

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AĞIR TAŞITLARDA ARKA KORUYUCU TASARIMI VE KAZA
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YUSUF AYGÜN

KOCAELİ 2013

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ



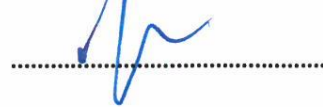
**AĞIR TAŞITLARDA ARKA KORUYUCU TASARIMI VE KAZA
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YUSUF AYGÜN

Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir CENGİZ
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Mehmet UÇAR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Cemal BAYKARA
Jüri Üyesi, İTÜ

Tezin Savunulduğu Tarih: 31.12.2013

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ülkemizde binek ve hafif ticari tip araçların ağır taşıtlara arkadan çarpmaları sonucu meydana gelen kazalara ait istatistiklerde her yıl yüzlerce ölümlü olmak üzere binleri geçen ağır yaralanma vakaların olduğu görülmektedir. Ne yazık ki bu duruma rağmen ilgili yasal mevzuat ve yönetmelikler henüz ciddi anlamda engelleyici yaptırımlar sergilememektedir.

Bu çalışmada bir aracın ağır taşıt ile karıştığı arkadan çarpmalı kazaların etkisini azaltması için örnek bir arka koruyucu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Farklı unsurlara sahip 8 ayrı arka koruyucu modelin deneysel sonuçları aktararak unsurların enerji sönmüleme davranışına etkisi gösterilmiş ve ideal çarpışma özelliğine en yakın koruyucu belirlenmiştir.

Çalışmamızın nihai hedefi ise koruyucu kullanan ağır taşıt ve dorse imalatçılarının tip onayı vb. çalışmalarında baz alınabilecek bir model geliştirmek ve konu ile ilgili tüm kurum/kuruluşların her kademesinde bir farkındalığa yol açmaktır.

Bu tez çalışmasında, araştırma yapmam için imkân tanıyan ve çalışmalarımı teşvik eden, her türlü yakın ilgilerini, yardımlarını ve değerli zamanını esirgemeyen tez danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir CENGİZ'e, çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren sayın hocam Prof.Dr. Mehmet UÇAR'a, tezin deneysel çalışmaları aşamasında yardımcı olan ve imkan sağlayan sayın hocam Öğr.Gör. Ahmet ÇALIŞKAN'a, Teknik Eğitim Fakültesi yöneticileri ve Makine Eğitimi Bölümüne katkı ve desteklerinden dolayı sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, annem Hafize AYGÜN'e, babam Yüksel AYGÜN'e, kardeşlerim Yücel AYGÜN ve Semih AYGÜN'e, bu tez çalışmasına katkı ve desteklerinden dolayı Burçin ARTAR ve Yunus EREN'e çok teşekkür ederim.

Aralık – 2013

Yusuf AYGÜN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vi
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
2. AĞIR TAŞITLARDA GÜVENLİK VE ARKA KORUYUCUNUN ÖNEMİ	6
2.1. Arka Koruyucunun Geçmişten Günümüze Gelişimi.....	7
2.2. Literatür Taraması	9
3. ARKA KORUYUCU STANDARTLARI	14
3.1. Uluslararası Arka Koruyucu Standartları	14
3.1.1. Brezilya	14
3.1.2. Kanada.....	15
3.1.3. Amerika Birleşik Devletleri	17
3.1.4. Avrupa Birliği	19
3.2. Türkiye’de Arka Koruyucu Standartları.....	20
4. ARKA KORUYUCU TASARIMI	24
4.1. Ülkemizdeki Mevcut Arka Koruyucu Uygulamaları	24
4.2. Uluslararası Mevcut Tasarımlar ve Test Örnekleri	28
5. DENEY TASARIMI VE ÇALIŞMALARI	41
5.1. Malzeme Seçimi ve Test Numunelerinin Hazırlanması.....	41
5.1.1. Arka koruyucu test numune geometrileri.....	42
5.1.2. Numunelerin ve ana yapının test için hazırlanması.....	47
5.2. Basma Test Yöntemi ve Test Aparatlarının Hazırlanması	52
6. DENEY VERİLERİ VE ANALİZİ	60
6.1. Deformasyon karakteristikleri	60
6.2. Kuvvet - Deformasyon Analizi	63
6.3. Enerji - Deformasyon Analizi	71
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Binek taşıt-Ağır taşıt kaza örneği	4
Şekil 2.1.	Yanal koruyucu saptırma elemanları	6
Şekil 2.2.	Arka koruyucu etkisi (a) yok/zayıf, (b) var	7
Şekil 2.3.	1976 model Ford Granada marka aracın 54 km/h hızla çarpışma testi	8
Şekil 2.4.	Mafsallı arka koruyucu tasarımı	12
Şekil 2.5.	“Pliers” adlı arka koruyucunun hareket prensibi	12
Şekil 3.1.	Brezilya’da arka koruyucu standartları arkadan görünüş	15
Şekil 3.2.	Brezilya’da arka koruyucu standartları yandan görünüş	15
Şekil 3.3.	Brezilya’daki yönetmelikte geçen diyagonal yansıtıcı şeritler	15
Şekil 3.4.	Kanada’daki test yükleri bölgesi.....	17
Şekil 3.5.	ABD’de FMVSS 223&224 yönetmeliklerine ilişkin detaylar.....	18
Şekil 3.6.	ABD’de arka koruyucu standartları arkadan görünüş	18
Şekil 3.7.	ABD’de arka koruyucu standartları yandan görünüş	19
Şekil 3.8.	Avrupa’da geçerli olan arka koruyucu standartları.....	20
Şekil 3.9.	ECE R-58 Arka koruyucu standartları	21
Şekil 4.1.	Ülkemizdeki mevcut arka koruyucu uygulamaları	25
Şekil 4.2.	2007 Hyundai arka koruyucu destek elemanları.....	28
Şekil 4.3.	ABD ve Kanada yönetmeliklerine göre P1, P2 ve P3 yüklerinin test noktaları	28
Şekil 4.4.	Test sonuçları (a) 56 km/sa hız, tam örtüşme, 2007 Hyundai römork, (b) 56 km/sa hız, tam örtüşme, 2011 Wabash römork	30
Şekil 4.5.	Test Sonuçları (a) 56 km/sa hız, yüzde 50 örtüşme 2007 Vanguard römork, (b) 56 km/sa hız, yüzde 50 örtüşme, 2011 Wabash römork.....	31
Şekil 4.6.	Test Sonuçları (a) 40km/sa hız, yüzde 50 örtüşme, 2007 Vanguard römork, (b) 56 km/sa hız, yüzde 30 örtüşme, 2011 Wabash römork.....	32
Şekil 4.7.	DLG tipi arka koruyucu	33
Şekil 4.8.	SSG tipi arka koruyucu	34
Şekil 4.9.	MCG tipi arka koruyucu	34
Şekil 4.10.	560 mm yükseklikte MCG tipi koruyucu, 48 km/sa hızda, test sonrası dış hasar	35
Şekil 4.11.	560 mm yükseklikte MCG tipi koruyucu, 48 km/sa hızda, test sonrası ön cam direğindeki hasar	36
Şekil 4.12.	480 mm MCG, 65 km/sa hız, Chevrolet Cavalier	36
Şekil 4.13.	Direklerde meydana gelen hasarın detayları, 480 mm MCG, 65 km/sa hız, Chevrolet Cavalier	37
Şekil 4.14.	Honda Civic, 560 MCG, 56 km/sa	38
Şekil 4.15.	Önden görünüş, Honda Civic, 560 MCG, 56 km/sa.....	38
Şekil 4.16.	Honda Civic, 480 mm DLG, 56 km/sa	39
Şekil 4.17.	Honda Civic, 560 mm SSG, 48 km/sa.....	40
Şekil 5.1.	Yalın modelin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm halı.....	43
Şekil 5.2.	NO 1 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm halı.....	43

Şekil 5.3.	NO 2 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali.....	44
Şekil 5.4.	NO 3 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali.....	44
Şekil 5.5.	NO 4 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali.....	45
Şekil 5.6.	NO 5 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali.....	46
Şekil 5.7.	NO 6 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali.....	46
Şekil 5.8.	NO 7 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali.....	47
Şekil 5.9.	Yalın modele ait teknik detaylar	48
Şekil 5.10.	Unsura sahip bir arka koruyucuya ait dikey eleman ve parçaları	48
Şekil 5.11.	Test numunelerinin birleştirilmeden önceki durumu	49
Şekil 5.12.	Test numunesinin kaynak ile birleştirilmiş hali	50
Şekil 5.13.	İki parçayı birbirine bağlamak için açılan kanal.....	51
Şekil 5.14.	Test numunelerinin bağlandığı ana yapının son hali	51
Şekil 5.15.	Deney tesisat şeması	52
Şekil 5.16.	Basma testi (a) Deney koşulları, (b) Gerçek test koşulları	53
Şekil 5.17.	Hidrolik presin genel görünümü	54
Şekil 5.18.	Yarı statik yükleme ünitesinde yük hücresi ve test numunesinin yerleştirilmesi	55
Şekil 5.19.	Yarı statik test düzeneği için hazırlanmış programa ait kullanıcı ara yüzü	56
Şekil 5.20.	Test düzeneği için hazırlanmış programa ait blog diyagram	57
Şekil 5.21.	Sayısal veri elde etmek için kurulan tertibat.....	58
Şekil 5.22.	Toplanılan verinin yapısı	59
Şekil 6.1.	Arka koruyucu deformasyon bölgeleri	61
Şekil 6.2.	Yalın modelin kuvvet-deformasyon grafiği.....	63
Şekil 6.3.	NO1 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği.....	64
Şekil 6.4.	NO2 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği.....	65
Şekil 6.5.	NO3 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği.....	66
Şekil 6.6.	NO4 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği.....	67
Şekil 6.7.	NO5 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği.....	68
Şekil 6.8.	NO6 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği.....	69
Şekil 6.9.	NO7 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği.....	70
Şekil 6.10.	Bütün test numunelerinin kuvvet-deformasyon grafikleri.....	71
Şekil 6.11.	Bütün test numunelerinin enerji-deformasyon grafikleri.....	72

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Araç türlerine göre 2011 yılı kaza istatistikleri	2
Tablo 1.2. 2011-2012 yılı otomobil-kamyon ve otomobil-çekici kaza istatistikleri	3
Tablo 3.1. Brezilya'daki kütle temelli test yükü gereklilikleri	14
Tablo 3.2. Kanada'daki test yükleri gereklilikleri	16
Tablo 3.3. ABD test yükleri gereklilikleri	18
Tablo 3.4. 2007 öncesi ve sonrası ECE R-58 arka koruyucu test yükler.....	20
Tablo 3.5. Araç muayenesi kusurlar tablosu	22
Tablo 4.1. Araç ve römorkların test şartları	29
Tablo 4.2. Yarı statik test sonuçları	33
Tablo 4.3. Test araçları ve test şartları hakkında bilgi	34
Tablo 5.1. St 37-2 çeliğinin kimyasal özellikleri	42
Tablo 5.2. St 37-2 çeliğinin mekanik özellikleri.....	42
Tablo 6.1. Numunelere ait deformasyon tipleri (h: büküm mesafesi, t: en düşük yanak kalınlığı)	62
Tablo 6.2. Tüm deney verilerini gösteren tablo	73

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

E : Enerji, (J)
F : Kuvvet, (N)

Kısaltmalar

AB : Avrupa Birliği
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ARA : Aerospace Research Associates
CDS : Crashworthiness Data System (Çarpışmalara Karşı Dayanıklı Olma Veri Sistemi)
CM : Santimetre
CMVSS : Canadian Motor Vehicle Safety Standards (Kanada Motorlu Araç Güvenlik Standartları)
CTEA : Canadian Trucking Equipment Association (Kanada Kamyon Taşımacılığı Ekipmanları)
DAQ : Data Acquisition (Veri Toplama)
DEF : Deformasyon
DLG : Displacement Limiting Guard (Yer Değiştirme Sınırlayıcı Koruma)
FARS : Fatality Analysis Report System (Kaza Analiz Rapor Sistemi)
FMVSS : Federal Motor Vehicle Safety Standarts (Federal Motorlu Araç Güvenlik Standartları)
ECE R-58 : Economic Commission for Europe Regulation-58 (Avrupa Ekonomi Komisyonu Yönetmeliği)
GES : General Estimates System (Genel Tahmin Sistemi)
ICC : US Interstate Commerce Comission (ABD Eyaletler arası Ticaret Komisyonu)
IIHS : Insurance Institute for Highway (Otoyol Güvenliği Sigorta Enstitüsü)
KG : Kilogram
KGF : Kilogram Kuvvet
KJ : Kilojoule
KM : Kilometre
KN : Kilonewton
LTCCS : Large Truck Crash Causation Study (Kamyon Kazalarının Nedeni ile ilgili Çalışma)
MAX : Maksimum
MCG : Minimally Compliant Guard (Minimal Uyumlu Koruma)
MIN : Minimum
MM : Milimetre
NASS : National Automotive Sampling System (Ulusal Otomotiv Örnekleme Sistemi)

NCAP	: European New Car Assessment Programme (Avrupa Yeni Araba Değerlendirme Programı)
NHTSA	: National Highway Traffic Safety Administration (Ulusal Otoyol Trafik Güvenliği İdaresi)
SA	: Saat
SN	: Saniye
SSG	: Stronger Salented Guard (Güçlü Eğimli Koruma)
UMTRI	: The University of Michigan Transportation Research Institute (Michigan Üniversitesi Ulaştırma Araştırma Enstitüsü)
VC	: Vehicle Crash (Araç Kaza)

AĞIR TAŞITLARDA ARKA KORUYUCU TASARIMI VE KAZA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Ağır taşıtlar ile otomobillerin farklı yükseklikleri trafikte her zaman bir güvenlik sorunu oluşturmuştur. Bunun en önemli örneği de bir binek veya hafif ticari aracın, arkadan çarpma ile ağır taşıtın altına girmesi sonucu meydana gelen kazalardır. Ağır taşıtlarda güvenlik amacıyla bulunan arka koruyucuların ve çerçevenin zayıf ve yetersiz olması, kaza esnasında ortaya çıkan çarpışma enerjisini sönmüleyememekte sürücü ve yolcular için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Türkiye ve Avrupa Birliği üye ülkeleri arka koruyucu standartı olarak ECE R-58 yönetmeliğini kabul etmiştir. Bu yönetmelik ağır taşıtların arka koruyucularının sahip olması gereken ölçü ve dayanması gereken yük miktarlarını tanımlamaktadır. Ancak literatürde yapılan birçok çalışmada bu standartlarda belirtilen yüklerin yetersiz olduğu da ifade edilmektedir. Ülkemizde de bu durumun önemi trafik kazalarındaki ciddi yaralanma ve ölüm oranı istatistikleriyle kendini göstermektedir.

Bu tez çalışmasında öncelikle konuyla ilgili ülkemizdeki mevcut tasarım ve uygulamalar ile yurtdışı literatür çalışmaları incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında standartın üzerinde tavsiye edilen yük miktarlarını sağlayabilecek örnek bir arka koruyucu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım süreci; 1) yük gereksinimlerinin tespit edilmesini, 2) örnek bir koruyucuya ait yalın model tasarımının yapılmasını, 3) farklı unsurların eklenmesiyle 7 farklı tip koruyucu oluşturulmasını ve 4) toplam 8 tip koruyucunun çarpışma enerjisi sönmüleme karakteristikleri ölçülmesini kapsamaktadır. Böylece en uygun kuvvet-deformasyon ve enerji sönmüleme davranışına sahip geometrik yapı ve unsurlar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Taşıt, Arka Koruyucu, Çarpışma Analizi, ECE R-58, Tasarım.

REAR UNDERRUN PROTECTION DESIGN IN HEAVY VEHICLE AND EVALUATION OF CRASH TEST PERFORMANCE

ABSTRACT

The different heights of heavy vehicles and automobiles have always caused safety problems in the traffic. The most important examples of this are the accidents which occur when an automobile or a commercial light vehicle runs into a heavy vehicle from behind as a result of which the small vehicle goes under the heavy by colliding into it from behind. The rear underrun protection and the frames used in heavy vehicles for the purposes of safety are weak and insufficient, and therefore they cannot absorb the energy of the collision and cannot weaken the effect of the collision which as a result causes serious dangers for the driver and passengers in the small vehicle. Turkey and the member states of the European Union have accepted the regulation no ECE R-58 as a rear underrun protection standard. This regulation defines the amount of the load of the rear underrun protection that they must be resistant to and the measurements that they must have. However, in many studies realized on the literature, it is stated that the amounts of the loads defined in these standards are not sufficient. In our country the importance of this subject is seen in the statistical information with respect to the numbers and rates of casualties (serious injuries and deaths) in traffic accidents.

In this thesis study, firstly the existing designs and applications in our country and the studies on the literature abroad are examined with respect to this subject. In the light of the data obtained, a sample rear underrun protection design is realized which can provide the amounts of loads over the loads recommended in the existing standard. The designing process covers; 1) the determination and specification of the load requirements, 2) realization of a basic model belonging to a sample rear underrun protection, 3) creation of 7 different types of protection by adding different features and 4) measuring the absorption (muffling) characteristics for the collision energy of the total numbers of 8 types of protectors. In this way, the geometrical structure and features which have the most convenient strength deformation and energy absorption are determined.

Keywords: Heavy Vehicle, Rear Underrun Protection, Crash Analysis, ECE R-58, Design.

GİRİŞ

Yolcu ulaşımında başlangıç ve varış noktaları, yük taşımacılığında ise üretim ve tüketim noktaları arasında aktarmasız bir ulaşım olanağı vermesi, taşıma kapasitesi ve güzergâh seçiminde esneklik sağlaması, parça yüklerin daha kolay ve belli mesafelere kadar daha hızlı taşınabilmesi karayolu taşımacılığının başlıca özellikleridir. Bu zellikleri yanında, genelde aktarmalı taşımanın söz konusu olduğu demiryolu, denizyolu ve hava taşımalarında tamamlayıcı bir tür olması sebebi ile tüm dünyada karayolu taşımacılığı diğer taşıma türlerine göre daha hızlı bir gelişme göstermiştir.

Ülkemizde karayolu yolcu ve yük taşımacılığında, son otuz yılda diğer türler ile yapılan taşımacılıklara kıyasla hızlı bir gelişme olmuş, bu dengesiz gelişmenin sonucu olarak karayolu taşımasının payı her iki taşıma için hızla artarak % 90'ın üzerine çıkmıştır. Bu gelişme sırasında, trafikte artan ağır taşıt oranının fazlalığı beraberinde trafik kazalarının da artmasına sebep olmuştur. Ayrıca ağır taşıt ile binek taşıtların farklı yüksekliklerde olmaları da yollarda bir risk unsuru teşkil etmektedir. Bu yükseklik farkından dolayı binek taşıtın, ağır taşıt altına girmesiyle oluşan kazalar malesef çok kötü sonuçlara sebep olmaktadır. Ülkemizde her yıl yüzlerce kişi bu tür kazalarda hayatını kaybetmektedir.

Karayolu trafik güvenliği, son yıllardaki iyileşmelere rağmen gelişmiş ülkelere kıyasla hala oldukça düşüktür. 15 üyeli AB'de 2000 yılında 205 milyon taşıta karşılık 39.849 ölüm meydana geldiği halde, aynı yılda ülkemizde 9 milyon taşıta karşılık l sayısı istatistiklere girmeyen, yolda ve hastanelerde ölenler de nazara alındığında 8000 dolayındadır. Bu konuda yolcu ve yk ulaşımında karayolu taşımacılığının çok nde olmasının önemli rolü bulunmaktadır. Trafik kazaları, her yıl getirdiği 3 milyar ABD dolarını aşan ekonomik maliyeti yanında, sosyal boyutu ile ülkemizin çözüm bekleyen sorunlarından birisi olarak önemini sürdürmektedir [1].

1. GENEL BİLGİLER

Ağır taşıt kategorisinde yer alan kamyonun yıllara göre sayılarının son 10 yılda %40'a yakın arttığı belirtilmektedir [2]. Tablo 1.1'de 2011 yılı motorlu araçlar kaza istatistikleri verilmiştir [3]. Tablo 1.1 incelendiğinde, ağır taşıt sınıfına giren kamyon ve çekici kazalarının toplam 11 bin civarında olduğu görülmektedir. Diğer taraftan 30.404 olan ve yönetmeliklerce kamyonet sınıfına dahil edilen araçlar içerisinde, kasalı araçların sayıları da, en az 1/3 oranında, eklenecek olursa toplam kaza sayısının 20 bin'i bulacağı söylenebilir. Dolayısıyla binek veya benzer ölçekli taşıtlar için yüksek tehlike içeren ağır taşıt sayısındaki artışın beraberinde trafik kazalarının da artmasında önemli rol oynadığı görülebilmektedir.

Tablo 1.1. Araç türlerine göre 2011 yılı kaza istatistikleri [3]

Araç cinsleri	Kazaya karışan toplam taşıt sayısı	Ölümlü kazaya karışan taşıt sayısı	Yaralanmalı kazaya karışan taşıt sayısı	Ölen sürücü sayısı	Yaralanan sürücü sayısı
Motosiklet	24350	195	24155	155	21278
Otomobil	94333	1305	93028	469	37384
Minibüs	6307	81	6226	15	1364
Kamyonet	30404	490	29914	146	10266
Kamyon	7769	419	7350	65	2336
Çekici	4184	285	3899	43	1292
Otobüs	6014	196	5845	13	642
Traktör	1110	55	1055	28	395
Diğer	4840	81	4759	41	3782
TOPLAM	179311	3080	176231	975	78739

Tüm bu araç tipleri ve özellikle arkadan ve yandan çarpma istatistik bilgileri, Otomobil-Kamyon ve Otomobil-Çekici sınıfı olarak ilgili yayınlarda bulunamamıştır.

Bu nedenle bu veriler, 2011 ve 2012 yılları için, Emniyet Genel Müdürlüğü'nün Trafik Eğitim ve Araştırması Dairesi Başkanlığı'ndan bu tez çalışmasında yayınlamak üzere talep edilmiştir. Elde edilen ilgili raporlar yıllara göre sırasıyla sunulmuştur. Değerler sadece polis sorumluluk bölgesini kapsamakta olup Jandarma kontrol bölgesi verilerini içermemektedir. Talep edilen bilgiler Tablo 1.2'de derlenerek verilmektedir.

Tablo 1.2. 2011-2012 yılı otomobil-kamyon ve otomobil-çekici kaza istatistikleri [4, 5]

Kaza Türü	Ölü				Yaralı				Kaza Sayısı			
	2011		2012		2011		2012		2011		2012	
	K	Ç	K	Ç	K	Ç	K	Ç	K	Ç	K	Ç
Arkadan çarpma	34	49	37	44	1374	831	1412	1037	665	402	724	513
Yandan çarpma veya	29	40	32	32	2119	1241	2236	1421	1075	631	1113	738
Duran araca çarpma	6	11	11	6	302	194	260	259	161	97	153	112
Yıllık Toplam	69	100	80	82	3795	2276	3908	2717	1901	1130	1990	1363
TOPLAM	169		162		6.071		6.625		3.031		3.353	

K: Kamyon, Ç: Çekici

Verilerden görülmektedir ki, her yıl yaklaşık 160'dan fazla ölüme, en az 6000 yaralanmaya sebep olan 3000'den fazla kaza olmaktadır. Bu rakamlar Şekil 1.1'de gösterilen bu tip kazaların ciddiyetini fazlasıyla ortaya koymaktadır. Bu kaza tiplerinde yan ve arka çerçeve tasarımının kritik önemi bir kez daha anlaşılabilir.



Şekil 1.1. Binek taşıt-Ağır taşıt kaza örneği [6]

Taşıt tasarımcıları öncelikle kazaların önlenmesi ve bu mümkün olmadığı takdirde kaza sonrası kayıpların azaltılması için, taşıt üzerinde alınabilecek koruyucu önlemler konusunda yoğun çaba harcamaktadırlar [7].

Taşıt tasarımı alanında kazaların önlenmesi ve kaza anında oluşacak can ve mal kayıplarının azaltılması için aktif ve pasif olmak üzere birçok yeni güvenlik önlemleri çalışılmış ve hali hazırda geliştirilmektedir. Yan ve arka koruyucular, kaza olması halinde olumsuz etkileri azaltmak amacıyla araç üzerinde malzeme değişiklikleri ve yapısal iyileştirmeler gibi tasarım önlemlerini içeren pasif güvenlik [8] elemanları sınıfına girmektedir. Bu nedenle, ağır taşıtlarda tasarım aşamasında ciddi anlamda değerlendirmeye alınmaları gerekmektedir. Bir otomobilin bir ağır taşıta arkadan çarpma kazası anında, binek aracın ön gövdesi, yolcuların güvenliği için, aracın sahip olduğu kinetik enerjiyi sönmölemek durumundadır. Kaza esnasında ortaya çıkan bu çarpışma enerjisinin yeterince sönmölenememesi ve deformasyonun yolcu kabinine kadar ulaşması halinde sürücü ve yolcular ciddi zararlar görmektedir. Bu nedenle arka ve yan çerçevelerin böyle bir temas sağlanması durumunda, binek aracın ön şasi bölgesine gerekli reaksiyon kuvveti üretebilecek, çarpışma enerjisini kısmen sönmöleyebilecek ve binek aracın kamyon veya dorse altına dalmasını engelleyebilecek yapıda olması gereklidir. Aksi halde aracın ön şasi kısmı deforme olmaksızın ağır taşıtın altına girmekte, şasi yükseklik farkından dolayı ağır taşıtın şasi ve kasa kısmı binek taşıtta sürücü seviyesinde ve yolcu kabini içerisinde büyük deformasyonlara sebep olmaktadır. Sürücü ve yolcuların kaçınmasının mümkün

olmadığı bu deformasyon, düşük hızlarda dahi ölümcül ve ağır yaralanmalara neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, ağır taşıt ve otomobillerin farklı yüksekliklerinden dolayı meydana gelen arkadan çarpışmalı kazaların etkisinin azaltılması için arka koruyucu tasarımı çalışması yapılmıştır. Tasarımın amacı; otomobilin ağır taşıt altına girmesini önlemek ve kaza esnasında ortaya çıkan çarpışma enerjisini sönmüleyecek bir pasif güvenlik elemanı için ideal geometriyi ve sönmüleme karakteristiklerini tespit etmektir.

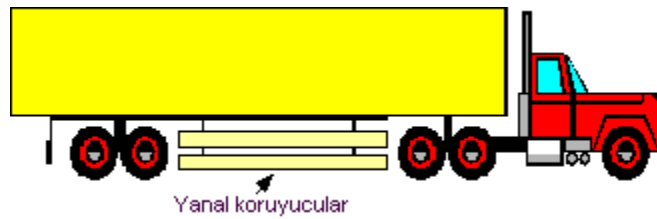
Çalışmada 8 farklı tiplerde yeni arka koruyucu geometrisi belirlenerek imalatları ve deneysel mukavemet testleri gerçekleştirilmiştir. Modeller arası çeşitlilik seçilen bir ana yapı (yalın model) üzerine çeşitli geometrik unsurların (delik, kanal vb) eklenmesi yoluyla sağlanmıştır. Bu unsurların etkisi ile değişen kuvvet-deformasyon verileri mukayese edilmiş ve unsurların enerji sönmüleme karakteristiklerine etkileri tartışılmıştır.

Bu tez çalışması 7 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1, giriş bölümü olup burada çalışmanın konusu ve amaçları kısaca açıklanmıştır. Bölüm 2’de ağır taşıtlarda dış güvenlik sistemleri hakkında kısa bilgi verilmiş, arka koruyucunun öneminden bahsedilmiş ve arka koruyucunun geçmişten günümüze gelişimi anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde arka koruyucular ile ilgili geniş literatür taraması yapılmıştır. Bölüm 3’te uluslararası ve Türkiye’deki mevcut arka koruyucu standartları hakkında geniş bilgi verilmiştir. Bölüm 4’te uluslararası mevcut tasarımlardan ve yapılan test örneklerinden bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölümde ülkemizdeki arka koruyucu tasarımı örnekleri de verilmiştir. Bölüm 5’te deney tasarımı ve çalışmaları açıklanmıştır. Bölüm 6’da deney verileri ve analizleri verilmiştir. Bölüm 7’de ise deney sonuçları verilmiş ve bu sonuçlar değerlendirilerek ileriye dönük tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. AĞIR TAŞITLARDA GÜVENLİK VE ARKA KORUYUCUNUN ÖNEMİ

Ağır taşıtlarda arka koruyucu, pasif güvenlik sisteminin bir alt başlığı olan dış güvenlik konusunun içerisinde yer alır. Dış güvenlik terimi ise, taşıt tarafından çarpılan yayalar, bisiklet ve motosiklet sürücülerinin yaralanmalarını en aza indirmek için taşıta kazandırılması gereken tüm tasarım özelliklerini kapsar. Dış güvenliği belirleyen başlıca faktörler; taşıt gövdesinin deformasyon davranışı, taşıtın dış biçimi ve yüzey formudur. Buradaki temel amaç, taşıtın dış kısmının birinci dereceden çarpışmayı (taşıtın dışındaki kişileri ve taşıtın kendisini içeren çarpışma) en aza indirecek biçimde tasarlanmasıdır [7].

Trafikte çok çeşitli boy ve özellikteki taşıtlar bir arada seyretmek durumunda olduğundan, hafif ve ağır taşıtlar arasında kazaların olması da kaçınılmazdır. Bu taşıtlar arasındaki kütle, boyutlar ve yapısal katılık farklılıkları nedeniyle küçük taşıtların aleyhine olan dengesizliğin sonucu olarak, hafif taşıtların hasar riski daha yüksek olmaktadır. Tasarımla ilişkili dış güvenliği geliştirmek amacıyla ticari taşıtlara, ön ve arkadakilere ilave olarak, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi yan al koruyucu saptırma elemanları yerleştirilerek; küçük taşıtların, motosiklet, bisiklet sürücülerinin ve yayaların bu taşıtların altına girmeleri önlenmeye çalışılmaktadır [7].

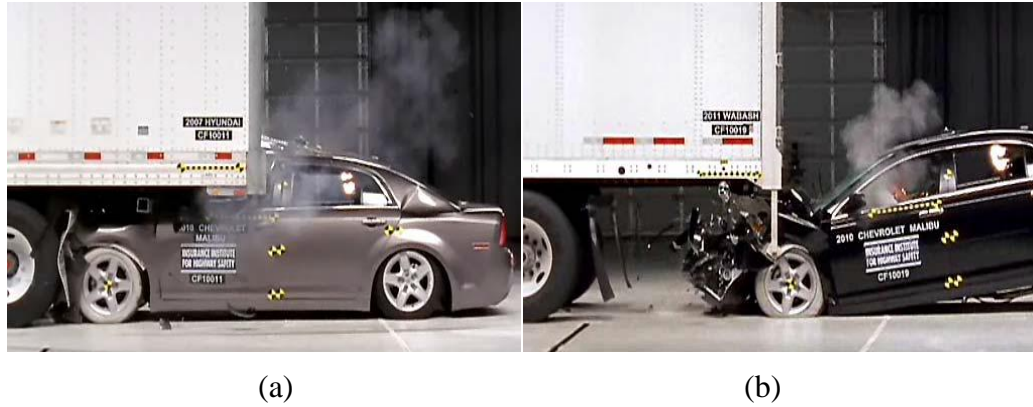


Şekil 2.1. Yanal koruyucu saptırma elemanları [7]

Bir aracın, ağır taşıtın altına girmesiyle meydana gelen kazalar düşük hızlarda bile ölümcül olabilir. Eğer ağır taşıtın bir arka koruyucusu varsa, aracın kamyonun veya treylerin tamamen altına girmesini engeller. Ağır taşıt üreticileri, bu tür kazaları

engellemek için arka koruyucu tertibatını geliştirmiştir. Ağır taşıtlardaki arka koruyucu mekanizmasının en önemli amacı; binek taşıtın kamyonun tamamen altına girmesini önlemektir [9].

2010 model Chevrolet Malibu marka aracın, arka koruyucusunun olmadığı 2007 model Hyundai marka treyler ile çarpışma testi Şekil 2.2'de, arka koruyucusunun olduğu 2011 model Wabash marka treyler ile çarpışma testi ise Şekil 2.3'de verilmiştir. Her iki testte de araç hızı 56 km/sa ve tam genişlikte yapılmıştır.



Şekil 2.2. Arka koruyucu etkisi (a) yok/zayıf, (b) var [10]

Pasif güvenlik sistemlerinin alt başlıklarından olan dış güvenlik konusunun kapsadığı arka koruyucu tertibatının, ne kadar önemli olduğu Şekil 2.2'de görülebilmektedir. Arka koruyucusu olmayan ağır taşıta arkadan çarpan otomobilde sürücü mahaline kadar bir deformasyon meydana gelmiştir. Fakat arka koruyucusu olan ağır taşıt ise bu deformasyonu otomobilin sürücü mahaline gelmeden durdurmayı başarmıştır.

Arka koruyucunun olmaması gibi arka koruyucunun zayıf ve yetersiz olması da arkadan çarpmalı kazalarda, otomobillerdeki sürücü ve yolcuların hayatta kalmasında önemli bir rol oynamaktadır.

2.1. Arka Koruyucunun Geçmişten Günümüze Gelişimi

İlk olarak, 1953 yılında ABD'de ICC, kamyonlar ve treylerler için bir arka koruyucuya gereksinim duyulduğunu yayımlamıştır. Koruyucuların çok yüksek, çok dar ve çok zayıf olması sebebiyle binek taşıtların, ağır vasıtaların altına girmesini önlemede yetersiz olduğu görülmüştür [11].

1996 yılında, ABD Kongresi araçların daha güvenli ve çarpışmalara karşı daha dayanıklı olması için minimum gereksinimler olarak FMVSS'yi düzenlemek için NHTSA'yı bir yasa ile oluşturdu. İlk odak noktaları, araçların ağır taşıtların altına girerek meydana gelen kazaları önleme amacıyla düzenlenecek kuralları belirlemek oldu [11].

Sonuç olarak 1986 yılında NHTSA, ARA tarafından yürütülen ve ağır taşıtların yan ve arka koruyucuları için uygulanan tasarımları içeren 'Development of Standarts for a Heavy Vehicle Underride Guard' adlı bir proje finanse etti [11].

1970 yılında, Cornell Üniversitesi NHTSA tarafından desteklenen binek taşıt-ağır taşıt çarpışma testi ile ilgili bir çalışma yaptı. Arka koruyucunun yerden 18 inç (46 cm) ve direnç kuvveti 60.000 lb (27.215 kg) dayanabilecek kapasitede olması önerildi. Yapılan çalışmada arka koruyucunun, aracın ağır taşıt altına girmesini önlemede ne kadar etkili olduğu görüldü [11].

1977 yılında IIHS, ABD Senatosuna ağır taşıt ve binek taşıtların çarpışma filmlerini gösterdi. Kamyon ve treyler altına girerek oluşan kazalar sürücüler için bir riskti ve bu konuda bir şeyler yapılması gerekiyordu. NHTSA ağır taşıtların altına girme kazalarını önlemek için, gerekli çarpışma testleri yaparak arka koruyucu gereksinimlerini belirlemesi için Dynamic Science ile sözleşme imzaladı [11].



Şekil 2.3. 1976 model Ford Granada marka aracın 54 km/h hızla çarpışma testi [12]

1980 yılında, NHTSA için çalışma yapan Dynamic Science, eski tarz ICC korumalarının etkisiz olduğunu belirtti. Ağır taşıt-binek taşıt arasında gerçekleştirilen bir dizi test sonrası bir rapor hazırladı. O raporda, 40 mph (64 km/sa) ve daha yüksek

hızlarda aracın ağır taşıt altına girmesini önlemek için arka koruyucunun 70.000 lb (37.751 kg) direnç kuvvetine dayanabilecek kapasitede olması önerilmiştir [11].

1995 yılında, NHTSA daha altta, daha geniş, daha güçlü ve enerji emici olan geliştirilmiş arka koruyucu standartları FMVSS 223 ve 224'ü yayımladı. Bu yeni düzenleme sadece asgari şarttı ve 26 Ocak 1998 tarihinden sonra üretilen yeni ağır taşıtlar için geçerli oldu. Arka korumaları yerden 22 inç (56 cm) yukarıda olması ve 100.000 N (22.400 lb) direnç gücüne sahip olması gerekiyordu [11].

1995 yılında, Birleşmiş Milletler ECE R- 58 gibi arka koruyucu ile ilgili düzenleme yaptı ve yayımladı. 2008 yılında da aynı uygulamaya revize edilmiştir [12].

2.2. Literatür Taraması

Literatürde arka koruyucu üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bunların hemen hemen tamamını uluslararası çalışmalar oluşturmaktadır. Yurt içinde yapılan çalışmalar ise yok denecek kadar azdır ve bu konuya pek değinilmemiştir. Arka koruyucular ile yapılan çalışmalar genellikle deneysel veya sonlu elemanlar çalışması olarak yapılmaktadır. Çeşitli tiplerde arka koruyucu tasarımı yapıp bunların çarpışma testleri analiz edilmiştir. Uluslararası arka koruyucu standartlarının yetersiz olduğu, üzerinde en çok durulan konu olmuştur.

Yakın zamanda yapılan literatür çalışmaları, bir aracın ağır taşıtın altına girmesi ile oluşan kazaları değerlendirmek amacıyla kullanılan yöntemleri belirtmek için incelenmiştir. Arka koruyucuların durumu ve diğer ülkelerde arka koruyucuya olan yaklaşımı ayırt edebilmek için farklı ülkelerde yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Minihan ve O'Day [13] tarafından yapılan bir çalışmada, Michigan ve Texas'da olan ağır taşıt ile binek taşıtın karıştığı ölümcül kazalarda, yandan çarpmalarda %70, arkadan çarpmalarda ise %90 ağır vasıtanın altına girme olayı görülmüştür. Bir aracın ağır taşıtın altına girmesiyle meydana gelen kazaların genellikle düz kırsal yollarda geceleyin olduğu ortaya çıkmıştır. Çarpma hızlarının genellikle 53 km/sa'ten (30 mil) yukarı olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, bir binek taşıtın beklenmedik biçimde duran veya yavaşlayan ağır taşıtla çarpışmasını sürpriz olaylar olarak nitelendirmişlerdir.

Braver ve ark. [14] tarafından 1997'de yapılan bir çalışmada, hem bir aracın ağır taşıt altına girmesiyle oluşan kazaların durumu incelemiştir. Ayrıca araştırmacılar FARS'da (Fatality Analysis Report System) kayıtlı olan verileri inceleyerek bu duruma ışık tutmak için çalışmıştır. Onlar, NASS/CDS (National Automotive Sampling System, Crashworthiness Data System) kayıtları ile FARS kayıtlarını kıyaslamak için karşılaştırdılar. Araştırmacılar 1988-1993 yılları arasında NASS/CDS verilerinde 75 (%27), FARS'da kayıtlı 18 (%7) alta girme kazası içeren 275 ölümcül binek taşıt - ağır taşıt kazası belirlediler. Bu 275 alta girme kazasının 142'si arkadan çarpma ile meydana gelmiştir.

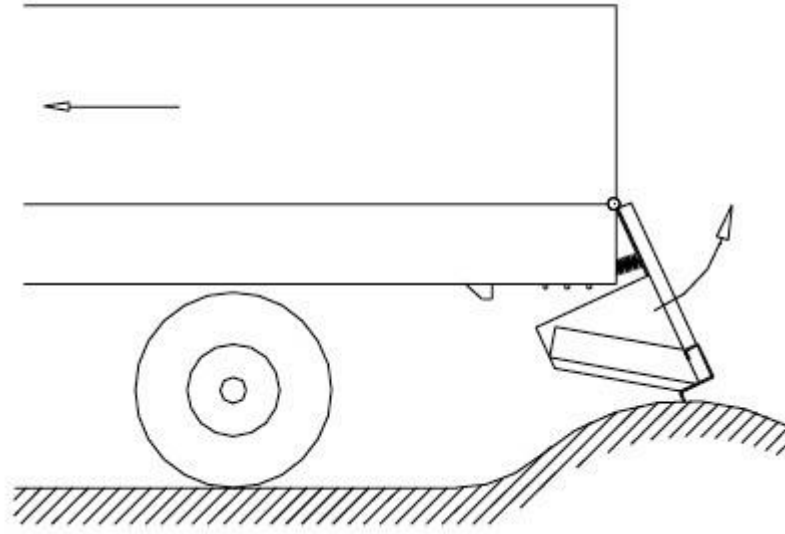
Braver ve Ark. [15] yine 1998'de yaptıkları çalışmalarında alta girme kazaları için Indiana'daki ölümcül ağır taşıt kazalarının fotoğraflarını kullanmışlardır. Alta girme (Underride), kaza sırasında binek taşıtın en azından kısmen ağır taşıtın altında olması olarak tanımlanmıştır. Araştırmacılar %78.6 arkadan çarpmalı kazalar içinde tüm kazaların (ön, arka, yan) %63'ünün alta girme kazası olduğunu tespit etmişlerdir. Arkadan çarpmalı kazalarda alta girme oranının, UMTRI'nin (The University of Michigan Transportation Research Institute) 1997-1998 yılları arasındaki sonuçları ile tutarlı olduğu görülmüştür.

Brumbelow ve Blonar [16] 2010 yılında LTCCS (Large Truck Crash Causation Study) durumları için uygun diğer araştırma malzeme ve fotoğrafları kullanarak Braver'in çalışmasına benzer bir yaklaşım göstermişlerdir. Yaptıkları çalışmanın amacı; arkadan çarpmalı kazalarda mevcut arka koruyucu standartlarının performansını değerlendirmektir. LTCCS kayıtlarında, 115 tane binek taşıtın ağır taşıta arkadan çarpmasıyla meydana gelen alta girme durumu tespit ettiler. Alta girmenin etkisi (%78) önceki çalışmalar ile oldukça tutarlı olduğu ve birçoğu binek taşıtın yolcu kabineine ciddi hasar verdiği belirtilmiştir. İnceledikleri 30 tane arka koruyucudan iki tanesinin maksimum yerden yüksekliğinin FMVSS 224 yönetmeliğiyle uyumlu olduğu, 26 tanesinin ise maksimum yerden yüksekliğinden daha az olduğunu ortaya çıkarmışlardır. 8 tane arka koruyucuda çok küçük hasarlar olduğunu ama genel itibarıyla iyi olduğunu ancak 22 tane arka koruyucuda ise kaza esnasında ağır taşıtın yolcu mahaline girmesini kolaylaştıracak ciddi hasarlar bulduklarını rapor etmişlerdir.

Allen [17] 2010 yılında arkadan çarpmalı kazalarda ölüm ve yaralanmaları azaltmak için arka koruyucuların verimliliğinin değerlendirilmesi üzerinde çalışmıştır. Allen alta girme durumlarının üzerinde pek durmayarak çalışmalarını ölüm ve yaralanmaları azaltan var olan standartların verimliliği üzerinde yoğunlaştırmıştır. Standartların amacını; “binek taşıtın ağır taşıta arkadan çarpmasıyla meydana gelen kazalarda ölüm ve yaralanmaları azalmaktır.” diye tanımlamıştır. Florida ve Kuzey Karolina’daki veriler ile birlikte GES (General Estimates System) çarpışma verilerini analiz etmiştir. O bölgede kazalarda ölüm ve yaralanma sayısında azalma olduğunu fakat istatistiksel olarak önemli olmadığını sonucuna varmıştır. Kuzey Karolinadaki verilere göre aracın %50’sinin arka koruyucu ile örtüşmesiyle olan kazaların, aracın %100’ünün arka koruyucu ile örtüşmesiyle oluşan kazalara göre yolcu mahaline daha çok zarar verdiği tespit edilmiştir.

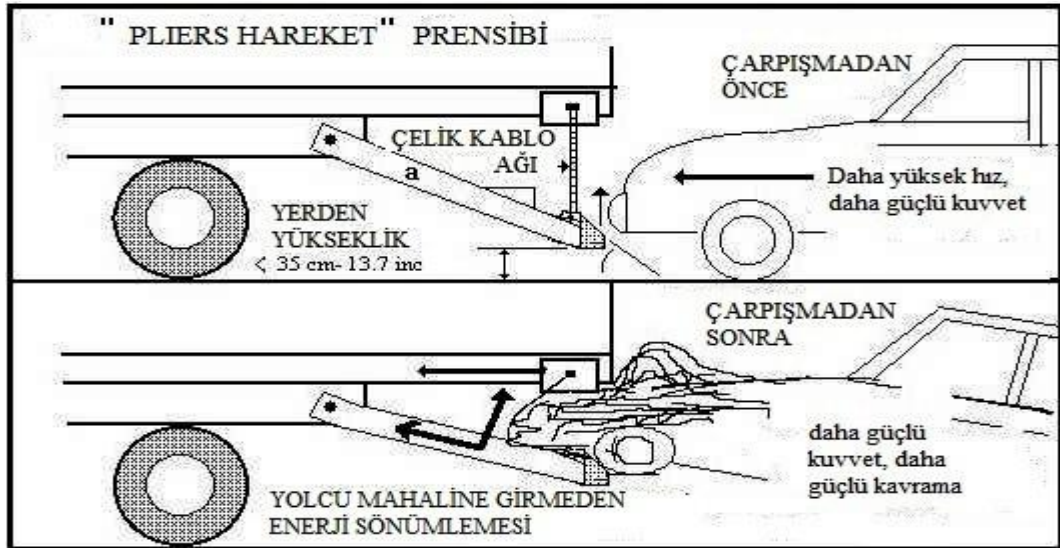
Avustralya’da yarı römorklar için arka tampon standartları olduğu gibi geçerli bir arka koruyucu gerekliliği yoktur. Arka koruyucular, ön ve yan koruyucularla birlikte birkaç kez dikkate alınmıştır [18, 19]. Ancak genel yargı, alta girme kazalarında önceliğin önden çarpışmalara verilmesinin gerektiği olmuştur. 2003 yılında Haworth ve Symmons alta girmeyi engelleyen koruyucularının yararlarını değerlendirmek için Victoria Eyaleti’ndeki ağır taşıt kazalarının istatistiksel verilerini güncellemişlerdir. Kaza verileri doğrudan alta girmeyi tanımlayamamıştır fakat bir dizi kazada alta girme kazasının etkisinin olduğu vurgulanmıştır [20].

Brezilya’da bir üniversitenin kurulu, General Motors ve Mercedes-Benz, geçerli standartların verimliliğini arttırmak için alternatif arka koruyucu tasarımları içeren bir dizi rapor yayımlamışlardır. Bu rapor, ağır taşıta arkadan çarpma kazalarında ölüm ve yaralanma sayılarını baz alarak, geçerli standartların etkisiz olduğunu savunmayı ve alta girmenin etkilerini tanımlamayı içeriyordu. Bu çalışmada asıl amaçlanan alternatif bir arka koruyucu tasarımı olmuştur. Tasarımlardan biri olan mafsallı koruyucu (articulated guard), geçerli olan standartlardan (400 mm yerden yüksekliği) daha düşük olarak tasarlanmıştır fakat yerde bir engele çarptığı zaman yukarıya hareket edecek şekilde tasarım yapılmıştır (Şekil 2.4) [21].



Şekil 2.4. Mafsallı arka koruyucu tasarımı [21]

Diğer bir tasarım ise “pliers” ismini verdikleri kerpeteni andıran bir arka koruyucu tasarımıdır. Çelik kablo ağı, ağır taşıtın arkasına bağlanmıştır ve arkadan çarpan araç için bir tuzak gibi davranarak yolcu mahaline kadar enerji sönümlenmesi düşünülmüştür [21].



Şekil 2.5. “Pliers” adlı arka koruyucunun hareket prensibi [21]

Bu tasarımlarla yapılan test sonuçlarında mevcut tasarımların yerden yüksekliklerinin fazla olduğunu, arka koruyucu yerden yüksekliğinin 400 mm olması gerektiğini belirtilmiştir. Ayrıca farklı ağırlıktaki ağır taşıtlar için her birinin arka

koruyucusunun P1, P2, ve P3 yüklerinin taşıt ağırlığına göre farklı olması gerektiğinin kanısına varılmıştır [21].

2003-2007 yılları arasında yapılan Avrupa Araç Kaza Uyumluluk (The European Vehicle Crash Compability – VC Compact) projesinin amacı; kaza uyumluluğunu arttırma yöntemlerini geliştirmek olmuştur. Bu proje kapsamında hem binek taşıt-binek taşıt hem de binek taşıt-ağır taşıt kazaları üzerinde yoğunlaşmıştır. Ağır taşıt-binek taşıt kazaları için belirtilen amaç alta girmeyi engelleyen koruyucuların test prosedürlerini geliştirmektir. Projede kaza analizleri incelenerek önceliği önden çarpışmalı kazalara vermişlerdir. Ölüm oranlarında, ağır taşıtlarla olan arkadan çarpışmalar ile yandan çarpışmalar neredeyse eşit olarak tespit edilmiştir. Kaza çarpışma verilerinde arkadan çarpışmalardaki ölüm oranı önden çarpışmalı kazalara göre daha düşüktür. Ancak hem testlerde hem de çarpışma analizlerinde mevcut standartların yetersiz olduğu görülmüştür, hatta düşük hızlı çarpışmalarda bile koruyucuların başarısız olduğu tespit edilmiştir [22-25].

Çarpışma testleri ve kaza analizlerine göre arka koruyucuların yerden yüksekliğini 400 mm indirmek ve geçerli olan standartlardan daha yüksek test yüklerine geçilmesinin gerekliliğini bildirmişlerdir. Projenin sonuna doğru Knight geliştirilen arka koruyucunun AB içinde ölüm ve yaralanmaları ciddi anlamda azaltacağını öngörmüştür [26].

3. ARKA KORUYUCU STANDARTLARI

Ülkemizdeki ve çeşitli ülkelerdeki arka koruyucu standartları incelenmiştir. Bu bölüm, Uluslar arası arka koruyucu standartları ve Türkiye’de arka koruyucu standartları olmak üzere iki başlıkta anlatılmıştır. Uluslar arası arka koruyucu standartları bölümünde; Brezilya, Kanada, ABD ve Avrupa Birliği’ndeki mevcut standartlardan bahsedilmiştir.

3.1. Uluslararası Arka Koruyucu Standartları

3.1.1. Brezilya

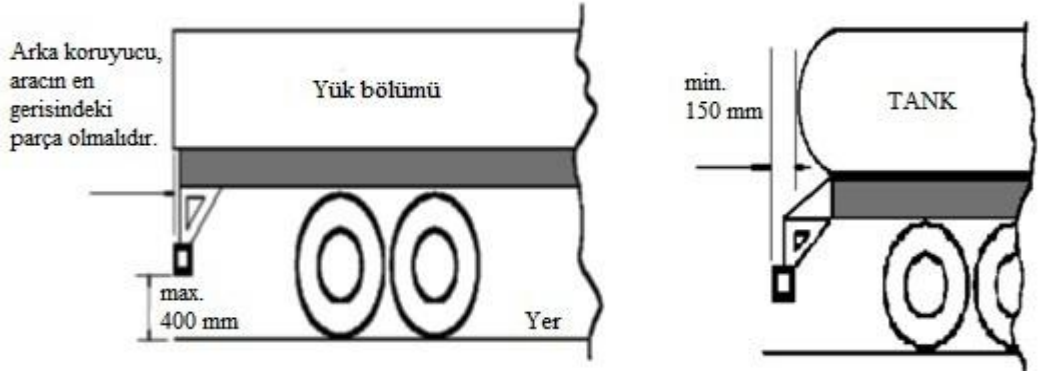
Brezilya’da ağır taşıtların römorklarının alta girme kazaları düzenlemesi 1 Haziran 2004’te uygulanmıştır. Düzenleme, brüt ağırlığı oranı 4600 kg üzerinde olan araçlar için uygulanmıştır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibi koruyucunun yatay elemanlarının altı yerden 400 mm yukarıda olmalıdır. Riskli materyal taşımacılığının tank uygulamalarında, yatay koruyucu elemanlarının yüzü tankın veya en arkadaki aksesuarların 150 mm uzağında olmalıdır. Kuvvetlerin uygulandığı noktaların bölgeleri ABD, Kanada ve Avrupa’da aynıdır. Fakat Tablo 3.1’de gösterildiği gibi test yükleri araç kütlelerine (GVW) göre değişkendir. Şekil 3.3’de gösterildiği gibi Brezilya’daki düzenleme aynı zamanda koruyucunun ön yüzünde göze çarpan kırmızı ve beyaz konvansiyonel şeritler içerir [27].

Tablo 3.1. Brezilya’daki kütle temelli test yükü gereklilikleri [27]

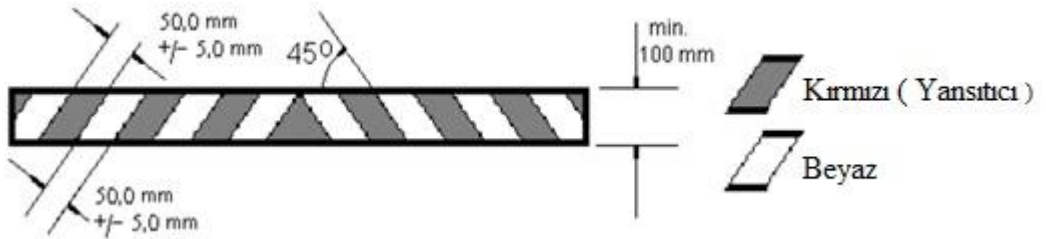
Test Noktası	Araç Kütlesi (kg)			
	4600-6500	6500-10000	10000-23500	<23500 kg
P1	50 kN	60 kN	80 kN	100 kN
P2	75 kN	90 kN	120 kN	150 kN
P3	50 kN	60 kN	80 kN	100 kN



Şekil 3.1. Brezilya'da arka koruyucu standartları arkadan görünüş [27]



Şekil 3.2. Brezilya'da arka koruyucu standartları yandan görünüş [27]



Şekil 3.3. Brezilya'daki yönetmelikte geçen diyagonal yansıtıcı şeritler [27]

3.1.2. Kanada

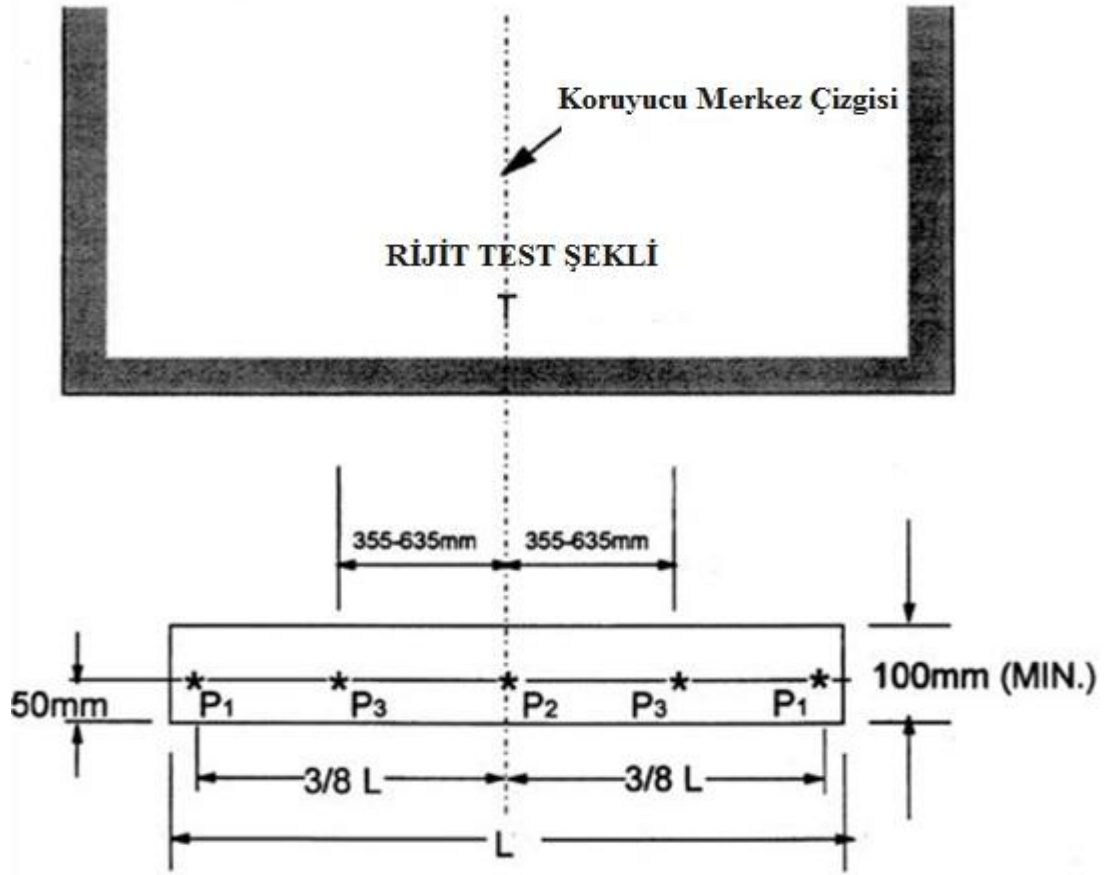
Kanada'da No.224 arka darbe koruyucu düzenlemesi, 23 Eylül 2005'te getirilmiştir. Kanada'daki arka darbe koruyucu (Standart 223) testi ABD'deki P1 ve P2 noktalarındaki yük ihtiyaçlarına uygundur ancak, Şekil 3.4 ve Tablo 3.2'de

görüldüğü gibi P3 noktasında genel olarak belirsizdir. P3 noktasındaki yük yeri P1, P2, P3 ile kuşatılmış yatay elemanın yüzünün üzerinden eşit olarak dağıtılmış 350 kN yük geçmesi gerekir ve bu 125 mm sehim içerisinde en az 20.000 J enerji sönümlemesi demektir. Bu olay içerisinde 700 kN'dan daha büyük üniform yüke koruyucunun karşı koyduğunu kanıtlar ve düzenlemeyle belirlenen enerji sönümleme gereksinimleri böylece kurallaştırılır. Son olarak, üniform yük testi tamamlandıktan sonra, yatay elemanın her desteği, yatay elemanın yer ile olan açıklığı 500 mm'yi geçmeyecek şekilde bağlanır [27].

ABD nokta yük sistemi yatay elemanın, yüke karşı koymasına ve ana koruyucu elemanın bükülmesi boyunca enerji absorbe etmesine katkıda bulunur. Kanada'da uygulanan dağıtılmış üniform yük, yatay elemanın deformasyonunu önler ve bu yüzden kuvvet ve enerji sönümlenmesi için herhangi bir yatay bükülmeye olumsuz katkı yapar [27].

Tablo 3.2. Kanada'daki test yükleri gereklilikleri [27]

Test Noktaları	Tepe Kuvveti
P1	50 kN (nokta yük)
P2	50 kN (nokta yük)
P3	175 kN (nokta veya üniform yük)



Şekil 3.4. Kanada'daki test yükleri bölgesi [27]

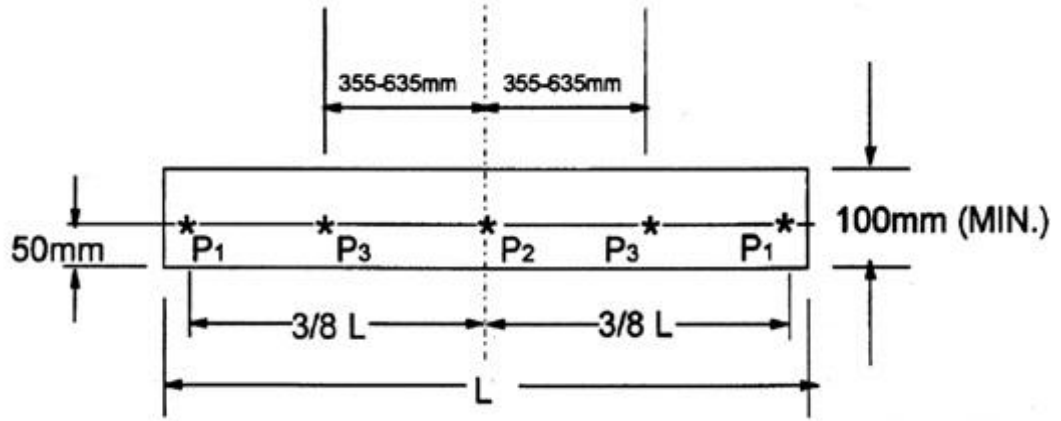
3.1.3. Amerika Birleşik Devletleri

FMVSS 223 ve 224 düzenlemeleri 1998'de uygulandı ve arka darbe koruyucu ve ünitenin montajı kurallaştırıldı. 224 düzenlemesi 4359 kg ağırlıkta römorklar ve daha fazla ağırlıkta olanlar için uygulanır. Test yükleri Tablo 3.3 ve Şekil 3.5'te görüldüğü gibi bağımsız yük noktaları olarak P1 ve P2 noktalarına 50 kN ve P3 noktasına 100 kN olarak uygulanır. Koruyucunun birden fazla noktadan aynı anda test edilmesi gerekli değildir. P3 noktasındaki yükleme için sehmin ilk 125 mm'si içinde koruyucunun en az 5650 J plastik deformasyon enerjisi sönmleme gerekliliği vardır. Testten önce, koruyucunun yatay elemanının en alt kenarı yer ile arasındaki mesafe 560 mm'dir. Test sonunda yükseklik sınırı gerekliliği yoktur. FMVSS 223 düzenlemesi, arka darbe koruyucuları için bağlantı yönteminin kurulum talimatları içeren açıklama ve detaylı test talimatları sağlamıştır. Bu düzenlemenin amacı bağımsız koruyucu imalatçıları ve montajcıları, römorkların arka darbe

koruyucularının montaj pozisyonunu düzenleme gereksinimlerine göre uygunluğunu garantiye almak olmuştur [17].

Tablo 3.3. ABD test yükleri gereklilikleri [27]

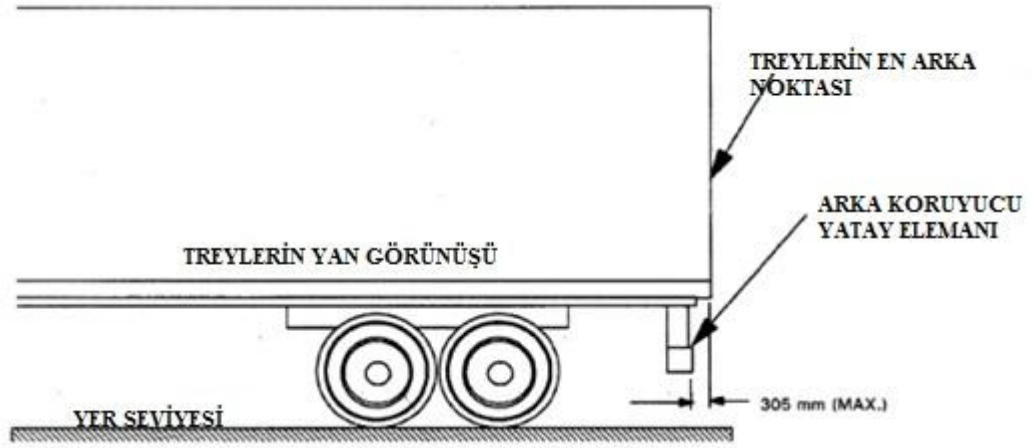
Test Noktaları	Tepe Kuvveti
P1	50 kN
P2	50 kN
P3	100 kN



Şekil 3.5. ABD'de FMVSS 223&224 yönetmeliklerine ilişkin detaylar [27]



Şekil 3.6. ABD'de arka koruyucu standartları arkadan görünüş [27]



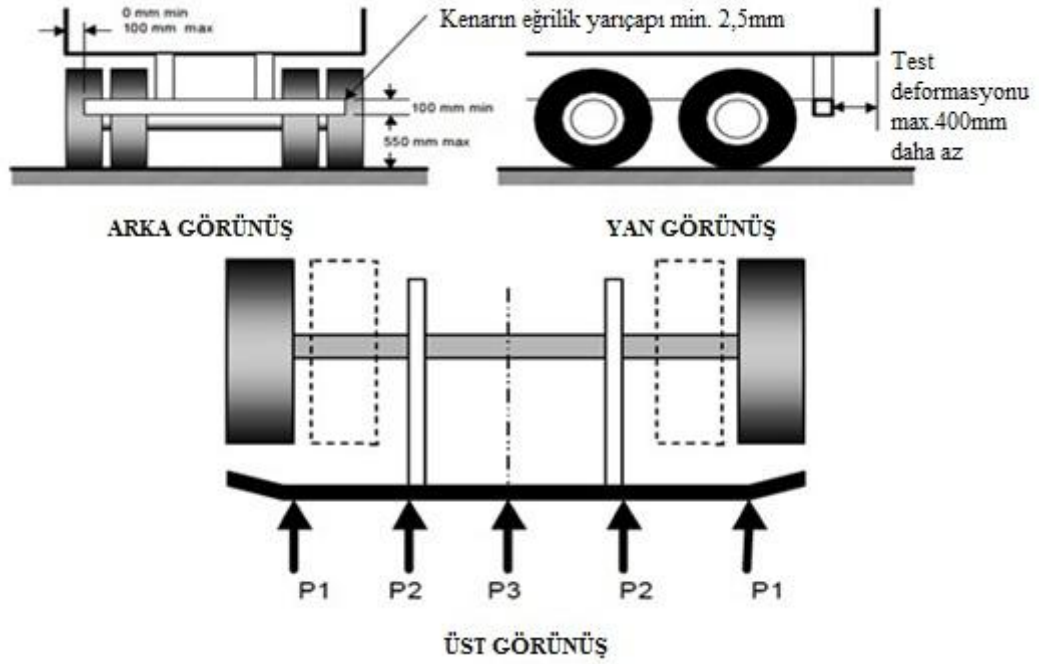
Şekil 3.7. ABD’de arka koruyucu standartları yandan görünüş [27]

3.1.4. Avrupa Birliği

Council Directive 70/221/EEC en temel arka darbe koruyucu düzenlemesidir. Başlangıcı 20 Mart 1970 olan bu düzenleme yürürlüğe girdiği tarihten bu yana birkaç kez de güncellenmiştir. İlk şekliyle ağırlıklı olarak sıvı yakıt tankı römorkları için uygulanmıştır. Araç yüksüz iken darbe koruyucunun en altının yer ile mesafesinin 700 mm’den daha az olması gereklidir. Ünitenin mukavemeti, en az bir çelik kirişin çapraz kesitinin 20 cm³ lük eğilme mukavemetine eş olarak tanımlanmıştır [27].

Annex II’nin talimatlarıyla önemli bir revizyon Mart 2007’de getirildi. Annex nokta kuvvetlerin şu şekilde ayrı ayrı uygulanmasını gerektirir; P1’de 50 kN, P2’ 100 kN ve P3’te 50 kN’dur. Sınıflandırılmış kuvvetlerin aracın kütlesine göre uygulanması gibi bir koşul vardır. Düzenlemede geçen bazı cümlelere örnek olarak; “100 kN’luk yatay kuvvet ya da aracın maksimum kütlesiyle sağlanan daha az kuvvet, ünitenin merkez hattına konumlandırılmış iki noktaya arka arkaya simetrik olarak ya da araca min 700 mm, maksimum 1 m olarak aynı şekilde uygulanacaktır. Uygulamanın yapılacağı noktalar üretici tarafından belirtilecektir [27]”.

Arka darbe koruyucunun yatay elemanının altı ve yer arasındaki mesafe 550 mm’den fazla olmamalıdır. Enerji sönümlemesi için gereklilik yoktur ve son test sonunda yatay elemanın yüksekliği için belirlenmiş bir gereklilik yoktur [27].



Şekil 3.8. Avrupa’da geçerli olan arka koruyucu standartları [28]

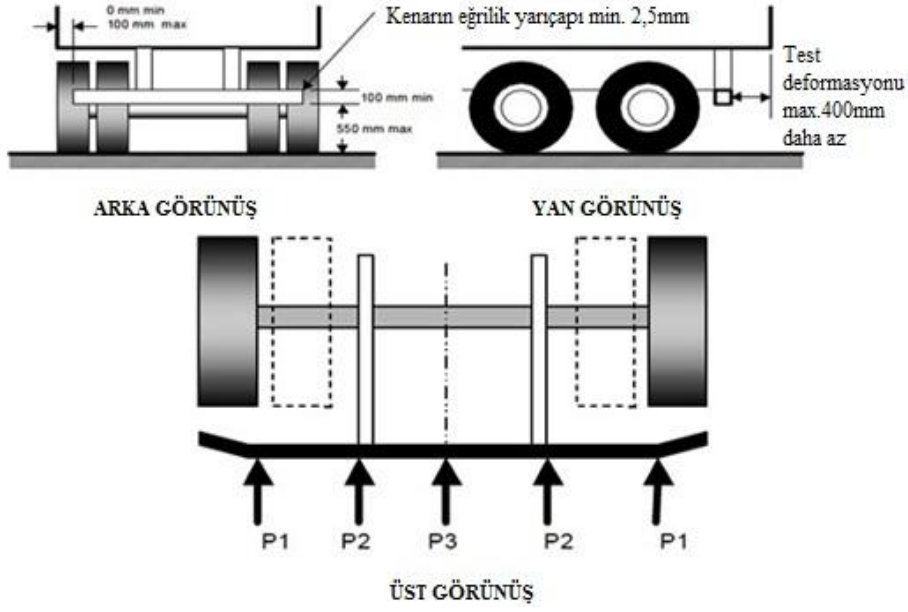
Tablo 3.4’de Mart 2007’de Avrupa’da getirilmiş revizyon öncesi ve sonrası değerler gösterilmiştir.

Tablo 3.4. 2007 öncesi ve sonrası ECE R-58 arka koruyucu test yükleri [12, 28]

Test Yüğü (kN)		ECE R-58 arka koruyucu 2007 yılı öncesi değerleri	ECE R-58 arka koruyucu 2007 yılı sonrası değerleri
Dış Kenar	P1	25 kN	50 kN
Merkez	P3	25 kN	50 kN
Merkez Dışı	P2	100 kN	100 kN
Yerden Yükseklik (mm)		550	550

3.2. Türkiye’de Arka Koruyucu Standartları

Ülkemizde ağır taşıtlar için arka koruyucu standartları, Birleşmiş Milletlerin ECE R-58’de düzenlediği standartlardır.



Şekil 3.9. ECE R-58 Arka koruyucu standartları [28]

Türkiye’deki arka koruyucu standartları Şekil 3.9’da verilmiştir. Buna göre:

- Arka koruyucunun alt kısmı, yer yüksekliğine göre araç yüksüzken tüm genişliği boyunca 550 mm aşmamalıdır.
- Arka koruyucu mümkün olduğunca aracın arkasına yakın yerleştirilmelidir.
- Arka koruyucu genişliği, tekerleklerin en dıştaki noktalarda ölçülen arka aks genişliğini aşmamalıdır. Her iki kenardan 100 mm daha kısa olmalıdır.
- Arka koruyucunun yükseklik bölümü 100 mm’den az olamaz. Arka koruyucunun yanal uzantıları arkaya eğilmemeli veya keskin bir dış kenara sahip olmamalı. Arka koruyucunun yanal uzantıları en az 2,5 mm eğrilik yarıçapına getirilir veya dışarıdan yuvarlatılırsa bu koşullar sağlanmış olur [28].

Ülkemizde meydana gelen ağır taşıt kazalarında ciddi kayıplar vermiş olmamız yetkilileri harekete geçirmiştir. İçişleri Bakanlığı arka koruyucu tertibatının trafikte denetimini sıkılaştırırken, Ulaştırma Bakanlığı da araç muayenesi kusurlar tablosunda değişiklikler yapmıştır.

Yeniden tanzim edilen “Araç Muayenesi Sonucu Belirlenen Eksikliklere İlişkin Kusur Grupları Yönergesinin” eki “Kusurlar Tablosu” 01/01/2010 tarihinden itibaren geçerli olacak şekilde 2010 yılında uygulanmak üzere yürürlüğe konulmuş olup Tablo 3.5’de görülen değişiklikler yapılmıştır [29].

Tablo 3.5. Araç muayenesi kusurlar tablosu [29]

KUSURLAR TABLOSU				
KUSUR NO	YENİ HALİ		ESKİ HALİ	
7	Araç özellikleri: a- aracın rengi farklı b- yakıt tipi farklı c- araç kategorisi farklı d- Koltuk sayısı farklı	AK	Araç rengi ruhsatta belirtilen renkle aynı değil	AK
12	Plaka yok	AK	-	-
102	El freni: a-kilit sistemi çalışmıyor b-yok	AK	El freni kilit sistemi: çalışmıyor	HK
560	a-Lastiğin dış yüzeyi iskelete kadar aşınmış b-Hareketli dingilde lastik yok	AK	Lastik hasar(ları): lastiğin dış yüzeyi iskelete kadar aşınmış	AK
624	Arkadan çarpmaya karşı koruma çerçevesi: a- Yok b- Hasarlı c- Montajı orijinal değil	AK	Arkadan çarpmaya karşı koruma çerçevesi yok	HK
790	Üst yapı değişikliği: a- okul servisi için asgari özelliklerine dikkat edilmemiş b- okul servisi yaşı ilgili Yönetmelikte belirtenden büyük	AK	Üst yapı değişikliği: okul servisi için asgari özelliklerine dikkat edilmemiş	AK
825/826	Takograf/kontrol cihazı: a-kalibre edilmesi gerekir b-kurşun mühür hasarlı c-yok d-göstermiyor e-yanlış gösteriyor	HK	Takograf/kontrol cihazı: a-kalibre edilmesi gerekir b-kurşun mühür hasarlı c-yok Takograf/kontrol cihazı: a-yok b-göstermiyor c-yanlış gösteriyor	AK
837	İlk yardım çantası: yok	HK	İlk yardım çantası: yok	AK
860	a-egzoz emisyon raporu yok b-egzoz emisyon raporu süresi geçmiş	AK	Egzoz emisyonu: a-egzoz emisyon raporu yok b-egzoz emisyon raporu süresi geçmiş	HK
932	Yangın söndürme tüpü: a-yok b-eksik	HK	Yangın söndürme tüpü: a-yok b-eksik	AK
950	araç modeli ve/veya yaşı ilgili Yönetmelikte belirtilenden fazla.	HK	Ambulans/Okul Taşıtı: araç modeli ve/veya yaşı yönetmelikte belirtilenden fazla.	HK

Buna göre; kusurlar tablosunun eski halinde, arkadan çarpmaya karşı koruma çerçevesi yok ise hafif kusurlu olarak sayılırken yeni halinde ise arkadan çarpmaya

karşı koruma çerçevesi; yok, hasarlı veya montajı orijinal olmaması halinde ağır kusurlu olarak kabul edilecektir.

4. ARKA KORUYUCU TASARIMI

Bu bölümde, ülkemizdeki ve uluslararası mevcut arka koruyucu tasarımları incelenmiştir. Uluslar arası çalışmalardaki test kriterleri ve test sonuçları baz alınarak örnek bir tasarım yapılmıştır.

4.1.Ülkemizdeki Mevcut Arka Koruyucu Uygulamaları

Ülkemizde basit olarak yapılan kısa bir gözlemden sonra mevcut olan arka koruyucu tasarımlarının yeteriz olduğu görülebilmektedir. Günümüzde birçok farklı tasarımı, trafikte karşılaştığımız ağır taşıtlar üzerinde inceleyebilmemiz mümkündür. Bu inceleme bize açıkça gösteriyorki, tasarımlar sadece standartlara uygunluk ve sadece çerçeve bulundurmuş olmak amacıyla ağır taşıtların römorklarına montajla bağlanmıştır. Şekil 4.1’de ülkemizdeki mevcut arka koruyucu uygulamalarından birkaçı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.1. Ülkemizdeki mevcut arka koruyucu uygulamaları



(c)



(d)

Şekil 4.1. (Devam) Ülkemizdeki mevcut arka koruyucu uygulamaları



(e)

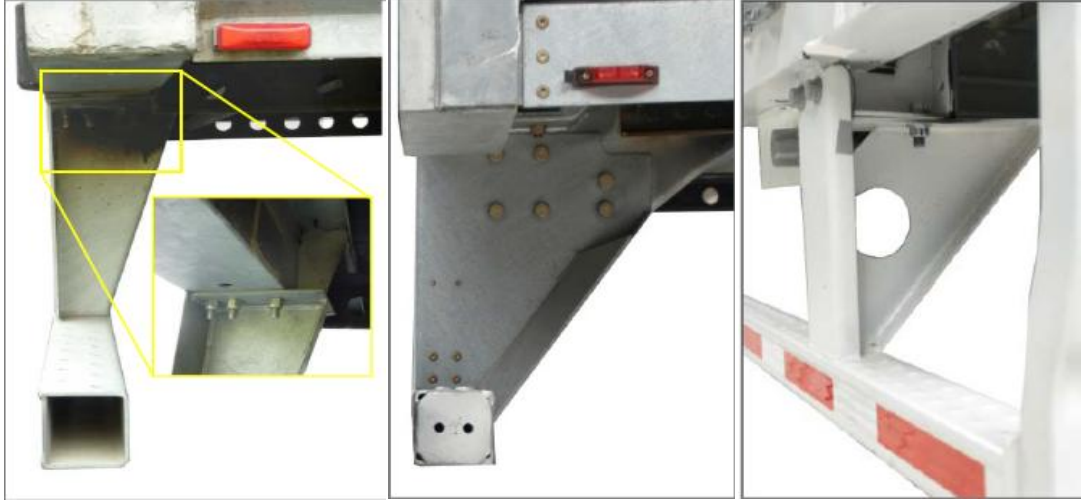


(f)

Şekil 4.1. (Devam) Ülkemizdeki mevcut arka koruyucu uygulamaları

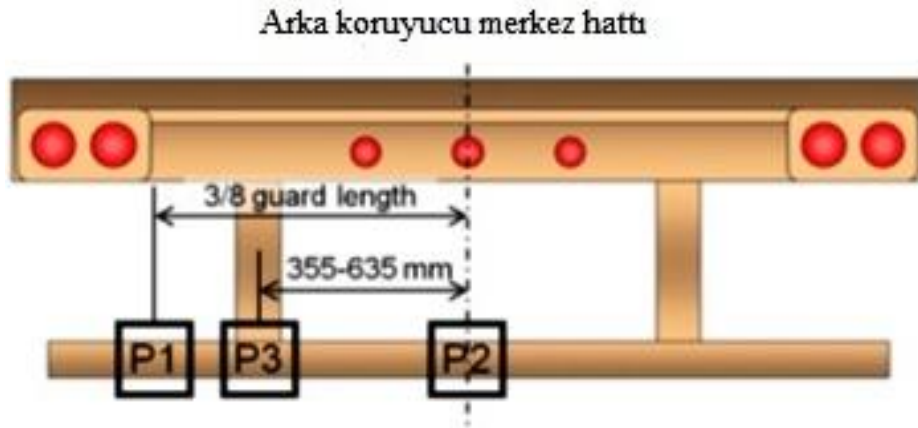
4.2. Uluslararası Mevcut Tasarımlar ve Test Örnekleri

Amerika Birleşik Devletlerinde Matthew L. Brumbelow'un yapmış olduğu bir çalışmada bazı imalatçılara ait koruyucu tasarımları gerçek şartlara yakın olarak test edilmiştir.



Şekil 4.2. 2007 Hyundai arka koruyucu destek elemanları (sol) 2007 Vanguard (orta) ve 2011 Wabash (sol) yarı römorklar [10]

İmalatçılar arasındaki en belirgin farklar koruyucunun ana, dikey destek elemanlarının tasarımıyla ilgilidir [10].



Şekil 4.3. ABD ve Kanada yönetmeliklerine göre P1, P2 ve P3 yüklerinin test noktaları [11]

Gerçekleştirilmiş olan 6 farklı testin şartları Tablo 4.1'de listelenmiştir. Römorkların koruyucularının model yılları farklı olmasına rağmen hepsi yenidir ve herhangi bir

korozyon ya da hasar bulunmamaktadır, bu test sonuçlarını etkilemiş olabilir. Test için, NHTSA'nın yeni araç değerlendirme programında önden çarpmalı test sonuçlarında sürücü ve yolcu için değerlendirmede 5 yıldız alan 2010 model sedan Chevrolet Malibu kullanılmıştır [10].

Tablo 4.1. Araç ve römorkların test şartları [10]

Römork Tipi	Hız (km/sa)	Aracın koruyucuyla örtüşme oranı (overlap)	Koruyucunun yer ile olan mesafesi (cm)
2007 Hyundai	56	Tam genişlik	47.6
2007 Vanguard	40	%50	42.2
2007 Vanguard	56	%50	42.7
2011 Wabash	56	Tam genişlik	44.5
2011 Wabash	56	%50	44.3
2011 Wabash	56	%30	45.3

Vanguard ve Wabash römorkları 18.700 kg Hyundai ise 15,300 kg ağırlıkla yüklüdür. Test sonuçları Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görülmektedir [10].



(a)



(b)

Şekil 4.4. Test sonuçları (a) 56 km/sa hız, tam örtüşme, 2007 Hyundai römork, (b) 56 km/sa hız, tam örtüşme, 2011 Wabash römork [10]



(a)



(b)

Şekil 4.5. Test Sonuçları (a) 56 km/sa hız, yüzde 50 örtüşme 2007 Vanguard römork, (b) 56 km/sa hız, yüzde 50 örtüşme, 2011 Wabash römork [10]



(a)



(b)

Şekil 4.6. Test Sonuçları (a) 40km/sa hız, yüzde 50 örtüşme, 2007 Vanguard römork, (b) 56 km/sa hız, yüzde 30 örtüşme, 2011 Wabash römork [10]

Tablo 4.2’de test edilen farklı koruyucu tasarımlarının elde edilen tepe kuvvetlerinin ve enerji sönmölemelerinin sayısal değeri verilmiştir [10].

Tablo 4.2. Yarı statik test sonuçları [10]

	FMVSS/CMVSS P1 Tepe Kuvveti (kN)	FMVSS P3 Tepe Kuvveti (kN)	FMVSS P3 Noktası Enerji Sönümlemesi (kJ)	CMVSS P3 Tepe Kuvveti (kN)	CMVSS P3 Noktası Enerji Sönümlemesi (kJ)
Gereksinimler	50	100	5.6	175	10
2007 Hyundai	109	163	13.9	135	11.8
2007 Vanguard	143*	257	14.0	209	11.8
2011 Wabash	162	287	22.1	297*	21.5*

*Test 125 mm'den önce durdurulmuştur. (Vanguard için 49 mm, Wabash için 116 mm)

Bu çalışmanın sonucunda; kullanılan sürücü ve yolcu mankenlerinin, rijit yapıdaki arka koruyucu testlerinde, aynı hızdaki bir NCAP rijit duvara çarpma testine göre kafa yaralanmalarına daha fazla maruz kaldığı rapor edilmiştir. Buna rağmen mankenlerin göğüs bölgesinde ölçülen ivmelenme ve hasar durumu arka koruyucu olmayan bir durumda, başarısız bir arka koruyucuya göre daha fazladır [10].

Kanada'da yapılan bir çalışmada ise, Denis Boucher ve Daniel B.T. Davis Kanada Kamyon Taşımacılığı Ekipmanları Derneği (Canadian Trucking Equipment Association - CTEA) tarafından dizayn edilen ve geliştirilen 3 farklı arka koruyucuyu yerden farklı yüksekliklerde test etmiştir. Koruyucu tipleri; 1) Minimal Uyumlu Koruma (Minimally Compliant Guard – MCG), 2) Yer Değiştirme Sınırlayıcı Koruma (Displacement Limiting Guard – DLG), 3) Güçlü Eğimli Koruma (Stronger Slanted Guard – SSG) [30].



Şekil 4.7. DLG tipi arka koruyucu [30]



Şekil 4.8. SSG tipi arka koruyucu [30]



Şekil 4.9. MCG tipi arka koruyucu [30]

Tablo 4.3. Test araçları ve test şartları hakkında bilgi [30]

Test No	Araç Modeli	Test Kütlesi (kg)	Koruyucu Tipi	Test Hızı (km/sa)
1	Windstar	1943	560 mm MCG	48 km/sa
2	Cavalier	1386	480 mm MCG	48 km/sa
3	Cavalier	1391	560 mm MCG	48 km/sa
4	Cavalier	1389	480 mm MCG	65 km/sa
5	Cavalier	1387	480 mm DLG	65 km/sa
6	Civic	1223	480 mm MCG	48 km/sa
7	Civic	1231	480 mm DLG	48 km/sa
8	Civic	1267	560 mm MCG	56 km/sa
9	Civic	1229	480 mm DLG	56 km/sa
10	Civic	1236	560 mm SSG	48 km/sa

Kanada'daki satış hacminden dolayı Tablo 4.3'te yer alan araçlar test için seçilmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda elde edilen bilgiler şu şekildedir;

Ford Windstar; 560 mm MCG, Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, yolcu mahalinde iyi bir koruma sağlamış ve yolcu mahali içerisinde çok az zarar oluşmuştur. Bu test koruyucunun, 48 km/sa hızda minivan tipindeki araçlar için iyi bir koruma sunabileceğini göstermiştir [30].

Chevrolet Cavalier; 560 mm MCG, Şekil 4.10'da ve 4.11'de görüldüğü gibi, 48 km/sa hızda yapılan testte yolcu mahalinde iyi bir koruma sağlanmadığı ve sürücü tarafındaki ön cam direğinde temasla oluşan deformasyon görülmüştür. Test edilen koruyucu, ön camın üst noktasıyla temas etmiştir [30].



Şekil 4.10. 560 mm yükseklikte MCG tipi koruyucu, 48 km/sa hızda, test sonrası dış hasar [30]



Şekil 4.11. 560 mm yükseklikte MCG tipi koruyucu, 48 km/sa hızda, test sonrası ön cam direğindeki hasar [30]

480 mm MCG, 48 km/sa hızda test edildiğinde ise yolcu mahali için iyi bir koruma sağlamıştır. Ön camla ve yolcu mahaliyle bir temas olmamıştır. Bu test göstermiştir ki; MCG tipi arka koruyucu yere daha yakın olduğunda 48km/sa hızda binek bir araç için daha iyi bir koruma sağlayabilir [30].

480 mm MCG, Şekil 4.12’de ve 4.13’te görüldüğü gibi, 65 km/sa hızda test edildiğinde Cavalier model araçta yolcu mahalinde iyi bir koruma sağlamamıştır. Araç sertçe alta girdikten sonra durağan hale geldi ve direklerde kapsamlı deformasyon meydana geldi [30].



Şekil 4.12. 480 mm MCG, 65 km/sa hız, Chevrolet Cavalier [30]



Şekil 4.13. Direklerde meydana gelen hasarın detayları, 480 mm MCG, 65 km/sa hız, Chevrolet Cavalier [30]

480 mm DLG, 65 km/sa hızda yapılan testte yolcu mahalinde daha iyi bir koruma sağlamıştır. Test yapısıyla aracın ve ön camın bir teması olmamıştır. Yolcu mahalinin sürücü tarafının içerisinde belirli hasarlar meydana gelmiştir fakat yolcu tarafının içerisinde hasar yoktur [30].

Honda Civic; 480 mm MCG, 48 km/sa hızda yolcu mahalinde iyi bir koruma sağlamamıştır. Bunun sebebi büyük ölçüde test aracının, koruyucunun yatay elemanının altına kaymasından dolayıydı. Koruyucunun yatay elemanı motorla temas ettiği zaman, arka koruyucunun yatay elemanı emme manifoldunun üstüne vurarak dönmüştür. Yatay eleman kayarak motor üzerinden geçer ve ön cam direklerinde hasar meydana getirir. Ön camın büyük bir kısmında olduğu gibi, sürücü ve yolcu tarafındaki yan camlarda parçalanır. Ön cam yolcu mahali içerisine doğru itilir [30].

480mm DLG, 48 km/sa hızda yolcu mahalinde iyi bir koruma sağlamıştır. Test yapısıyla, araç ve ön cam arasında bir temas olmamıştır. Kırılmış ön cam haricinde yolcu mahali içerisinde görülebilir bir hasar meydana gelmemiştir. (ön cam, çarpma süresince oluşan kaput katlanması nedeniyle kırılmıştır) [30].

560 mm MCG, Şekil 4.15’de görüldüğü gibi, 56 km/sa hızda test edildiğinde Honda Civic’i durdurmada başarısız oldu ve test aracı, test yapısını destekleyen beton bariyer ile çarpıştı (Şekil 4.14). Araç beton bariyere vurduğunda hızı yaklaşık 22

km/sa idi. Bu beton bariyer test yapısının en arka yüzeyinden 2,4 m içerideydi. Test sonunda koruyucu ile yer arasındaki mesafe 660 mm idi. Her iki mankenin boyun kısımları onarılabilecek düzeyde zarar görmüştü. Aracın tavanı, test yapısının altına doğru itilmiştir ve yolcu mahalinde ağır hasar meydana gelmiştir [30].



Şekil 4.14. Honda Civic, 560 MCG, 56 km/sa [30]



Şekil 4.15. Önden görünüş, Honda Civic, 560 MCG, 56 km/sa [30]

480 mm DLG, Şekil 4.16’da görüldüğü gibi, 56 km/sa hızda yolcu mahalini için iyi bir koruma sağlamıştır. Test yapısıyla araç ve ön cam arasında çok az yada neredeyse

hiç temas olmamıştır. Yolcu mahalinde görülebilir bir hasar meydana gelmemiştir. Test sonunda koruyucuyla yer arasındaki mesafe 555 mm'dir [30].



Şekil 4.16. Honda Civic, 480 mm DLG, 56 km/sa [30]

560 mm SSG, Şekil 4.17'de görüldüğü gibi, 48 km/sa hızda test edilmeden önce, yarı statik ve dinamik test uygulamaları yapılmıştır; buna göre koruyucu tasarımcıları aslında koruyucunun 320 kN dayanacağına inanıyordu fakat tam örtüşmede yapılan testte sadece 287 kN'a dayandı. 560 mm SSG, yolcu mahalinde iyi bir koruma sağlamıştır ve test yapısıyla araç ve ön cam arasında temas olmamıştır. Yolcu mahalinde görülebilir bir hasar yoktu. Test sonunda koruyucu ile yer arasındaki mesafe 600 mm idi. Testten sonra koruyucuda yapılan yakından incelemede beklenen 125 mm'lik uzunlamasına hareketten daha fazla yer değiştirmiştir. Aynı zamanda koruyucu araca dayanarak dönmüştür; bu koruyucunun, 56 km/sa hızda yolcu mahali için kabul edilebilir bir koruma sağladığı kuşkuludur [30].



Şekil 4.17. Honda Civic, 560 mm SSG, 48 km/sa [30]

Kanada’da yapılan bu testten sonra elde edilen sonuçlara göre araştırmacıların önerileri şu şekildedir;

- 1) CMVSS test metodu için tam örtüşme testi ek olarak belirtilebilir.
- 2) Çarpma anındaki yer değiştirme 125 mm’ye ulaşmadan önce tam örtüşme yayılı yük testi asgari 350 kN olmalıdır (P1+P2+P3+P2+P1)
- 3) Çarpma sonrası koruyucu deforme olduğunda koruyucunun yer ile olan mesafesinin büyük önemi vardır; koruyucunun 125 mm’lik hareketinde, koruyucunun yer ile rasındaki mesafenin 560 mm’den fazla olmaması gereksiniminin eklenmesi önerilmektedir.
- 4) Koruyucu potansiyel olarak önemli ölçüde tam örtüşme testinde 20 kJ düzeyinde daha fazla enerji sönmüleme yeteneğine sahip olmalıdır [30].

5. DENEY TASARIMI VE ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada, ağır taşıtlar için arka koruyucu tasarımı yapılmış ve bu tasarıma farklı unsurlar eklenerek bunların deneysel analizi yapılmıştır. Önce yalın bir model oluşturulmuştur. Bu modele 7 farklı unsur eklenerek, 8 adet test numunesi hazırlanmıştır. Yarı statik yüklemeli test düzeneğinde, sabit bir zemin ile hareketli bir başlık arasında, deney numuneleri üzerine belirli hızda ve miktarda yük uygulanmıştır. İtici kuvvetlerin oluşturulması amacıyla 120 ton kapasiteli standart bir hidrolik pres kullanmıştır. Bu testte, her bir numunenin deformasyon miktarına karşı gösterdikleri reaksiyon kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm değerlerinin analitik olarak analiz edilmeleri sonucunda test süresince sönmölen enerji miktarı ve enerji sönmöleme karakteristikleri tespit edilmiştir.

5.1. Malzeme Seçimi ve Test Numunelerinin Hazırlanması

DeneYlerde kullanılan numuneler St 37-2 çeliğinden imal edilmiştir. DeneY amaçlı kullanılan numuneler Autocad programında çizilip, ölçölendirilmiştir. Lazer kesimi yapan bir firmada St 37-2 çeliğinden 4 mm et kalınlığında bir yalın model ve bu yalın modele 7 farklı unsur eklenerek, toplam 8 tane test numunesi hazırlanmıştır. DeneYde kullanılan malzeme ilgili firma tarafından iç ve dış piyasaya sürölen tanımlı bir malzemedir. Numunelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri yarı statik yüklemeli test numunelerinin hepsinde aynı tutulmuştur. St 37-2 çeliğine ait kimyasal özellikler Tablo 5.1'de, mekanik özellikleri ise Tablo 5.2'de belirtilmiştir.

Tablo 5.1. St 37-2 çeliğinin kimyasal özellikleri [31]

TS EN 10025:2006	DIN 17100 ALMANYA	BS 4360 İNGİLTERE	UNE 36-080 İSPANYA	UNI 7070 İTALYA	ANMA MAMUL KALINLIĞI (MM) İÇİN MAX %C			Si %	Mn %	P %	S %	N %	Cu %
					<=16	>16<=40	>40						
S235JR	ST 37- 2	40B	AE 235 B	FE 360 B	0,19	0,19	0,23		1,50	0,045	0,045	0,014	0,60

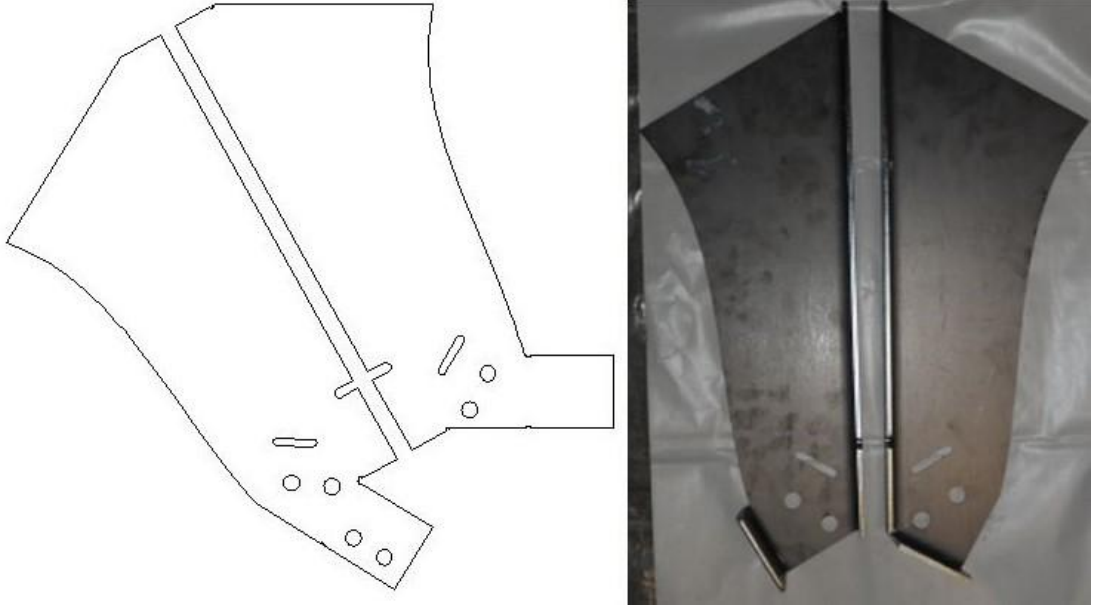
Tablo 5.2. St 37-2 çeliğinin mekanik özellikleri [31]

TS EN 10025:2006	ASGARİ AKMA DAYANIMI Mpa (N/mm ²) Anma Kalınlığına Göre (mm)	ÇEKME DAYANIMI Mpa (N/mm ²) Anma Kalınlığına Göre (mm)	MİNİMUM % UZAMA		ASGARİ ENERJİ (J) VURMA DAYANIMI
			Lo 80mm		
	<=16	>=3 <=100	3<t<=40		<=150
S235JR	235	360-510	26		27

5.1.1. Arka koruyucu test numune geometrileri

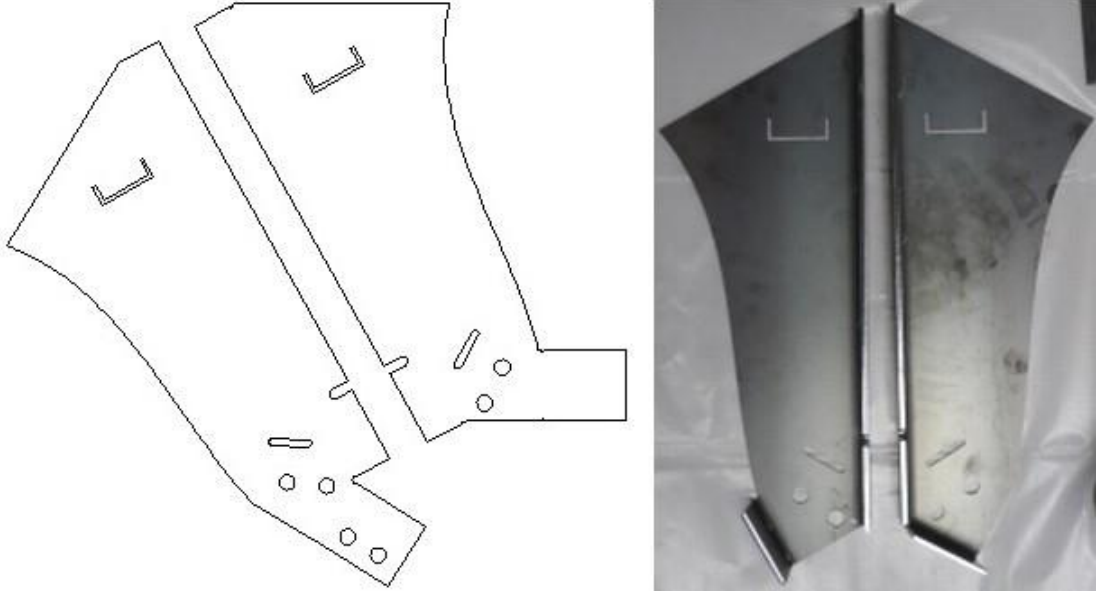
Bir adet yalın model ve bu yalın modele 7 farklı unsur eklenerek 8 adet test numunesi hazırlanmıştır. Her bir unsurun kuvvet-deformasyon ve enerji sönümlenme karakteristikleri incelenerek, birbiri arasında kıyasalama yapılmıştır. Böylece en fazla enerji sönümlenme karakteristiğine ait unsurun hangisi olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yalın model, sol ve sağ tarafında birer adet, sırt tarafında da bir adet olmak üzere toplam 3 adet elips şeklinde kanal açılarak oluşturulmuştur. Ayrıca ana yapıya bağlamak için 6 adet 13 mm çapında civata-somun deliği açılmıştır.



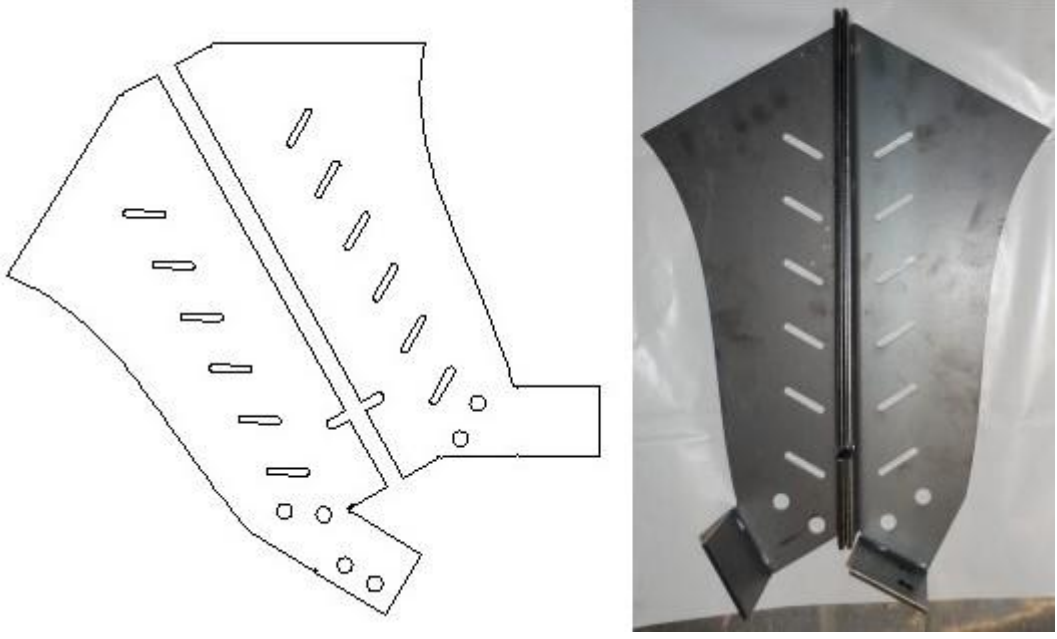
Şekil 5.1. Yalın modelin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali

NO 1 test numunesi, yalın modele dikdörtgen biçiminde bir kanal unsuru eklenerek oluşturulmuştur. NO 1 test numunesine ait autocad çizimi ve lazer kesiminden sonraki hali Şekil 5.2’te verilmiştir.



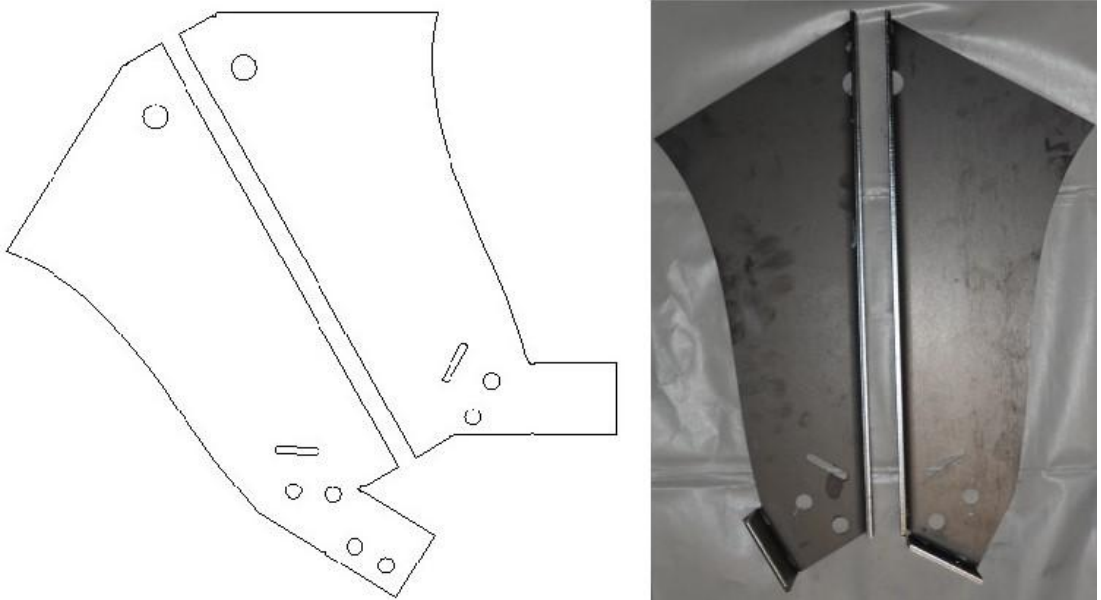
Şekil 5.2. NO 1 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali

NO 2 test numunesi, yalın modele 6 adet elips şeklinde yatay kanal unsuru eklenerek oluşturulmuştur. NO 2 test numunesine ait autocad çizimi ve lazer kesiminden sonraki hali Şekil 5.3’te verilmiştir.



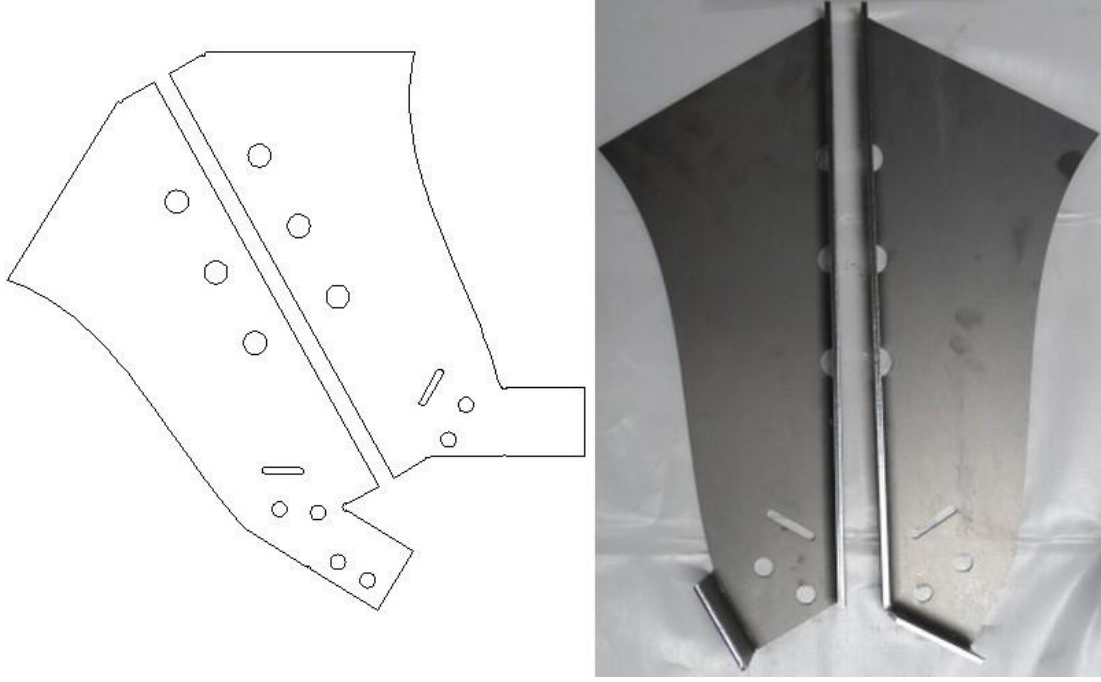
Şekil 5.3. NO 2 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali

NO 3 test numunesi, yalın modelin sırt tarafının alt kısmına 1 adet daire şeklinde delik unsuru eklenerek oluşturulmuştur. NO 3 test numunesine ait autocad çizimi ve lazer kesiminden sonraki hali Şekil 5.4’da verilmiştir.



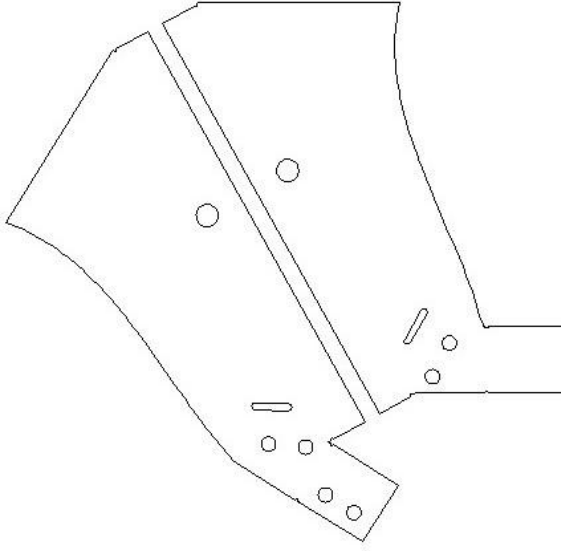
Şekil 5.4. NO 3 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali

NO 4 test numunesi, yalın modelin sırt tarafının üst, orta ve alt kısmına yakın bir yerde 3 adet daire şeklinde delik unsuru eklenerek oluşturulmuştur. NO 4 test numunesine ait autocad çizimi ve lazer kesiminden sonraki hali Şekil 5.5’de verilmiştir.



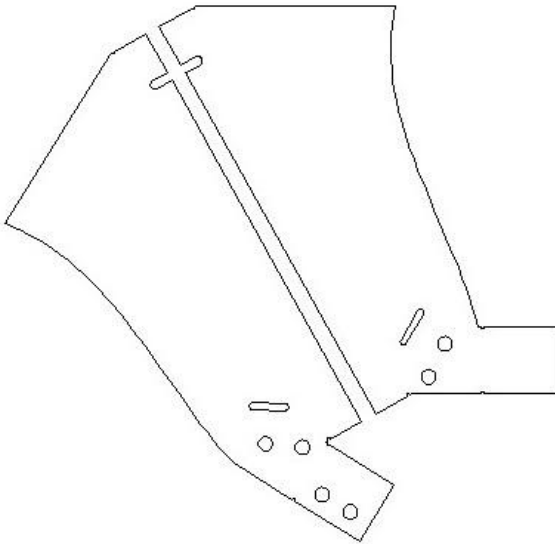
Şekil 5.5. NO 4 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali

NO 5 test numunesi, yalın modelin sırt tarafının orta kısmına yakın bir yerde 1 adet daire şeklinde delik unsuru eklenerek oluşturulmuştur. NO 5 test numunesine ait autocad çizimi ve lazer kesiminden sonraki hali Şekil 5.6’da verilmiştir.



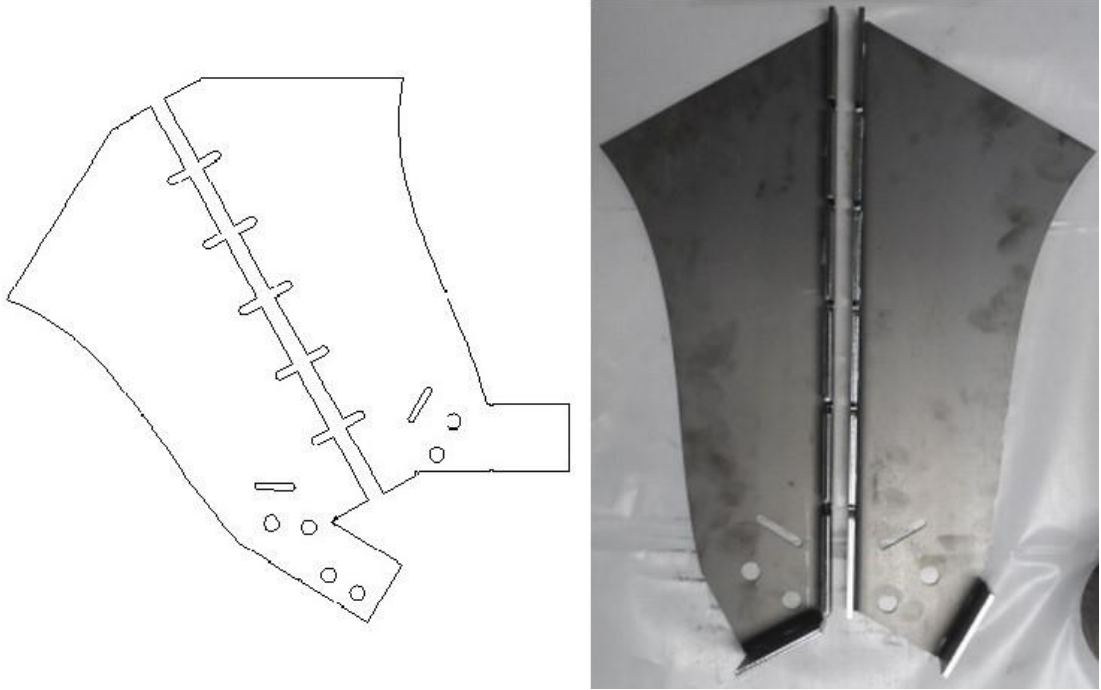
Şekil 5.6. NO 5 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali

NO 6 test numunesi, yalın modelin sırt tarafının alt kısmında 1 adet elips şeklinde kanal unsuru eklenerek oluşturulmuştur. NO 6 test numunesine ait autocad çizimi ve lazer kesiminden sonraki hali Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. NO 6 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali

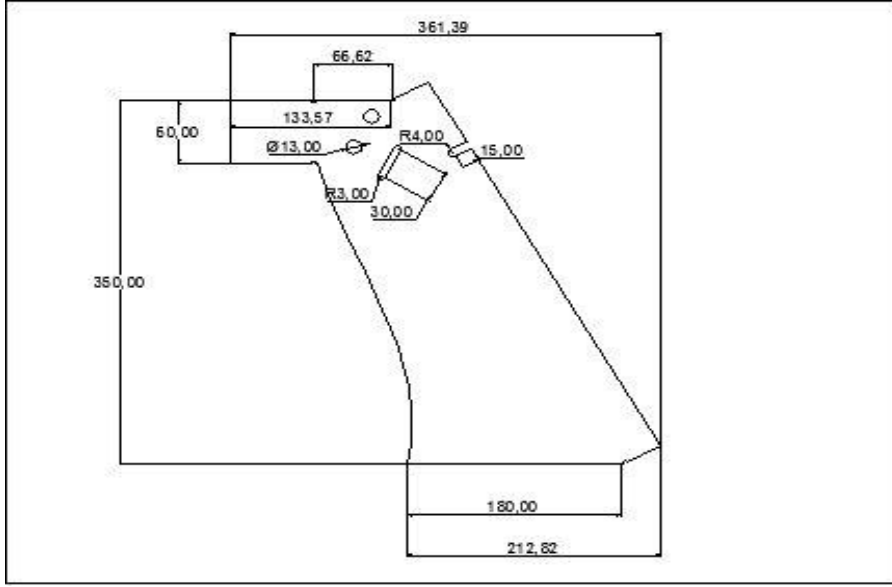
Son olarak; NO 7 test numunesi ise, yalın modelin sırt tarafında 5 adet elips şeklinde kanal unsuru eklenecek oluşturulmuştur. NO 7 test numunesine ait autocad çizimi ve lazer kesiminden sonraki hali Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. NO 7 test numunesinin teknik çizimi ve lazer kesimi sonrası büküm hali

5.1.2. Numunelerin ve ana yapının test için hazırlanması

Yalın model ve bu modele 7 unsur eklenerek oluşturulan test numunelerinin teknik çizimleri yapıldıktan sonra lazer kesimi yapan bir firmada istenilen ebatlara getirilmiştir (Şekil 5.9). Test numuneleri daha sonrasında ise bükme işlemine tabi tutulmuştur. Test numunelerini ana yapıya bağlamak için yine lazer kesim makinasında 8 adet, 10 mm et kalınlığında dikdörtgen şeklinde plaka kesilmiş ve bu plakaya 12 adet delik açılmıştır. Ayrıca her bir test numunesi için birer adet 6 mm et kalınlığında, 100 mm’lik silindir boru kesilmiştir. Kesilen boruları test numunelerine bağlamak amacıyla her bir numune için 3 adet bağlantı elemanı oluşturulmuştur. Bağlantı elemanlarından ikisi boruyu yandan kavrayacak şekilde, diğeri ise alttan boruyu tutacak şekilde bükülüp, 2 delik açılarak test numunesine civata-somun ile bağlanmıştır. Şekil 5.10’da unsura sahip test numunesi ve parçalarının bir örneği verilmiştir. Şekil 5.11’de ise her bir numunenin lazer kesimi sonrası bükülmüş hali, dikdörtgen plaka, silindir boru ve bağlantı elemanları gösterilmiştir.



Şekil 5.9.Yalın modele ait teknik detaylar



Şekil 5.10. Unsura sahip bir arka koruyucuya ait dikey eleman ve parçaları



Şekil 5.11. Test numunelerinin birleştirilmeden önceki durumu

Şekil 5.11’de görüldüğü gibi, St37-2 çeliğinden yapılan, 4 mm kalınlıktaki lazerde kesilen test numuneleri bükme işleminden geçirilmiştir ve koruyucunun dikey elemanları kaynaktan önceki son halini almıştır.

Her bir test numunesi elektrod kaynağı ile birleştirilmiştir. Bağlantı elemanları da silindir boruya kaynak yapılmıştır. Şekil 5.12’de kaynak ile birleştirilmiş test numunesi gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Test numunesinin kaynak ile birleştirilmiş hali

Test numunelerini bağlamak için iki parçadan oluşan ana yapı hazırlanmıştır. Ana yapının yatay parçasına dikey parçasını bağlamak için freze işleminden geçirilerek bir kanal açılmıştır. Şekil 5.13'te freze işleminden geçirilen ana yapının yatay parçası gösterilmiştir.



Şekil 5.13. İki parçayı birbirine bağlamak için açılan kanal

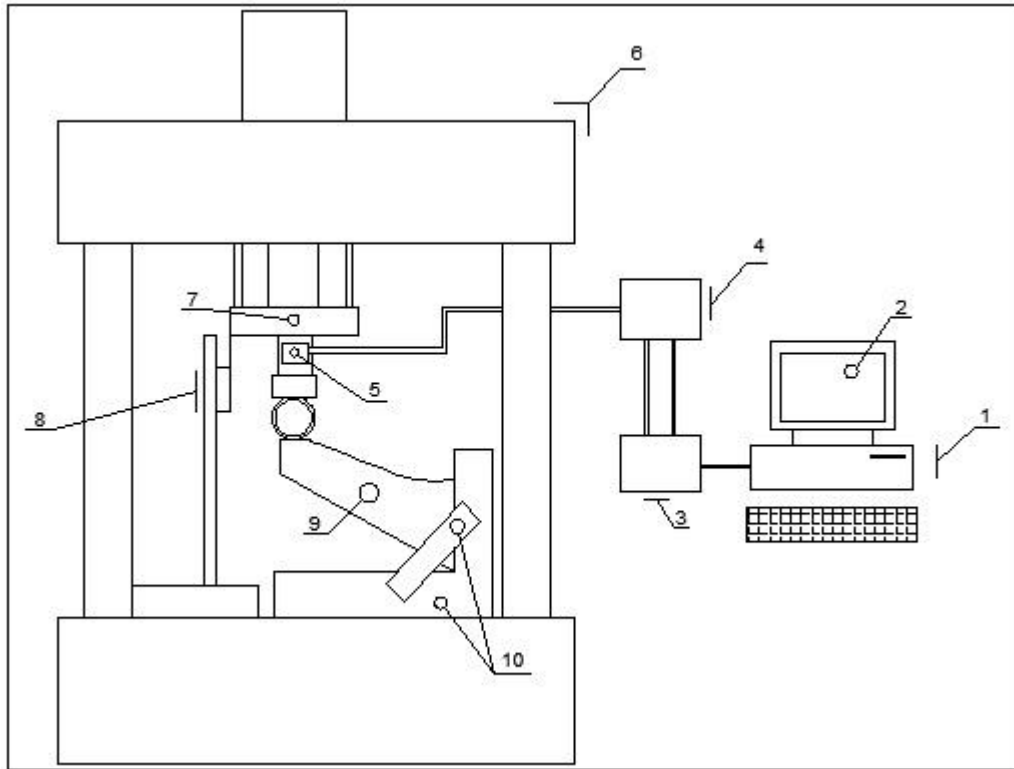
Şekil 5.14'te görüldüğü gibi, test numunelerinin bağlanacağı ana yapı freze işleminden sonra cıvata, kaynak ve yandan lamalarla sağlamlaştırılarak deney öncesi son haline getirilmiştir.



Şekil 5.14. Test numunelerinin bağlandığı ana yapının son hali

5.2. Basma Test Yöntemi ve Test Aparatlarının Hazırlanması

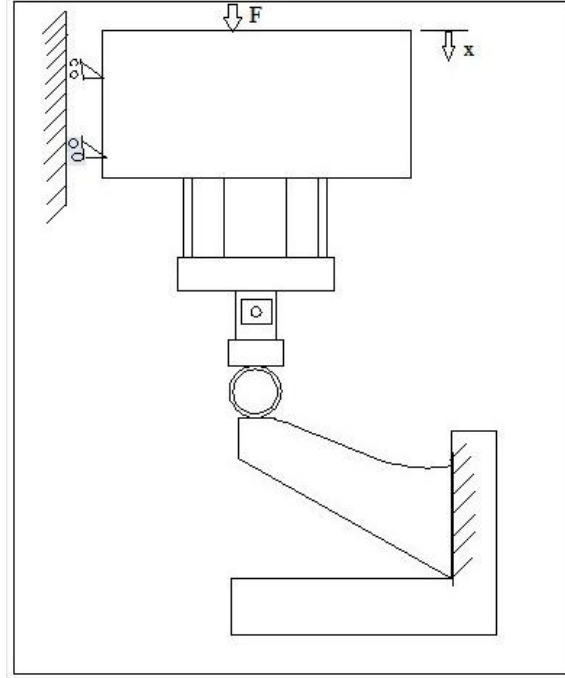
Basma testi, rijit bir zemin ile sabit hızda hareket eden başlık arasında numunelerin deforme edilmesi prensibi ile uygulanmıştır. Yarı statik yükleme altında deney numunelerine ait reaksiyon kuvveti değişimi ve deformasyon karakteristiklerinin tespit edilmesi için, numuneler hazırlanmış, deneysel ekipmanlar kurularak algılayıcıların kalibrasyonu yapılmış, veri edinimi amacıyla kullanılmak üzere test programı yazılmıştır. Bu amaçla kurulan deney düzeneği Şekil 5.15’de verilmiştir.



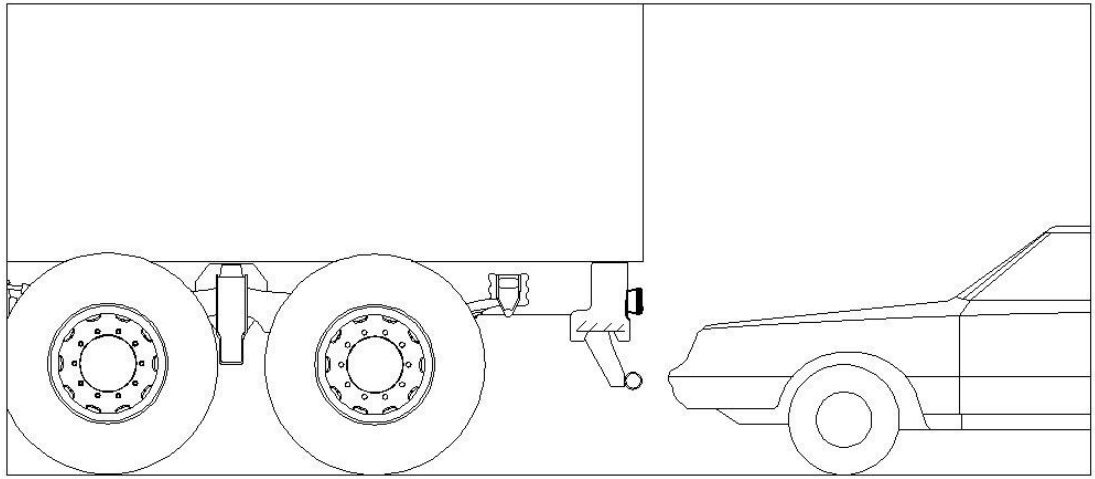
Şekil 5.15. Deney tesisat şeması

- | | |
|------------------|--------------------------|
| 1- Bilgisayar | 7- Pres Makinası Kafası |
| 2- Labview | 8- Lineer cetvel encoder |
| 3- DAQ Kartı | 9- Test numunesi |
| 4- Transmitter | 10- Ana yapı |
| 5- Yük Hücresi | |
| 6- Pres Makinası | |

Deney numunelerinin yüklenmesini gösteren prensip şeması Şekil 5.16'da görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.16. Basma testi (a) Deney koşulları, (b) Gerçek test koşulları

Yarı statik yükleme testleri, Şekil 5.18'de görülen 120 KN kapasiteli bir hidrolik pres ünitesiyle gerçekleştirilmiştir. Presin başlık ilerleme hızı ve başlık baskı kuvveti gibi değişkenler kontrol edilebilmektedir. Bu amaçla hidrolik kontrol elemanları kullanılarak hidrolik pres sistemi yeniden düzenlenmiştir. Hidrolik presin baskı

kafasının ilerleme hızı akış kısma valfi ile 0-100 mm/dk hız aralığı içerisinde ayarlanabilmektedir. Aynı şekilde presin yük miktarının ayarlanabilmesi için de basınç ayar valfi pres üzerinde konuşturulmuştur. Yapılan yarı statik yüklemeli testlerde pres başlık ilerleme hızı 50 mm/dk olarak ayarlanmış ve pres tam yük kapasitesinde çalıştırılmıştır. Ayarlanabilir basma hızına sahip test düzeneği ile veriler 20 Hz sıklığında alınmıştır.

Kuvvet ölçümleri, farklı ölçme aralıklarına sahip CAS marka LS-20T tipi 20 kN kapasiteli yük hücresi tarafından ölçülebilmektedir (Şekil 5.19). Yük hücresi veri toplama ünitesine ESİT model TR3 transmitter (sinyal yükseltici) aracılığıyla analog çıkış verebilecek şekilde bağlanmaktadır. Ayrıca doğrusal ilerlemenin ölçülebilmesi amacıyla, bir adet LS406 model Haidenhain marka, 0.001 mm ilerleme adımına sahip, eklemeli (incremental) lineer enkoder kullanılmıştır.

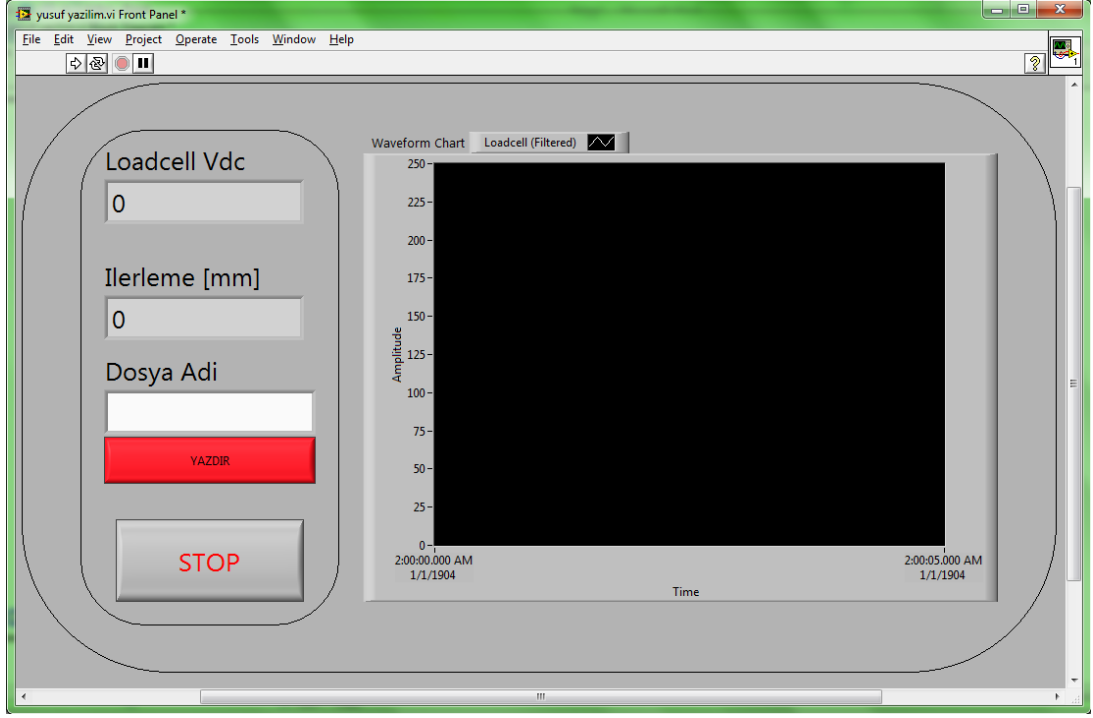


Şekil 5.17. Hidrolik presin genel görünümü



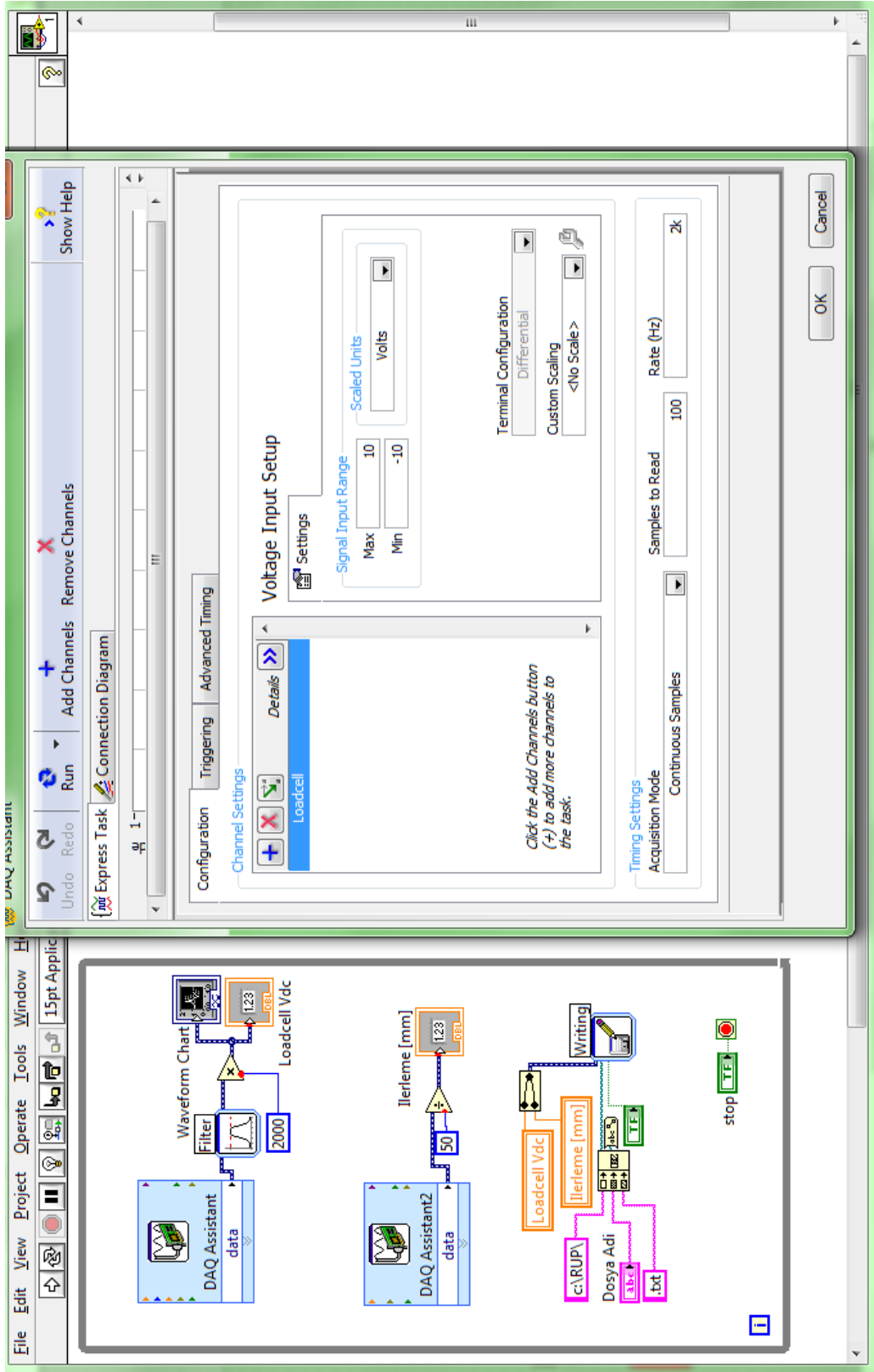
Şekil 5.18. Yarı statik yükleme ünitesinde yük hücresi ve test numunesinin yerleştirilmesi

Yük hücresinden gelen 0-10 V arasında değişen analog sinyal ile enkoderden gelen 0-5 volt kare dalga sinyaller, 8 adet analog sinyali giriş kanalına ve 1 adet sayıcı kanalına sahip NI USB-6009 model National Instruments firmasına ait veri toplama kartı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu amaçla National Instruments firmasına ait LABVIEW yazılımı kullanılarak, bir veri toplama programı yazılmış, bu program karta gelen verilerin bilgisaraya aktarılması amacıyla kullanılmıştır. Yazılan test programına ait kullanıcı ara yüzü olan ön panel Şekil 5.19'da gösterilmektedir. Programın işleyiş ve akışının düzenlendiği ve yapılandırıldığı blok diyagram kısmı ise Şekil 5.21'de gösterilmektedir.



Şekil 5.19. Yarı statik test düzeneği için hazırlanmış programa ait kullanıcı ara yüzü

Test programlarının hazırlandığı LABVIEW programı, farklı görevlere sahip unsurların eklentili olarak şematik bir yapıda ilişkilendirilmeleri yöntemiyle çalışmaktadır. Kullanılan unsurların her birisi, yine başka alt unsurlardan oluşturulmuştur. Bu unsurların ilişkilendirilmesi belli bir hiyerarşi içerisinde gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.20’de unsurlar arası bağlantıların kurulduğu ve Şekil 5.19’deki ara yüze ait objelerin bu unsurlarla ilişkilendirildiği blok diyagramı tümüyle verilmektedir. Blok diyagram içerisinde üç aşamalı bir kurgu mevcuttur. Birinci aşamada, veri toplama kartında kanalların açılması ve örnekleme hızı tipi vb parametrelerin girilmesi işlemleri ilk start komutuyla birlikte başlatılmaktadır. İkinci kısımda ise “while” döngüsü çalıştırılmakta, döngü içerisindeki her bir çevrim için, kanaldan verinin okunması, gösterilmesi ve yazdırılması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada veriler zaman-deplasman-kuvvet sıralamasıyla sütunlar halinde her bir örnekleme zamanı için ise satırlar şeklinde yazdırılmaktadır. Üçüncü aşamada ise, ara yüzde “STOP” tuşuna basılmasıyla birlikte; yazdırma dosyası kapatılmakta kart kanal bilgileri resetlenmekte ve programın çalıştırılmasına son verilmektedir. Şekil 5.19’da verilen ara yüzde ise, test verilerinden uzama miktarı, uygulanan basma kuvveti, test süresi ve test süresince oluşan maksimum yük değeri ara yüzde gösterilmektedir.



Şekil 5.20. Test düzeneği için hazırlanmış programa ait blog diyagram

Şekil 5.21’de görüldüğü gibi program toplanılmakta olan dataları gerçek zamanlı (real time) olarak gösterirken yazma döngüsü ile de isteğe göre “.dat” veya “.mat” uzantılı bir dosya oluşturup yazmaktadır. Şekil 5.22, örnek bir “.dat” dosyasının Microsoft EXCEL programıyla açılmış ve işlenilmiş halini göstermektedir.



Şekil 5.21. Sayısal veri elde etmek için kurulan tertibat

Anlık kuvvet ve yer değişimini ölçmek için bilgisayar, labview programı, transmitter, DAQ kartı, yük hücresi ve lineer cetvel kullanıldı.

NO1_ENGY.xlsx - Microsoft Excel

Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm

Yapıştır Pano Yazı Tipi Hizalama Genel Stiller Hücreler Düzenleme

K1

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	DEF [mm]	DEF [m]	Yük [kgf]	Kuvvet [N]	Kuvvet [kN]	Δ Engy [J]	E top [J]	E top [kJ]
2	0	0	3.55756	34.89963	0.0348996			
3	0.06	6E-05	3.55756	34.89963	0.0348996	0.00209	0.00209	2.094E-06
4	0.12	0.00012	3.73551	36.64538	0.0366454	0.0022	0.00429	4.2927E-06
5	0.16	0.00016	4.26938	41.88265	0.0418826	0.00168	0.00597	5.968E-06
6	0.22	0.00022	7.7014	75.55071	0.0755507	0.00453	0.0105	1.0501E-05
7	0.24	0.00024	14.8451	145.6302	0.1456302	0.00291	0.01341	1.3414E-05
8	0.26	0.00026	24.353	238.9032	0.2389032	0.00478	0.01819	1.8192E-05
9	0.3	0.0003	35.8948	352.1277	0.3521277	0.01409	0.03228	3.2277E-05
10	0.3	0.0003	45.8349	449.6404	0.4496404	0	0.03228	3.2277E-05
11	0.32	0.00032	52.8515	518.4729	0.5184729	0.01037	0.04265	4.2646E-05
12	0.36	0.00036	57.8342	567.354	0.567354	0.02269	0.06534	6.534E-05
13	0.4	0.0004	60.529	593.7896	0.5937896	0.02375	0.08909	8.9092E-05
14	0.4	0.0004	62.8679	616.7338	0.6167338	0	0.08909	8.9092E-05
15	0.48	0.00048	65.0796	638.431	0.638431	0.05107	0.14017	0.00014017
16	0.48	0.00048	67.0626	657.8837	0.6578837	0	0.14017	0.00014017
17	0.56	0.00056	69.0709	677.5857	0.6775857	0.05421	0.19437	0.00019437
18	0.56	0.00056	70.2403	689.0578	0.6890578	0	0.19437	0.00019437
19	0.6	0.0006	71.181	698.2853	0.6982853	0.02793	0.2223	0.0002223
20	0.68	0.00068	72.5029	711.2538	0.7112538	0.0569	0.27921	0.00027921
21	0.68	0.00068	73.6469	722.4765	0.7224765	0	0.27921	0.00027921

Sheet1 Sheet2 Sheet3

Hazır Say: 8 %115

Şekil 5.22. Toplanılan verinin yapısı

6. DENEY VERİLERİ VE ANALİZİ

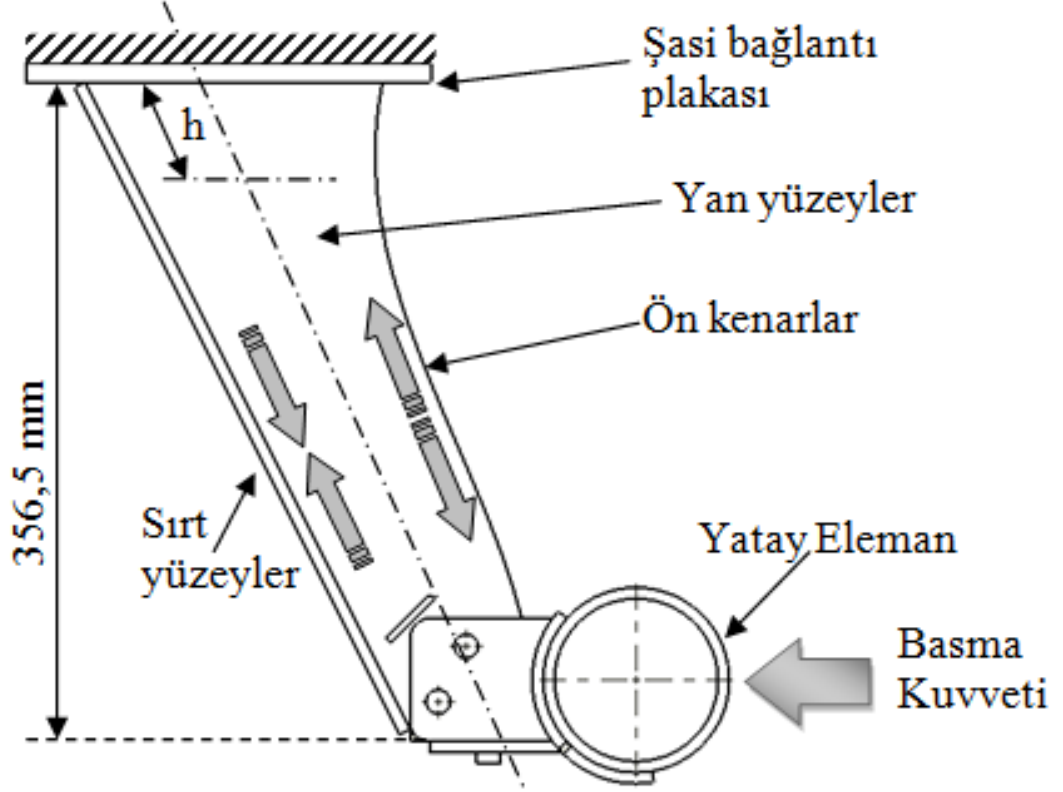
Bu deneyde Şekil 5.11’de görüldüğü gibi, örnek bir koruyucuya ait yalın bir model tasarlanmış ve 7 farklı unsura sahip toplamda 8 farklı model test edilmiştir. Her bir modele ait deformasyon analizleri yapılarak unsurların etkisi irdelenmiştir. Benzer şekilde Kuvvet-Deformasyon verilerinin grafik analizleri Şekil 6.2’den Şekil 6.10’a kadar gösterilmektedir.

6.1. Deformasyon karakteristikleri

Deformasyon doğrudan enerji sönümleme karakteristiğine etki eden bir faktör olduğundan, en iyi enerji sönümlemeyi sağlayacak biçimde yönlendirilmelidir. Çarpışma enerjisine en fazla işi yaptıracak geometrik yapı, çalışmada en kullanışlı geometri olarak karşımıza çıkabilecektir. Deney numunelerinin, sahip oldukları geometrik yapı ve unsurlara bağlı olarak meydana gelen deformasyon tipleri Tablo 6.1’de toplu olarak sunulmuştur. Deney verileri incelendiğinde, temelde 3 tip deformasyon ile karşılaşılmaktadır.



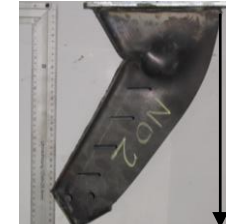













En görünür olanı Şekil 6.1’de ifade edildiği gibi yüksek bası kuvvetinin sırt ve yan yüzeylerde neden olduğu burkulma ve katlanması sonucu oluşan yüzey katlarıdır. Bu katlar yüksek miktarda plastik deformasyon sonucunda oluşmaktadır ve kararlı çökme karakteristiği göstermektedirler. Bu katların oluşumu başlayıncaya kadar numunelerin bu yüzeyleri aşırı basma gerilmeleri nedeniyle ilk önce basma deformasyonuna uğramaktadır. Bu durum NO6 numunesinin sırt yüzey kanalının 8 mm den 4 mm’ye düşmesinden ve benzer şekilde NO7 numunesinin kanal ölçülerindeki benzer daralmalardan görülebilmektedir. İkinci deformasyon tipi ise, yine yüksek basma kuvvetinin ön kenarlarda oluşturduğu çekme gerilmeleri sonucu yan yüzeylerin bu kenar hattı boyunca uzamasıdır. Böylece sac malzemesinin yüksek sünme karakteristiği, enerji sönümlemede iyi bir araç olarak kullanılmıştır. NO3 numunesi hariç tüm numunelerde bu tip plastik deformasyon kararlılıkla devam etmiş ve yırtılma görülmemiştir. 4 mm et kalınlığı olan numunelerde ön kenar hattında ölçülen en düşük kalınlık 2,96 mm ile NO7 numunesine aittir.

Üçüncü tip deformasyon ise, büküm esnasında yan yüzeylerde bulunan unsurların kenarlarında yırtılma tipi deformasyonlar görülmüştür. NO4 ve NO5 numunesinde sırt ve yan yüzeyde ortak olan deliklerin yırtılma davranışına neden olduğu görülmüştür.



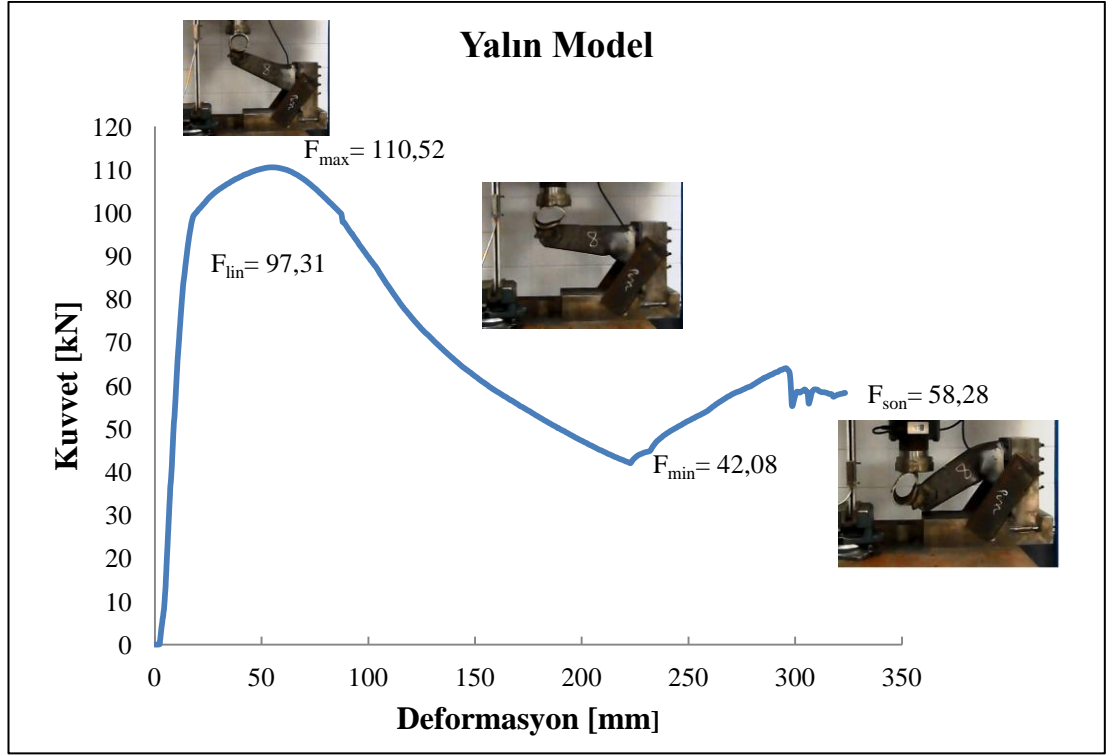
Şekil 6.1. Arka koruyucu deformasyon bölgeleri

Tablo 6.1. Numunelere ait deformasyon tipleri (h: büküm mesafesi, t: en düşük yanak kalınlığı)

YALIN	NO 1	NO 2	NO 3	NO 4	NO 5	NO 6	NO 7
h: 123 mm	h: 123 mm	h: 123 mm	h: 60 mm	h: 110 mm	h: 155 mm	h: 137 mm	h: 150 mm
							
YALIN	NO 1	NO 2	NO 3	NO 4	NO 5	NO 6	NO 7
t: 3,1 mm	t: 3,3 mm	t: 3,24 mm alt iki kanalda yırılma	t: 3,5 mm dipten yırılma	t: 3,3 mm	t: 3,1 mm delikte yırılma	t: 3,1 mm	t: 2,96 mm 2.kanalda yırtık
							

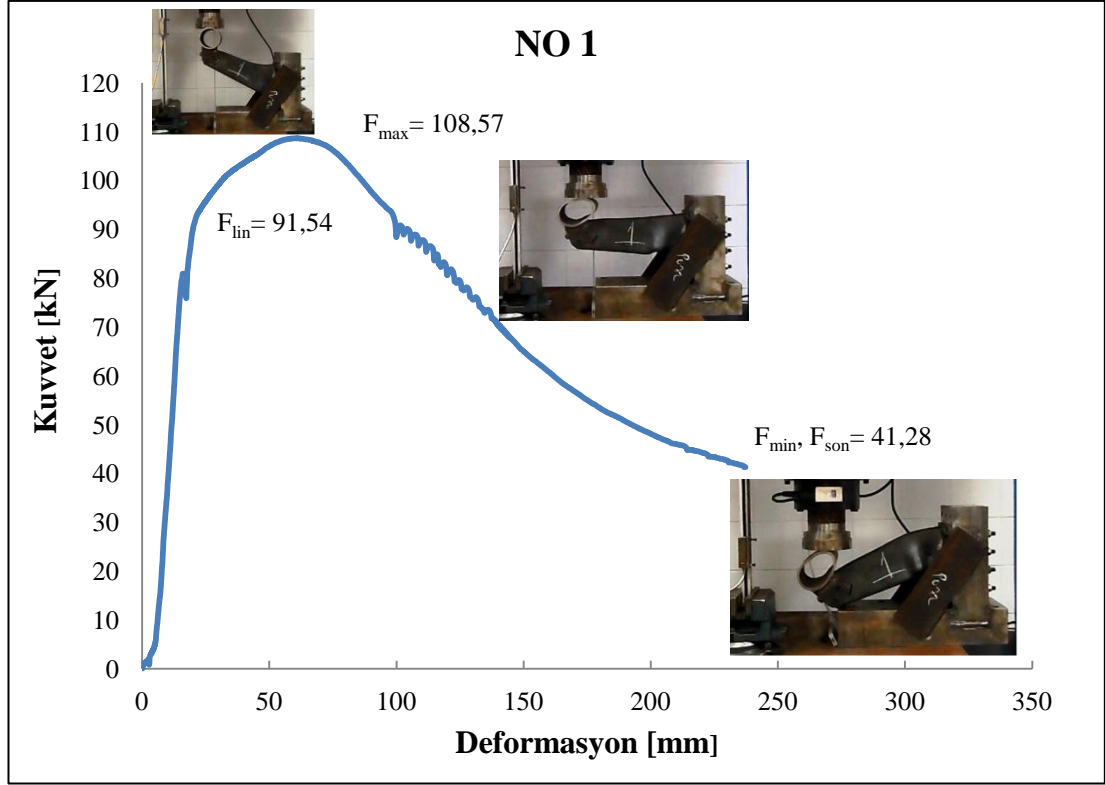
6.2. Kuvvet - Deformasyon Analizi

Şekil 6.2’de temas anından itibaren kuvvetin 97,31 kN’a kadar doğrusal karakteristik ile arttığı ve bu artışın deformasyonun ilk 17,97 mm’si için devam ettiği görülmüştür. Sonraki aşamada koruyucunun belvermeye başlaması ile 51,88 mm sonunda kuvvet 110,52 kN olan maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu noktadan sonra 222,92 mm deformasyona ulaşincaya kadar kuvvetin yaklaşık doğrusal olarak 42,08 kN’a kadar düştüğü görülmektedir. Büküm yüzeylerinin temasıyla birlikte kuvvetin tekrar bir yükseliş ile 321,46 mm deformasyonda 58,28 kN’a kadar yükseldiği görülmüştür.



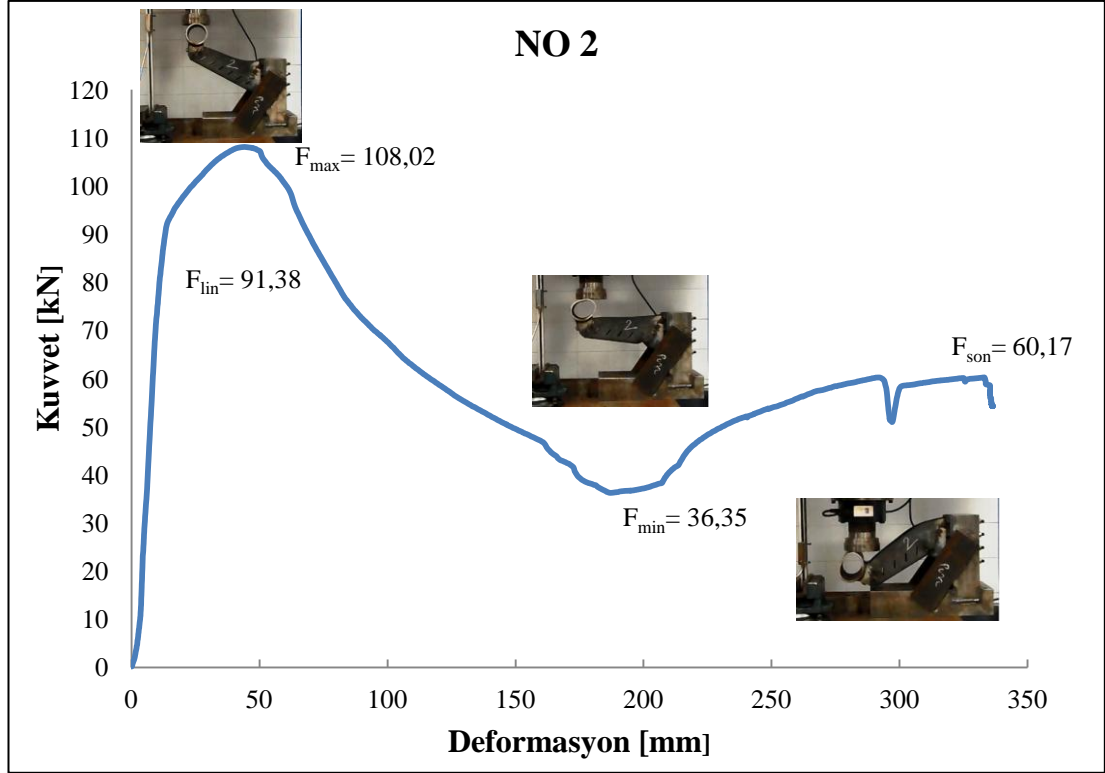
Şekil 6.2. Yalın modelin kuvvet-deformasyon grafiği

Şekil 6.3’te temas anından itibaren kuvvetin 91,54 kN’a kadar doğrusal karakteristik ile arttığı ve bu artışın deformasyonun ilk 20,74 mm’si için devam ettiği görülmüştür. Sonraki aşamada koruyucunun belvermeye başlaması ile 62,56 mm sonunda kuvvet 108,57 kN olan maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu noktadan sonra 237,24 mm deformasyona ulaşincaya kadar kuvvetin yaklaşık doğrusal olarak 41,28 kN’a kadar düştüğü görülmektedir.



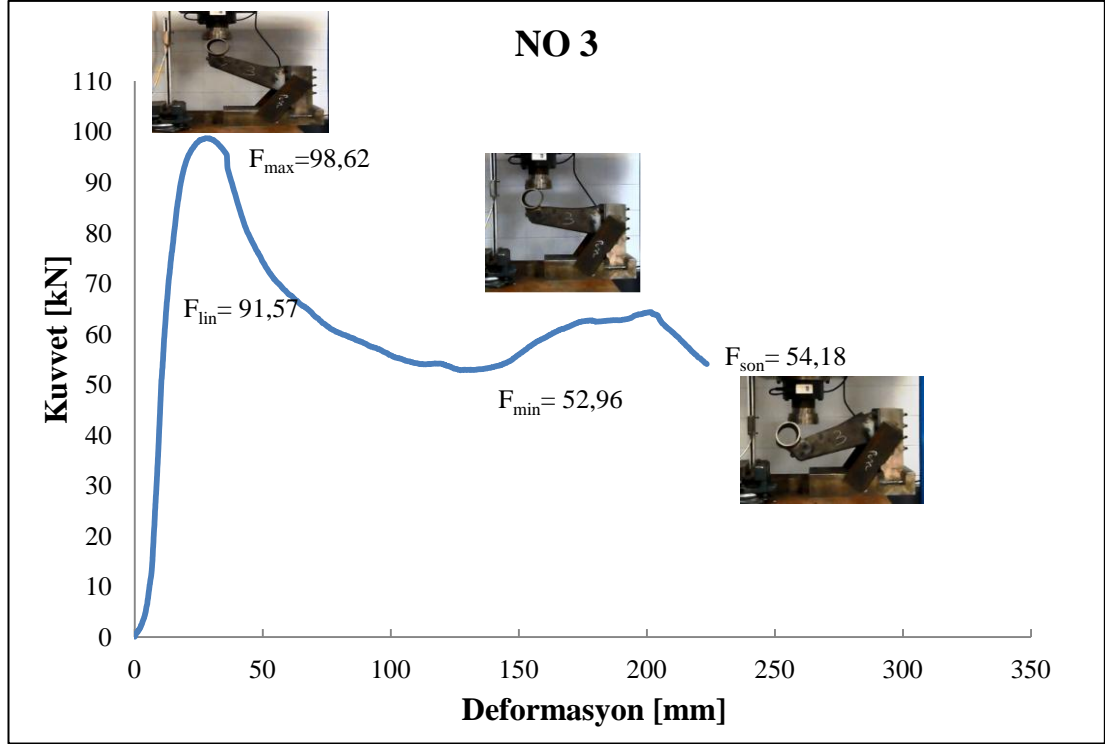
Şekil 6.3. NO1 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği

Şekil 6.4'te temas anından itibaren kuvvetin 91,38 kN'a kadar doğrusal karakteristik ile arttığı ve bu artışın deformasyonun ilk 13,5 mm'si için devam ettiği görülmüştür. Sonraki aşamada koruyucunun belvermeye başlaması ile 42,72 mm sonunda kuvvet 108,02 kN olan maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu noktadan sonra 188,46 mm deformasyona ulaşıncaya kadar kuvvetin yaklaşık doğrusal olarak 36,35 kN'a kadar düştüğü görülmektedir. Büküm yüzeylerinin temasıyla birlikte kuvvetin tekrar yükselişi ile 331,82 mm deformasyonda 60,17 kN'a kadar yükseldiği görülmüştür. Yaklaşık 300 mm deformasyon miktarında ise yatay silindirik eleman tutucularındaki ani deformasyon etkisi görülebilmektedir.



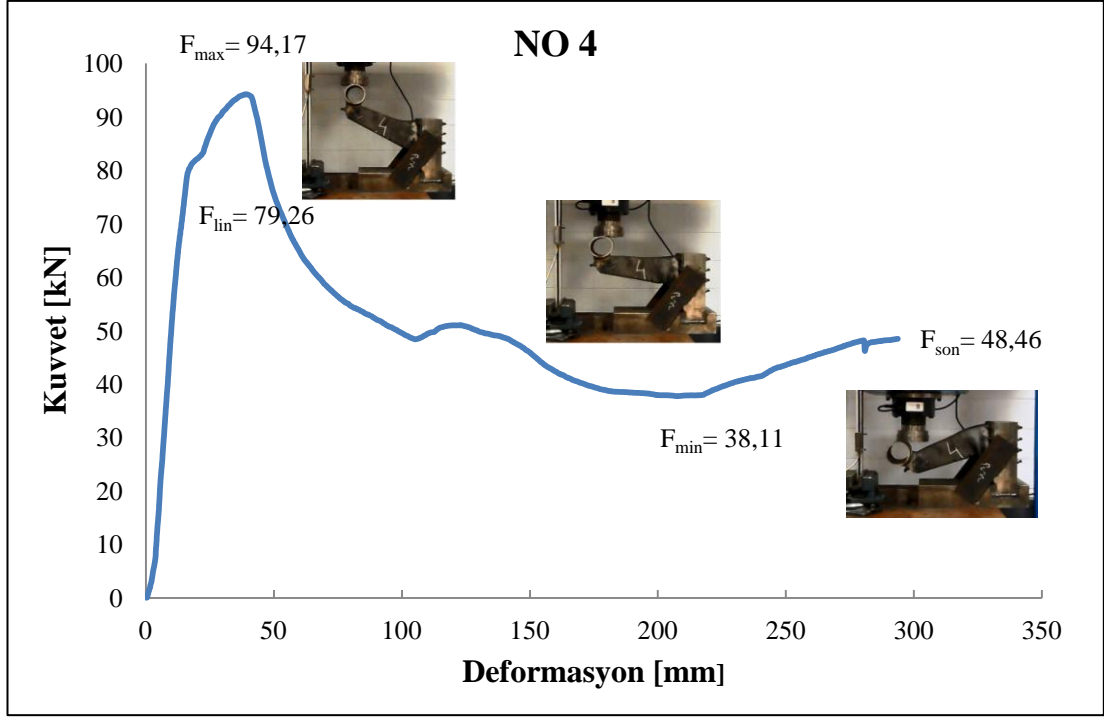
Şekil 6.4. NO2 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği

Şekil 6.5'te temas anından itibaren kuvvetin 91,57 kN'a kadar doğrusal karakteristik ile arttığı ve bu artışın deformasyonun ilk 18,72 mm'si için devam ettiği görülmüştür. Sonraki aşamada koruyucunun belvermeye başlaması ile 27,72 mm sonunda kuvvet 98,62 kN olan maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu noktadan sonra 135,38 mm deformasyona ulaşincaya kadar reaksiyon kuvvetin gittikçe azalarak 52,96 kN'a kadar düştüğü görülmektedir. Bu noktadaki reaksiyon kuvveti değeri diğer modellerin içerisindeki en yüksek değere sahiptir. Büküm yüzeylerinin temasıyla birlikte kuvvetin tekrar bir yükseliş ile 199,8 mm deformasyonda 64,13 kN'a kadar yükseldiği görülmüştür. Ancak bu numunede koruyucu yanaklarında yırtılma oluşması sonucunda kuvvetin 54,18 kN'a kadar düştüğü ve deformasyonun 222,76 mm de tamamlandığı görülmüştür.



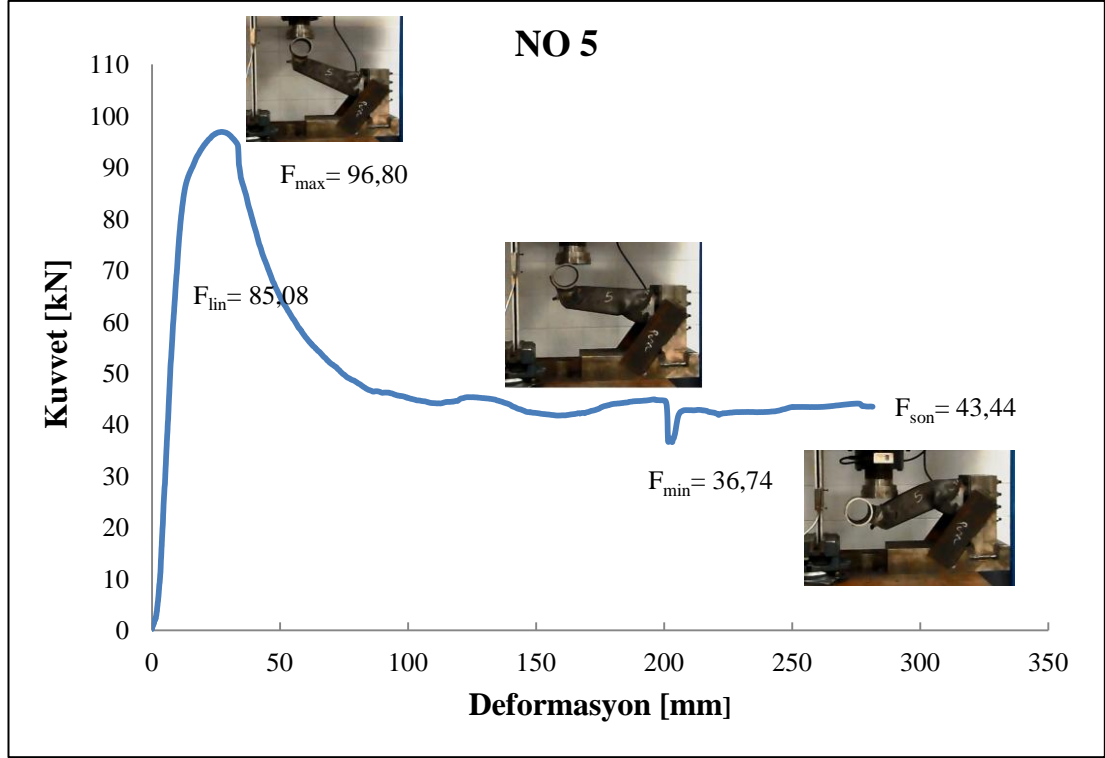
Şekil 6.5. NO3 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği

Şekil 6.6'da temas anından itibaren kuvvetin 79,26 kN'a kadar doğrusal karakteristik ile arttığı ve bu artışın deformasyonun ilk 16,02 mm'si için devam ettiği görülmüştür. Sonraki aşamada koruyucu sırtındaki boşlukların etkisi ve numunenin 94,17 kN da belvermeye başlaması ile reaksiyon kuvvet 38,9 mm sonunda 94,17 kN olan maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu noktadan sonra 218,24 mm deformasyona ulaşınca kadar reaksiyon kuvvetin önce ani azaldığı sonra kısmen yükselerek tekrar 38,11 kN'a kadar düştüğü görülmektedir. Bu noktadaki reaksiyon kuvveti değeri diğer modellerin içerisindeki en yüksek değere sahiptir. Geometrik unsurların ve yüzeylerinin temasıyla birlikte kuvvetin tekrar bir yükseliş ile 293,66 mm deformasyonda 48,46 kN'a kadar yükseldiği görülmüştür.



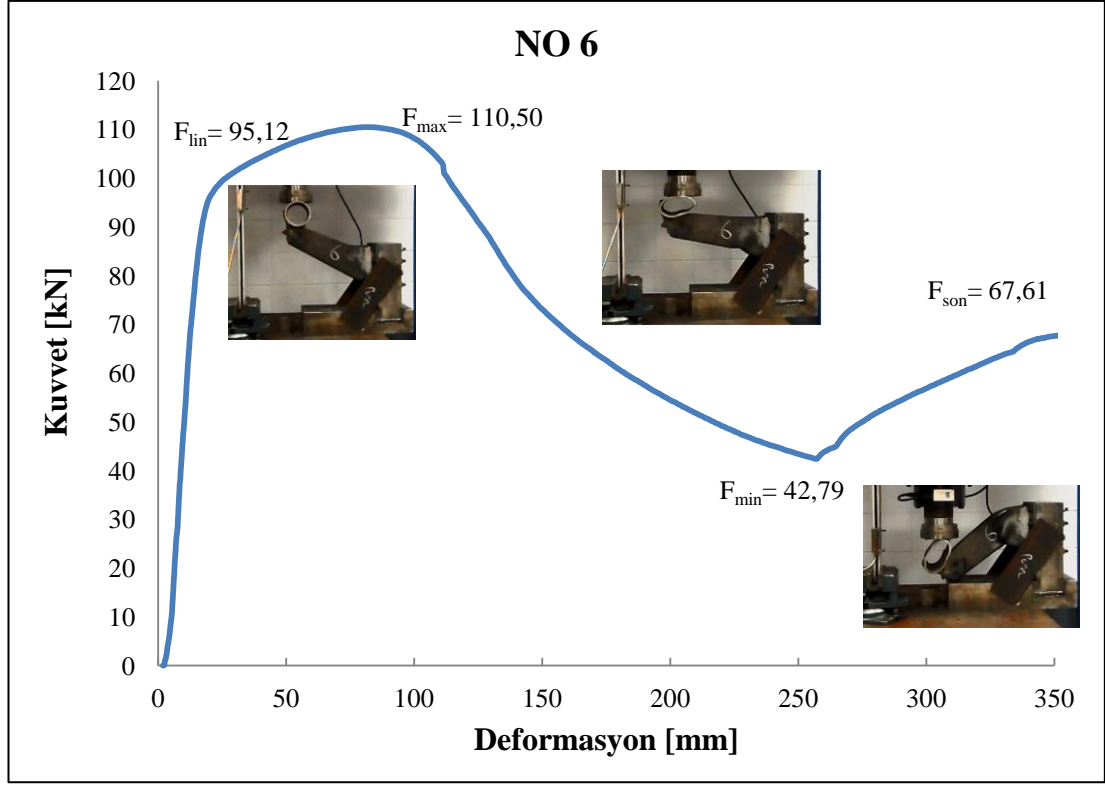
Şekil 6.6. NO4 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği

Şekil 6.7’de temas anından itibaren kuvvetin 85,08 kN’a kadar doğrusal karakteristik ile arttığı ve bu artışın deformasyonun ilk 12,6 mm’si için devam ettiği görülmüştür. Sonraki aşamada reaksiyon kuvvet 25,06 mm sonunda 96,80 kN olan maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu noktadan sonra yaklaşık 100 mm deformasyona ulaşincaya kadar reaksiyon kuvvetin çok ani azaldığı sonrasında doğrusal olarak 36 kN seviyesinde 201,74 mm’ye kadar devam ettiği görülmüştür.



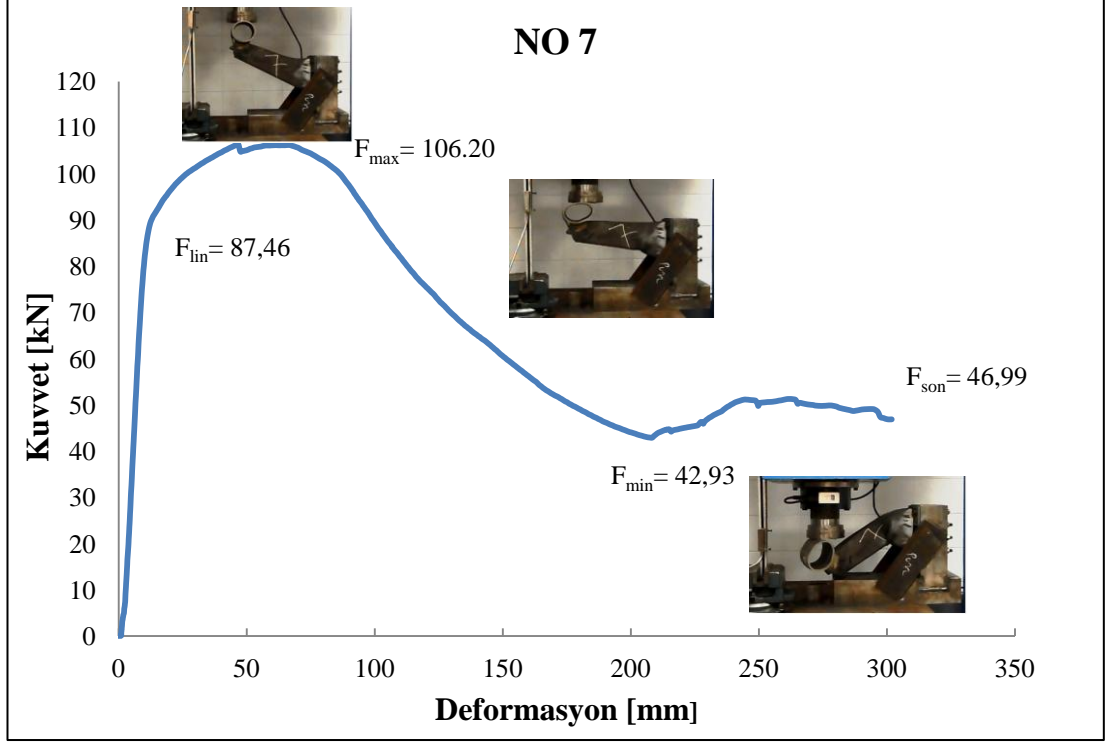
Şekil 6.7. NO5 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği

Şekil 6.8’de temas anından itibaren kuvvetin 95,12 kN’a kadar doğrusal karakteristik ile arttığı ve bu artışın deformasyonun ilk 19,26 mm’si için devam ettiği görülmüştür. Sonraki aşamada koruyucu sırtındaki boşlukların etkisi ve numunenin 95,12 kN da belvermeye başlaması ile reaksiyon kuvvet 81,52 mm sonunda 110,5 kN olan maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu noktadan sonra 254,3 mm deformasyona ulaşincaya kadar reaksiyon kuvvetin yaklaşık doğrusal olarak 42,79 kN’a düştüğü görülmüştür. Bükülen yüzeylerinin temasıyla birlikte kuvvetin tekrar bir yükseliş ile 349,24 mm deformasyonda 67,61 kN’a kadar yükseldiği görülmüştür.



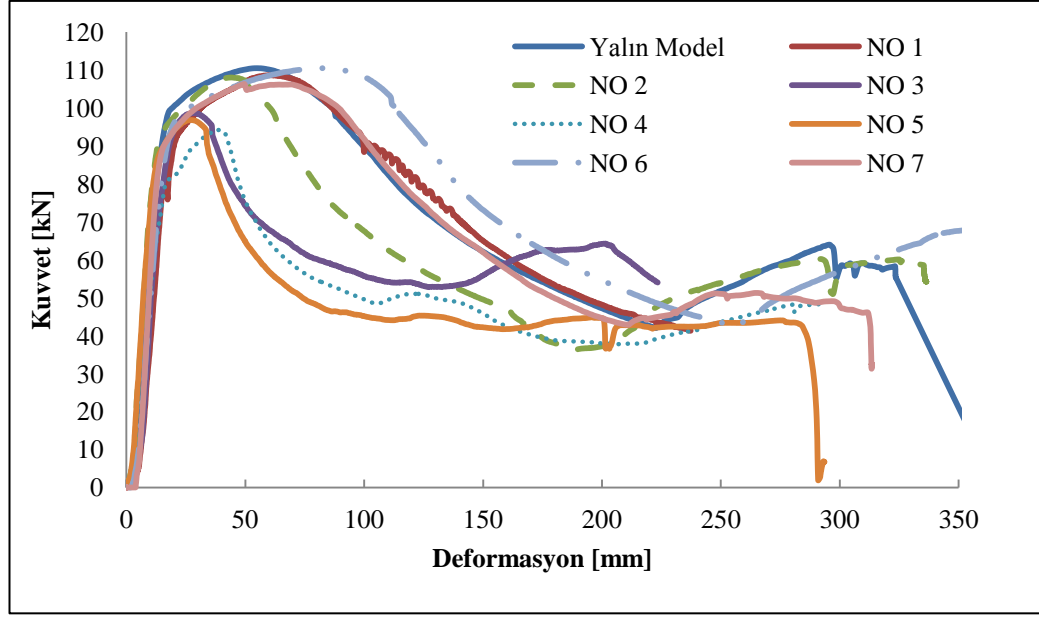
Şekil 6.8. NO6 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği

Şekil 6.9’da temas anından itibaren kuvvetin 87,46 kN’a kadar doğrusal karakteristik ile arttığı ve bu artışın deformasyonun ilk 11,54 mm’si için devam ettiği görülmüştür. Sonraki aşamada reaksiyon kuvveti 66,66 mm sonunda 106,2 kN olan maksimum noktaya ulaşmıştır. Bu noktadan sonra 207,34 mm deformasyona ulaşmaya kadar reaksiyon kuvvetinin yaklaşık doğrusal olarak 42,93 kN’a düştüğü görülmüştür. Bükülen yüzeylerinin temasıyla birlikte reaksiyon kuvvetinin, kısmen artarak 299,34 mm deformasyon ile 46,99 kN’a kadar yükseldiği görülmüştür.



Şekil 6.9. NO7 test numunesinin kuvvet-deformasyon grafiği

Tüm reaksiyon kuvvet-deformasyon verilerine ait grafikler karşılaştırmalı olarak Şekil 6.10'da verilmiştir. Bu şekil ile tüm yapıların elastik deformasyon bölgelerindeki eğimlerinin yaklaşık aynı olduğu görülebilmektedir. NO3 ile NO 5 numunelerinin ilk büküm bölgelerine ait karakteristiklerin benzer olduğu sonrasında farklılaştığı görülmüştür. Yine Yalın Model, NO 1 ve NO 7 örneklerinin kuvvet-deformasyon karakteristiklerinin minimum reaksiyon kuvveti noktasına kadar benzeştikleri ancak sonrasında farklılık gösterdikleri görülebilmektedir.



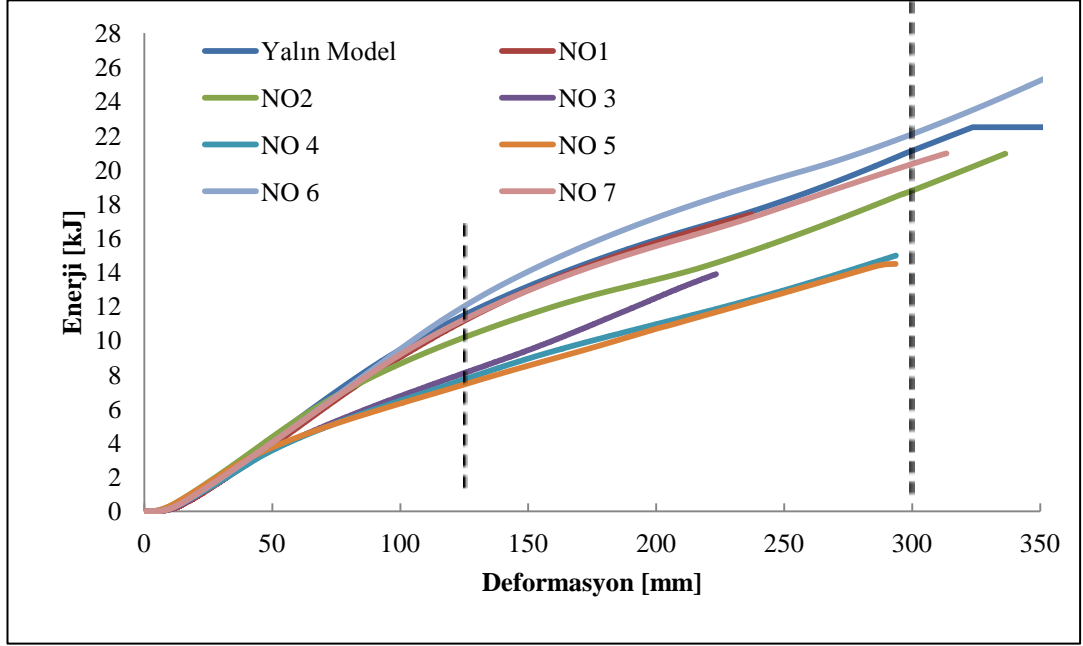
Şekil 6.10. Bütün test numunelerinin kuvvet-deformasyon grafikleri

Numunelere ait Enerji-Deformasyon verilerine ait grafikleri Şekil 6.11'de kıyaslamalı olarak gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi en yüksek enerji sönümleme kapasitesinin NO6 numunesinde olduğu görülebilmektedir. Numunelerin sahip oldukları farklı geometrik unsurlara bağlı olarak deformasyona göre sönümledikleri enerji miktarı davranışları da çeşitlilik arzettiği görülebilmektedir.

6.3. Enerji – Deformasyon Analizi

FMVSS standartında belirtilen İlk 125 mm için olan 5,65 kJ enerji sönümleme gerekliliğine göre incelendiğinde, yalın model 11,5 kJ enerji sönümlemiştir. 300 mm deformasyona göre incelendiğinde ise yalın model, 21,11 kJ enerji sönümlemiştir. NO1 modeli ilk 125 mm içerisinde 11,17 kJ enerji sönümlemiştir. NO1 modelinin maksimum deformasyonu 237,24 mm'dir. NO2 modeli ilk 125 mm içerisinde 10,19 kJ enerji sönümlemiştir. 300 mm deformasyona göre incelendiğinde ise 18,78 kJ enerji sönümlemiştir. NO3 modeli ilk 125 mm içerisinde 8,09 kJ enerji sönümlemiştir. NO3 modelinin maksimum deformasyonu 222,76 mm'dir. NO4 modeli ilk 125 mm içerisinde 7,73 kJ enerji sönümlemiştir. NO4 modelinin maksimum deformasyonu 293,66 mm'dir. NO5 modeli ilk 125 mm içerisinde 7,43 kJ enerji sönümlemiştir. 300 mm deformasyona göre incelendiğinde ise NO5 modeli 14,82 kJ enerji sönümlemiştir. NO6 modeli ilk 125 mm içerisinde 12,01 kJ enerji sönümlemiştir. 300 mm deformasyona göre incelendiğinde NO6 modeli 22,08 kJ enerji sönümlemiştir.

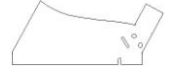

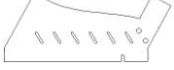





NO7 modeli ilk 125 mm içerisinde 11,24 kJ enerji sönümlenmiştir. 300 mm deformasyona göre incelendiğinde ise NO7 modeli 20,35 kJ enerji sönümlenmiştir.



Şekil 6.11. Bütün test numunelerinin enerji-deformasyon grafikleri

Son olarak tüm deney verilerinden elde edilen değerler Tablo 6.2’de özetlenmiştir.

Tablo 6.2. Tüm deney verilerini gösteren tablo

	LINEER		F _{max}		F _{min}		F _{son}		E ₁₂₅	E ₃₀₀	E _{Max}	Açılma Borulu	Açılma Borusuz	
	mm	kN	mm	kN	mm	kN	mm	kN	Kj	Kj	Kj	mm	mm	
Yalın	17,97	97,31	51,88	110,52	222,92	42,08	321,46	58,28	11,5	21,11	22,49	414	352	
No.1	20,74	91,54	62,56	108,57	237,24	41,28	237,24	41,28	11,17	----	17,38	413	368	
No.2	13,5	91,38	42,72	108,02	188,46	36,35	331,82	60,17	10,19	18,78	20,9	423	345	
No.3	18,72	91,57	27,72	98,62	135,38	52,96	222,76	54,18	8,09	----	13,69	438	360	
No.4	16,02	79,26	38,9	94,17	218,24	38,11	293,66	48,46	7,73	----	14,98	463	364	
No.5	12,6	85,08	25,06	96,8	201,74	36,74	281,32	43,44	7,43	14,82	14,47	449	366	
No.6	19,26	95,12	81,52	110,5	254,3	42,79	349,24	67,66	12,01	22,08	25,03	401	349	
No.7	11,54	87,46	66,66	106,2	207,34	42,93	299,34	46,99	11,24	20,35	20,96	414	352	

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karayolu taşımacılığının yoğun olduğu ülkemizde ağır taşıtlar ile binek taşıtların hız sınırları arasındaki farkın en yüksek olduğu bir trafik yönetmeliği uygulanmaktadır. Dolayısı ile yüklü araçlara arkadan yüksek hızlarla çarpılması sonucu gerçekleşen ölümcül kazaların çok fazla görülmesi, güvenliği artırıcı ek yönetmelik ve uygulamalara gereksinimi doğurmaktadır. Bunlardan en etkin olan ağır taşıtların arka koruyucu formlarını düzenleyici uluslararası birçok standart mevcut olup ülkemize çok uyumlu değillerdir. Çünkü ülkemizde bağıl hızlar çok yüksekte seyretmektedir.

Bu çalışmada, uluslararası standartlarda belirtilen değerler referans kabul edilerek örnek bir koruyucunun yalın modeli tasarlanmıştır. Bu yalın model üzerine 7 farklı tip ve yerleşimde geometrik unsurların eklenmesi ile toplam 8 farklı koruyucu modeli oluşturulmuş ve imal edilmiştir. Bu numunelere ait yeterlik testleri ile çeşitli geometrik unsurların enerji sönmüleme karakteristiklerine etkileri incelenmiştir.

Yalın modele ait kaza performansı uluslararası standartlara uygunluğu açısından iki faktöre göre incelenmelidir. Birincisi kuvvet kriteri olup, ECR 58 (AB ve Türkiye), FMVSS (ABD), CMVSS (Kanada) standartlarında sırasıyla minimum değerleri 100kN, 100kN ve 175kN olarak verilmiştir. Ayrıca CONTRAN 805/95 (Brezilya) standartında ise ağır taşıtın tonajına bağlı olarak 70 kN ile 150 kN arasında değişmektedir. Dolayısıyla yalın model için testlerde ölçülen maksimum kuvvet değeri için bu standartlardaki minimum değerler sınır değer kabul edilmiştir. Çalışmada oluşturulan yalın modelin maksimum kuvvet değeri Şekil 6.2'de verildiği gibi 110,8 kN olup CMVSS hariç diğer standartların üzerinde olduğu görülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken husus ise; bu ilk yüklemenin çok yüksek olması halinde koruyucunun deformasyonunun mümkün olmadan, çarpan binek aracın rijit duvar etkisine maruz kalmasıdır. Binek taşıtların şasi deformasyonu için gerekli kuvvet miktarı 80-85 kN olup diğer motor elemanları ve kaporta ile birlikte bu değer 100-120 kN arasındadır [32]. Tablo 6.2'den maksimum kuvvet değerleri

incelendiğinde maksimum kuvvetin 94,27 kN (NO4) ile 110,5 kN (YM ve NO6) arasında değiştiği görülmüştür. 100 kN olan standart eşiğini NO3, NO4 ve NO5 numuneleri geçememiştir. Çünkü üç modelde de ortak olan delik unsuru, köşe bükümlerine yerleştirilmiş olduğundan eğilme deformasyonunda büküm başlangıcı oluşturmaktadır denilebilir. En düşük değere sahip NO4 numunesinde 3 adet delik olması, kuvvetteki düşüşün delik sayısı ile orantılı olduğunu göstermektedir. Ancak diğer unsurların maksimum kuvvete ciddi etkilerinin olmadığı görülmüştür. Böylece imalatta oluşan köşe bükümlerinin kuvveti taşıyıcı bölgeler olduğu anlaşılmaktadır. Kuvvet-deformasyon eğrilerindeki lineer bölgenin bittiği noktalardaki maksimum kuvvetler incelendiğinde ise orta dereceli çarpmalarda (max 30 km/sa), koruyucunun formunun bozulmayacağı denilebilir.

Sönümlenen enerji miktarında, deformasyon miktarı ve reaksiyon kuvvetin yatayda sabit kaldığı miktarlar etkin olmaktadır. Standartlarda sönümlenmesi gereken enerji miktarı sadece FMVSS'de ilk 125 mm için enaz 5,65 kJ olarak belirtilmiştir. Bu açıdan bakıldığında tüm numunelerin ilk 125 mm için gerekli sönümlenme enerjisini sağladıkları görülmektedir. Sönümlenen enerji miktarının en yüksek 12,01 kJ, 11,5 kJ, 11,24 kJ olarak sırasıyla NO6, YM ve NO7'de olduğu görülmüştür. Toplam sönümlenme enerji açısından bakıldığında ise 25,03 kJ, 22,49 kJ ve 20,96 kJ olarak sırasıyla NO6, Yalın ve NO7 numuneleri ilk üçü oluşturmaktadır. Bu numunelerin ortak noktası; Tablo 6.1'de görüldüğu gibi deformasyon esnasında oluşan plastik bölge deformasyonlarının çok olması ve bölgesel yırtılma deformasyonlarının çok görülmemesidir. İmalatta oluşan büküm yerlerinde ve yan yüzeylerin momentin yükseldiği bölgelerinde bulunan her tip geometrik yapı yüzeylerin yırtılmasına ve büküm direncinin azalmasına neden olduğundan enerji seviyelerini etkiledikleri görülmüştür.

Yine enerji mükdarlarının yüksek olduğu numunelerde, yanak kalınlıkları $3,2 \pm 0,3$ mm ölçülmüştür. Yanak kalınlığındaki daralma, poisson ($\nu = \epsilon_x / -\epsilon_y$) etkisi ile boyda uzamaya işaret etmektedir. Dolayısıyla koruyucu ön kenarlarının plastik deformasyonları, yırtılma olmaması şartıyla, koruyucunun kaza performansını olumlu etkileyici bir rol üstlenmiştir.

Şekil 6.1’de verilen ve 356,5 mm olan koruyucu ile şasi arasındaki ilk boy miktarının deformasyon esnasındaki değişimi, kaza performansı için bir diğer önemli parametredir. Bu boyun kasa esnasında kısılması aracın şasi altında oluşan açıklığa doğru girmesini kolaylaştırıcı bir etkisi olacağından kaza esnasından bu boyun artması önemli bir parametredir. Deney sonrasında koruyucu boylarındaki değişimler Tablo 6.2’de belirtilmiştir. Bu değerler arasında NO1, NO5, NO4 ve NO3 uzama olan geometriler olup sırasıyla 368, 366, 364 ve 360 mm olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla koruyucu geometrisi deforme oldukça uzayan ve şasi ile zemin arasında binek aracın sıkışarak alta girmesini önleyici bir etki meydana getirmektedir.

Sonuç olarak, sadece reaksiyon kuvvet ve enerji sönümlenme özellikleri olarak değil aynı zamanda çarpma esnasında binek aracın şasi altına girmesini engelleyici etkisinden dolayı NO1 numunesinin bu çalışmadaki en ideal koruyucu tipi olduğu söylenebilir.

Bu çalışmanın içeriği sadece, arka koruyucu elemanlarından dikey eleman olarak adlandırılan bir eleman için kuvvet, enerji ve deformasyon karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik deneysel verileri kapsamaktadır. Ancak, ileriki çalışmalarda, sistem bir bütün olarak ele alınarak imalat için tasarım, montaj için tasarım ve maliyet için tasarım aşamaları da gerçekleştirilmeli ve altı sigma gibi yöntemler ile imalata hazırlama çalışmaları yapılmalıdır.

Deney çalışmaları, yarı statik deney düzeneğinde gerçekleştirilmiş ancak gerçek test koşulları oluşturularak dinamik davranışlarının belirlenmesi ileriki hedeflerdendir.

Koruyucu tasarımına farklı tiplerdeki unsur eklentileri olabileceği gibi saç kalınlığı ve kalitesi de kaza performansına etki eden diğer parametrelerdendir. Bu tip parametrelerin etkisinin incelenmesi adına, sistemin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi yapılması ve bu tez çalışmasındaki veriler ile model doğrulama çalışması gerçekleştirilerek farklı unsur eklentilerinin ve malzeme değişkenlerinin kaza performansına etkisi incelenebilir.

Yatay elamanın yüzeyi lastik veya farklı malzeme ile kaplanarak çarpan aracın ön kısmına daha iyi tutunması sağlanabilir. Böylece yatay elemanın, aracın kaportasından kayıp sürücü mahaline girmesi önlenir.

Arka koruyucunun şasiye bağlanma şekli, hem kullanılabilirliği hem de sağlamlığı açısından önemli bir etkidir. Günümüzdeki ağır taşıtlarda kullanılan çoğu arka koruyucunun şasiye kaynak ile bağlanıldığı görülmüştür. Bu kaynakların zamanla zarar görmesi, arka koruyucunun olası bir kaza durumunda yetersiz olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca ağır taşıtın herhangi bir şekilde bir yere çarpması ve arka koruyucunun hasarlanması durumunda montajını da zorlaştırmaktadır. Arka koruyucunun, şasiye vida ve somun ile bağlanması montaj kolaylığı açısından daha uygun olacaktır.

Bu çalışmanın nihai amacı, arka koruyucu tasarımı ve imalatından daha öncelikli olarak ülkemizde arka koruyucu kullanılmasında, gerek sektördeki imalatçılar için gerekse son kullanıcılar için bir farkındalık oluşturmaktır.

KAYNAKLAR

- [1] 9. Kalkınma planı karayolu ulaşımı özel ihtisas komisyonu raporu, *Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı*, DPT:ÖİK-33, 6-7, 2005.
- [2] Karayolu Ulaşım İstatistikleri-2011, *Karayolları Genel Müdürlüğü*, 19-21, 2011.
- [3] *Trafik kaza istatistikleri-2011*, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 2012.
- [4] Bilgi edinme, *T.C. İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Eğitim ve Araştırma Dairesi Başkanlığı*, B.05.1.EGM.0.84.2952.(31824).3686-34712380-8026, 2012.
- [5] Bilgi edinme, *T.C. İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Eğitim ve Araştırma Dairesi Başkanlığı*, 0512095-2952.(63232).3948-2922-2494-67499, 2013.
- [6] Bursa'da, lüks otomobilin kamyonun altına girmesiyle meydana gelen trafik kazasında iki kişi yaralandı, adanakent.com, <http://www.adanakent.com/3-sayfa-haberleri/bursada-fatih-atesin-kullandigi-luks-otomobil-kamyonun-altina-girdi-h39217.html>, (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2013).
- [7] Atak L., Aktif ve Pasif Güvenlik Sistemleri, Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluğu, <http://obitet.net/index.php/2012-12-30-15-12-44/sunular/item/56-guvenlik-sistemi>, (Ziyaret tarihi: 25 Ekim 2013).
- [8] Öztürk İ., Otomobil ön tampon çarpışma analizi ve optimizasyonu, Yüksek lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2008, 255196.
- [9] Glennon J.C., Truck Underride Collision Analysis, crashforensics.com, <http://www.crashforensics.com/truckunderride.cfm>, (Ziyaret tarihi: 12 Mart 2013).
- [10] Brumbelow M.L., Crash test performance of large truck rear underride guards, *Insurance Institute for Highway Safety*, 2011, **11-0074**, 1-5.
- [11] Bloch B., Deep Impact, Truck underide, Crash Test Technology International, http://www.autosafetyexpert.com/Assets/Docs/deep_impact.pdf (Ziyaret tarihi: 11 Nisan 2013).
- [12] Addendum 57: Regulation No: 58 Revision 2, <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r058r2e.pdf> (Ziyaret tarihi: 13 Şubat 2013).

- [13] Minihan D.J., O'Day J., Car-truck fatal accidents in Michigan and Texas, *Highway Safety Research Institute*, UMHSRI-77-49, 1-37, 1977.
- [14] Braver E. R., Mitter E. L., Lund A. K., Cammisa M. X., Powell M. R., Early N., A photograph-based study of the incidence of fatal truck underride crashes in Indiana, *Accident Analysis & Prevention*, 1998, **30**, 235-243.
- [15] Braver E. R., Cammisa M. X., Lund A. K., Early N., Mitter E. L., Powell M. R., Incidence of large truck–passenger vehicle underride crashes in fatal accident reporting system and national accident sampling system, *Transportation Research Record*, 1997, **1595**, 27-33.
- [16] Brumbelow, M., Blonar, L., Evaluation of US rear underride guard regulation for large trucks, *Stapp Car Crash Journal*, 2010, **54**, 1-13.
- [17] Allen K., The effectiveness of underride guards for heavy trailers, *National Highway Traffic Safety Administration*, HS-811 375, 1-41, 2010.
- [18] Rechnitzer G., Scoot G., Murray N. W., The reduction of injuries to car occupants in rear end impacts with heavy vehicles, *37th Stapp Car Crash Conference*, Texas, USA, 8-10 November 1993.
- [19] Rechnitzer G., Power C., Seyer K., Development and testing of energy absorbing rear underrun barriers for heavy vehicles, *15th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, Melbourne, Australia, 13-16 May 1996.
- [20] Haworth N., and Symmons M., Review of truck safety—Stage 2 Update of Crash Statistics, *Monash University Accident Research Centre*, 205, 1-56 2003.
- [21] Mariolani J. R. L., Arruda, A. C. F., Schutzler, L. O. F., Development of new underride guards for enhancement of compatibility between trucks and cars, *State University of Campinas*, 2001, **425**, 1-4.
- [22] Edwards M.J., Davies H., Thompson A., Hobbs A., Improvement of vehicle crash compatibility through the development of crash test procedures, *VC-COMPAT Project*, Eindhoven, Netherland, 17-18 October 2006.
- [23] Anderson J., Gwehenberger J., Bende J., Leneman F., Truck/Trailer Compatibility with cars and topics, *VC-COMPAT Project*, 2003.
- [24] Malczyk A., Cost benefit car-to-truck leg. Presentation, *VC-Compat mid-term workshop*, Gothenburg, Sweden, 23 February 2005.

- [25] Malczyk A., The Influence of Recent Legislation for Heavy Vehicles on the Risk of Underrun Collisions, *VDI Congress, Car Safety 2007*, Germany, 19 October 2007.
- [26] Knight I., The development of improved rear underrun protection, *VC-Compat final workshop*, 2006.
- [27] Blower D., Woodrooffe J., Page O., Analysis of rear underride in fatal truck crashes, *The University of Michigan Transportation Research Institute*, UMTRI-2011-51, 1-12, 2011.
- [28] Lambert J., Rechnitzer G., Review of truck safety: stage 1: frontal, side and rear underrun protection, *Monash University Accident Research Centre*, 194, 12-13, 2002.
- [29] 2010 yılı için geçerli olacak kusurlar tablosu, Uluslararası Nakliyeciler Derneği, <http://www.und.org.tr/tr/2195/2010-yili-icin-gecerli-olacak-kusurlar-tablosu>, (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2013).
- [30] Boucher D., Davis D.B.T., A discussion on rear underride protection in Canada, *Road Safety and Motor Vehicle Regulation Directorate*, 1-8, 2002.
- [31] Çeliklerin kimyasal-mekanik özellikleri, Çağ Çelik Demir ve Çelik End. A.Ş. http://www.cagcelik.com.tr/docs/cagcelik_celik_analizleri_TR.pdf, (Ziyaret tarihi: 14 Eylül 2013).
- [32] Griskevicius P., Ziliukas A., The crash energy absorption of the vehicles front structures, *Transport*, **18**, 97-101, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit’te tamamladı. 2005 yılında girdiği Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden 2009 yılında Otomotiv Öğretmeni olarak mezun oldu. 2012 yılından beri Türk Hava Yolları Hat Bakım Başkanlığı’nda Uçak Bakım Teknisyeni olarak çalışmaktadır.