinin çarpışma performansının tespitindeki önemli kavramlarından biridir. Özellikle son zamanlarda araçların yakıt tüketimini ile ilgili yapılan çalışmalarda, tampon amortisörlerinin hafifletilmesi üzerine de durulmaktadır. Bu sebeple enerji emilimini artarken çarpışma kutularının ağırlıklarının da hafifletilmesini gerektirmektedir. Özgül enerji emiliminin yüksek olması ile performansının da yüksek olduğu söylenebilir. (Baykasoğlu ve ark. 2014).

Özgül ağırlık performansı etkilemesi sebebiyle dolaylı yoldan üretilen parçanın yoğunluğu da yukarıda açıklanan sebeplerle birlikte önem kazanmaktadır. Denklem 5' te yer alan  $d$  malzemenin yoğunluğunu,  $V$  hacmini,  $m$  ise ağırlığını ifade etmektedir. Araç

ağırlığı hafifletme ve yakıt tüketimi azaltılması hedeflenmesi sebebiyle hacim sabit olduğu düşünülürse düşük yoğunluklu malzemeler tercih edilmesi gerekmektedir.

$$d = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Deformasyon verimi olarak belirtilen bir diğer önemli kavram bulunmaktadır. Parçanın ne kadar deformasyona uğradığını göstermektedir. Denklem (6)'da da belirtildiği gibi deformasyon verimi ( $\eta_S$ ), maksimum deformasyon miktarının ( $S_{maks}$ ), çarpışma kutusunun ilk boyuna ( $l$ ) bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$n_s = \frac{S_{maks}}{l} \quad (6)$$

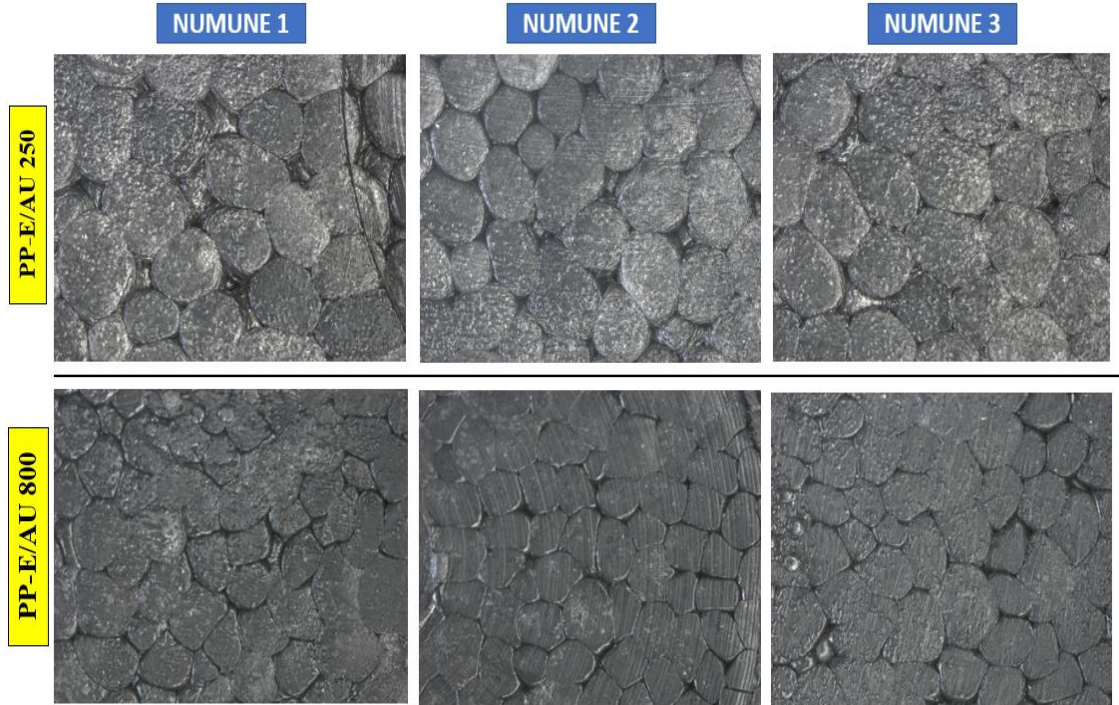
Çarpışma kutularında enerji emiliminin yüksek olmasıyla beraber, deformasyon miktarının da yüksek olması istenir. Bu sebeple deformasyon veriminin yüksek olması çarpışma kutusunun performansını olumlu etkiler.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

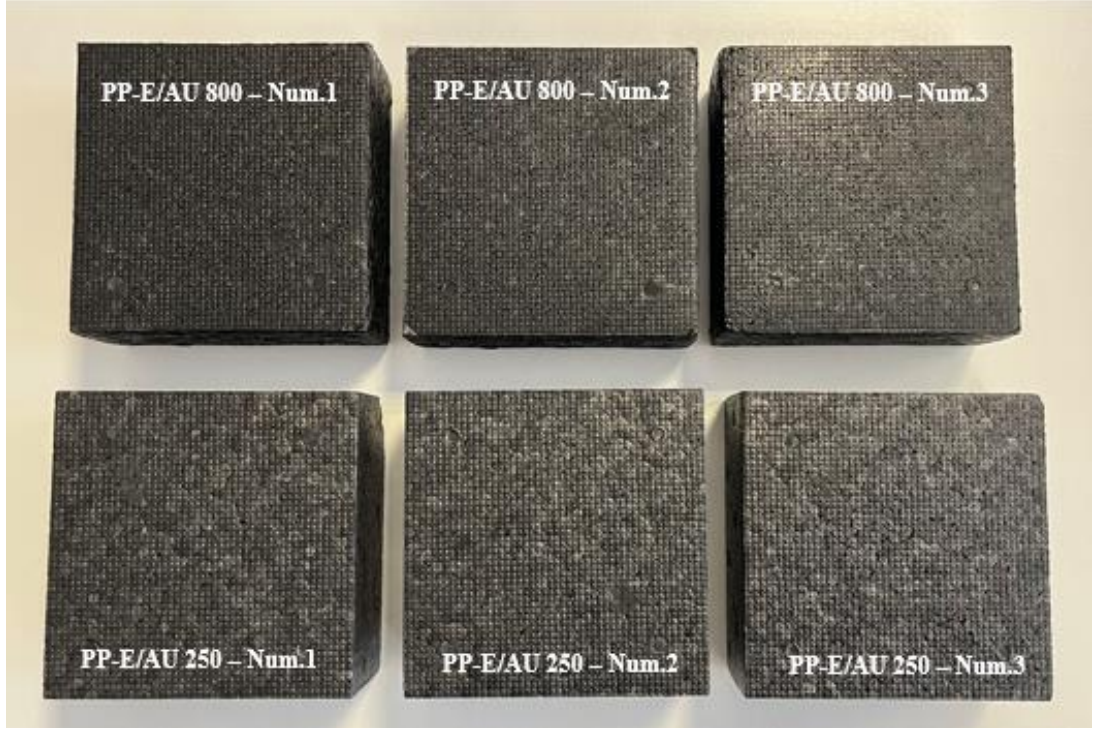
Test edilecek tampon enerji sönümleyici numunelerinin 4 – 6 mm polipropilen boncukların sıkıştırılarak, basınç ile doldurma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen 2 farklı yoğunluktaki numuneden üçer adet üretilerek, çarpışma performansına etkisi deneysel olarak incelenmiş olup, ayrıca farklı yoğunluktaki yayayı simüle eden silindirik ve kare numunelerin otomobil tamponunun orta noktasından ve çeyrek diliminden gerçekleştirdiği çarpışmaların durumu da bilgisayar simülasyonları ile açıklanacaktır.

#### 3.1. Malzeme Üretimi ve Malzeme Seçimi

Üretilen numunelerin malzemesi **PP-E/AU 250** ve **PP-E/AU 800**’ dir. Bu malzeme tedarikçinin elinde bulunan en düşük ve en yüksek yoğunluklu malzemeler **30 g/dm<sup>3</sup>** ve **205 g/dm<sup>3</sup>** ‘dir. Boyutları **100x100x50mm** ölçülerindedir ve bu boyuttaki her bir yoğunluğa ait malzemelerin mikroskop altındaki tanecik görüntüleri Şekil 3.1’ de belirtilmiştir.



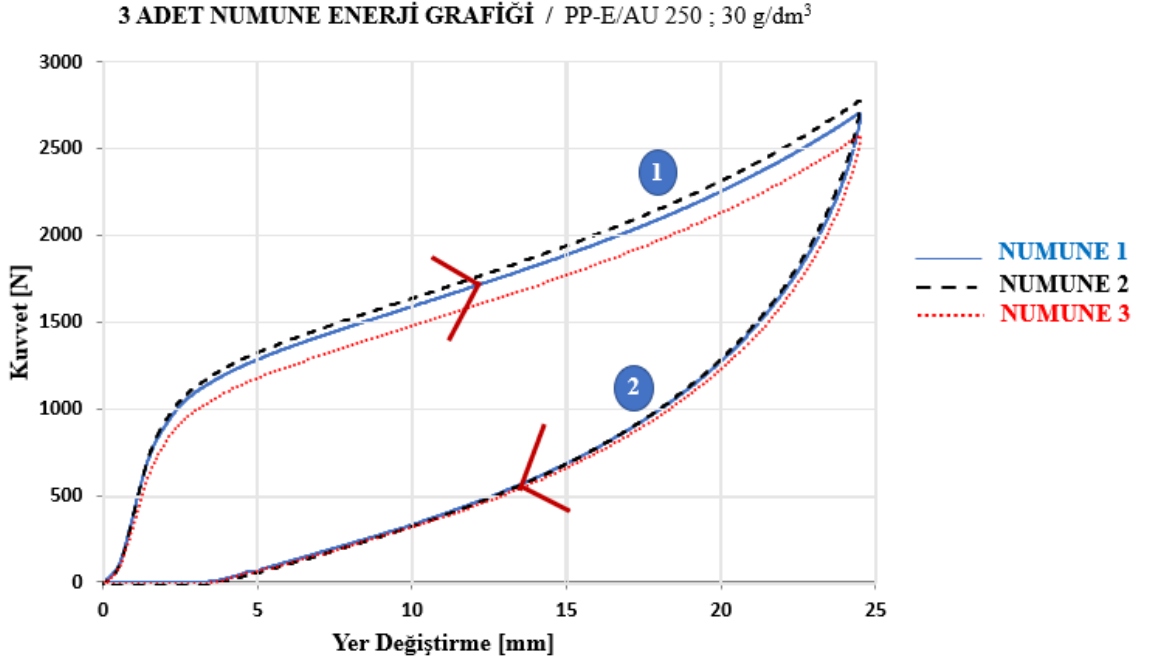
Şekil 3.1 Numunelerin Mikroskop Altı Tanecik Görüntüsü



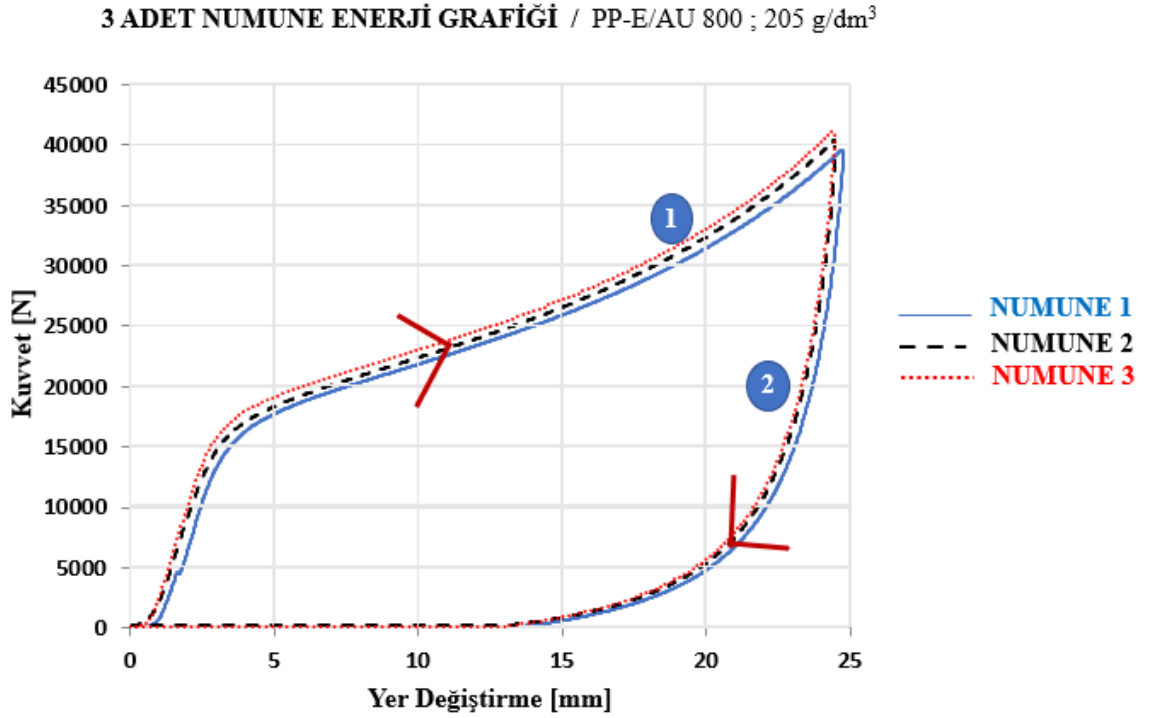
Şekil 3.2. 6 Adet Numunenin Görüntüsü

### 3.2. Numune Fiziksel Testleri ve Çıktıları

İlk olarak çalışmalara basma test cihazı çarpma başlığı üzerinden numunelerin her birine kuvvet uygulanmıştır. Çarpma başlığı üzerinde bulunan deplasman sensörü ile tampon sönümleyici amortisörün uygulanan kuvvet karşısındaki ezilme miktarını (deplasman) kaydedilmektedir. İki farklı yoğunluktaki malzemenin basma testi karşısında gösterdiği kuvvet – deplasman durumu Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.’ de belirtilmiştir. Sırası ile **PP-E/AU 250** tanımlı, **30 g/dm<sup>3</sup>** yoğunluğuna ait 3 adet numunenin, sonrasında **PP-E/AU 800** tanımlı **205 g/dm<sup>3</sup>** yoğunluğuna sahip 3 adet numunenin deneysel test çıktıları, kuvvet deplasman eğrileri aşağıda paylaşılmıştır.



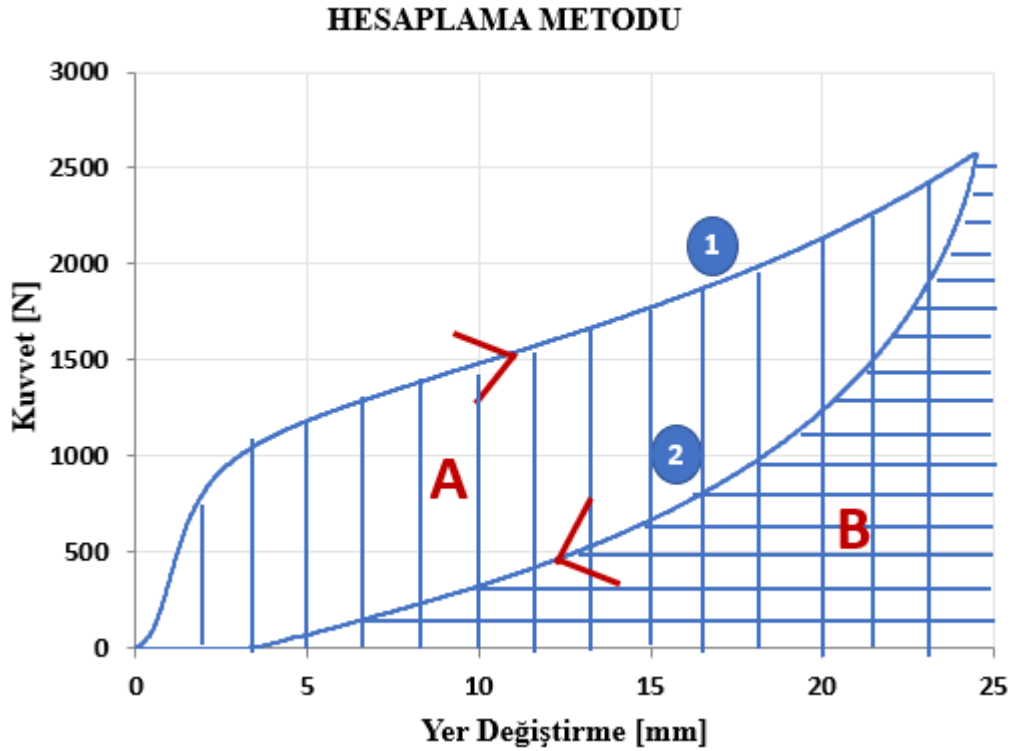
Şekil 3.3. PP- E/AU 250- 30 g/dm<sup>3</sup>, 3 Adet Numune Kuvvet Deplasman Eğrisi



Şekil 3.4. PP- E/AU 800- 205 g/dm<sup>3</sup>, 3 Adet Numune Kuvvet Deplasman Eğrisi

Grafikleri yorumlarken dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır:

1 numaralı eğrinin integrali, yani altında kalan alan toplam yer değiştirme enerjisi miktarını, 1 numaralı eğrinin altında kalan ile 2 numaralı eğrinin altında kalan alan farkı ise sönümlenme enerjisi miktarını vermektedir.



Şekil 3.5. Hesaplama Metodu

**A + B** olarak belirtilen alan, toplam yer değiştirme enerjisini verirken, **B** ile belirtilen alan ise geri yaylanma enerjisini vermektedir. **A** alanı ise sönümlenen toplam enerji miktarını vermektedir. Hesaplama işlemlerinde aşağıdaki metot (7), (8), (9) kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} HISTEREZIS &= \frac{L_{YER DEĞİŞTİRME} - L_{GERİ YAYLANMA}}{L_{YER DEĞİŞTİRME}} \\ &= \frac{L_{ABSORB}}{L_{YER DEĞİŞTİRME}} \end{aligned} \quad (7)$$



$$L_{YER DEĞİŞTİRME} = \int_0^1 F(x) dx = A + B \quad (8)$$

$$L_{GERİ YAYLANMA} = \int_1^2 F(x) dx = B \quad (9)$$

Tüm bu teorik bilgiler göz önünde bulunduğunda yoğunluk ve geri yaylanma enerjisi miktarı arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Buna ters olarak da sönümlenme enerjisi miktarı yoğunluk arttıkça artmaktadır. Ancak yaya ve yolcu güvenliği göz önünde bulundurulduğunda bu parametreler arasında optimizasyon yapılması gerekmektedir. Ayrıca tez çalışmasında gerçekleştirilen fiziksel testlerde kullanılan 2 farklı yoğunluktaki numune ile gerçekleşen çarpışma durumunda geometrinin ve konumun etkisi hakkında yorum yapılabilmesi için ilerleyen bölümlerde sanal analiz desteği ile bilgisayar simülasyonları kurularak desteklenecektir.

Köpük histerezisinde, histerezis döngünde alan, malzeme iç sürtünmeleri sebebiyle harcanan enerjidir. Geri yaylanma anında emilen tüm sıkışma enerjisini geri yansıtamadığından, yaylanma ve sönümlemenin ikili işlevini optimum şekilde gerçekleştirmesi beklenir. Ayrıca histerezis bir sistemde, etken parametrelerde meydana gelen ani değişikliklere birden tepki verilememesi, sistemin bir önceki durumuna daha durumuna duyarlı olması olarak da tanımlanabilir. Histerezisi büyük malzemeler ani tepkiyi kolay oluşturamazlar. Bu sebeple çok tercih edilmezler. Fiziksel testlerde incelenen 6 numunenin özet ortalama kuvvet bilgileri Çizelge 3.1' deki gibidir.

**Çizelge 3.1.** Fiziksel Testlerde Kullanılan 6 Numunenin Test Çıktıları

Numune Adı	Ortalama Çarpışma Kuvveti F (50 %) - N
PP-E/ AU 800, 205 g/dm <sup>3</sup> Num1	3866,0
PP-E/ AU 800, 205 g/dm <sup>3</sup> Num2	3942,7
PP-E/ AU 800, 205 g/dm <sup>3</sup> Num3	4005,4
PP-E/ AU 250, 30 g/dm <sup>3</sup> Num1	265,6
PP-E/ AU 250, 30 g/dm <sup>3</sup> Num2	271,9
PP-E/ AU 250, 30 g/dm <sup>3</sup> Num3	252,5

### **3.3. İki Farklı Yoğunluktaki Numunenin, 2 Farklı Geometride ve 2 Farklı Konumda Bulunan Yayayı Simüle Eden Geometriler ile Gerçekleştirdiği Çarpışmanın ve Performanslarının Bilgisayar Simülasyonları İle İncelenmesi**

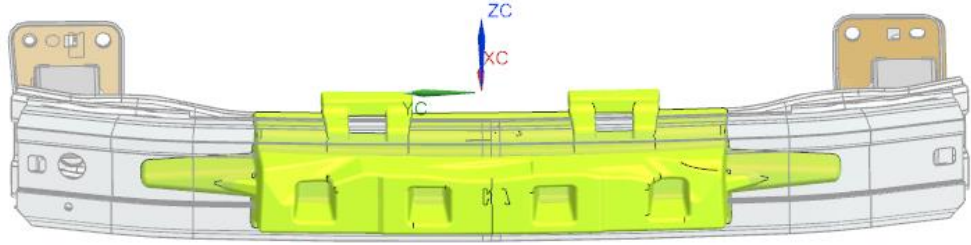
Orijinal FIAT binek model araç gövdesi, çarpışma kutuları ve tampon enerji sönümleyici modelleri Simens Unigraphics NX 11.0 ortamında oluşturularak ve oluşturulan 2 farklı geometrideki duvar ile çarpışma performansları statik analizler için Sonlu Elemanlar modeli Hypermesh 2017.3 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Nastran çözücüsü kullanılarak statik analizleri yapılacak, LS Dyna çözücüsü kullanılarak da çarpışma analizleri simüle edilecektir. Çarpışma analizlerinde kullanılan ilgili normlara ve TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilen geçmiş çarpma testleri çıktılarına göre göre simülasyonlar oluşturulmuştur.

Yalın bir modelleme oluşturulmuş olup, literatür ve geçmiş çarpışma senaryoları detaylı incelenerek, 2 farklı yaya yapısı ve her bir yoğunluk için 2 farklı konum kurgulanmıştır. Tüm bu senaryolar TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. çarpışma analizinde kullanılan binek araç verisi ile ilgili parçalar ile bağlantı kurularak oluşturulmuştur.

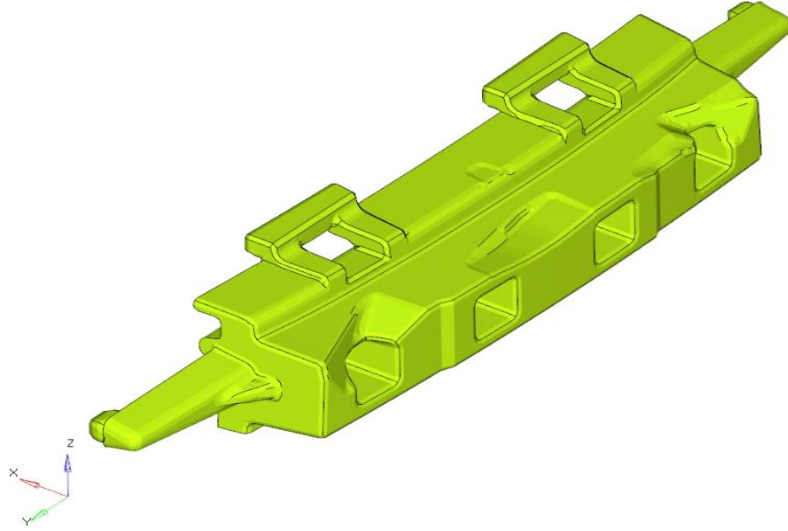
### 3.3.1. Geometrilerin Oluşturulması

#### 3.3.1.1. Senaryo Modellerinin Oluşturulması

Çarpışma simülasyonu için TOFAŞ' ta üretilen binek aracın 3D katı modelinden destek alınmış olup, teze konu olmuş olan tampon enerji sönümleyici ile çarpışmaya katılan yayayı simüle eden silindirik ve kare yapılar ve konumları ayrıca alt bir model olarak Simens Unigraphics NX 11.0' da oluşturulmuştur. Kaliteli ve daha düzgün meshler atabilmek için modellerde bulunan gereksiz yüzeyler kaldırılmıştır. İlk aşamada oluşturulan modelin tekil görseli Şekil 3.7.' deki ve grup görseli Şekil 3.6.'daki gibidir.



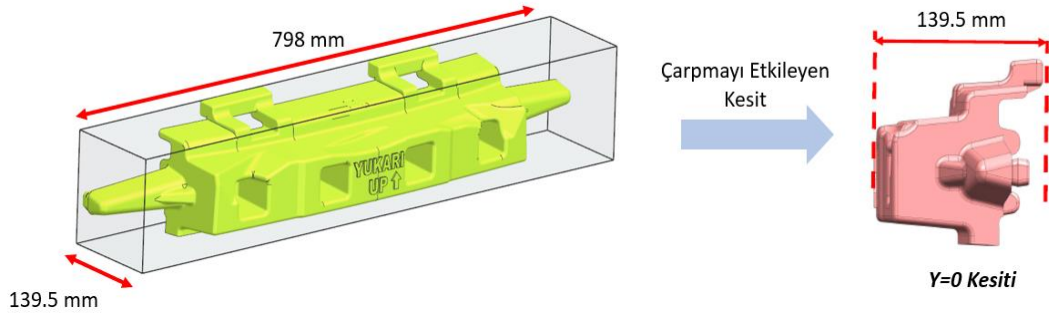
Şekil 3.6. Oluşturulan Basit Model



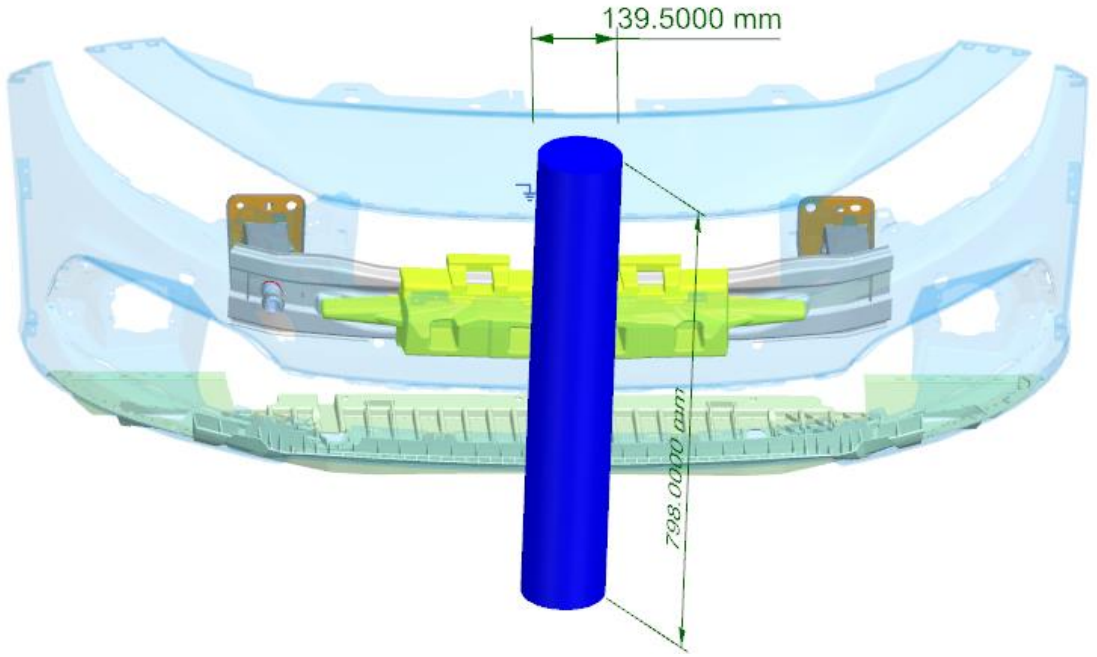
Şekil 3.7. Oluşturulan Tampon Darbe Emici Modeli

### 3.3.1.2. Yayayı Simüle Eden Farklı Geometrilerinin ve Konumlarının Oluşturulması, Modele Eklenmesi

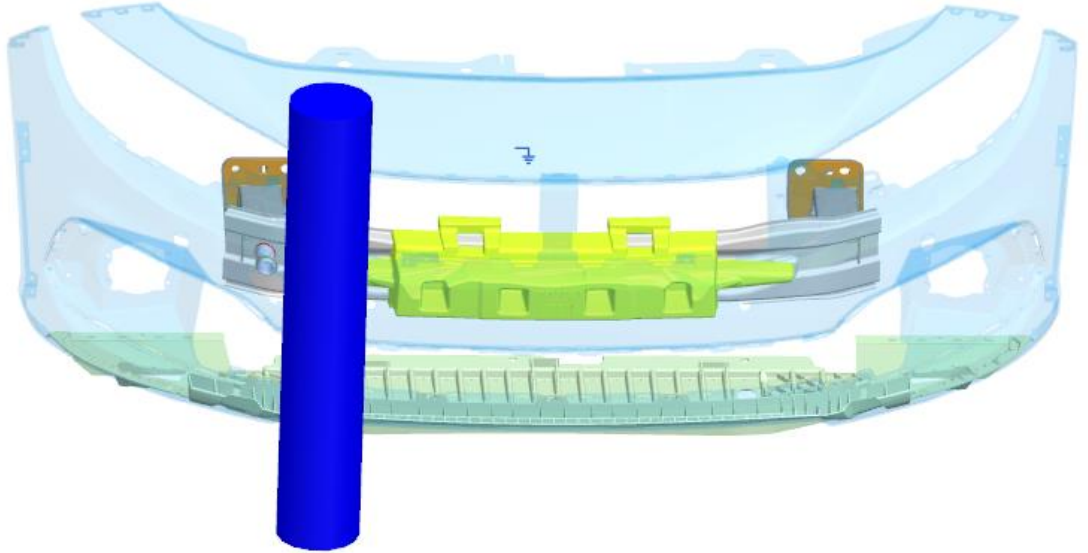
Yayayı simüle eden, farklı geometrili yapılar ile gerçekleştirilen ve çarpışma anında oluşan deformasyon ile açığa çıkan enerjini, çarpışmaya etkisinin tespiti için 2 farklı geometride, 2 farklı konumda yapı analize dahil edilmiştir. Ayrıca bu geometrilerin yoğunluk değişimi ile de bağlantısı ek olarak kurulmuştur. 2 farklı geometri kare ve silindirik yapıdaki yayanın bacaklarını simüle etmektedir. Bu yapılar literatürde ve TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. bünyesinde geçmiş çarpışma analizlerinde kullanılan yaya kilogramı ve bacak çapı verilerinden destekle çarpışma yönündeki maksimum kesit ölçüleri tespit edilerek, bu ölçü referans alınarak tasarlanmıştır. Analize katılan yaya kütlesi 75 kg ve bacak çapı 140 mm seçilmiştir. Tampon darbe emicinin ise çarpışma yönündeki ölçüsü 139.5 mm ile Y eksenindeki 798mm olan model kullanılmıştır.



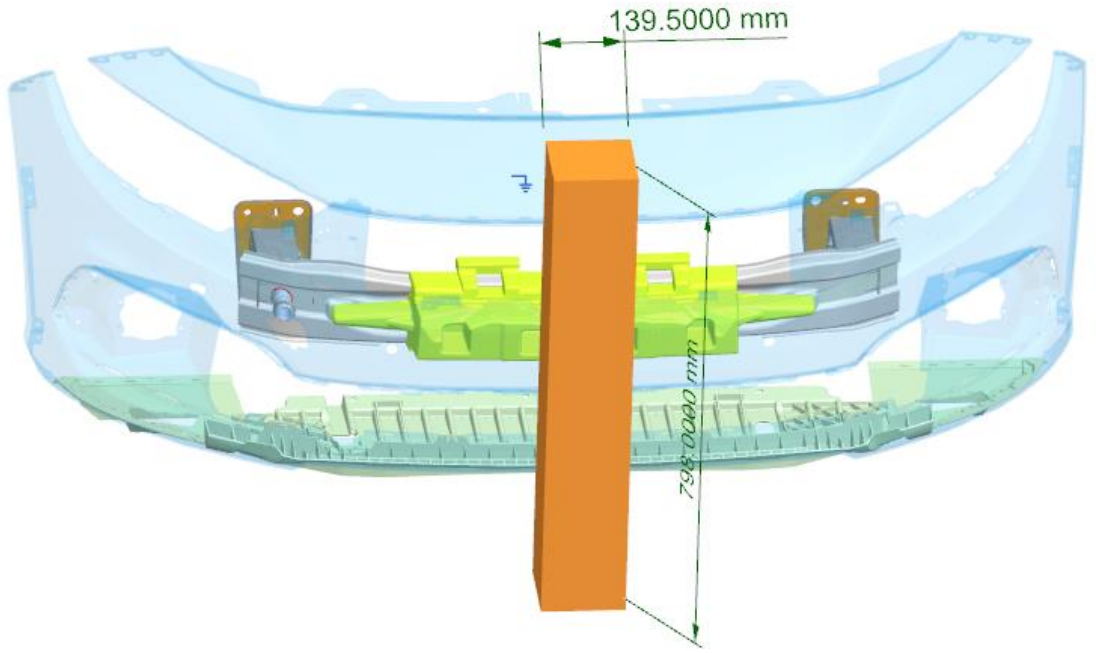
**Şekil 3.8.** Çarpışmaya Etki Eden Maksimum Kesitin Tespiti



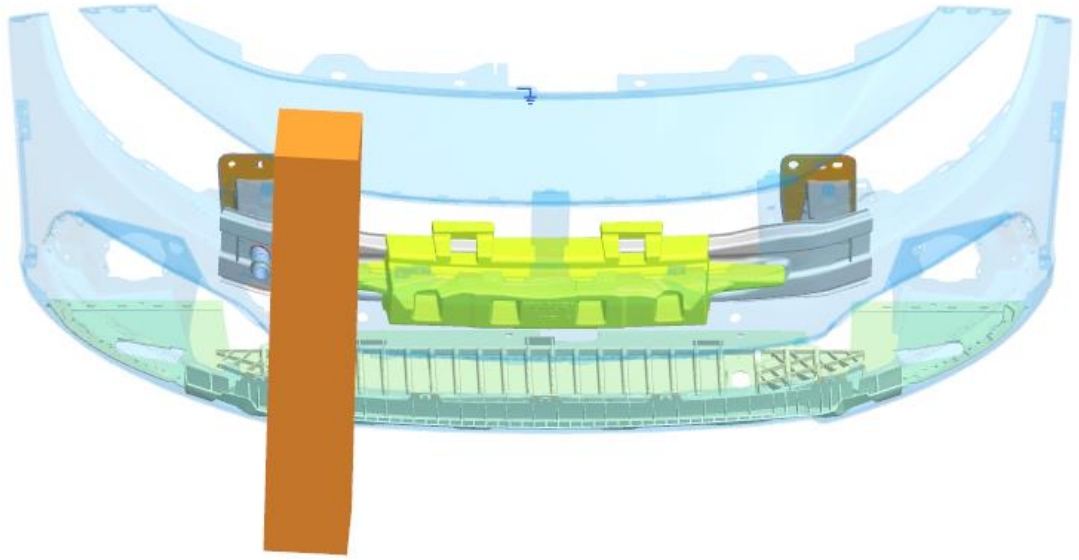
Şekil 3.9. Silindirik Geometrilili Yaya Modeli ve Ölçüleri, Konum 1 Görüntüsü



Şekil 3.10. Silindirik Geometrilili Yaya Modeli, Konum 2 Görüntüsü



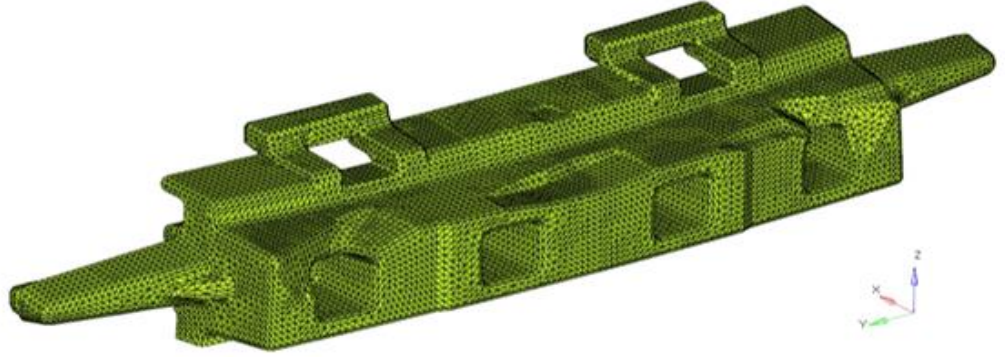
Şekil 3.11. Kare Geometrili Yaya Modeli ve Ölçüleri, , Konum 1 Görüntüsü



Şekil 3.12. Kare Geometrili Yaya Modeli, Konum 2 Görüntüsü

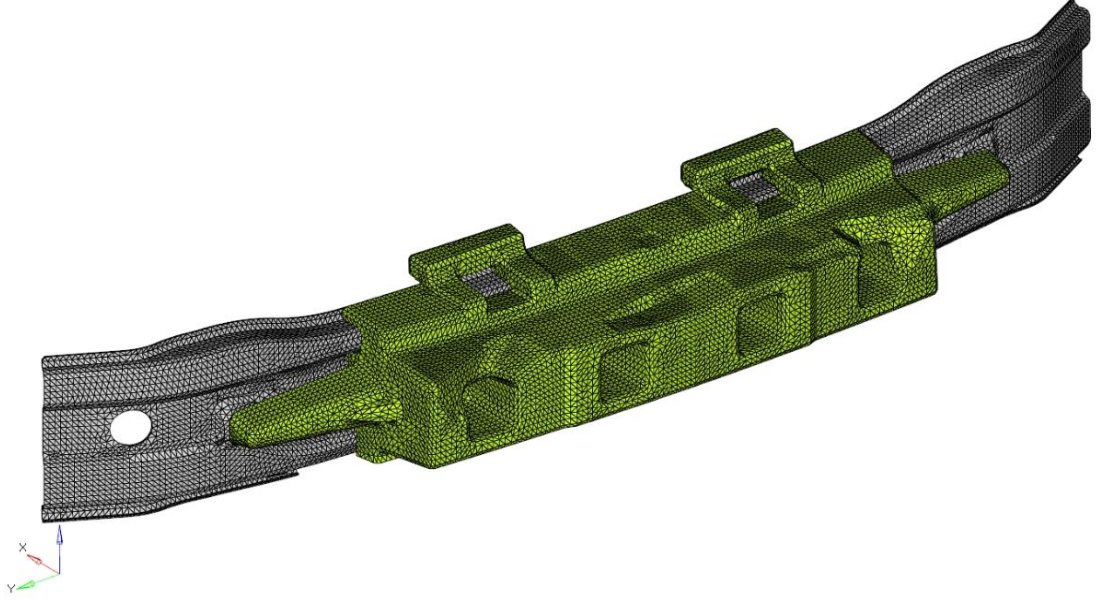
### 3.3.2. Ağ (Mesh) Yapısının Oluşturulması

Oluşturulan tüm modeller üzerine HYPERMESH 2017.3 versiyonu üzerinde detaylı mesh atılmıştır. Mesh atılırken gereksiz yüzey ve ayrıntılardan parçadan arındırılmıştır. Mesh elemanları 2-7 mm arasında olup, TRIA3 (üçgen eleman), QUAD4 (dörtgen eleman) elemanlardan faydalanılmıştır.



**Şekil 3.13.** Tampon Darbe Emici Ağ Yapısı

Mesh oluşturma işlemi için, 3D data HYPERMESH 2017.3 içerisine import edildikten sonra ana sekmelerden “Mesh” sekmesine gelerek içerisinde “Create” seçeneği seçilerek ilerlenmiştir. Öncelikle düzenlenen modelin tüm yüzeylerine “2D Auto Mesh” yapılır. Bu işlem tamamlandıktan sonra geometrinin içi “3D Mesh” ile doldurulur. Mesh kalitesi için model gereksiz yüzey, detaylardan arındırılmalıdır ve bu sayede gerçekleştirilecek analiz işlemi daha doğru çıktılar verir. Mesh oluşturma işlemi “model viewer” olarak isimlendirilen programın altında bulunan alandan yüzey için 2D ve parça için için 3D kutucukları seçilerek de ilerlenebilir.



**Şekil 3.14.** Çarpışma Kutusu & Darbe Emici Ağ Yapısı

Sadece çarpışma kutusu ve tampon darbe emicinin oluşturduğu model toplam eleman miktarı 129633 olmuştur.

Tampon darbe emici parçanın üzerinde bulunduğu çarpışma kutularının binek araç modelinin kompleksine, analize başlamadan önce bağlantıları oluşturulmak zorundadır. Tanımlanan bu bağlantı elemanları RBE2 (Rijit Body Element) bağlantı elemanı olarak isimlendirilmektedir. Bu elemanlar genelde analizin gerçekleşeceği, kuvvet uygulanan ya da parçaların bir diğer geometriye bağlandığı, sabitlendiği noktalardır.

Yapılan çalışmada tampon darbe emici ve çarpışma kutusu ayrı ayrı ağ yapısı oluşturularak programın alt yapısında bulunan hazır TOFAŞ binek araç modeli ile bağlantı elemanları aracılığı ile bağlanmıştır.

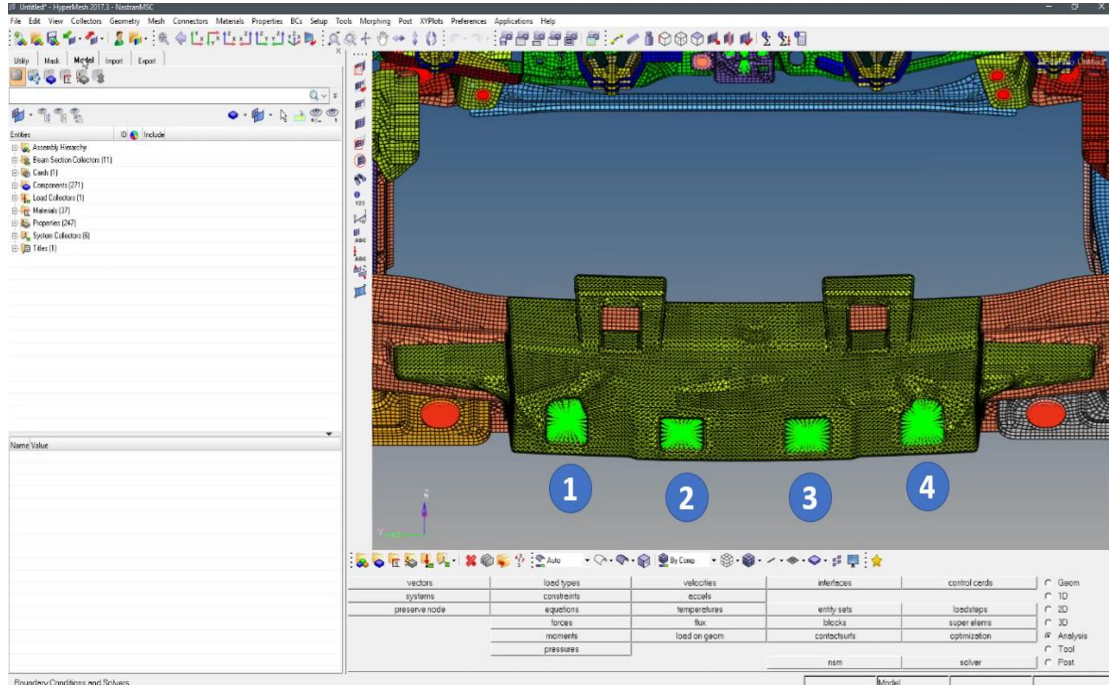


### 3.3.3. Analiz İşlemi

#### 3.3.3.1. Statik Analiz İşlemi

Öncelikle Hypermesh 2017 Nastran çözücüsü kullanılarak, farklı yoğunluklarda bulunan tampon darbe emicinin statik analizini yapabilmek için RBE2 elemanlar çarpışma kutusu üzerindeki bağlantı noktalarına ve darbe emicinin üzerinde bulunan yeşil ile işaretli 4 adet kare bölgelere atanmıştır. Bu 4 adet alt görselde belirtilen noktalara sabit 150N kuvvet uygulayıp parçaların yoğunluk değişimi karşısında rijitliğini görmek amaçlanmıştır. Atamalar tamamlandıktan sonra alt işlemler yapılarak sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Sonuç görme işlemi operatif işlemler Hypermesh 2017 programında bittikten sonra, Hyperview 2017 programında yapılmıştır. Program açıldıktan sonra \*OP2 uzantılı Hypermesh programından alınan analiz dosyası, program içerisine altta bulunan alan vasıtasıyla açılmış olup, “contour” komutuna basarak renklendirilmiş analiz çıktısı her bir durum için alınmıştır.

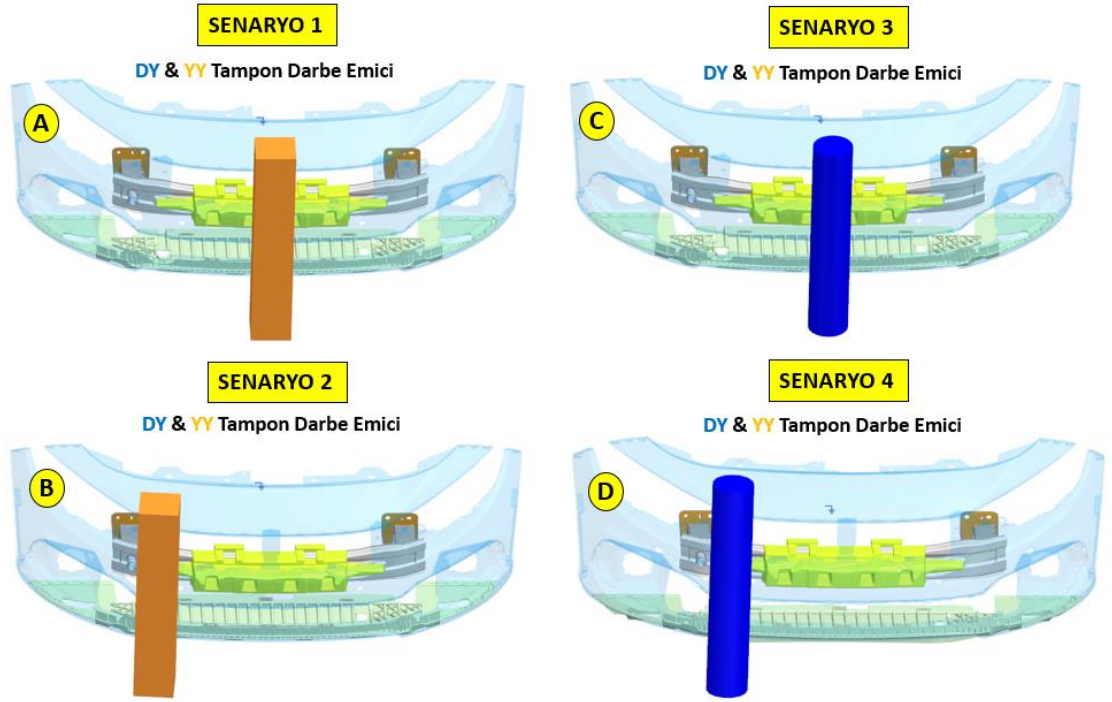


Şekil 3.15. Statik Analiz Kuvvet Değişimi İzlenen Noktalar (Yeşil)

Deneysel testlerde kullandığımız, üretilen numuneler ile aynı özellikte PP-E/AU 250 ve ve PP-E/AU 800 olarak 2 farklı yoğunluktaki tampon darbe emiciye yeşil ile belirtilen 4 noktaya göre kuvvet uygulanmış olup, kuvvet altında gösterdiği davranış analiz çıktıları alınmıştır. Sonuçlar bulgular bölümünde paylaşılacaktır. Bu işlem sadece deplasman durumunu görebilmek için ek olarak yapılmıştır.

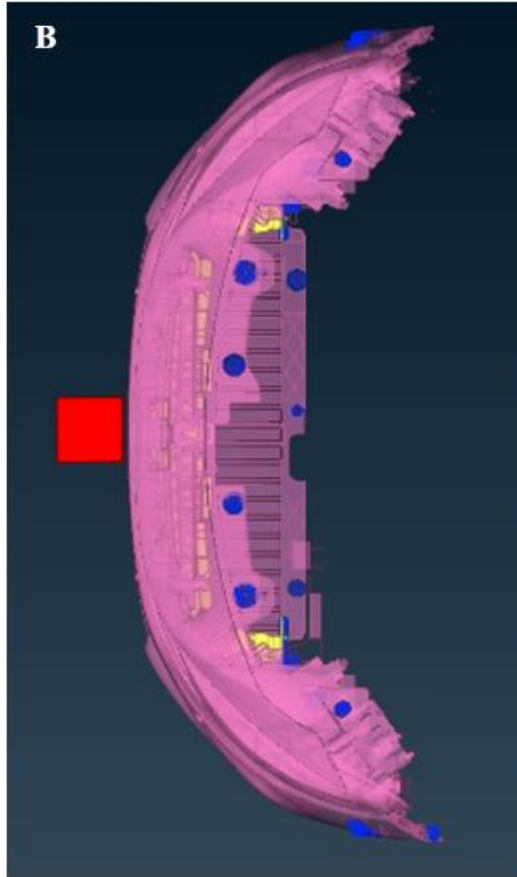
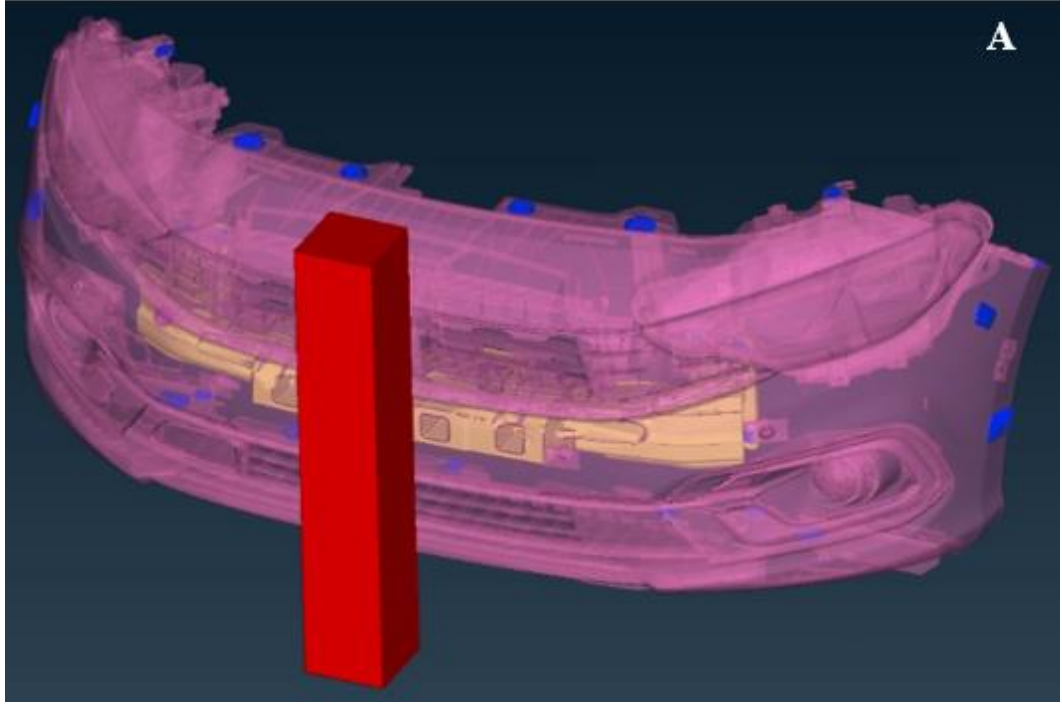
### **3.3.3.2. Farklı Geometrilili Yayayı Simüle Eden Yapılar İle 2 Farklı Yoğunluktaki Tampon Darbe Emicinin Çarpışma Performansının İncelenmesi**

Çarpışılan yaya geometrilerinin, çarpışma performansına etkisini tespit edebilmek için 4 farklı senaryo ve buna ek aynı geometriler ile olan çarpışmalarda tampon darbe emici yoğunluğunun etkisini ilave olarak görebilmek için DY ve YY yoğunluk için farklı de analiz çıktıları alınmıştır. Bu senaryolar kare geometrilili yaya için 2 farklı konum ve silindirik geometrilili yapı için 2 farklı konum ve bunların birbirleri ile kombinasyonlarını içermektedirler. Konum değişiminin etkisi yoğunluk sabit tutularak simülasyon çıktısı desteği ile alınmıştır. Yoğunluk değişiminin etkisi de konum sabit tutularak seçilen bir geometride incelenmiştir. Oluşturulan bu bariyerlerin ağırlık, malzeme, hız gibi değerleri sabit tutulmuştur. Oluşturulan, konum değişimini içeren 4 farklı senaryo ve simülasyonda alınacak DY ve YY kombinasyonları Şekil 3.16.' da paylaşılmıştır.



**Şekil 3.16.** 4 Farklı Senaryo (A-B-C-D-) ve 2 Farklı Yoğunluk ile Oluşturulan Çarpışma Modelleri

Hypermesh 2017 programı ile hazırlanan mesh atılmış tüm modeller Ansa V21 0.1 programında açılır. Ansa programı analiz öncesi bir “pre-process” programıdır. Bu program aracılığı ile bazı girdiler ana modeli oluşturan her bir parça için girilir. Örneğin yayayı simüle eden her bir kare ve silindirik yapı için ağırlığı 75 kg, çarpışma hızını ise 10 km/h ve malzeme olarak standart malzemelerden atanmıştır. Ayrıca çarpışma anındaki durumu net görebilmek için, çarpışma kutusunu ile tampon arasındaki bağlantıları tanımlamalar ile yapıların hareketi kısıtlanmıştır. Tamponun mavi ile işaretli her bir deliğine 3 boyutta ve 3 öteleme yönünde hareketini kısıtlayacak, “SPC” tanımlamaları atılmıştır. Çarpışma kutusu arkasına ise ikinci bir hareket kısıt sağlayan rijit duvar örülmüştür. Rijit duvarın yönü çarpışmaya ters yönde sabitlenmiş olup, -X yönünde hareketi kısıtlanmıştır.



Şekil 3.17. SPC Tanımlanan Noktalar (Tampon Önden (A) ve Üstten Görüntü (B))

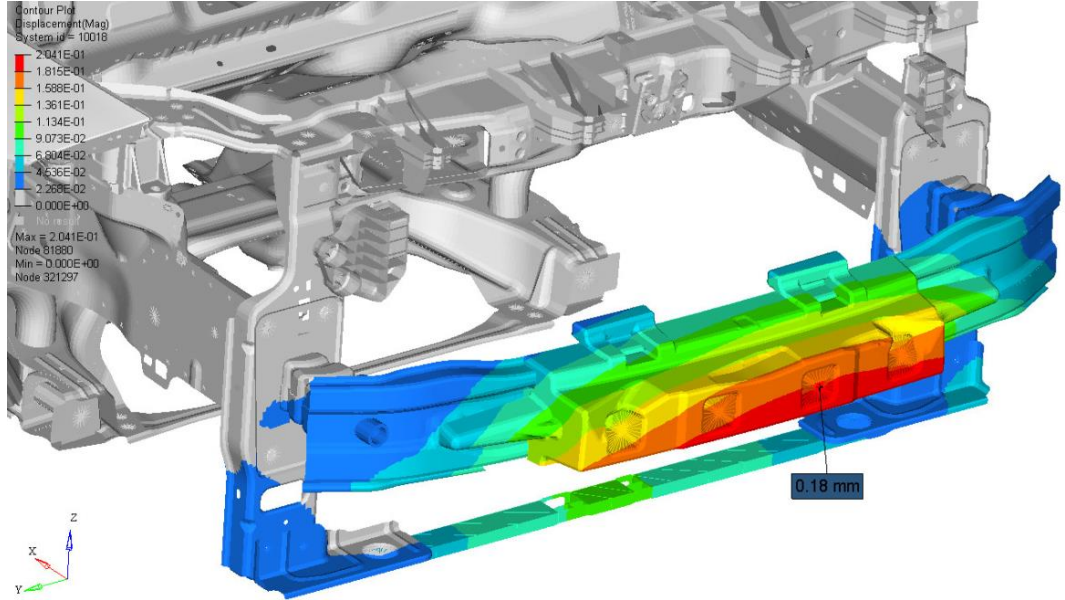
ANSA aracılığı ile hazırlanan modelin kurgusu, tüm modeli içeren “.key uzantılı” klavuz dosyaları aracılığı ile dışarıya aktarılır ve bu format sadece Notepad++ programında açılarak düzenlenebilir. Notepad ++ programında açılan klavuzda bulunan tüm girdiler kontrol edilerek, LS Dyna çözücüsünde çözdürülür. LS Dyna çözücüsü bir internet sayfası aracılığı ile açılır ve hazırlanan klavuz buraya yüklenerek çözülür ve çarpışma kurgusu alt planda klavuz önderliğinde çalışmaya başlar.

Çözücü işlemini tamamladıktan sonra çözüm dosyalarını da dışarıya aktarır. Aktarılan dosya tiplerinden analizde kullanılanlarından ikisi “d3plot” ve “binout” uzantılı dosyalardır. Bu çözüm dosyalarının ana dosya dosyaları “d3plot” ve “binout0000” olarak isimlendirilir. Dosyalar zaman dilimine göre adetleri artar. Ancak referans ana dosyayı almak analizi tümüyle görmeyi sağlar. “d3plot” dosyasında çarpışmanın zamana bağlı durumunu çarpışma boyunca veya seçilen alt dosyalarında herhangi bir zaman dilimini görmek mümkündür. Analiz steplerine ve çarpışma davranışına “d3plot” dosyası “post process” programı olan Meta V21 0.1 içinde açılarak bakılmaktadır. “binout0000” dosyası ise Hyperview programında açılarak çarpışma boyunca veya yine herhangi bir zamanda “Yer Değiştirme - Zaman, Tepki Kuvveti - Zaman, Kuvvet – Yer Değiştirme davranışlarının grafik çıktılarını ayrı ayrı almak mümkün olur. Bu adımlara göre hazırlanmış çarpışma analizi çıktıları, bulgular bölümünde paylaşılacaktır.

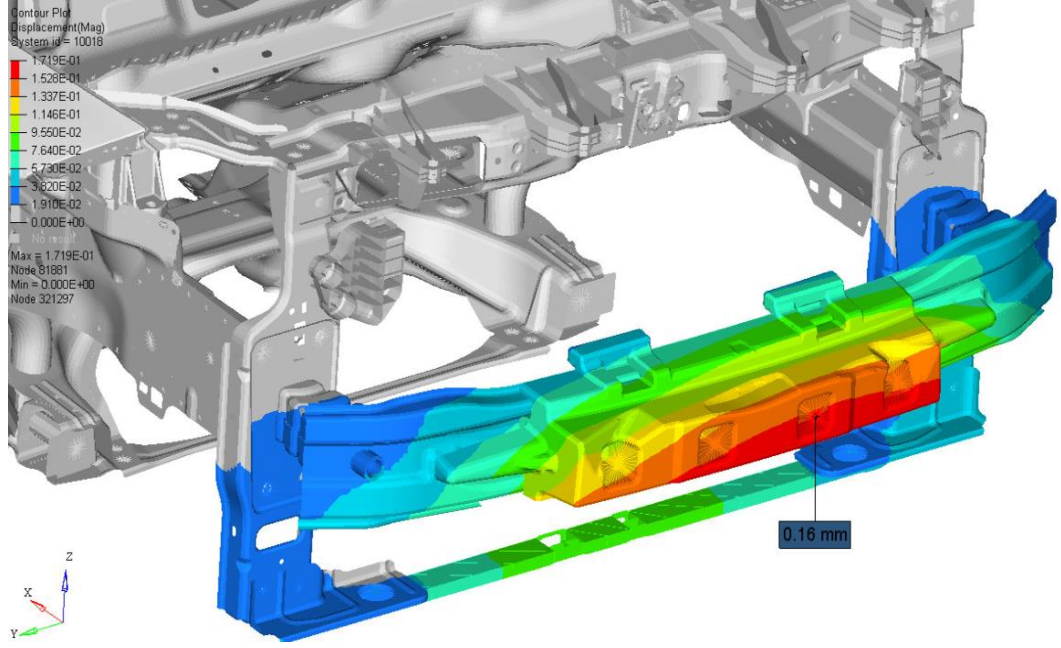
## 4. BULGULAR

### 4.1. Hypermesh Statik Analiz Çıktısı

Bir üst bölümde de bahsedildiği gibi, ilk aşama sayısal analiz çıktısı Hypermesh 2017 Nastran çözücüsü kullanılarak oluşturulmuştur. PP-E/AU 250 ve ve PP-E/AU 800 gibi farklı yoğunluklarda bulunan tampon darbe emicinin statik analizi yapılmıştır. Parçaların rijitliklerini sayısal analiz desteği ile görmek amaçlanmıştır. Burada sadece deplasmanlarındaki farkı göstermek amaçlanmıştır. Çıktılarda sadece 3. Noktadaki durum paylaşılacaktır. Sonuçlar Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de paylaşılmıştır.



Şekil 4.1. PP-E/AU 250 Düşük Yoğunluklu Malzemenin 3. Noktadaki Durumu



**Şekil 4.2.** PP-E/AU 800 Yüksek Yoğunluklu Malzemenin 3. Noktadaki Durumu

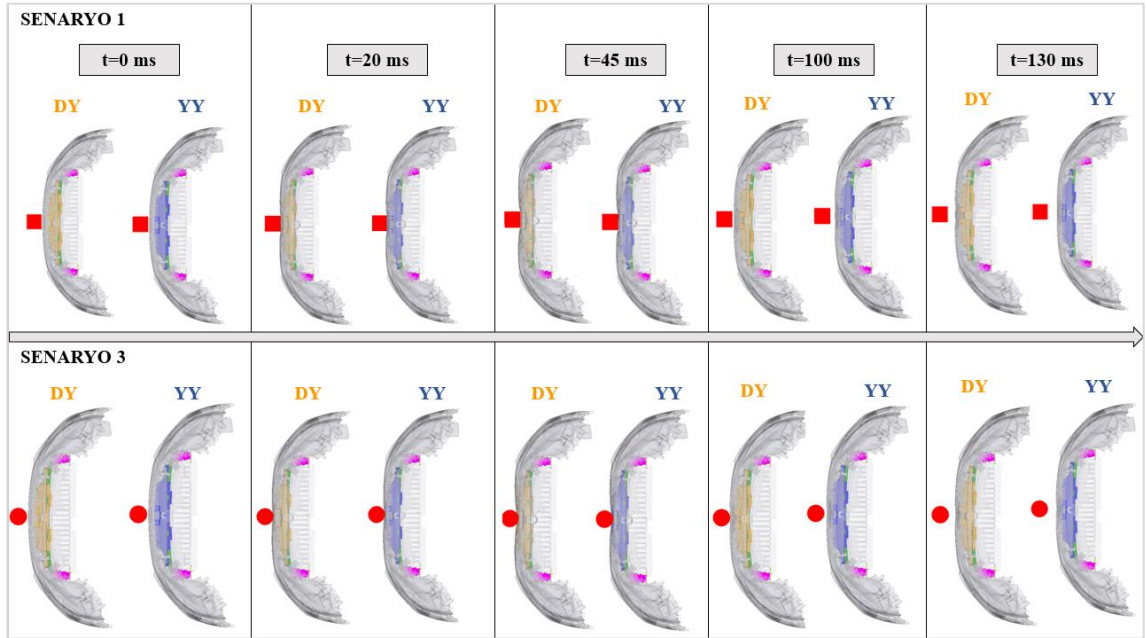
Statik analiz çıktısından da anlaşıldığı üzere, düşük yoğunluklu parça daha fazla yer değişimi yaparken, yüksek yoğunluklu parçanın daha rijit olduğu, sabit kuvvet karşısında gösterdiği yer değiştirme miktarlarından anlaşılmaktadır. Bu yer değiştirme miktarı uygulanan kuvvete bağlı olarak, kalıcı deformasyon olana kadar doğru orantılı bir şekilde artacaktır.

#### **4.2. 2 Farklı Yoğunluktaki Tampon Darbe Emicinin, Yayayı Simüle Eden Kare ve Silindirik Yapılar İle Çarpışma Durumunun Analizi**

Bu bölümde statik analiz çıktısına ek olarak, “LS Dyna” çözücüsü ile de kullanılan 2 farklı yoğunluktaki PP-E/AU 250 ve PP-E/AU 800 tampon darbe emici numunelerinin silindirik ve kare prizma yayayı simüle eden yapılar ile gerçekleştirdiği çarpışma performansları incelenmiştir. Her bir çarpışma senaryosunda, yayayı simüle eden silindirik ve kare yapıların malzemesi aynı tutulmuş ve kütlesi 75 kg olup her bir çarpışma için sabittir. Her bir çarpışma 10km/h ile yapılmış olup, toplam çarpışma süresi 130 ms ‘de incelenmiştir. Yayayı simüle eden kare ve silindirik yapı için tamponun orta noktasından ve çeyrek diliminden olmak üzere 2 farklı konumdaki yayanın, yüksek ve

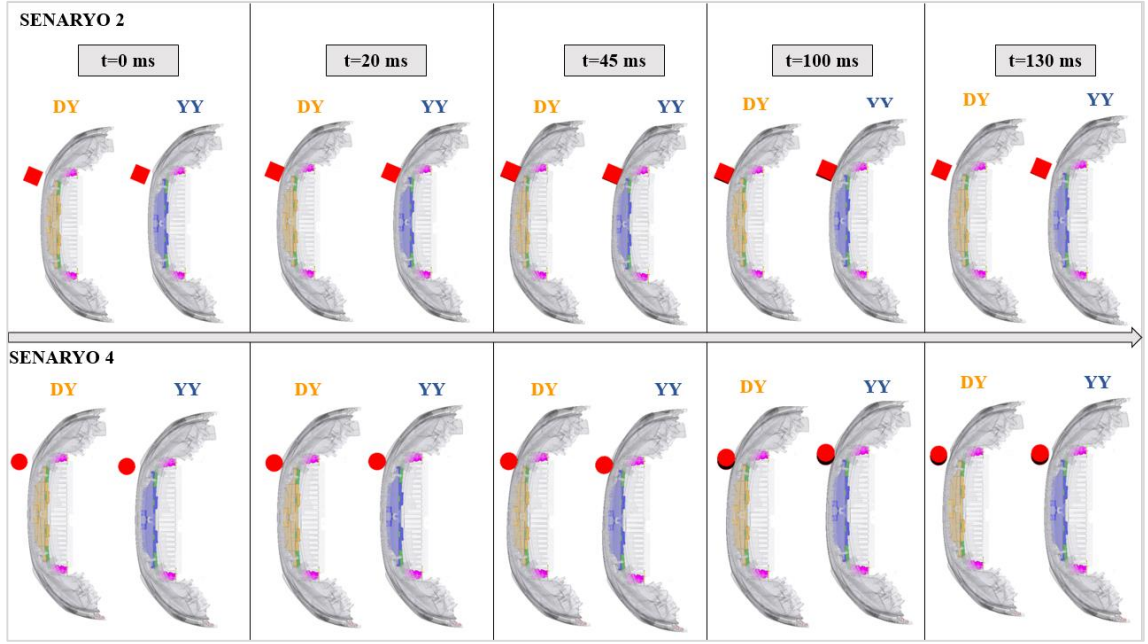
düşük yoğunluklu tampon darbe emici ile yaptığı çarpışma simüle edilmiştir. İlk olarak kare yapıdaki yaya ile incelemeye başlanacak olup sonrasında silindirik yapı ile devam edilecektir. Ek olarak bazı kombinasyonlar da incelenecektir. Kare yapı ile gerçekleşen tamponun orta noktasından ve çeyrek diliminden gerçekleşen çarpışma için durumları ayrı senaryolarda incelenmiştir. Ayrıca simülasyonlarda kullanılan düşük yoğunluklu (DY) tampon darbe emici turuncu, yüksek yoğunluklu (YY) darbe emici ise mavi olarak seçilmiştir. Kare yapıdaki yaya ile tamponun orta noktasından gerçekleşen çarpışma “Senaryo 1”, çeyrek diliminden gerçekleşen ise “Senaryo 2 olarak isimlendirilmiştir.

Silindirik yapıdaki yayayı simüle eden yapı ile gerçekleşen çarpışma simülasyonu da devamında paylaşılacaktır. Silindirik yapıdaki yaya ile tamponun orta noktasından gerçekleşen çarpışma “Senaryo 3”, çeyrek diliminden gerçekleşen ise “Senaryo 4” olarak incelenmiştir. Öncelikle tamponun tam orta noktasından gerçekleşen çarpışmalardaki, silindir ve kare geometrili yayaların davranışı paylaşılacaktır (Şekil 4.3.). Sonra ise çeyrekten gerçekleşecek çarpışma simülasyonu paylaşılacaktır (Şekil 4.4.). Düşük yoğunluk ve yüksek yoğunlukta davranışları da yan yana birlikte verilecektir.



**Şekil 4.3.** Tamponun Orta Noktasından Gerçekleşen, Kare Yaya ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın  $t=135$  ms Boyunca Durumu





**Şekil 4.4.** Tamponun Çeyreğinden Gerçekleşen, Kare Yaya ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın  $t=135$  ms Boyunca Durumu

Şekil 4.4.'deki senaryolara ek, 4 kombinasyon da simülasyon desteği ile yaratılmıştır. “Kombinasyon 1” ve “Kombinasyon 2” olarak tamponun orta noktasından ve çeyrek diliminden gerçekleşen çarpışmanın etkisini daha iyi görebilmek için yaya yapısı sabit bir geometri ve tampon darbe emici yoğunluğu sabit yoğunluk seçilerek tek değişken konum olması sağlanmıştır. Tampon darbe emici (sönümleyici) yoğunluğu DY olarak sabit alınmıştır. Bu kurgu kare ve silindirik geometrili yayalar için tekrarlanmıştır. Kombinasyon 1 kare, kombinasyon 2 de silindirik geometrili yaya ile gerçekleşen çarpışmalar ele alınmıştır.

Son olarak “Kombinasyon 3” ve “Kombinasyon 4” olarak ise, konum ve tampon darbe emicinin yoğunluğu sabit tutularak, yaya geometrisinin etkisi incelenmiştir. Tamponun orta noktasından gerçekleşen çarpışmalarda, tampon darbe emici yoğunluğu DY olarak sabit seçilerek, farklı silindir ve kare geometrili yayalar ile gerçekleşen çarpışma “Kombinasyon 3”, tamponun çeyreğinden gerçekleşen çarpışma ki kıyaslaması ise “Kombinasyon 4” olarak kurgulanmıştır. Alt bölümde sırayla simülasyon çıktıları paylaşılacaktır.

“Senaryo 1” ve “Senaryo 3” analiz görsellerinden anlaşıldığı üzere, konum ve yaya geometrisi sabit tutulduğunda YY tampon darbe emici ile gerçekleşen çarpışma, DY tampon darbe emici ile gerçekleşen çarpışmaya göre daha fazla reaksiyon kuvveti oluşturduğu, DY tampon darbe emicinin elastik şekil değişimine bir yay gibi devam ederken, YY tampon darbe emicinin çarpışmaya daha hızlı reaksiyon oluşturduğu anlaşılmaktadır. Tamponun çeyreğinden gerçekleşen çarpmanın etkisi ise “Senaryo 2” ve “Senaryo 4” deki etki ise görsellerden tam net anlaşılmamıştır. Bu sebeple tamponun tam ortasından ve çeyrek diliminden gerçekleşen çarpışmanın etkisini daha net anlayabilmek için “Kombinasyon 1” ve “Kombinasyon 2” oluşturulmuştur. Tampon darbe emicinin yoğunluğu ve çarpışma yaşanan yaya geometrisi sabit tutularak, tamponun tam ortasından ve çeyrek diliminden gerçekleşen çarpışmanın etkisi kare ve silindirik yayalar için ayrı ayrı incelenmiştir. Tamponun tam ortasından gerçekleşen çarpışmada yaya tipinden bağımsız olarak, tampon darbe emicinin tasarımı sebebiyle tamponun çeyreğinden gerçekleşen çarpışmaya göre, tampon ile darbe emici beraber enerji emip reaksiyon kuvveti oluşturmuştur. Çeyrekten gerçekleşen çarpışmada ise tampon darbe emici bulunmadığı için reaksiyon kuvveti az, emildiği yani deformasyon yaşanan yerde daha fazla yer değiştirme olmuştur. Tamponun direkt rol aldığı görülmüştür.

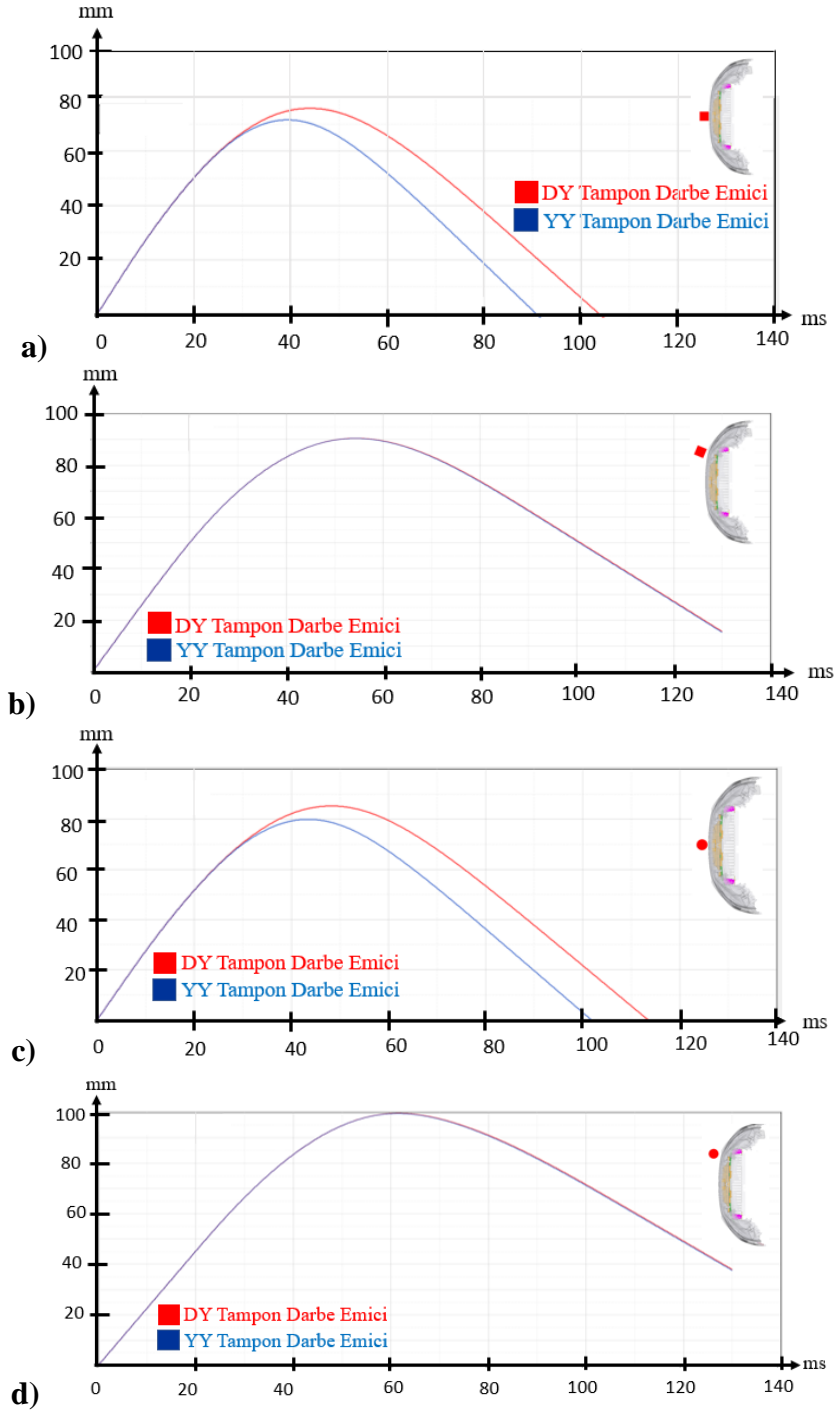
“Kombinasyon 3” ve “Kombinasyon 4” de ise, yaya geometrisinin etkisinin daha net anlaşılabilmesi için konum ve tampon darbe emici yoğunluğu sabit tutularak, yaya geometrisinin etkisi incelenmiştir. “Kombinasyon 3” de tamponun orta konumunda yaya konumu, “Kombinasyon 4” de ise tamponun çeyreğindeki konumu sabit tutularak çarpışma analiz edilmiştir. Çarpışma çıktılarına bakıldığında; silindirik yapı ile gerçekleşen çarpışmanın tampon, tampon darbe emici ile temasta bulunan yüzey alanı, kare prizma geometrili yapıdan daha az olduğu için çarpışma sebebi ile oluşan karşı reaksiyon yani tepki kuvveti de daha az olduğu görülmüştür. Kare geometrili yayada ise tepki kuvveti fazla olması sebebiyle daha fazla reaksiyon kuvveti aldığı için, daha az yer değiştirme yaptığı analizlerden görülmektedir. Bu simülasyon çıktıları, bir sonraki bölümde her bir senaryoya ait, “Yer Değiştirme – Zaman”, “Reaksiyon Kuvveti – Zaman”, “Kuvvet – Yer Değiştirme (Enerji)” grafik çıktıları ile desteklenecektir.

#### 4.2.1. Sonuçların Karşılaştırılması

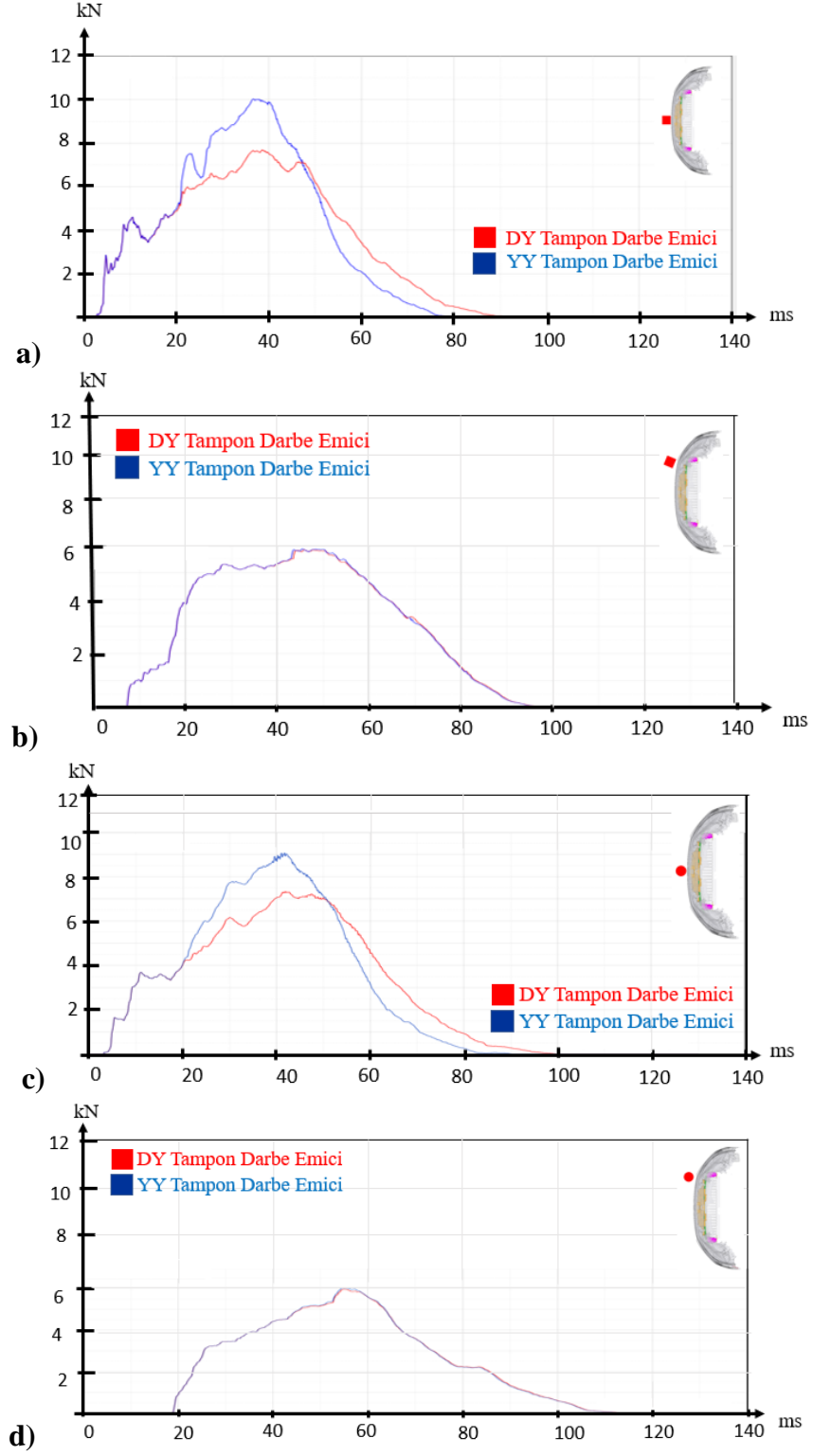
Bu bölümde 4 farklı senaryo ve bu senaryoların simülasyon desteği ile oluşturulan kombinasyonlarının çıktıları grafiklerle desteklenecektir. Tampon darbe emicinin yoğunluk değişimi, çarpışma konumu, yaya geometrisinin etkisi diğer değişkenler sabit tutularak incelenecektir. Her durum için de ayrı ayrı “Yer Değiştirme – Zaman”, “Reaksiyon Kuvveti – Zaman” ve “Kuvvet – Yer Değiştirme (Enerji)” çıktıları paylaşılacaktır. Sonuçlar tartışılacaktır.

Alt grafiklerde yer değiştirme birimi milimetre (mm), kuvvet birimi kilonewton (kN), enerji birimi joule (kJ)’dür. Simülasyon çıktılarında ve görsellerinde yayanın tamponu terk ettiği durumlar da incelenmiş olup, grafiklerde ise o ana kadarki kısım incelenecektir.

Tampon darbe emicinin yoğunluğunun etkisini incelediğimizde; YY tampon darbe emici ile gerçekleşen çarpışma incelendiğinde çarpışmanın incelendiği nokta, YY sebepli rijit yapıda olduğu için daha az bir yer değiştirme yaşamış olup, daha fazla bir reaksiyon tepki kuvveti oluşturmuştur. Oluşan enerji sönmüleme miktarı, yüksek reaksiyon kuvveti sebebiyle daha fazla olmuştur. Düşük yoğunluklu malzemede yukarıda bahsedilenin tam tersi şekilde olduğu görülmektedir. Bu aşamada önemli olan şey tampon darbe emici yoğunluğu seçilirken; gövdeye iletilen reaksiyon yani tepki kuvveti ile yer değiştirme arasındaki dengeyi iyi sağlayan bir malzeme seçmektir. Bu nedenle otomobil segmenti ve ne gibi bir çarpışma performansı beklendiği de önem kazanmaktadır. Üretilcek, geliştirilecek otomobilden beklenen performans değerleri, otomobil firmaları tarafından belirlenir ve malzeme seçiminde gerçekleştirilen çalışma, simülasyon çıktıları bu değerler ile kıyaslanarak yakalanmaya çalışılır. Beklenen kritere göre arge çalışmaları yapılmalıdır. Çarpışma simülasyonu sonuçları eğer bir performans kriteri var ise iyi veya kötü şeklinde kıyaslanabilir. O sebeple bu tez kapsamında alınan çıktıları kendi içinde kıyaslamak ve değerlendirmek daha doğru olacaktır. Değerlendirmelerde kullanılan simülasyon çıktıları Şekil 4.5., Şekil 4.6., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.’ de paylaşılmıştır.

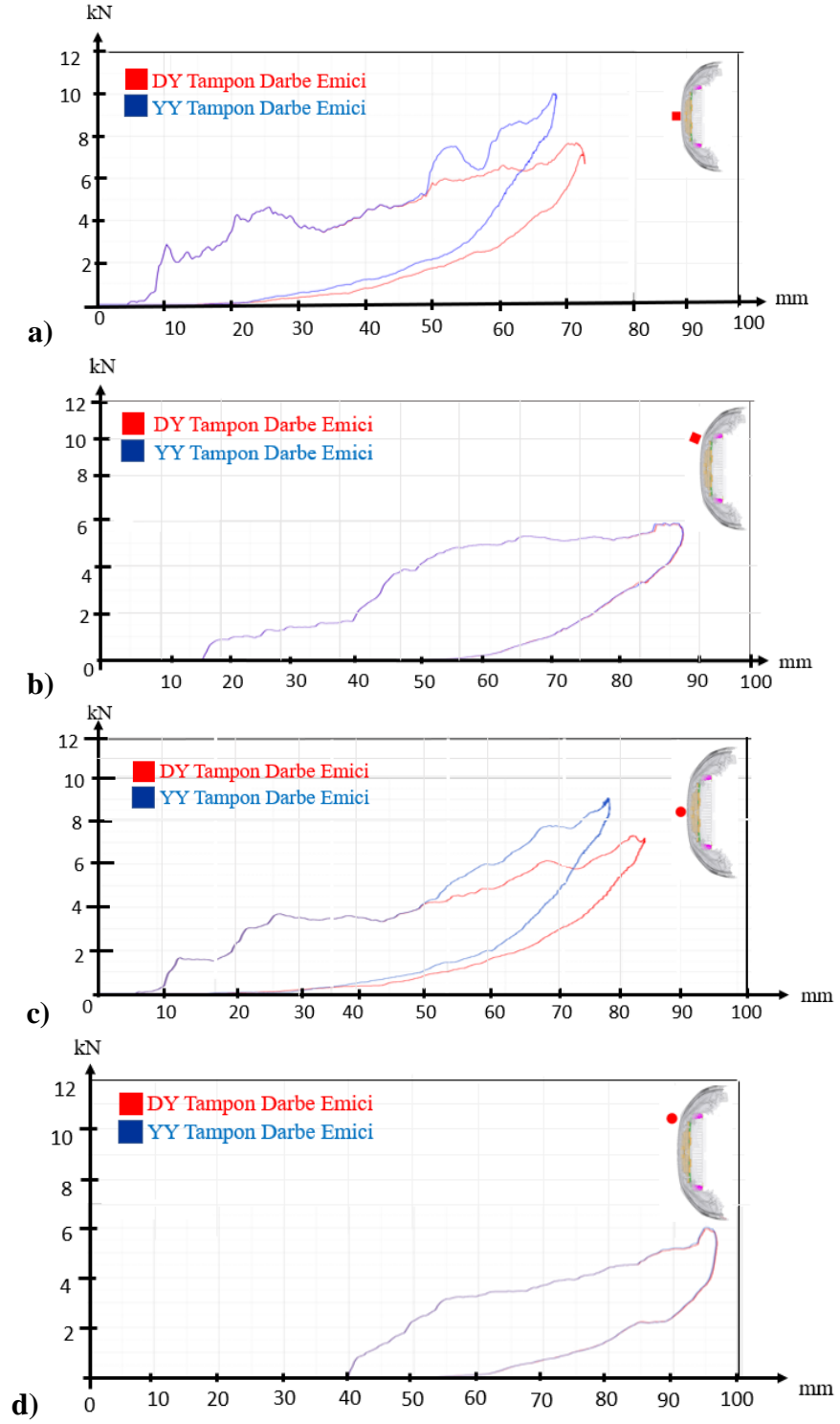


**Şekil 4.5.** Deplasman-Zaman Eğrileri Sırasıyla (Tampon Üzerindeki Bir Noktadan Ölçülen Yer Değiştirme). a.) Senaryo 1 (DY ve YY), b.) Senaryo 2 (DY ve YY), c.) Senaryo 3 (DY ve YY), d.) Senaryo 4 (DY ve YY).



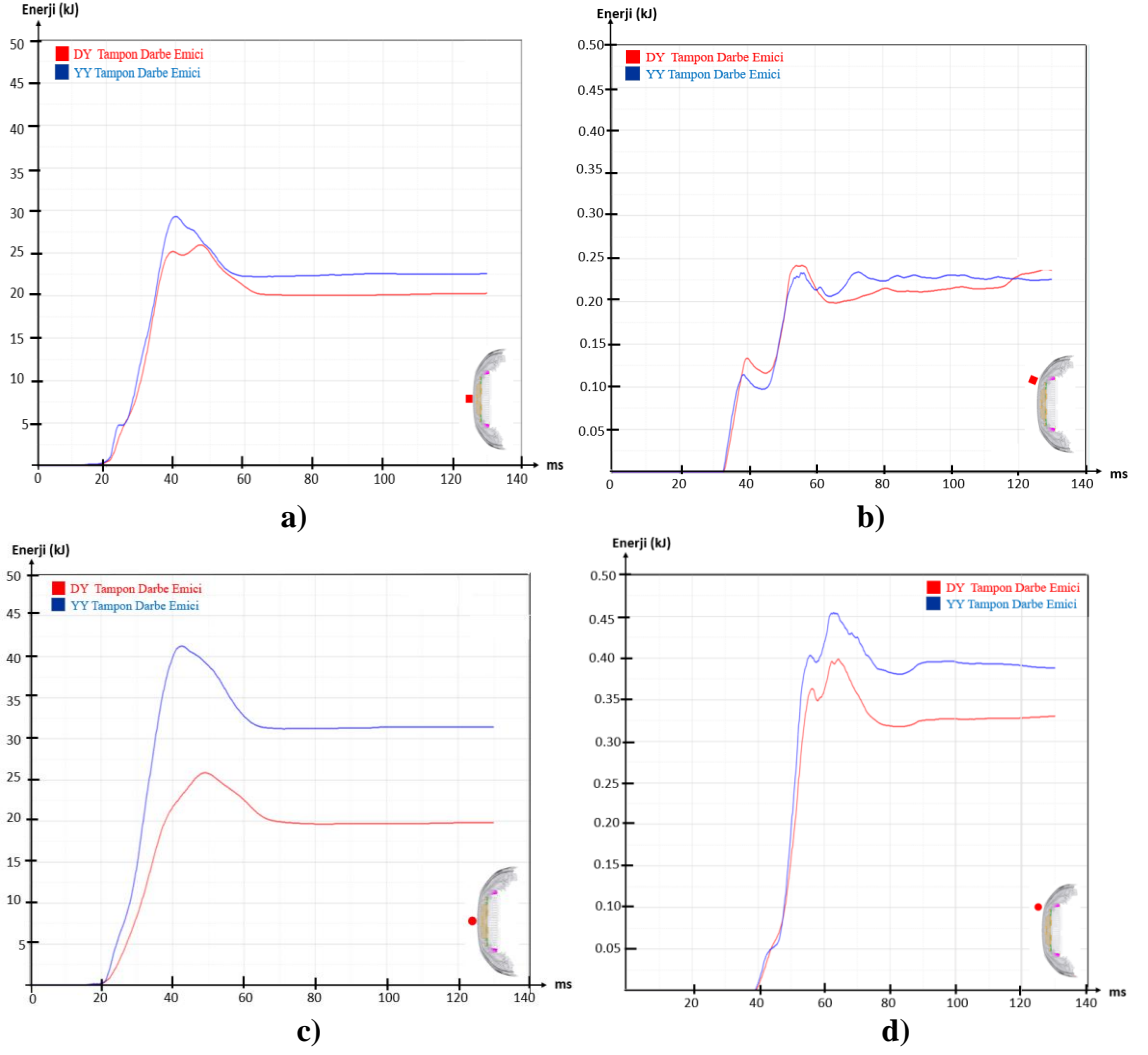
**Şekil 4.6.** Kuvvet-Zaman Eğrileri Sırasıyla (Tampon Üzerindeki Bir Noktadan Ölçülen Reaksiyon Kuvveti). a.) Senaryo 1 (DY ve YY), b.) Senaryo 2 (DY ve YY), c.) Senaryo 3 (DY ve YY), d.) Senaryo 4 (DY ve YY).

a)



**Şekil 4.7.** Kuvvet-Deplasman Eğrileri Sırasıyla. (Tampon Üzerindeki Bir Noktadan Ölçülen) a.) Senaryo 1 (DY ve YY), b.) Senaryo 2 (DY ve YY), c.) Senaryo 3 (DY ve YY), d.) Senaryo 4 (DY ve YY).

a)

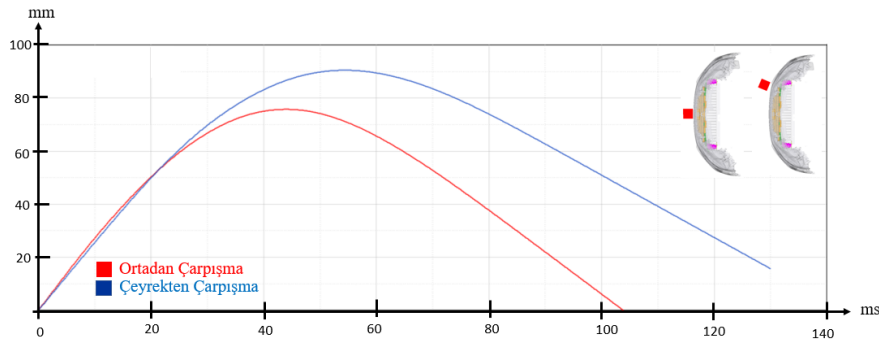


**Şekil 4.8.** Sönümlenen Enerji- Zaman Eğrileri Sırasıyla. (Darbe Emici Üzerindeki Bir Noktadan Ölçülen) a.) Senaryo 1 (DY ve YY), b.) Senaryo 2 (DY ve YY), c.) Senaryo 3 (DY ve YY), d.) Senaryo 4 (DY ve YY).

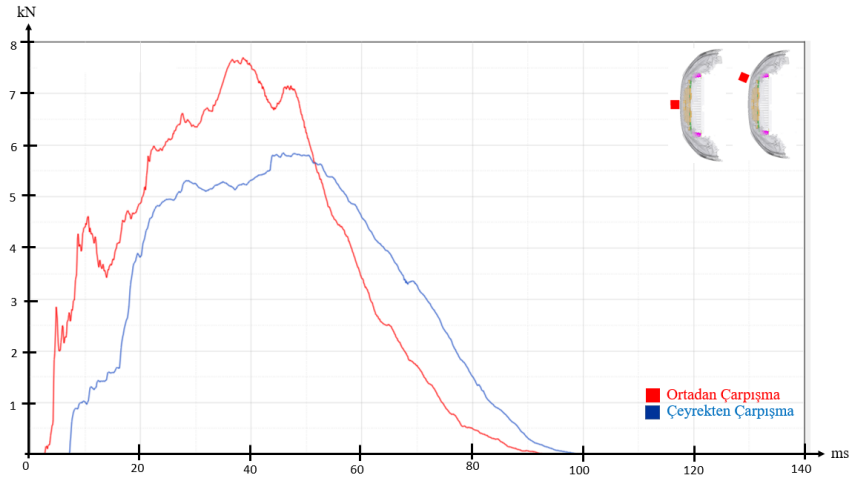
Çarpışma konumunun ve geometrinin çarpışma performansına etkisi ise senaryolar içinden seçilen bazı ilave kombinasyon ile açıklanabilir. Konum etkisi için kare geometrilili yaya ile ortadan ve çeyrekten gerçekleştirilen çarpışma, geometri etkisi için de tamponun orta noktasından kare ve silindirik yayalar ile gerçekleştirilen çarpışma çıktıları paylaşılacaktır.

Konum etkisi için, çarpışma konumu değişken olarak incelenmiş, diğer parametrelerden olan tampon darbe emici yoğunluğu ve yaya tipi sabit tutulmuştur. Orta noktada

gerçekleşen yaya araç çarpışmalarında tampon darbe sönümleyici aktif olarak tamponla birlikte çarpışmada rol oynadığından yer değiştirme az, rijit yapısı sebebiyle karşı reaksiyon kuvveti fazla olmaktadır. Tampon darbe emici çarpışmaya daha aktif katıldığında enerji, çeyrekten gerçekleşen çarpışmaya göre daha iyi sönümlenmektedir. Bu sebeple tamponun ortasından gerçekleşen çarpışmada enerji değişimi, sönümlenen enerji çeyrekten gerçekleşen çarpışmaya göre daha yüksektir. Tamponun çeyreğinden gerçekleşen çarpışmada ise tampon darbe sönümleyicinin tasarımı sebebiyle, çarpışmaya katılamamakta ve geri planda kalmaktadır. Bu sebeple çeyrekten gerçekleşen çarpışmada, çarpışma gerçekleşen noktadaki enerji iyi sönümlenmemektedir. Oluşan enerji değişimi az olmaktadır, daha az enerji sönümlenmektedir. Enerji grafiği ile de bu durum desteklenmektedir. Şekil 4.9., Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.' de çıktıları paylaşılmıştır. Kare geometri ile gerçekleşen çarpışma referans alınmıştır.

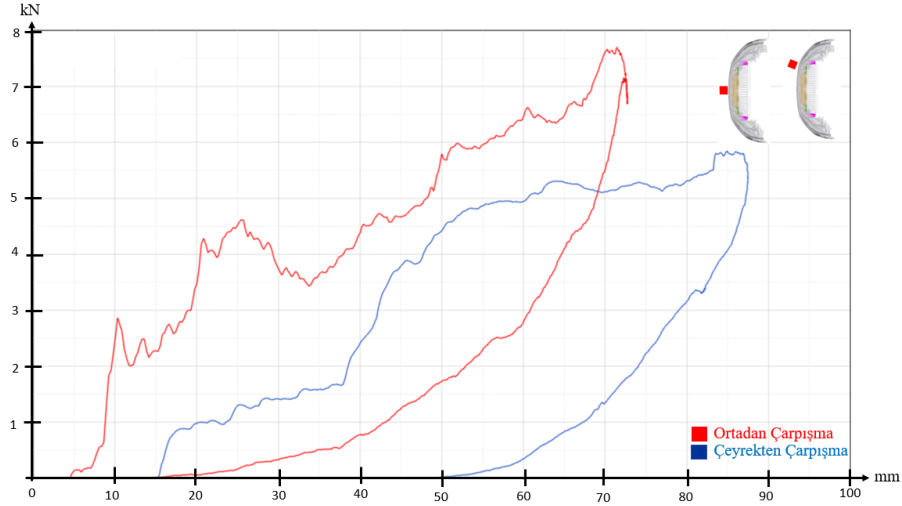


**Şekil 4.9.** Sabit Yoğunlukta ve Geometride, Tamponun Ortasından ve Çeyreğinden Gerçekleşen Çarpışmanın Yer Değiştirme-Zaman Eğrileri



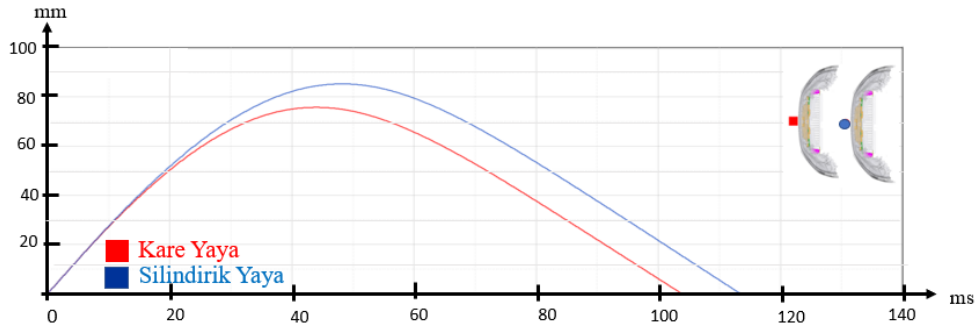
**Şekil 4.10.** Sabit Yoğunlukta ve Geometride, Tamponun Ortasından ve Çeyreğinden Gerçekleşen Çarpışmanın Reaksiyon Kuvvet-Zaman Eğrileri



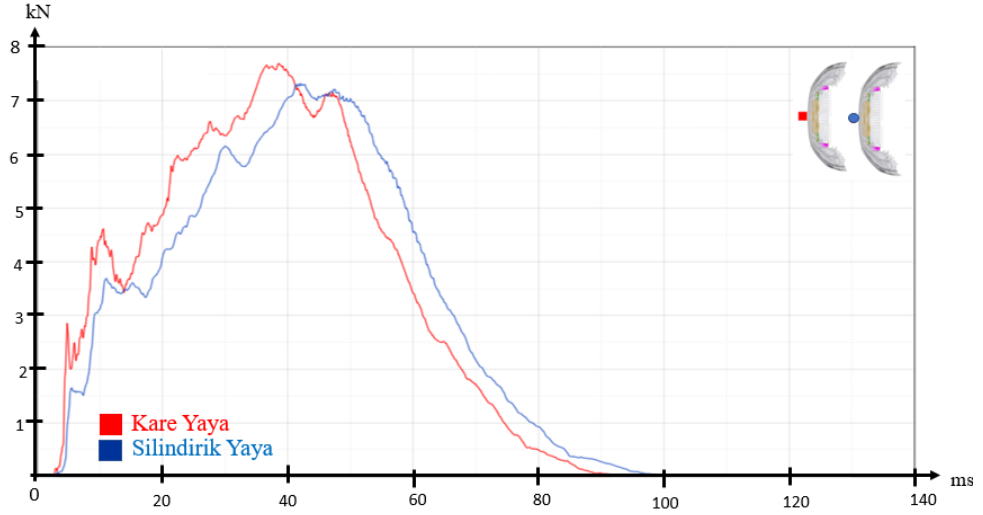


**Şekil 4.11.** Sabit Yoğunlukta ve Geometride, Tamponun Ortasından ve Çeyreğinden Gerçekleşen Çarpışmanın Kuvvet-Yer Değiştirme (Enerji) Eğrileri

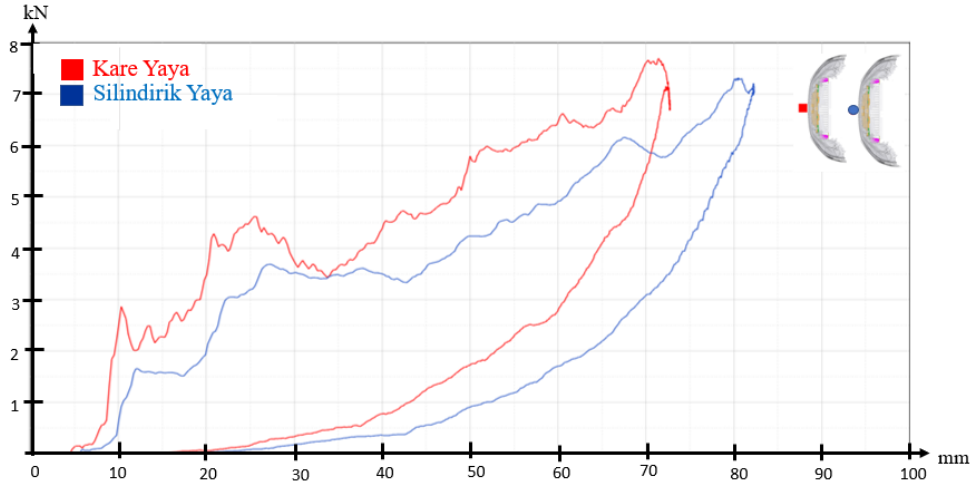
Yaya geometrisinin etkisini incelemek için tampon darbe emicinin yoğunluğu ve çarpışma konumunu sabit tutulması daha doğru bir kıyaslama yapmamıza sebep olacaktır. Konumlar kendi içinde sabit tutularak kare ve silindirik yapı ayrı ayrı kombinasyonlar ile incelenmiştir. Kare yaya, bacak ile gerçekleşen çarpışmada kare yapının silindire göre çarpışmaya katılan yüzey alanı büyük olduğu için silindirik bacağa göre daha fazla reaksiyon kuvveti ile karşılaşmaktadır. Yer değiştirme açısından bakıldığında da yüzey alanı ve bacağa karşı oluşan reaksiyon kuvveti arttığı için yer değiştirme miktarı silindirik yapıya göre daha azdır. Ayrıca reaksiyon kuvvetinin büyüklüğü sebebiyle, kare yapı ile gerçekleşen çarpışmada enerji değişimi, sönümle kapasitesi silindire göre daha fazla olmaktadır. Şekil 4.12., Şekil 4.13. ve Şekil 4.14' de çıktılar paylaşılmıştır. Ortadan gerçekleşen çarpışma referans alınmıştır.



**Şekil 4.12.** Sabit Yoğunlukta ve Sabit Konumda, Kare ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın Yer Değiştirme-Zaman Eğrisi



**Şekil 4.13.** Sabit Yoğunlukta ve Sabit Konumda, Kare ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın Kuvvet-Zaman Eğrisi



**Şekil 4.14.** Sabit Yoğunlukta ve Sabit Konumda, Kare ve Silindirik Yaya ile Çarpışmanın Kuvvet-Zaman Eğrisi

## 5. SONUÇ (TARTIŞMA ve SONUÇ)

Bu çalışmada otomobil tamponlarında kullanılan, tampon darbe emici malzemenin yoğunluk değişiminde gösterdiği davranış fiziksel ve sayısal analizlerle incelenmiştir. Bu çalışmalara ek bir de çarpışmanın konumu ve yaya, bacak geometrisinin etkisi ile olan kombinasyonları sayısal analizler ile desteklenmiştir.

İlk olarak tampon darbe emici deney numuneleri fiziksel teste alınmıştır. Fiziksel test çıktılarında, düşük yoğunluklu numunenin, kuvvet altında daha fazla yer değiştirme göstererek, eski haline kolay geri döndüğü görülmüştür. Kalıcı deformasyona yüksek yoğunluklu malzemedan daha geç girdiği görülmüştür. Yüksek yoğunluklu malzeme ise daha az yer değiştirme gösterip, karşı kuvvetle yayayı, bacağı geri itmiş, şeklini korumuştur. Kalıcı deformasyon yönünden incelendiğinde ise yoğunlukla ters orantılı olarak, elastik yer değiştirme düşük yoğunluklu malzemede daha iyi olduğu görülmektedir.

Tez içerisinde deneysel çıktılar, sayısal analizler ile desteklenmiştir. Oluşturulan senaryoların 3D dataları oluşturulmuş olup, FIAT model otomobil modeli ile bağlantıları tanımlanarak, ilk olarak Hypermesh 2017 programı Nastran çözücüsü kullanılarak, statik analizi tamamlanmıştır. İlk olarak statik analiz kapsamında tampon darbe emici üzerine belirli noktalardan uygulanan sabit 150 N kuvvet karşısındaki yer değiştirme miktarlarına bakılmıştır. Yine bu analizde de düşük yoğunluklu malzemede, yüksek yoğunluklu malzemeye göre daha fazla yer değiştirme yaptığı görülmüş olup, yüksek yoğunlukta yer değiştirme miktarı daha az olduğu görüşmüştür.

Ek olarak bakılan, 2 farklı yoğunluktaki tampon darbe emici numunenin, kare ve silindirik yapıdaki yaya, bacağı simüle eden yapı ile gerçekleştirdiği çarpışmalar incelenmiştir. Ayrıca çarpışmanın konumunun etkisini anlayabilmek için orta noktadan ve çeyrek dilimden gerçekleşen çarpışma senaryoları kurulmuştur. Toplamda 4 farklı senaryo ve 2 farklı yoğunluk değişiminin etkisi de simülasyon çıktılarında kombinasyonları yaratılmıştır. Tüm bu olası durumların çarpışma performansına etkileri

incelenmiştir. Meta V21 1.0 ve Ansa programları aracılığı ile çarpışma simülasyonu kurulmuş olup, LS Dyna çözücüsü aracılığı ile çözdürülmüştür. Tampon darbe emici yoğunluğun, çarpışma konumunun ve yaya, bacak geometrisinin çarpışmaya etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

Diğer değişkenler sabit tutulup, sadece tampon darbe emicinin yoğunluğunun etkisine bakıldığında, YY malzemenin DY malzemeye göre daha rijit olması sebebiyle daha fazla reaksiyon kuvveti gösterdiği, bu sebeple çarpışma anında yaşanan yer değiştirme DY tampon darbe emiciye göre daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca DY malzemeye göre YY malzemenin daha fazla enerji sönümlene kapasitesi olduğu sonuçlardan görülmektedir.

Diğer değişkenler yine sabit tutularak, çarpışma konumun etkisi incelendiğinde ise orta noktada tasarımı sebebiyle tampon darbe emicinin çarpışmaya direk katıldığı, daha büyük reaksiyon kuvveti oluştuğu ve bu sebeple çarpışma noktasında çeyrekten gerçekleşen çarpışmaya göre daha az yer değiştirme yaşandığı görüşmüştür.

Yaya bacak geometrisinin etkisi incelendiğinde ise kare bacakta, silindirik bacağa göre çarpışmaya katılan yüzey alanı daha fazla olduğu için yüksek reaksiyon kuvveti oluştuğu ancak bu yüksek reaksiyon, tepki kuvveti sebebiyle düşük yer değiştirme yaşandığı görüşmüştür. Reaksiyon kuvveti arttığı için de kare bacak daha az yer değiştirme yaptığı görülmektedir. Sayısal analiz simülasyonları ile sayısal analiz çıktıları paralel çıktılar vermiştir. Ancak araç geliştirme süreçlerinde tüm bu çıktılar, her bir model için belirlenen performans değerlerine göre belirlenerek uzun çalışmalar sonucu optimize edilmelidir.

## KAYNAKLAR

Albak, E. I., Solmaz, E., Necmettin, K. A. Y. A., & Öztürk, F. (2018). Lightweight Foam Impact Attenuator Design For Formula Sae Car. *Turkish Journal Of Engineering*, 2(1), 17-21.

Aşkar, M. T. (2018). Bilgisayar Destekli Çarpışma Analizi İle Otomobil Ön Tampon Optimizasyonu (Master's Thesis, Sakarya Üniversitesi).

Altın, M., Halis, S., & Yücesu, H. S. (2017). Investigation Of The Effect Of Corrugated Structure On Crashing Performance İn Thin-Walled Circular Tubes. *International Journal Of Automotive Science And Technology*, 1(2), 1-7.

Altın, M. (2019). Çarpışma Kutularının Üzerine Açılan Oyukların Çarpışma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 22(1), 135-139.

Atermit Automotive, EPP (Expanded Polipropilen) Malzeme Tarihçesi, [https://www.atermitautomotive.com/muhendislik\\_kopugu/epp](https://www.atermitautomotive.com/muhendislik_kopugu/epp)

Bilbay, F. B., Çakan, B. G., Ensarioğlu, C., & Çakır, M. C. Taşıtlarda Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli (Hsla) Çelik Ön Çarpışma Kolları İçin En Uygun Et Kalınlığının Belirlenmesi. *Uludağ University Journal Of The Faculty Of Engineering*, 24(2), 461-476.

Bilbay, F. B. (2019). Otomotiv Sektöründe" Body İn White" Optimizasyonu Ve Ön Çarpışma Bölgesinin Modellenmesi (Doctoral Dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).

Bouix, R., Viot, P., & Lataillade, J. L. (2009). Polypropylene Foam Behaviour Under Dynamic Loadings: Strain Rate, Density And Microstructure Effects. *International Journal Of Impact Engineering*, 36(2), 329-342.

British Plastic Federation, How To Process EPP, [https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Expanded\\_Polypropylene\\_EPP.aspx](https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Expanded_Polypropylene_EPP.aspx)

Çakır, M. C. (2018, July). Termoplastik Çarpışma Kutularında Alüminyum Köpük Takviyesinin Çarpışma Karakteristiğine Etkisi. In 18th International Conference On Machine Design And Production (Pp. 3-6).

Çelik, M. E. (2020). Karbon Kompozit Çarpışma Kutularında Metal Takviyesinin Çarpışma Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi (Doctoral Dissertation, Bursa Uludag University (Turkey))

Çetinel H. 2000. An Investigation On Mechanical Properties Of Polyethylene And Polypropylene, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi

Cronin, D. S., & Ouellet, S. (2016). Low Density Polyethylene, Expanded Polystyrene And Expanded Polypropylene: Strain Rate And Size Effects On Mechanical Properties. *Polymer Testing*, 53, 40-50.

Davoodi, M. M., Sapuan, S. M., & Yunus, R. (2008). Conceptual Design Of A Polymer Composite Automotive Bumper Energy Absorber. *Materials & Design*, 29(7), 1447-1452.

Díaz-Álvarez, A., Jiao-Wang, L., Feng, C., & Santiuste, C. (2020). Energy Absorption And Residual Bending Behavior Of Biocomposites Bumper Beams. *Composite Structures*, 245, 112343.

Ensarioglu, C., Cakan, B. G., Koluk, H., Reis, M., Yılmaz, M., Aksel, L., ... & Cakır, M. C. (2017, October). Performance Comparison Of A Commercial Thermoplastic Crash-Box And An Aluminum Foam-Filled Aluminum Crash-Box. In Oral Presentation, International Automotive And Vehicle Technologies Conference (AVTECH 2017) (Pp. 06-07).

Ensarioğlu C, Çakan B. G., Kölük H., Reis M., Aksel L., Uğuz A., Çakır M. C. 2018. Development Of A Thermoplastic Crash-Box Reinforced With Aluminum Foam, 9th International Automotive Technologies Congress, OTEKON 2018

Engineered Foam Products, Bumper Cores

<https://www.engineeredfoamproducts.com/products/bumper-cores/>

Epssole 2020. EPP, EPS ve EPE Arasındaki Farklar, <http://tr.epseppetpu.com/news/what-are-the-characteristics-of-epp-epe-eps-31825495.html>

EPP Forum, Moulded Parts Made From Epp, Individual and Innovative, <https://epp-forum.com/en/about-epp/moulded-part-manufacturing/#1617275473892-9d92a603-1e0e>

Gulcimen Cakan, B., Reis, M., Ensarioglu, C., Koluk, H., Yeni, H., Uguz, A., & Önal, A. S. (2018). Darbe Emici Yapıların Çarpışma Açısından Topoğrafya Optimizasyonu İle Tasarımı

Insurance Institute for Highway Safety, Fatality Facts Pedestrians, <https://www.iihs.org/topics/fatality-statistics/detail/pedestrians#trends>

KanagaMadhuraN, H. D., Sneha, J., Gnanavel, G., & Prabhu, N. Review on Manufacturing of Cellular Polymers and Its Applications.

Kartkaya, Mehmet Ali. Bir ticari aracın ön çarpışma dayanımını artırmaya yönelik bir uygulama. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Kılıç E. 2018. Araçlardaki Aktif ve Pasif Güvenlik Sistemleri, <https://www.muhendis.tv/araclardaki-aktif-ve-pasif-guvenlik-sistemleri>

Knauf Automotive 2021. Case Study: Front-End Module Pedestrian Passive Protection Renault Captur Front Air Guides And Front Bumper Shock Absorber, <https://knaufautomotive.com/case-study-front-end-module-pedestrian-passive-protection-renault-captur-front-air-guides-and-front-bumper-shock-absorber/>

Mo, F., Zhao, S., Yu, C., Xiao, Z., & Duan, S. (2018). Design Of A Conceptual Bumper Energy Absorber Coupling Pedestrian Safety And Low-Speed Impact Requirements. *Applied Bionics And Biomechanics*, 2018.

Morton, D. T., Reyes, A., Clausen, A. H., & Hopperstad, O. S. (2020). Mechanical Response Of Low Density Expanded Polypropylene Foams In Compression And Tension At Different Loading Rates And Temperatures. *Materials Today Communications*, 23, 100917.

Panel Assan 2014. Poliüretan Spesifikasyonu, <https://www.inceten.com/wp-content/uploads/2014/09/Panel-Poli%C3%BCretan-F%C3%B6y.pdf>

Patel A., Farooqui M. K., Processing and Characterization of Autoclave-based EPP Beads, M.Eng. Project Report, Department Of Mechanical And Industrial Engineering, University Of Toronto

Polmar, EPP (Expanded Polipropilen) Malzeme, <http://www.polmar.com.tr/epp.php>

Priem, C., Othman, R., Rozycki, P., & Guillon, D. (2014). Experimental Investigation Of The Crash Energy Absorption Of 2.5 D-Braided Thermoplastic Composite Tubes. *Composite Structures*, 116, 814-826.

Ramaswamy, K., Virupaksha, V. L., Polan, J., & Tripathy, B. (2017). Validation Of Expanded Polypropylene (EPP) Foam Material Models For Low Speed Bumper And Pedestrian Protection Applications (No. 2017-01-0363). SAE Technical Paper.

Raps, D., Hossieny, N., Park, C. B., & Altstädt, V. (2015). Past And Present Developments In Polymer Bead Foams And Bead Foaming Technology. *Polymer*, 56, 5-19.

Reyes, A., & Børvik, T. (2018). Quasi-Static Behaviour Of Crash Components With Steel Skins And Polymer Foam Cores. *Materials Today Communications*, 17, 541-553.

Reyes, A., & Børvik, T. (2019). Low Velocity Impact On Crash Components With Steel Skins And Polymer Foam Cores. *International Journal Of Impact Engineering*, 132, 103297.

Smorygo, O., Gokhale, A. A., Vazhnova, A., & Stefan, A. (2019). Ultra-Low Density Epoxy/Polystyrene Foam Composite With High Specific Strength And Pseudo-Plastic Behavior. *Composites Communications*, 15, 64-67.

String Fixer, Hysteresis, <https://Stringfixer.Com/Tr/Hysteresis>

Teknoexe 2018. EPP (Expanded Polipropilen) Malzeme, <https://www.teknoexe.com/expanded-polypropylene/>  
<https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/25215/1/Muhammad%20Kashif%20Farooqui%20and%20Patel%20Abhishek.pdf>

Viot, P., Plougonven, E., & Bernard, D. (2008). Microtomography On Polypropylene Foam Under Dynamic Loading: 3D Analysis Of Bead Morphology Evolution. Composites Part A: Applied Science And Manufacturing, 39(8), 1266-1281.

Viot, P. (2009). Hydrostatic Compression On Polypropylene Foam. International Journal Of Impact Engineering, 36(7), 975-989.

Yaprak Ş., Akbulut Ayşe Merve 2019. Trafik Kaza ve Denetim İstatistikleri

Zhang, Y., Liu, Q., He, Z., Zong, Z., & Fang, J. (2019). Dynamic Impact Response Of Aluminum Honeycombs Filled With Expanded Polypropylene Foam. Composites Part B: Engineering, 156, 17-27.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selda BULUT  
Yabancı Dil : İngilizce, İtalyanca

Eğitim Durumu  
Lise : Bursa Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi  
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.

İletişim (e-posta) : 501910114@ogr.uludag.edu.tr