



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**AĞIR TAŞITLARDA ÇARPMA ENERJİSİ
SÖNÜMLEYİCİ ARKA KORUYUCU
TAMPON TASARIMI**

Mustafa SERT

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2018



**AĞIR TAŞITLARDA ÇARPMA ENERJİSİ SÖNÜMLEYİCİ
ARKA KORUYUCU TAMPON TASARIMI**

Mustafa SERT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2018

Mustafa SERT tarafından hazırlanan "AĞIR TAŞITLARDA ÇARPMA ENERJİSİ SÖNÜMLEYİCİ ARKA KORUYUCU TAMPON TASARIMI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



İkinci Danışman: Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Başkan: Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan KANCA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Durmuş Ali BİRCAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 08/06/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Tolga DEPCİ

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.



ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Mustafa SERT

08/06/2018

AĞIR TAŞITLARDA ÇARPMA ENERJİSİ SÖNÜMLEYİCİ
ARKA KORUYUCU TAMPON TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa SERT

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2018

ÖZET

Ülkemiz karayollarına her yıl binlerce trafik kazası meydana gelmektedir. Bu kazaların dağılımına bakıldığında, hafif araçların ağır vasıtayla çarpışması ve altına girmesi sonucunda aracın ezilmesi ve yolcuların ciddi şekilde yaralanması ile meydana gelen kazalar önemli yer tutmaktadır. Yürürlükte olan yönetmeliklere rağmen bu tür kazaların can kayıplarıyla sonuçlanması, araçlarda kullanılmakta olan koruyucu tasarımların eksikliğine işaret etmektedir.

Yük taşıma amacıyla kullanılan kamyon ve çekici gibi ağır ticari araçların arka koruyucu tamponları UN ECE R-58 yönetmeliğine uygun olarak tasarlanmakta ve uygulanmaktadır. Bu yönetmelikle ağır taşıtlarda kullanılacak olan arka koruyucu tamponların sağlaması gereken kriterler belirtilmektedir.

Bu çalışmada R58 yönetmeliğinin detayları ile meydana gelmiş trafik kaza görüntüleri incelenmiş, literatür araştırması yapılmış ve uygulamadaki arka koruyucu tampon tasarımları araştırılmıştır. Bu kapsamda, yeni arka koruyucu tampon tasarımları yapılmış, yeterliliklerini incelemek amacıyla tasarımlar üzerinde sonlu eleman çarpışma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan arka koruyucu tamponların hassas şekilde yapılabilmesi için modelleme çalışmasında birden fazla programa gerek duyulmuştur. Katı modelleme SolidWorks programıyla, sonlu eleman ağı ANSYS programıyla, sınır koşulları, malzeme özellikleri ve bağlantı tanımlamaları LS Pre-Post programıyla yapılmıştır.

Tasarlanan arka tampon modelinin dinamik çarpma etkisindeki davranışını bilgisayar ortamında simüle edebilmek için literatürde kullanılmakta olan araç modeli kullanılmış ve aracın tampona belirli bir hızda çarpması sağlanmıştır. Bu simülasyon 3 boyutlu doğrusal olmayan sonlu eleman analiz programı LS DYNA ile gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon sonucunda tampon ve araçtan hız ve ivme verileri toplanmıştır. X, Y ve Z yönlerinde elde edilen ivme değerleri Test Risk Assessment Program (TRAP) adı verilen program kullanılarak yaralanma risklerini tanımlayan, ASI (hızlanma şiddet indeksi) hesaplanmış, koruyucu tamponun yeterliliği simülasyon sonuçları doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Arka Koruyucu Tampon, Çarpışma Testi, LS DYNA, UN ECE R-58.

Sayfa Adedi : 63

1. Danışman : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

2. Danışman : Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN

REAR UNDERRUN PROTECTION DESIGN IN HEAVY VEHICLE WITH ENERGY
ABSORBING PROPERTIES
(M. Sc. Thesis)

Mustafa SERT

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

Jun 2018

ABSTRACT

Every year, thousands of traffic accidents happen in our country's highways. Considering the distribution of these accidents, the collision of light vehicles with heavy vehicles and entry into the bottom of the vehicle as a result of crushing the vehicle and seriously injuring the passengers, have an important place. Despite the regulations in force, resulting in deaths of such accidents, the lack of protective designs used in vehicles.

Rear underrun protection devices for heavy commercial vehicles such as trucks and tractors used for cargo handling are designed and implemented in accordance with the UN ECE R58 regulation. This regulation specifies the criteria that must be met for the rear protective bumpers to be used in heavy vehicles.

In this study, the details of the R58 regulation were investigated, and literature survey was conducted, and the design of the rear underrun protection was investigated. In this context, new rear underrun protection device designs have been made and finite element simulations have been carried out on the designs to examine their competence. More than one program was required for the modelling work so that the designed rear underrun protective devices could be done precisely. Solid modelling was made with the SolidWorks software, the finite element meshing was created with the ANSYS finite element analysis program, boundary conditions, material properties and connection definitions were made using the LS Pre-Post program.

The vehicle model used in the literature was used to simulate the behaviour of the designed rear underrun protection device model in the dynamic environment and the vehicle was hit at a certain speed. This simulation was performed with the 3D non-linear finite element analysis program LS DYNA.

As a result of simulation, speed and acceleration of rear underrun protection device and vehicle data are collected. Acceleration values obtained in the X, Y and Z directions were evaluated using the program called TRAP, which calculated the ASI, and evaluated the adequacy of the rear underrun in terms of the simulation results.

Key Words : Rear Underrun, Crashworthiness, LS DYNA, UN ECE R-58.

Page Number : 63

1. Supervisor : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

2. Supervisor : Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında zamanını ve emeğini vererek sağladığı bilimsel katkıları, destekleyici ve yüreklendirici tutumları için lisansüstü danışmanım Prof. Dr. Ahmet YAPICI'ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez çalışmam esnasında değerli görüş, bilgi ve katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN'a, LS Dyna sonlu elemanlar analiz programını öğrenmem konusunda verdiği bilgi ve eğitimler için Ar. Gör. Muhammet Musab ERDEM'e ve 2017 yılı otomobil-kamyon ve çekici kaza verilerini paylaşan Emniyet Genel Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak lisansüstü çalışmalarım sırasında zaman zaman ihmal ettiğim fakat hiçbir zaman fedakârlık ve desteklerini esirgemeyen, yılgınlıklarında beni kendime getiren sevgili eşim Ayşe Özlem SERT'e, gelişiyse hayatıma da mutluluk getiren oğlum Görkem SERT'e, kıymetli annem, babam ve kardeşime sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Arka Koruyucunun Geçmişten Günümüze Gelişimi	6
2.2. Literatür Çalışmaları	7
2.3. Arka Koruyucu Standartları	18
2.4. TS EN 1317 Standardı.....	24
2.5. Ülkemizdeki Mevcut Arka Koruyucu Uygulamaları	25
2.6. Uluslararası Mevcut Arka Koruyucu Tampon Tasarımları.....	26
3. MATERYAL VE METOT	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. Simülasyonlarda Kullanılan Malzemeler	31
3.1.2. Simülasyonlarda Kullanılan Programlar	32
3.2. Yöntem	36
4. DENEY BULGULARI VE TARTIŞMA.....	42
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56

	Sayfa
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	62
DİZİN.....	63



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Taşıma türlerinin kıyaslanması.....	1
Çizelge 1.2. Ülkemizde 2017 yılın içerisinde meydana gelen kazalara ait veriler.....	3
Çizelge 2.1. 2007 öncesi ve sonrası UN ECE R58 test yük miktarları.....	19
Çizelge 2.2. Çizelge ABD test yük gereklilikleri	20
Çizelge 2.3. Kanada arka koruyucu düzenlemesi test yük miktarları	21
Çizelge 2.4. Brezilya arka koruyucu düzenlemesine ilişkin test yükleri	23
Çizelge 2.5. ASI şiddet sınıfları	24
Çizelge 2.6. Brumbelow tarafından yapılan çalışmanın şartları	26
Çizelge 2.7. Brumbelow tarafından yapılan çarpışma test sonuçları	29
Çizelge 3.1. ST37-2 çeliğinin mekanik özellikleri	31
Çizelge 3.2. LS Dyna'da kullanılacak uyumlu birim sistemi örnekleri.....	34
Çizelge 3.3. Simülasyon şartları.....	41

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışmada izlenen yöntem.....	36
Şekil 4.1. Simülasyon 1 $t=0,6$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği.....	42
Şekil 4.2. Simülasyon 1 $t=0,6$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	42
Şekil 4.3. Simülasyon 1 $t=0,6$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	43
Şekil 4.4. Simülasyon 1 $t=0,6$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği	43
Şekil 4.5. Simülasyon 1 $t=0,6$ mm'ye ait ASI grafiği.....	43
Şekil 4.6. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği.....	44
Şekil 4.7. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	44
Şekil 4.8. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	44
Şekil 4.9. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği	45
Şekil 4.10. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait ASI grafiği.....	45
Şekil 4.11. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği.....	45
Şekil 4.12. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	46
Şekil 4.13. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	46
Şekil 4.14. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği	46
Şekil 4.15. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait ASI grafiği.....	47
Şekil 4.16. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği.....	47
Şekil 4.17. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	47
Şekil 4.18. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	48
Şekil 4.19. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği	48
Şekil 4.20. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait ASI grafiği.....	48
Şekil 4.21. Simülasyon 5 $t=1,5$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği.....	49
Şekil 4.22. Simülasyon 5 $t=1,5$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.23. Simülasyon 5 t=1,5 mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	49
Şekil 4.24. Simülasyon 5 t=1,5 mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği	50
Şekil 4.25. Simülasyon 5 t=1,5 mm'ye ait ASI grafiği.....	50
Şekil 4.26. Simülasyon 6 t=2 mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği.....	50
Şekil 4.27. Simülasyon 6 t=2 mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	51
Şekil 4.28. Simülasyon 6 t=2 mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği.....	51
Şekil 4.29. Simülasyon 6 t=2 mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği	51
Şekil 4.30. Simülasyon 6 t=2 mm'ye ait ASI grafiği.....	52
Şekil 4.31. Simülasyonlardan elde edilen ASI değerleri	54
Şekil 5.1. Et kalınlığına göre maksimum ASI değerlerinin değişimi	56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Bolu’da gerçekleşen otomobil-tır kazası	1
Resim 1.2. Karabük’te gerçekleşen hafif ticari araç-tır kazası	2
Resim 1.3. Düzce’de seçim günü gerçekleşen feci kaza	2
Resim 1.4. Yanal, arka ve ön koruyucunun gösterimi	3
Resim 1.5. 2007 Hyundai ve 2011 Wabash Römork 56 km/h hız test sonuçları	4
Resim 2.1. 1977 yılında IIHS tarafından yapılan 1976 model Ford Granada marka aracın 54 km/h hızla arka koruyucuya çarpma testi.....	6
Resim 2.2. Mafsallı tip arka koruyucu tasarımı yandan görünüş	8
Resim 2.3. Mafsallı tip arka koruyucu tasarımı	9
Resim 2.4. Kısaç adı verilen arka koruyucu çalışma prensibi	10
Resim 2.5. Kısaç adı verilen arka koruyucunun çarpışma testi öncesi römorka montajı ile ilgili görüntü	10
Resim 2.6. Kısaç adı verilen arka koruyucunun test sonrası görüntüleri.....	11
Resim 2.7. Cappello, Ingrassia ve Nigrelli tarafından hazırlanan tampon tasarımı	12
Resim 2.8. Cappello, Ingrassia ve Nigrelli tarafından yapılan tam örtüşme çarpışma simülasyon testi öncesi (a) ve sonrası (b)	12
Resim 2.9. Aygün tarafından hazırlanan test numuneleri montaj öncesi (a) ve montaj sonrası (b) görüntüleri.....	13
Resim 2.10. Statik yük öncesi test numunesinin yerleştirilmesi.....	14
Resim 2.11. Koyun boynuzu örnekleri.	15
Resim 2.12. Arka koruyucu koruma için dış kabuk dizayn çalışmaları	16
Resim 2.13. Arka koruyucu için iç kabuk dizayn çalışmaları	16
Resim 2.14. Koyun boynuzunun mikro ölçekli yapısı ve arka koruyucuya benzer yapıda deliklerin açılması	16
Resim 2.15. Sumit Sharma, Pawar, Patel ve Sandeep Sharma tarafından yapılan simülasyon testi sonucu maksimum yer değiştirme görüntüsü	17

Resim	Sayfa
Resim 2.16. Mohod tarafından test edilen arka koruyucu tasarımı ve simülasyon sonrası Von-Mises Gerilmeleri.....	17
Resim 2.17. UN ECE R58 arka koruyucu Avrupa yönetmeliği	19
Resim 2.18. FMVSS 223 arka koruyucu yatay elemanı	20
Resim 2.19. FMVSS 223 arka koruyucu yönetmeliğine ilişkin detaylar	20
Resim 2.20. Kanada'daki test yükleri uygulama bölgeleri	21
Resim 2.21. Brezilya arka koruyucu düzenlemesine ilişkin detaylar (a).....	22
Resim 2.22. Brezilya arka koruyucu düzenlemesine ilişkin detaylar (b)	23
Resim 2.23. Ülkemizde uygulamada olan arka koruyucu örnekleri (a)	25
Resim 2.24. Ülkemizde uygulamada olan arka koruyucu örnekleri (b)	25
Resim 2.25. Ülkemizde uygulamada olan arka koruyucu örnekleri (c)	25
Resim 2.26. Solda 2007 Hyundai arka koruyucu destek elemanları, ortada 2007 Vanguard ve sağda 2011 Wabash yarı römorklar.....	26
Resim 2.27. %100 örtüşme ve 56 km/h çarpışma hızı ile test sonuçları	27
Resim 2.28. %50 örtüşme ve 56 km/h çarpışma hızı ile test sonuçları	27
Resim 2.29. %50 örtüşme ve 40 km/h çarpışma hızı ile test sonuçları	27
Resim 3.1. SolidWorks'te tasarlanan silobas modeli.....	32
Resim 3.2. SolidWorks'te tasarlanan şasi ve arka koruyucu	32
Resim 3.3. ANSYS programının ara yüzü.....	33
Resim 3.4. LS Dyna programının ara yüzü.....	34
Resim 3.5. LS Pre-Post programının arayüzü.....	35
Resim 3.6. TRAP programının arayüzü.....	35
Resim 3.7. 1996 model Dodge Neon marka sedan araç modeli	36
Resim 3.8. Arka koruyucu ve şasi tasarımı.....	37
Resim 3.9. Arka koruyucunun detaylı görüntüsü	38

Resim	Sayfa
Resim 3.10. 1 no'lu parça detayı	39
Resim 3.11. 2 no'lu parça detayı	39
Resim 3.12. 3 no'lu parça detayı, “t” ile gösterilen sac kalınlığı parametre.....	39
Resim 3.13. 4 no'lu parça detayı	40
Resim 3.14. 5 no'lu parça detayı	40
Resim 3.15. 6 no'lu parça detayı	40
Resim 4.1. Simülasyon öncesi ilk durum.....	42
Resim 4.2. t=0,6 mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon	52
Resim 4.3. t=0,8 mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon	52
Resim 4.4. t=1,0 mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon	53
Resim 4.5. t=1,2 mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon	53
Resim 4.6. t=1,5 mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon	53
Resim 4.7. t=2,0 mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

cm	Santimetre
cm³	Santimetreküp
G	İvme
h	Saat
in	İnç
kg	Kilogram
km	Kilometre
kN	Kilonewton
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
mph	Mil / Saat
N	Newton
s	Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ARA	Aerospace Research Associates Inc.
ASI	(Acceleration Severity Index)
FARS	Fatality Analysis Report System
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
GES	General Estimates System
ICC	US Interstate Commerce Commission
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety
LTCCS	Large Truck Crash Causation Study
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration

Kısaltmalar

Açıklamalar

NASS/CDS

National Automotive Sampling System

TRAP

Test Risk Assessment Program

THIV

Theoretical Head Impact Velocity

UN ECE

The United Nations Economic Commission for Europe



1. GİRİŞ

Ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığı hava, kara, demir ve deniz yollarıyla gerçekleştirilmektedir. Karayolu taşımacılığı, güzergâh alternatiflerinin fazla olması, parça yükleri başlangıç ve varış noktaları arasında aktarmasız olarak hızlı ve daha kolay taşınabilme esnekliğini sağlamasına bağlı olarak daha çok tercih edilmektedir. Dünyada kullanılmakta olan taşıma türleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 1.1’de verilmiştir [1].

Çizelge 1.1. Taşıma türlerinin kıyaslanması [1]

Taşıma Türü	Maliyet	Hız	Hizmet Alanı	Tarifeli Seferlerin Sıklığı	Tarifelerin Uygulanma Güvenilirliği
Karayolu	Yüksek	Hızlı	Çok Geniş	Yüksek	Yüksek
Denizyolu	Çok Düşük	Yavaş	Sınırlı	Çok Düşük	Orta
Havayolu	Çok Yüksek	Çok Hızlı	Geniş	Yüksek	Orta
Demiryolu	Orta	Orta	Orta	Düşük	Çok Yüksek
İç su yolu	Düşük	Yavaş	Sınırlı	Düşük	Orta
Boru Hattı	Düşük	Yavaş	Çok Sınırlı	Orta	Yüksek

Kıyaslama türlerine bakıldığında karayolu taşımacılığının hizmet alanının geniş olması, tarifeli seferlerin sık olması ve bu özelliklere ek olarak genelde aktarmalı taşımının yapıldığı hava, deniz ve demiryolu taşımacılığında tamamlayıcı bir unsur olarak karayolu taşımacılığının kullanılması, karayolu taşımacılığının diğer taşıma türlerine göre daha hızlı bir gelişme göstermesini sağlamıştır [1].



Resim 1.1. Bolu’da gerçekleşen otomobil-tır kazası [2]



Resim 1.2. Karabük'te gerçekleşen hafif ticari araç-tır kazası [3]



Resim 1.3. Düzce'de seçim günü gerçekleşen feci kaza [4]

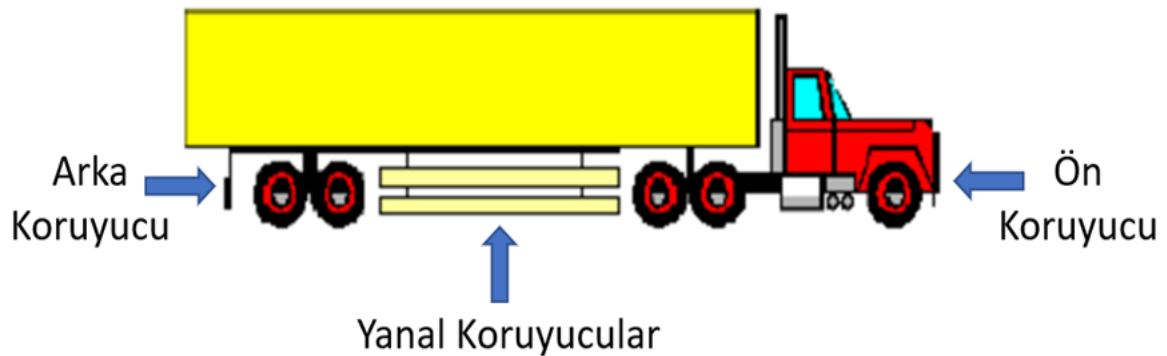
Ülkemizde karayolu taşımacılığının en çok tercih edilen ulaşım şekli olması, kaza riskini arttırmaktadır. Konuyla ilgili meydana gelen trafik kaza resimleri Resim 1.1, Resim 1.2 ve Resim 1.3'de görülmektedir.

Çizelge 1.2. Ülkemizde 2017 yılın içerisinde meydana gelen yaralanmalı ve ölümlü kaza verileri [5]

ARAÇ CİNSİ	ARAÇ DARBE BÖLÜMÜ								
	YANDAN			ÖNDEN			ARKADAN		
	YARALAN MASIZ KAZA SAYISI	YARALAN MALI KAZA SAYISI	ÖLÜMLÜ KAZA SAYISI	YARALAN MASIZ KAZA SAYISI	YARALAN MALI KAZA SAYISI	ÖLÜMLÜ KAZA SAYISI	YARALAN MASIZ KAZA SAYISI	YARALAN MALI KAZA SAYISI	ÖLÜMLÜ KAZA SAYISI
KAMYON	378	49	0	1 098	321	18	837	104	0
ÇEKİCİ	432	27	2	1 144	263	14	1 066	42	7

Bunlara ek olarak; ülkemizde 2017 yılında meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı kaza verileri Çizelge 1.2'deki gibidir [5].

Bu çalışmada tasarımı yapılan arka koruyucu tampon tasarımının üzerinde belirlenen parametre üzerinde değişiklikler yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tamponlara ait ivme şiddetlenme indeks değerleri incelenmiştir. Arka koruyucu tampon tasarımları arasında seçilen bir yalın model üzerinde malzeme kalınlıklarının ve çarpışma hız değerlerinin değiştirilmesiyle ortaya çıkan ivmeye ait şiddetlenme indeks değerleri tartışılmıştır.



Resim 1.4. Yanal, arka ve ön koruyucunun gösterimi [6]

Ağır taşıtlarda arka koruyucu tampon, ağır taşıtlarda pasif güvenlik sisteminin bir alt başlığı olan dış güvenlik sistemlerinin içerisinde yer alır. Dış güvenlik terimi ise, ağır taşıt tarafından çarpılan yayalar, motorlu ve motorsuz araç kullanan sürücü ve yolcuların yaralanmalarını en aza indirmek için taşıta kazandırılması gereken tasarım özelliklerini kapsar. Trafikte farklı boy ve özelliklerdeki taşıtlar bir arada seyretmek zorunda olduklarından dolayı hafif ve ağır taşıtlar arasında trafik kazası olması muhtemeldir. Bu taşıtlar arasında kütle ve boyutsal tasarım farklılığı nedeniyle küçük olan taşıtın aleyhine olan dengesizliğin sonucu olarak, hafif taşıtların hasar riski, ağır taşıtın hasar riskine göre daha yüksek olmaktadır. Dış güvenliği geliştirmek adına ticari taşıtlara, ön, arka ve yanal koruyucu elemanlar yerleştirilerek, motorlu ve motorsuz küçük taşıtların sürücülerinin ve bu taşıtlarda bulunan yolcuların ağır vasıtaların altına girmeleri önlenmeye çalışılmaktadır (Resim 1.4).

Binek veya hafif ticari aracın, ağır taşıtın altına girmesiyle meydana gelen düşük hızlardaki kazalarda bile ciddi yaralanmalar meydana gelebilir. Eğer ağır taşıtta arka koruyucu mevcut ise, binek veya hafif ticari aracın ağır taşıtın altına tamamen girmesini engeller. Ağır taşıt üreticileri, bu tür kazaları engellemek için arka koruyucu tampon tertibatını geliştirmişlerdir [7].

IIHS (Insurance Institute for Highway Safety / Otoyol Güvenliği Sigorta Enstitüsü) tarafından yapılan çarpışma testlerinde 2010 model Chevrolet Malibu marka araç kullanılarak, arka koruyucusu bulunmayan 2007 model Hyundai marka treyler ile arka koruyucu tamponunun bulunduğu 2011 model Wabash marka treyler kullanılmıştır. Çarpışma ile ilgili görseller aşağıdaki şekilde verilmiştir. Her iki çarpışma testi 56 km/h hızla ve %100 örtüşme ile gerçekleştirilmiştir [8].



Resim 1.5. Solda 2007 Hyundai marka römork ve sağda 2011 Wabash marka römorkta 56 km/h hız ve tam örtüşme çarpışma sonucu elde edilen test sonuçları [8]

Resim 1.5'te sol tarafta görülen, arka koruyucusu bulunmayan treylere, arkadan çarpan araçta sürücü mahalline kadar deformasyon meydana gelmiştir. Sağ tarafta görülen ve arka koruyucusu bulunan treylere arkadan çarpan aracın sürücü mahalline gelmeden durdurmayı başarmıştır. Bu sonuçlar dış güvenlik konusunun kapsamında olan arka koruyucu tertibatın önemi yukarıdaki şekilde açıkça göstermektedir [8].



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Arka Koruyucunun Geçmişten Günümüze Gelişimi

İlk olarak 1953 yılının sonlarında ABD’de (Amerika Birleşik Devletleri), ICC (US Interstate Commerce Commission / ABD Eyaletler Arası Ticaret Komisyonu), kamyonlar ve çekiciler için bir arka koruyucuya gereksinim duyulduğunu yayımlamıştır. Arka koruyucuların çok dar, çok yüksek ve çok zayıf olması nedeniyle binek taşıtların, kamyon ve çekicilerin altına girmesini önlemede yeterli olmadığı görülmüştür [9].

1968 yılında NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration / Ulusal Yol Güvenliği İdaresi), ARA (Aerospace Research Associates Inc. / Havacılık ve Uzay Araştırmaları A.Ş.) tarafından yürütülen ve ağır taşıtların arka ve yanal koruyucuları için uygulanan tasarımları içeren “ağır taşıt alt koruyucu standardının geliştirilmesi” adlı projeyi finanse etti [9].

1970 yılında, NHTSA, Cornell Üniversitesinde araç-ağır vasıta çarpışma test çalışmalarını finanse edilmiştir. Bunun sonucunda, koruyucuların yerden 457 mm’den daha yüksek olmaması ve 27 215 kg yük direncine karşı dayanım göstermesi gerekliliği tavsiye edilmiştir [9].



Resim 2.1. 1977 yılında IIHS tarafından yapılan 1976 model Ford Granada marka aracın 54 km/h hızla arka koruyucuya çarpma testi [9]

1977 yılında IIHS, ABD Senatosuna binek araçların ve ağır vasıtaların çarpışma filmlerini gösterdi. NHTSA binek araçların, ağır taşıtların altına girmesini önlemek amacıyla arka koruyucu gereksinimlerinin belirlenmesi ile ilgili Dynamic Science ile sözleşme imzalanmıştır (Resim 2.1) [9].

NHTSA, 1995 yılında daha geniş, daha güçlü, daha altta ve enerji emme özellikli geliştirilmiş arka koruyucu standartları olan FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards / Federal Motorlu Araç Güvenlik Standartları) 223 ve 224'ü yayınladı. Bu yeni düzenleme sadece asgari şartları belirledi. 26 Ocak 1998 yılından itibaren üretilen yeni ağır taşıtlar için geçerli oldu. Bu standartlara göre; arka koruyucular yerden minimum 56 cm yukarıda olması ve 100000 N direnç gücüne sahip olması gerektiği bildirilmiştir [9].

1996 yılında, ABD kongresi, araçların çarpışmalara karşı daha dayanıklı ve daha güvenli olması için minimum gereksinimlerini belirleyen (Federal Motor Vehicle Safety Standards) FMVSS'nin düzenlenmesi için (National Highway Traffic Safety Administration) NHTSA'yı bir yasa ile oluşturdu. İlk hedefleri binek ve hafif ticari araçların ağır taşıtlarına altına girerek meydana gelen kazaları önleme amacıyla düzenlenecek kuralları belirlemek oldu [9].

Birleşmiş Milletler, 1995 yılında (Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu) UN ECE (The United Nations Economic Commission for Europe / Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu) R-58 arka koruyucu düzenlemesini yayınladı [10].

2.2. Literatür Çalışmaları

Arka koruyucu tamponlarla ilgili yapılan çalışmalar sonlu elemanlar yöntemiyle veya deneysel çalışmalar şeklinde yapılmaktadır. Farklı tiplerde arka koruyucu tasarımları yapıp bunların sonlu eleman simülasyonları yapılmıştır.

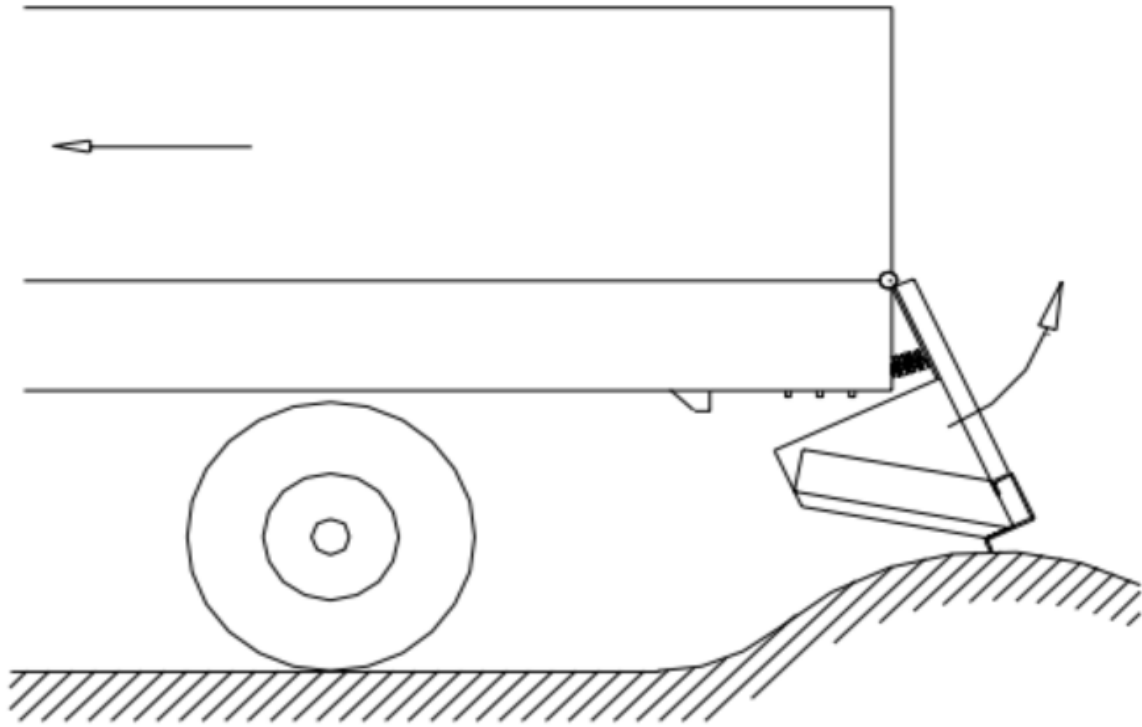
Arka koruyucu tamponların farklı ülkelerde yapılan çalışmaları ele alınmıştır.

1977 yılında O'Day ve Minihan tarafından yapılan bir çalışmada, 1975 – 1976 yılları arasında Texas ve 1972 – 1976 yılları arasında Michigan'da olan ağır taşıtlar ile binek ve

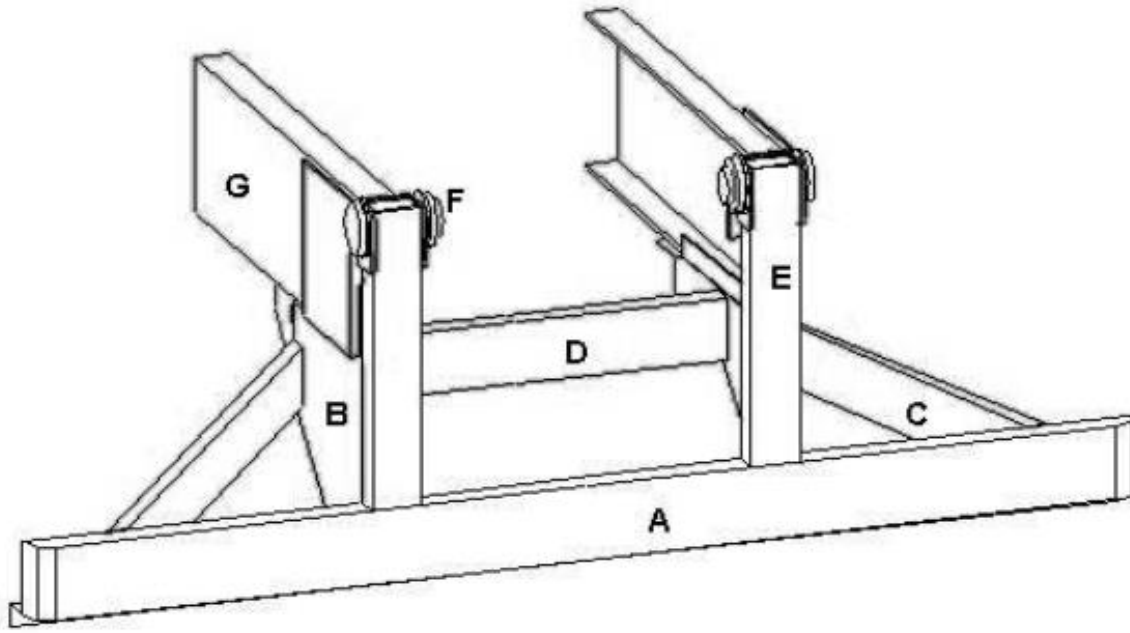
hafif ticari araçların karıştığı ciddi yaralanmalı kazalarda, arkadan çarpmalarda %90, yandan çarpmalarda %75 oranlarında binek aracın ağır vasıtanın altına girdiği görülmüştür [11].

1997 yılında Braver ve arkadaşları tarafından Hindistan’da yapılan bir çalışmada 1988-1993 yılları arasında gerçekleşen binek araçların, ağır vasıta ön, yanal ve arka koruyucu kısımlarına çarpmasıyla oluşan kazaları incelemiştir. Araştırmalar polis tutanakları, NASS/CDS (Natioanal Automotive Sampling System / Ulusal Otomotiv Örnekleme Sistemi) ve FARS’da (Fatality Analysis Report System / Kaza Analiz Rapor Sistemi) kayıtlı olan veriler kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak arkadan 14, önden 73, yanal 17 ve 3 adet çarpışma türü belirlenemeyen çarpışma türü kaza meydana gelmiştir [12].

1998 yılında Braver ve diğerleri tarafından Hindistan’da yapılan çalışmada ölümcül ağır taşıt kaza fotoğraflarını kullanmışlardır. Araştırmada, ön, yanal ve arkadan çarpmalı kazaların %63 ünde binek aracın en azından kısmen ağır taşıtın altına girdiğini tespit etmişlerdir [13].

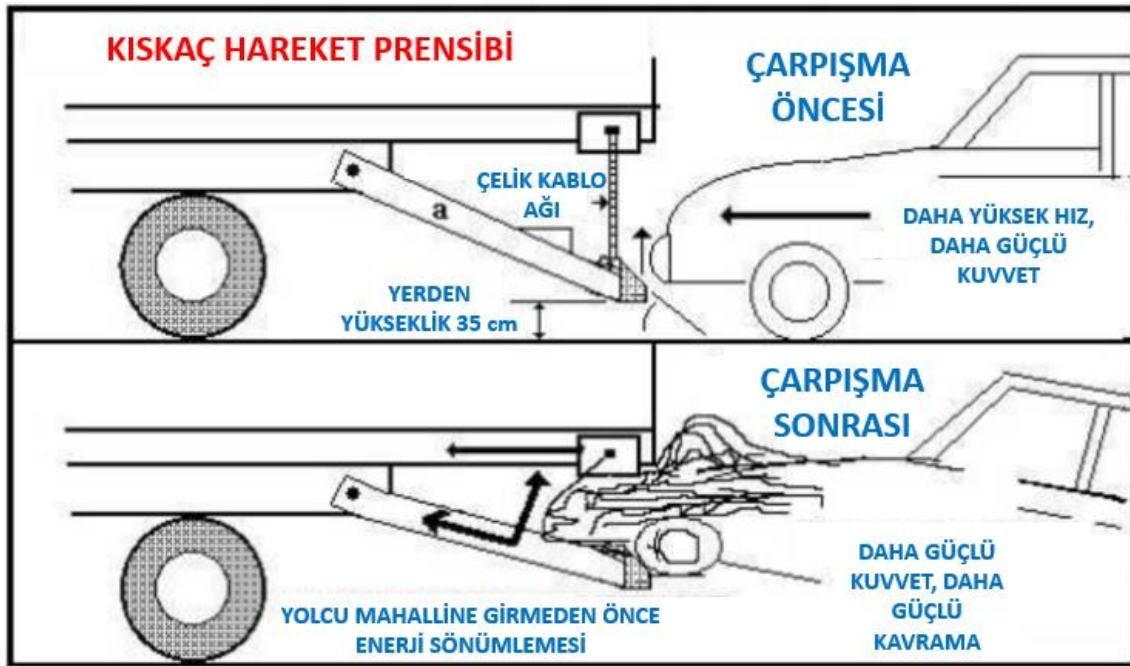


Resim 2.2. Mafsallı tip arka koruyucu tasarımı yandan görünüş [14]



Resim 2.3. Mafsallı tip arka koruyucu tasarımı [14]

2001 yılında Brezilya Campinas Üniversitesinde Mariolani, Arrudo ve Schutzler ile General Motors ve Mercedes-Benz, yürürlükteki arka koruyucu standartlarının her yıl binlerce kişinin ölmesine neden olduğundan dolayı bu durumu tersine çevirmek için 2 yeni arka koruyucu tampon tasarımı yapıp, konuyla ilgili 3 farklı çarpışma testi gerçekleştirmişlerdir. Arka koruyucular, standartlarda belirtildiği gibi (Bkz. Resim 2.17.) P1, P2 ve P3 noktalarına $P1=P3= 100 \text{ kN}$ ve $P2=150 \text{ kN}$ olmak üzere statik yüklere dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Tamponlar yerden 400mm yükseklikte olacak şekilde ağır vasıtanın arkasına yerde bir engele çarptığı zaman yukarıya hareket edecek şekilde mafsallı tasarlanmıştır (Resim 2.2 ve Resim 2.3). Testlerde 1 200 kg lık binek aracı 50km/h hızla hazırlanan arka koruyucu tamponlara çarptırılmışlardır [14].



Resim 2.4. Kıskaç adı verilen arka koruyucu çalışma prensibi [14]

Kıskaç adını verdikleri diğer tasarımda ise; çelik kablo ağı, ağır vasıtanın arkasına bağlanmış ve arkadan çarpan araç ön kısmının, şasi ile arka koruyucu arasında kalarak ortaya çıkan enerjinin yolcu mahallinin şasinin altına girmeden sönmülmesini sağlamaktır (Resim 2.4) [14].



Resim 2.5. Kıskaç adı verilen arka koruyucunun çarpışma testi öncesi römorka montajı ile ilgili görüntü [14]



Resim 2.6. Kısaç adı verilen arka koruyucunun test sonrası görüntüleri [14]

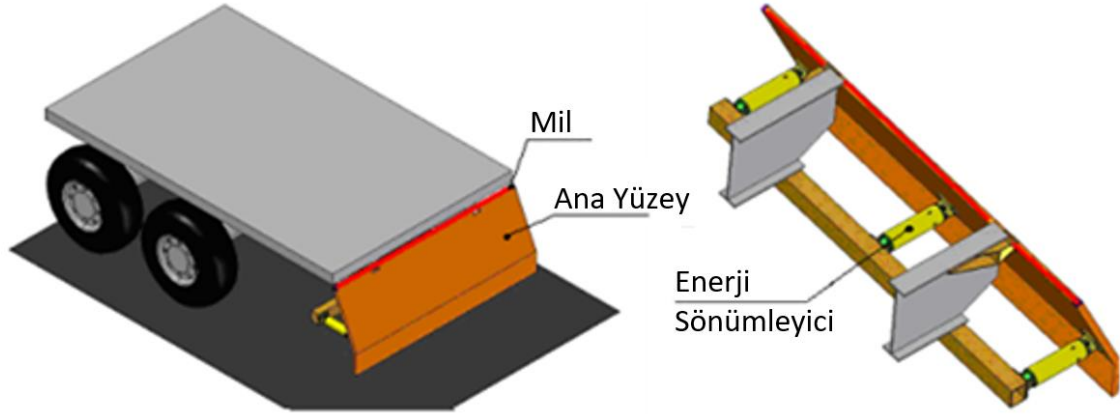
Brezilya arka koruyucu standardı CONTRAN / ECE'ye göre hazırlanan 50km/h hızda yeterli olmadığı görülmüştür. Mafsalsal tip arka koruyucunun aynı şartlarda uygun olduğu görülmüş olup birkaç tasarım değişikliğinden sonra kullanılabilirliği belirtilmiştir. Kısaç tip arka koruyucunun yapılan testler sonucunda uygun olduğu görülmüş ancak ağırlığından dolayı ticari olarak kullanılabilmesi için üzerinde büyük ölçüde değişiklik yapılması gerektiği bildirilmiştir (Resim 2.5 ve Resim 2.6). Bu tasarımlarla yapılan test sonuçlarına göre mevcut tasarımların yerden yüksekliklerinin 400 mm olması gerektiği belirtilmiştir [14].

Roger Zou, George Rechnitzer, Raphael Grzebieta, (2001), tarafından yapılan çalışmada, tasarımı yapılan arka koruyucunun performansı incelenmiştir. Simülasyonlar 75 km/h hız ile gerçekleştirilmiş olup, yapılan simülasyon sonuçları, Rechnitzer G., Powell C. ve Seyer K. (1996) tarafından yapılan çarpışma testleriyle karşılaştırılmış olup, simülasyon sonuçları ile çarpışma test sonuçlarının oldukça iyi bir uyum sergilediğini belirtmektedirler. Buna bağlı olarak, bu tür modellerin tasarlanması ve simüle edilmesi, doğru sonuçlara yaklaşılabilirliği, dolayısıyla maliyetlerin düşürülmesinin sağlanabileceğini bildirmişlerdir [15].

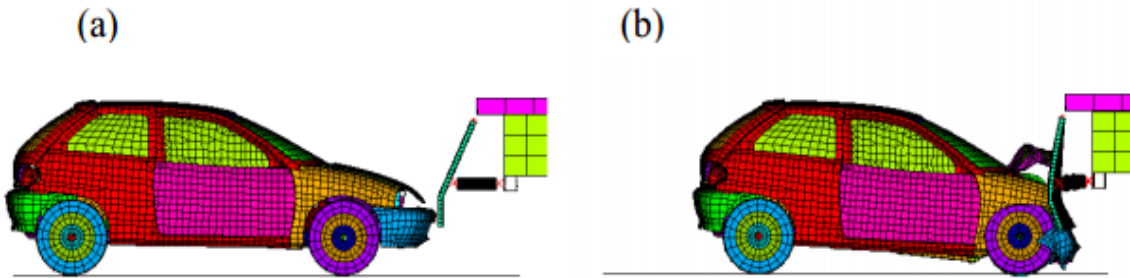
2003 yılında Atahan tarafından, FMVSS 223/224 yönetmeliklerine uygun olarak hazırlanan 3 boyutlu tasarımlar kullanılarak, 4 farklı tasarım LS Dyna programıyla simüle edilmiştir. Simülasyon şartları, %100 örtüşme, %50 örtüşme ve 48 km/h ile 56 km/h olarak belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarında, araçların yolcu kabini meydana gelen deformasyonlar ve araçların yavaşlama ivmeleri incelenmiş, yapılan yeni arka koruyucu tasarımının 56 km/h hızlara kadar gerçekleşen binek araç - ağır vasıta çarpışmaları sonucu kabul edilebilir sonuçlar ortaya koyabileceği bildirilmiştir [16].

2006 yılında Mustafa Kemal Üniversitesinde Atahan tarafından yapılan çalışmada, FMVSS 223 standardına göre hazırlanan arka koruyucunun yerden yüksekliği 560 mm olduğu zaman

çarpışma esnasında kabul edilebilir bir sonuç sergilemediği belirtilmiştir. Dahası bu mesafe 480 mm olduğu zamanda da yeterince güvenlik sağlamadığı görülmüştür [17].



Resim 2.7. Cappello, Ingrassia ve Nigrelli tarafından hazırlanan tampon tasarımı [18]



Resim 2.8. Cappello, Ingrassia ve Nigrelli tarafından yapılan tam örtüşme çarpışma simülasyonu testi öncesi (a) ve sonrası (b) [18]

2008 yılında Cappello, Ingrassia ve Nigrelli tarafından yapılan çalışmada, içi kapalı hücreli Cymat A35620SC 030SS adlı metal köpükle doldurulmuş 3 adet 6061 T6 alüminyum tüp kullanılarak arka koruyucu tasarımı yapılmıştır. Çarpışma esnasında ortaya çıkan enerjiyi daha iyi sönümlemek için alüminyum tüpler üzerinde yuva adı verilen delikler açılmıştır. Çarpışma analizleri ANSYS / LS Dyna sonlu elemanlar analiz programıyla %100 ve %40 örtüşmeli olarak yapılmıştır (Resim 2.7 ve Resim 2.8). Çarpışma testleri 56 km/h hızda gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda 200 katı ve sac parçadan oluşan 1998 model Geo Metro marka araç kullanılmıştır [18].

2010 yılında Brumbelow ve Blonar tarafından yapılan çalışmada arkadan çarpmalı kazalarda yürürlükteki arka koruyucu standartlarının performansı değerlendirilmiştir. LTCCS (Large

Truck Crash Causation Study / Kamyon Kaza Nedenleriyle ilgili Çalışma) kayıtlarında 115 binek aracın ağır vasıtaya arkadan çarpmasıyla meydana gelen alta girme durumları tespit edilmiştir. İncelenen kayıtların birçoğunda binek taşıt yolcu kabiniinde ciddi hasarlar oluştuğu belirlenmiştir. 22 arka koruyucuda kaza esnasında binek aracın yolcu kabinine kolay bir şekilde zarar vermesine neden olacak ciddi hasarlar bulduklarını bildirmişlerdir [19].

2010 yılında Allen tarafından yapılan çalışmada, Kuzey Karolina ve Florida'daki veriler ile GES (General Estimates System / Genel Tahmin Sistemi) çarpışma verileri analiz edilerek, arkadan çarpmalı kazalarda yaralanma ve ölüm riskini azaltmak için arka koruyucuların verimliliği üzerinde çalışma yapılmıştır. Kuzey Karolina'daki verilere göre binek aracın %50 sinin arka koruyucu tampon ile örtüşmesiyle olan kazaların, aracın %100 ünün arka koruyucu tampon ile örtüşmesiyle oluşan kazalara göre binek aracın yolcu kabinine daha çok zarar verdiği belirlenmiştir [20].



Resim 2.9. Aygün tarafından hazırlanan test numuneleri montaj öncesi (a) ve montaj sonrası (b) görüntüleri [21]

2013 yılında Aygün tarafından yapılan çalışmada, UN ECE R58 yönetmeliğine göre, ST37-2 kodlu malzeme kullanılarak hazırlanan geometrilere 7 farklı unsur eklenerek 8 adet test numunesi hazırlanmıştır (Resim 2.9) [21].



Resim 2.10. Statik yük öncesi test numunesinin yerleştirilmesi [21]

Yapılan çalışma, yarı statik deney düzeneğinde 120 kN'luk pres makinesiyle gerçekleştirilmiş olup (Resim 2.10), deformasyon şekilleri incelenmiş olup, uygulanan 100 kN'luk statik yük sonucunda en ideal koruyucu tipi belirlenmiştir [21].

2013 yılında Khore, Jain ve Tripathi tarafından yapılan çalışmada, tasarımı yapılan arka koruyucu sonlu elemanlar yöntemiyle test edilmiştir. Çarpışma testi 0,5 s süre ve 56 km/h hız ile gerçekleştirilmiştir [22].

2013 yılında, Xue ve Yang tarafından, Çin ağır taşıtlar için arka koruyucu standardı GB1156.2-2001 standardına göre hazırlanan 3 boyutlu tampon modeline, LS Dyna sonlu elemanlar simülasyon programı kullanılarak binek aracı, ayrı ayrı olmak şartıyla 32 km/h ve 54 km/h hızla ve %100 ve %50 örtüşmeyle çarptırılmışlardır. Çalışma sonucunda, tasarlanan yeni arka koruyucunun ortaya çıkan enerjinin %77 sini absorbe ettiğini bildirmişlerdir [23].

2014 yılında Gogate, Pachore ve Thorat tarafından yapılan çalışmada, IS 14812 yönetmeliğine uygun olarak standartta kullanılan arka koruyucu ile mevcut tasarım üzerinde değişiklikler yapılarak geliştirilen yeni tasarım, LS Dyna sonlu elemanlar simülasyon programı kullanılarak kıyaslanmıştır [24].

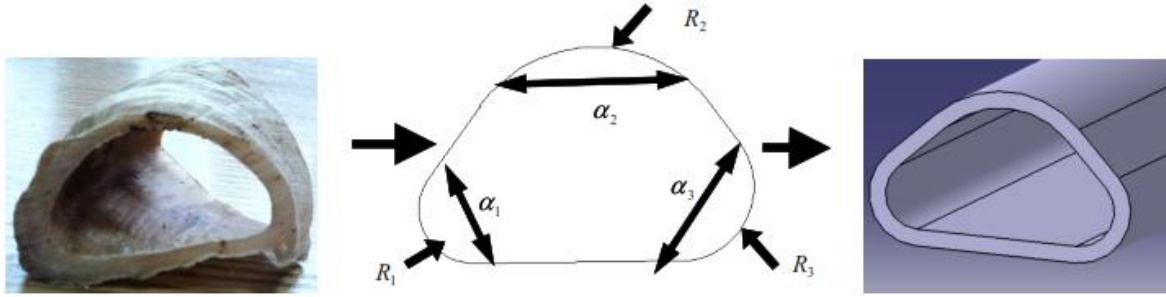
2014 yılında, Xie ve Yan Qiang tarafından yapılan çalışmada, GB11567.2-2001 yönetmeliğine uygun olarak 3 boyutlu tasarımı yapılan arka koruyucunun ANSYS sonlu elemanlar simülasyon programıyla yeterliliği ölçülmüştür [25].

2014 yılında, Khore, Jain ve Tripathi tarafından yapılan çalışmada, IS 14812-2005 yönetmeliğine göre hazırlanan 3 boyutlu arka koruyucu tasarımı, LS Dyna sonlu elemanlar simülasyon programıyla çarpışma testine tabi tutulmuştur. Simülasyonda literatürde kullanılmakta olan binek araç modeli kullanılmıştır. Arka koruyucu üzerinde belirlenen parçanın sac kalınlıkları değiştirilerek, enerji emme kabiliyeti karşılaştırılmıştır [26].

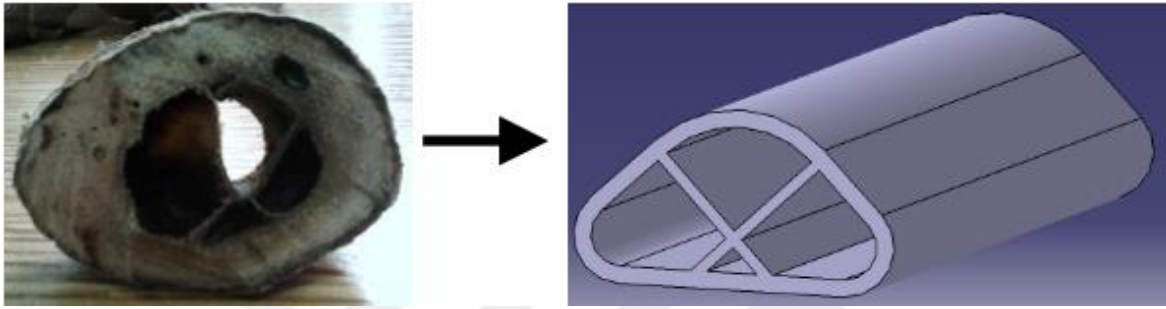
2014 yılında, Sen, Bohidar, Jaiswal, Anant ve Bhardwaj tarafından yapılan çalışmada, üç boyutlu tasarımı yapılan arka koruyucu sonlu elemanlar yöntemiyle ve fiziksel testlerle test edilmiştir. Analizlerde, IS-14812 2005 standardında tampon üzerinde belirtilen noktalara statik yüklerin uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda gerçek testler ile sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçların aynı çıktığı görülmüştür [27].



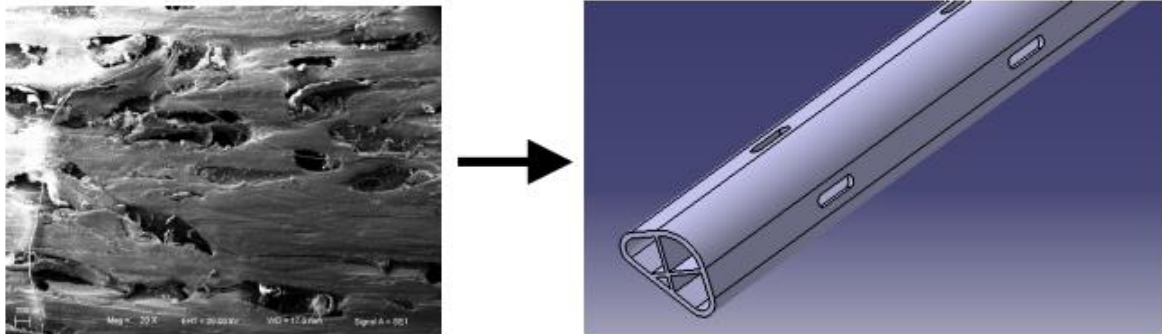
Resim 2.11. Koyun boynuzu örnekleri [27]



Resim 2.12. Arka koruyucu koruma için dış kabuk dizayn çalışmaları [27]



Resim 2.13. Arka koruyucu için iç kabuk dizayn çalışmaları [27]



Resim 2.14. Koyun boynuzunun mikro ölçekli yapısı ve arka koruyucuya benzer yapıda deliklerin açılması [27]

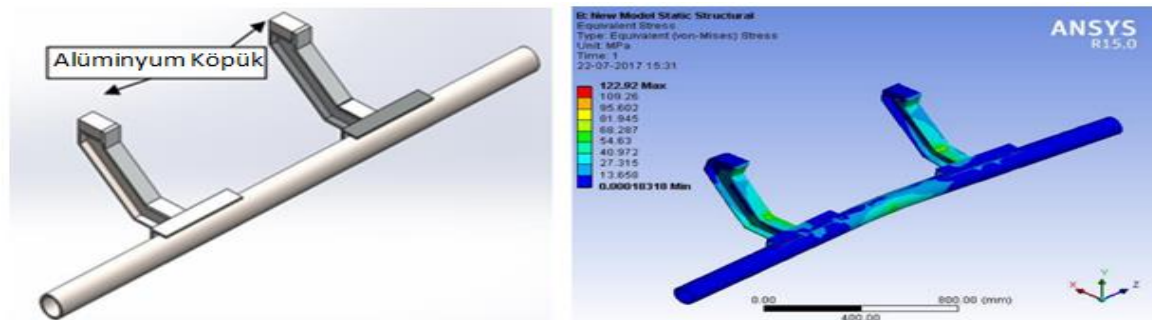
2014 yılında Sun, Zhao, Yang, Ren ve Zhu tarafından yapılan çalışmada, koyun boynuzunun mikro ve makro yapısı incelenerek, koyun boynuzu yapısına benzer şekilde tasarlanan, çift katmanlı konfigürasyona sahip yeni modelin maksimum gerilme değerleri incelenmiştir (Resim 2.11, Resim 2.12, Resim 2.13 ve Resim 2.14). Çalışmada Çin arka koruyucu yönetmeliği GB11576.2-2001'ye göre statik test yükleri uygulanmıştır. Bunun neticesinde aynı kalınlığa sahip modele kıyasla, koyun boynuzu yapısına benzer şekilde tasarlanan yeni modelin, arkadan çarpışmalarda daha etkin koruma sağladığı belirtilmiştir [28].



Resim 2.15. Sumit Sharma, Pawar, Patel ve Sandeep Sharma tarafından yapılan simülasyon testi sonucu maksimum yer değiştirme görüntüsü [28]

2015 yılında Sumit Sharma, Pawar, Patel ve Sandeep Sharma tarafından yapılan çalışmada, IS 14812 – 2005 standardına göre arka koruyucu tasarımı sonlu elemanlar yöntemiyle test edilmiştir (Resim 2.15) [29].

2016 yılında Rajopadhye, Rasalve ve Phadke tarafından yapılan çalışmada, hazırlanan arka koruyucu tasarımı sonlu elemanlar yöntemiyle statik analiz yapılmıştır. Sıcak haddelenmiş sac malzeme kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre maksimum yer değiştirme 338mm ve maksimum gerilme ise 1 445 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre yapılan tasarımın uygun olduğu belirtilmiştir [30].



Resim 2.16. Mohod tarafından test edilen arka koruyucu tasarımı ve simülasyon sonrası Von-Mises Gerilmeleri [31]

2017 yılında Mohod tarafından yapılan çalışmada, Hindistan arka koruyucu standardı olan IS 14812-2005'e göre arka koruyucu tampon tasarımı hazırlanmıştır (Resim 2.16). Tasarımda AISI 1020 çeliği ve alüminyum köpük kullanılmış olup, arka koruyucuya, standartta belirlenen P1, P2 ve P3 noktalarına ANSYS sonlu elemanlar analiz programıyla statik yükler uygulanmıştır. Hazırlanan arka koruyucu tasarımının yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda IS 14812-2005'e göre yeterli koruma sağlandığı görüldüğü bildirilmiştir [31].

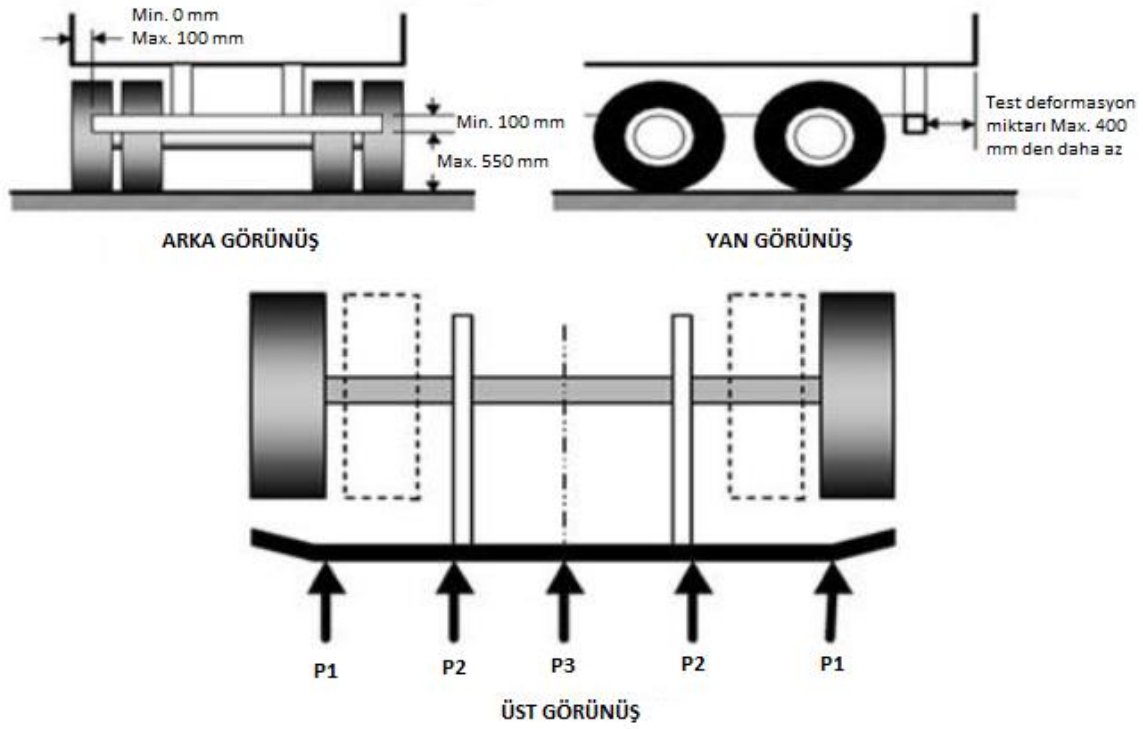
2017 yılında Jain ve Kumar tarafından yapılan çalışmada, tasarımı yapılan arka koruyucu sonlu elemanlar yöntemiyle test edilmiştir. Çarpışma testi 0,2 s süre ve 36,26 km/h hız ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çarpışma testleri IS 14812:2005 standardına göre değerlendirilmiştir. Yapılan çarpışma testleri sonuçlarına göre 3mm et kalınlığındaki eğrisel profil ve enerji sönmüleyici ile hazırlanan arka koruyucunun IS 14812:2005 standardına göre yeterli korumayı sağladığı sonucuna varılmıştır [32].

2017 yılında Goud ve Pachor tarafından yapılan çalışmada, 3 boyutlu tasarımı yapılan arka koruyucunun ANSYS analiz programıyla IS 14812 standardına uygun olarak arka koruyucu üzerinde belirlenen noktalar üzerine statik kuvvetler uygulanarak, arka koruyucunun yeterliliği test edilmiştir [33].

2017 yılında, Al-Bahash, Ansari ve Shah tarafından yapılan çalışmada, tasarımı yapılan arka koruyuculara, LS Dyna sonlu elemanlar simülasyon programıyla 63 km/h hızla, binek araç çarptırılarak, meydana gelen yer değiştirmeler incelenmiştir [34].

2.3. Arka Koruyucu Standartları

Ülkemizde ve Avrupa'da kullanılmakta olan arka koruyucu düzenlemesi Council Directive 70 / 221 / EEC 1970 yılında yürürlüğe girmiştir. Düzenleme yürürlüğe girdikten sonra birkaç kez revize edilmiştir [35].



Resim 2.17. UN ECE R58 arka koruyucu Avrupa yönetmeliği [35]

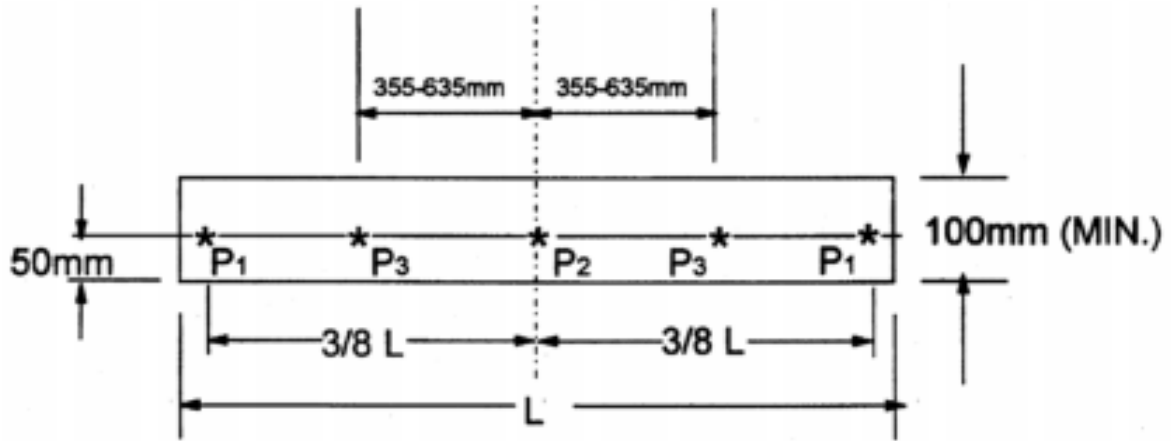
Çizelge 2.1. 2007 öncesi ve sonrası UN ECE R58 test yük miktarları [35]

TEST YÜKÜ	2007 ÖNCESİ	2007 SONRASI
P1	25 kN	50 kN
P2	100 kN	100 kN
P3	25 kN	50 kN

İlk haliyle çoğunlukla sıvı yakıt tankerleri için uygulanmıştır. Araç yüksüz iken arka koruyucunun en alt kısmı ile zemin arasındaki fark 700 mm'den fazla olmamalıdır. Arka koruyucunun mukavemeti, en az bir çelik kiriş çapraz kesitinin 20 cm³ lük eğilme mukavemetine eş olarak tanımlanmıştır. 2007 yılında düzenleme için önemli bir revizyon gelmiştir. Noktasal olarak uygulanan kuvvetlerin ayrı ayrı uygulanması gerekmektedir (Resim 2.17). Bu yük miktarları Çizelge 2.1'de verilmiştir. Revizyon sonrası araç yüksüz iken arka koruyucunun en alt kısmı ile zemin arasındaki maksimum uzaklık 700 mm'den 550 mm'ye çekilmiştir (Resim 2.17). Düzenlemeye göre enerji sönmleme gerekliliği mevcut değildir. Ve yapılan test sonrası yatay eleman yüksekliği ile ilgili belirlenen bir gereklilik mevcut değildir [35].

Çizelge 2.2. Çizelge ABD test yük gereklilikleri [35]

TEST NOKTASI	UYGULANMASI GEREKEN YÜK MİKTARI
P1	50 kN
P2	100 kN
P3	50 kN



Resim 2.18. FMVSS 223 arka koruyucu yatay elemanı [35]



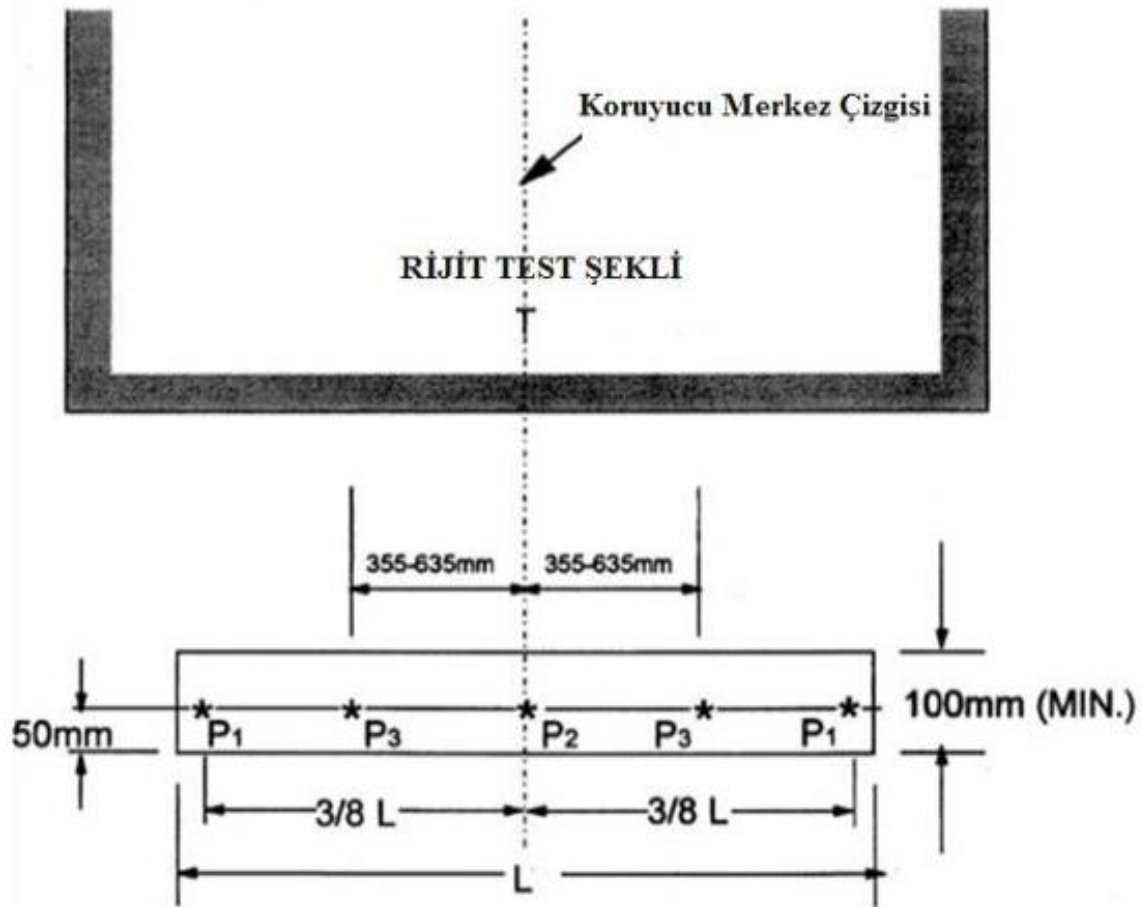
Resim 2.19. FMVSS 223 arka koruyucu yönetmeliğine ilişkin detaylar [35]

Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmakta olan ağır vasıtalar için arka koruyucu düzenlemesi FMVSS 223 ve 224 1998 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Bu düzenleme, 4 356 kg'dan daha ağır treylerler için uygulanır. Statik test yükleri Çizelge 2.2'de gösterildiği üzere bağımsız yük noktaları olan P1 ve P3 noktalarına 50 kN, P2 noktasına ise 100 kN olarak uygulanır (Resim 2.18 ve Resim 2.19). Arka koruyucunun aynı anda birden fazla noktadan test yükü ile test edilmesi gerekli değildir. P3 noktasına uygulanan yükleme sonucunda, arka koruyucunun ilk 125 mm'lik sehim içerisinde en az 5,65 kJ plastik

deformasyon enerjisi sönümlenmesi gereklidir. Test sonrası yükseklikle ilgili herhangi bir sınırlama mevcut olmamak kaydı ile, test öncesi arka koruyucunun en alt kısmı ile zemin arasındaki dikey yükseklik farkı 560 mm'den daha fazla olmamalıdır (Resim 2.19). FMVSS 223 arka koruyucu düzenlemesi arka koruyucuların bağlantı yöntemleri, montajı ve kurulum talimatlarını içeren açıklama ve detaylı test talimatları içermektedir. Bu düzenlemenin amacı bağımsız arka koruyucu imalatçı ve montajcılarını, arka koruyucuların montaj pozisyonunu düzenleme gereksinimlerine göre uygunluğunu garantiye almaktır [35].

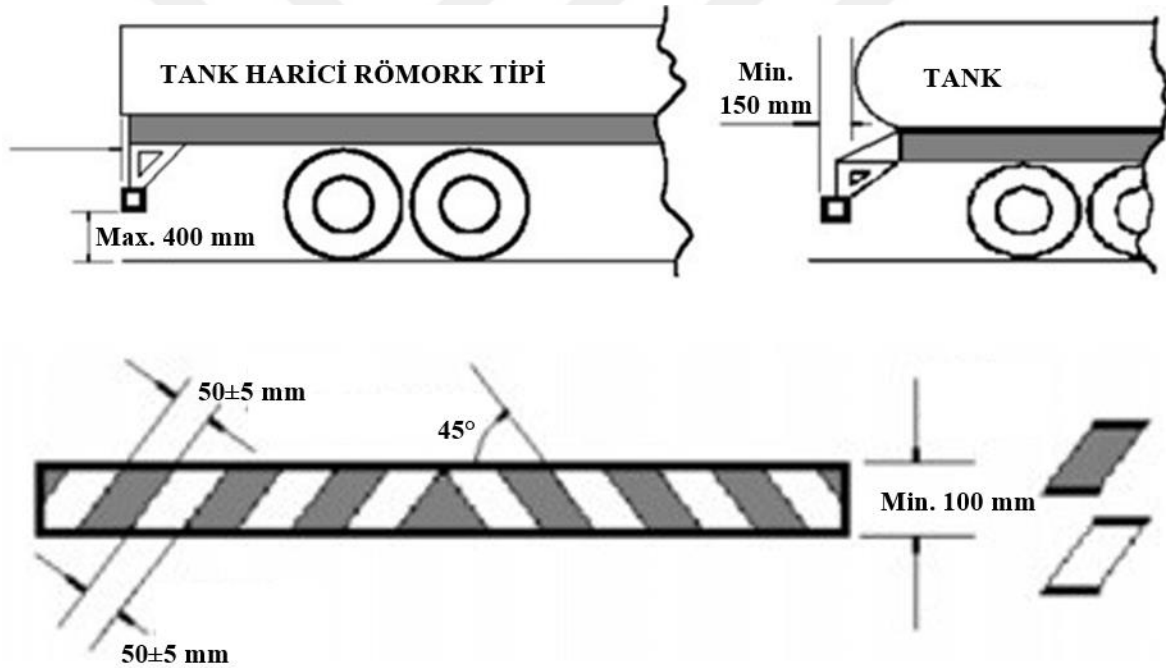
Çizelge 2.3. Kanada arka koruyucu düzenlemesi test yük miktarları [35]

TEST NOKTALARI	TEPE KUVVETİ
P1	50 kN (Noktasal Yük)
P2	50 kN (Noktasal Yük)
P3	175 kN (Noktasal veya Üniform Yük)



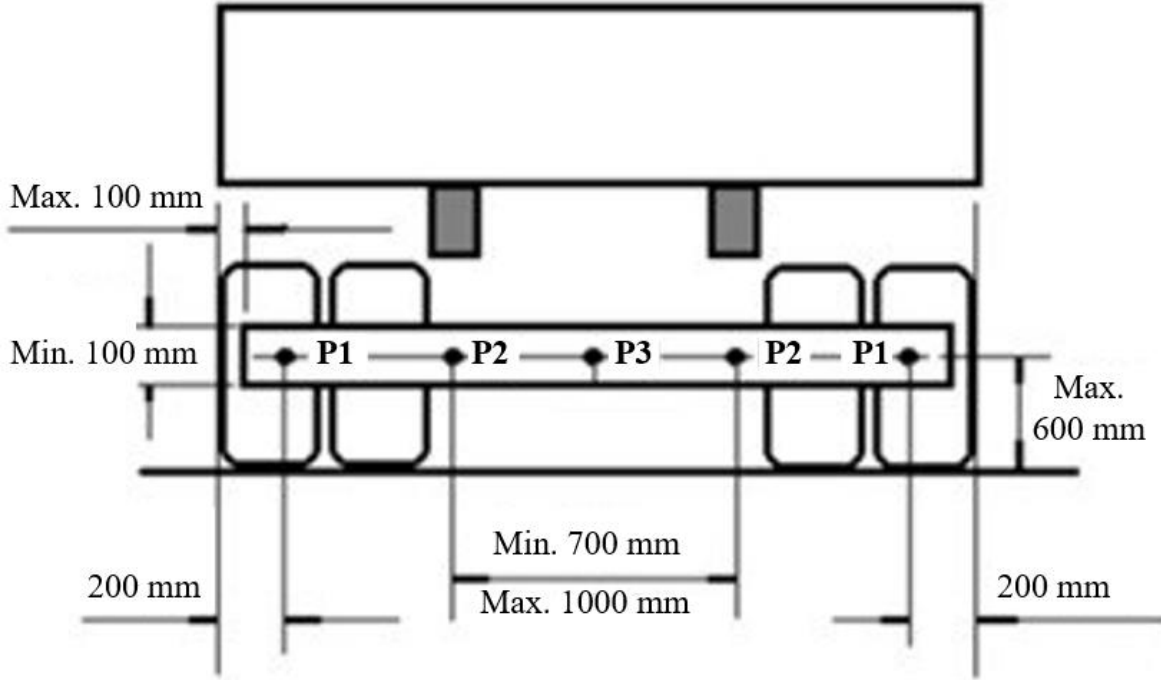
Resim 2.20. Kanada'daki test yükleri uygulama bölgeleri [35]

Kanada’da kullanılmakta olan ağır vasıtalar için arka koruyucu düzenlemesi no:223 1 Eylül 2007 de uygulanmaya başlanmıştır. Kanada’daki arka darbe koruyucu düzenlemesinde ABD’de kullanılan düzenleme gibi Resim 2.16’da görülen P1 ve P2 noktalarına uygulanacak yük miktarı Çizelge 2.4’te görüldüğü üzere aynıdır. Ancak P3 noktasına uygulanacak olan yük miktarı ve yükün uygulanma biçimi farklıdır. P3 test noktasında, yatay eleman yüzünün üzerinden üniform 350 kN yük geçmesi gerekir ki bu 125 mm sehim içerisinde en az 20 kJ enerjiyi sönmülmesi demektir. Bu açıklama, çarpışma esnasında arka koruyucunun 700 kN’den daha büyük üniform yüke karşı koyabileceğini kanıtlar ve düzenlemeyle belirlenen enerji sönmülme gereksinimleri kurallaştırılmış olur. Son olarak, üniform yük testi tamamlandıktan sonra, yatay elemanın her birinin yerden yüksekliği 560 mm’yi geçmeyecek şekilde arka koruyucuya bağlı olduğu görülmelidir [35].



Resim 2.21. Brezilya arka koruyucu düzenlemesine ilişkin detaylar (a)[35]

Resim 2.21’de gösterildiği gibi Brezilya’daki düzenleme arka koruyucunun ön yüzünde göze çarpan kırmızı-beyaz şeritler içerir [35].



Resim 2.22. Brezilya arka koruyucu düzenlemesine ilişkin detaylar (b) [35]

Çizelge 2.4. Brezilya arka koruyucu düzenlemesine ilişkin test yükleri [35]

	ARACIN BRÜT AĞIRLIĞI (kg)			
TEST NOKTASI	4 600-6 500	6 500-10 000	10 000-23 500	>23 500
P1	50 kN	60 kN	80 kN	100 kN
P2	75 kN	90 kN	120 kN	150 kN
P3	50 kN	60 kN	80 kN	100 kN

Brezilya’da kullanılmakta olan ağır vasıtalar için arka koruyucu düzenlemesi 1 Temmuz 2004’te uygulanmaya başlanmıştır. Bu düzenleme, brüt ağırlığı 4 600 kg üzerinde olan ağır vasıtalar için uygulanmıştır. Şekilde görüldüğü üzere, düzenleme, yatay eleman alt kısmının yerden yüksekliği 400 mm’yi geçmemesi gerektiğini bildirmektedir. Tehlikeli malzeme taşıyan tankerde, şekilde görüldüğü gibi yatay eleman tanktan minimum 150 mm uzağa yerleştirilmesi gerekmektedir (Resim 2.21 ve Resim 2.22). Statik kuvvet uygulama noktaları ABD, Kanada ve Avrupa standartlarındaki gibidir. Bu noktalara uygulanacak kuvvet miktarları uygulamanın yapılacağı araç ağırlığına göre değişiklik göstermektedir. Bu kuvvet miktarları Çizelge 2.4’te gösterilmektedir [35].

2.4. TS EN 1317 Standardı

TS EN 1317 Avrupa Yol Kenarı Emniyet Sistemleri standardı olarak geçmektedir.

Asi hesap yöntemi Denklem 1' de gösterilmiştir.

$$ASI_{(t)} = \left[\left(\frac{\bar{a}_x(t)}{20} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y(t)}{15} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z(t)}{17} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.1)$$

$\bar{a}_x(t)$: X yönündeki maksimum ivme değeridir.

$\bar{a}_y(t)$: Y yönündeki maksimum ivme değeridir.

$\bar{a}_z(t)$: Z yönündeki maksimum ivme değeridir [36].

Formülde belirtilen 20, 15 ve 17 değerleri 3 noktalı bağlantı tipli kemer tipine göre verilmiştir. Bu değerler kemer bağlantı şekline göre değişiklik göstermektedir [36].

Bu standarda göre çarpışma testi sonucunda elde edilen X, Y ve Z eksenlerinden elde edilen ivme verileri kullanılarak hızlanma şiddet derecesi hesaplanır (Denklem 1).

Çizelge 2.5. ASI şiddet sınıfları [36]

ÇARPMA ŞİDDET SINIFI	İNDEKS DEĞERLERİ	
A	$ASI \leq 1$	THIV (Theoretical Head Impact Velocity / Teorik Ön Çarpışma Hızı) <44 km/h
B	$ASI \leq 1,4$	THIV (Theoretical Head Impact Velocity / Teorik Ön Çarpışma Hızı) <44 km/h

Hesaplanan bu değer ASI (Acceleration Severity Index / Hızlanma Şiddet Endeksi) olarak adlandırılır ve hesaplanan değer 1'den küçük ise çarpma şiddet sınıfı A olarak adlandırılır. Eğer ASI değeri 1 ile 1,4 arasında ise Çizelge 2.6'da görüldüğü üzere çarpma şiddet sınıfı B olarak adlandırılır. Son olarak çarpışma sonucunda ortaya çıkan ivme değerlerine göre ASI değeri 1,4 ten büyük olması durumunda taşıt içerisinde bulunan sürücü ve yolcularda ciddi derecede yaralanmalar meydana gelebilir [36].

Literatürde, TS EN 1317 Avrupa Yol Kenarı Emniyet Sistemleri standardı ile ilgili yapılan çalışmalar mevcuttur [37].

2.5. Ülkemizdeki Mevcut Arka Koruyucu Uygulamaları



Resim 2.23. Ülkemizde uygulamada olan arka koruyucu örnekleri (a)



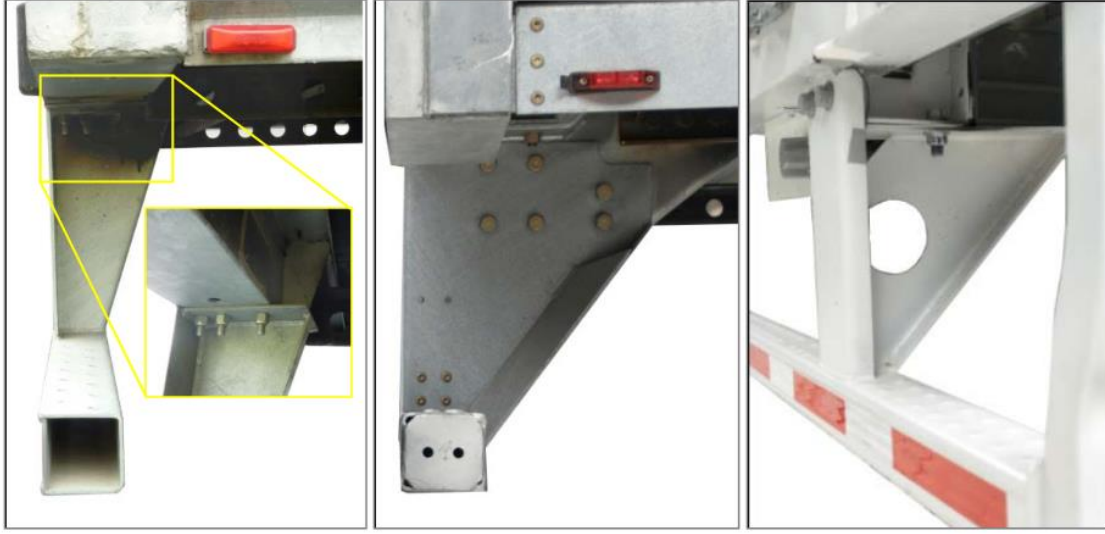
Resim 2.24. Ülkemizde uygulamada olan arka koruyucu örnekleri (b)



Resim 2.25. Ülkemizde uygulamada olan arka koruyucu örnekleri (c)

Resim 2.23, Resim 2.24 ve Resim 2.25'te ülkemizde kullanılan arka koruyucu tasarımları görülmektedir.

2.6. Uluslararası Mevcut Arka Koruyucu Tampon Tasarımları



Resim 2.26. Solda 2007 Hyundai arka koruyucu destek elemanları, ortada 2007 Vanguard ve sağda 2011 Wabash yarı römorklar [36]

2011 yılında Brumbelow tarafından yapılan çalışmada, arka koruyucu tasarımları test edilmiştir. Mevcutta kullanılmakta olan arka koruyucu tampon tasarımları arasındaki temel farklar dikey destek eleman tasarımlarıyla ilgili olduğu görülmektedir (Resim 2.26) [38].

Çizelge 2.6. Brumbelow tarafından yapılan çalışmanın şartları [38]

RÖMORK TİPİ	ÇARPIŞMA HIZI (km/h)	ARKA KORUYUCUYLA ÖRTÜŞME YÜZDESİ	ARKA KORUYUCUNUN ZEMİN İLE OLAN MESAFESİ (mm)
2007 Hyundai	56	Tam Genişlik	476
2007 Vanguard	40	%50	422
2007 Vanguard	56	%50	427
2011 Wabash	56	Tam Genişlik	445
2011 Wabash	56	%50	443
2011 Wabash	56	%30	453

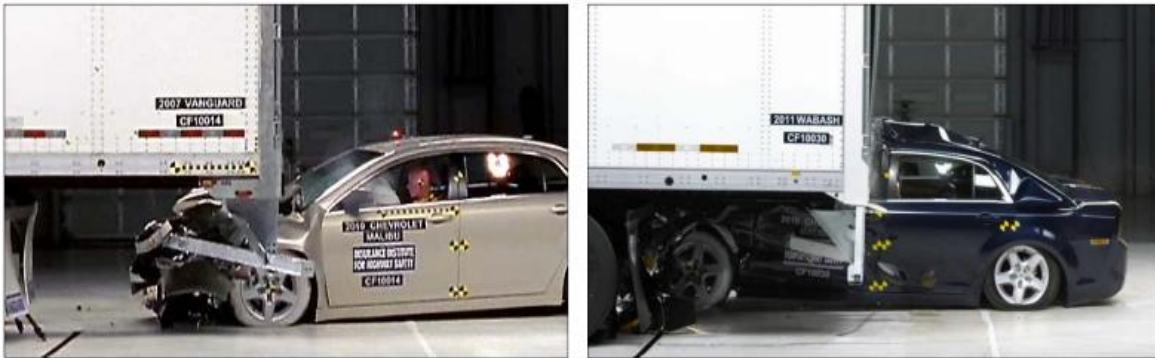
Brumbelow tarafından 6 farklı çarpışma testi gerçekleştirilmiş olup, test şartları Çizelge 2.6'da belirtilmiştir [38].



Resim 2.27. Sol tarafta %100 örtüşme ve 56 km/h çarpışma hızı ile 2007 Hyundai römorka, sağ tarafta ise %100 örtüşme ve 56 km/h çarpışma hızı ile 2011 Wabash römorka çarpma test sonuçları [38]



Resim 2.28. Sol tarafta %50 örtüşme ve 56 km/h çarpışma hızı ile 2007 Vanguard römorka, sağ tarafta ise %50 örtüşme ve 56 km/h çarpışma hızı ile 2011 Wabash römorka çarpma test sonuçları [38]



Resim 2.29. Sol tarafta %50 örtüşme ve 40 km/h çarpışma hızı ile 2007 Vanguard römorka, sağ tarafta ise %30 örtüşme ve 56 km/h çarpışma hızı ile 2011 Wabash römorka çarpma test sonuçları [38]

Vanguard ve Wabash römorkları, toplam ağırlığı 18,7 ton olan 11 adet beton blokla yüklü olmakla beraber, römork uzunlukları 16,2 m olduğu, Hyundai römorkunun ise toplam ağırlığı 15,3 ton olan 9 adet beton blokla yüklü olmakla beraber, toplam römork uzunluğunun 14,6 m olduğu belirtilmiştir. Çarpışma testlerinde IIHS çarpışma testlerinden 5 yıldız almış olan 2010 model Chevrolet Malibu sedan araç kullanılmış olup, test şartları Resim 2.27, Resim 2.28 ve Resim 2.29'da belirtilmiştir [38].



Çizelge 2.7. Brumbelow tarafından yapılan çarpışma test sonuçları [36]

MARKA	NCAP	NCAP	WABASH	WABASH	WABASH	WABASH	WABASH	VANGUARD	VANGUARD	VANGUARD	HYUNDAI	HYUNDAI
ÖRTÜŞME YÜZDESİ	RÜJİT DUVARA TAM ÖRTÜŞME	RÜJİT DUVARA TAM ÖRTÜŞME	% 30 ÖRTÜŞME	% 50 ÖRTÜŞME	TAM ÖRTÜŞME	TAM ÖRTÜŞME	% 50 ÖRTÜŞME	% 50 ÖRTÜŞME	% 50 ÖRTÜŞME	TAM ÖRTÜŞME	TAM ÖRTÜŞME	TAM ÖRTÜŞME
ÇARPIŞMA HIZI	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h	56 km/h
SÜRÜCÜ / YOLCU	SÜRÜCÜ	YOLCU	SÜRÜCÜ	SÜRÜCÜ	YOLCU	SÜRÜCÜ	SÜRÜCÜ	SÜRÜCÜ	SÜRÜCÜ	YOLCU	YOLCU	SÜRÜCÜ
KAFAYA KISMINA UYGULANAN BİLEŞKE İVMELENMİ	49	55	130	36	50	54	109	15	107	128	754	21
KAFAYA KISMINA UYGULANAN BİLEŞKE İVME (3 ms; g)	330	389	880	160	319	328	254	24	557	107	754	21
BOYNUN DEĞİŞTİRDİĞİ TOPLAM MESAFE (mm)	43	42	37	25	36	36	14	16	14	14	21	-19
SOL UYLUK KEMİĞİNE ETKİ EDEN KUVVET	-40	-32	-16	-33	-37	-38	-20	-25	-20	-20	-19	-0.3
SOL UYLUK KEMİĞİNE ETKİ EDEN KUVVET	-2	-0.5	-0.6	-3.7	-2.3	-2.2	-2.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.3
SOL UYLUK KEMİĞİNE ETKİ EDEN KUVVET	-1.2	-0.8	-0.1	-0.9	-1.8	-1.2	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.3

Brumelow tarafından yapılan çalışmada; çarpışma testlerinde kullanılan sürücü ve yolcu kısımlarında oturan mankenlerden alınan verilere göre (Çizelge 2.7), aynı hızda gerçekleştirilen rijit bir duvara çarpma testlerine göre yaralanmalarının daha olası olduğu bildirilmiştir [38].



3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada ST37-2 yumuşak yapı çeliği kullanılarak arka koruyucu tampon tasarımları yapılmış ve tasarım üzerinde belirlenen bir parametre üzerinde değişiklik yapılarak sonlu elemanlar simülasyonu yapılmıştır. İlk olarak yalın bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin, sonlu elemanlar yöntemiyle çarpışma simülasyonları gerçekleştirilerek hız ve ivme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak ASI değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın amacı, arka koruyucularla ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğundan ve mevcut standartların yeterli olmamasından dolayı bu alanla ilgili eksikliğin kapatılmasıdır.

3.1. Materyal

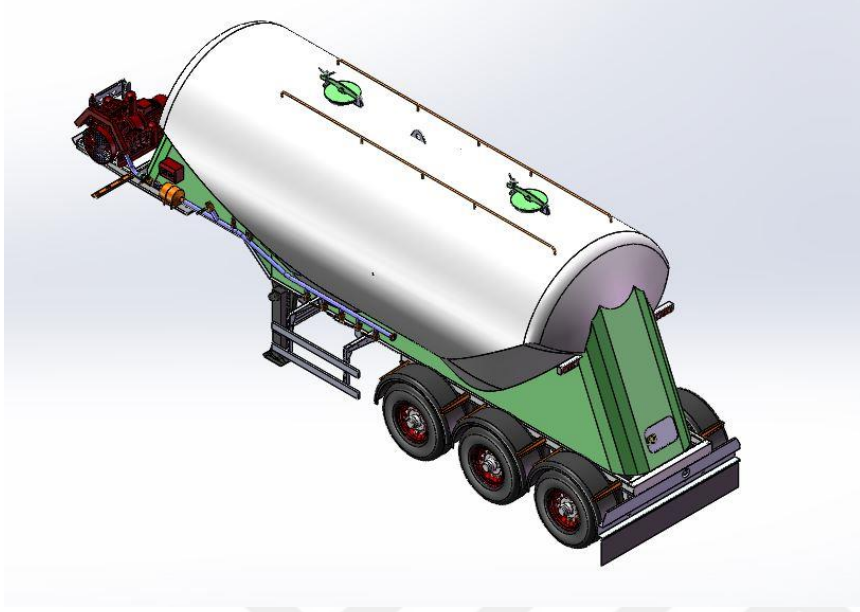
3.1.1. Simülasyonlarda Kullanılan Malzemeler

Çizelge 3.1. ST37-2 çeliğinin mekanik özellikleri [39]

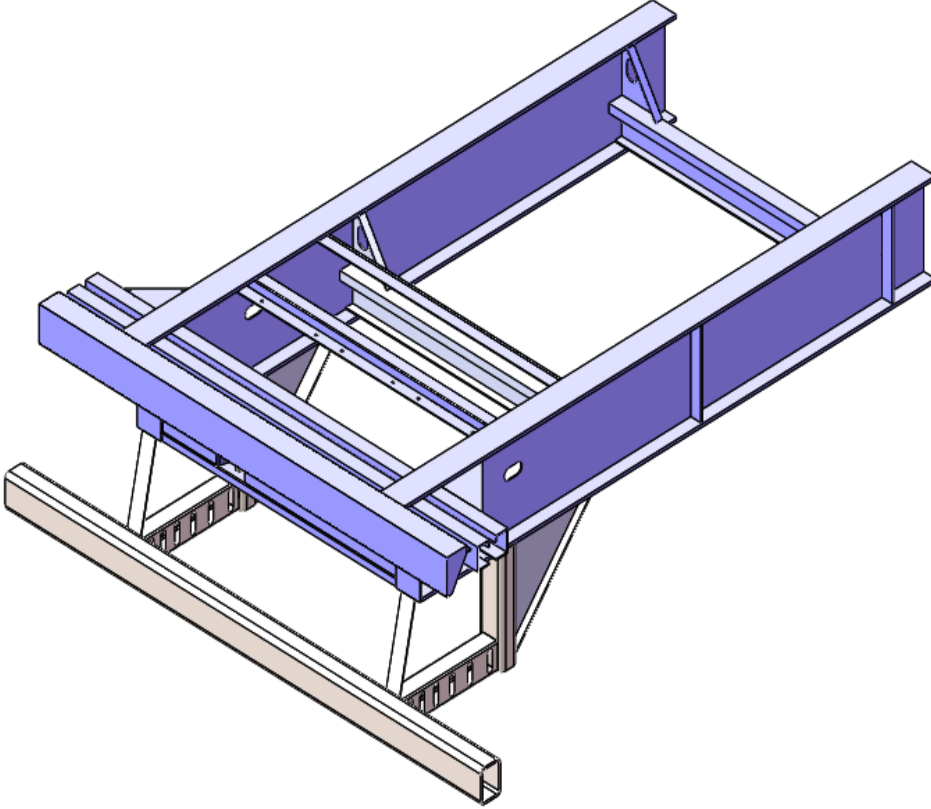
Çelik Kalite Sembolü	Mekanik Özellikleri													
	Akma Mukavemeti Re (min.) N/mm ²		Çekme Mukavemeti Rm (2) N/mm ²				Uzama A (%) min.		Darbe Dayanımı					
	d (mm)		d (mm)				A80		A5					
EN 10027-1 / CR 10260	EN 10027-2	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	<3	>3 ≤100	>1	>1 ≤1.5	>1.5 ≤2	>2 ≤2.5	>2.5 <3	>3 ≤40	°C	J min.
S235JR	1.0038	235	225	215	360-510	360-510	17	18	19	20	21	26	20	27

Simülasyonlarda kullanılan ST37-2 yapı çeliğinin mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Arka koruyucularda sadece ST37-2 yapı çeliği kullanılmıştır [39].

3.1.2. Simülasyonlarda Kullanılan Programlar

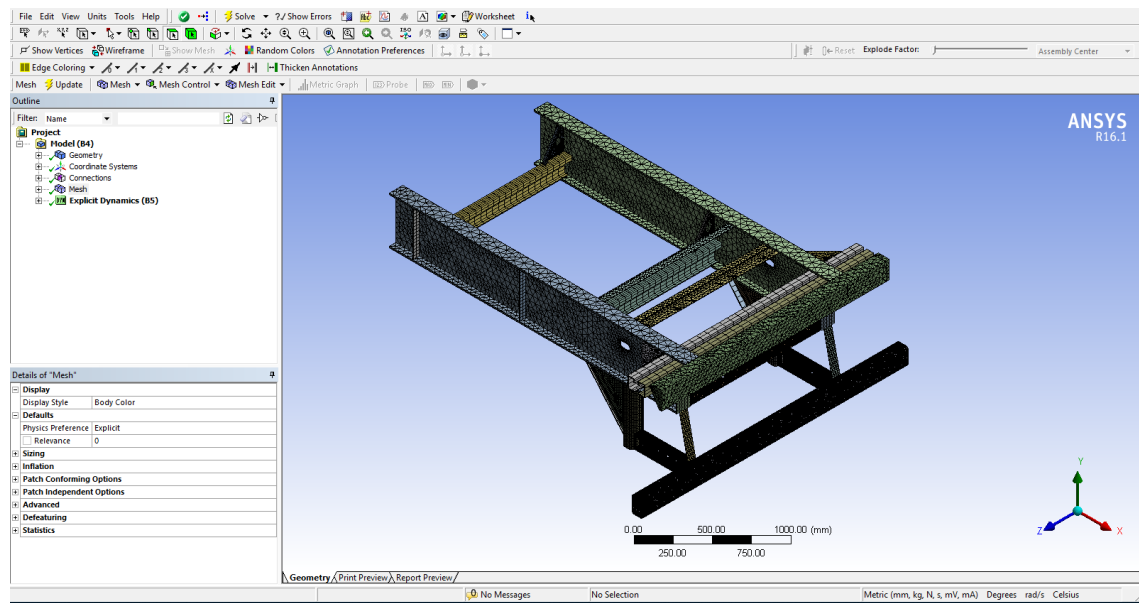


Resim 3.1. SolidWorks'te tasarlanan silobas modeli



Resim 3.2. SolidWorks'te tasarlanan şasi ve arka koruyucu

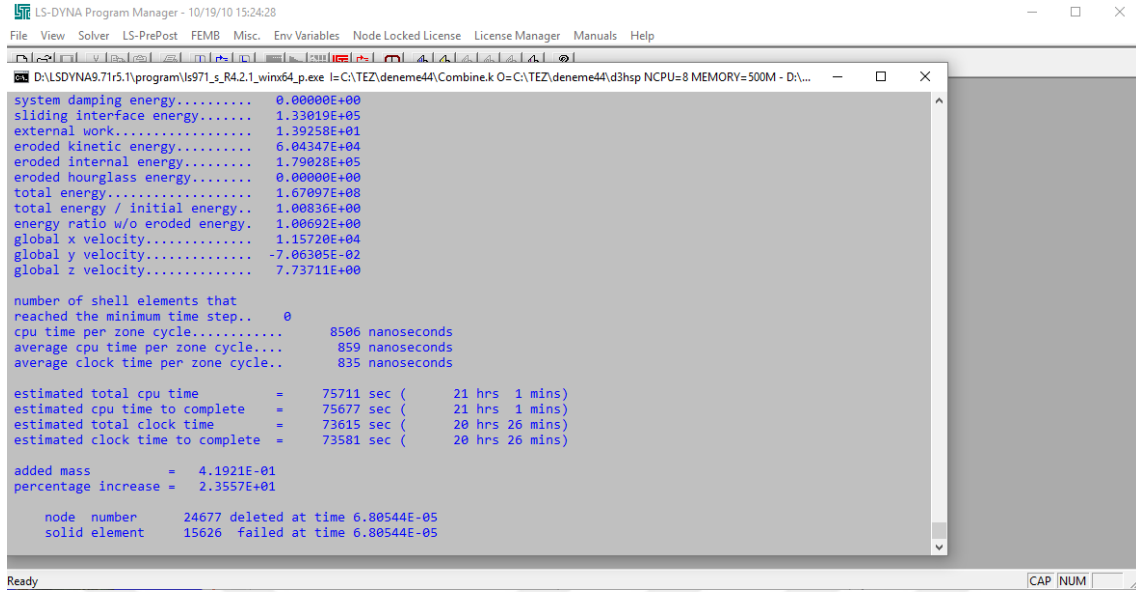
SolidWorks, 2 ve 3 boyutlu parametrik bir tasarım ve çizim programıdır. SolidWorks ile 2 ve 3 boyutlu tasarımlar yaparak sonlu elemanlar simülasyonu yapılabilir (Resim 3.1 ve 3.2). Bunlara ek olarak SolidWorks programı parametrik tasarım yaptığından dolayı kullanıcıya tasarım üzerinde her türlü ölçü değişikliğini yapmasına olanak verir. Yapılan tasarımlar, SolidWorks ile hızlı bir şekilde teknik resim ve montaj haline getirilebilir. Hatta montaj veya parça üzerinde yapılan değişiklikler, anında teknik resim ekranına yansıtılabilir. 3 boyutlu parçalar ve montajlar üzerinde sonlu elemanlar simülasyonu yapabilir ve buna ek olarak çalışmalarımızı animasyon haline getirebiliriz [40].



Resim 3.3. ANSYS programının ara yüzü

ANSYS, akışkanlar mekaniği, titreşim, mukavemet, elektromanyetik ve ısı transferi alanlarında kullanılabilen genel amaçlı bir sonlu elemanlar programıdır. ANSYS sonlu elemanlar programıyla, henüz üretimi gerçekleştirilmemiş bir çalışmanın simüle edilmesine imkân sağlar. Buna ek olarak yapılan sonlu eleman simülasyonları sonucunda çalışmada mevcut zayıf noktalar belirlenerek, iyileştirme, ömür hesapları ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkündür. ANSYS, hem kendi bünyesinde bulunan 2B ve 3B modelleme programı SpaceClaim programıyla tasarım yapılıp, simülasyon yapılmasına; hem de dışarıdan çağrılan “.step” uzantılı dosyaları kullanarak simülasyon yapılmasına olanak sağlar (Resim 3.3) [41].

Literatürde ANSYS ile yapılmış çalışmalar mevcuttur [42-43].



```

LS-DYNA Program Manager - 10/19/10 15:24:28
File View Solver LS-PrePost FEMB Misc. Env Variables Node Locked License License Manager Manuals Help
D:\LS-DYNA9.71\5.1\program\ls971_g_R4.2.1_winx64_p.exe l=C:\TEZ\deneme44\Combine.k O=C:\TEZ\deneme44\d3hsp NCPU=8 MEMORY=500M - Da...
system damping energy..... 0.00000E+00
sliding interface energy..... 1.33019E+05
external work..... 1.39258E+01
eroded kinetic energy..... 6.04347E+04
eroded internal energy..... 1.79020E+05
eroded hourglass energy..... 0.00000E+00
total energy..... 1.67097E+08
total energy / initial energy.. 1.00836E+00
energy ratio w/o eroded energy.. 1.00692E+00
global x velocity..... 1.15720E+04
global y velocity..... -7.06305E-02
global z velocity..... 7.73711E+00

number of shell elements that
reached the minimum time step.. 0
cpu time per zone cycle..... 8506 nanoseconds
average cpu time per zone cycle... 859 nanoseconds
average clock time per zone cycle.. 835 nanoseconds

estimated total cpu time = 75711 sec ( 21 hrs 1 mins)
estimated cpu time to complete = 75677 sec ( 21 hrs 1 mins)
estimated total clock time = 73615 sec ( 20 hrs 26 mins)
estimated clock time to complete = 73581 sec ( 20 hrs 26 mins)

added mass = 4.1921E-01
percentage increase = 2.3557E+01

node number 24677 deleted at time 6.80544E-05
solid element 15626 failed at time 6.80544E-05

```

Resim 3.4. LS Dyna programının ara yüzü

LS Dyna, eksplisit çözüm yöntemini kullanan bir sonlu elemanlar simülasyon programıdır (Resim 3.4). LS Dyna ile çarpışma, düşme, patlama, hava yastığı açılma, sac metal şekillendirme, statik, araçlarda gürültü, titreşim ve araç kullanım sertliği ölçüm testleri yapmamıza imkân verir [44].

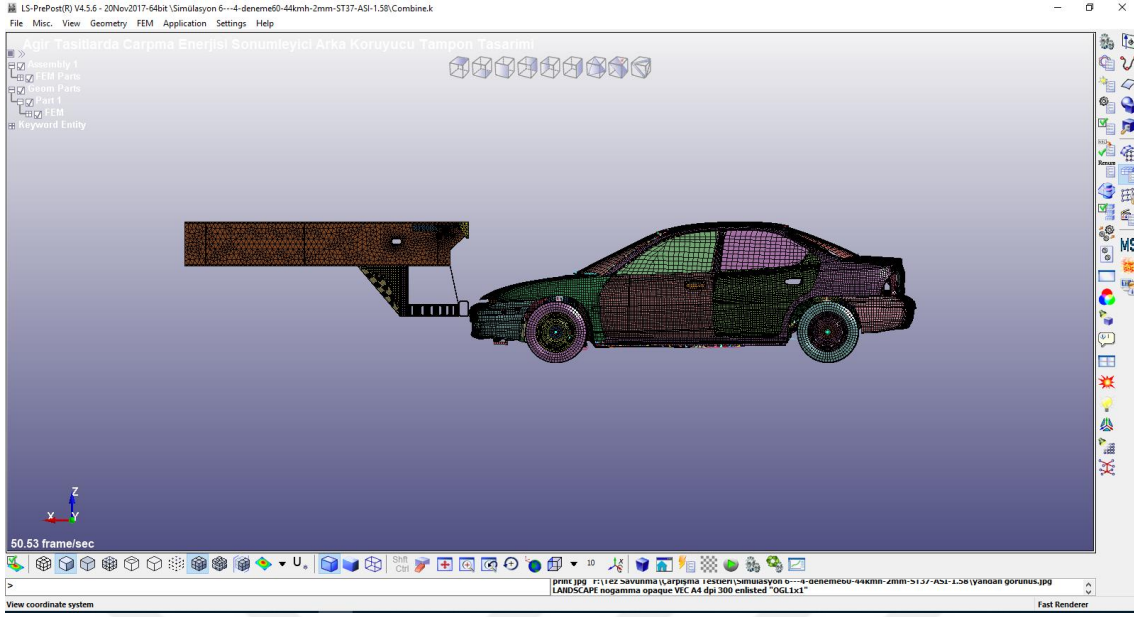
Çizelge 3.2. LS Dyna’da kullanılabilir uyumlu birim sistemi örnekleri [44]

NİCELİK	BİRİM SİSTEMİ A	BİRİM SİSTEMİ B	BİRİM SİSTEMİ C	BİRİM SİSTEMİ D
Uzunluk	m	mm	mm	in
Zaman	s	ms	s	s
Kütle	kg	kg	ton	lb
Kuvvet	N	kN	N	lbf
Gerilme	Pa	GPa	Mpa	psi
Enerji	J	kN.mm	N.mm	lbf.in

LS Dyna’da belirli bir birim sistemi kullanılmamakla birlikte birbirleriyle uyumlu olacak şekilde birimler kullanılabilir (Çizelge 3.2) [44].

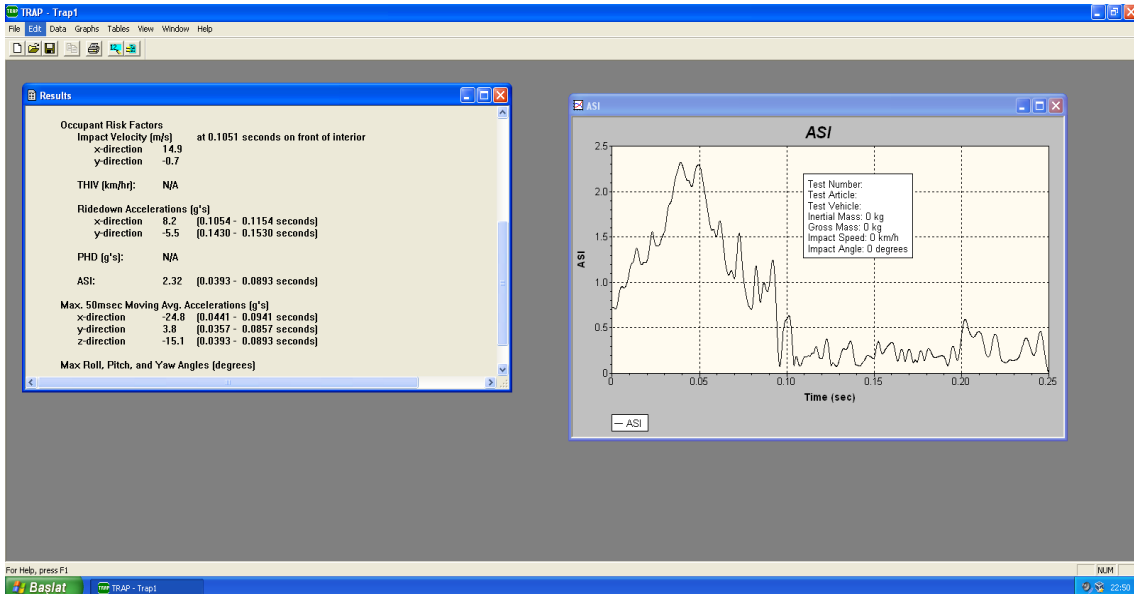
Tez çalışmasında birim sistemi “BİRİM SİSTEMİ C” olarak belirlenmiştir.

Son yıllarda bilgisayarların daha da hızlanmasıyla, sonlu elemanlar analizlerinin kullanımı artmıştır. Bu konuyla ilgili yapılan birçok çalışma mevcuttur [45-50].



Resim 3.5. LS Pre-Post programının arayüzü

LS Pre-Post, LS Dyna adlı sonlu elemanlar programıyla birlikte çalışan, ön hazırlık ve sonuç görüntüleme programı olarak kullanılmaktadır. LS Dyna'da simülasyona başlamadan önce, LS Pre-Post'ta simülasyon için gerekli olan sınır şartları belirlenir. LS Dyna'da simülasyonun çözülmesinden sonra elde edilen veriler LS Pre-Post programıyla görüntülenerek değerlendirme yapılabilir (Resim 3.5) [51].



Resim 3.6. TRAP programının arayüzü

TRAP (Test Risk Assessment Program / Test Risk Değerlendirme Programı), çarpışma testlerinden elde edilen verileri değerlendirerek, yolcu güvenliğini değerlendiren ve yolcu risk faktörünü hesaplayan bir programdır (Resim 3.6) [52].

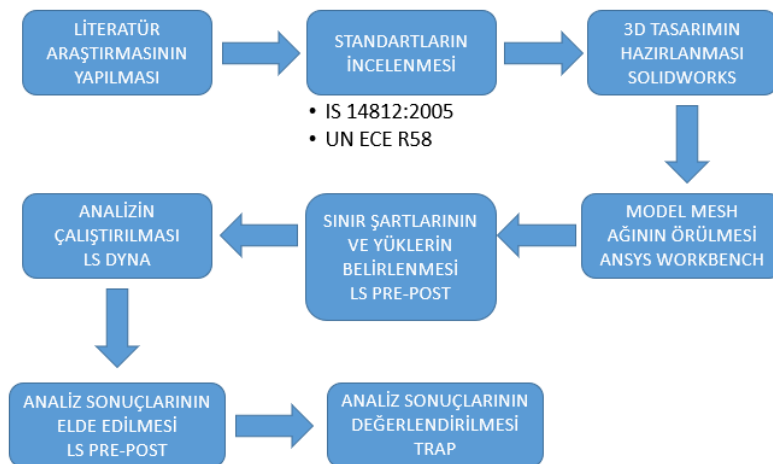


Resim 3.7. 1996 model Dodge Neon marka sedan araç modeli [53]

Simülasyonlarda, literatürde kullanılan Resim 3.7’de görülen 1333 kg ağırlığında 1996 model Dodge Neon marka sedan araç kullanılmıştır. Araç önden çarpışma testleriyle doğrulanmıştır [53].

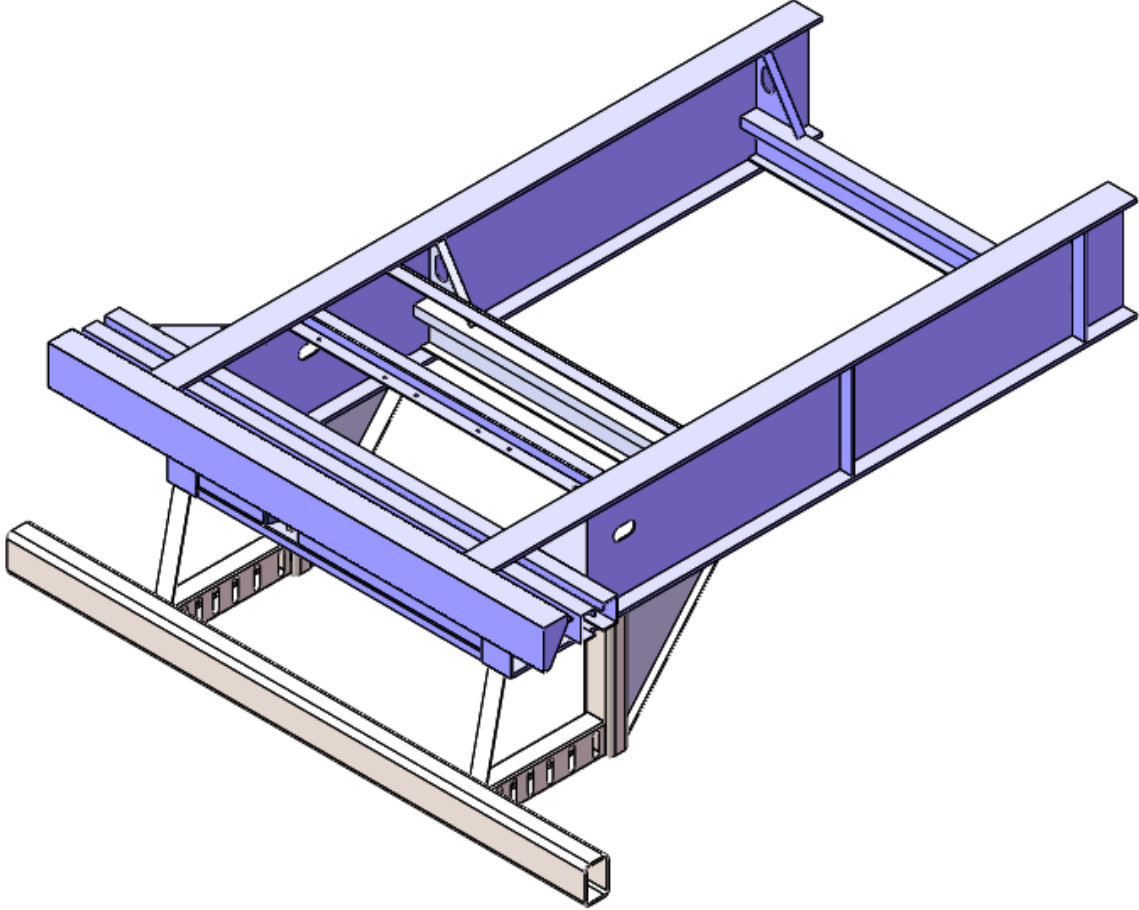
Araç toplamda 336 adet parça, 283 859 adet düğüm noktası, 2 852 adet katı parça, 122 adet kiriş, 267 786 adet sac parça ve 270 768 adet elemandan oluşmaktadır [53].

3.2. Yöntem



Şekil 3.1. Çalışmada izlenen yöntem

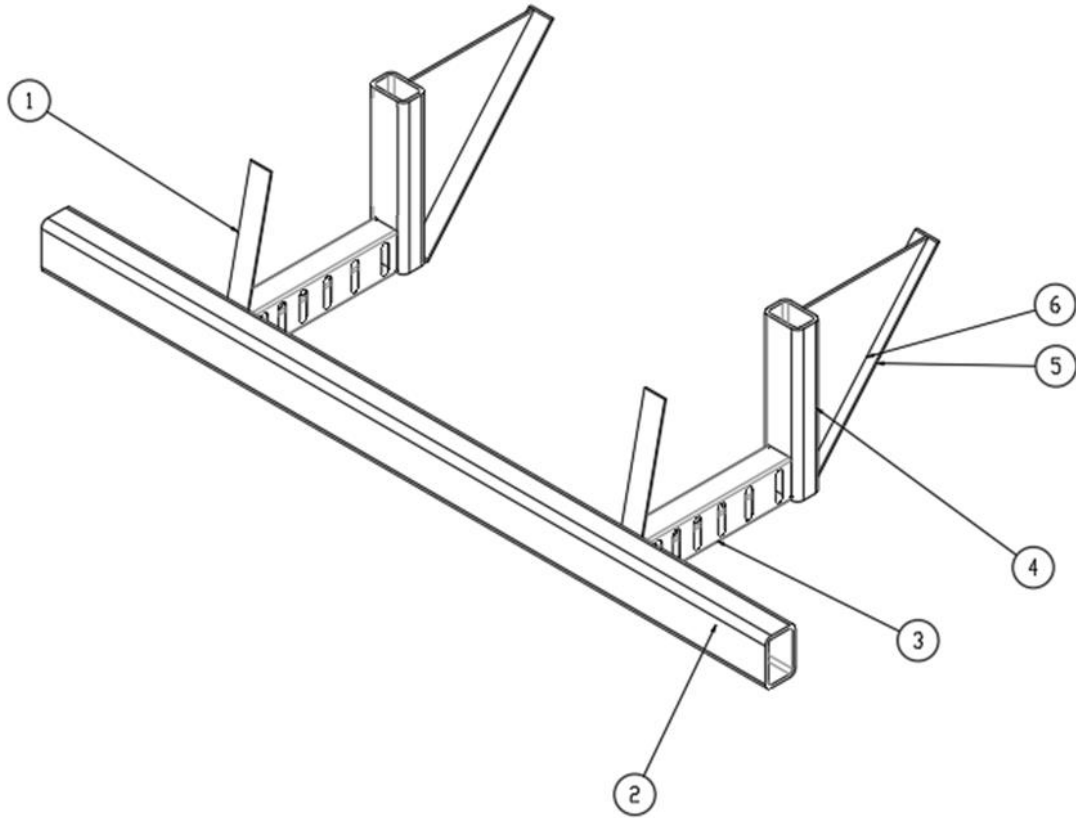
Çalışmada Şekil 3.1’de gösterilen yöntemle, araç modeli ve arka koruyucu tampon modeli aynı ortamda çalıştırılarak LS Dyna programıyla çarpışma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Çarpışma simülasyonları THIV = 44 km/h hız ile gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar sonucunda hız ve ivme değerleri elde edilmiş, her bir model için ASI değerleri hesaplanmıştır.



Resim 3.8. Arka koruyucu ve şasi tasarımı

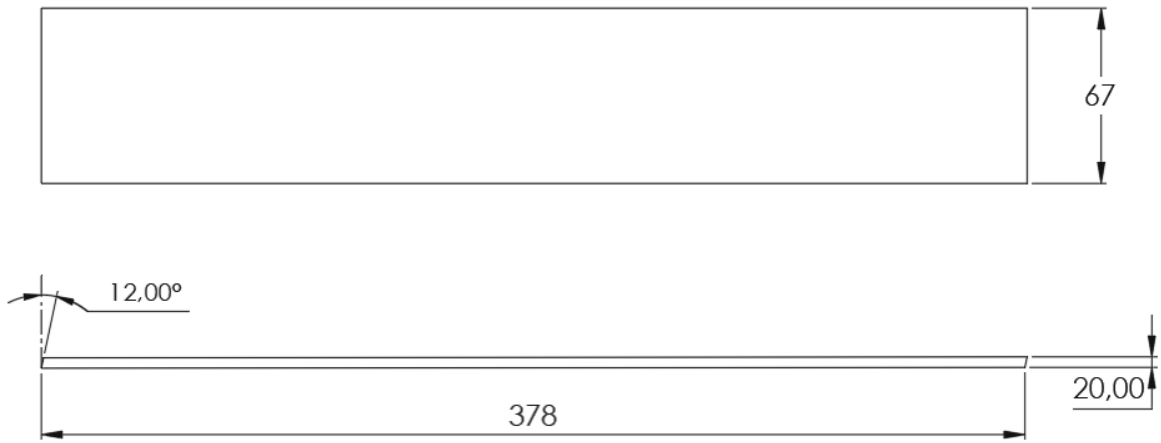
Literatür araştırması, konuyla ilgili standartların ve uygulamada kullanılan arka koruyucu tasarımlarının incelenmesi sonucunda, SolidWorks programıyla 3 boyutlu arka koruyucu tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımda simülasyon süresinden kazanç sağlayabilmek için Resim 3.8’de görüldüğü gibi arka koruyucu ve şasinin bir kısmının tasarımda baz alınmıştır. SolidWorks’te hazırlanan tasarım “.step” dosyası olarak kaydedilmiştir. Arka koruyucu tasarımı karmaşık olduğundan ve LS Pre-Post programıyla çözüm ağının yeterli seviyede oluşturulamamasından dolayı ANSYS sonlu elemanlar programıyla çözüm ağı örülmüştür.

Örülen çözüm ağı, tasarıma sınır şartlarının atanması ve çarpışma testinde kullanılacak olan araç ile bağlantı kurulması için LS Pre-Post programına aktarılmıştır. LS Pre-Post programında gerekli olan sınır şartları atandıktan ve araç modeli ile bağlantı kurulduktan sonra, LS Dyna programı ile sonlu elemanlar simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonlar tamamlandıktan sonra, simülasyon sonuçları LS Pre-Post programı vasıtasıyla alınmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak, TRAP programıyla ASI değeri hesaplanmıştır.

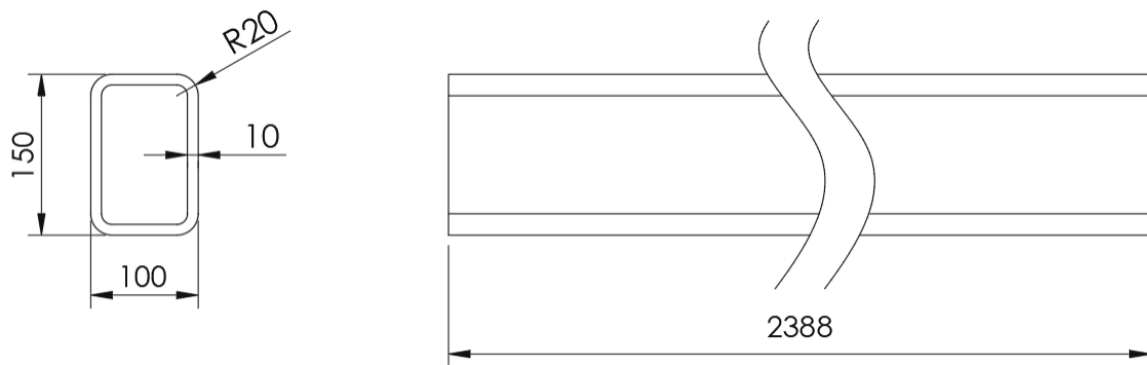


Resim 3.9. Arka koruyucunun detaylı görüntüsü

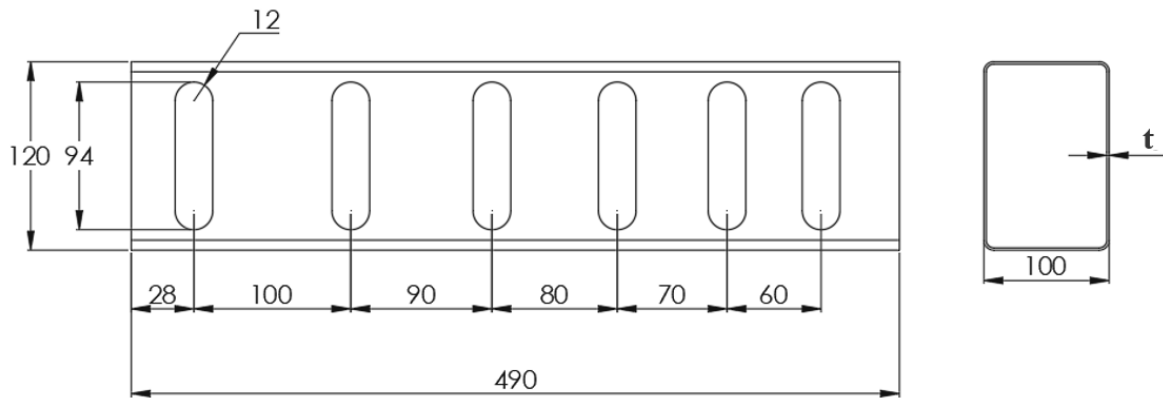
Resim 3.9’da görülen 1 numaralı parça, 2 numaralı yatay profil ile araç şasisi arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. 3 numaralı parça enerji sönmüleyici olarak kullanılmaktadır. 4 numaralı parça dikey profildir, zemin ile arka koruyucunun arasındaki mesafeyi belirlemektedir. 5 ve 6 numaralı parçalar destek görevi görmektedir.

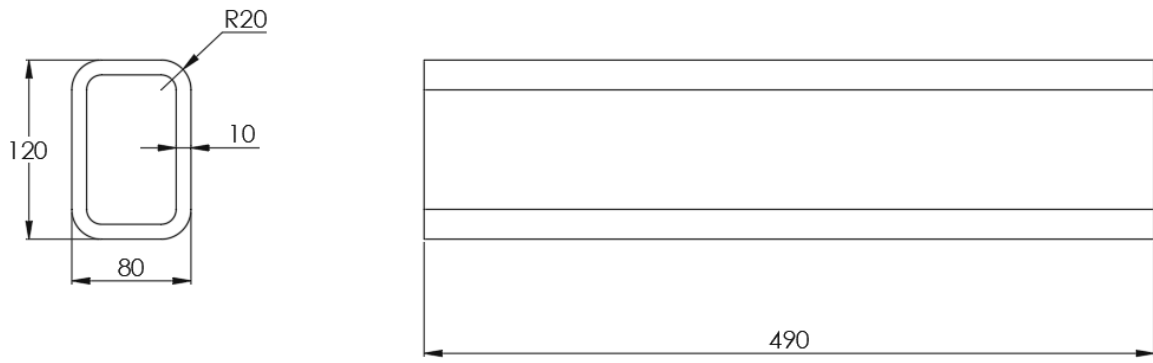


Resim 3.10. 1 no'lu parça detayı

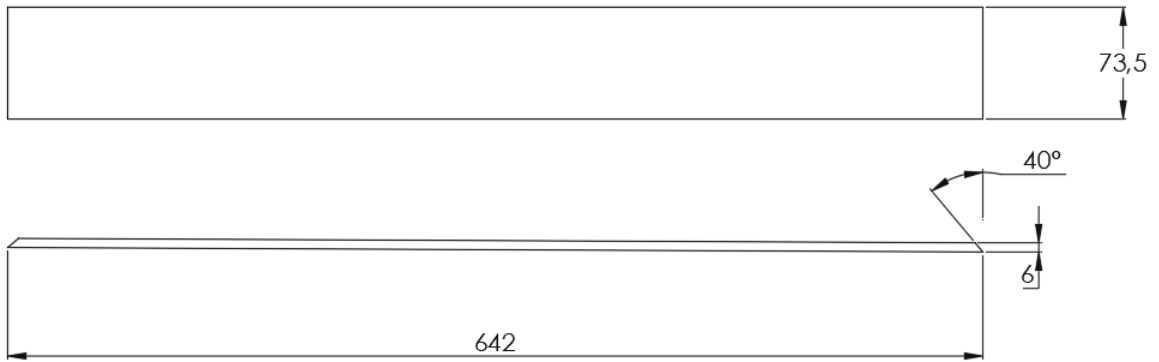


Resim 3.11. 2 no'lu parça detayı

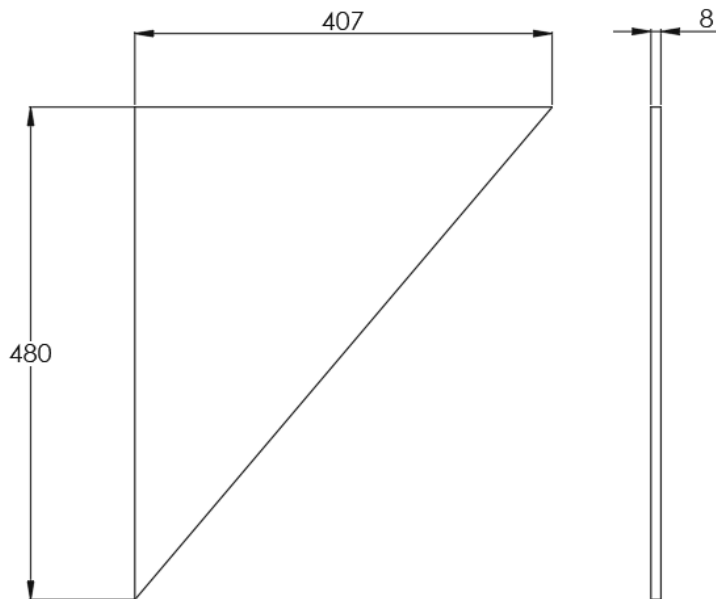
Resim 3.12. 3 no'lu parça detayı, “ t ” ile gösterilen sac kalınlığı parametre olarak belirlenmiştir



Resim 3.13. 4 no'lu parça detayı



Resim 3.14. 5 no'lu parça detayı



Resim 3.15. 6 no'lu parça detayı

Parça detayları Resim 3.10, Resim 3.11, Resim 3.12, Resim 3.13, Resim 3.14 ve Resim 3.15'te verilmiştir.

Arka koruyucu testi süresince ve sonrasında, arka koruyucuya çarpan araç kabin bölümünde bulunan sürücü ve yolcuların en az hasarla çıkması, çarpma işlemini gerçekleştiren aracın kabin kısmında yolculara zarar verecek deformasyonun oluşmaması ve ASI değerinin 1,4'e eşit veya 1,4'ten daha düşük çıkması istenmektedir. Bunun gerçekleşebilmesi için, çarpışma esnasında ortaya çıkan enerjinin, arka koruyucu tampon ve araç ön kısmı tarafından emilmesi gerekmektedir.

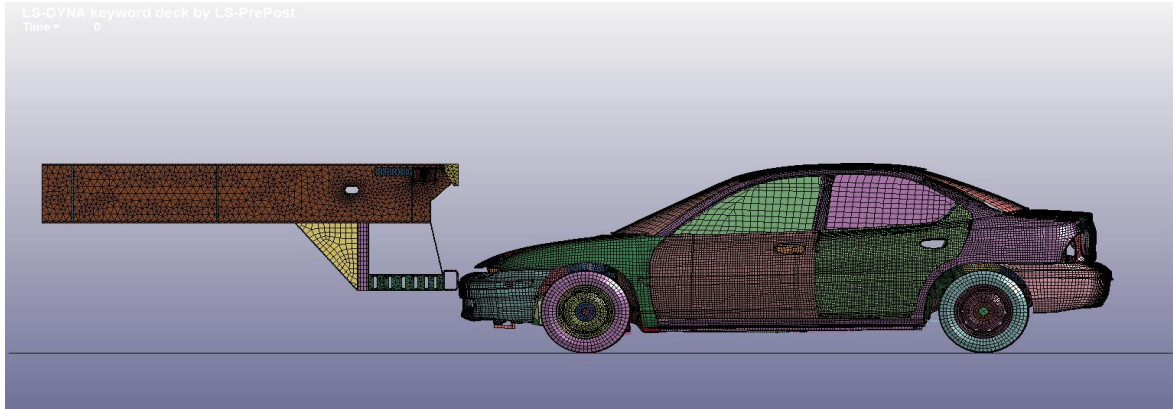
Çalışma sonuçları değerlendirilirken EN 1317-2'te belirtilen yaralanma indeksi ASI değerinin üst limiti olan 1.4'ten küçük olması hedeflenmiştir.

Çizelge 3.3. Simülasyon şartları

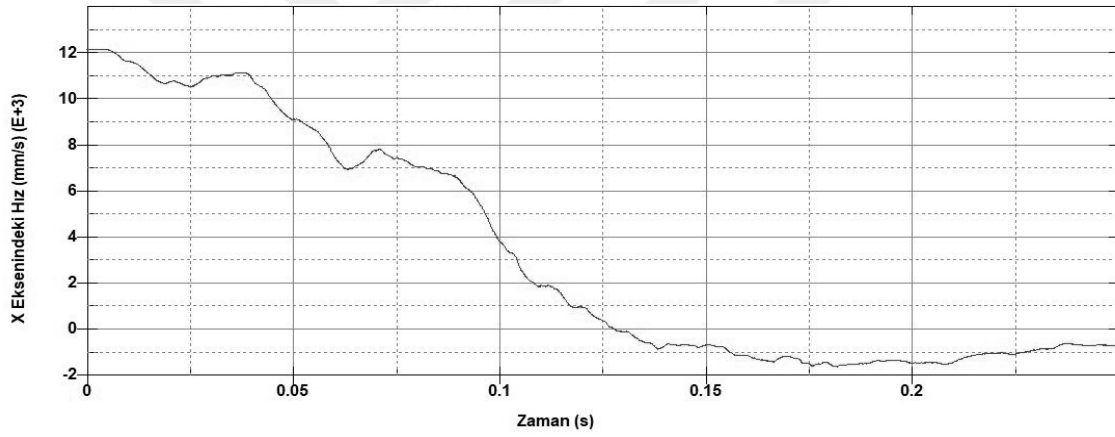
Simülasyon kodu	Sac kalınlığı (t)	Araç modeli	Çarpışma açısı ve hızı
Simülasyon 1	0,6 mm	1996 Dodge Neon	Tam Örtüşme 44 km/h
Simülasyon 2	0,8 mm	1996 Dodge Neon	Tam Örtüşme 44 km/h
Simülasyon 3	1 mm	1996 Dodge Neon	Tam Örtüşme 44 km/h
Simülasyon 4	1,2 mm	1996 Dodge Neon	Tam Örtüşme 44 km/h
Simülasyon 5	1,5 mm	1996 Dodge Neon	Tam Örtüşme 44 km/h
Simülasyon 6	2 mm	1996 Dodge Neon	Tam Örtüşme 44 km/h

Simülasyon şartları Çizelge 3.3'te belirtilmiştir.

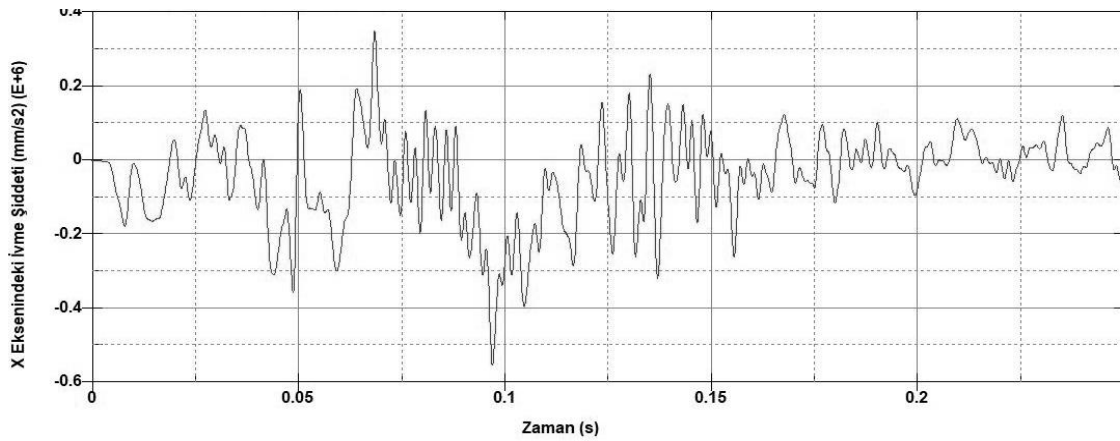
4. DENEY BULGULARI VE TARTIŞMA



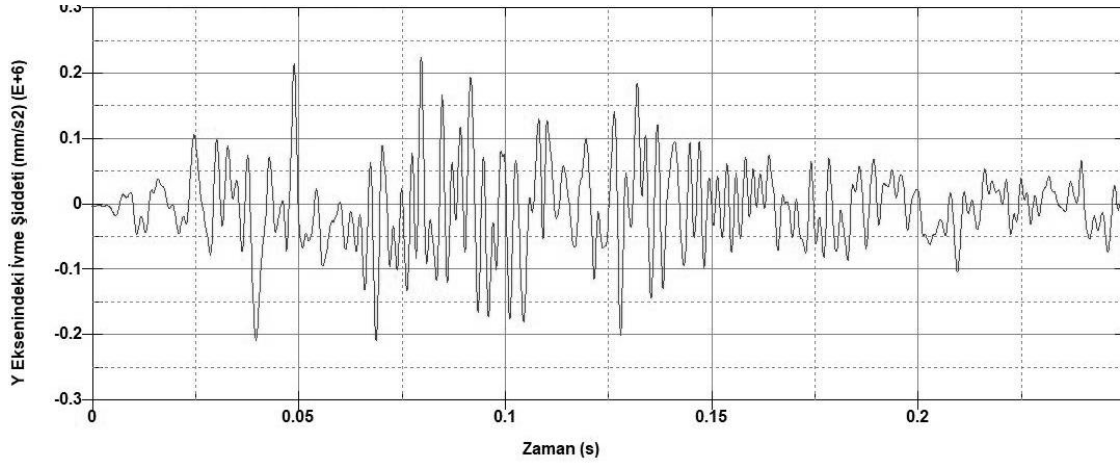
Resim 4.1. Simülasyon öncesi ilk durum



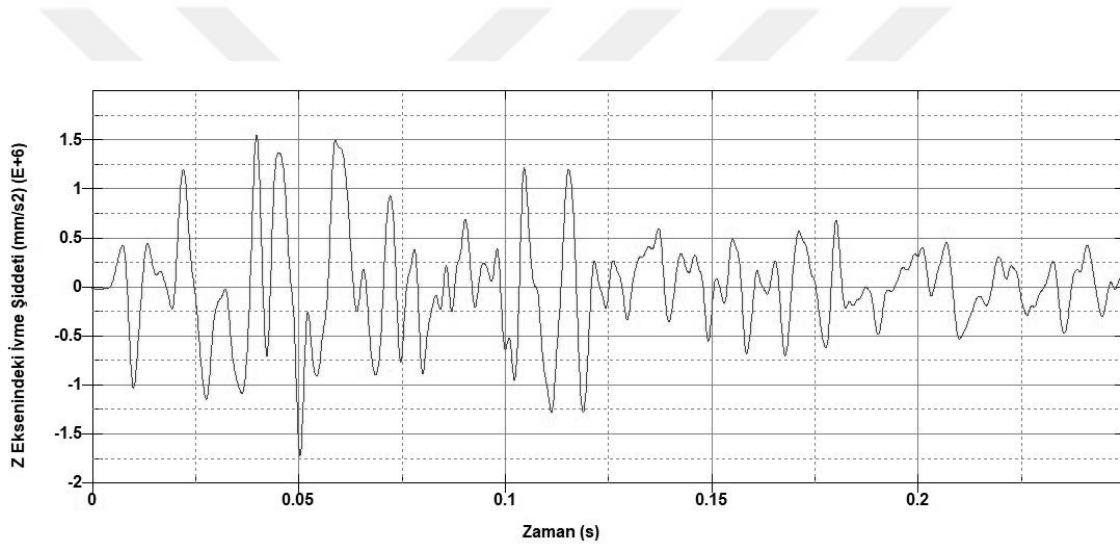
Şekil 4.1. Simülasyon 1 t=0,6 mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği



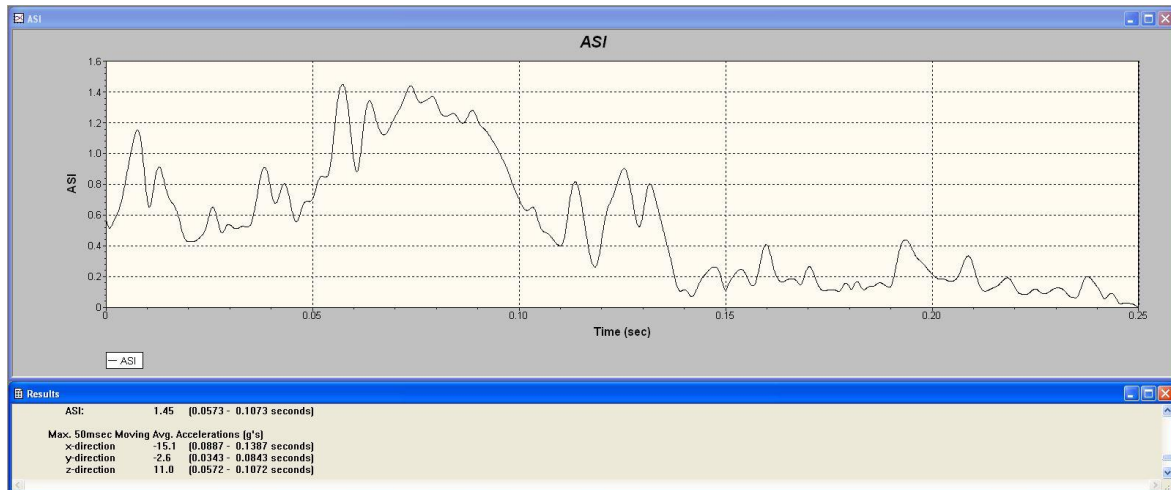
Şekil 4.2. Simülasyon 1 t=0,6 mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği



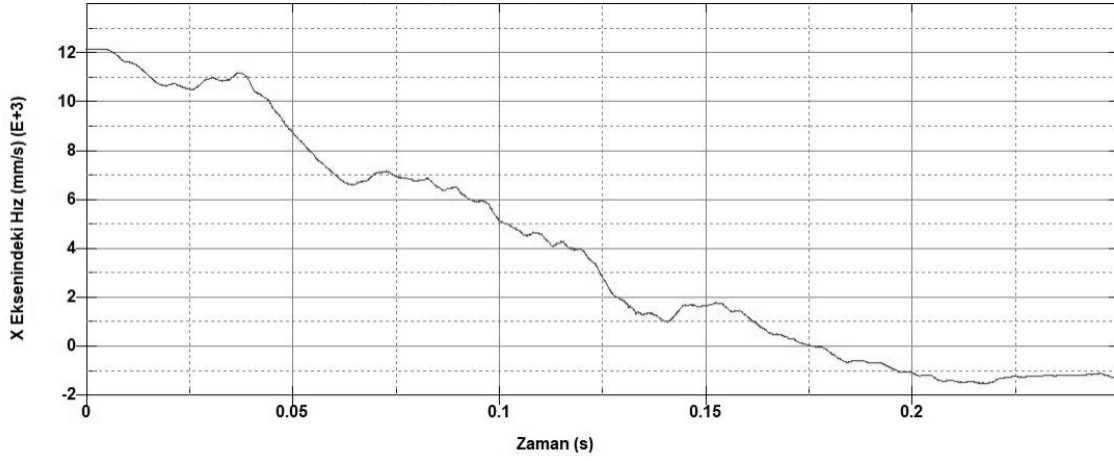
Şekil 4.3. Simülasyon 1 $t=0,6$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği



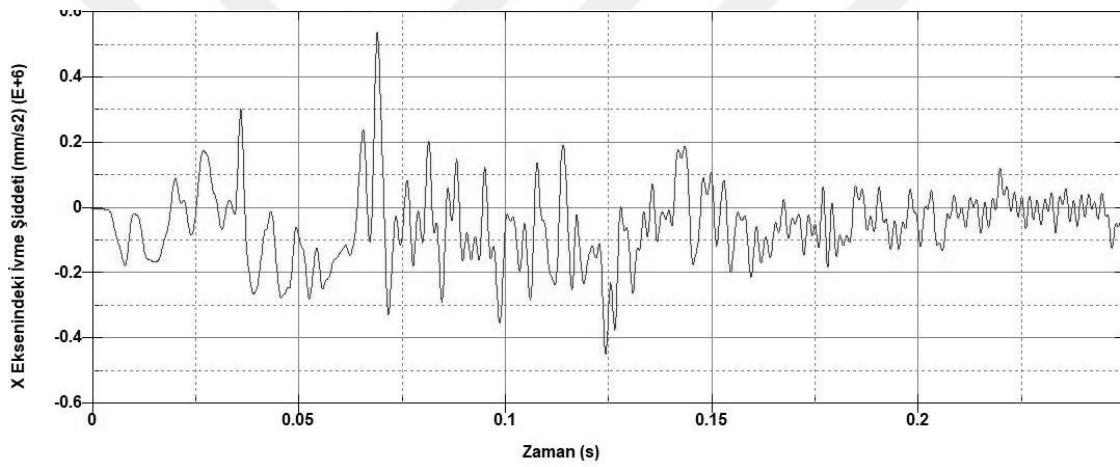
Şekil 4.4. Simülasyon 1 $t=0,6$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği



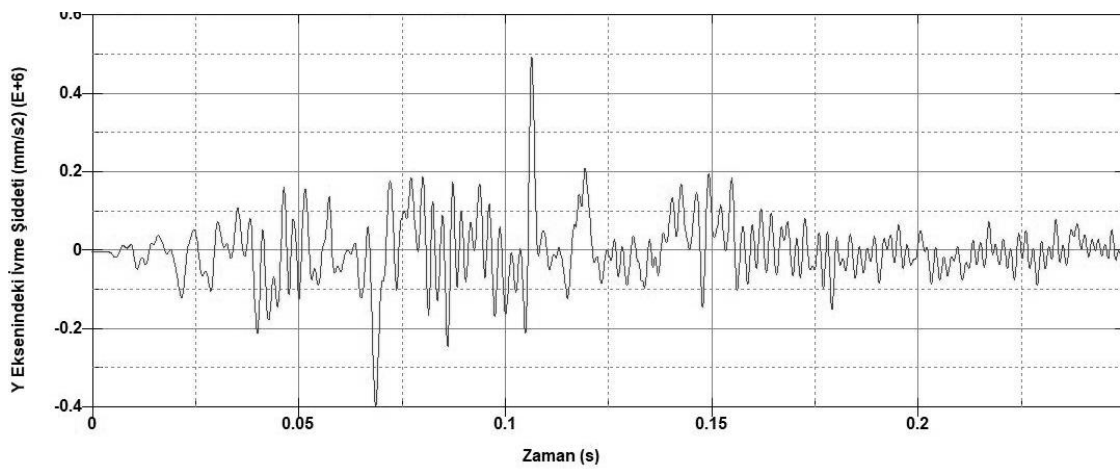
Şekil 4.5. Simülasyon 1 $t=0,6$ mm'ye ait ASI grafiği



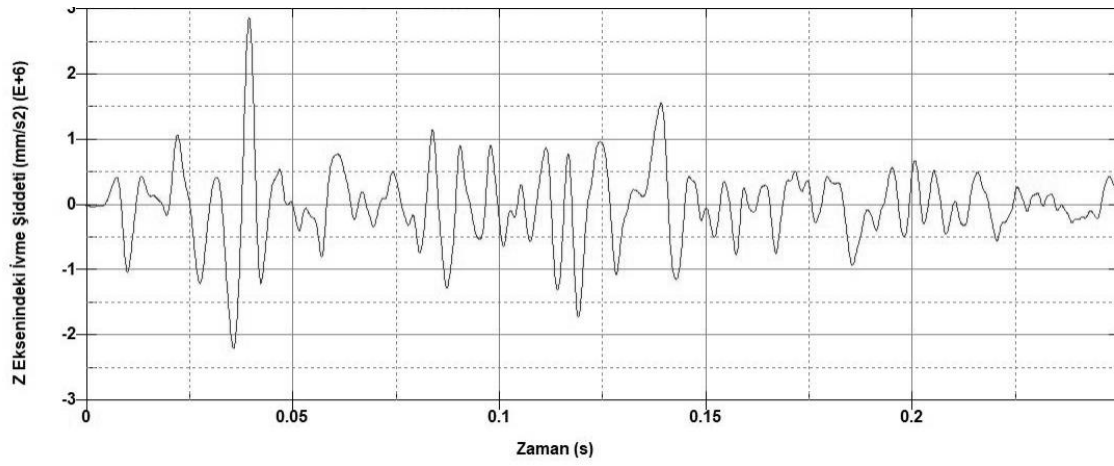
Şekil 4.6. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği



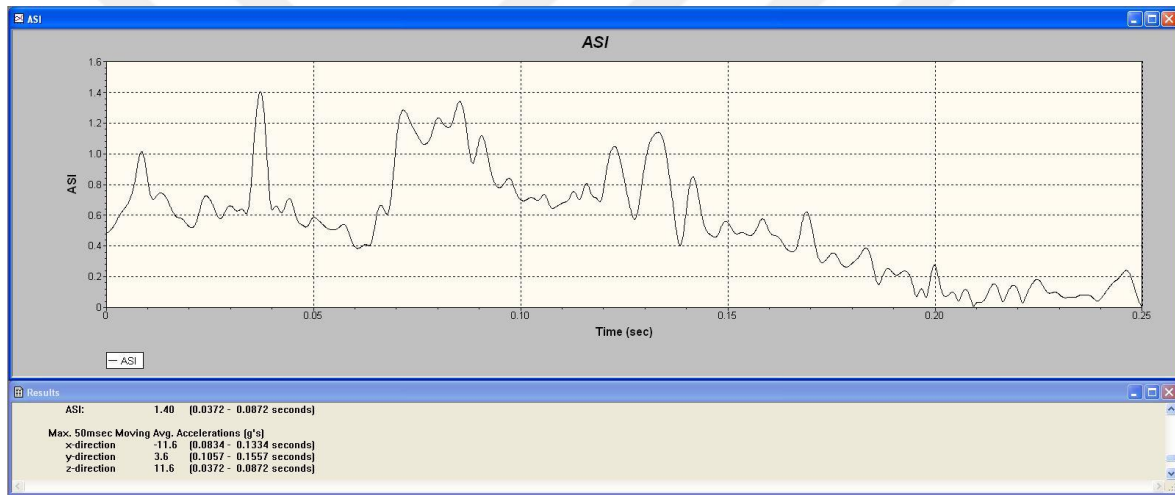
Şekil 4.7. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği



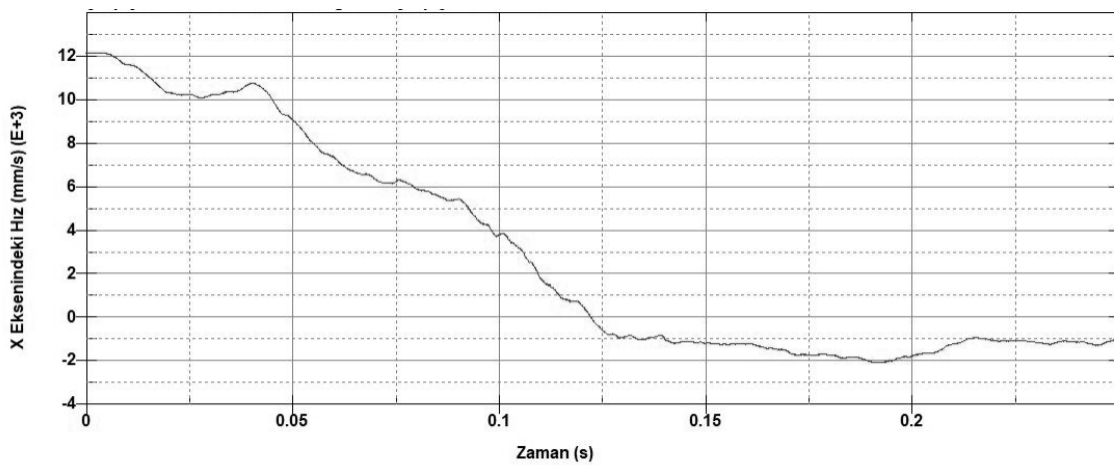
Şekil 4.8. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği



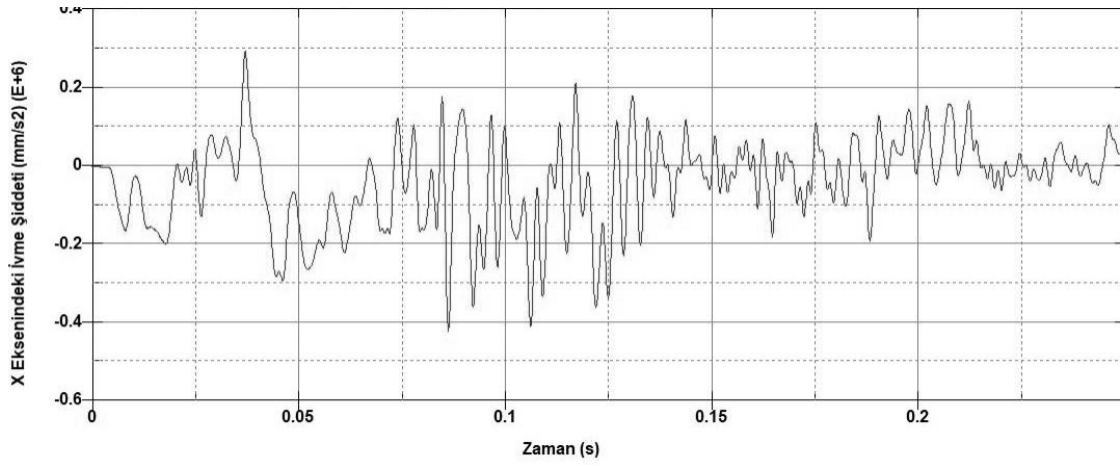
Şekil 4.9. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği



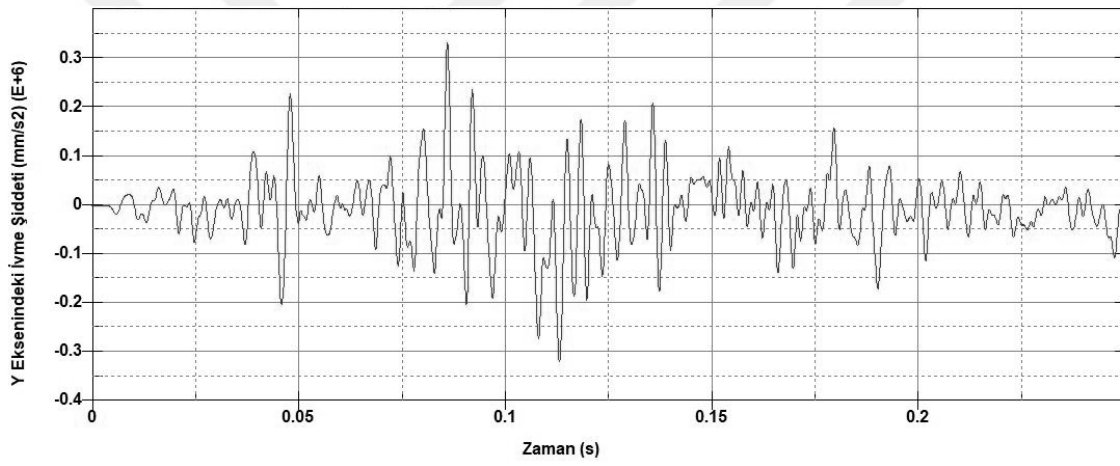
Şekil 4.10. Simülasyon 2 $t=0,8$ mm'ye ait ASI grafiği



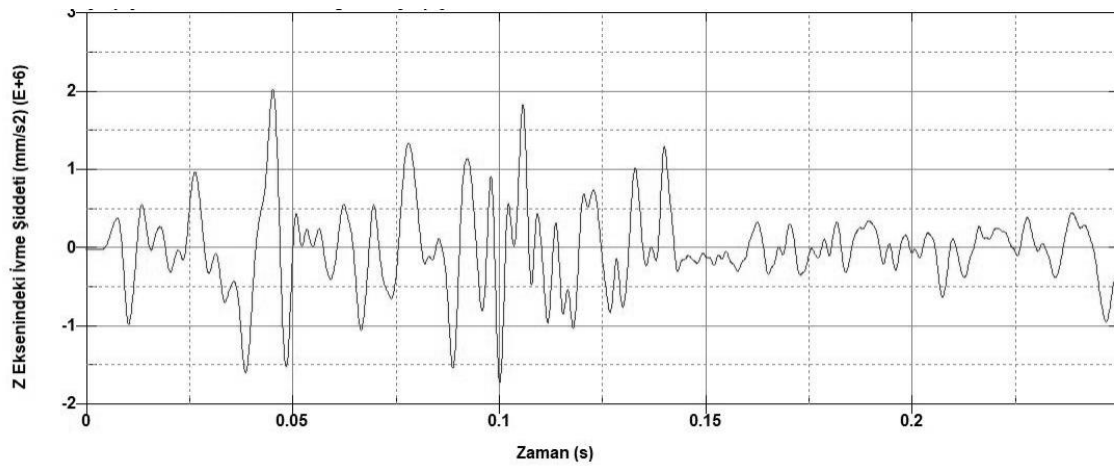
Şekil 4.11. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği



Şekil 4.12. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği



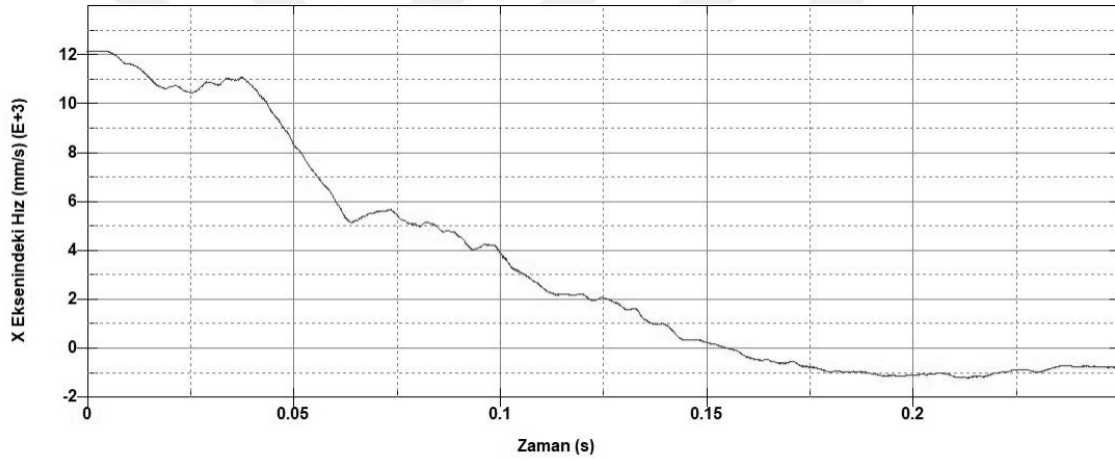
Şekil 4.13. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği



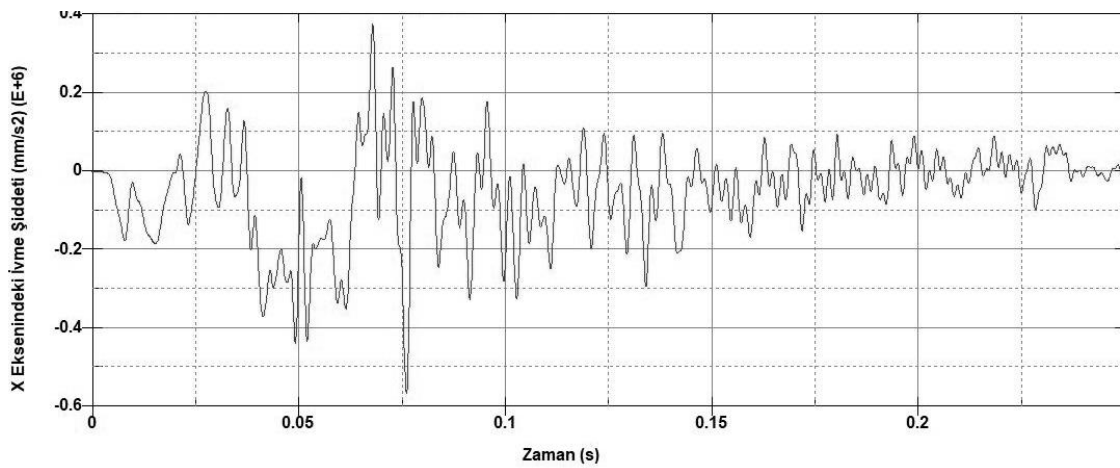
Şekil 4.14. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği



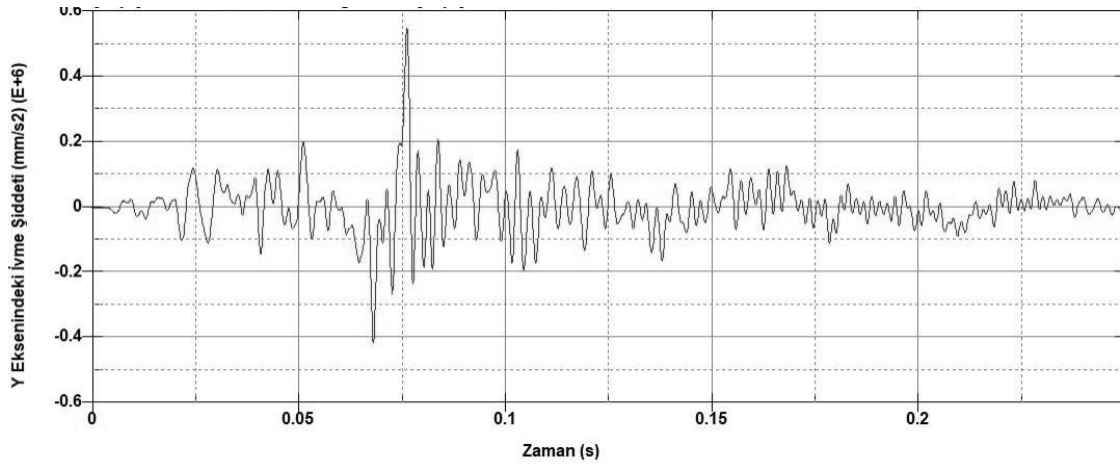
Şekil 4.15. Simülasyon 3 $t=1$ mm'ye ait ASI grafiği



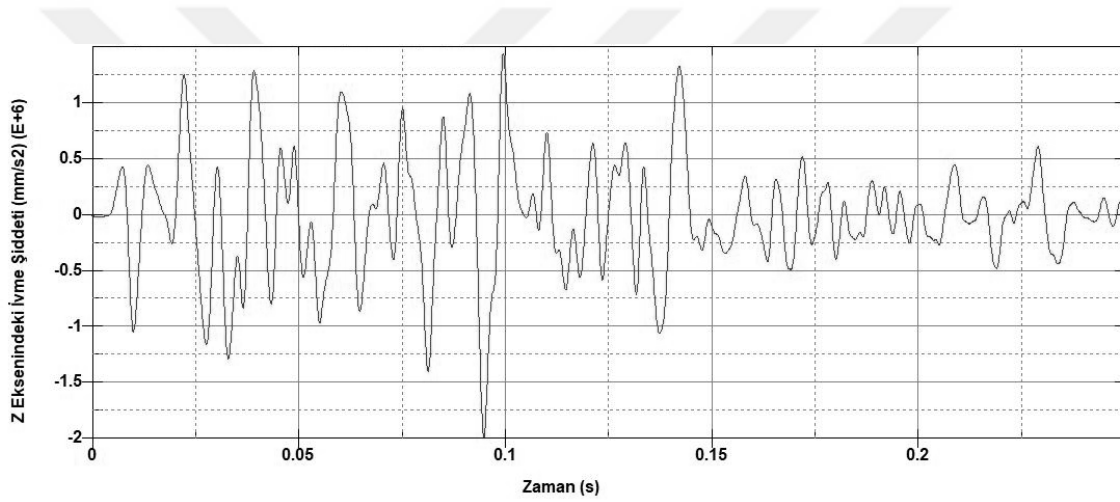
Şekil 4.16. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği



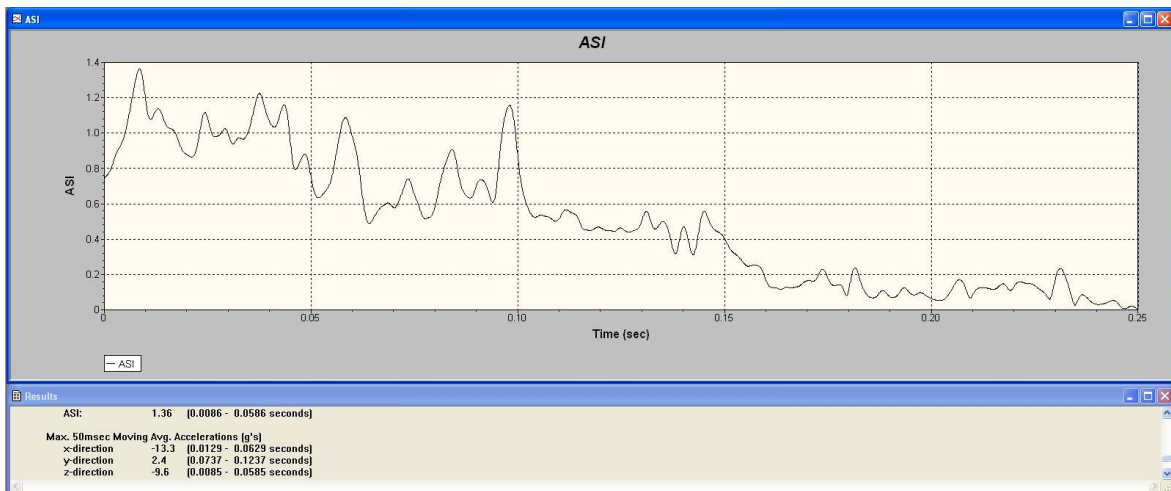
Şekil 4.17. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği



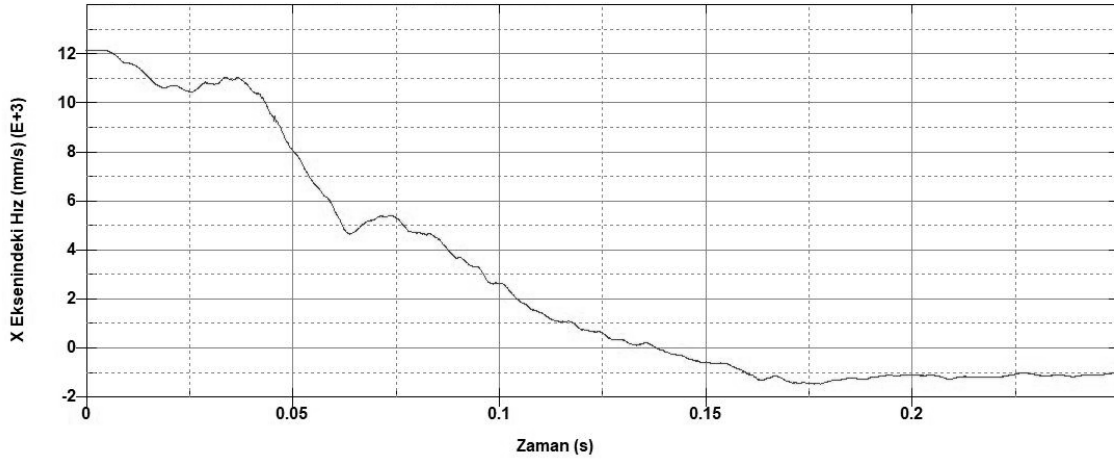
Şekil 4.18. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği



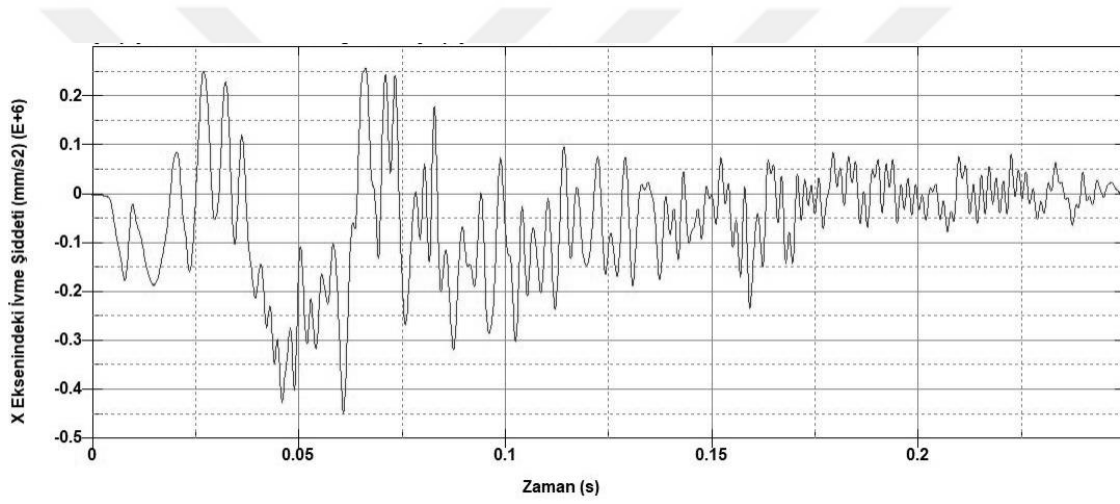
Şekil 4.19. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği



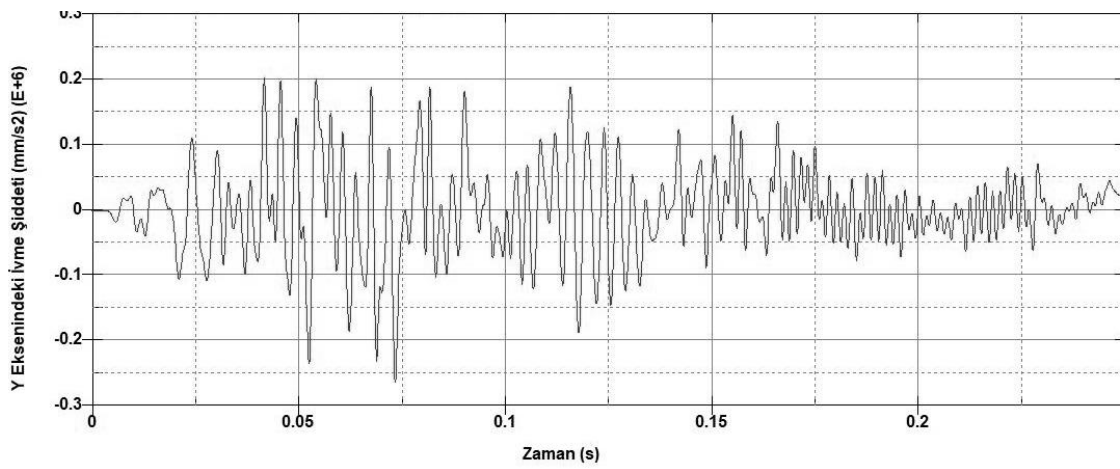
Şekil 4.20. Simülasyon 4 $t=1,2$ mm'ye ait ASI grafiği



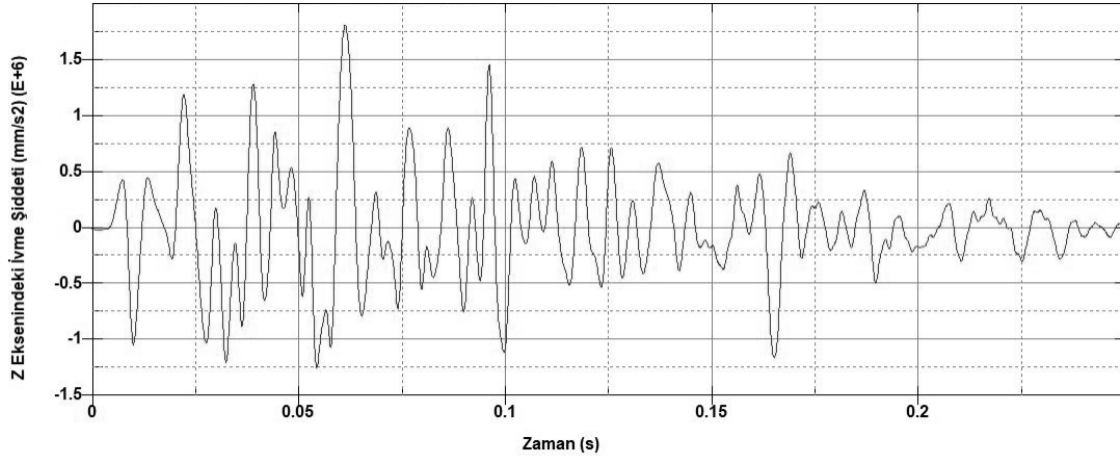
Şekil 4.21. Simülasyon 5 $t=1,5$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği



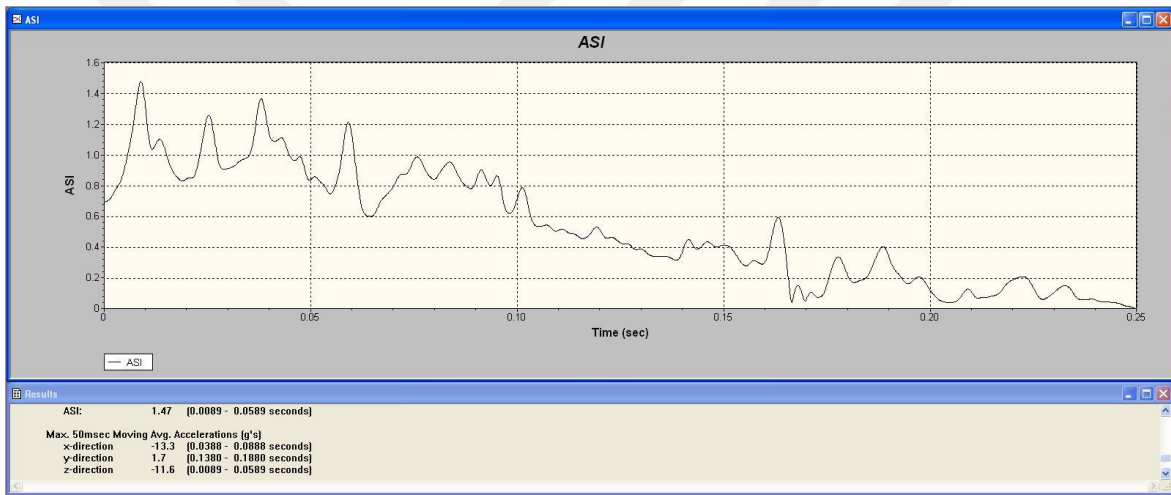
Şekil 4.22. Simülasyon 5 $t=1,5$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği



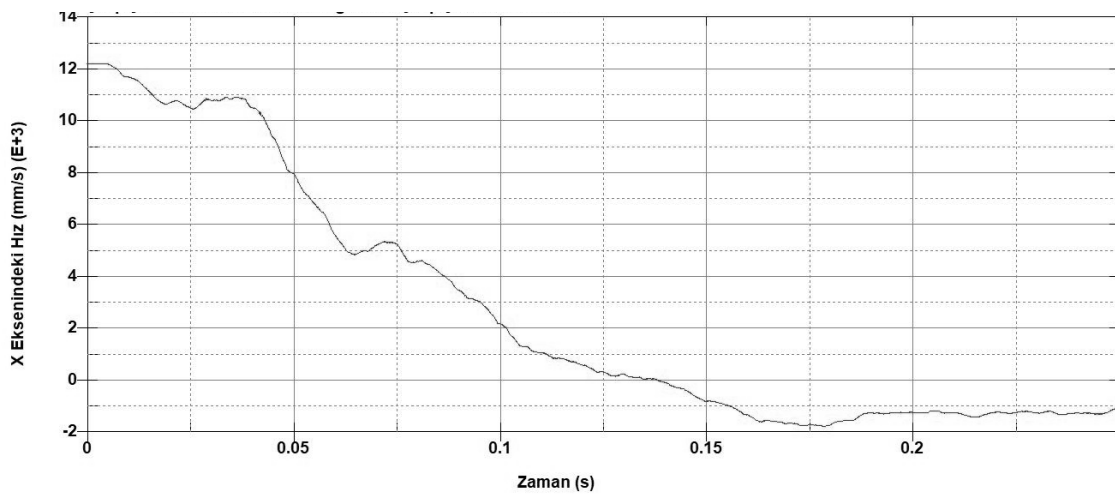
Şekil 4.23. Simülasyon 5 $t=1,5$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği



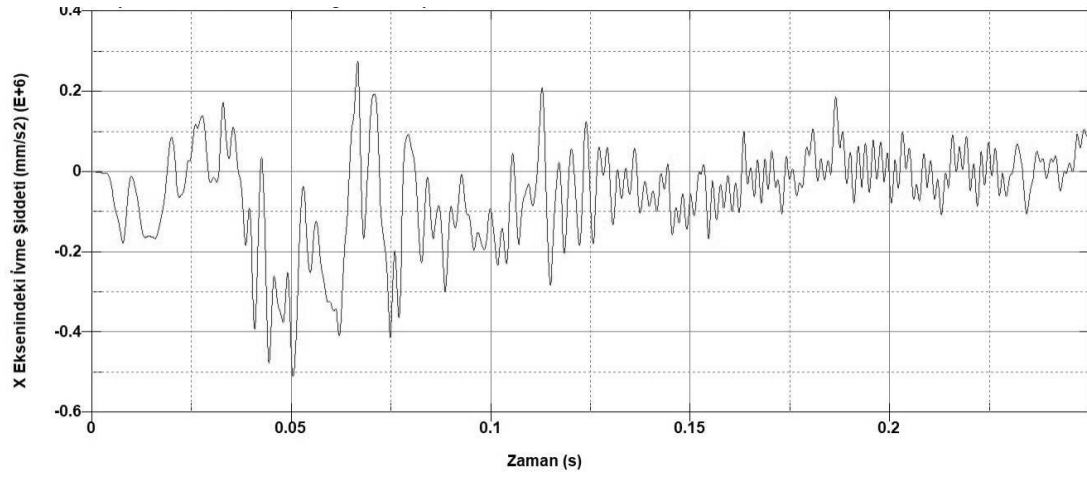
Şekil 4.24. Simülasyon 5 $t=1,5$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği



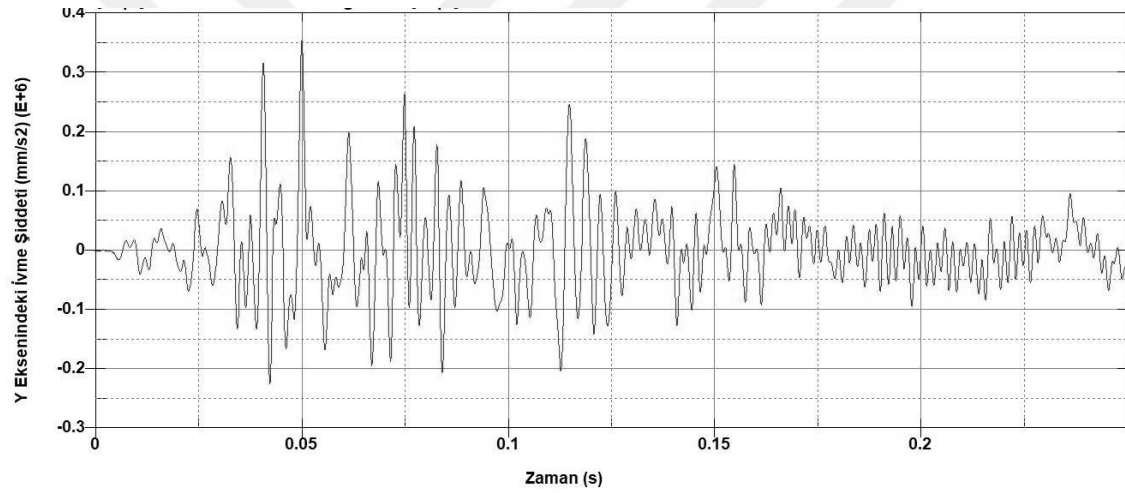
Şekil 4.25. Simülasyon 5 $t=1,5$ mm'ye ait ASI grafiği



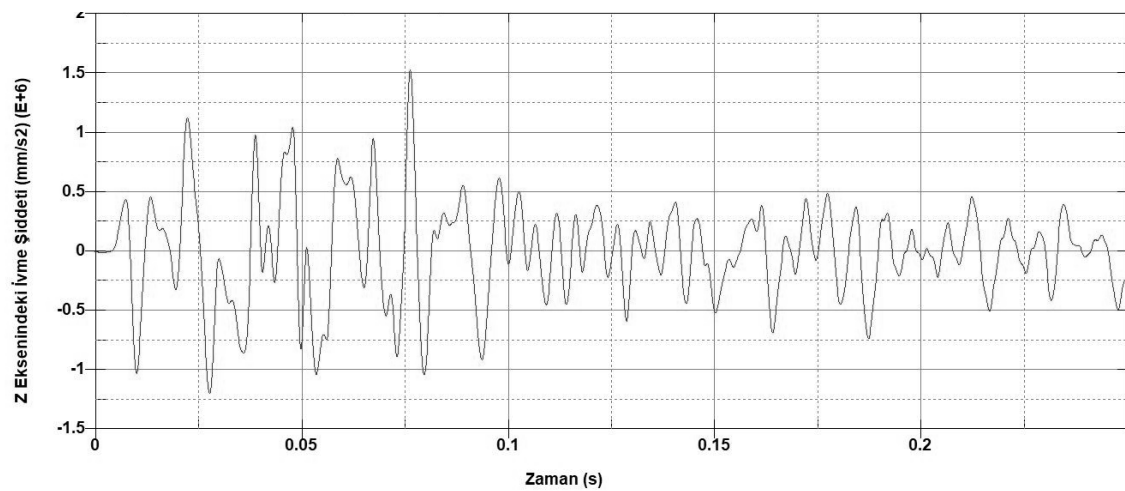
Şekil 4.26. Simülasyon 6 $t=2$ mm'ye ait X eksenindeki hız – zaman grafiği



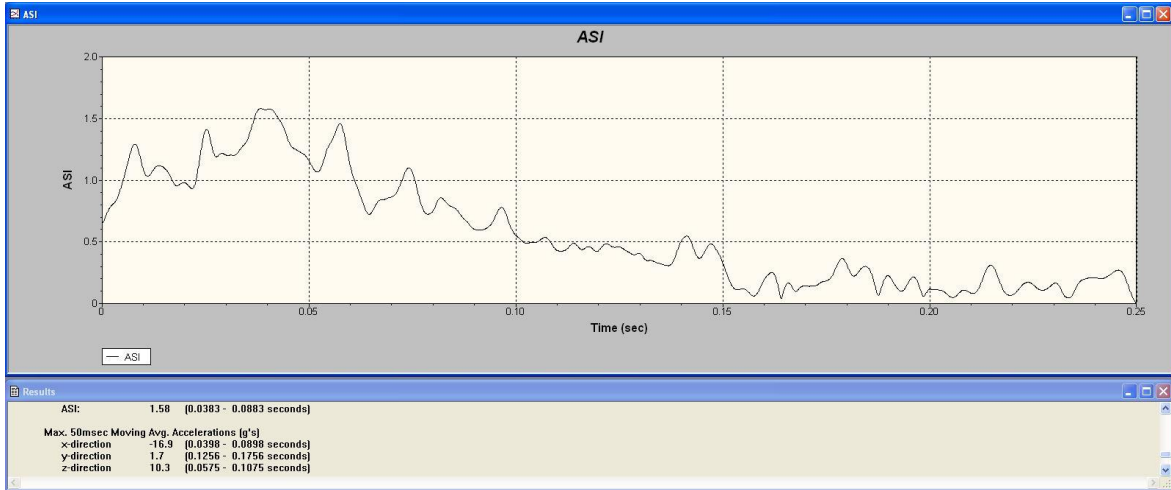
Şekil 4.27. Simülasyon 6 $t=2$ mm'ye ait X eksenindeki ivme – zaman grafiği



Şekil 4.28. Simülasyon 6 $t=2$ mm'ye ait Y eksenindeki ivme – zaman grafiği

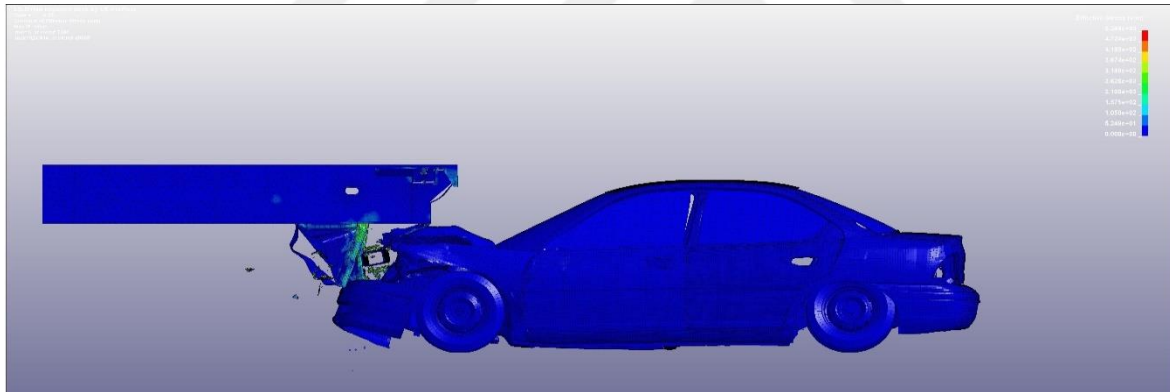


Şekil 4.29. Simülasyon 6 $t=2$ mm'ye ait Z eksenindeki ivme – zaman grafiği

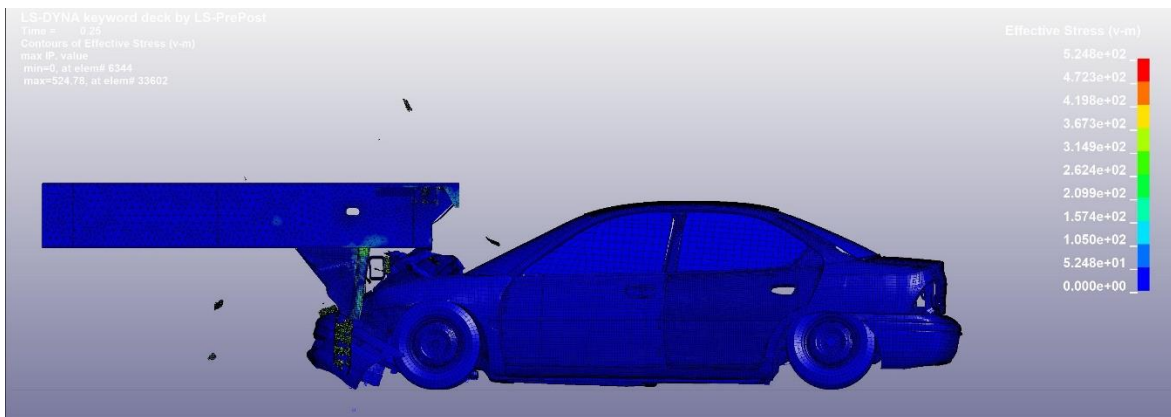


Şekil 4.30. Simülasyon 6 t=2 mm'ye ait ASI grafiği

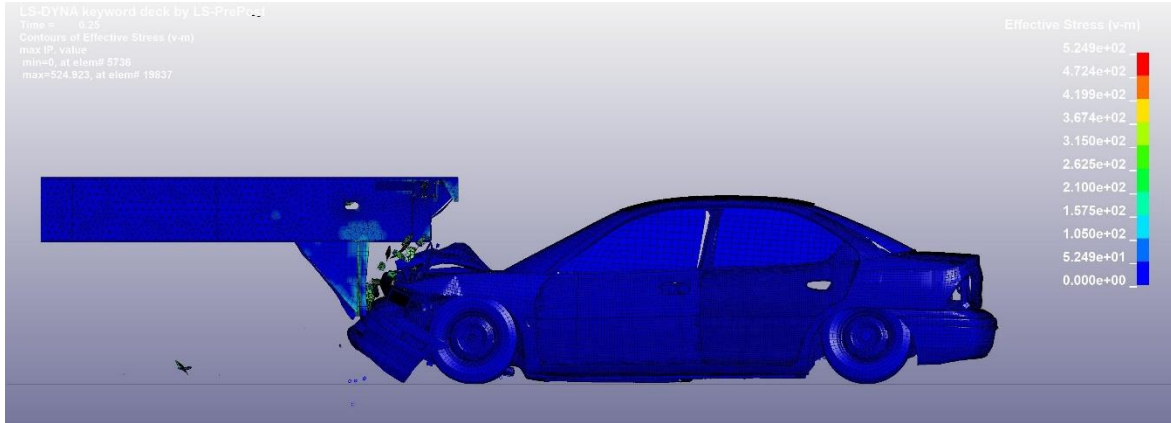
Simülasyona ait simülasyon öncesi ilk durum Resim 4.1'de, hız ve ivme grafikleri ise Şekil 4.1-4.30'da verilmiştir.



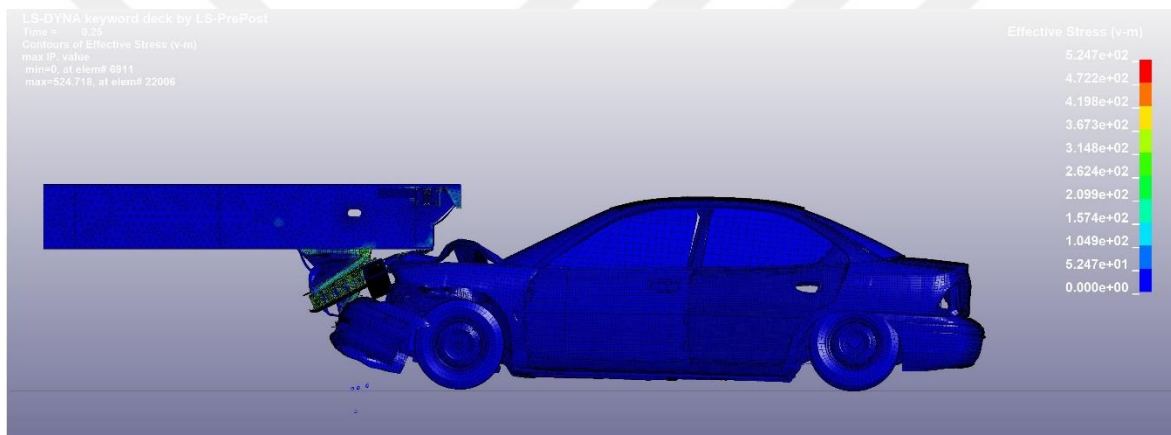
Resim 4.2. t=0,6 mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon sonucu



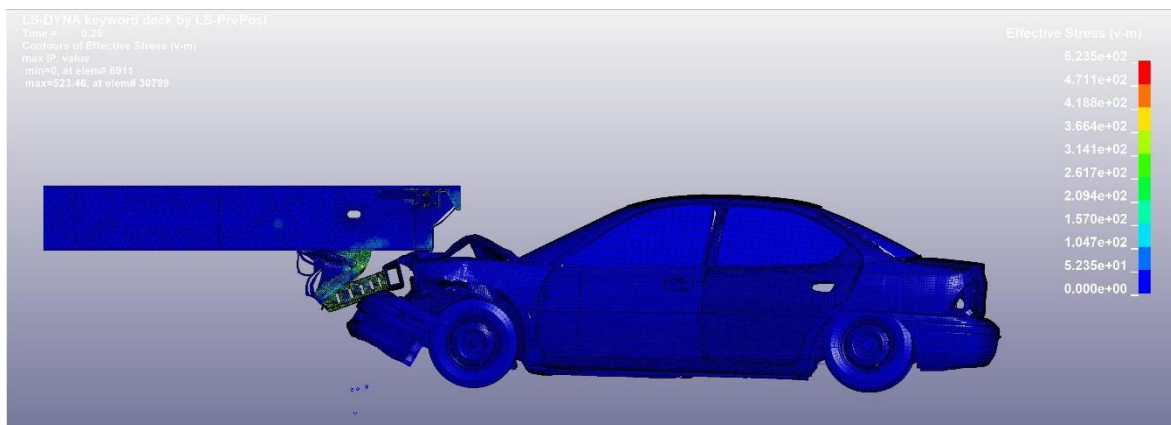
Resim 4.3. t=0,8 mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon sonucu



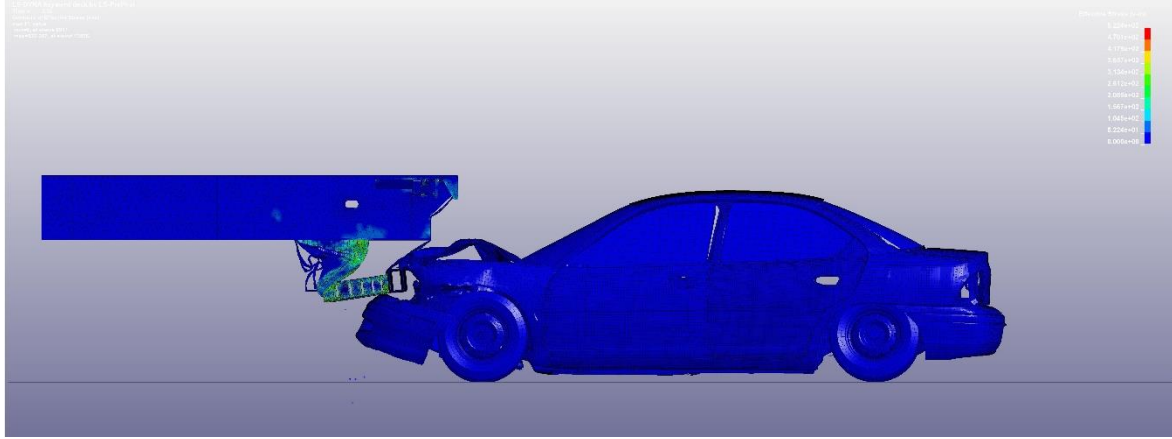
Resim 4.4. $t=1,0$ mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon sonucu



Resim 4.5. $t=1,2$ mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon sonucu



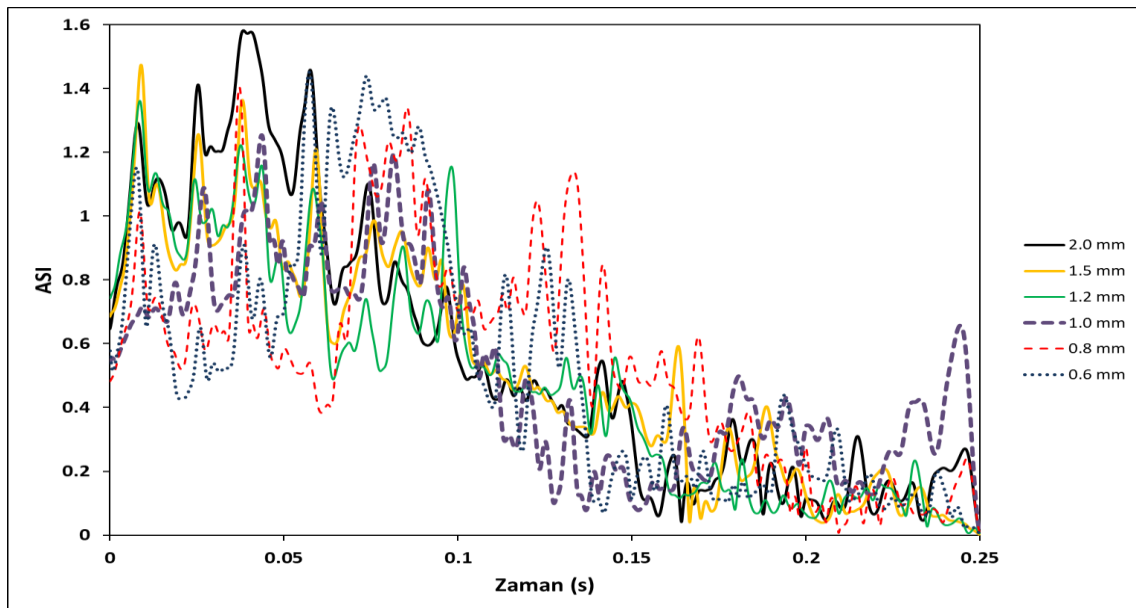
Resim 4.6. $t=1,5$ mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon sonucu



Resim 4.7. $t=2,0$ mm kalınlığında sac kullanıldığı zaman elde edilen simülasyon sonucu

Yapılan çalışmada değişken olarak belirlenen sac kalınlığı 0,6 mm'den 2,0 mm'ye kadar artırılarak bir dizi çarpışma simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonrası görüntüler Resim 4.2, Resim 4.3, Resim 4.4, Resim 4.5, Resim 4.6 ve Resim 4.7'de verilmiştir.

Simülasyon sonuçları incelendiğinde bütün simülasyonlarda binek araç, ağır taşıt şasisinin altına girmemiş, yolcu kabini yolculara zarar verecek bir deformasyon oluşmamıştır. Ağır taşıt arka koruyucu tampon ve binek aracın ön kısmı deforme olarak çarpışma sırasında oluşan darbe etkisini sönmülemiştir.



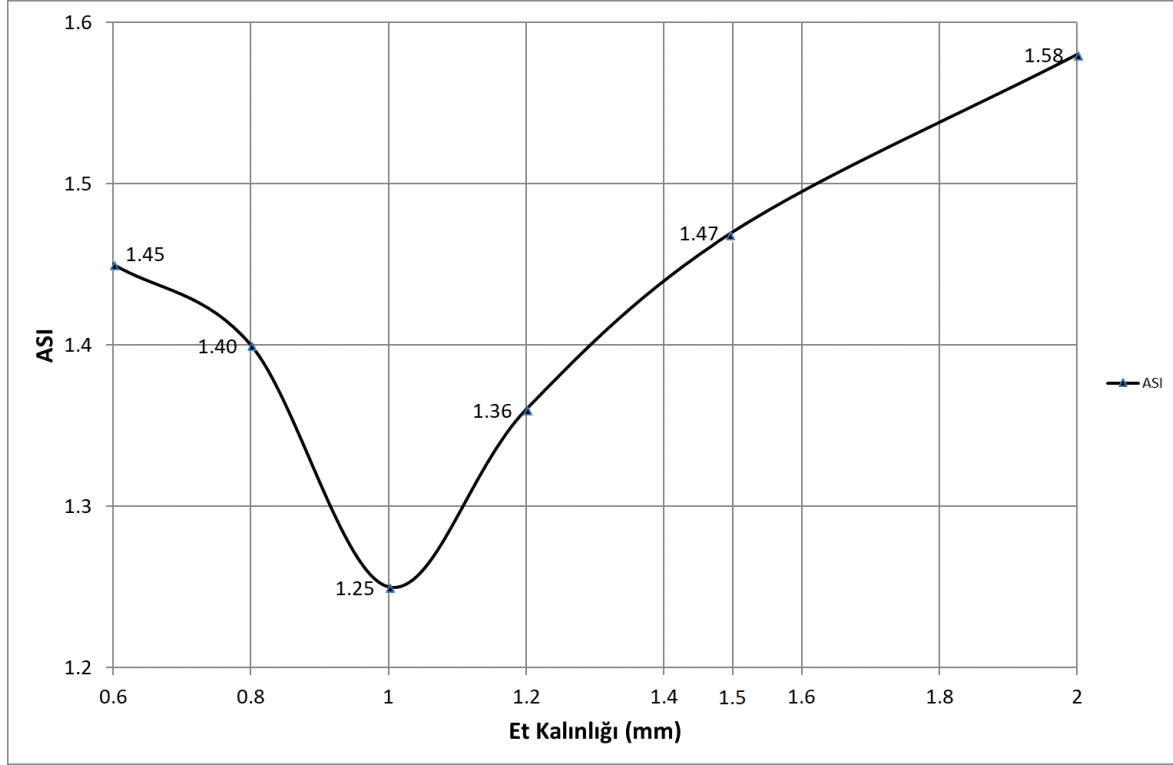
Şekil 4.31. Simülasyonlardan elde edilen ASI değerleri

Yapılan simülasyonlardan elde edilen ASI değerleri Şekil 4.31'de görülmektedir. 0,6 mm, 0,8 mm, 1,0 mm, 1,2 mm, 1,5 mm ve 2,0 mm et kalınlığında elde edilen ASI değerleri sırasıyla 1,45; 1,4; 1,25; 1,36; 1,47; 1,58'dir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada LS Dyna sonlu elemanlar simülasyon programıyla yapılan simülasyonlarda değişken olarak belirlenen et kalınlığının değişiminin koruyucu tampon performansına etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.1. Et kalınlığına göre maksimum ASI değerlerinin değişimi

Simülasyonların sonucunda her bir et kalınlığı için elde edilen ASI değerleri Şekil 5.1’de görülmektedir. Bu tasarımlar arasında et kalınlığı azaldıkça ASI değerinin de azaldığı görülmektedir. Ancak, 1.0 mm’den daha ince sac malzeme kullanıldığında ASI değerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, 3 numaralı parçanın mukavemetinin azalması, buna bağlı olarak ortaya çıkan enerjinin sistemdeki daha rijit olan parçalar tarafından sönmelenmesi olarak gösterilebilir.

Farklı boyut ve farklı malzemelerle arka koruyucu tasarımlarının araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Çancı, M. ve Erdal, M. (2003). Uluslararası Taşımacılık Yönetimi. UTIKAD (Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenler Derneği), İstanbul.
2. İnternet: Bolu'da otomobil TIR'a arkadan çarptı: 2 yaralı URL: <http://www.dogurehberi.com/asayis/boluda-otomobil-tira-arkadan-carpti-2-yarali-h1304735.html> Son Erişim Tarihi: 21.04.2018.
3. İnternet: Kaza nedeniyle park eden tıra otomobil çarptı: 1 ölü URL: <http://www.haber7.com/karabuk/1710442-kaza-nedeniyle-park-eden-tira-otomobil-carpti-1-olu>, Son Erişim Tarihi: 21.04.2018.
4. İnternet: Düzce'de seçim günü feci kaza: 2 ölü, 2 yaralı. Tıra arkadan çarpan otomobildeki anne ve baba öldü. URL: www.haberturk.com/duzce-haberleri/61762330-duzcede-secim-gunu-feci-kaza-2-olu-2-yaralitira-arkadan-carpan-otomobildeki-anne-ve-baba Son Erişim Tarihi: 24.06.2018.
5. Bilgi edinme, T.C. İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü, (2018), 50512095-2951.(31824)-1998-2000-1481-109810.
6. İnternet: Atak L., Aktif ve Pasif Güvenlik Sistemleri, Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluğu, URL: http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/hava_yastik/Aktif_Ve_Pasif_Guvenlik_Sistemleri.htm, Son Erişim Tarihi: 21.04.2018.
7. İnternet: Glennon J.C., Truck Underride Collision Analysis, crashforensics.com, URL: <http://www.crashforensics.com/truckunderride.cfm> Son Erişim Tarihi: 11.06.2017.
8. Brumbelow M.L. (2011). Crash test performance of large truck rear underride guards, Insurance Institute for Highway Safety, 11-0074, 1-8.
9. İnternet: Bloch B., Deep Impact, Truck underide, Crash Test Technology International, URL: http://www.autosafetyexpert.com/Assets/Docs/deep_impact.pdf Son Erişim Tarihi: 11.06.2017.
10. İnternet: Addendum 57: Regulation No: 58 Revision 2, unece.org, URL: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r058r2e.pdf> Son Erişim Tarihi: 22.01.2017.
11. Minihan D.J., O'Day J. (1977). Car-truck fatal accidents in Michigan and Texas, Highway Safety Research Institute, UMHSRI-77-49, 1-37.
12. Braver E. R., Mitter E. L., Lund A. K., Cammisa M. X., Powell M. R., Early N. (1998). A photograph-based study of the incidence of fatal truck underride crashes in Indiana, Accident Analysis & Prevention, Vol 30, 235-243.
13. Braver E. R., Cammisa M. X., Lund A. K., Early N., Mitter E. L., Powell M. R. (1997). Incidence of large truck-passenger vehicle underride crashes in fatal accident reporting system and national accident sampling system, Transportation Research Record, 1595, 27-33.

14. Mariolani J. R. L., Arruda, A. C. F., Schutzler, L. O. F. (2001). Development of new underride guards for enhancement of compatibility between trucks and cars, State University of Campinas, 425, 1-4.
15. Roger Zou, George Rechnitzer, Raphael Grzebieta, (2001), Simulation Of Truck Rear Underrun Barrier Impact, 17. International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Amsterdam, Haziran 4-7, 2001.
16. Atahan A.O., (2003), Design and simulation of an energy absorbing underride guard for heavy vehicle rear-end impacts, Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 10, No. 4, p. 321-343.
17. A.O. Atahan (2007). A recommended specification for heavy vehicle rear underrun guards, Mustafa Kemal Üniversitesi, Accident Analysis and Prevention 39, 696–707.
18. F. Cappello, T. Ingrassia, V. Nigrelli (2008). University of Palermo, Design of a new high energy rear underrun protective device, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 97, ISSN 1743-3509 High Performance Structures and Materials IV 325.
19. Brumbelow, M., Blonar, L. (2010). Evaluation of US rear underride guard regulation for large trucks, Stapp Car Crash Journal, 54, 1-13.
20. Allen K. (2010). The effectiveness of underride guards for heavy trailers, National Highway Traffic Safety Administration, 1-41.
21. Aygün Y. (2013). Ağır taşıtlarda arka koruyucu tasarımı ve kaza performansının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
22. Khore A. K., Jain T., Tripathi K. (2013). Impact Crashworthiness of Rear under Run Protection Device In Heavy Vehicle Using Finite Element Analysis, International Journal Of Innovative Research & Development, Vol 2, Issue 13.
23. Xue L., Yang J. (2013), A Study on the Application of Energy-Dissipating Protection Device in Car to Truck Rear Underride, Fifth Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, p. 130-134.
24. V. S. Gogate, V. A. Pachore, A. A. Thorat, (2014), A New Approach For Rear Underrun Protection Systems – Accident Investigations & CAE Based Development, IRCOBI Conference, p. 428-437.
25. Xie J., C. Yan Qiang, (2014), A Kind of Swinging Bumper in The Rear of a Truck and its Performance Research, Applied Mechanics and Materials Vols. 578-579 (2014) pp 736-740.
26. Khore A. K., Jain T., Tripathi K., (2014), Multidisciplinary Design Study of Heavy Vehical Rupd Crashworthiness And Energy Absorption, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Vol. 04, Issue 01,PP 48-55.
27. Sen P. K., Bohidar S. K., Jaiswal R., Anant R., Bhardwaj R. (2014). Optimization & Development of Vehicle Rear Under-Run Protection Devices in Heavy Vehicle (RUPD)

- for Regulative Load Cases, International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Vol 1, Issue 6.
28. SUN Bohua, ZHAO Jian, YANG Zi, REN Luquan, ZHU Bing, (2014), Design and Analysis of the Bio-Inspired Rear Under-run Protection Devices for Heavy Truck, Applied Mechanics and Materials Vol. 461 pp 499-505, Trans Tech Publications, Switzerland.
 29. Sharma Sumit, Pawar S., Patel D., Sharma Sandeep. (2015). Finite Element Analysis of Rear Under-run Protection Device (RUPD) With Sequential Loadings and Strain Mapping Method in Radioss, Altair Technology Conference, Hindistan.
 30. Rajopadhye B. A., Rasal U. R., Phadke N. U. (2016). Performance Check and Relevant Design Modifications of RUPD under Impact Loading, GRD Journals - Global Research and Development Journal for Engineering, Volume 1, Issue 7.
 31. Mohod R. P. (2017). Crashing Analysis of Rear under Run Protection Device (RUPD), Imperial Journal of Interdisciplinary Research, Vol-3, Issue-9.
 32. Jain T., Kumar N. (2017). Investigation on Energy Absorption Characteristics of a Car Bumper and Truck RUPD under Crash Impact, International Journal of Engineering and Technology, Vol 9 No 5.
 33. Goud B.N., Pachor, A., (2017), Investigation of Vehile Rear Under Run Protection Device (RUPD) Using Aluminium Foam, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 225.
 34. Z. F. Al-Bahash, M.N.M. Ansari, Q. H. Shah, (2017), Design And Simulation Of A Rear Underride Protection Device (RUPD) For Heavy Vehicles, International Journal Of Crashworthiness.
 35. Blower D., Woodrooffe J., Page O. (2011). Analysis of rear underride in fatal truck crashes, The University of Michigan Transportation Research Institute, UMTRI-2011-51, 1-12.
 36. TS EN 1317-2 Standardı, Yol Kısıtlama Sistemleri – Kısım 2: Performans Sınıfları, Vuruş Testi Kabul Kriterleri ve Güvenlik Bariyerleri için Test Metotları URL: <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119100114069121110075075067103083048090083119120099068051083119113074> Son Erişim Tarihi: 01.04.2017
 37. E. Bayat (2011), Farklı Aralıklara Sahip Dikmelerden Oluşan Çelik Otokorkulukların Çarpışma Davranışının Sanal Ortamda İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi.
 38. Brumbelow M.L. (2011). Crash test performance of large truck rear underride guards, Insurance Institute for Highway Safety, 11-0074, 1-8.

39. İnternet: Çelik Kaliteleri - Steel Grades / TS EN 10025-2 : 2006 URL: http://www.yucelboru.com.tr/images/uploads/d2c783cb410f4cf2b4f026dd4df58a81_ts-en-100252.pdf Son Erişim Tarihi: 02.02.2017.
40. İnternet: SolidWorks Kullanım Kılavuzu URL: https://www.solidworks.com/sw/docs/Student_WB_2011_ENG.pdf Son Erişim Tarihi: 02.03.2017.
41. İnternet: ANSYS R16.1 On-line Help Files, URL: <https://ansyshelp.ansys.com> Son Erişim Tarihi: 02.03.2017.
42. Djodikusumo I., Diasta I. N., Awaluddin I. S. (2016), Geometric Modeling of a Propeller Turbine Runner using ANSYS BladeGen, Meshing using ANSYS TurboGrid and Fluid Dynamic Simulation using ANSYS Fluent, Applied Mechanics and Materials ISSN: 1662-7482, Vol. 842, pp 164-177, Trans Tech Publications, İsviçre.
43. Zhou B., Li H., Liu Q., (2013), Finite Element Analysis and Optimal Design of Commercial Vehicle Drive Axle Housing, Advanced Materials Research Vols 816-817 pp 782-785 Trans Tech Publications, İsviçre.
44. İnternet: LS DYNA Keyword User's Manual, Volume 1, LS Dyna R10.0, 269., Kasım 2017.
45. O. Mülkoğlu, (2016), Yeni Bir Bulaşık Makinesi Mekanik Yapı Ve Ambalaj Modülünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tobb Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi.
46. M. E. Cerit, (2011), Şehirler Arası Otobüslerde Önden Çarpışma Enerjisini Yutucu Pasif Güvenlik Sisteminin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tobb Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi.
47. I.C. Dai, (2016), Structural Analysis And Improvement Of Forklift Using Finite Element Method, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tobb Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi.
48. İ. Özer, (2015), Balistik Çarpma Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, , Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi.
49. E. Bayat, (2011), Farklı Aralıklara Sahip Dikmelerden Oluşan Çelik Otokorkulukların Çarpışma Davranışının Sanal Ortamda İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi.
50. C.S. Dobrovolny, N. Schulz, D.Blower, (2016), Finite Element Approach to Identify the Potential of Improved Heavy-Truck Crashworthiness and Occupant Protection in Frontal Impacts, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Jan 2016, Vol. 2584, pp. 77-87.
51. İnternet: LS Pre-Post Documentation URL: <http://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/lsprepost/4.3/doc/win/Document.chm> Son Erişim Tarihi: 01.02.2017.

52. İnternet: TRAP (2002), Test Risk Assesment Program version 2.2 Off-Line Help Files Texas Transportation Institute. Son Erişim Tarihi: 05.05.2017.
53. İnternet: National Crash Analysis Center, National Crash Analysis Center Library Finite element model of dodge neon, 2016 URL: www.ncac.gwu.edu/vml/models.html Son Erişim Tarihi: 02.07.2016.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SERT, Mustafa
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.05.1988, Anamur
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0553 654 6679
 Faks : -
 E-mail : sertmustafa88@yandex.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makine Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Mustafa Kemal Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2012
Lise	Bozyazı Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Ferra Filtre	Ar-Ge Mühendisi
2013	Özbek EFS Makine LTD. ŞTİ.	Şantiye Şefi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Film izlemek, müzik dinlemek, bahçe işleri ile uğraşmak, gitar çalmak.

DİZİN

A

Abstract · v
ağır vasıta · 4, 6, 8, 11
ANSYS · iv, v, xii, 12, 15, 18,
33, 37, 60
Arka Koruyucu Standartları · 18
arka koruyucu tampon · iv, 3, 4,
9, 13, 18, 26, 31, 37, 41, 54
ASI · iv, v, viii, ix, x, xiv, 24, 31,
37, 38, 41, 43, 45, 47, 48, 50,
52, 54, 55, 56
Asi · 24

B

Birleşmiş Milletler Avrupa
Ekonomik Komisyonu · 7

Ç

Çizelgelerin Listesi · viii

D

deformasyon · 5, 14, 21, 54
Deney Bulguları · 42
Dodge Neon · xii, 36, 41

G

Giriş · 1

I

ICC · 6

İ

İçindekiler · vii

K

Kaynaklar · 57
kaza verileri · 3

L

Literatür · 7
LS Dyna · vi, xii, 11, 12, 14, 15,
18, 34, 35, 38, 56, 60
LS Pre-Post · iv, v, xii, 35, 37, 60

M

Materyal · 31

N

NHTSA · 6

Ö

Özet · iv

P

parametre · xii, 3, 31, 39

R

Resimlerin Listesi · xi

S

Simgeler Ve Kısaltmalar · xiv
Simülasyon · 31
simülasyon sonucu · 52, 53, 54
Simülasyon şartları · 41
SolidWorks · 32
sonlu eleman · iv, 7, 33
SONUÇ VE ÖNERİLER · 56
ST37-2 · 31

Ş

Şekillerin Listesi · ix

T

Taşıma Türleri · 1
test yük miktarları · 19
Teşekkür · vi
THIV · xv, 24, 37
trafik kaza resimleri · 2
TRAP · iv, v, xii, xv, 35, 36, 38,
60
TS EN 1317 · 24

U

UN ECE · iv, v, viii, xi, xv, 7, 13,
19



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

