

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AĞIR VASITA ÇARPMALARINA DAYANIKLI GEÇİŞ
OTOKORKULUKLARI: BİR ÇELİK TEN – BETONA GEÇİŞ
OTOKORKULUĞU TASARIMI VE ANALİZİ

FATİH KARATAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA/HATAY
MART-2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	II
ABSTRACT	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Materyal	9
3.1.1. Elemanların Tanıtımı	9
3.1.1.1. Otokorkuluklar	9
3.1.1.2. Taşıtlar	10
3.1.1.3. Ls Dyna programı	12
3.2. Yöntem	16
3.2.1 Gerçek Çarpışma Deneyleri	16
3.2.1.1. Gerçek Çarpışma Deneylerinin (GÇD) Tanıtımı	16
3.2.1.2. Gerçek Çarpışma Deneylerinin Gereklilikleri	16
3.2.2 Sanal Çarpışma Deneyleri	19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	20
4.1. Gerçek Çarpışma Deneyi 404211-4'ün İncelenmesi	21
4.2. Sanal Çarpışma Deneyi 404211-4 Oluşturulması	29
4.3. SÇD 404211-4'ün 2000 kg'lık Taşıta Göre Geliştirilmesi	39
4.4. Geliştirilmiş Geçiş Otokorkuluğunun 30000 kg'lık Taşıta Göre Tasarımı	42
4.4.1. 30000 kg'lık Taşıtlar ile SÇD oluşturulması	42
4.4.2. 30000 kg'lık Taşıta göre Geçiş Otokorkuluğu Sisteminin Geliştirilmesi	50
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
TEŞEKKÜR	61
ÖZGEÇMİŞ	62

ÖZET

AĞIR VASITA ÇARPMALARINA DAYANIKLI GEÇİŞ OTOKORKULUKLARI: BİR ÇELİK TEN – BETONA GEÇİŞ OTOKORKULUĞU TASARIMI VE ANALİZİ

Çelik otokorkuluktan, beton otokorkuluğa güvenlik tehlikesi olmadan geçişin sağlanması, otokorkuluk sistemlerinde güvenliğin sürdürülebilirliği için önemlidir. Geçişin güvenli bir şekilde sağlanması için özel boyutlara sahip geçiş otokorkuluğu sistemi ile gerçek çarpışma deneyleri yapılmaktadır. 2000 kg'lık pikap taşıtın kullanıldığı gerçek çarpışma deneyinin bilgisayar simülasyonu ve geçiş otokorkuluklarının iyileştirilmesi daha önceki çalışmalarda mevcuttur. Bu çalışmada 2000 kg'lık araca göre iyileştirilmiş olan geçiş otokorkuluğu modeli, 30000 kg'lık ağır vasıta çarpmalarına karşı dayanıklı hale getirmek için geliştirilmektedir. Doğruluğu kanıtlanmış olan geçiş otokorkuluğu modeli ile 30000 kg'lık ağır vasıta modeli bilgisayar ortamında çarpıtılmaktadır. Ağır vasıta yetersiz ray yüksekliğinden ötürü bariyer üzerine çıkmaktadır. Bu geçiş otokorkuluğunun çarpma performansını arttırmak için ray yüksekliği 810 mm'den 1050'mm'ye yükseltmek istenmektedir. Bu amaçla mevcut tasarıma bir ilave ray parçası eklenmiştir. Daha sonra yapılan simülasyon sonuçlarında geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu sisteminin ağır vasıtayı güvenli bir şekilde yönlendirdiği görölmektedir. Dolayısıyla 30000 kg'lık ağır vasıtalar için geçiş otokorkuluğunun minimum 1050 mm ray yüksekliğine sahip olması önerilmektedir.

2010, 62 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Geçiş otokorkuluğu, ağır vasıta, ls-dyna, bilgisayar simülasyonu, sonlu elemanlar metodu.

ABSTRACT

HEAVY CONTAINMENT LEVEL BARRIER TRANSITIONS: DESIGN AND ANALYSIS OF A STEEL-TO-CONCRETE TRANSITION BARRIER

Providing transition between steel-to-concrete barriers is of importance from the sustainable safety point of view. To provide a safe transition full scale crash tests are performed. Previous studies presented a simulation of a crash test including 2,000 kg pickup truck impact to transition for the purpose of structural retrofit. In this study, the impact performance of a previously approved guardrail-to-bridge rail transition is evaluated using a 30000 kg heavy goods vehicle according to European EN1317 test TB71 requirements. A highly acceptable and versatile non-linear finite element code, LS-DYNA, is used for the analysis. Simulation results show that the transition fails to contain the vehicle. The vehicle overrides the transition due to insufficient rail height. To upgrade the impact performance of the transition to H4a, high containment level, an additional rail element was added to the current design to increase the rail height from 810 mm to 1050 mm. Subsequent simulation results show that the modified transition design meets the EN1317 test TB71 requirements. It is therefore recommended that the current US standard flared back guardrail-to-bridge rail transition design should have a minimum of 1050 mm rail height to satisfy European crash testing guidelines for H4a, heavy containment level transition.

2010, 62 Pages

Keywords: transition barrier; heavy vehicle, ls-dyna, computer simulation, finite element method.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	ABD Ulaştırma Türlerinde Standart Geliştirme Birliği
DGD	Dikme Gömülme Derinliği
FEMB	Sonlu Elemanlar Metoduna Uygun Modelleme Yapan Program
G4(2W)	Dikdörtgen Kesitli Kuvvetli Dikmeler, W-ray ve Takozdan Oluşan 4. Sınıf Otokorkuluk Sistemi
G4(RW)	Daire Kesitli Kuvvetli Dikmeler, W-ray ve Takozdan Oluşan 4. Sınıf Otokorkuluk Sistemi
GÇD	Gerçek Çarpışma Deneyi
LS-DYNA	Livermore Software Şirketinin Dyna Adlı Programı
NCAC	ABD Ulusal Çarpışma Analiz Merkezi
NCHRP	Amerikan Ulusal Anayol Araştırma Programı
W-ray	Otokorkuluklar da Kullanılan 2 Boğumlu Ray
NHS	Ulusal Karayolu Sistemi
FHWA	ABD'nin Karayolları ile İlgilenen Ulaştırma Yönetimi
TTI	Tekساس Ulaştırma Enstitüsü
ET-2000	Baskılanmış Bitiş Bağlantısı 2000
LSTC	Livermore Software Teknoloji Şirketi
SPC	Tek Nokta Kısıtlaması
LET	Yatay Bariyerlerin Bitiş Bağlantısı
K	Modellenmemiş Bariyerin Elastik Sertliği
A	W-rayın En Kesit Alanı
E	Çeliğin Elastik Modülü
L	Modellenmemiş W-Ray Uzunluğu
t	LS-Dyna Zaman Adımı Boyutu
n	Zaman Bütünleştirme Döngüsü Sayısı
N	Sonlu Elemanlar Modelinin Eleman Sayısı
α	Stabilitenin Ölçü Faktörü
μ	Sürtünme Katsayısı
TRAP	Deney Risk Değerlendirmesi Programı
NARD	Yol Kenar Dizaynının Sayısal Analizi

CEN	Avrupa Standardizasyon Komitesi
OIV	Sürücünün Çarpışma Hızı
ORA	Sürücünün Ridedown Hızlanması
THIV	Teorik Önden Çarpma Hızı
PHD	Dikme Çarpması Ön Yavaşlaması
ASI	İvmelendirme Şiddeti İndeksi

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. 1996–2000 yılları arası ortalama tek araç kaza istatistikleri	1
Çizelge 3.1. Yapısal yeterlilikte kriterlerin yorumlanması.....	17
Çizelge 3.2. Araçtakilerin maruz kaldığı risklerdeki kriterler.....	17
Çizelge 3.3. Aracın seyir durumu hakkındaki kriterler	18
Çizelge 4.1. Geçiş otokorkuluğunun bilgisayar simülasyonu için hazırlanan modelinde kullanılan çelik dikmeler ve takozların malzeme özellikleri.....	31
Çizelge 4.2. Geçiş otokorkuluğu modelinde kullanılan W-kiriş ray malzeme özellikleri.....	32
Çizelge 4.3. Geçiş otokorkuluğunun bilgisayar simülasyonu için hazırlanan modelinde kullanılan çelik dikmeler ve takozların malzeme özellikleri.....	46
Çizelge 4.4. Ara bariyer modelinde kullanılan W-kiriş ray malzeme özellikleri.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. 30.000 kg ağır yük taşıyan taşıt sonlu eleman modeli	12
Şekil 4.1. Geçiş otokorkuluğu boyutları	21
Şekil 4.2. Geriye doğru genişlemeli geçiş otokorkuluğu	22
Şekil 4.3. Geçiş otokorkuluğunun elemanları	24
Şekil 4.4. GÇD 404211-4'ün deney düzeneği	25
Şekil 4.5. GÇD sırasında meydana gelen olayların zamana bağlı ardışık fotoğrafları	26
Şekil 4.6. GÇD sonrasında geçiş otokorkuluğunda meydana gelen hasar	28
Şekil 4.7. SÇD 404211-4'ün bilgisayar ortamında görünümü	30
Şekil 4.8. Sanal Çarpışma Deneyi 404211-4'te meydana gelen olayların ardışık olarak gösterimi	35
Şekil 4.9. GÇD ve SÇD'nin üstten görünüş olarak karşılaştırılması	36
Şekil 4.10. GÇD ve SÇD'nin yandan görünüş olarak fotoğraflarla zamana bağlı olarak karşılaştırılması	37
Şekil 4.11. GÇD ve SÇD'nin sonrasında geçiş otokorkuluklarında meydana gelen hasar durumlarının fotoğraflarla karşılaştırılması	38
Şekil 4.12. Geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu ile sanal çarpışma deneyi düzeneği	40
Şekil 4.13. Geçiş otokorkuluğunun ilk hali ve geliştirilmiş halinin sanal çarpışma deneylerinin zamana bağlı resimlerle karşılaştırılması	41
Şekil 4.14. Genel olarak geçiş otokorkuluğu tanımlamaları	42
Şekil 4.15. 30000 kg ağır vasıta kamyonunu sonlu elemanlar modeli	44
Şekil 4.16. Geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu ve 30000 kg'lık ağır vasıttan oluşan sanal çarpışma deney düzeneği	45
Şekil 4.17. Geçiş otokorkuluğu modelinin yakın görüntüsü	45
Şekil 4.18. 810 mm yüksekliğindeki geçiş otokorkuluğuna 30 tonluk taşıtın sanal çarpma deneyinin ardışık fotoğrafları.....	49
Şekil 4.19. Tekerleğin rayın üstüne çıkmasının yakından görünüşü.....	50
Şekil 4.20. İlave ray parçalı gelişmiş 1050 mm boyunda bariyer tasarımı	51
Şekil 4.21. 1050 mm uzunluğundaki geçiş otokorkuluğunun sanal çarpışma deneyinin zamana bağlı ardışık resimleri.....	52
Şekil 4.22. 1050 mm yüksekliğe sahip geçiş otokorkuluğunda sanal	

Çarpışma deneyi sonrasında meydana gelen deformasyonlar.....53

1.GİRİŞ

Karayollarımızda meydana gelen can kayıplarının azaltılması tüm halkımızın ve özellikle trafik kazaları ile ilgilenen araştırmacıların temel amacıdır. Ülkemizde trafik kazaları, 15-35 yaşları arasındaki insanlar için ölüm sebeplerinin başında gelmekle beraber, sakat kalma oranları sıralamasında hastalık ve diğerkazalardan önce ilk sırada bulunmaktadır.

Trafik kazaları halen ülkemizdeki en önemli sağlık problemlerinden birini oluşturmakla beraber, kazaların ekonomik boyutu da inanılmaz rakamlara ulaşmaktadır. İstatistiklere göre 1970 ile 2007 yıllarını kapsayan 38 yıl içerisinde yılda toplam 8.475.210 kaza meydana gelmiştir. Bu kazalarda, toplam 2.992.459 kişi yaralanmış 204.215 kişi hayatını kaybetmiştir. Yani aynı dönem içerisinde yılda ortalama 5.374 insanımız Türkiye'deki yollarda hayatını kaybetmiştir. Bu durum çok ciddi bir problemin belirtisidir. Ayrıca, bu kazalar ekonomimize yıllık yüzlerce milyon dolarlık yük getirmektedir.

Karayollarımızda bariyer kullanımı, emniyet kemer takma mecburiyeti, yol platformunda yapılan uygun dizayn çalışmaları kat edilen milyon araç kilometresi bazında can kayıplarında bir düşüş olduğunu gösterse de, bu oran yeterli olmaktan çok uzaktır. Ayrıca, tek araçların neden olduğu trafik kazalarındaki ölümler, diğerkazalara paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. 1996-2000 yılları arasında ortalama olarak tek araçların neden olduğu kazalardaki can kaybı, tüm trafik kazalarında meydana gelen can kaybının yaklaşık % 20 sini oluşturmaktadır (Tablo 1). Bu tablodan da görüleceği gibi, tek araç kazaları içerisinde en çok can kaybına sebep olan kaza, aracın karayolunu bir sebepten dolayı terk etmesi ile meydana gelmektedir.

Çizelge1.1 1996–2000 Yılları Arası Ortalama Tek Araç Kaza İstatistikleri

KAZA ŞEKLİ	Tüm Kazalara Oranı (%)	Can Kaybı	Can Kaybı (%)
Tek araç - Sabit cisme çarpma	7	476	5
Tek araç – Devrilme	3	490	5
Tek araç – Yoldan çıkma	5	1075	11
TOPLAM	15	2,041	21

Yoldan çıkma ile meydana gelen kazalara karşı en iyi çözüm tüm araçların yol platformunda kalmalarını sağlamaktır. Fakat bu tip kazalar sürücü, taşıt, yol koşulları, hava şartları veya benzeri karmaşık değişkenlerin etkisi ile oluşmaktadır. Sebep her ne olursa olsun şu iyi bilinmelidir ki, yeterli önlemler alınmadığı takdirde tek araçların yoldan çıkmaları durumunda büyük olasılıkla sonucu çok üzücü kazalar meydana gelmeğe devam edecektir. Önemli olan bu kazalarda kayıpları mühendislik yöntemleri kullanarak minimuma indirmektir.

Karayollarının kenarlarında kullanılan otokorkuluk tabir edilen pasif güvenlik yapıları yoldan herhangi bir sebepten dolayı çıkan araçları, karayolu içerisinde tutarak yol dışındaki tehlikelere karşı korumak için tasarlanmaktadır. Otokorkuluklar ayrıca çarpan aracın enerjisini sönmüleyerek, kontrolden çıkma eğilimindeki aracın yavaşlamasını da sağlamaktadır. Günümüzde birçok değişik otokorkuluk dizaynları bulunmaktadır. Bu tezin yapılmasındaki temel amaç, esnek çelik otokorkuluklarla rijit beton otokorkuluklar arasında inşa edilen özel geçiş otokorkuluklarının araç çarpmaları durumundaki davranışını incelemektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kentlerimizin alt yapısının önemli bir parçasını karayolu ağı oluşturmaktadır. Bu ağ sayesinde şehir içerisinde bir noktadan diğerine ulaşım sağlamaktadır. Karayolunun standartlarına uygun olarak inşa edilmesi ve karayolunu çevreleyen yol kenar bölgesinin güvenli bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Böylece karayolunu herhangi bir sebeple terk eden araçların yol kenar bölgelerine girmesi durumun da kazaya sebebiyet vermemesi, yolcuların yaralanmaması için gereklidir.

Bu amaçla otokorkuluk sistemlerinin taşıtların çarpması sırasındaki performanslarını ölçen birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar gerçek çarpışma deneyleri ile yapıldığı gibi çarpışmaların bilgisayar ortamında simüle edildiği sanal çarpışma deneyleri kullanılarak yapılmaktadır. Otokorkuluk sistemleri, gerçek çarpışma deneyleri, sanal çarpışma deneyleri ile ilgili yapılan çalışmalarla bilgiler aşağıda verilmektedir.

1960 yıllardan beri, bilgisayar programları gibi analitik araçların kullanımı yol kenarı güvenliği araştırma programlarında vazgeçilmez bir bileşen haline gelmiştir. Tarihsel olarak, yol kenarı güvenliği araştırması son 45 yılda birkaç aşamadan geçmiştir. 1960'lı yıllarda yol kenarı güvenlik araştırmaları, temel mühendislik sezgileri ve ortak uygulamalar kullanılmak sureti ile başlatılmıştır.

Bu birinci aşamada, taşıtların yoldan çıkmasını veya devrilmeleri önlemek ve yolcuların yaralanma vakalarından korunması konusuna ağırlık verilmiştir. Yol kenarı emniyet sistemleri ve bariyerlerinin kullanım fikri ilk olarak bu aşamada ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, öncü gerçek çarpışma deneyleri, farklı yol kenarı güvenlik donanımlarının etkinliğini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşama 1970'leri ve 1980'li yılları kapsamaktadır. Bu aşamada ulusal bazda kabul gören çarpma testi kılavuzu kullanılmak sureti ile otokorkuluk terminalleri, çarpma tamponları gibi daha karmaşık tasarım problemleri ele alınmış ve test edilmiştir. Bu pahalı testlere bağlı olarak geniş kapsamlı özel uygulama ve saha koşullarına hitap edebilmesi için çok çeşitli donanımlar geliştirilmiştir (Ross, 1995).

Günümüzde tam kapsamlı çarpma testi ve mühendislik sezgileri halen yol kenarı güvenlik donanımı gelişimi için önemli unsurlar olma özelliklerini korumaktadır.

Fakat LS-DYNA gibi güçlü sonlu eleman programları kullanarak bilgisayar tarafından üretilen çarpma testlerinin kullanımı da yol kenarı güvenlik donanım ekipmanlarının ve analiz araştırmasının tasarım ve analiz aşamalarına olumlu yönde katkıda bulunmuştur.

Ray (1996) tarafından sonlu elemanlar yönteminin aşağıdaki gibi üç türde kullanılabilceği belirtilmiştir;

- Hali hazırda gerçekleştirilmiş gerçek çarpma testleri üzerine simülasyonların gerçekleştirilmesi: Söz konusu simülasyonların amacı, karmaşık çarpma olaylarındaki çarpma senaryosunun, donanım performansının ve mekanik parçaların deformasyonu/arızalarının anlaşılabilmesidir.

- Tam kapsamlı çarpma testi uygulamasından önce doğrulama testinin sonuçlarının tahmin etmek için simülasyonların gerçekleştirilmesi: Simülasyon sonuçları en umut verici tasarım alternatiflerinin, en kritik çarpma koşullarının ve taşıt tiplerinin maliyet etkin bir şekilde tanımlanması amacı ile kullanılmaktadır.

- Fiziksel gerçek-dünya koşullarında test edilemeyecek durumlarda donanımların performansının değerlendirilebilmesi için simülasyon yapılması.

KARLSON (2000), standart ölçülere sahip otokorkuluk dikmeleri üzerinde çalışmalarını, aracın otokorkuluğa çarpması sırasında meydana gelen tekerin dikmeye çarpma olayını, sistemi tek bir dikmeye indirgeyerek incelemiştir. Araştırmalarını gerçek çarpışma deneyleri yerine bilgisayar simülasyonlarıyla yapmıştır. Dikmeleri bilgisayar ortamında modelledikten sonra, çarpışma düzeneğini tamamlamak için 1400-kg ağırlığında ve silindir şeklinde bir çarpan modellemiştir. 150-mm x 200-mm ahşap dikme, W150x23.5 çelik dikme ve W150x13.5 çelik dikmeyi farklı çarpışma düzeneklerinde modelleyerek, 1400-kg ağırlığındaki çarpanı 32-km/s hızla çarptırıştır. Dikmeleri modellerken kırılma ihtimali olan bölgeleri ve kırılma ihtimali olmayan bölgeleri farklı materyal tanımlamaları ile modellemiştir. Bu dikmelerin her birine ait enerji absorpsiyon kapasitelerini tespit edip bunların zamana bağlı grafiklerini çalışmasında göstermektedir. Bunların yanı sıra, bilgisayar ortamında deney düzeneklerini modelledikten sonra bu yöntemleri uygulayarak yani farklı takoz derinliklerinde ve dikmelerin gövdelerine farklı sayıda delikler açarak analizler yapmıştır. Çalışmanın sonucunda; 150x200-mm ahşap dikmelerde, tekerin dikmeye çarpmasının önlendiği takoz derinliği 250-mm olmaktadır.

COON ve ark. (1999), elik ve ahşap dikmelerle dinamik çarpışma deneyleri yapmışlardır. Bu dikmeler; W150x13.5 ve W150x23.5 elik profil olanlar ve 150x200-mm am ağacından yapılan dikmelerdir. W150x23.5 elik dikmeler, dikmenin zeminden ayrılmasına göre tasarlanarak tipik çarpışma deneylerinden farklı deformatsiyonlara ulaşılmıştır.

HOLLOWAY ve ark. (1996), elik ve ahşap dikmelerin gömüldüğü zeminlerle ilgili çalışmalar yaptılar. Killi ve kumlu zeminlerin değişik su muhtevalarında dinamik çarpışma deneyleri düzenlediler. Elde ettikleri verileri bilgisayar simülasyonu da kullanarak yorumladılar.

RAY ve PATZNER (1997), eksantrik yüklü ray sonlarının (EYRS) sonlu elemanlar modelini, LS-DYNA programını kullanarak geliştirmişlerdir. Bu modelin performansı 2000-kg'lık aracın çarpıtılmasıyla llmştr. Ahşap dikmeler, bilgisayar ortamında solid (katı) elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Kırılma bölgesinin materyali, ls-dyna programında tanımlanan materyal tiplerinden 13. materyal tipi (kırılma bölgesi için elastik-plastik materyal) ile tanımlanmaktadır. Bu materyal tipinin yanında 14 integrasyon noktası olan eleman formülasyonu kullanılmıştır. Dikmenin büyük kısmı 1. materyal tipi olan elastik-plastik materyal tipi ile modellenmiştir. Böylece modelin analiz sresinin daha az olması amaçlanmıştır. Dikmenin geriye kalan kısmı 3. materyal tipi olan kinematik-isotropik elastik-plastik materyal tipi ile modellenmiştir.

PLAXİCO ve ark. (1988), ahşap dikmeli otokorkuluk sisteminin sonlu elemanlar modelini yaparak dikme-zemin etkileşimini incelemiştir. Dikme bölümlerinin modellenmesinde farklı materyal modelleri kullanılmıştır. Otokorkuluğun dikmeleri yay dizisiyle desteklenmiştir. Yaylar zemin materyali özelliklerini taşımaktadırlar. Zemini modellerken kullanılan özelliklerden i sürtünme açısı ϕ , farklı zeminlerde ve yoğunluklarda değiştirilmektedir. Bu modelde aının değeri, simülasyon sonuçlarıyla fiziksel sarkaç deneyinin sonuçları birbirine uyana kadar değiştirilmiştir. Seçilen 35 derecelik açı ile gerçeğe yaklaşılmıştır.

PLAXİCO ve ark. (2000), gerçek çarpışma deneyleri ve sonlu eleman modellerini kullanarak, G4(1W) ve G4(2W) sistemlerinin çarpışma performanslarını karşılaştırmışlardır. İlk nce G4(2W) sisteminin sonlu elemanlar modeli geliştirilerek

bu modelden elde edilen sonuçlar gerçek çarpışma deneyi ile karşılaştırılmaktadır. Çarpışma deneyi ile sonlu eleman modeli arasında güzel bir birliktelik kurulduktan sonra G4(1W) otokorkuluk sisteminin sonlu eleman modeli yapılmıştır. Daha sonra bu iki G4 otokorkuluk sistemi karşılaştırılmış ve aralarındaki benzerlikler tespit edilmeye çalışılmıştır. Her iki otokorkuluk sisteminin simülasyon sonuçları, deneylerde belirtilen koşullar ile aynı özellikleri göstermektedir. GÇD'nde görülen tekerin dikmeye takılması olayı simülasyonlarda da aynen görülmektedir.

SİCKLING VE ROSS (1987), W-Ray'a sahip güçlü dikmeli otokorkuluk sistemlerinde optimum yapı değerlerine ulaşabilmek için çalışmalar yapmışlardır. Yapı optimizasyonunun hedefi, otokorkuluk sistemini oluşturan elemanların en verimli olacağı değerleri bulmaktır. Bilgisayar simülasyonunda Guard adlı bir programdan yararlanılmıştır. Güçlü dikmeli otokorkuluk sistemlerinde incelenecek dört değişken vardır. Bunlar; dikmeler arası mesafe, W-rayın yüksekliği, dikmenin kesiti ve uzunluğu ve takoz derinliğidir. Bu değişkenlerin varyasyonları çarpışma performansını ciddi boyutlarda etkiler. Takoz derinliklerinde iki farklı boyut düşünülmüştür. Bunlar 254-mm ve 356-mm'dir. Modellenen çarpma düzeneğinde küçük araç kullanılmıştır. Guard programından elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, takoz derinliğinin 254-mm ve 356-mm olduğu durumlarda tekerin dikmeye takılması önlenmektedir.

MAK ve MENGES (1994), 2000-kg'lık aracı kullanarak yaptıkları deney ile güçlü dikmeli otokorkuluk sistemlerinin performansını yorumladılar. Aracın hızı 100km/saat ve çarpma açısı 25 derece olarak tasarlanmıştır. G4(2W) standart otokorkuluk sistemi ile G4(1S) standart otokorkuluk sistemi deney düzeneklerinde kullanılmıştır. İlk test olan G4(2W) sistemin kullanıldığı deneyde aracın ön sol tekerinin dikmeye takıldığı ve araçtan ayrıldığı gözlenmiştir. G4(1S) sisteminin performansının gözlemlendiği deney sonucunda ise ön sol tekerin dikmeye takıldığı ve bundan dolayı aracın spin attığı görülmektedir. Araç rayın sonuna geldiğinde yuvarlanmaktadır. Burada otokorkuluk yüksekliği 866-mm ve dikmenin kesiti 150-mm x 200-mm olarak modellenmiştir.

STOUT ve ark. (1988), dikme-zemin etkileşimini üzerinde çalışmalar yaptılar ve bu etkileşimin çarpma olaylarını etkilediğini gösterdiler. 2134-mm dikme uzunluğuna sahip iki çeşit otokorkuluk sisteminin performansını test etmeyi

amaçlamışlardır. Dikme uzunluğunu değiştirerek 4 adet gerçek çarpışma deneyi yapmışlardır.

IVEY ve ark. (1986), W-ray ve thrie-ray'dan oluşan otokorkuluk sistemlerinin performansını gerçek çarpışma deneyi ile ölçmüşlerdir. Bu deneyde otokorkuluk sistemine okul otobüsü yani ağır bir vasıta çarptırılmıştır. Bu rapor, aynı zamanda thrie-ray'a sahip otokorkuluklarda yapılan düzenlemeleri ve gelişmeleri anlatmaktadır. 9081-kg'lık otobüs ile iki adet çarpışma deneyi yapılmaktadır. Bunlardan birinde, 13.5 derece çarpma açısı ve 89.5 km/saat çarpma hızı ve diğerinde 15 derece çarpma açısı ve 96 km/saat çarpma hızı kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda 90 derecelik bir dönme açısı ve rayın arka kısmında penetrasyon olayı gözlenmiştir. Her iki sonuç kabul edilemez bulunmuştur. Aracı güvenli bir şekilde tekrar yola yöneltmesi gereken otokorkuluk sisteminde önemli dizayn değişiklikleri yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Bu değişiklikler, otokorkuluğun yüksekliğinin artırılması, takoz derinliğinin 360-mm'ye çıkarılması, dikme gömülme derinliğinin artırılması ve thrie-ray'ın değiştirilmesidir. Otokorkuluk sistemi üzerinde bu değişiklikler yapıldıktan sonra, 9081-kg'lık otobüs, 89.8-km/saat hız ve 15 derecelik açı ile tekrar deney yapılmıştır. Sonuçta kabul edilebilir çarpışma değerlerine ulaşılmıştır. Bu deneyler daha önce 1032-kg ağırlığında Honda Civic marka otomobil ile 100.6-km/saat hız ve 15 derece açı 99.1-km/saat ve 18 derece açı durumlarında daha önce yapılmıştı. Bu deneylerin her ikisinde de tekerin dikmeye takılmadığı gözlenmiş ve tatmin edilen sonuçlar elde edilmiştir. Son deneyde, 14515-kg'lık şehiriçi otobüsü, 60-km/saat ve 14 derece çarpma açısı ile geliştirilmiş otokorkuluk sistemine çarptırılarak performansının aracı tekrar yönlendirip yönlendiremeyeceği test edilmiştir. Otobüste meydana gelen bütün reaksiyonlar ideal olarak düşünülmüştür. Sonuç olarak söylenebilir ki; takoz derinliği 360-mm'ye çıkarıldığında, tekerin dikmeye takılmadığı gözlenmektedir.

MAK ve MENGES (1995), thrie-ray'a sahip iki çeşit otokorkuluk sisteminin çarpışma deneyini gerçekleştirdiler. Kullanılan 2000-kg'lık aracın her iki deneyde hızı 100-km/saat ve çarpışma açısı 25 derece olarak seçilmiştir. Geliştirilmiş thrie-ray'a sahip otokorkuluk sisteminde, aracın ön sol tekerinin dikmeye takılarak, tekerin monte edildiği yerden koptuğu gözlenmiştir. Thrie-ray'a sahip G9 otokorkuluk sisteminin kullanıldığı deney, tekerin dikmeye takılması ve aracın yuvarlanmasıyla sonuçlanmıştır.

MAK ve ALBERSON (1994), tarafından yapılan gerçek çarpışma deneyinde, 2000-kg'lık pikap araç w-ray ve zayıf dikmelerden oluşan G2 otokorkuluk sistemine arpıtırılmıştır. Aracın hızı 71.0 km/saat ve çarpma açısı 26.1 derece olarak seçilmiştir. Bu halde iken tekerin dikmeye çarptığı ve takıldığı gözlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Elemanların Tanıtımı

3. 1.1.1. Otokorkuluklar

Otokorkuluklar, esnek sistemler, yarı-rijit sistemler ve rijit sistemler olarak dayanımlarına göre üç ana bölümde incelenmektedir.

Esnek Sistemler

- **3'lü Kenar Kablolü Sistem** : Bu sistem zayıf dikmeler ve bu dikmelere monte edilen çelik kablolardan oluşmaktadır. Kabloların yerden yüksekliği 690-mm ile 760-mm arasında değişmektedir.

- **W-ray** : Rayın yerden yüksekliği 760-mm olan bu sistem w-ray ve zayıf dikmelerden oluşmaktadır. Sistemin aracı yol içerisinde tutabilmesi için otokorkuluk sisteminin arkasında 2-4 m'lik düz bir alan olması gerekmektedir.

- **Üçlü-ray**: Sistem üç boğumlu bir ray ve zayıf dikmelerden oluşmaktadır. Rayın yerden yüksekliği 840-mm'dir. 2000-kg'lık bir aracın tekrar yola yönlendirilmesi için, otokorkuluk arkasında engellerden arınmış 1,9-m boş alan gerekmektedir.

Yarı Rijit Sistemler

- **Kutu Kirişli Sistemler**: 800-1800-kg arasındaki araçları tekrar yola yönlendirme kapasitesine sahiptir. Aracın tekrar yola yönlendirilmesi için otokorkuluk arkasında en az 1.5-m'lik bir boş alan gerekmektedir. Bu sistem kutu şeklindeki raylar ve zayıf dikmelerden oluşmaktadır.

- **Takoz-W-Ray Sistemler**: Bu çeşit otokorkuluklar günümüzde en çok kullanılan sistemlerdir. W-ray, güçlü dikme ve takozlardan oluşmaktadır. Bu sistemlerde dikmelerin direnci fazla olduğundan, teker dikmeye çarptığında tekerin araca monte edildiği noktada çok büyük kuvvetler oluşmaktadır. Araçta ivmelenmeler meydana gelmekte ve araç içindekiler için tehlikeli savrulmalar oluşmaktadır. Bu davranışların önlenmesi için, sisteme takozlar yerleştirilmiştir.

- **Takoz-Üçlü-Ray Sistemler** : Bu sistemler üçlü ray, güçlü dikme ve takozlardan oluşmaktadır. Otokorkuluğun yerden yüksekliği 900-mm'dir.

- **Geliştirilmiş Üçlü-Ray:** Takoz, üçlü-ray sistemlerinin ağır vasıtalar düşünülerek geliştirilmiştir şeklindedir. Burada takozlar köşelerinden kesilerek üçgen bir hale getirilmiştir. Rayın yerden yüksekliği 860-mm'dir.

- **Tekrar Kullanılabilen Sistemler:** Kazaların çok fazla olduğu bölgelerde bu sistemler çok kullanışlı olmaktadır. Çarpışma sırasında arkaya doğru deplasman yapabilen ve aracı yola doğru yönlendirildikten sonra eski pozisyonlarını alan bu sistemlerde rayın yüksekliği 840-mm'dir. Bu çeşit otokorkuluklar, boru şeklindeki elemanlarla desteklenmiş üçlü-raylar, güçlü ağaç dikmeler, çelik barlar ve kablolardan oluşmaktadır.

- **Çelik Destekli Ağaç Raylar:** Bu sistemler, çelik levhalarla desteklenmiş ahşap raylar ve ahşap dikmelerden oluşmaktadır. Bu şekildeki otokorkuluklar estetik bir özellik taşımaktadır. Bu yüzden daha çok A.B.D.'de ulusal park yollarında kullanılmaktadır.

Rijit Sistemler

- **Beton Güvenlik Sistemleri:** Dizayn yüksekliği 810-mm olan bu otokorkuluk sistemleri, ağır vasıtaların tekrar yola yönlendirilmesinde başarılı performans göstermektedir. Betondan imal edilen bu sistemlerin genelinde donatılar güçlendirmek için kullanılmaktadır.

- **Taş Duvar Sistemler:** Bu otokorkuluk sistemleri, betonarme olarak inşa edilen elemanların, kireçli harç kullanılarak taşla kaplanmasıyla oluşturulur. Yüksekliği 690-mm olan bu tip otokorkuluklarda, estetik görünüm de ön plandadır.

3.1.1.2 Taşıtlar

2000 kg'lık Pikap

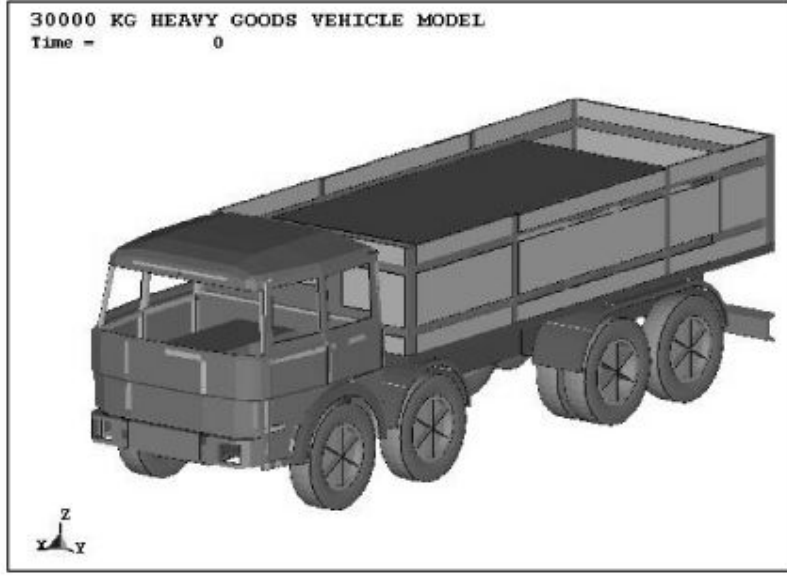
Pikap kamyonet olarak geçen taşıt 2000 kg ağırlığındadır. C2500 olarak adlandırılmaktadır. Bu kamyonet taşıtın modelleri National Crash Analysis Center'dan elde edilebilmektedir.

30000 kg'lık Ağır Taşıt

Çalışmada kullanılan ağır yük taşıyan taşıt modeli 13.457 eleman ve 12.072 düğümden oluşmuştur. 30 tonluk ağır malzeme yüklü taşıt modelinde toplam 49 farklı parça, 48 farklı özellikli takım, 54 farklı malzeme, 148 briket veya katı malzeme, 118 kiriş parçası ve 13.175 parça, 16 ayrı parça, on adet ek parçası kullanılmıştır. Akslar kiriş parçaları ile modellenmiştir. Kiriş parçalarını doğru bir şekilde modellemek için çapraz- kesit entegrasyon formülasyonu Belytschko-Schwer borulu kiriş kullanılmıştır. Model aynı zamanda süspansiyon sistemini temsil etmesi için bazı farklı parçaları da içermektedir. Ayrı parçalar, bu parçalar basit doğrusal tampon olarak hareket etmesi için düzenlenebileceklerinden süspansiyon sistemini saha iyi temsil etmesi için takılmıştır. Süspansiyon sistemi yarı-elips yaprak yay biçiminde modellenmiştir. Tekerlekle dönüş ek yeri ile dönüşlerinin doğru bir şekilde modellenmesi için akslara bağlanmıştır.

Şasinin ana parçası 4 veya gerektiğinde geometri ile 3-düğümlü elemanlarla yapılmıştır. Daha önceden bilinen doğruluğundan ötürü element formülasyonu için Belytschko-Tsay teorisi kullanılmıştır. Motor ve yük gibi bazı katı parçalar tek entegrasyon noktası ile 8-düğümlü sert elementler kullanılarak modellenmiştir. Bu parçalar çarpışma sırasında belirgin bir şekilde deforme olmadıklarından ve bununla beraber tek noktalı entegrasyon tahmini tam entegrasyonla karşılaştırıldığında genel hesaplama maliyetlerinde büyük oranda tasarruf sağladığı ispatlanmıştır. Şasi kirişleri, kargo bölümünün yanal kirişleri, kabin yapısı, lastikler, motor bloğu ve diğer yapısal elementler de modellenmiştir. Bu çalışmada kullanılan ağır vasıta modelinin bir resmi Şekil 6'da gösterilmektedir. Taşıt modelleri ile ilgili diğer detaylar Atahan ve diğerleri (2005) tarafından hazırlanan taşıt modelinden bulunabilir.

Şekil 3.1 30.000 kg ağır yük taşıyan taşıt sonlu eleman modeli



3.1.1.3. LS-Dyna Programı

LS-DYNA, gerçek yaşamdaki kompleks olayların bilgisayar simülasyonun yapılabilirdiği, sonlu elemanlar metodunun kullanıldığı nonlinear dinamik analiz yapabilen bir programdır.

Uygulama Alanları

- Çarpma güvenliği
- Araçtakilerin güvenliği
- Metal formasyonu
- Metal kesimi
- Biyomedikal
- Patlamalar
- Akışkan-yapı etkileşimi
- Deprem mühendisliği

Analiz Kapasitesinden Örnekler

- Nonlinear dinamik analizi
- Rijit kütleinin dinamik analizi
- Quasi-statik simülasyonlar
- Normal modlar

- Lineer statik analiz

- Termal analiz
- Akışkan analizi
- Kırılma analizi
- Çatlak yayılma analizi
- Gerçek-zaman akustik analizi
- Dizayn optimizasyonu
- Tam sıçrama analizi
- Yapı-ısı etkileşimi

Malzeme Modellerinden Örnekler

- Metaller
- Plastikler
- Cam
- Köpükler
- Fabrikler
- Kompozitler
- Betonlar ve katılar
- Patlayıcılar
- Petekler
- Akışkanlar
- Kullanıcın materyal tanımları

Kullanılan Elemanlardan Örnekler

- Katılar
- 8 düğüm noktalı kabuk elemanlar
- 4 düğüm noktalı kabuk elemanlar
- Kirişler
- Kaynaklar
- Kablolar

LS-DYNA'nın Kullanımı

LS-DYNA programında analiz yapabilmek için data dosyasının hazırlanması gerekmektedir. Data dosyası LS-DYNA'nın yardımcı programı olan FEMB kullanılarak hazırlanabilmektedir. FEMB programında, ortam 3 boyutlu olarak görsel bir şekilde modellenir ve LS-DYNA'nın kabul edeceği data dosyası çıktısı alınır. Bu çıktı LS-DYNA'ya yönlendirilerek analiz yapılması sağlanmaktadır.

Analiz sonuçları LS-DYNA'nın diğer bir yardımcı programı olan Ls-Post tarafından takip edilebilmektedir. Ls-Post ile analiz sonuçlarının simülasyonu ve her türlü sayısal sonuç görsel olarak alınabilmektedir.

Örnek Data Dosyası

```
*KEYWORD
*TITLE
DENEME
*CONTROL_TERMINATION
.000E+00 0 .000 .000 .000
*PART
PART PID = 1 PART NAME :P0000001
$ PID SID MID EOSID HGID GRAV ADPOPT TMID
1 1 1
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$ MID RO E PR SIGY ETAN EPPF TDEL
1 7.830E-09 2.070E+05 2.800E-01 2.100E+02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
$ C P LCSS LCSR VP
.000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00 .000E+00
$ EPS1 EPS2 EPS3 EPS4 EPS5 EPS6 EPS7 EPS8
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00
$ ES1 ES2 ES3 ES4 ES5 ES6 ES7 ES8
0.000E+00 0.000E+00 3.090E-02 4.090E-02 5.000E-02 1.510E-01 3.010E-01 7.010E-
01
*SECTION_SHELL
$ SID ELFORM SHRF NIP PROPT QR/IRID ICOMP SETYP
1 2 .100E+01 2 .000E+00 .000E+00 0 1
$ T1 T2 T3 T4 NLOC
.000E+00 .100E+01 .000E+00 .100E+01 .000E+00
*NODE
$ NODE X Y Z TC RC
1 -.395222500E+04 .141136100E+04 .460956400E+03
2 -.394661700E+04 .135982000E+04 .462007300E+03
3 -.393785800E+04 .130893000E+04 .462657200E+03
4 -.392830700E+04 .125796900E+04 .463214200E+03
5 -.391875500E+04 .120700200E+04 .463771300E+03
*ELEMENT_SOLID
$ EID PID N1 N2 N3 N4 N5 N6 N7 N8
7000 8 7032 7033 7000 7036 7045 7046 7050 7049
7001 8 7033 7034 7037 7000 7046 7047 7051 7050
7002 8 7034 7035 7038 7037 7047 7048 7052 7051
7003 8 7036 7000 7040 7039 7049 7050 7054 7053
7004 8 7000 7037 7041 7040 7050 7051 7055 7054
7005 8 7037 7038 7042 7041 7051 7052 7056 7055
*ELEMENT_SHELL
```

\$	EID	PID	N1	N2	N3	N4
	325	1	39	362	363	363
	326	1	370	222	371	371
	327	1	99	177	65	65
	328	1	353	278	246	246
	329	1	322	323	326	326
	330	1	326	325	322	322

*END

Örnek Data Dosyası Hakkında Açıklamalar

Yukarıda gösterilen data dosyası analiz yapılmaya hazır bir data dosyası değildir. Data dosyasının formatını göstermek ve önemli bazı komutlar hakkında bilgi verilmesi için hazırlanmıştır.

*TITLE : Dosyanın ismi

*CONTROL_TERMINATION : Analizin yapılacağı süre

*PART : Modellemede kullanılan bölümlerin tanımlanması

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY : Partlara malzeme tanımlanması

*SECTION_SHELL : Kesit özelliklerinin tanımlanması

*NODE : Düğüm noktalarının tanımlanması

*ELEMENT_SOLID : Katı elemanların tanımlanması

*ELEMENT_SHELL : Kabuk elemanların tanımlanması

*END : Programın sonlandırılması

Tezde Kullanılan Malzeme Tanımlamaları

*MAT_ELASTIC: LS-DYNA'da tanımlanan 1. materyal tipi olan bu malzeme izotropik elastik materyal özelliği göstermektedir. Kirişler, kabuk elemanlar ve katı elemanlar için tanımlanabilmektedir.

*MAT_ISOTROPIC_ELASTIC_FAILURE: 13 numaralı materyal olarak tanımlanan bu malzeme, verilen bir gerilme değerine göre kırılan non-iterative plastik özelliği göstermektedir.

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY: 24 numaralı materyal tipi olarak tanımlanmaktadır. Elasto-plastik materyal özelliği gösteren bu malzeme ile keyfi gerilme-gerinim eğrisi girilerek malzeme özellikleri verilebilmektedir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Gerçek Çarpışma Deneyleri

3.2.1.1. Gerçek Çarpışma Deneylerinin (GÇD) Tanıtımı

Karayollarında kullanılan otokorkulukların yeterliliğini deney ortamında inceleyen çalışmalardır. Deney ortamı için hazırlanan karayolu bölümü, yeterli uzunlukta otokorkuluk örnekleri, taşıtlar ve çeşitli analiz ölçümlerinin yapan deney düzeneklerinden oluşmaktadır. GÇD'lerin amacı karayollarında kullanılan otokorkulukların güvenlik yeterliliklerini sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesidir.

3.2.1.2. GÇD'lerin Gereklilikleri

Gerçek Çarpışma Deneylerinin yorumlanmasına etki eden faktörler aşağıda sıralanmaktadır.

- 1- Yapısal yeterlilik
- 2- Araçtakilerin maruz kaldığı riskler
- 3- Aracın seyir durumu

Yapısal Yeterlilik :

Genel olarak, yapısal yeterlilik kriterler arasında en önemli faktör olarak düşünülür. Otokorkuluk sisteminin güvenlik yönünden başarılı olabilmesi için Çizelge 1’de gösterilen A, B ve C özelliklerini sağlaması gerekir. Bu tabloya göre güvenlik özelliğinin memnun edici düzeyde olması için aracın tekrar yola yönlendirilmesi veya aracın kontrollü bir şekilde durdurulması gerekmektedir.

Çizelge 3.1. Yapısal yeterlilikte kriterlerin yorumlanması

Faktörler	Kriterlerin Yorumlanması
Yapısal Yeterlilik	A Deney sistemi, aracı yol içerisinde tutmalı ve tekrar yönlendirmeli. Araç otokorkuluk sisteminin arkasına geçmemeli, otokorkuluğun altından veya üstünden girmemelidir. Bunun yanında yatay deplasman kabul edilebilir düzeyde olmalıdır
	B Deney aletleri daha önceden tahmin edildiği gibi kırılma, akma ve kopma davranışlarını göstermeli
	C Testin kabul edilebilmesi için araç yönlendirilmeli veya kontrollü bir şekilde deforme olmalı veya durdurulmalıdır.

Araçtakilerin Maruz Kaldığı Yaralanma Riski:

Çarpışma sırasında araçtakilerin yaralanma riski, yollardaki güvenlik elemanlarının boyutlarının, çarpan aracın çarpışma değerini karşılamasına bağlıdır. Çarpışma dayanımı, yapısal bütünlük, dolgu maddesi, sistemin tutulma şekilleri gibi özellikler çarpışma davranışlarını belirlediğinden dolayı araçtakilerin yaralanma riski bunlara da bağlıdır. Bununla birlikte, farklı çarpışma dayanımları için güvenli olma özelliğine ulaşmak için farklı boyutlar kullanılabilir. Gerçek çarpışma deneylerinin araçtakilerin maruz kaldığı riskler açısından güvenli olması için Çizelge 2’de yer alan D, E, F, G, H, I, J kriterlerine uygun olmalıdır.

Çizelge 3.2. Araçtakilerin maruz kaldığı risklerdeki kriterler

Faktörler	Kriterlerin Yorumlanması			
Araç İçindekilerin Taşıdığı Riskler	D	Deneysel aletlerden ayrılan parçalar, kırıklar araçta oturanların bulunduğu bölüme girmemelidir. Bunun yanında bu parçalar trafikteki diğer araçlar ve yayalar içinde tehlike oluşturmamalıdır.		
	E	Ayrılan elemanlar, kırılan parçalar, sürücünün görüş alanını engellememeli ve aracın kontrolünü kaybetmesine sebep olmamalıdır.		
	F	Lokal eksenler etrafındaki dönmeler kabul edilebilir düzeyde olmalı, yani aracın dik kalması sağlanmalıdır.		
	G	Aracın çarpışma sırasında ve sonrasında dik kalması tercih edilmelidir.		
	H	Araçtakilerin çarpışma hızları aşağıdaki gibi olmalıdır.		
		Araçtakilerin çarpışma hız limitleri (m/sn)		
			Tercih edilen	Maksimum
		Uzunlamasına ve Yanal	9	12
		Yanal	3	5
	I	Araçtakilerin maruz kaldığı ivme aşağıdaki gibi olmalıdır.		
		Araçtakilerin maruz kaldığı yavaşlama ivme limitleri (g)		
			Tercih edilen	Maksimum
		Uzunlamasına ve Yanal	15	20
	J	Araç içerisine yerleştirilen mankenin özellikleri		

Aracın Seyir Durumu:

Aracın çarpışma deneyi süresince yaptığı hareketlerle ilgili kriterler Çizelge 3'te gösterilmektedir. Aracın çarpışma sırasındaki seyrinin kabul edilebilir olması için K, L, M, N kriterlerini sağlaması gerekmektedir.

Çizelge 3.3 Aracın seyir durumu hakkındaki kriterler

Faktörler	Kriterlerin Yorumlanması	
Aracın Seyir Durumu	K	Çarpışma sonrasında aracın yan şeride geçmemesi gerekmektedir.

	L	Araç içindekilerin uzunlamasına hızı 12m/sn'yi, uzunlamasına ivmelenmesi ise 20g'i geçmemelidir.
	M	Aracın deneydeki otokorkuluk sisteminden ayrılma açısı, çarpma açısının %60'ından küçük olmalıdır.
	N	Aracın, çarpma süresince otokorkuluk arkasındaki boş alandaki seyri makul düzeyde olmalıdır.

Çarpışma deneylerinde, otokorkuluk performansının yeterli bulunması için; çarpışma süresince meydana gelen davranışlar, bahsedilen 'yapısal yeterlilik, araç içindekilerin taşıdığı risk ve aracın çarpışma süresindeki seyri' faktörleri için geçerli olan ve A'dan N'ye kadar sıralanan kriterlerin hepsine uygun olmalıdır.

3.2.2 Sanal Çarpışma Deneyleri

GÇD'lerinin paket programlar yardımıyla bilgisayar ortamında modellenerek dinamik analizinin yapıldığı deneylerdir. İlk önce GÇD'lerinin aynısı modellenerek deney sırasında meydana gelen olaylar canlandırılmaya çalışılmaktadır. Sanal Çarpışma Deneylerinde (SÇD) GÇD'lerin aynısı simule edilerek, SÇD'de kullanılan tanımlamaların doğruluğu kontrol edilmektedir. Böylece SÇD'deki modeller doğrulandıktan sonra, modeller üzerinde değişiklikler yapılarak GDC gerekmeden çok fazla sayıda otokorkuluk deneyleri yapılabilmektedir. Buda bize düşük maliyetlerde araştırma yapma imkanı sunmaktadır. Bunun yanı sıra SÇD'lerle en son elde edilen gelişmelerin GÇD'ler ile kontrol edilmesi gerekmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

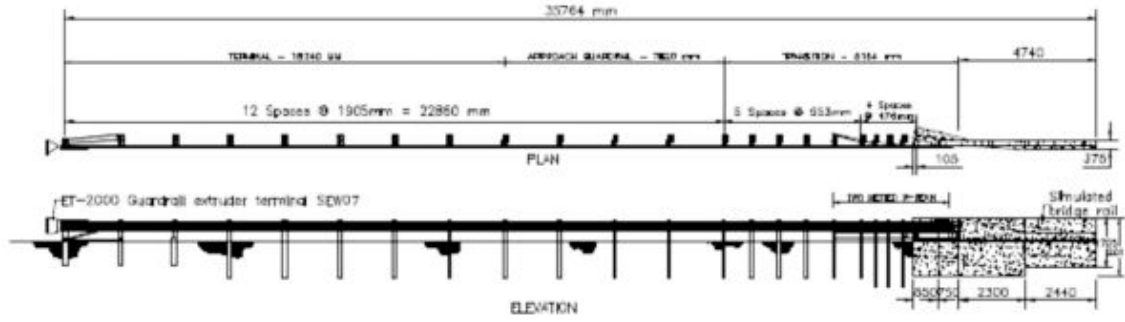
Araştırma bulgularının ilk kısmında tezin amacının odak noktasında bulunan gerçek çarpışma deneyi (GÇD) 404211-4 detaylı olarak incelenmektedir. Daha sonra GÇD 404211-4'ün sanal ortamda modellenmesi ve sorunların giderilmesi için geçiş otokorkuluğunda yapılan gelişmeler dikkate alınmaktadır. Böylece tezin esas konusu olan geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu ile 30000 kg'lık ağır vasıtanın sanal ortamda çarpışma deneyi yapılmaktadır. Bu deney sonucunda görülen istenmeyen durumların giderilmesi için geçiş otokorkuluğunun yeniden tasarımı yapılmakta ve iyileştirilen geçiş otokorkuluğu ile tekrar 30000 kg'lık ağır vasıtanın sanal çarpma deneyi yapılmaktadır.

Geçiş otokorkuluklarının yapısını incelediğimizde, farklı yanal sıklıklı iki ardışık boylamasına bariyer bağlandığında, bu iki bariyer arasındaki özel bir koruma kısmının yapılması emniyet açısından gerekli bir hal aldığını görmekteyiz. Bir taşıt esnek köprü-yaklaşmalı bariyere yüksek hız ve açılı olarak çarptığında bariyer yanal olarak yeterince uzağa doğru bükülmekte bu şekilde taşıtın ön kısmı sert köprü rayının uç kısmına çarpmaktadır. Bu ciddi yaralanmalara neden olacak şekilde taşıtın yolcular için büyük oranda ivme düşümlerini ve kuvvetlerini oluşturmaktadır. Bu nedenle, daha sıkı bir bariyer kısmı esnek ve sert bariyerler arasında yerleştirilmektedir. Bu ara bariyerin sıklığı taşıtın rijit köprü rayının uç kısmına dokunmasını önleyecek şekilde köprü rayına doğru kademeli olarak artmaktadır. Bu sıklıkla direk boşluklarının kısaltılması ve bariyer kalınlığının artırılması ile elde edilmektedir.

Diğer tüm yol kenarı güvenlik donanımları gibi geçiş bariyerlerinin performansı çarpma test kılavuzlarına göre değerlendirilir. Çarpma test prosedürleri ve donanım kabul edilebilirliği A.B.D. NCHRP Rapor No. 350'den (Ross ve diğerleri, 1993)'de ve Avrupa'da EN1317 (Avrupa Standardizasyon Komitesi, 1998)'den tespit edilmektedir. Bu kılavuzlara göre bir çarpma testi sırasında, ara bariyer yapıları önceden belirlenmiş bir hız ve açıda taşıtları yakalamalı ve bunları uygun bir açı ile hafif bir şekilde tekrar yönlendirmelidir. Bununla birlikte, aktarım kısmı ile taşıt stabilitesinin uyumu test süresi boyunca korunmalıdır.

4.1. Gerçek Çarpışma Deneyi 404211-4'ün İncelenmesi

Gerçek çarpışma deneyi 404211-4, çelik bariyer sisteminden betonarme bariyer sistemine geçiş yerlerinde yapılan geçiş otokorkuluklarının özelliklerinin güvenlik sınırlarına uygun olup olmadığını test etmek amacıyla yapılmış bir deneydir. Bu deney, geçiş otokorkuluğu sistemi, 2000 kg'lık pikat kamyonet taşıt ve gerekli deney düzeneklerinden oluşmaktadır. Geçiş otokorkuluğunun boyutları Şekil 4.1'de, ön ve arka fotoğrafları Şekil 4.2'de ve elemanlarının fotoğrafları Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.1. Geçiş otokorkuluğu boyutları

Gerçek çarpışma deneyinde oluşturulan otokorkuluk incelendiğinde, beton bariyerden oluşan ilk kısım 2440 mm uzunluğunda olup 940 mm'lik temel uzunluğuna sahiptir. Winwall olarak isimlendirilen beton bariyerin geriye doğru bükülmüş kanat kısmının uzunluğu 3900 (2300+750+850) mm'dir ve 2300 mm'lik temele sahiptir. Beton bariyerin kanat duvarının trafik akım yönüne bakan yüzü 2300 mm mesafeden itibaren emniyet biçiminden dikey yüz şekline dönüştürülmüştür. Dikey yüzü 750 mm daha uzamış ve daha sonra 850 mm boylamasına bir mesafe boyunca 215 mm geri çekilmiştir. Dikey duvarın yüksekliği 810 mm'dir. 1.905 mm aralıklı W150 x 14 çelik dikme üzerine monteli 2.67 mm (12-ga) kalınlıklı W-ray kirişi vardır. W-ray ile dikme arasında 150 mm en x 200 mm derinlik x 356 mm yükseklik boyutlarına sahip olan takozlar yerleştirilmektedir. Montaj yüksekliği rayın tepe kısmından 810 mm'dir.

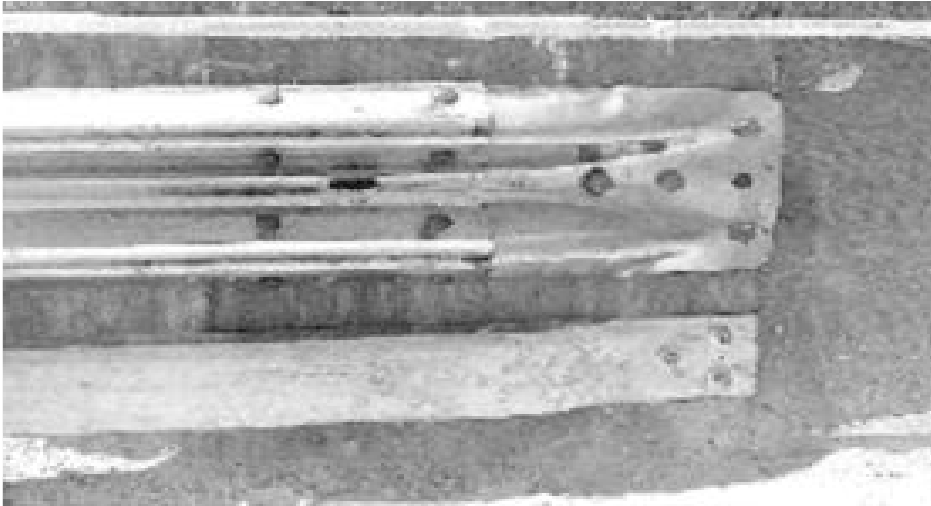


a) ön görünüş



b) arka görünüş

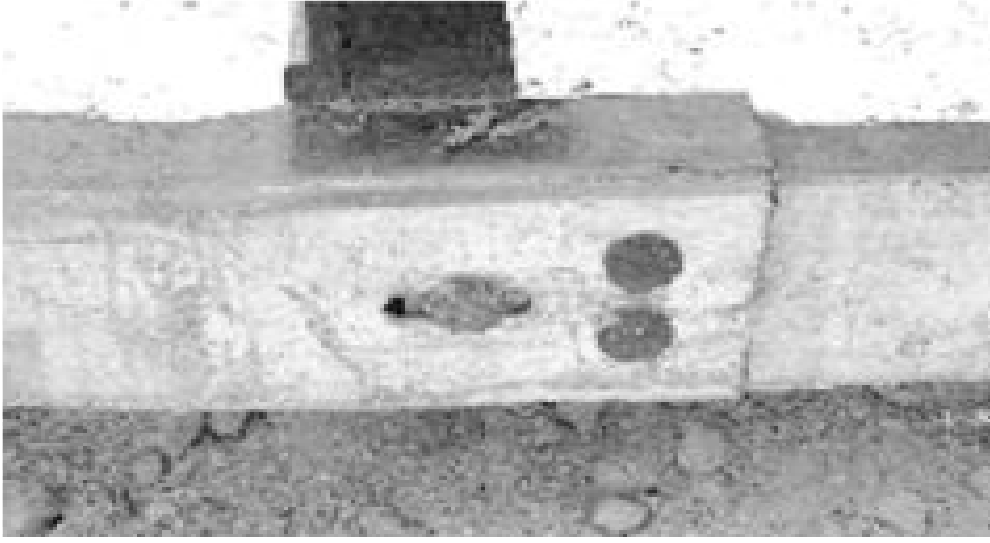
Şekil 4.2. Geriye doğru genişlemeli geçiş otokorkuluğu



a)



b)



c)

Şekil 4.3 Geçiş otokorkuluğunun elemanları

Betonarme bariyerin uç kısmından başlayan geçiş bariyeri, W150 x 14 çelik dikmeler üzerine monteli 2.67 mm kalınlıkta (12-ga) ve 3810 mm boyunda W-raydan oluşmaktadır. Ayrıca dikmeler ile W-ray arasında 150 mm en x 200 mm derinlik x 356 mm boyutlarında ağaç takozlar bulunmaktadır. Birleşim kısmına doğru 2.67 mm kalınlıkta iç içe (12-ga) üç kirişli kısım kullanılmış ve 2.67 mm (12-ga) standart terminal konektörle beton köprü rayına bağlanmıştır. 168.3 mm çaplı 250 mm uzunlukta bir çelik ara borusu, W-ray ile geriye doğru genişlemeli köprü bariyeri arasına yerleştirilmiştir. Ara kısımdaki beton köprü bariyerine komşu olan ilk dört dikme arasına 476 mm boşluk verilmiştir. Aynı kısımda bulunan ilk üç direk W200x19x2290 kesitine sahip olup yer altına 1.605 mm gömülü vaziyettedir. Rub-ray C152x12.2 kesitine sahiptir ve eğik plakadan imal edilmiştir. İlk üç dikmede konik geçme ağaç takozlar kullanılmış ve 4. direkte ise blok kullanılmamıştır ve Rub-ray geriye doğru eğilmekte ve 5. dikmenin saha kısmında sonlanmaktadır. Her direk için 610 mm çukur açılmıştır.

Bu özel geçiş otokorkuluğu tasarımı hakkında ilave detaylar Buth ve diğerleri (1998) tarafından hazırlanan test raporunda bulunabilir. W-ray, direkler ve bağlantılar da dahil olmak üzere ara bariyer resimleri Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Yukarıda detaylı şekilde anlatılan geçiş otokorkuluğu ile 2000 kg'lık pikap diye adlandırılan kamyonet t¼r¼ taşıttan oluşan deney d¼zeneęi Şekil 4.4'te g¼r¼lmektedir.



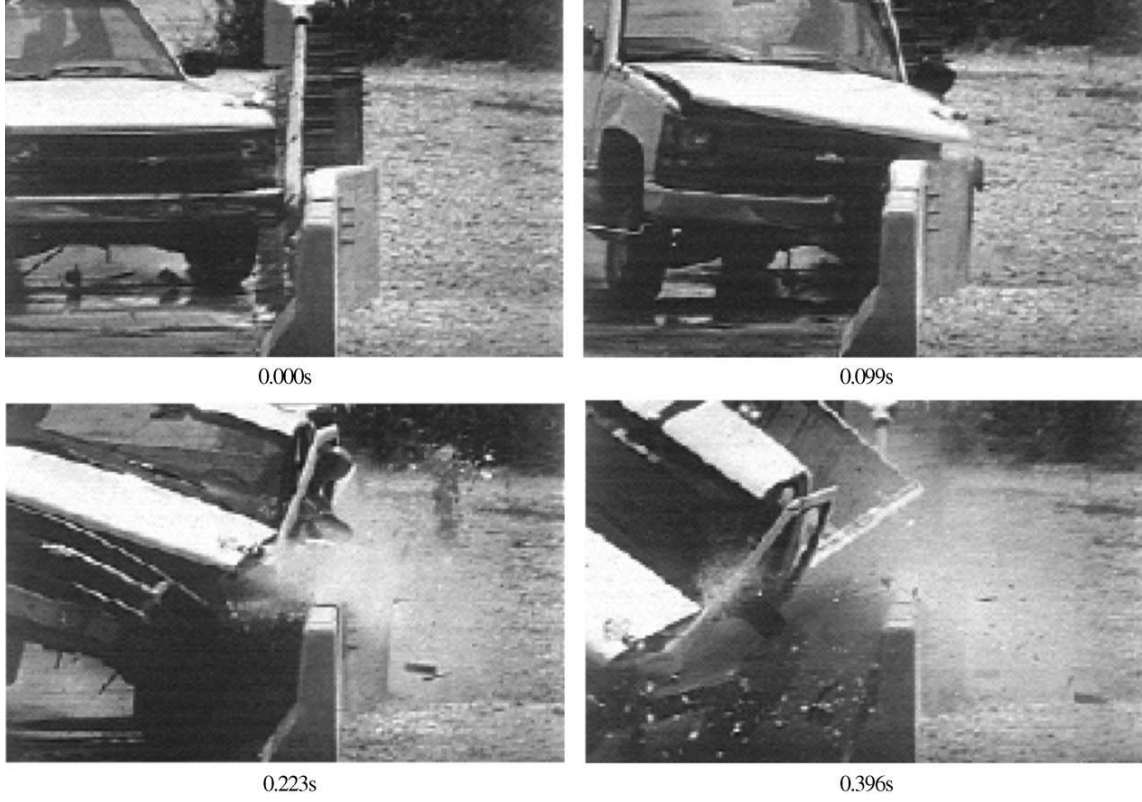
a) ¼n g¼r¼n¼ř



b) arka g¼r¼n¼ř

Şekil 4.4. GD 404211-4'¼n deney d¼zeneęi

Deney düzeneği hazırlandıktan, 2000 kg'lık pikap taşıt geçiş otokorkuluk sistemine çarpıtılmaktadır. Çarpma sırasında meydana gelen olayların zamana bağlı fotoğrafları Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5. GÇD sırasında meydana gelen olayların zamana bağlı ardışık fotoğrafları

GÇD sonrasında görülmektedir ki, geçiş otokorkuluğu 2000 kg'lık taşıtı sınırlandırabilmekte ve tekrar yönlendirebilmektedir. Deney donanımlarında orta derecede hasar meydana gelmektedir. Gerçek çarpışma deneyi 404211-4 yapıldıktan geçiş otokorkuluğunda meydana gelen hasarlar farklı yönlerden Şekil 4.6'da fotoğraf olarak verilmektedir. Deney sırasında meydana gelen olayların büyük bölümü, şartnamelere uyarınca, taşıt geçiş otokorkuluğundan ayrılırken aşırı derecede başağı dönme hareketi yaptığı görülmektedir. Bu durumdan dolayı gerçek çarpışma deneyi 404211-4'te kullanılan geçiş otokorkuluğunun tasarımının NCHRP Rapor 350'ye uymadığı görülmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 4.6. GÇD sonrasında geçiş otokorkuluğunda meydana gelen hasar

4.2. Sanal arpışma Deneyi 404211-4'ün Oluşturulması

Geçiş otokorkuluklarının geliştirilmesi amacıyla iyileştirme çalışması yapmak için tekrar GÇD'lerinin oluşturulması ciddi maliyet gerektiren zor işlemlerdir. Bu zorluklarla karşılaşmamak için GÇD'lerin sonlu elemanlar metodu kullanılarak bilgisayar ortamında modellenmesi (sanal çarpışma deneyi) yapılarak çözüme gidilmektedir. Sanal çarpışma deneyleri (SÇD) çok sayıda değişikliğin kısa sürede ve düşük maliyetlerde yapılması imkânı elde edilmektedir.

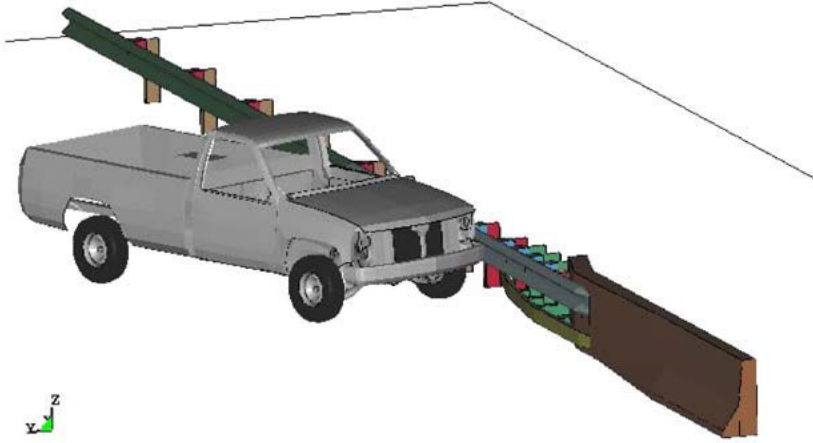
Güvenilir ve geniş kullanımlı bir paket program olan Ls-dyna, doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodunu kullanan bir analiz programıdır. Ls-dyna ve alt programları kullanılarak otokorkuluk sistemlerinin ve diğer elemanların modelleri oluşturulmaktadır.

İlk önce otokorkuluk sistemi GÇD'nde olduğu gibi modellenmektedir. Yani geçiş otokorkuluğunun elemanları olan betonarme bariyer kısmı, takoz kısımları, çelik dikmeler, w-ray, rub-ray ve çelik borular malzeme özelliklerine uygun olarak modellenmektedir. Daha sonra 2000 kg'lık taşıt modeli otokorkuluk modeline çarptırılarak SÇD oluşturulmaktadır. SÇD 404211-4 için hazırlanan bilgisayar modelleri Şekil 4.7'de görüldüğü SÇD 404211-4'ün düzeneği bilgisayar ortamında elde edilmektedir.

Geçiş Otokorkuluğu Modeli

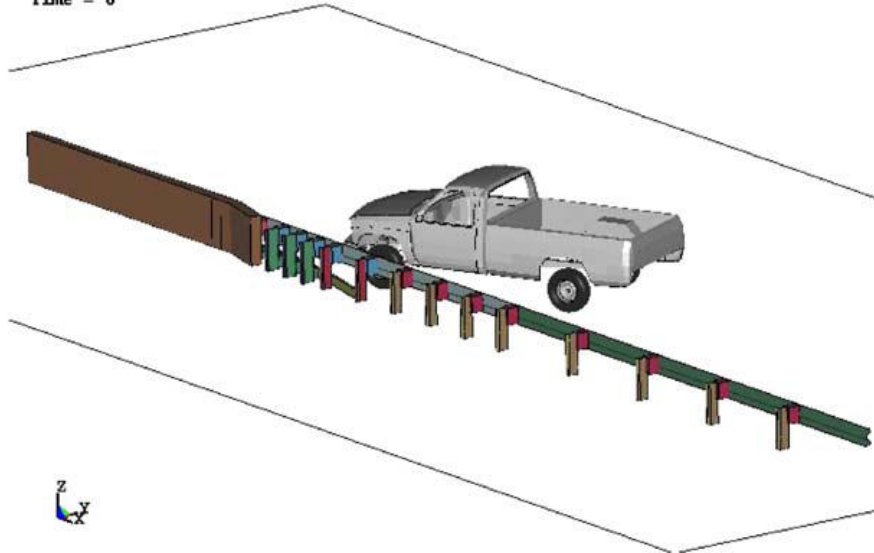
Gerçek çarpışma deneyinde kullanılan geçiş otokorkuluğu aynı boyutlara ve özelliklere sahip olarak bilgisayar ortamında modellenmektedir. Bu amaçla, geçiş otokorkuluğunun elemanları olan betonarme bariyer kısmı, takoz kısımları, çelik dikmeler, w-ray, rub-ray ve çelik borular gerçek çarpışma deneyindeki sonuçları elde edecek şekilde malzeme özelliklerine uygun olarak modellenmektedir. Oluşturulan bilgisayar modellerinde kullanılan malzeme özellikleri tablolarda gösterilmektedir. Çizelge 4.1'de çelik dikmeler ve takozların Ls-dyna programında modellenmesi sırasında kullanılan malzeme özellikleri yer almaktadır. Çizelge 4.2'de SÇD'nin elemanlarından olan raylar için kullanılan malzeme özellikleri belirtilmektedir. Bunların yanı sıra zemini modellemek için sipping'ler, bağlantıları sağlamak için rijit link'ler kullanılmaktadır.

VERTICAL FLARED BACK BRIDGE RAIL-TO-GUARDRAIL TRANSITION MODEL
Time = 0



a) ön görünüş

VERTICAL FLARED BACK BRIDGE RAIL-TO-GUARDRAIL TRANSITION MODEL
Time = 0



b) arka görünüş

Şekil 4.7. SÇD 404211-4'ün bilgisayar ortamında görünümü

Çizelge 4.1. Geçiş otokorkuluğunun bilgisayar simülasyonu için hazırlanan modelinde kullanılan çelik dikmeler ve takozların malzeme özellikleri

<i>Çelik dikme özellikleri</i>	<i>LS-DYNA girdisi</i>
Malzeme tipi	kaybolabilir parçalı doğrusal plastik malzeme (Tip 24)
Eleman tipi	4- düğümlü kabuk (sabit kalınlık)
Elastiklik modu (MPa)	200.000
Akma Gerilmesi (MPa)	336.8
Yoğunluk (t/mm ³)	7.85E -09
Poisson oranı	0.3
Arızalı plastik deformasyonu	Yok
Etkin plastik deformasyonu	0.000 0.026 0.045 0.108 0.203 0.254 0.277 0.300
Gerçek gerilim (MPa)	336.8 337.1 401.2 490.9 55.2 604.6 657.7 677.4
<u>Takoz özellikleri</u>	
Malzeme tipi	Elastik (Tip 1)
Element tipi	8- düğümlü (1 nokta uyumlu)
Elastiklik modu (Mpa)	11,000
Yoğunluk (t/mm ³)	6.10E-08
Poisson oranı	0.3

Çizelge 4.2 Geçiş otokorkuluğu modelinde kullanılan W-kiriş ray malzeme özellikleri

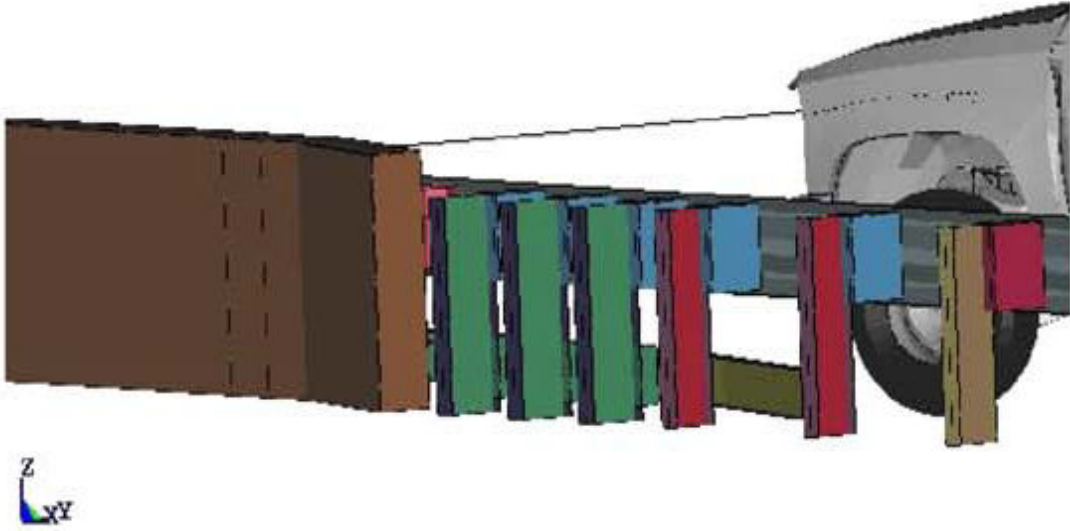
<i>Çelik W-kirişi ray özellikleri</i>	<i>LS-DYNA girdisi</i>
Malzeme tipi	kaybolabilir parçalı doğru plastik malzeme (Tip24)
Element tipi	4-düğümlü gövde (sabit kalınlık)
Elastiklik modu (MPa)	200,000
Akma Gerilmesi (MPa)	450
Yoğunluk (t/mm ³)	7.85E-09
Poisson oranı	0.3
Arızalı plastik deformasyonu	0.22
Etkin plastik deformasyonu	0.000 0.025 0.049 0.072 0.095 0.140 0.182 0.750
Gerçek gerilim (MPa)	450.0 508.0 560.0 591.0 613.0 643.0 668.0 840.0
<i><u>Beton köprü ray özellikleri</u></i>	
Malzeme tipi	Sert (Tip 20)
Element tipi	8- düğümlü sert (1 noktalı uyum)
Elastiklik modu (MPa)	11.000
Yoğunluk (t/mm ³)	6.10E-08
Poisson oranı	0.3

2000 kg'lık Pikap Taşıtın Sanal Ortamda Modeli

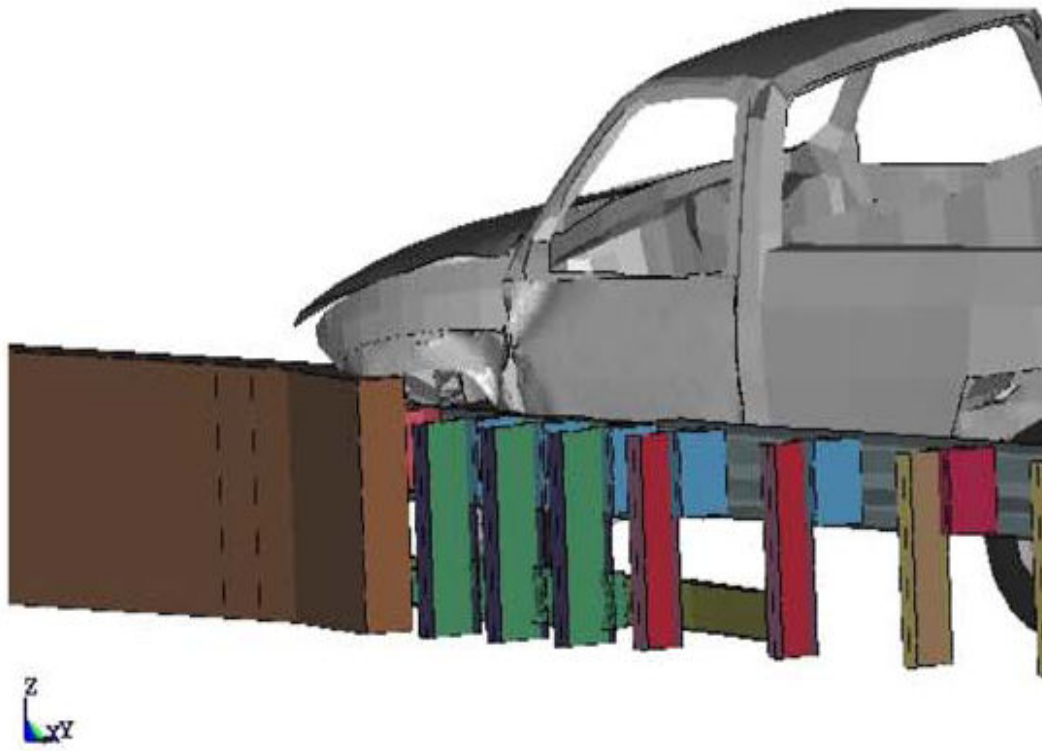
Bu aracın bilgisayar ortamındaki modeli National Crash Analysis Center (NCAC)'dan elde edilmektedir. C-2500'ün 8 versiyonunun değiştirilmiş halinin bilgisayar modelidir. Bu araç modeli çoklu çarpma dataları kullanılarak geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Aracın ön ve arka suspansiyonları, yönlendirme sistemi, işletme mili, motor bloğu, tekerler ve diğer önemli parçalar NCAC'nin test programlarında detaylandırılmıştır. Son zamanlardaki taşıtlar için yapılan sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında (Zauk ve ark., 1996).

Bu çalışmada, taşıt modeli üzerinde bazı değişiklikler yapılmaktadır. Ön ve arka kısımlarda taşıtın geçiş otokorkuluğuna çarptığı yerlerde tekrar mesh yapılmaktadır. Böylece büyük deformasyonların meydana geldiği yerlerde daha doğru sonuçlara ulaşılabilmektedir. Aynı taşıtla geçiş otokorkuluğu arasında oluşması muhtemel gerçek dışı penetrasyonlar engellenmektedir. Bu değişiklikler aracın mekanik düzenini bozmayacak küçük değişikliklerdir.

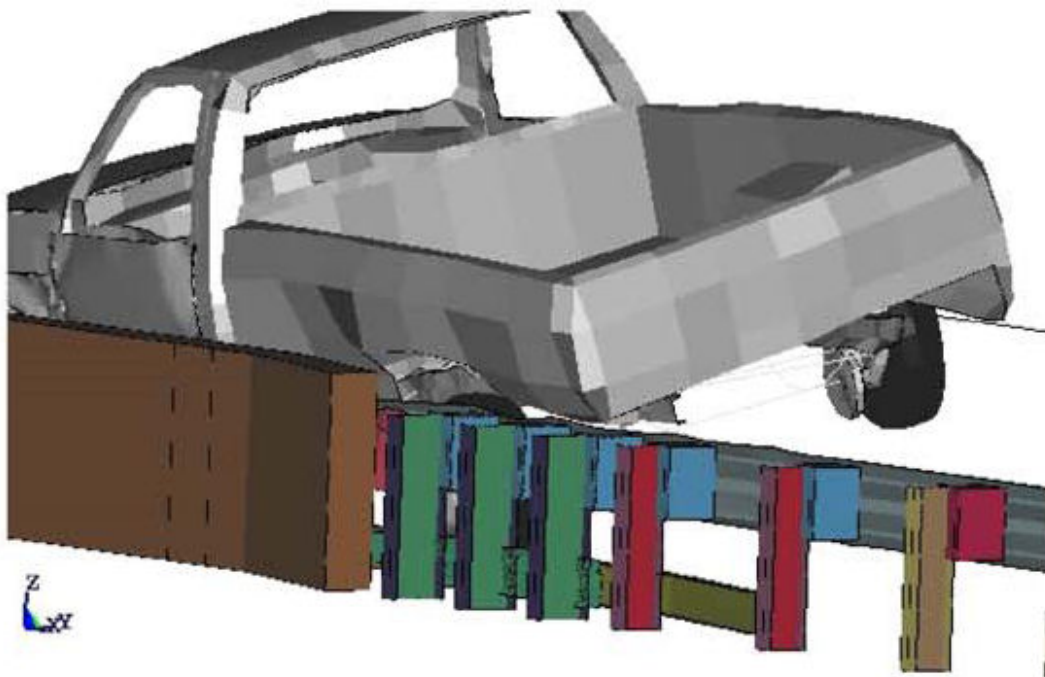
Sanal çarpışma deneyi 404211-4'te deney sırasında meydana gelen olayların fotoğraflar Şekil 4,8'de ardışık olarak verilmektedir. Burada da gerçek çarpışma deneyinde olduğu gibi özelliklerin büyük kısmı şartnamelere uymaktadır. Fakat taşıtın geçiş otokorkuluğu sisteminden ayrılırken meydana gelen baş aşağı dönme açısı şartnamelere uymamaktadır.



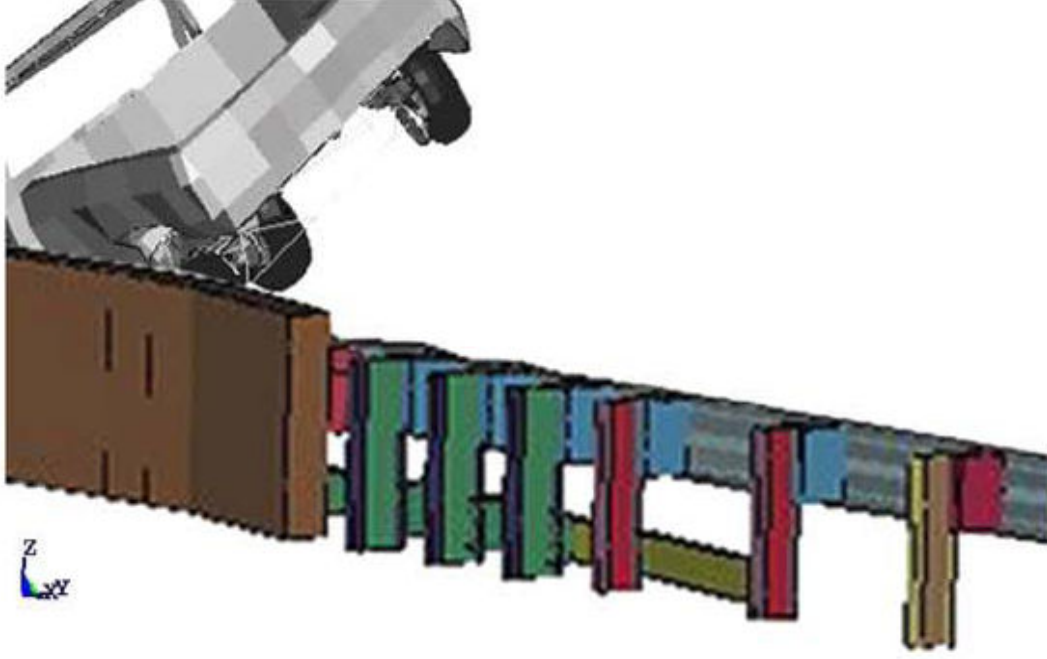
a)



b)



c)

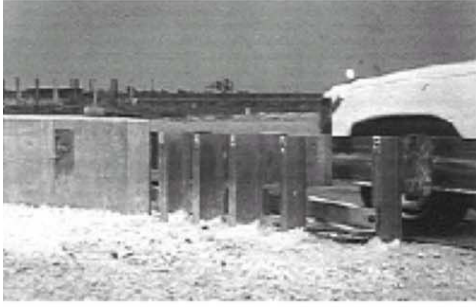


d)

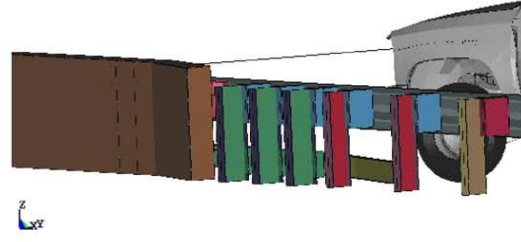
Şekil 4.8. Sanal Çarpışma Deneyi 404211-4'te meydana gelen olayların ardışık olarak gösterimi

Gerçek ve Sanal Çarpışma Deneylerinin Karşılaştırılması

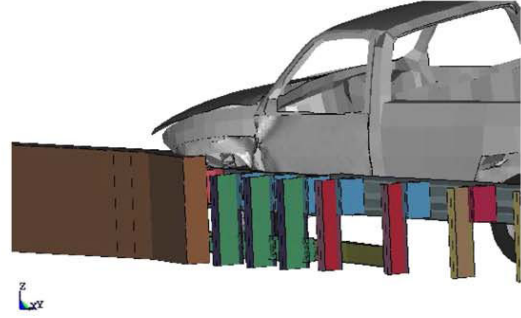
GÇD ve SÇD 404211-4'ü karşılaştırdığımızda, SÇD ile GÇD'nin hemen hemen aynı sonuçlarını elde ettiğimizi görmekteyiz. Şartnameye uyan özellikler aynı olduğu gibi, Şartnameye uymayan istemediğimiz durumda aynen gerçekleşmektedir. Böylece bilgisayar ortamında yaptığımız geçiş otokorkuluğu sisteminin doğruluğu kanıtlanmış olmaktadır. Şekil 4.9'da GÇD ve SÇD'nin üstten görünüm ile karşılaştırılması, Şekil 4.10'da yandan görünüm ile karşılaştırılması yer almaktadır. Bunun yanısıra Şekil 4.11'de deney sonrası geçiş otokorkuluğunda meydana gelen hasarların karşılaştırması yapılmaktadır.



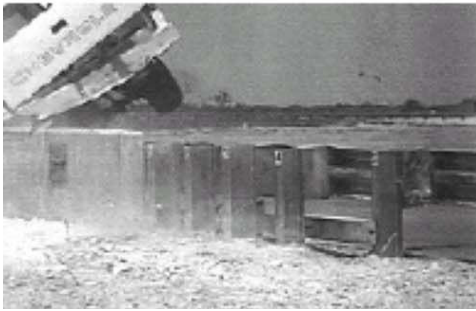
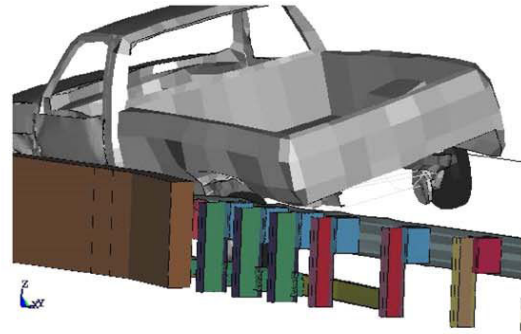
0.000s



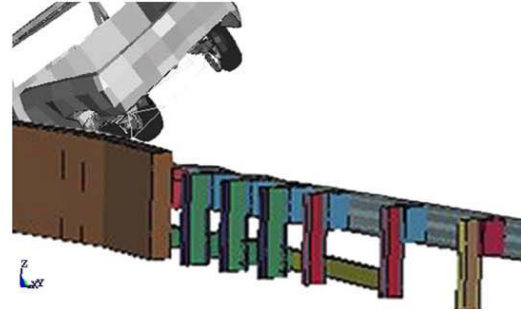
0.099s



0.223s



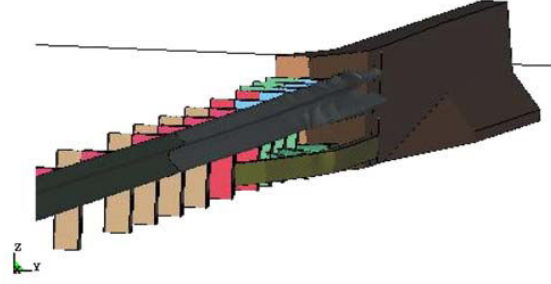
0.396s



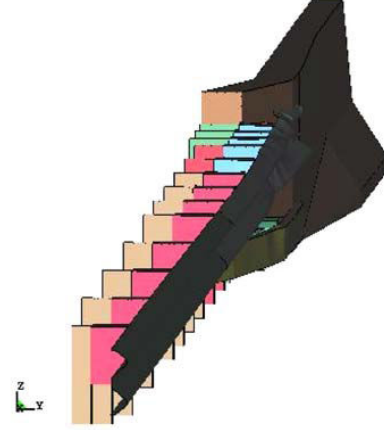
Şekil 4.10. GÇD



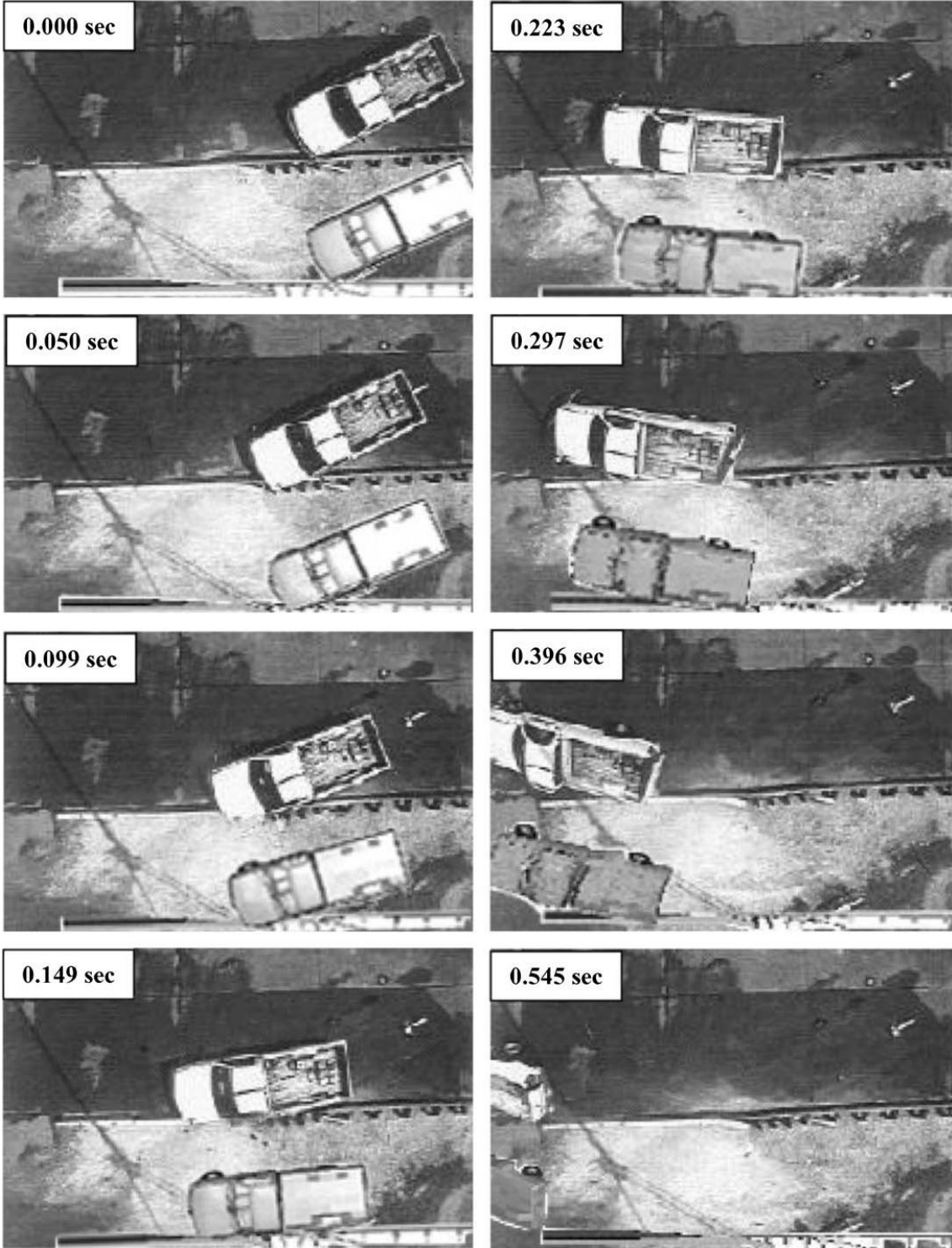
VERTICAL FLARED BACK TRANSITION DAMAGE



VERTICAL FLARED BACK TRANSITION DAMAGE



Şekil 4.11. GÇD ve SÇD'nin sonrasında geçiş otokorkuluklarında meydana gelen hasar durumlarının fotoğraflarla karşılaştırılması



Şekil 4.9. GÇD ve SÇD'nin üstten görünüş olarak karşılaştırılması

4.3. SÇD 404211-4'ün 2000 kg'lık Taşıta Göre İyileştirilmesi

Bu bölümde, bir önceki bölümde bilgisayarda ortamında doğruluğu belirlenmiş modellerin iyileştirilmesi yapılmaktadır. Önceki bölümde, GÇD 404211-4'ün bilgisayar simülasyonu Ls-dyna programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece GÇD'lerinde meydana gelen istenmeyen durumların aynısı bilgisayar simülasyonunda da meydana gelmektedir.

Amacımız ilk olarak 2000 kg'lık pikap taşıt kullanılarak gerçekleştirilen GÇD'nin sanal ortamda iyileştirmesini yani istenilmeyen durumların ortadan kaldırılmasını sağlamaktır. SÇD'de otokorkuluk sistemini iyileştirip 2000 kg'lık taşıttın çarpması ile meydana gelen olumsuz durumlar giderildikten sonra, geliştirilmiş otokorkuluk sistemi ve 30000 kg'lık ağır taşıt kullanılarak tekrar SÇD gerçekleştirilmektedir.

Daha sonra bu tezin esas konusu olan 30000 kg'lık ağır taşıttın geliştirilmiş otokorkuluk sistemine çarpmasıyla meydana gelen olumsuz durumları gidermek için otokorkuluk sisteminde yeniden düzenlemeler yapılmaktadır.

Doğrulan SÇD deneyi beklendiği gibi GÇD'ne benzer olarak, daha önce ifade edilen otokorkuluk gerekliliklerine uymayan özellikler barındırmaktadır. Bu olumsuz durumları gidermek amacıyla geçiş otokorkuluğu sistemi, w-ray yerine üçlü-ray konularak değiştirilmektedir. Geliştirilen geçiş otokorkuluğu sistemi ve 2000 kg'lık taşıttan oluşan sanal çarpışma deneyi düzeneğinin farklı yönlerden görünümünü içeren fotoğraflar Şekil 12'de görülmektedir.

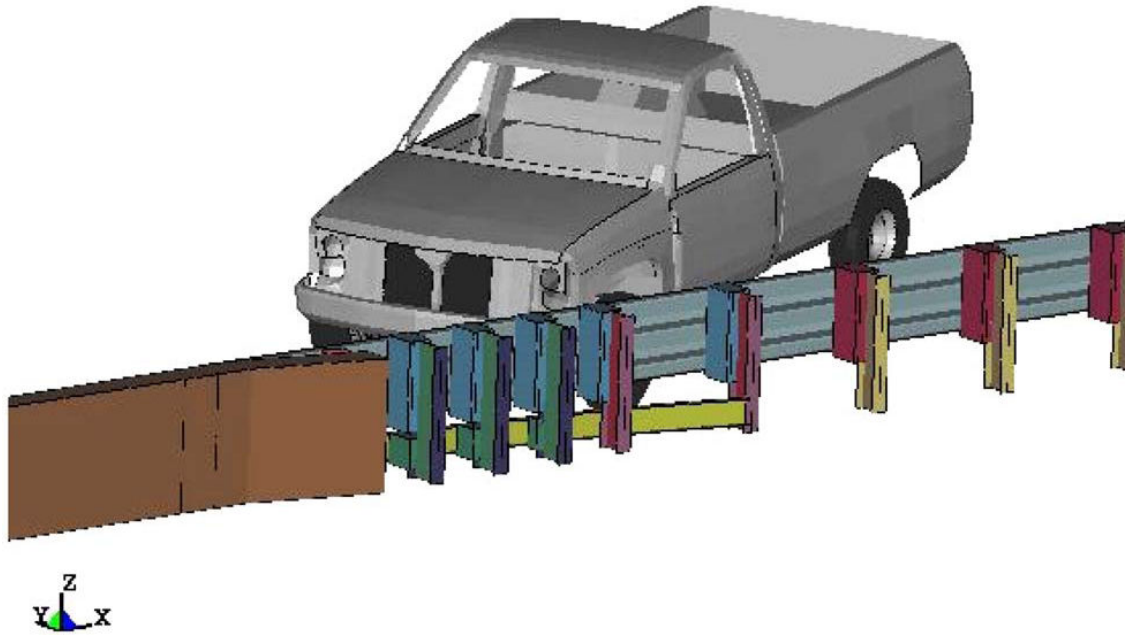
Geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu ve 2000 kg'lık taşıt modelinin bulunduğu sanal çarpışma deneyinin sonucunda bulunan gayet memnun edici sonuçlar içermektedir. Özellikle daha deneyde bulunmuş olan baş aşağı dönme açısının fazlalığı bu deney ile giderilmektedir. Böylece yeni geliştirdiğimiz geçiş otokorkuluğu ile otokorkuluk NCHRP Rapor 350'nin sahip olduğu güvenlik standartlarına uygun sonuçlara ulaşılmaktadır. Şekil 4.12'de iki sanal çarpışma deneyi zamana bağlı olarak fotoğraflarla karşılaştırılmaktadır.

IMPROVED TRANSITION MODEL - THRIE BEAM
Time = 0



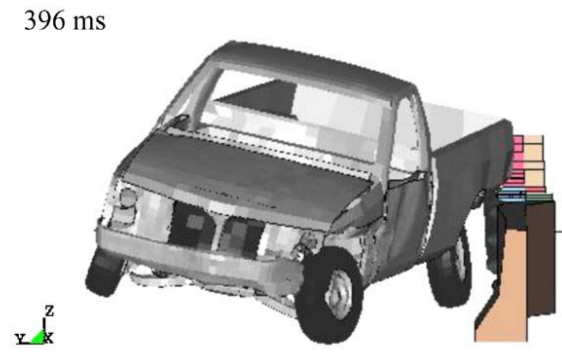
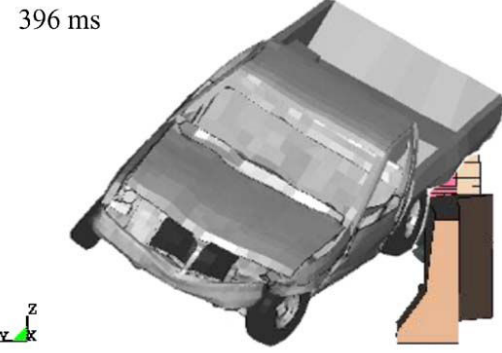
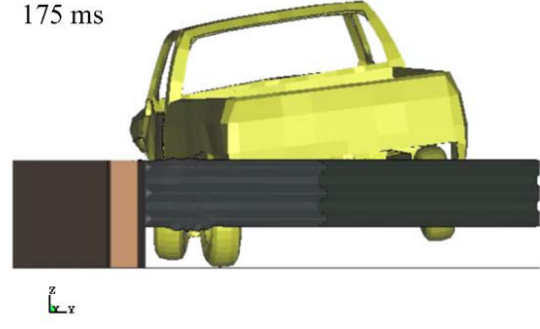
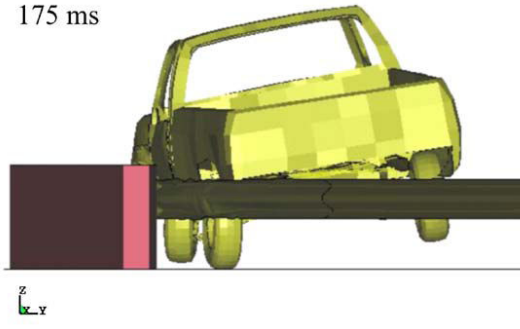
a) ön görünüş

IMPROVED TRANSITION MODEL - THRIE BEAM
Time = 0



b) arka görünüş

Şekil 4.12. Geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu ile sanal çarpışma deneyi düzeneği



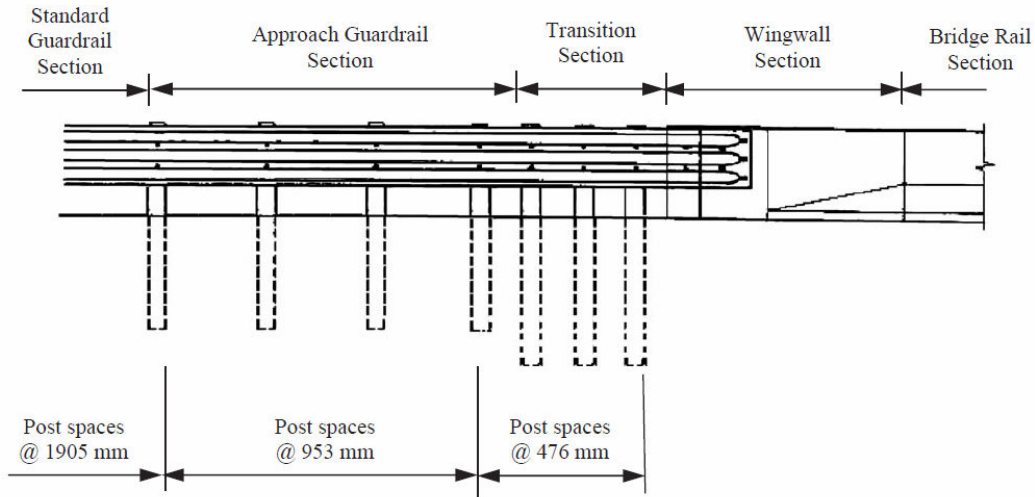
Şekil 4.13. Geçiş otokorkuluğunun ilk hali ve geliştirilmiş halinin sanal çarpışma deneylerinin zamana bağlı resimlerle karşılaştırılması

4.4. Geliştirilmiş Geçiş Otokorkuluğunun 30000 kg'lık Taşıta Göre Tasarımı

Bu konuda 2000 kg'lık taşıta göre geliştirilen geçiş otokorkuluğunun, 30000 kg'lık ağır vasıta modeli ile yapılan sanal çarpışma deneyinde performansı ölçülmektedir. Daha sonra geçiş otokorkuluğunda ağır vasıtalara uygun olacak düzenlemeler yapılarak, tekrar sanal çarpışma deneyleri analiz edilmektedir. Bu tezin amacı olan ağır vasıtalara uygun geçiş otokorkuluğu dizaynı bu konuda yapılmaktadır. Daha önceki konularda olduğu gibi sanal çarpışma deneyleri için sonlu elemanlar metodunu kullanan doğrusal olmayan dinamik analiz programı Ls-dyna kullanılmaktadır.

4.4.1. 30000 kg'lık Taşıt ile SÇD oluşturulması

Geliştirilmiş geçiş otokorkuluğunun, 30000kg'lık ağır vasıta ile sanal çarpma testi performansını değerlendirmek için detaylı bir sonlu eleman simülasyon çalışması gerçekleştirilmektedir. Simülasyon çalışması ve kullanılan sonlu eleman modelleri hakkında detaylar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir. Atahan ve Cansız tarafından önceki çalışmada anlatıldığı gibi (2005) geçiş otokorkuluğu modeli oluşturması için çok büyük çaba harcamışlardır. Şekil 4.14'te gösterildiği gibi, genel olarak geçiş otokorkuluğu modelleri standart otokorkuluk, geçiş bölgesine yaklaşma bölümü, geçiş bölümü, kanat duvarı ve beton köprü bariyer kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 4.14. Genel olarak geçiş otokorkuluğu tanımlamaları

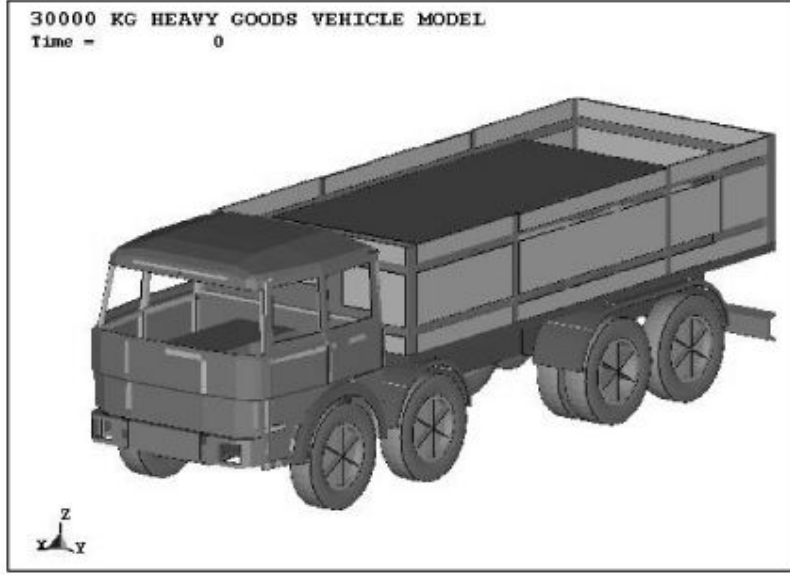
30.000 kg'lık ağır vasıta taşıtın sanal modeli

Bu çalışmada Guido Bonin tarafında hazırlanan ve ağır vasıta olarak ifade edilen büyük kamyonları temsil edecek 30000 kg'lık taşıt simülasyon modeli kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ağır yük taşıyan taşıt modeli 13.457 eleman ve 12.072 düğümden oluşmuştur. 30 tonluk ağır malzeme yüklü taşıt modelinde toplam 49 farklı parça, 48 farklı özellikli takım, 54 farklı malzeme, 148 briket veya katı malzeme, 118 kiriş parçası ve 13175 parça, 16 ayrı parça, on adet ek parçası kullanılmıştır. Akslar kiriş parçaları ile modellenmiştir. Kiriş parçalarını doğru bir şekilde modellemek için çapraz- kesit entegrasyon formülasyonlu Belytschko-Schwer borulu kiriş kullanılmıştır.

Model aynı zamanda süspansiyon sistemini temsil etmesi için bazı farklı parçaları da içermektedir. Ayrı parçalar, bu parçalar basit doğrusal tampon olarak hareket etmesi için düzenlenebildiklerinden süspansiyon sistemini daha iyi temsil etmesi için takılmıştır. Süspansiyon sistemi yarı-elips yaprak yay biçiminde modellenmiştir. Tekerlekler dönüş ek yeri ile dönüşlerinin doğru bir şekilde modellenmesi için akslara bağlanmıştır.

Şasinin ana parçası 4 veya gerektiğinde geometri ile 3 düğümlü elemanlarla yapılmıştır. Daha önceden bilinen doğruluğundan ötürü element formülasyonu için Belytschko-Tsay teorisi kullanılmıştır. Motor ve yük gibi bazı katı parçalar tek entegrasyon noktası ile 8-düğümlü rijit elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Bu parçalar çarpışma sırasında belirgin bir şekilde deforme olmadıklarından ve bununla beraber tek noktalı entegrasyon tahmini tam entegrasyonla karşılaştırıldığında genel hesaplama maliyetlerinde büyük oranda tasarruf sağladığı görülmektedir.

Şasi kirişleri, kargo bölümünün yanal kirişleri, kabin yapısı, lastikler, motor bloğu ve diğer yapısal elemanlar da modellenmiştir. Bu çalışmada kullanılan ağır vasıta modelinin bir resmi Şekil 4.15'te gösterilmektedir. Taşıt modelleri ile ilgili diğer detaylar Atahan ve ark. (2005) tarafından hazırlanan taşıt modelinden bulunabilir.

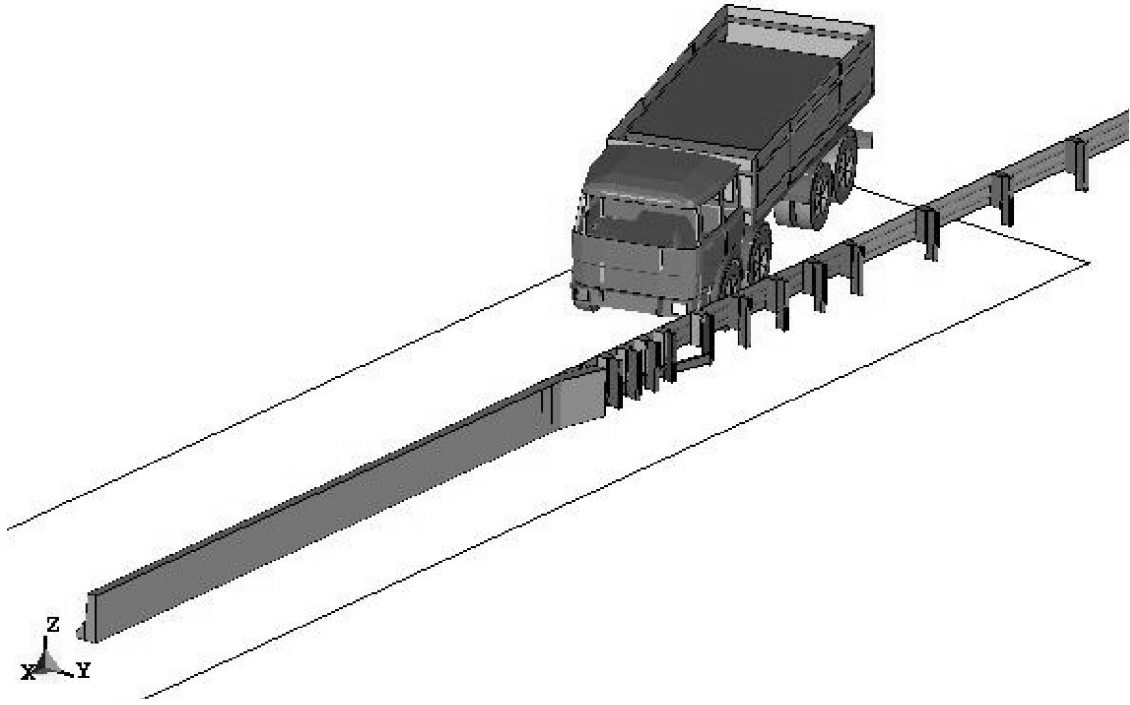


Şekil 4.15. 30000 kg ağır vasıta kamyonunu sonlu elemanlar modeli

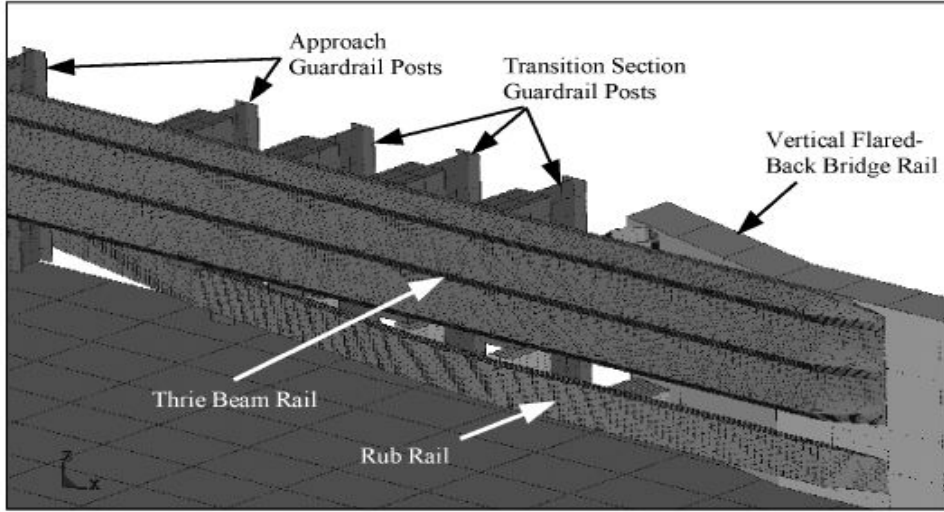
Geliştirilmiş geçiş otokorkuluğunun sanal modeli

Daha önceki konularda anlatıldığı gibi GÇD 404211-4'te kullanılan geçiş otokorkuluğu 2000 kg'lık pikap taşıta göre geliştirilmiştir. Şekil 4.16'da 30000 kg'lık ağır vasıta ile geliştirilmiş geçiş otokorkuluğundan oluşan deney düzeneği gösterilmektedir. Resimde gösterildiği şekilde otokorkuluk dikmeleri standart w-ray yerine daha geniş olan üçlü-ray kullanmak sureti ile beton köprü rayına bağlanmıştır. Potansiyel tekerlek takılmalarını önlemek için w-ray altında bir sürtünme rayı modeli de geliştirilmiştir. Geçiş modelindeki tüm boyutlar 404211-4 (Buth ve diğerleri, 1998) gerçek çarpma deneyi ile örtüşmektedir. Modelin standart ve yaklaşma kısımları W150 x 14 çelik direği içermektedir. Bu iki kısımda toplam 10 direk modellenmiştir. Çelik direkler sabit kalınlıklı kabuk parçalar kullanmak sureti ile modellenmiştir. Bu direkler için malzeme ve parça özellikleri standart güçlü otokorkuluk direkleri modellerinden alınmış ve bu modeller Çizelge 4.3'de gösterilmektedir. Artan boy ve gömme derinliğinden hariç olarak W200 X 19 direk modeli için diğer tüm parametreler W150 x 14 direk modeli ile aynıdır. Çelik direkleri W-kiriş rayına bağlamak için 150 mm en x 200 mm derinlik x 356 mm boyunda ağaç takozlar modelde hazırlanmıştır. Sürtünme

raylarını ara bariyer bölmesi direklerinden ayırmak için küçük boyutlu takozlar kullanılmıştır. Ara bariyer kısmının detaylı bir resmi Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu ve 30000 kg'lık ağır vasıttan oluşan sanal çarpışma deney düzeneği



Şekil 4.17. Geçiş otokorkuluğu modelinin yakın görüntüsü

Ağaç takozlar için kullanılan malzeme ve parça özellikleri literatürden alınan önceki çalışmalardan elde edilmiş ve bunlar Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Tüm ofset bloklar (takozlar) tek nokta bağlantı kuralı kullanılarak katı parçalarla modellenmiştir. Ofset bloklar benzer tam kapsamlı çarpışma testleri sırasında görel olarak bozulmamış olarak kaldığından ötürü hesaplama verimliliği için elastik malzeme tanımı kullanılmıştır. Bu tahminler simülasyon çalışmaları sırasında takozların davranışlarını temsil etmede gerçekten doğru olarak görülmekte ve işlem süresini de büyük oranda azaltmaktadır.

Çizelge 4.3. Geçiş otokorkuluğunun bilgisayar simülasyonu için hazırlanan modelinde kullanılan çelik dikmeler ve takozların malzeme özellikleri

<i>Çelik direk özellikleri</i>	<i>LS-DYNA girdisi</i>
Malzeme tipi	kaybolabilir parçalı doğrusal plastik malzeme (Tip 24)
Eleman tipi	4- düğümlü kabuk (sabit kalınlık)
Elastiklik modu (MPa)	200.000
Akma Gerilmesi (MPa)	336.8
Yoğunluk (t/mm ³)	7.85E -09
Poisson oranı	0.3
Arızalı plastik deformasyonu	Yok
Etkin plastik deformasyonu	0.000 0.026 0.045 0.108 0.203 0.254 0.277 0.300
Gerçek gerilim (MPa)	336.8 337.1 401.2 490.9 55.2 604.6 657.7 677.4
<u><i>Takoz özellikleri</i></u>	
Malzeme tipi	Elastik (Tip 1)
Element tipi	8- düğümlü (1 nokta uyumlu)
Elastiklik modu (Mpa)	11,000
Yoğunluk (t/mm ³)	6.10E-08
Poisson oranı	0.3

Önceki çalışmalarda doğrulanmış modelden elde edilen özellikler üçlü-rayın modellenmesinde kullanılmaktadır. 3810 mm boyundaki ray kısımlarını modellemek için sabit kalınlıklı gövde elementleri kullanılmıştır. Simülasyon çalışmasında kullanılan üçlü-rayın özellikleri Çizelge 4.4’de gösterilmektedir. Üçlü-ray Ls-dyna’daki rijit bağlantılar kullanılarak ofset bloklara takılmıştır. Üçlü-raydan dikmeye bağlantı Ls-dyna’daki ayrılabilir bağlantı özelliği kullanılarak hazırlanmıştır. Modelde kullanılan raydan-dikmeye bağlantısının direnç karakteristiği daha önceki başarılı simülasyon çalışmasından alınmıştır (Atahan ve Ross, 2004).

Şekil 4.17’de gösterildiği gibi, sürtünme rayı da C152 x 12.2 kısmını temsil etmesi için modellenmiştir. Malzeme ve parça özellikleri üçlü-ray ile aynıdır. Sürtünme rayı da ayrılabilir bağlantılar kullanılarak ofset bloklara takılmıştır.

Çizelge 4.4. Ara bariyer modelinde kullanılan W-kiriş ray malzeme özellikleri

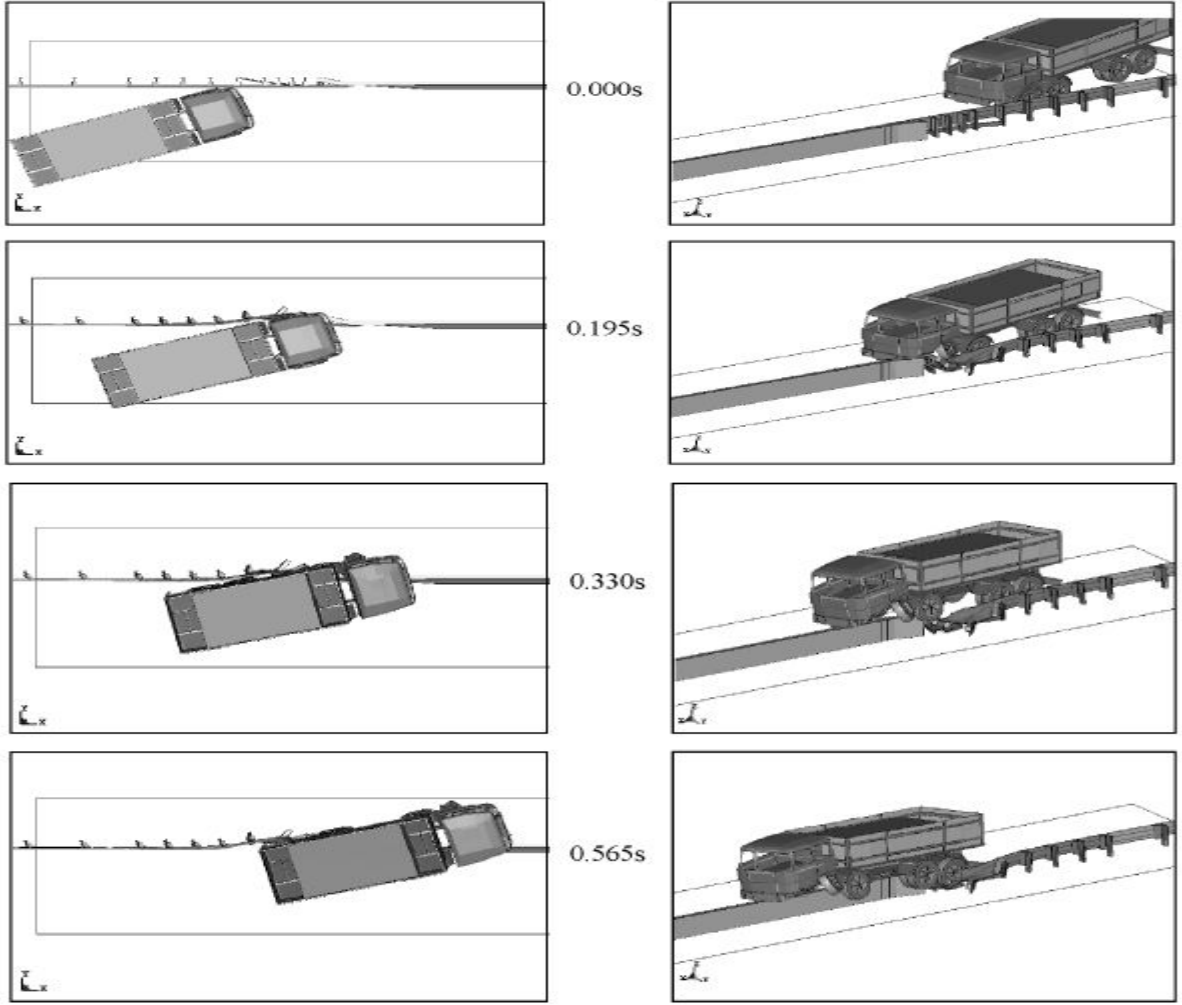
<i>Çelik W-kiriş ray özellikleri</i>	<i>LS-DYNA girdisi</i>
Malzeme tipi	kaybolabilir parçalı doğru plastik malzeme (Tip24)
Element tipi	4-düğümlü gövde (sabit kalınlık)
Elastiklik modu (MPa)	200,000
Akma Gerilmesi (MPa)	450
Yoğunluk (t/mm ³)	7.85E-09
Poisson oranı	0.3
Arızalı plastik deformasyonu	0.22
Etkin plastik deformasyonu	0.000 0.025 0.049 0.072 0.095 0.140 0.182 0.750
Gerçek gerilim (MPa)	450.0 508.0 560.0 591.0 613.0 643.0 668.0 840.0
<u><i>Beton köprü ray özellikleri</i></u>	
Malzeme tipi	Sert (Tip 20)
Element tipi	8- düğümlü sert (1 noktalı uyum)
Elastiklik modu (MPa)	11.000
Yoğunluk (t/mm ³)	6.10E-08
Poisson oranı	0.3

Köprü bariyeri ve kanat duvarı 8-düğümlü rijit elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Kanat duvarı beton malzemeden imal edilmiş olduğundan rijit malzeme olarak modellenmektedir. Yoğunluk, elastiklik modülü ve poisson oranı gibi beton malzemesinin özelliklerini gerektirmektedir ve bu değerler program içine dahil edilmektedir (Bkz. Çizelge 4.4). Aynı zamanda, kanat duvarının hareketi büyük temel boyutlarından ötürü çarpma hadisesi boyunca sınırlandırılmaktadır. Bu nedenden dolayı, köprü rayı ve kanat duvarının hareketi Ls-dyna'daki SPC opsiyonu kullanılmak sureti ile kısıtlanmıştır. Bu tahmin beton kısımların sert yapısını temsil etmede isabetlidir. Modeldeki çelik boru da 4-düğümlü kabuk elemanları kullanılarak kanat duvarı ve üçlü rayın arasında modellenmektedir. Malzeme ve parça özellikleri modeldeki diğer çelik unsurlarla benzerdir.

Geçiş bariyeri EN1317 test TB71 koşullarına uygun olarak 30000 kg taşıyan taşıt darbesine maruz kalmıştır. Taşıtın hızı 65 km/s'dir ve ara bariyere 20 derece açı ile vurmuştur. İlk temas beton duvarda beşinci ve altıncı direkler arasında meydana gelmiştir. Yaklaşık 60 ms'de duvardaki beşinci direk üçlü-raydan ayrılmış ve aracın yönü değişmiştir. Taşıt ileri doğru ilerledikçe, üçüncü ve dördüncü direklerin de yönü değişmiş ve 105 ms'de raydan ayrılmıştır. Bu noktanın ilerisinde, darbe tarafındaki ön tekerlek yukarı doğru deforme olmaya başlamış ve merkezi etrafından saat yönünün aksine doğru dönmüştür. Yaklaşık 150 ms'de darbe tarafındaki ön tekerlek daha önceden eğrilen üçlü-ray üstüne doğru tırmanmaya başlamıştır. Tekerlek yukarı doğru hareketine devam etmiş ve sonuç olarak geçiş bariyer kısmını destekleyen son iki direk üçlü raydan ayrılmıştır. 210 ms civarında, üçlü rayın büyük bir kısmı tekerlek tarafından aşağı doğru çekilmiş ve bu araç için bir rampa oluşmasına neden olmuştur.

Sonuç olarak, taşıt çarpma tarafından 285 ms'de tamamen geçiş bariyeri üzerine çıkmıştır. 810 mm uzunluğundaki bariyerin çarpma test simülasyonundan elde edilen sıralı resimleri Şekil 4.18'de gösterilmektedir. Bu resimlerden de görüleceği gibi, tekerlek ve üçlü rayın yükseklik farklılığından ötürü taşıt bariyer üzerine kolaylıkla binmektedir. Şekil 4.19'da açıkça yakın görünüş olarak tekerlek binme hadisesi gösterilmektedir.

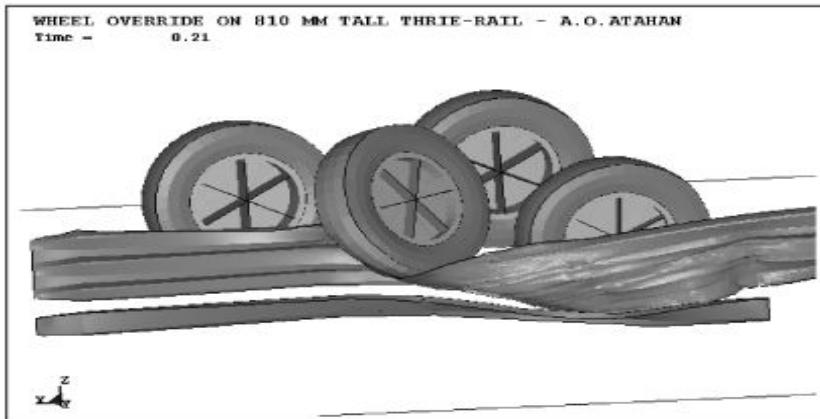
Simülasyon sonuçlarına göre, mevcut durumda ağır bariyer seviyesinde olan H4a sınıfında bariyer yeterli değildir. Bariyerin 30.000 kg'lık taşıta dayanabilmesi için daha yüksek bariyer kullanımı gerektiği çok açıktır.



Üstten görünüm

Yandan görünüm

Şekil 4.18. 810 mm yüksekliğindeki geçiş otokorkuluğuna 30 tonluk taşıtın sanal çarpma deneyinin ardışık fotoğrafları



Şekil 4.19. Tekerleğin rayın üstüne çıkmasının yakından görünüşü

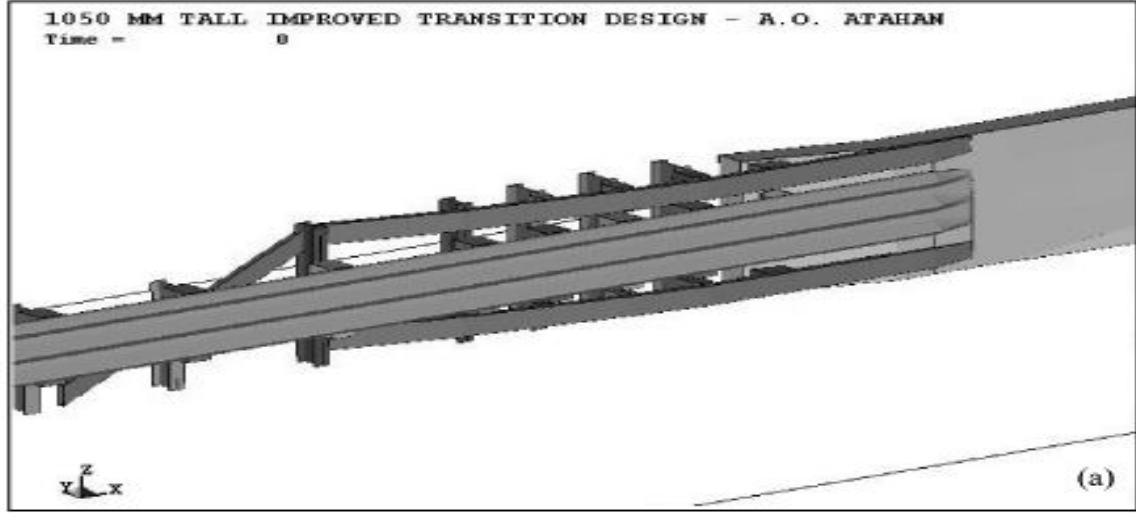
4.4.2. 30000 kg'lık Taşıta göre Geçiş Otokorkuluğu Sisteminin Geliştirilmesi

Bu çalışmada, daha önceden üzerinde çalışılan geçiş otokorkuluğunun çarpışma testi davranışı ağır vasıta modeli kullanılarak analiz edilmişti. Livermore Software Technology Corporation (LSTC, 2000) tarafından temin edilen sonlu elemanlar Ls-dyna analiz programı geçiş otokorkuluğunun performansının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Analiz sonuçları ağır taşıtın üzerine binmesinden ötürü mevcut tasarımın yetersiz olduğunu göstermiştir. Bu bulguya göre, geçiş otokorkuluğunun ray yüksekliği 810 mm'den 1050 mm'ye kadar yükseltilmiştir. Daha sonraki simülasyon geliştirilmiş tasarımın 30,000 kg ağırlığında mal taşıyan taşıtı başarılı bir şekilde kontrol edip yeniden yönlendirdiğini göstermektedir. Belgenin kalan kısımlarında bilgisayar simülasyon çalışmasının detayları verilmiştir.

1050 mm yükseklikte bariyer simülasyonu

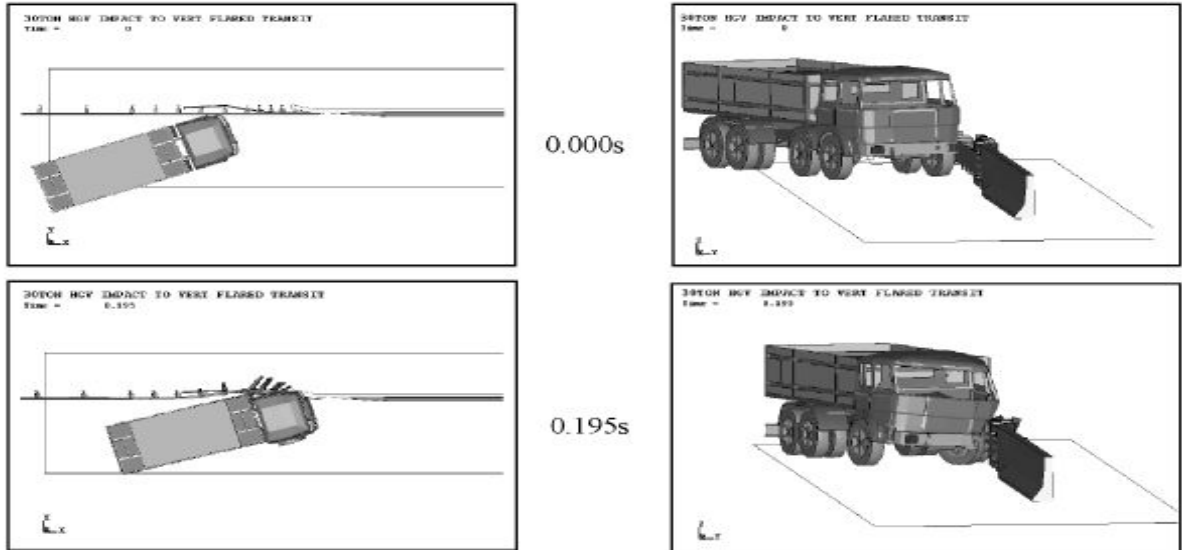
810 mm uzunluktaki bariyer simülasyon sonuçlarına göre daha yüksek bariyere olan ihtiyaç açık hale gelmiştir. 810 mm uzunluğundaki tasarımda, tekerlek ve üçlü ray arasındaki dikey mesafe yaklaşık olarak 190 mm olup, bu farklılık tekerleğin çarpma sırasında ray üzerine tırmanmasına neden olmaktadır. Mevcut tasarımı H4a seviyesine yükseltmek için, bariyer yüksekliği 1050 mm'ye çıkartılmaktadır. Bu yükseklik 1090 mm tekerlek üstü yüksekliğine hemen hemen eşit olmasından ötürü seçilmiştir ve çarpışma sırasında tekerleğin büyük bir bölümünü desteklemektedir. Dolayısıyla, gelişmiş tasarımda tekerleğin bariyer üzerine çıkması olası değildir.

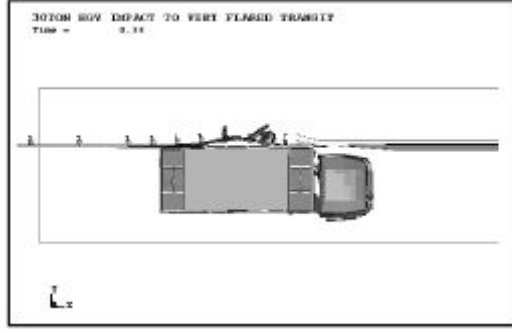
Mevcut bariyerdeki ray yüksekliğini artırmak için, üçlü ray üzerine bir ray parçası eklenmiştir. Direnç ve tasarım basitliklerinden ötürü, yeni ray 810 mm uzunluktaki tasarım için mevcut sürtünme rayı ile uyumlu sürtünme rayı olarak seçilmiştir. Yeni rayın bir ucu beton duvara takılmış ve diğer ucu ise bariyer arkasından yer seviyesine indirilmiştir. Geliştirilmiş bariyer tasarımı resmi Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



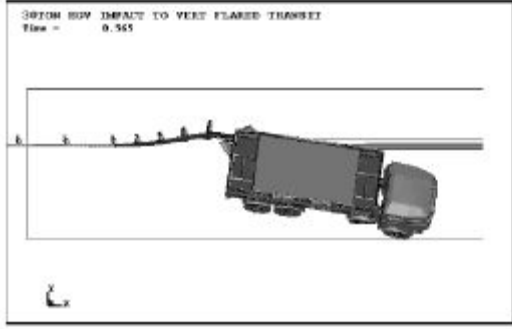
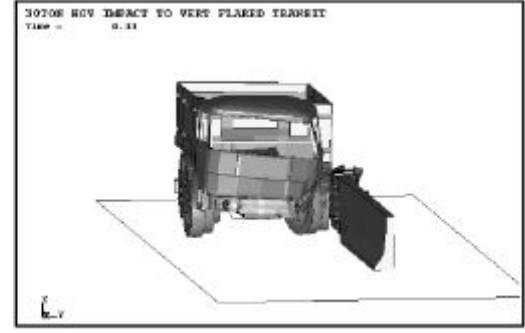
Şekil 4. 20. İlave ray parçalı gelişmiş 1050 mm boyunda bariyer tasarımı

Mevcut geçiş otokorkuluğu modelinin iyileştirilmesinden sonra, EN317 test TB71 koşullarına göre 30.000 kg ağır taşıt çarpma testine tabi tutulmuştur. Bu sefer, çarpma tarafındaki tekerlek bariyer üzerine çıkmamış ve bariyer başarılı bir şekilde aracı tutmuş ve yeniden yönlendirmiştir. Beton duvardan sonra birinci direktten hariç olarak bariyerdeki tüm direkler eğilmiştir. Çarpmadan sonra 0.815 ms sonra taşıt makul olarak kabul edilebilen 38 derece maksimum dönüş açısına erişmiştir. Gelişmiş model çarpma simülasyonundan elde edilen sıralı resimler Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

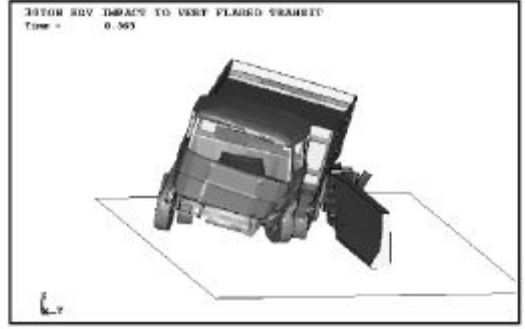




0.330s



0.565s

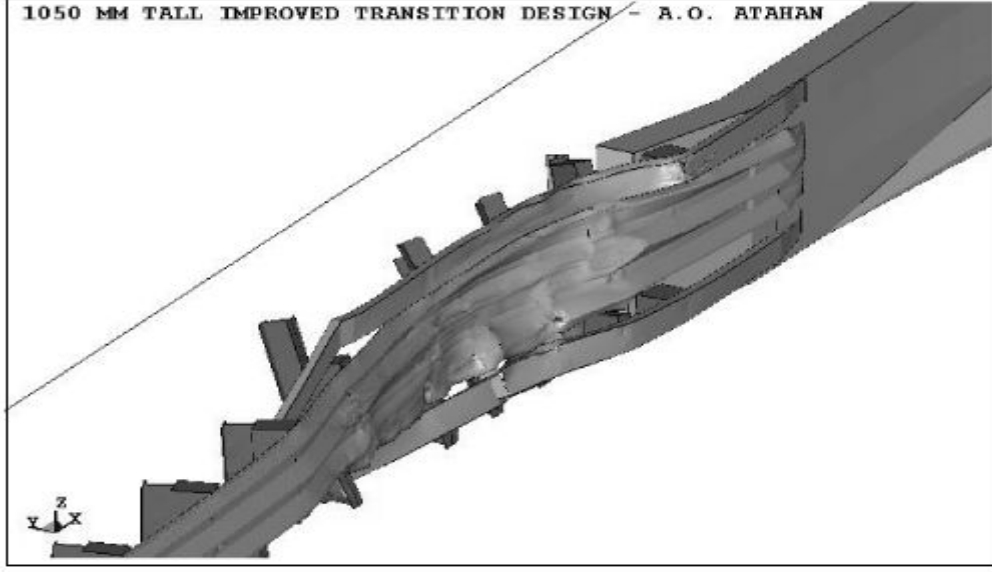


Üstten görünüm

Ön Açı Görünümü

Şekil 4.21. 1050 mm uzunluğundaki geçiş otokorkuluğunun sanal çarpışma deneyinin zamana bağlı ardışık resimleri

Bu resimden görüleceği gibi, taşıta verilen çarpma hasarı tekerlek, çamurluk ve tampon üzerinde yoğunlaşmış ve minimal olarak değerlendirilmektedir. Taşıt ivmesi EN1317’de belirtilen kabul edilebilir sınırlar içindedir. Geçiş otokorkuluğunun yanall bariyer deformasyonu makul seviyede 450 mm’dir. Çarpışma sonrası geçiş otokorkuluğunda meydana gelen hasarın bir resmi Şekil 4.22’de gösterilmektedir. Simülasyon sonuçlarından kolaylıkla 1050 mm uzunluktaki ray yüksekliğine geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu tasarımının H4a yüksek tutma seviyeli bariyer için iyi bir aday olabileceği sonucuna varılabilir.



Şekil 4.22. 1050 mm yüksekliğe sahip geçiş otokorkuluğunda sanal çarpışma deneyi sonrasında meydana gelen deformasyonlar

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Avrupa'da maalesef, yol kenarı bariyerlerinden ve kamu hizmetlerinden sorumlu birçok otoyol güvenlik ofisleri bariyer tasarımlarının öneminden habersizdir. Sonuç olarak birçok ülke karayollarında bariyer tasarımlarını kullanmamaktadır. Diğer bir taraftan, hali hazırda kullanımda olanlar ise yeterli detaydan yoksun olup bir çarpışma hadisesinde yeterli düzeyde koruma sağlamamaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada, A.B.D.'de kullanılan özel bir geçiş otokorkuluğu tasarımı tanıtılmış ve bunun EN1317 çarpışma test kılavuzuna göre Avrupa Otoyol Sistemi için uygulanması konusu değerlendirilmektedir.

Çalışmanın içeriğinden ötürü, simülasyon çalışmalarında farklı çarpışma koşullarının etkisini değerlendirilmemektedir. İlk çarpışma konumu, köprü tasarımı tasarım ve geometrisi, toprak üstü etkileşimi ve işçilik gibi çarpışma deneyi performansını etkileyen değişkenler olduğu çok iyi bilinmektedir. Bu değişkenlerin geçiş otokorkuluklarının tasarımları üzerindeki etkileri değerlendirmek için daha ileri düzeyde simülasyonlar yapılmalıdır.

Bu çalışmada, geçiş otokorkuluğu tasarımı sanal çarpışma deneyleri ile detaylı olarak analiz edilmektedir. Güvenli ve umumiyetle kabul gören sonlu elemanlar analiz programı Ls-dyna analizleri gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Çalışmayı tamamlamak ve sonuca ulaşmak için birçok ardışık simülasyon uygulanmıştır. Simülasyonlar EN1317 test TB71 çarpışma deneyi koşullarına göre gerçekleştirilmektedir.

Gerçekleştirilen sanal çarpışma deneyleri, 65 km/s'lik hızda seyreden 30,000 kg'lık ağır vasıtanın, 20 derecelik çarpma açısı ile gerçekleştirilmektedir. Birinci sanal çarpışma deneyinde, geçiş otokorkuluğu yüksekliği, 2000 kg'lık araca göre ayarlanmış olan 810 mm'dir. Sonuçlar tasarımın çarpışma test koşullarını karşılamadığını ve taşıtın tasarımın yetersiz yüksekliğinden ötürü bariyerin üzerine çıkma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Bariyerin yüksekliğinin taşıtı tutması için yaklaşık olarak tekerlek boyu kadar olması gerektiğine karar verilmiştir. Bu şekilde, ileri düzey bir bariyer modeli geliştirilmiştir. Bu modelde, geçiş otokorkuğunun ray yüksekliği, tasarıma ekstra ray parçası eklemek sureti ile 1050 mm'ye yükseltilmektedir. Bu arada amaç taşıt

tekerleğinin tutulması ve dolayısıyla aracın başarılı bir şekilde yola yeniden yönlendirilmesidir. Simülasyon sonuçları gelişmiş modelin istenilen sonuçları verdiğini göstermektedir. Tasarım stabil bir şekilde 30000 kg'lık taşıtı tutmakta ve yeniden yönlendirmektedir. Taşıtı bindirmesi gözlemlenmemektedir. Taşıtı ivme değişim verileri çarpışma sırasında taşıtın içindeki yolcular için ciddi bir tehlike olmadığını ortaya koymuştur. Simülasyondan elde edilen verilere göre, geliştirilmiş geçiş otokorkuluğu tasarımının makul H4a ağır taşıtı tutma düzeyinde bir bariyer olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla, bu özelliklerde gerçek çarpışma deneyi yapılması ve Avrupa Otoyol Sistemine uygulanması tavsiye edilir.

Bu çalışma, Avrupa çarpışma test araçları ve A.B.D. güvenlik donanımları kullanarak Avrupa ve A.B.D. çarpışma testi kılavuzlarını birleştirebilmek için çaba harcadığından çok önemlidir. Sadece bu özel bariyer tasarımı ile ilgili değil aynı zamanda geniş yelpazeli yeni bariyer tasarımları üzerine de daha çok çalışma yapılmalıdır. Şüphesiz, bu tasarımlardan birçoğu Avrupa otoyol sisteminde uygulama şansı bulacaktır.

KAYNAKLAR

- AASHTO-AGC-ARTBA, 1996. Joint Committee. “**A Standardized Guide to Highway Barrier Hardware**” American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- A.K. Zaouk, N.E. Bedewi, C.D. Kan, D. Marzougui, 1997. **Development and evaluation of a C-1500 pickup truck model for roadside hardware impact simulation**, FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, NCAC, The George Washington University.
- American Association 2002. of **State Highway and Transportation Officials**, AASHTO, Roadside design guide, Washington D.C.
- A.O. Atahan, **Finite element simulation of a strong-post W-beam guardrail system**, Simulation 78 (10) (2002) 587–599.
- A.O. Atahan, O.F. Cansiz, **Design and simulation of two wooden-post W-beam guardrails to eliminate wheel snagging**, Heavy Vehicle Systems, Int. J. Vehicle Des. Ser. 1 (1) (2004) 49–68.
- A. Siridumrongphun, 1999. **Vehicle curb impact study using a non-linear dynamic finite element simulation program**, Masters Thesis, Department of Civil Engineering, University of Florida.
- Atahan, A.O. and Cansiz, O.F. (2005) ‘**Impact analysis of a vertical flared-back bridge rail-to-guardrail transition using simulation**’, Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 41, No. 4, pp.371–396.
- Atahan, A.O. and Ross Jr., H.E. (2004) ‘**Computer simulation of recycled content guardrail posts**’, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 130, No. 6, pp.485–496.
- Atahan, A.O., Bonin, G. and El-Gindy, M. (2005) ‘**Design and validation of a 30,000 kg heavy goods vehicle using LS-DYNA**’, Paper No. IMECE2005-80200, Proc. International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE, Washington D.C.
- ATAHAN, A.O. ve CANSIZ, O.F., 2002 “**Improvements to G4(RW) Strong-post Round-Wood W-Beam Guardrail.**” Journal of Transportation Engineering, ASCE, (in review).
- A.Zaouk, N.E. Bedewi, C.D. Kan, D. Marzougui, **Validation of a non-linear finite element vehicle model using multiple impact data**, Proceedings of the 1996 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, GA, 1996, pp.91–106. Atlanta.

- A.Zaouk, N.E. Bedewi, C.D. Kan, H. Schinke, **Evaluation of a multi-purpose ickup truck model using full scale crashdata with application to highway barrier impacts**, in: Proceedings of the 29th International Symposium on AutomotiveTechnology and Automation, 1996, pp. 39–46.Florence, Italy.
- BLIGH, R.P. ve BULLARD, L.D, JR., 1995. “**Crash Testing and evaluation of Round, Wood Post, W-beam Guardrail System.**” TTI Research Study No. RF405391-1,Texas Transportation Institute, Texas A&M University , College Station , Texas.
- BLIGH, R.P., ve MENGES, W.L., ve ALBERSON, D.C., 2001. “**Testing and valuation of recycled materials in roadside safety devices.**” Research Report 1458-3. Texas Transportation, College Station, Texas.
- BUTH, E.C.,MENGES,W.L. ve IVEY, D.L,1999 “**W-Beam Guardrail.**” Paper No.990871,Transportation Research Board,78th Annual Meeting, WashingtonD.C.
- Buth, C.E., Menges, W.L. and Butler, B.G. (1998) NCHRP Report 350 Test 3-21 of the **Vertical Flared Back Transition**, Texas Transportation Institute, Test No. 404211-4, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-99-062, Washington D.C.
- C.E. Buth, W.L. Menges, B.G. Butler, 1998.NCHRP Report 350 test 3-21 of the **vertical flared back transition**, TexasTransportation Institute, Test No. 404211-4, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-99-062,
- C.F. McDevitt, 2001. **Safer guardrail-to-bridge rail transitions**, Proceedings of the International Conference of Traffic Safety on Three Continents,Moscow, Russia, 19–21 September, vol. 1, pp. 31–42.
- COON, B.A., REID, J.D., ve ROHDE., 1999. “**Dynamic Impact Testing of Guardrail Posts Embedded In Soil.**” Transportation Research Report No. TRP- 03-77-98, Midwest Roadside Safety Facility, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.
- European Committee for Standardization (1998) European Standard EN1317-1 and EN1317-2, Road Restraint Systems, Brussels.
- Federal Highway Administration,1988. FHWA, Guardrail transitions, FHWA Technical Advisory No. T5040.26,
- Federal Highway Administration, 1993. FHWA, Guardrailtransitions, FHWA Technical Advisory No. T5040.34,
- Federal Highway Administration, 2003. FHWA safety web page on NCHRP Report 350 **Hardware BridgeRailTransitions.**
<http://safety.fhwa.dot.gov/fourthlevel/hardware/listing.cfm>,

- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 1990 “**Crush Characteristics of the 1800-lb Pendulum.**” Publication No. FHWA-RD-90-059, FHWA, McLean, Virginia.
- HALLQUIST, J.O., 1998. “LS-DYNA Users Manual .” **Livermore Software Technology Corporation**, Livermore, California.
- H.E. Ross Jr., D.L. Sicking, R.A. Zimmer, J.D. Michie, 1993.**Recommended procedures for the safety performance evaluation of highway features**, NCHRP Report 350, National Research Council, Washington D.C.
- HOLLOWAY, J. C., BIERMAN , M. G., PFEIFER, B. G., ROSSON, B. T., ve SICKING, D. L., 1996 “**Performance Evaluation of KDOT W- Beam Systems**” Midwest Roadside Safety Facility (MwRSF), University of Nebraska –Lincoln.
- IVEY, D.L., ROBERTSON, R. ve BUTH, C. E., 1986 “ **Test and Evaluation of W-beam and Thrie-beam Guardrails**”, Report FHWA/rd-82/071, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station.
- J.D. Michie, 1981. **Recommended procedures for the safety performance evaluation of highway appurtenances**, National Cooperative Highway Research Program, Report No. 230,
- J.O. Hallquist, 1998. LS-DYNA theoretical manual, **Livermore Software Technology Corporation**, Livermore, California,
- KARLSSON, J., 2000. “**Snag Potential of Standard Guardrail Posts.**” Masters Thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Mass.
- Livermore Software Technology Corporation, 2000.LSTC, **A general purpose dynamic finite element analysis program**, LSDYNA version 960 user’s manual, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California,
- Livermore Software Technology Corporation (LSTC) (2000) (2002) **A General Purpose Dynamic Finite Element Analysis Program**, LS-DYNA Version 960 User’s Manual, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California.
- MAK, K. K. ve ALBERSON, D.C., 1994. “ Test Report NO. 7147-22” **Texas Transportation Institute** , Texas A&M University, College Station.
- MAK, K. K. ve MENGES, W.C., 1994. “**Crash Testing Evaluation Strong-post, W-beam Guardrail System**”, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station.
- MAK, K. K., BLIGH, R.P. ve MENGES, W.L., 1995. “**Crash Testing and Evaluation of Existing Guardrail Systems**”, Texas Transportation Institute

Report No.471470-26 The Texas A&M University System, College Station Texas, December

- M. Gunaratne, N. Bandara, J. Medzorian, M. Chawla, P. Ulrich, (2000) **Correlation of tire wear and friction to texture of concrete pavements**, J. Mater. Civil Eng. 12 (1) 46–54.
- PLAXICO, C., PATZNER, G.S., ve RAY , M.H. 1998. “**Finite Element Modeling of Guardrail Timber Posts and The Post-soil Interaction**.” Transportation Research Record 1647, Transportation Research Board, 139-146 Washington D.C.
- PLAXICO, C.A., RAY, M.H. ve HIRANMAYEE, K, 2000 “**Comparison of the Impact Performance of the G4(1W) and G4(2W) Guardrail Systems under NCHRP Report 350 Test 3-11 Conditions**.” Transportation Research Record, Paper No.00-0525, Transportation Research Board, Washington D.C.
- RAY , M. H. ve PATZNER, G. S., 1997 . “**Finite-Element Model of Modified Eccentric Loader Terminal (MELT)**”, In Transportation Research Record, 1599, 11-21, TRB, National Research Council, Washington D.C.
- Ray, M.H. (1996) ‘**Finite element analysis as a tool in roadside safety hardware design**’, Issues for Improving Roadside Safety, Transportation Research Circular 453, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Ross Jr., H.E. (1995) Past, **Present and Future of Roadside Safety**, Transportation Research Circular Number 435, Transportation Research Board, TRB, National Research Council, pp.1–11. Washington D.C
- Ross Jr., H.E., Sicking, D.L., Zimmer, R.A. and Michie, J.D. (1993) **Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features**, NCHRP Report 350, National Research Council, Washington D.C.
- S. Basu, A. Haghghi, 1988. **Numerical analysis of roadside design (NARD)** vol. III: validation procedure manual, Report No. FHWA-RD-88-213, Federal Highway Administration, Virginia.
- SICKLING, D. L. ve ROSS, H.E. JR., 1987 “**Structural optimization of strong-post W-beam guardrail**”, In Transportation research record 1133, 42-50, Transportation Research Board, Washington D.C.
- STOUT, D., HINCH, J., ve YANG, T-L. 1988. “**Force-Deflection Characteristics of Guardrail Posts**.” Report FHWA-88-193, FHWA, US Department of Transportation, Washington
- T. Belytschko, H.R. Yen, R. Mullen, (1979) **Mixed methods for time integration**, J. Comput. Meth. Appl. Mech. Eng. 17 259–275.

TexasTransportation Institute, 1998. **TTI.Test risk assessment program (TRAP) version user's manual**,TexasTransportationInstitute, College Station, Texas.

T.L. Geers, 1984.An objective error measure for the comparison of **calculated and measured transient response histories**, TheShock and Vibration Bulletin, June

WOOD HANBOOK, 1987. Wood as an Engineering Material. **United States Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office**, Washington D.C.

WRIGHT, A.E. ve RAY, M.H., 1996. “**Characterizing Guardrail Steels for LS-DYNA3D Simulations**”, Transportation Research Record No. 1528, Transportation Research Board, Washington D.C.

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın her aőamasında bŸyŸk bir titizlik, sabır ve Ÿzveriyle bana destek olan, yol gŸsteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan danıőman hocam Sayın Yrd. Doç.Dr.Ŗmer Faruk CANSIZ ve BŸlŸm Baőkanım Prof.Dr. Ali Osman ATAHAN'a sonsuz teőekkŸrlerimi sunarım.

Çalıőmalarım sırasında manevi desteklerini esirgemeyen iő ortaklarım Burak GŸRŸN ve Erdiń KURTCEPHE, bunun yanında LŸtfŸ KAŐIKÇI, Mahmut KARAGŸZEL ve İsmail KISA kardeőlerime sonsuz teőekkŸrlerimi sunarım.

Tez çalıőmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen hayatımın her aőamasında bana destek olan aileme ve Ÿzellikle babama sonsuz teőekkŸrlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1978 KAHRAMANMARAŞ'ta dünyaya geldim. İlkokulu Kütahya da ortaokulu Adana'da liseyi Adıyaman'da bitirdim. 2003 de M.K.Ü Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi inşaat mühendisliği bölümünden mezun oldum.

2005 yılında M.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilimdalında yüksek lisans öğrenimine başladım. Yüksek lisansı 3 yıllık normal süre içerisinde çeşitli sebeplerden dolayı bitiremedim. 2009'da aftar yararlanarak yüksek lisansımı tamamlamak amacıyla tekrar kayıt yeniledim. Bu aşamalarda 3 yıl Prof.Dr. Ali Osman ATAHAN ile çalıştım daha sonra aftar yararlanarak Yrd.Doç.Dr. Ömer Faruk CANSIZ'la tezimi tamamladım.

Şu anda da K.Maraş' ta Gürün Ltd.Şti.'de yönetim kurulu üyesi ve proje müdürü olarak çalışmaktayım. Evliyim ve Zehra adında bir kızım var.