



T. C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAREKETLİ BİR ÇELİK OTOKORKULUK TASARIM VE SONLU
ELEMANLAR ÇARPIŞMA ANALİZİ**

NESLİ KÖSE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

HAZİRAN-2013

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKETLİ BİR ÇELİK OTOKORKULUK TASARIM VE SONLU
ELEMANLAR ÇARPIŞMA ANALİZİ

NESLİ KÖSE
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN danışmanlığında hazırlanan bu tez 28 /05 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN
Jüri Başkanı

Doç. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ahmet YAPICI
Jüri Üyesi

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Doç. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN

Enstitü Müdürü

28 / 05 /2013

imza

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Ülkemizde Kullanılan Çelik Otokorkuluk Uygulamaları	2
1.1.1. Basit Otokorkuluk Uygulamaları	2
1.1.2. Basit Mesafeli Otokorkuluk Uygulamaları	3
1.1.3. Çift Mesafeli Otokorkuluk Uygulamaları	4
1.1.4. Köprü Koruyuculu Basit Mesafeli Otokorkuluk Uygulamaları.....	4
1.1.5. Ağır Hizmet Tipi Otokorkuluk Uygulamaları	5
1.1.6. Çelik Halatlı Otokorkuluk Uygulamaları.....	5
1.1.7. Hareketli Otokorkuluk Uygulamaları	6
1.1.8. Çelik Hareketli Otokorkuluk Tipleri.....	9
1.1.9. Hareketli Otokorkuluk Kullanımının Önemi	11
1.2. Otokorkuluk Tasarımında Gerçek Çarpışma Testi Kriterleri.....	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programları ve Özellikleri.....	18
3.2. Çalışmada Kullanılan Çelik Hareketli Otokorkuluk Elemanlarını Tanıtma	19
3.3. Hareketli Otokorkuluğun Analize Hazır Hale Getirilmesi.....	23
3.4. Test Araçlarının Hazırlanması ve Otokorkuluk Sistemleriyle Analize Hazır Hale Getirilmesi	28
3.5. Çelik Hareketli Otokorkuluk Sisteminin LS-DYNA Yazılımında EN 1317-2 Uygun Olarak Çarpıştırılması	30
4. BULGULAR.....	34
4.1. Çelik Hareketli Otokorkuluk Sistemlerinin Sanal Ortamda Çarpışma Testlerinin Oluşturulması	34
4.1.1. TB21 Testi	34

4.1.2. TB41 Testi	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	41
5.1. Sonuç.....	41
5.2. Öneriler	43
KAYNAKLAR	44
TEŞEKKÜR.....	46
ÖZGEÇMİŞ	47

ÖZET

**HAREKETLİ BİR ÇELİK OTOKORKULUK TASARIM VE SONLU
ELEMANLAR ÇARPIŞMA ANALİZİ**

Hareketli otokorkuluklar karayollarında trafiğin yoğun olduğu yerlerde trafiği yönlendirmek, sıkışıklığı azaltmak ve güvenliğini arttırmak amacıyla kullanılan pasif yol güvenlik tertibatlarındandır. Bu çalışmada, özel bir hareketli otokorkuluk tasarımı yapılarak sonlu elemanlar analizi ile araç çarpmalarına karşı yeterliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Literatürde hareketli otokorkulukların en sık kullanılanları imalat, nakliye ve montaj kolaylığından dolayı 8 metre uzunluğundaki tasarımlardır. Bu çalışmada 8 metre uzunluğunda bir çelik hareketli otokorkuluk tasarımı yapılmıştır. Otokorkuluk sonlu elemanlar programı ile modellenmiş, malzeme özellikleri ve bağlantı detayları tanımlanmıştır. Otokorkuluğun üç boyutlu katı modeli SOLIDWORKS kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra sonlu eleman modeli LSPREPOST ile hazırlanmıştır. Model tamamlandıktan sonra dinamik analiz European Norm (EN) 1317 Avrupa Yolkenar Emniyet Sistemleri standardında belirtilen çarpışma derecelerinden geçici otokorkuluk sınıfı olan T3'e göre yapılmıştır. Bu doğrultuda TB21 ve TB41 çarpışma testleri yapılmış ve çarpışma simülasyonları “boyutlu dinamik analiz programı” LS-DYNA yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, 8 metrelik hareketli otokorkuluğun 1300 kg ağırlığındaki otomobilin 8 derece ve 80 km/sa hızla çarpması ve 10000 kg ağırlığındaki kamyonun 8 derece ve 70 km/sa hızla çarpması durumlarına karşı başarılı olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre tasarlanan hareketli otokorkuluğun nihai yeterliğinin ve karayollarında kullanımının uygunluğunun belirlenmesi için TB21 ve TB41 gerçek çarpışma testlerinin yapılması önerilmektedir.

2013, 57 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hareketli Otokorkuluk, EN1317, Çarpışma Analizi, Sonlu Elemanlar Metodu, Simülasyon, LS-DYNA

ABSTRACT**DESIGN AND ANALYSIS OF A MOVABLE STEEL GUARDRAIL DESIGN**

Movable guardrails are one of the passive road safety systems used at locations of heavy traffic to direct, reduce congestion and improve safety. In this study, a movable steel barrier was designed and its crashworthiness was analyzed against vehicle impact using finite element analysis.

In the literature, most commonly used movable guardrails are 8-meter long designs due to the ease of production, transportation and installation. In this study, an 8-meter long movable steel guardrail was designed. Guardrail is modeled using finite element software, material properties and the connection details are described. A 3 dimensional model of the design was created using SOLIDWORKS software. Then, the finite element model was prepared by LS PREPOST. After the completion of the model dynamic analysis was performed in accordance to T3 level described in EN1317, European Testing Standard. TB21 and TB41 crash test simulations were carried out on the system using 3 dimensional dynamic analysis program LS-DYNA software.

Result of the analysis showed that the 8-meter long movable steel guardrail successfully contained impact of a car weighing 1300 kg traveling 80 km/h and impacting guardrail at 8 degrees. Moreover, guardrail displayed acceptable performance against a 10,000 kg truck traveling 70 km/h and contacting the barrier at 8 degrees. According to the results of the study, performance of full-scale crash tests TB21 and TB41 are recommended for the final acceptance of the design by the authorities.

2013, 57 pages

Key Words: Movable Guardrail, EN 1317, Crash Analysis, Finite Element Method, Simulation, LS-DYNA.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

E	Elastisite Modülü
EGM	Emniyet Genel Müdürlüğü
EN	European Norm
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
Kg	Kilogram
Km	Kilometre
MID	Materyal No
Mpa	Megapascal
Mm	Milimetre
PR	Poisson Oranı
RO	Yoğunluk
SIGY	Akma Gerilmesi
TCK	Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü
TS	Türk Standardı

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. EN 1317 Avrupa standardı çarpışma testi kriterleri	14
Çizelge 3.1. Otokorkuluk sistemi elemanlarının malzeme özellikleri	26
Çizelge 3.2. Otokorkuluk sistemi elemanlarından cıvata malzeme özellikleri.....	26
Çizelge 3.3. Otokorkuluk sistemi elemanları kesit özellikleri	27
Çizelge 3.4. EN 1317-2 Standardında hizmet seviyesi için yapılması gereken kabul testleri.....	31
Çizelge 3.5. EN 1317 Avrupa standardı çarpışma testi kriterleri	31
Çizelge 4.1. Vuruş şiddeti düzeyleri	35
Çizelge 4.2. Çelik hareketli otokorkuluğa ait TB21 test ve simülasyon değerleri.....	37
Çizelge 4.3. Çalışma genişliği sınıfları	39
Çizelge 4.4. Çelik hareketli otokorkuluğa ait TB41 test ve simülasyon değerleri.....	40
Çizelge 5.1. Çelik hareketli otokorkuluğa ait simülasyon sonuçları.....	41

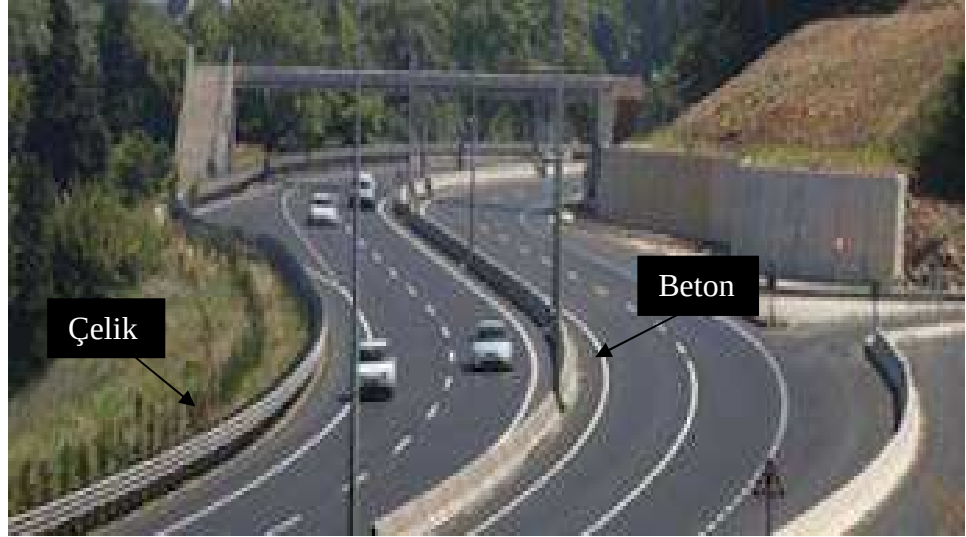
ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Karayollarında kullanılan beton ve çelik otokorkuluk sistemleri.....	1
Şekil 1.2. Basit otokorkuluk (Raysan Trafik)	3
Şekil 1.3. Basit mesafeli otokorkuluk (Raysan Trafik)	3
Şekil 1.4. Çift mesafeli otokorkuluk (Raysan Trafik)	4
Şekil 1.5. Köprü koruyuculu basit mesafeli otokorkuluk (Raysan Trafik)	5
Şekil 1.6. Ağır hizmet tipi otokorkuluk	5
Şekil 1.7. Çelik halatlı otokorkuluk	6
Şekil 1.8. Çelik ve beton hareketli otokorkuluk.....	6
Şekil 1.9. Avrupa’ da hareketli otokorkuluk kullanımı.....	7
Şekil 1.10. Yol çalışması olan bölgelerde güvenli trafik akışı için şerit yaratma.....	7
Şekil 1.11. İnşaat uygulamalarında kullanılan çelik hareketli otokorkuluk.....	8
Şekil 1.12. Köprü trafiğinde kullanılan hareketli otokorkuluk	8
Şekil 1.13. Limes Ts sisteminin dizaynı (Outimex 2010).....	9
Şekil 1.14. Limes Ts sisteminin kullanımı (Outimex 2010)	9
Şekil 1.15. Limes T3 sisteminin dizaynı(Outimex 2010)	10
Şekil 1.16. Limes T3 sisteminin kullanımı (Outimex 2010)	10
Şekil 1.17. Limes Berlin sisteminin dizaynı (Outimex 2010).....	11
Şekil 1.18. Limes Berlin sisteminin kullanımı (Outimex 2010)	11
Şekil 1.19. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü yol bakım çalışmaları	12
Şekil 1.20. Yol yapımı nedeniyle trafiğe kapanan yola giren otomobilin asfalt döküm makinesine çarpması (Mynet.galeri, 2012)	13
Şekil 1.21. Otomobilin yol kenarındaki yağmur suyu kanalı inşaatına uçtuğu kaza örneği (Haberler.com)	13
Şekil 3.1. Tez çalışmasında kullanılan bilgisayar programları	18
Şekil 3.2. Hareketli otokorkuluk başlık kısmı (ALKA, 2012)	20
Şekil 3.3. Hareketli otokorkuluk başlık yan kısmı (ALKA, 2012)	20
Şekil 3.4. Hareketli otokorkuluk 8 metre uzunluğundaki ray kısmı (ALKA, 2012)	20
Şekil 3.5. Hareketli otokorkuluk ray yan kesiti(ALKA, 2012)	21
Şekil 3.6. Hareketli otokorkuluk raylar arası kullanılan ara dikme (ALKA, 2012)	21

Şekil 3.7. Hareketli otokorkuluk raylar arası kullanılan ara dikme takozu (ALKA, 2012)	21
Şekil 3.8. Solidworks programı ile tek bir tasarım bileşeninin üç boyutlu ifadesi	22
Şekil 3.9. Solidworks programında tasarlanan yapı elemanlarının katı modelleri	23
Şekil 3.10. Solidworks programında dosya uzantısının “.igs” olarak değiştirilmesi	24
Şekil 3.11. LS PrePost yazılımına aktarılan hareketli otokorkuluk modelinin mesh yapılması	24
Şekil 3.12. LS PrePost yazılımına aktarılan modelin mesh yapılma aşaması.....	25
Şekil 3.13. LS PrePost yazılımına aktarılan modelin tamamının mesh yapılmış hali	25
Şekil 3.14. Otokorkuluk elemanlarından ara dikmeye malzeme özellikleri ataması.....	27
Şekil 3.15. Ara dikme malzeme özellikleri.....	28
Şekil 3.16. Analizde kullanılan 1300 kg ve 10000 kg’lık araçların sonlu elemanlar modelleri	29
Şekil 3.17. Analizde kullanılan 1300 kg ve 10000 kg’lık araçların sonlu elemanlar modelleri ve hareketli otokorkuluk sistemi.....	30
Şekil 3.18. Farklı sürtünme katsayılarının simülasyona etkisi.....	32
Şekil 3.19. Farklı sürtünme katsayılarının lastik ve bariyerde gösterdiği davranışlar	33
Şekil 4.1. TB21 Test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları.....	35
Şekil 4.2. EN1317 standardına göre TB21 kriterlerine uygun olarak yapılan test simülasyonu sonuçları.....	36
Şekil 4.3. TB41 Test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları.....	38
Şekil 4.4. Hareketli otokorkuluk çalışma genişliği	38
Şekil 4.5. EN1317 standardına göre TB41 kriterlerine uygun olarak yapılan test simülasyonu sonuçları.....	40
Şekil 4.6. Avrupa’ da kullanılmakta olan mobil koruyucu bariyer özellikleri.....	42
Şekil 4.7. Tez çalışmasında tasarlanan otokorkuluk ile Limes Berlin sisteminin karşılaştırılması	42

1.GİRİŞ

Ülkemizde hem yolcu hem de yük taşımacılığında en çok tercih edilen ulaşım türü karayolu, en fazla kazanın meydana geldiği ulaşım türü olarak bilinmektedir. Uykusuzluk, trafik kurallarını ihlal etme, aşırı hız, dikkatsizlik, hız limitlerine uymamakla birlikte araçların yoldan çıkarak kaza yapması trafik kazalarının en temel nedenleridir (EGM, 2011). Trafik sorunlarını asgariye indirmek için ana unsur olan insan faktörünün haricinde araçların yoldan çıkmasını engelleyip karayolu içerisinde kontrollü bir şekilde durmasını sağlayan, yol güvenlik ekipmanları otokorkuluklara da çok görev düşmektedir. Şekil 1.1’de karayollarında kullanılan beton ve çelik otokorkuluk sistemleri görülmektedir.



Şekil 1.1. Karayollarında kullanılan beton ve çelik otokorkuluk sistemleri

Otokorkuluk yapıları, etki tarzları bakımından çarpan araçları yola geri döndüren ve çarpma etkisini sönümleyen pasif koruma tertibatlarıdır. Dünyada ve ülkemizde belli başlı kullanılan iki tip otokorkuluk vardır: çelik ve beton otokorkuluklar. Uygulamada en fazla tercih edilen otokorkuluk sistemi çelik yapı elemanlarından elde edilen tasarımlardır. Çelik otokorkulukların beton otokorkuluklara oranla hafif olmaları, enerji sönümlerinin ve esneklik özelliklerinin fazla olması tercih edilme nedenleridir.

Günümüzde birçok materyalden yapılmış boy ve çeşitte otokorkuluk mevcuttur. Otokorkulukları imalat tipine ve beklenen koruma etkisine göre üç ana grupta inceleyebiliriz:

1. Çelik Otokorkuluklar
2. Beton Otokorkuluklar
3. Çelik Halatlı Otokorkuluklar

Otokorkuluklar deformasyon özelliklerine göre üç grupta incelenir:

1. Esnek Sistemler: 3 metreye varan yanal deformasyon
2. Yarı Rijit Sistemler : 0.2-1.5 metre yanal deformasyon
3. Rijit Sistemler: 0-0.2 metre yanal deformasyon (Yanal deformasyon sistemde kullanılan dikmelerin mukavemeti ve sıklığıyla alakalıdır.)

Otokorkuluk sistemleri çarpma sonrası davranışları bakımından iki grupta incelenir:

1. Rijit Sistemler (Örnek: Beton Otokorkuluklar)
2. Elastik ve Plastik Davranış Gösteren Otokorkuluklar (Örnek: Çelik Otokorkuluklar)

1.1. Ülkemizde Kullanılan Çelik Otokorkuluk Uygulamaları

1.1.1. Basit Otokorkuluk Uygulamaları

Araçların yoldan çıkmasını engellemek amacıyla tek taraflı yol kenarlarında ve refüjlerde, araç trafiğine uygun olarak seçilerek kullanılan yol bariyeri sistemleridir. 3 metreye kadar yanal deformasyon gösteren basit otokorkuluk uygulamaları deformasyon özelliklerine göre esnek sistemler olarak nitelendirilmekte ve Şekil 1.2’de gösterilmektedir. Basit otokorkuluk genellikle 1.500 kg ağırlık ve altındaki hafif araçlar ve hız sınırının çarpma açısına göre maksimum 80 km/saat hız ve altında olduğu kesimlerde kullanılmaktadır. Uygulamalarda yolun risk faktörü göz önüne alınarak, dikme aralıkları ayarlanarak risk sınırı düşürülmektedir.



Şekil 1.2. Basit otokorkuluk (Raysan Trafik)

1.1.2. Basit Mesafeli Otokorkuluk Uygulamaları

Araçların yoldan çıkmasını engellemek amacıyla tek taraflı yol kenarlarında ve refüjlerde, araç trafiğine uygun olarak seçilerek kullanılan yol bariyeri sistemleridir. 1,5 metreye kadar yanal deformasyon gösteren basit mesafeli otokorkuluk uygulamaları deformasyon özelliklerine göre yarı rijit sistemler olarak nitelendirilmekte ve Şekil 1.3'te gösterilmektedir. Genellikle 10.000 kg ağırlık ve altındaki kamyon gibi araçlar ile hız sınırının çarpma açısına göre maksimum 70 km/saat hız ve altında olduğu kesimlerde kullanılmaktadır. Uygulamalarda yolun risk faktörü göz önüne alınarak, dikme aralıkları ayarlanarak risk sınırı düşürülmektedir.



Şekil 1.3. Basit mesafeli otokorkuluk (Raysan Trafik)

1.1.3. Çift Mesafeli Otokorkuluk Uygulamaları

Araçların yoldan çıkmasını engellemek amacıyla çift taraflı yol kenarlarında ve refüjlerde, araç trafiğine uygun olarak seçilerek kullanılan yol bariyeri sistemleridir. 1,5 metreye kadar yanal deformasyon gösteren çift mesafeli otokorkuluk uygulamaları deformasyon özelliklerine göre yarı rijit sistemler olarak nitelendirilmekte ve Şekil 1.4'te gösterilmektedir. Genellikle 10.000 kg ağırlık ve altındaki kamyon gibi araçlar ile hız sınırının çarpma açısına göre maksimum 70 km/saat hız ve altında olduğu kesimlerde kullanılmaktadır. Uygulamalarda yolun risk faktörü göz önüne alınarak, dikme aralıkları ayarlanarak risk sınırı düşürülmektedir.



Şekil 1.4. Çift mesafeli otokorkuluk (Raysan Trafik)

1.1.4. Köprü Koruyuculu Basit Mesafeli Otokorkuluk Uygulamaları

Araçların yoldan çıkmasını engellemek amacıyla özellikle köprüler, viyadükler gibi tehlikeli tek taraflı yol kenarlarında ve refüjlerde, araç trafiğine uygun olarak seçilerek kullanılan yol bariyeri sistemleridir. Genellikle taban plakalı ve ankrajlı olarak trafik yoğunluğuna göre basit, basit mesafeli ve çift mesafeli uygulamalar olarak farklılıklar göstermekte ve Şekil 1.5'te gösterilmektedir. Uygulamalarda yolun risk faktörü göz önüne alınarak, dikme aralıkları ayarlanarak risk sınırı düşürülmektedir.



Şekil 1.5. Köprü koruyuculu basit mesafeli otokorkuluk (Raysan Trafik)

1.1.5. Ağır Hizmet Tipi Otokorkuluk Uygulamaları

Genellikle ağır vasıtaların geçişinin yoğun ve tehlikeli olduğu bölgelere göre dizayn edilen otokorkuluk uygulamalarıdır. Uygulama malzemeleri de daha kalın, geniş ve darbelere daha dayanıklı olarak imal edilmekte ve Şekil 1.6’da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Ağır hizmet tipi otokorkuluk

1.1.6. Çelik Halatlı Otokorkuluk Uygulamaları

Köprü, sahil ve geçitlerde güvenlik için büyük önem taşıyan çelik halatlı bariyerler, TS ve DIN normlarına uygun çelikler, çelik halatlar ve bağlantı elemanları

ile imal edilerek sıcak daldırma galvaniz ile yüksek korozyon direnci sağlamaktadır. Sistem Şekil 1.7’de gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Çelik halatlı otokorkuluk

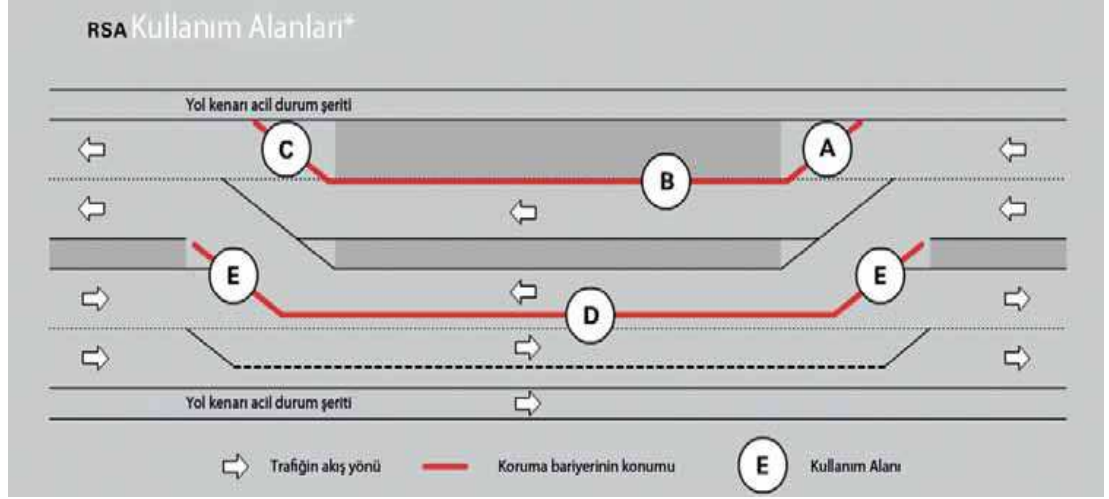
1.1.7. Hareketli Otokorkuluk Uygulamaları

Güvenli ve dinamik karayolu için gerekli bir başka otokorkuluk çeşidi hareketli otokorkuluktur. Avrupa ve Amerika’da kullanımı yaygın olan bu sistemler yoğun trafik durumunda ihtiyaç duyulan ek şeritin sağlanmasında, yol inşaatı uygulamalarında işçilerin ve çevredekilerin güvenliğinin sağlanmasında etkin rol oynamaktadır. Hareketli otokorkulukların ülkemizde kullanıma geçirilmesi can ve mal kayıplarında azalmalara sebep olacaktır. Şekil 1.8’de hareketli otokorkuluk sistemi uygulamaları görülmektedir.



Şekil 1.8. Çelik ve beton hareketli otokorkuluk

Avrupa’ da kullanılmakta olan hareketli otokorkuluk sistemlerinin kullanım alanları bölgesel ortamlara ve taleplere uygun olarak Şekil 1.9’ da görüldüğü gibi hizmet vermektedir.



Şekil 1.9. Avrupa’ da hareketli otokorkuluk kullanımı (Outimex, 2010)

- | | |
|---|--|
| A | İş alanları ve gelen trafik arasında |
| B | İş alanları ve paralel akan trafik arasında |
| C | İş alanları ve akıp giden trafik arasında |
| D | Karşılıklı gidiş gelişin olduğu trafik akımları arasında |
| E | Karşılıklı gidiş gelişin olduğu trafik akımlarında geçiş alanlarında |
| E | Aşağıya düşmeyi engellemek için yollarda ve köprülerde |



Şekil 1.10. Yol çalışması olan bölgelerde güvenli trafik akışı için şerit yaratma



Şekil 1.11. İnşaat uygulamalarında kullanılan çelik hareketli otokorkuluk



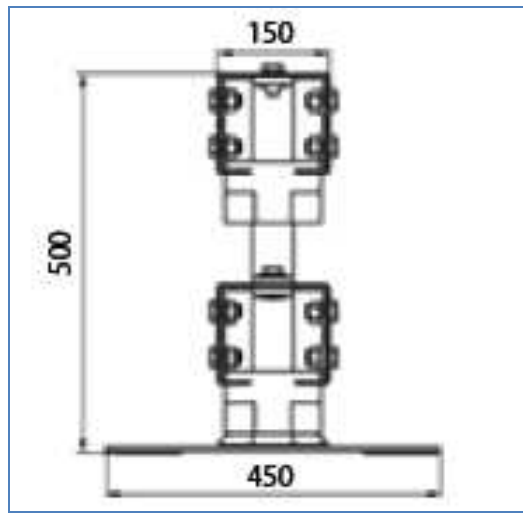
Şekil 1.12. Köprü trafiğinde kullanılan hareketli otokorkuluk

Yukarıda verilen örneklerde ise farklı alanlarda kullanılan çelik hareketli otokorkuluk uygulamaları görülmektedir.

1.1.8. Çelik Hareketli Otokorkuluk Tipleri

Kullanım alanları birbirinden farklı mobil yol emniyet sistemleri adı altında birçok çelik hareketli otokorkuluk sistemleri de mevcuttur (Outimex, 2010).

Limes Ts: Kısa sürede monte edilebilme özelliğine sahip olan sistem genişliğinin az olması sebebiyle dar yol şeritlerinde tercih edilir. 4 m, 8 m ve 12 metreden oluşan eleman uzunlukları sistemin daha esnek kullanımına olanak sağlamaktadır.

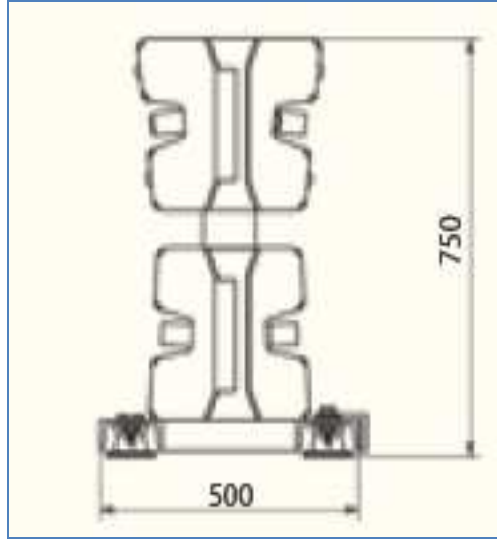


Şekil 1.13. Limes Ts sisteminin dizaynı (Outimex 2010)



Şekil 1.14. Limes Ts sisteminin kullanımı (Outimex 2010)

Limes T3: Otokorkuluk sisteminin plana dair genişliğinin az olması minimal taşıt şeritlerinde de kullanılabilmesini sağlar. Ayrıca sistem yüksekliğinden dolayı sabit koruma bariyerlerine optimal bir şekilde bağlanmasını sağlar.

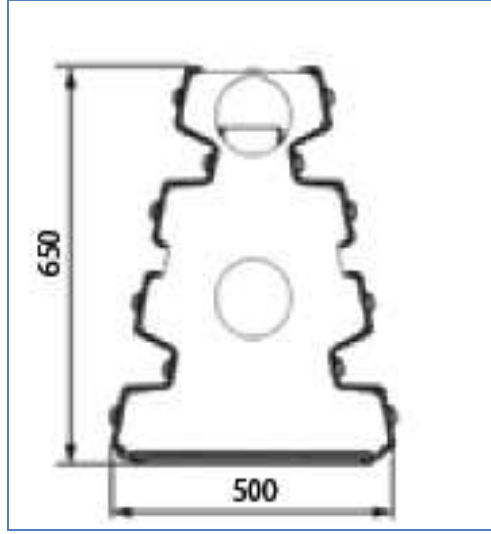


Şekil 1.15. Limes T3 sisteminin dizaynı (Outimex 2010)



Şekil 1.16. Limes T3 sisteminin kullanımı (Outimex 2010)

Limes Berlin: 4m., 8m. veya 12 metrelik eleman uzunlukları dar şeritli yollarda esnek ve çok yönlü kullanıma olanak sağlamaktadır.



Şekil 1.17. Limes Berlin sisteminin dizaynı (Outimex 2010)



Şekil 1.18. Limes Berlin sisteminin kullanımı (Outimex 2010)

1.1.9. Hareketli Otokorkuluk Kullanımının Önemi

Karayolu ulaşımını güvenli hale getirmek ve can kayıplarını asgariye indirmek için diğer otokorkuluk sistemleri ile birlikte hareketli otokorkuluk sistemi üzerine de çok görev düşmektedir. Trafik kazalarının çok fazla yaşandığı bir ülke olmamız sistemin gerekliliğini daha çok göstermektedir. Şekil 1.19’da İstanbul Fatih Sultan Mehmet Köprüsü’nde yol bakım çalışmaları görülmektedir. İşçilerin ve yolda seyir halinde olan araç sürücülerinin daha güvenli bir karayolu içerisinde olmaları için şekilde görülen engeller yeterli değildir.



Şekil 1.19. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü yol bakım çalışmaları

Şekil 1.20’de Konya’da üç aracın karıştığı ve yol yapımı nedeniyle trafiğe kapanan yola giren otomobilin asfalt döküm makinesine çarpması sonucu meydana gelen iki ayrı trafik kazasında 3 kişi hayatını kaybetmiştir. Şekil 1.21’de ise Samsun’da bir otomobilin yol kenarındaki yağmur suyu kanalı inşaatına uçtuğu kaza maddi hasarla atlatılmıştır. Gelişmekte olan ülkemizde bu gibi haberlerin önüne geçmek için daha düzenli ve güvenli yol sistemleri kullanılmalı ve tez çalışmamızda önerdiğimiz hareketli otokorkuluk sisteminin kullanımına geçilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.20. Yol yapımı nedeniyle trafiğe kapanan yola giren otomobilin asfalt döküm makinesine çarpması (Mynet.galeri, 2012)



Şekil 1.21. Otomobilin yol kenarındaki yağmur suyu kanalı inşaatına uçtuğu kaza örneği (Haberler.com)

1.2. Otokorkuluk Tasarımında Gerçek Çarpışma Testi Kriterleri

Gelişen teknolojiyle birlikte bilgisayar destekli modelleme ve simülasyonlar sayesinde standartlar dahilinde her tip otokorkuluk çarpışma deneyleri yapılabilmektedir. Karayolu güvenlik sistemlerinin kullanılmadan önce çarpışma davranışları aracın cinsi, çarpma açısı ve hız kriterlerine göre değerlendirilmektedir. Otokorkuluk tasarımına karar vermek için yapılan bilgisayar destekli analiz ve simülasyon programlarından elde edilen veriler, gerçek çarpışma testlerinde, harcanacak zamanı ve maliyeti minimuma indirmiş olmaktadır. Gerçek çarpışma testleri Avrupa’da European Norm (EN) 1317 Avrupa Yolkenar Emniyet Sistemleri standardına uygun olarak gerçekleşmekte ve Çizelge 1.1’de test kriterleri gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. EN 1317 Avrupa standardı çarpışma testi kriterleri

TEST KODU	ARAÇ AĞIRLIĞI VE TİPİ	ÇARPMA AÇISI VE HIZI
TB11	900 kg Otomobil	20 Derece 100 km/saat
TB21	1300 kg Otomobil	8 Derece 80 km/saat
TB22	1300 kg Otomobil	15 Derece 80 km/saat
TB31	1500 kg Otomobil	20 Derece 80 km/saat
TB32	1500 kg Otomobil	20 Derece 110 km/saat
TB41	10000 kg Kamyon	8 Derece 70 km/saat
TB42	10000 kg Kamyon	15 Derece 70 km/saat
TB51	13000 kg Otobüs	20 Derece 70 km/saat
TB61	16000 kg Kamyon	20 Derece 80 km/saat
TB71	30000 kg Kamyon	20 Derece 65 km/saat
TB81	38000 kg Tır	20 Derece 65 km/saat

Çalışmamızda modellediğimiz otokorkuluk, hareketli otokorkulukların en sık kullanılanları imalat, nakliye ve montaj kolaylığından dolayı 8 metre uzunluğundaki tasarımlardır. Sonlu elemanlar programı ile modellenen çelik hareketli otokorkuluk sistemi, dinamik analiz için European Norm (EN) 1317 Avrupa Yolkenar Emniyet Sistemleri standardında belirtilen çarpışma derecelerinden geçici otokorkuluk sınıfı olan T3’e göre yapılmıştır. Bu doğrultuda TB21 ve TB41 çarpışma testleri yapılmış ve çarpışma simülasyonları LS-DYNA yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde hareketli otokorkuluk tasarımı ve üç boyutlu sonlu elemanlar programları ile inceleme tez konusu olmadığından bu bölümde genel olarak LS-DYNA programıyla yapılan benzer analizlerden bahsedilmiştir.

Karayolu taşımacılığında en önemli görev yol kullanıcılarının yeterli güvenliğini sağlamaktır. Yeni güvenlik bariyeri tasarımı geliştirmek ve çarpışma testi maliyetlerini azaltmak için aracın bariyere karşı davranışını sanal ortamda LS-DYNA simülasyonunu kullanarak tahmin edebiliriz. Bu şekilde aracın deformasyon ve şiddet parametreleri gerçek çarpışma testlerinden önce tahmin edilir, gerekli düzenlemeler yapılır. Güvenlik bariyeri çarpışma simülasyonları ölçeklenebilirlik ve doğruluk değerlendirmesi için aynı model araçla farklı düğüm sayıları ile test edilir ve uygun tasarım belirlenir (Borovinsek, Vesenjok, Ren 2007).

Amerikan Karayolları Birliği, AASHTO tarafından SGR09b olarak adlandırılan ağır hizmet otokorkuluğu en hafifinden en ağırına kadar olan araçları karayolu içerisinde tutmak için özel olarak imal edilmiştir. Bu otokorkuluk sistemi ülkemizde kullanılan ağır hizmet otokorkuluklarına oranla en az iki kat daha ekonomik olduğu için önem arz eden bir sistemdir. Çarpışma testi 8000 kg ağırlığındaki bir kamyonetle Texas Karayolları Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Çarpışma testi sırasında kamyonet otokorkuluğa çarpmış ve sistem tarafından başarıyla yol içerisinde tutulmuştur. Her ne kadar güvenli bir otokorkuluk olsa da değişik şartlar altında çarpışma testine tabi tutularak otokorkuluk sisteminin kullanılabilirliği hakkında daha detaylı bilgilere ulaşılması gerekmektedir. Bunun için de sanal ortamda elde edilen sonuçlarla gerçek çarpışma sonuçları karşılaştırılmıştır ve bu otokorkuluk modelinin Avrupa Çarpışma Test Standartlarına (EN 1317) göre incelenmesi önerilmektedir (Atahan, 2009).

Bu çalışmalar haricinde farklı yol güvenlik sistemlerinin LS-DYNA simülasyon analizleri bulunmaktadır. Farklı eğimlere sahip yollarda kullanılmak üzere sonlu elemanlar programıyla modellenen beton bariyerlerin yer seçimi çalışması LS-DYNA ile analiz edilmiştir (Sheikh , Bligh, 2006).

Amerika’da kullanılmakta olan otokorkuluk geçiş dizaynının Avrupa çarpışma standardına göre Atahan ve Bonin (2006) çalışmalarında incelemişlerdir. 810 mm yükseklikteki geçiş dizaynını 30,000 kg ağırlığındaki kamyon darbesine karşı yetersiz

olduğunu belirlemiş ve geçiş otokorkuluğunun H4a seviyesini sağlayabilmesi için minimum 1050 mm yükseklikte olması gerektiğini vurgulamıştır. Çalışmada gerçek çarpışma testlerinin yanında LS-DYNA simülasyon sonuçları da kullanılmıştır.

Atahan (2009) New Jersey tipi beton otokorkulukların yüksekliğinin araç stabilizesine etkisinin araştırmıştır. LS-DYNA simülasyonları kullanılarak 10 ve 30 tonluk ağır vasıtalar kullanılarak yapılan bu çalışmada optimum otokorkuluk yüksekliği 1050 mm olarak belirlenmiştir. Bu yükseklikten daha alçak inşa edilen beton otokorkulukların 30 tonluk ağır vasıtaları tutmada yetersiz olacağı belirlenmiştir.

Coon ve Reid tarafından yayınlanan bu çalışmada otokorkulukların sonlarına yerleştirilen enerji yutucu başlıklar ve bunların çarpışma davranışları incelenmiştir. Çarpışmadan sonra meydana gelen deformasyonlardan yola çıkarak çarpışmanın yeniden oluşturulması için bir metod önerilmiştir. Yeniden oluşturma yöntemi için momentumun ve enerjinin korunumu yasaları kullanılmıştır. Yazarlar gerçek kazaların şartlarının belirlenmesinin ve davranışın tahmin edilmesinin daha efektif sistemlerin üretilmesinin yanında kazaların şiddet ve sayılarının azaltılmasını da sağlayacağını vurgulamaktadır (Coon ve Reid, 2006).

LS-DYNA sonlu elemanlar metoduyla Amerika karayolu güvenliği standartlarına uygun yarı rijit çelik otokorkuluk önüne monte edilen enerji emici kuvvet saptırıcı plakaya üç tip farklı ağırlıktaki araç ve farklı açılarda çarpışma testleri uygulanmıştır. Bu çarpışma testlerinden elde edilen veriler ışığında otokorkuluk elemanı olan W-ray'ın x yönündeki deformasyonu ve yer değiştirmesi incelenmiştir (Reid ve Sicking, 1998).

Literatürde dikkat çeken bir özellik de, rijit bir köprü otokorkuluğundan daha esnek standart otokorkuluğa geçiş otokorkuluğunun davranışı hem gerçek çarpışma test sonuçları ve hem de bilgisayar simülasyonları kullanılarak incelenmiştir. Amerika'da yapılan bir çarpışma testinde anılan geçiş otokorkuluğu çarpan aracın takla atmasına ve testin başarısız olmasına sebep olmuştur.

İlk aşamada sorunu belirlemek için aynı çarpışma sonlu elemanlar ile modellenmiş ve modellerin doğruluğu karşılaştırmalı olarak teyit edilmiştir. Takla atma sebebinin düşük yükseklikteki ray olduğuna karar verilmiş ve ikinci simülasyonda ray yüksekliği 685 mm'den 810 mm'ye çıkarılmıştır. Yeni tasarım üzerinde yapılan simülasyon sonuçları sistemde oldukça iyileşmeler gerçekleştiğini gözler önüne sermiştir. Yazarlar yenilenmiş sistemin kullanılmasını önermektedir (Atahan ve Cansız, 2004).

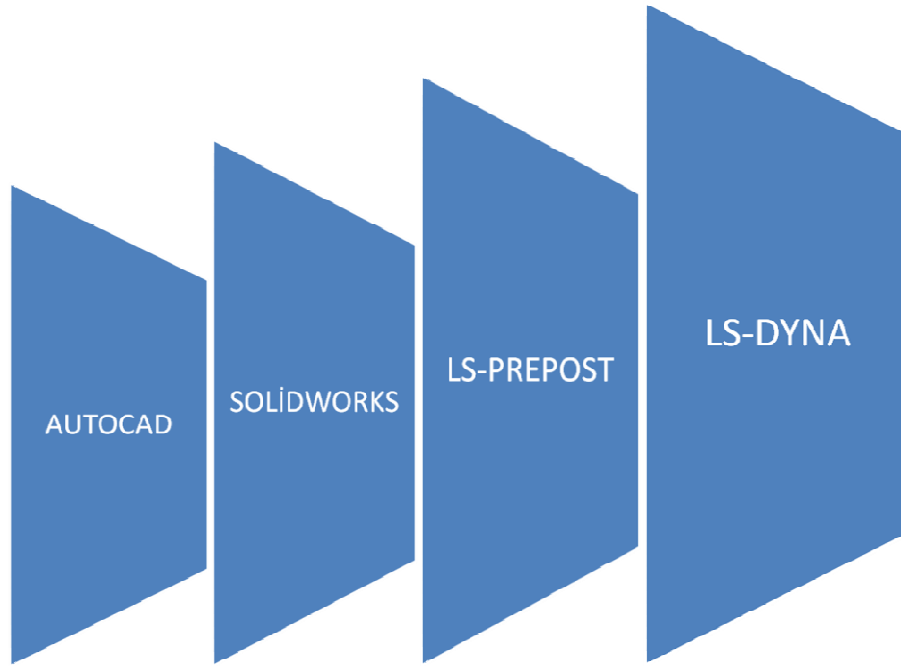
Stout ve ark. (1988), dikme-zemin etkileşiminin çarpışma davranışına olan etkisini incelemişlerdir. 2134-mm dikme yüksekliğine sahip iki değişik otokorkuluk sisteminin performansını belirlemeyi amaçlamışlardır. Dikme uzunluğunu değiştirerek 4 adet gerçek çarpışma deneyi yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre zemin özelliklerinin sistem davranışına etkileri üzerinde yorumlar yapmışlardır.

Mak ve Menges (1994), 2000-kg'lık pikap kamyonu kullanarak yaptıkları çarpışma testlerinde güçlü dikmeli ahşap otokorkuluk sistemlerinin performansını incelemişlerdir. 100 km/saat hız ve 25 derece çarpışma açısı ile yapılan deneylerde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Bu testlerde 150 mm x 200 mm ebatındaki dikdörtgen dikmeli G4(2W) standart otokorkuluk sistemi ile IPE100 boyutundaki çelik dikmeli G4 (1S) standart otokorkuluk sistemler incelenmiştir. Her iki sistemde de dikmeler arası 1900 mm ve otokorkuluk rayının yüksekliği 866-mm'dir.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programları ve Özellikleri

Hareketli otokorkuluk tasarımının modellenmesi ve simülasyon çalışmasının yapılabilmesi için bilgisayar programları kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan programlar Şekil 3.1’de gösterilen ticari yazılımlardır.



Şekil 3.1. Tez çalışmasında kullanılan bilgisayar programları

Autocad, temel tasarım ve çizim programı olarak her tür meslek alanında kendini gösteren bir yazılımdır. Güzel sanatlardan Tıbbı, Şehir planlamadan Reklamcılığa, Haritacılıktan Elektroniğe, Uzay araştırmalarından Denizbilim Araştırmalarına, Mimarlık ve Mühendislik alanlarında faydalanılan bir programdır.

Autocad yazılımının bu kadar yaygın olarak tercih edilen bir yazılım olmasının sebebi, gerek 2 gerekse 3 boyut tasarım ve çizim için sağladığı olanaklar ve kullanım kolaylığıdır.

Autocad, gerçek bir 2 ve 3 boyutlu (3D) tasarım ve çizim yazılımıdır.

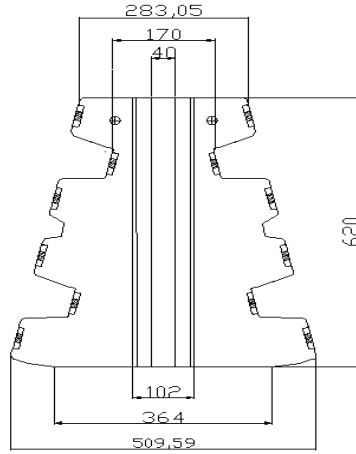
Solidworks, Windows'un kolaylıklarını kullanarak 3 boyutlu tasarım yapılmasını sağlayan yazılımdır. Genellikle makine, tesis, ürün tasarımlarında kullanılır. Solidworks kullanıcıya tasarımın her aşamasında müdahale şansı vererek, tasarlanan 3 boyutlu katı modelin ölçülerinin, boyutlarının ve ayrıntılarının hızlı bir şekilde değişmesi imkanını sunmaktadır. Elde edilen tasarım parçaları hızlı montaj sayesinde istenilen modeli yaratmaktadır.

LS-PREPOST, LS-DYNA çatısı altında birlikte kullanılan yazılımlardandır. Bu yazılımla sonlu elemanlar modelinin oluşturulduğu, sınır şartlarının ve yüklemelerin tanımlandığı, sonuçların ve simülasyonun değerlendirildiği yazılımdır. Bu yazılımlar analiz programlarının en önemli yardımcı yazılımlarıdır.

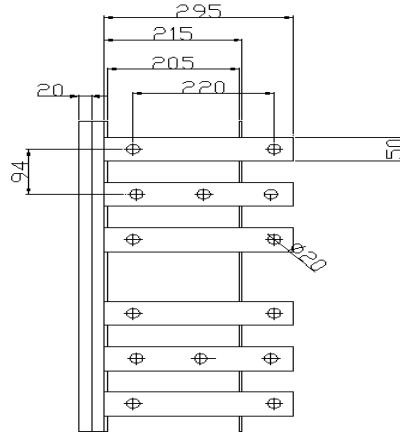
LS-DYNA, açık çözüm kullanan bir sonlu elemanlar modelleme ve simülasyon yazılımı olup; düşme testleri, çarpışma gibi kısa süreli-yüksek frekanslı ve yüksek derecede nonlineer dinamik-quazistatik benzeşimlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. LS-DYNA, mühendislere sanal ortamında model oluşturma imkânlarını sağlayabilmekte, LS-DYNA çözücüsünü daha verimli bir şekilde kullanma olanağı sunmaktadır.

3.2. Çalışmada Kullanılan Çelik Hareketli Otokorkuluk Elemanlarını Tanıtma

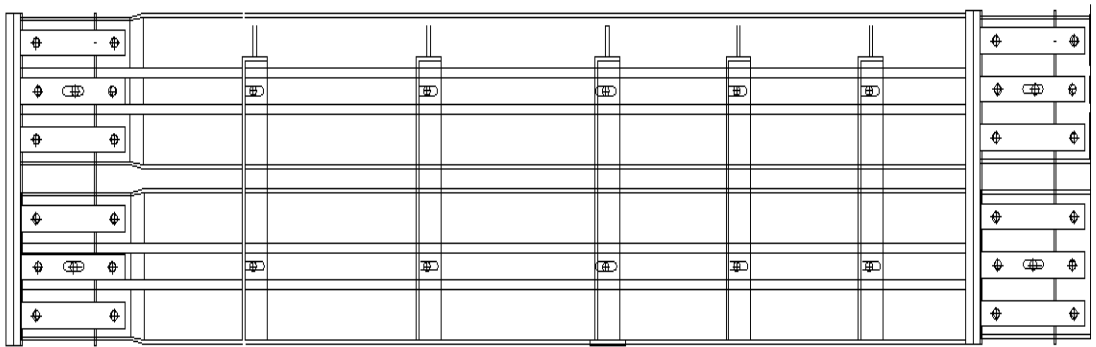
Hareketli otokorkuluk, karayollarında kullanılmakta olan otokorkuluk tiplerinden farklı dizayna sahiptir. Bu otokorkuluğu oluşturan elemanlar aşağıdaki şekillerde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 3.2'de otokorkuluğun başlık kısmı, Şekil 3.3'te başlıkla rayları birbirine bağlamaya yarayan yan plakalar, Şekil 3.4'te 8 metre uzunluğundaki ray, Şekil 3.5'te rayın yandan görünüşü, Şekil 3.6'da raylar arası kullanılan ara dikme ve Şekil 3.7'de ara dikmeyi raylara bağlayan takoz gösterilmektedir.



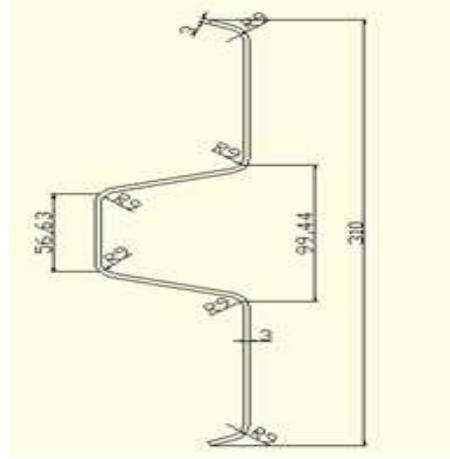
Şekil 3.2. Hareketli otokorkuluk başlık kısmı (ALKA, 2012)



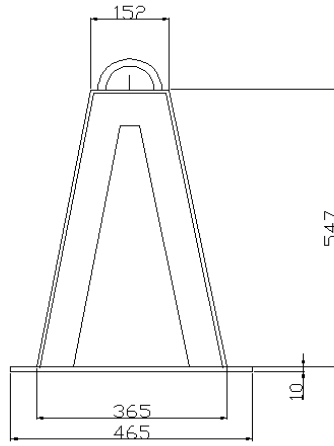
Şekil 3.3. Hareketli otokorkuluk başlık yan kısmı (ALKA, 2012)



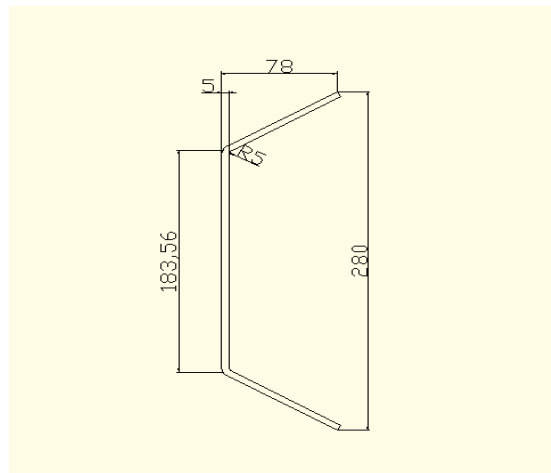
Şekil 3.4. Hareketli otokorkuluk 8 metre uzunluğundaki ray kısmı (ALKA, 2012)



Şekil 3.5. Hareketli otokorkuluk ray yan kesiti (ALKA, 2012)

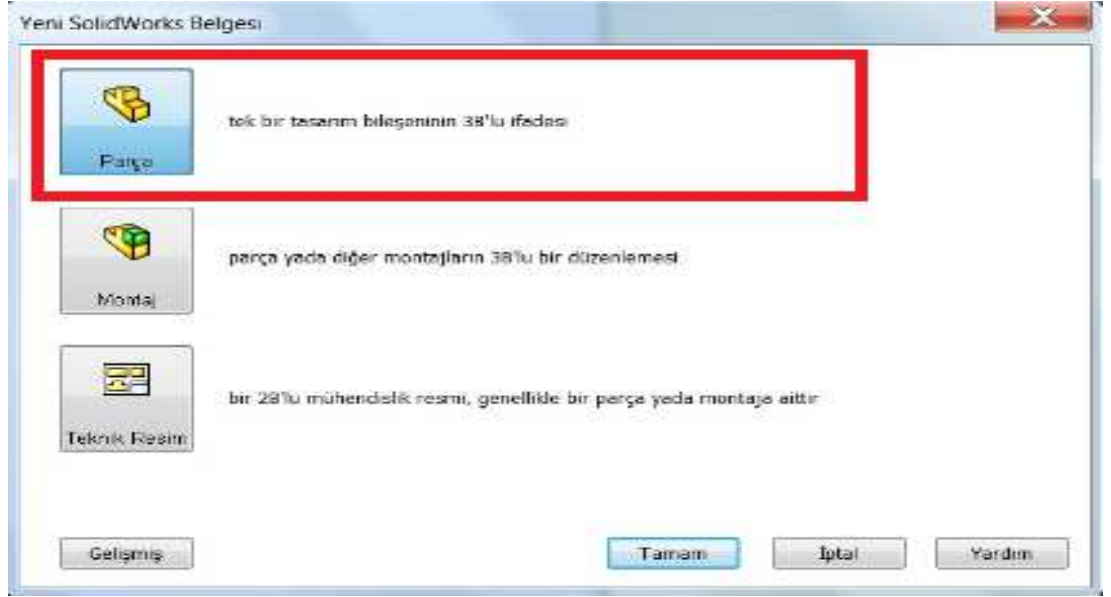


Şekil 3.6. Hareketli otokorkuluk raylar arası kullanılan ara dikme (ALKA, 2012)

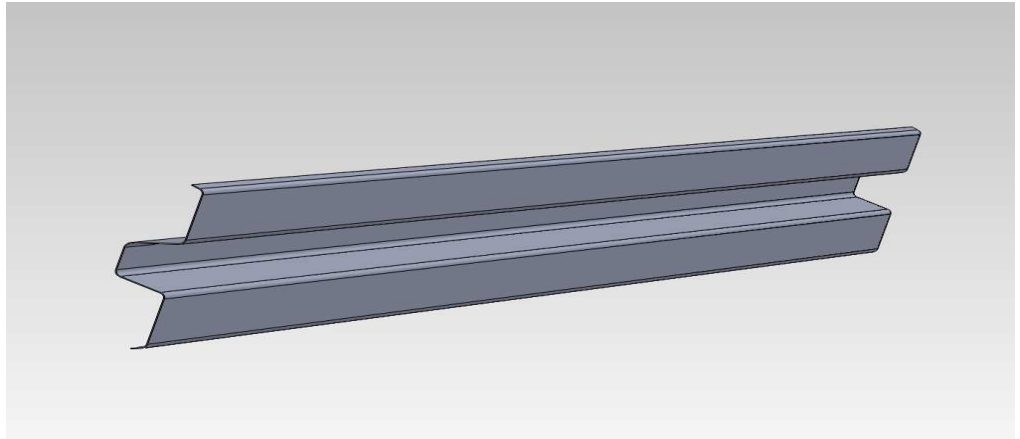


Şekil 3.7. Hareketli otokorkuluk raylar arası kullanılan ara dikme takozu (ALKA, 2012)

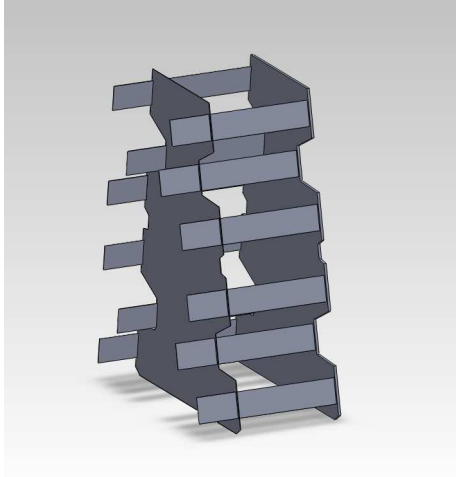
Autocad'de oluşturulan iki boyutlu otokorkuluk, Solidworks programı kullanılarak üç boyutlu katı model haline getirilmiştir. Otokorkulukların üç boyutlu katı model haline getirilmesi analize hazır hale gelmesinde kolaylık sağlamaktadır. Şekil 3.8'de gösterilen Solidworks belgesi ile tasarım üç boyutlu hale getirilmiş ve Şekil 3.9'da her otokorkuluk parçası teker teker katı model haline getirilip sonrasında montajla birleştirilmiştir.



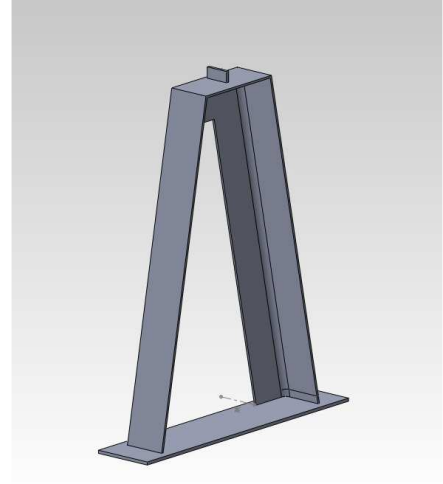
Şekil 3.8. Solidworks programı ile tek bir tasarım bileşeninin üç boyutlu ifadesi



a) Ray



b) Başlık



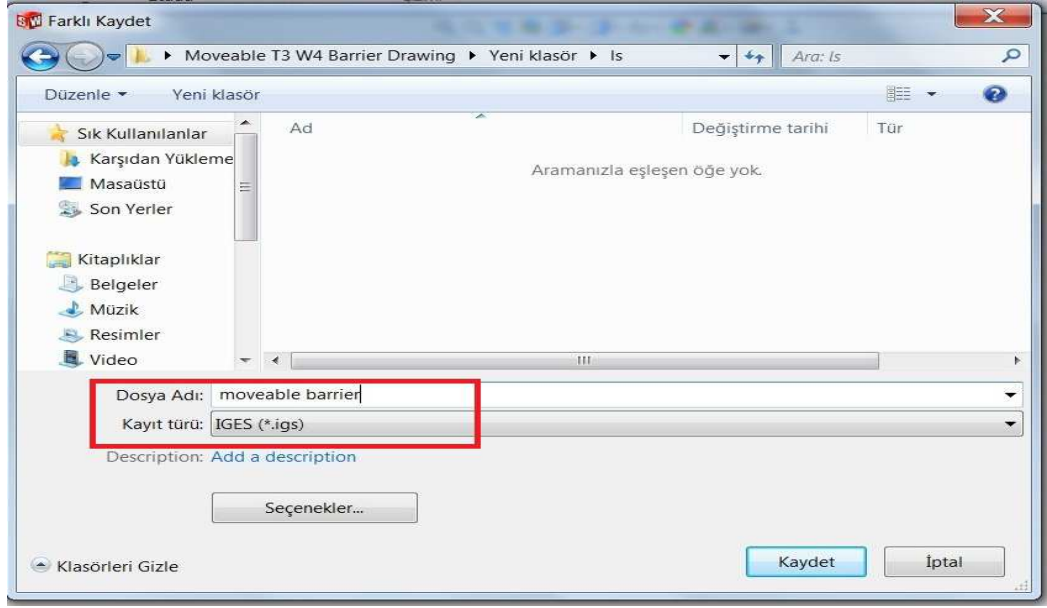
c) Dikme

Şekil 3.9. Solidworks programında tasarlanan yapı elemanlarının katı modelleri
(a) Ray, b) Başlık, c) Dikme)

3.3. Hareketli Otokorkuluğun Analize Hazır Hale Getirilmesi

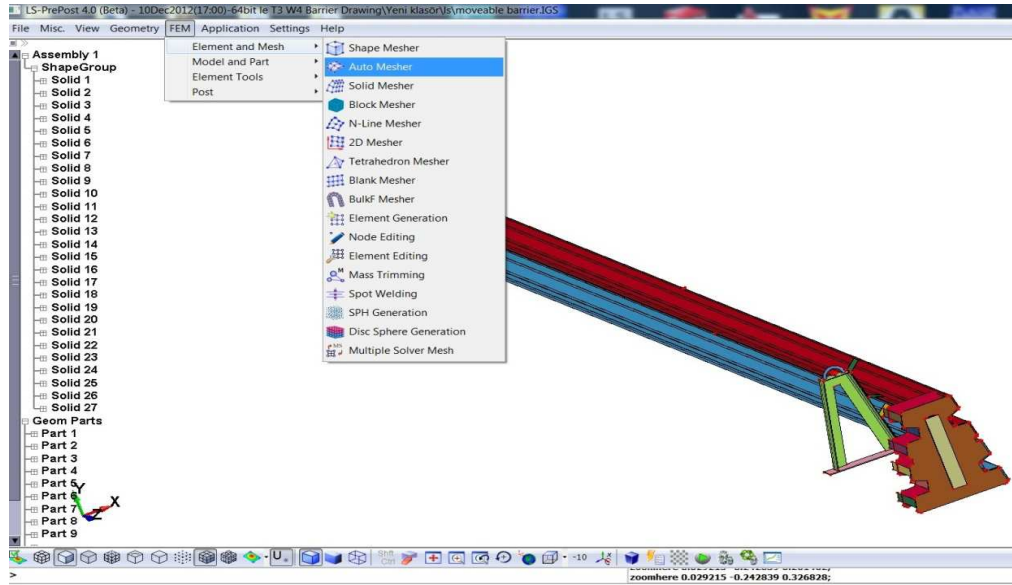
Solidworks’de üç boyutlu katı model olarak hazırlanan hareketli otokorkuluk ve çarpışma testi yapılacak araçların LS-DYNA ile ortak çalışan LS-PREPOST yazılımında sonlu elemanlar modellemesi bu kısımda anlatılacaktır. LS-PREPOST, bu yazılımlar çoğunlukla LS-DYNA çatısı altında birlikte kullanılan yazılımlardandır. Bu yazılımla sonlu elemanlar modelinin oluşturulduğu, sınır şartlarının ve yüklemelerin tanımlandığı, sonuçların ve simülasyonun değerlendirildiği yazılımdır. Bu yazılımlar analiz programlarının en önemli yardımcı yazılımlarıdır.

Çalışmamızda hazırlanan çelik hareketli otokorkuluk sisteminin analiz yapılabilmesi için otokorkuluğu oluşturan bütün elemanların ayrı ayrı mesh yapılması gerekmektedir. Yardımcı yazılım olan LS PREPOST kullanılarak otokorkuluk elemanları mesh (sonlu eleman ağı) yapılmıştır. Şekil 3.10’da gösterildiği üzere LS PREPOST yazılımında mesh yapılabilmesi için Solidworks programında oluşturulan otokorkuluk sisteminin dosya uzantısı “.igs” olarak değiştirilmiştir.



Şekil 3.10. Solidworks programında dosya uzantısının “.igs” olarak değiştirilmesi

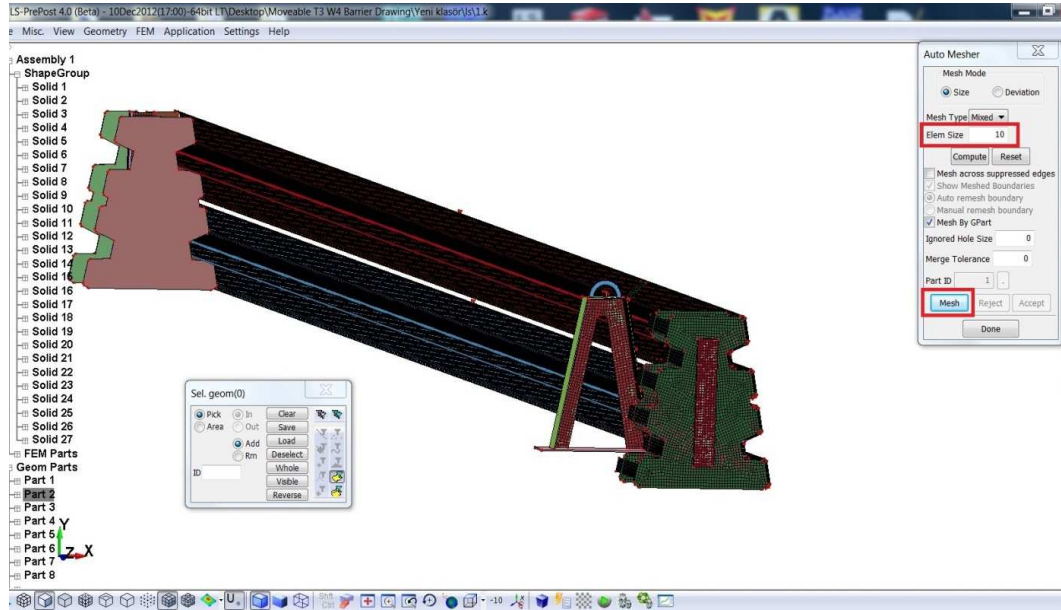
Dosya uzantısı “.igs” olarak değiştirilen otokorkuluk modeli mesh yapılmak üzere LS PREPOST yazılımında açılır. Şekil 3.11’de gösterildiği gibi FEM (Finite Element Menu) Sonlu elemanlar menüsü yardımıyla otokorkuluk sistemleri mesh yapılmıştır.



Şekil 3.11. LS PrePost yazılımına aktarılan hareketli otokorkuluk modelinin mesh yapılması

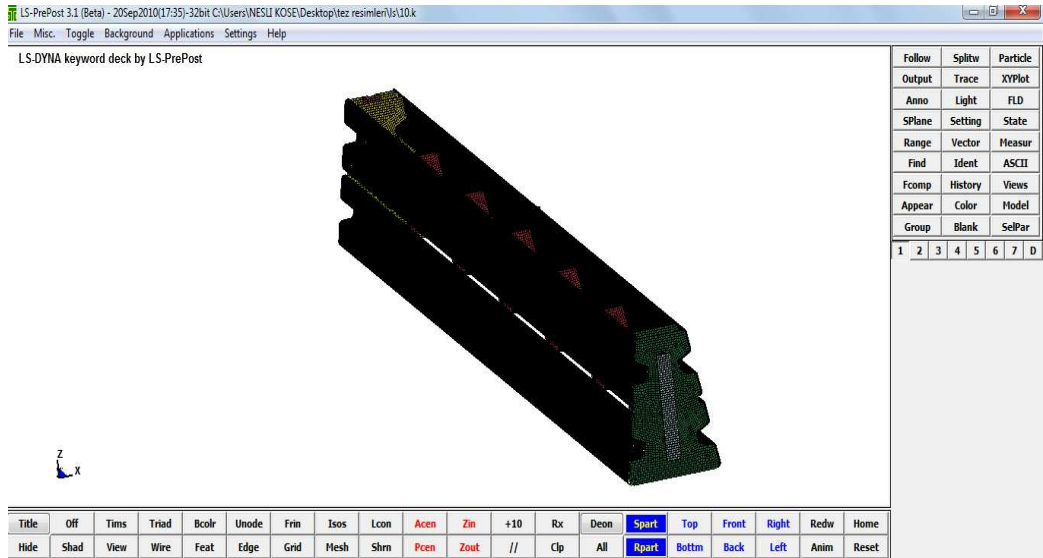
LS PrePost programında oluşturulan mesh ağında elemanlar 10 mm x 10 mm’lik kare olarak seçilmiştir. Hesapların daha doğru ve hassas yapılabilmesi için seçilen bu

boyut otokorkuluk elemanlarının birbiriyle etkileşimini daha gerçekçi biçimde vermektedir. Şekil 3.12 ve 3.13'te mesh yapılma aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 3.12. LS PrePost yazılımına aktarılan modelin mesh yapılma aşaması

Otokorkuluk sistemi elemanlarından ara dikme *Translt komutuyla çoğaltılmış ve ray ile takozlar *Reflect komutuyla aynalama işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.13. LS PrePost yazılımına aktarılan modelin tamamının mesh yapılmış hali

Hazırlanan hareketli otokorkuluk sistemini Ls PrePost yazılımına tanıtabilmek için malzeme ve kesit tanımı yapılmalıdır. Otokorkuluğu oluşturan her elemana malzeme ve

kesit özellikleri ataması yapılmıştır. Malzeme tanımında elastisite modülü, yoğunluk, poisson oranı ve akma gerilmesi ataması kullanılıp bu atama işlemi *Mat komutuyla gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.1 ve 3.2’de hareketli otokorkuluk sistemine atanan malzeme özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Otokorkuluk sistemi elemanlarının malzeme özellikleri

Materyal No (MİD)	024	PIECEWISE LINEAR PLASTICITY
Yoğunluk (RO)	7.850e-009	ton/mm ³
Elastisite Modülü (E)	2.050e+005	MPa
Poisson Oranı (PR)	0.30	----
Akma Gerilmesi (SIGY)	235 - St37	MPa

Çizelge 3.2. Otokorkuluk sistemi elemanlarından cıvata malzeme özellikleri

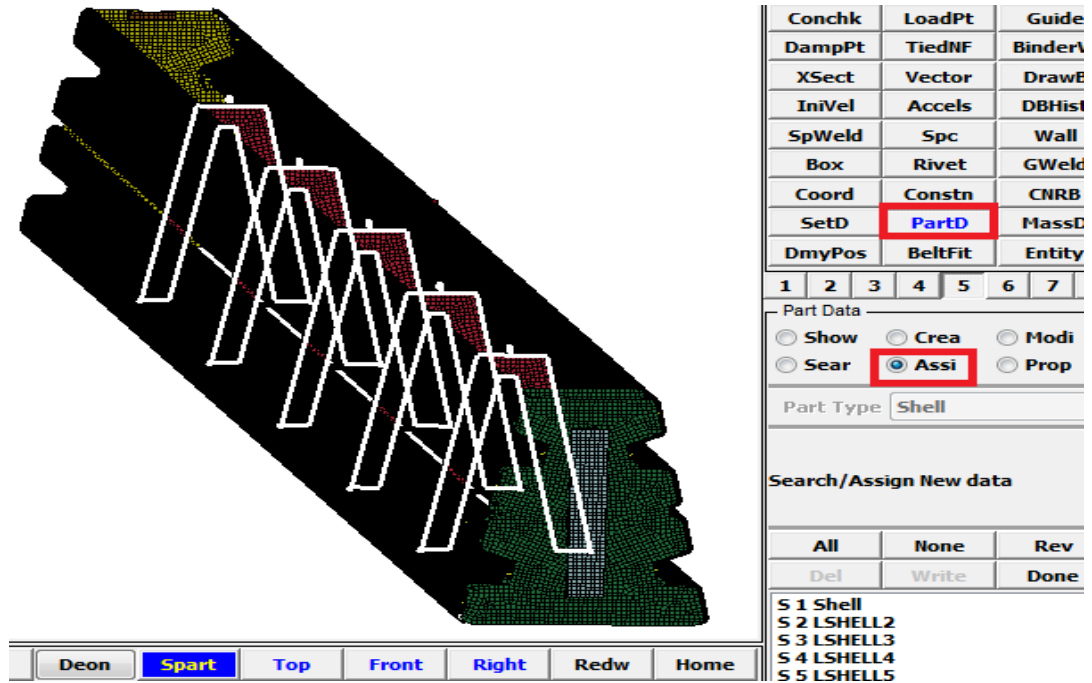
Materyal No (MİD)	098	SIMPLIFIED JOHNSON COOK
Yoğunluk (RO)	7.850e-009	ton/mm ³
Elastisite Modülü (E)	2.100e+005	MPa
Poisson Oranı (PR)	0.28	----

Malzeme tanımı gerçekleştirilen hareketli otokorkuluk sisteminin kesit tanımı yapılacaktır. Sistemi oluşturan her eleman için ayrı ayrı kesit ataması gerçekleştirilmiş ve *Section komutu ile farklı et kalınlıklarına (thickness) sahip eleman dataları girilmiştir. Otokorkuluk sistemine ait et kalınlıkları Çizelge 3.3’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Otokorkuluk sistemi elemanları kesit özellikleri

SECID	TITLE	THICKNESS
1	RAY	3 mm
2	TAKOZ	5 mm
3	DİKME	7 mm
4	DİKME TABANI	10 mm
5	ÖN BAŞLIK	10 mm
6	ÖN BAŞLIK ÇIKINTISI	20 mm
7	ARKA BAŞLIK	10 mm
8	ARKA BAŞLIK GİRİNTİSİ	6 mm
9	YAN PLAKALAR	10 mm

Malzeme ve kesit özellikleri atanan otokorkuluk sisteminde hangi kesitte ne tür malzeme kullanıldığına dair gerekli atamalar *Part komutuyla gerçekleştirilmektedir. Seçilen her kesit için teker teker malzemeler atanmıştır. Şekil 3.14'te ara dikme elemanı ve Şekil 3.15'te bu elemana atanan malzeme özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Otokorkuluk elemanlarından ara dikmeye malzeme özellikleri atama

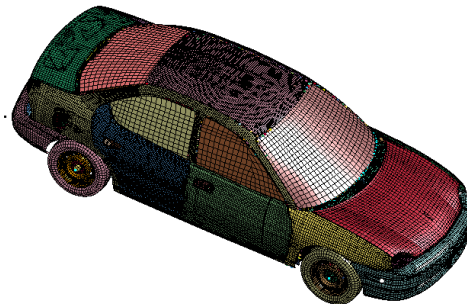
*SECTION_SHELL_TITLE									
DİKME									
\$#	secid	elform	shrf	nip	propt	qr/irid	icomp	setyp	
	3	2	1.000000	2	1	0	0	1	
\$#	t1	t2	t3	t4	nloc	marea	idof	edgset	
	7.000000	7.000000	7.000000	7.000000	0.000	0.000	0.000	0	

Material Data for Part Id : 11									
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_TITLE									
ST37									
\$#	mid	ro	e	pr	sigy	etan	fail	tdel	
	1	7.8500E-9	2.0500E+5	0.300000	235.00000	0.0001	0.0000E+21	0.000	
\$#	c	p	lcss	lcsr	vp				

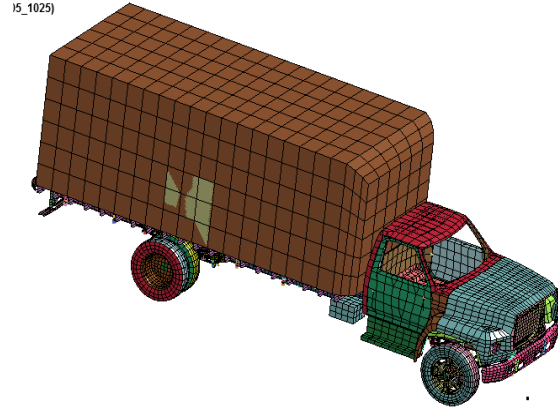
Şekil 3.15. Ara dikme malzeme özellikleri

3.4. Test Araçlarının Hazırlanması ve Otokorkuluk Sistemleriyle Analize Hazır Hale Getirilmesi

LS-PREPOST yazılımında oluşturulan sonlu elemanlar modeli çarpışma analizi yapılmak üzere LS-DYNA analiz ve simülasyon programına aktarılacaktır. Çarpışma analizinde Amerikan Ulusal Çarpışma Analiz Merkezinden (NCAC) alınan daha önce doğruluğu ispatlanmış 1300 kg'lık otomobil ile 10000 kg'lık kamyon modeli kullanılmıştır (NCAC 2008). Dinamik analizde kullanılan araçlar Şekil 3.16'da ve otokorkuluk sistemi Şekil 3.17'de görülmektedir.

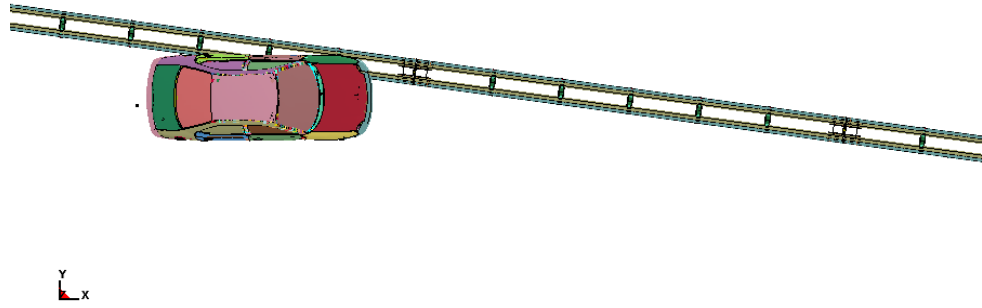


a) 1300 kg'lık otomobil

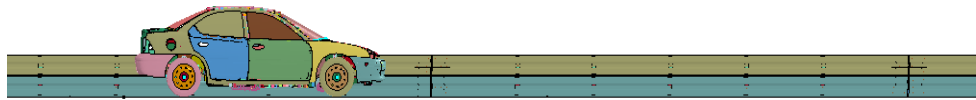


b)10000 kg'lık kamyon

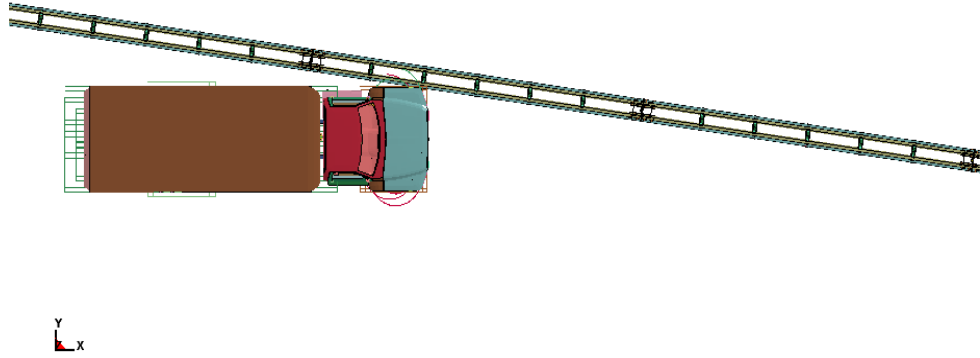
Şekil 3.16. Analizde kullanılan 1300 kg ve 10000 kg'lık araçların sonlu elemanlar modelleri (a) 1300 kg'lık otomobil, b)10000 kg'lık kamyon)



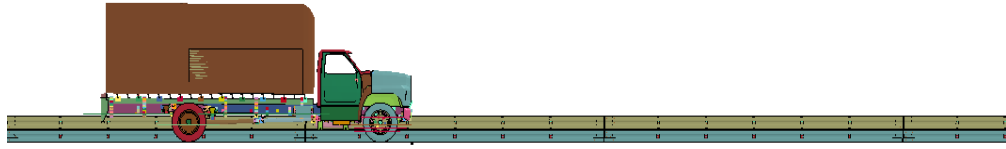
a) 1300 kg'lık otomobil ve hareketli otokorkuluk sisteminin üst görünüşü



b) 1300 kg'lık otomobil ve hareketli otokorkuluk sisteminin yan görünüşü



c) 10000 kg'lık kamyon ve hareketli otokorkuluk sisteminin üst görünüşü



d) 10000 kg'lık kamyon ve hareketli otokorkuluk sisteminin yan görünüşü

Şekil 3.17. Analizde kullanılan 1300 kg ve 10000 kg'lık araçların sonlu elemanlar modelleri ve hareketli otokorkuluk sistemi (a) 1300 kg'lık otomobil ve hareketli otokorkuluk sisteminin üst görünüşü, b) 1300 kg'lık otomobil ve hareketli otokorkuluk sisteminin yan görünüşü, c) 10000 kg'lık kamyon ve hareketli otokorkuluk sisteminin üst görünüşü, d) 10000 kg'lık kamyon ve hareketli otokorkuluk sisteminin yan görünüşü)

3.5. Çelik Hareketli Otokorkuluk Sisteminin LS-DYNA Yazılımında EN 1317-2 Standardına Uygun Olarak Çarpıştırılması

European Norm (EN) 1317–2 standardının amacı, otokorkuluğun çarpışma testi süresince ve sonrasında otokorkuluğun fazla hasara uğramadan ve çarpan aracın tekrar yola dönmesini sağlayacak kadar mukavemete sahip olduğunu ve ayrıca araç içerisindeki yolcuların yaralanma risklerini minimum seviyeye indirmeyi garanti etmesidir. Bu, çarpan aracın hiçbir şekilde yolu terk etmemesi ve güvenli bir şekilde

yavaşlayarak durmasını öngörmektedir. Testte belirli miktardaki enerji çarpışmadan dolayı araçtan otokorkuluğa geçmektedir.

Çalışma dahilinde yapılan iki tip çarpışma simülasyonları vardır. Bu çarpışma testleri Çizelge 3.4'te gösterilen TB21 ve TB41 testleridir ve T3 performans seviyesinde olan sistemin çarpışma testi kriterleri Çizelge 3.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. EN 1317-2 Standardında hizmet seviyesi için yapılması gereken kabul testleri (CEN, 2010)

	Hizmet Seviyesi	Kabul Testi
En Hafif Hizmet	T1 T2 T3	TB21 TB22 TB41 ve TB21
Normal Hizmet	N1 N2	TB31 TB31 ve TB11
Ağır Hizmet	H1 H2 H3	TB42 ve TB11 TB51 ve TB11 TB61 ve TB11
Çok Ağır Hizmet	H4a H4b	TB71 ve TB11 TB81 ve TB11

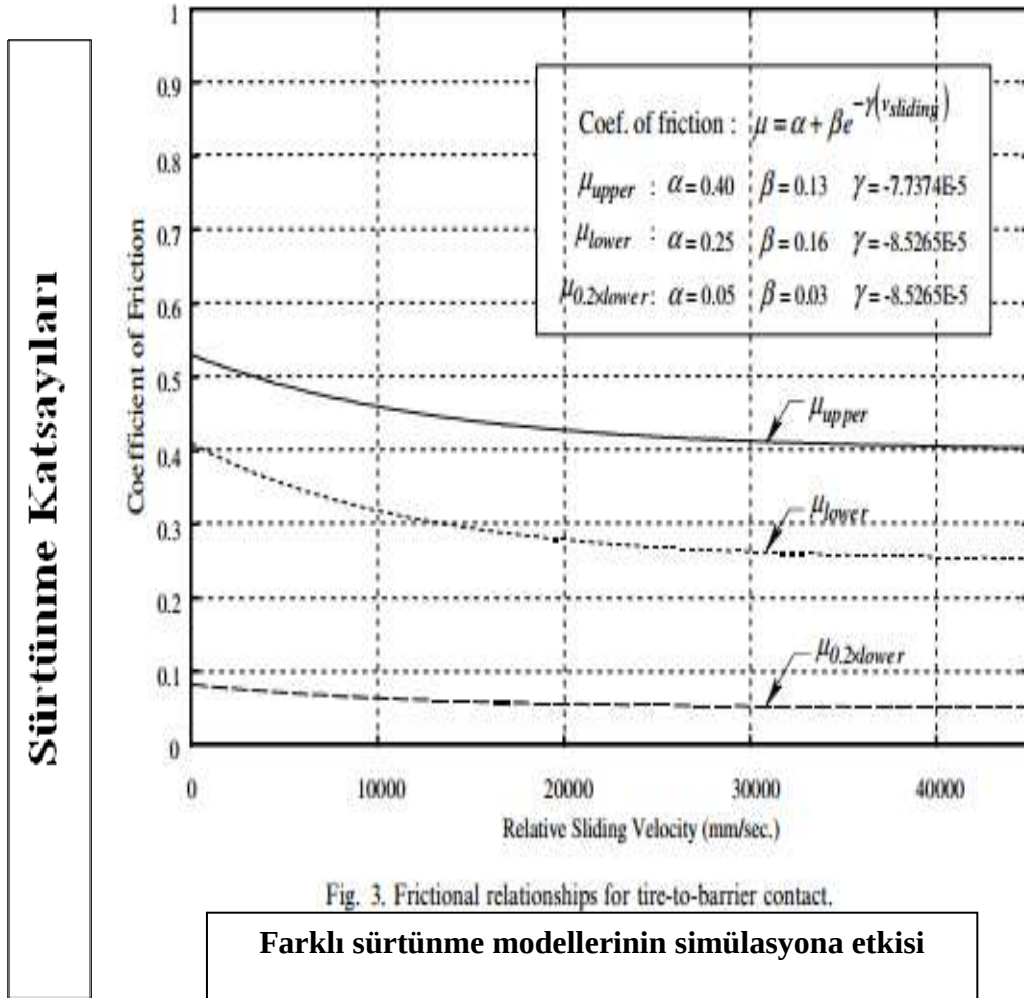
Çizelge 3.5. EN 1317 Avrupa standardı çarpışma testi kriterleri (CEN, 2010)

TEST KODU	ARAÇ AĞIRLIĞI VE TİPİ	ÇARPMA AÇISI VE HIZI
TB11	900 kg Otomobil	20 Derece 100 km/saat
TB21	1300 kg Otomobil	8 Derece 80 km/saat
TB22	1300 kg Otomobil	15 Derece 80 km/saat
TB31	1500 kg Otomobil	20 Derece 80 km/saat
TB32	1500 kg Otomobil	20 Derece 110 km/saat
TB41	10000 kg Kamyon	8 Derece 70 km/saat
TB42	10000 kg Kamyon	15 Derece 70 km/saat
TB51	13000 kg Otobüs	20 Derece 70 km/saat
TB61	16000 kg Kamyon	20 Derece 80 km/saat
TB71	30000 kg Kamyon	20 Derece 65 km/saat
TB81	38000 kg Tır	20 Derece 65 km/saat

LS-PREPOST yazılımında hazırlanan yeni nesil otokorkuluk sistemleri LS-DYNA analiz ve simülasyon yazılımında birden çok işlemciye sahip bilgisayar kullanılarak çarpışma testleri yapılmıştır.

Otokorkuluk tabanı ile zemin yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı otokorkuluk davranışını etkileyen önemli bir parametredir.

Bu çalışmada Fs değeri literatürdeki benzer çalışmalardan alınarak kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Farklı sürtünme katsayılarının simülasyona etkisi

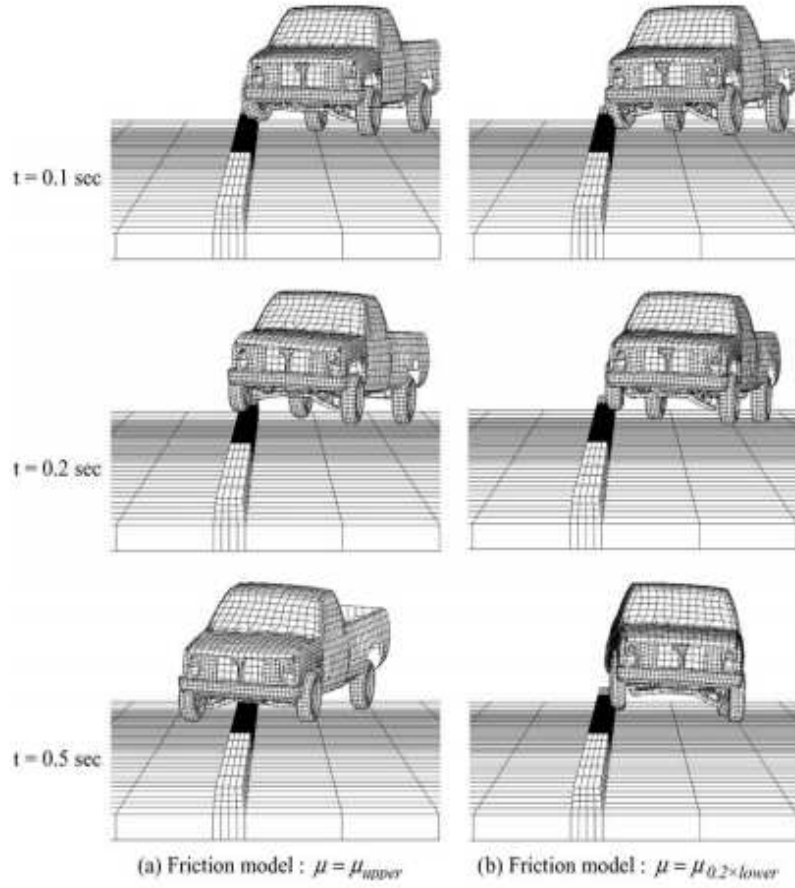


Fig. 4. Curb impact simulation results for different frictional models.

Lastik-Bariyer Sürtünme İlişkisi

Şekil 3.19. Farklı sürtünme katsayılarının lastik ve bariyerde gösterdiği davranışlar

Literatürde bariyer tabanı ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme katsayıları genel olarak üç değişkene bağlı olarak değişmektedir:

1. Bariyerin oturduğu yüzeyin kuru veya ıslak olması
2. Yüzeyin pürüzlülüğü (asfalt-beton yüzey)
3. Tabana özel kauçuk tabaka yapılması

Literatürdeki çalışmalarda bu durumlarda sürtünme katsayıları 0.5 - 0.8 arasında değişmektedir. Bu çalışmada otokorkuluğun en fazla deplasman yapacağı mesafeyi bulabilmek için sürtünme katsayısı 0.5 olarak alınmıştır.

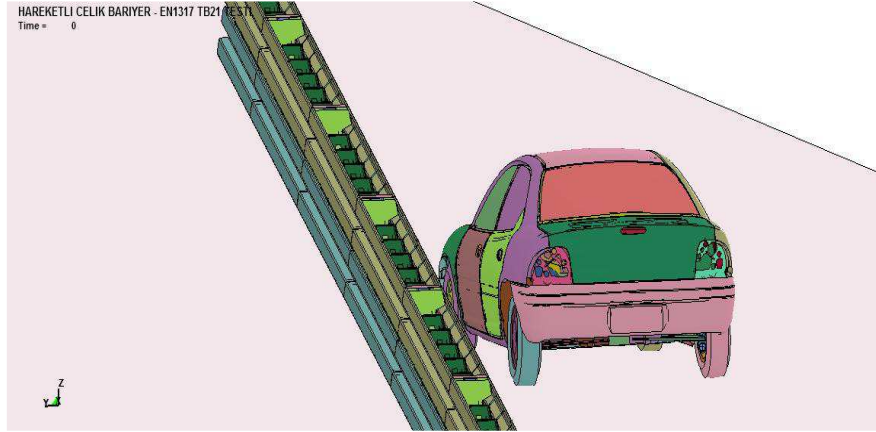
4. BULGULAR

4.1. Çelik Hareketli Otokorkuluk Sistemlerinin Sanal Ortamda Çarpışma Testlerinin Oluşturulması

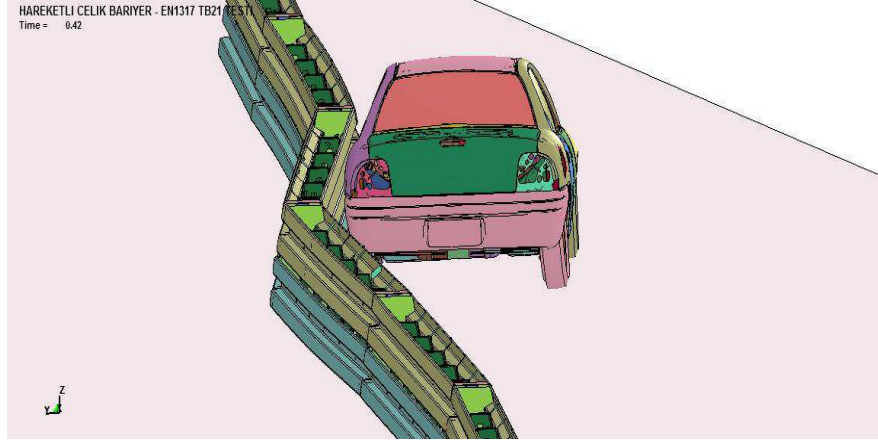
Çelik hareketli otokorkuluk sistemi LS-DYNA analiz ve simülasyon yazılımında EN 1317-2 standardına göre TB21 ve TB41 test kriterlerine uygun çarpışma simülasyonları yapıldı. Yapılan bu çarpışma simülasyonları neticesinde otokorkuluk sisteminin T3 performans seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

4.1.1. TB21 Testi

İlk yapılan analiz TB21 testine aittir. Analizde esas amaç araç içerisindeki yolcuların yaralanma risklerinin belirlenmesidir. Aracın çarpma noktası olarak iki dikme arası seçilmektedir. Bu durum en olumsuz sonucu elde etmek amacıyla. TB21 testini gerçekleştirmek için 1300 kg'lık otomobil kullanılmıştır. Otomobil 80 km/sa. hızda ve 8° açıyla otokorkuluğa çarptırılmıştır. Şekil 4.1'de TB21 test simülasyonu öncesi (a) ve sonrası (b) çarpışma durumları görülmektedir.



a) EN1317 TB21 Test simülasyon öncesi



b) EN1317 TB21 Test simülasyon sonrası

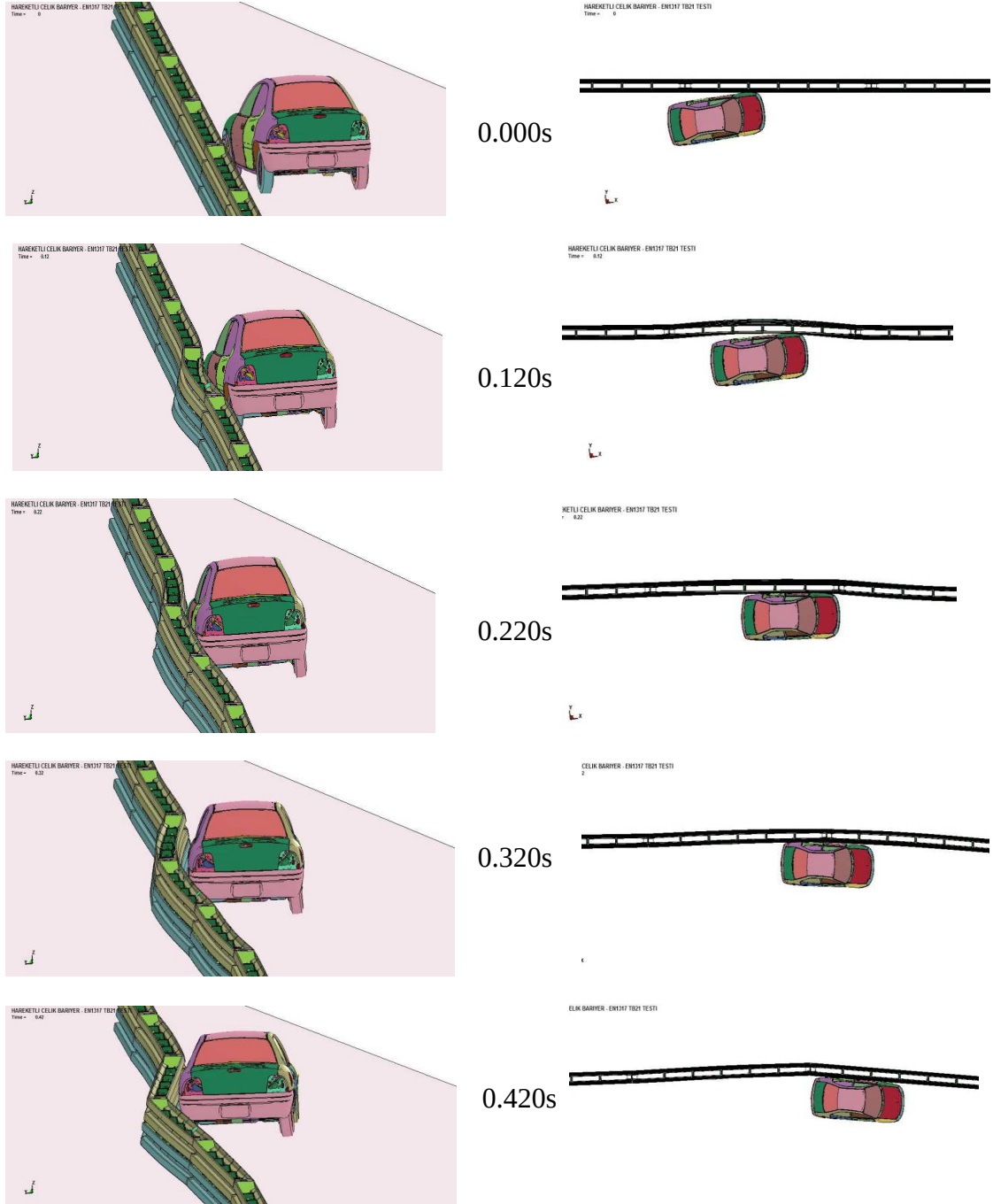
Şekil 4.1. TB21 Test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları (a) EN1317 TB21 Test simülasyon öncesi, b) EN1317 TB21 Test simülasyon sonrası)

Çarpışma testi sonucunda aracın x, y ve z yönlerindeki ivmelenmeleri kullanılarak çarpışma şiddeti endeksi (ASI) hesaplanmaktadır. ASI değeri aracın ivmelenmesinden dolayı taşıt yolcuları üzerinde oluşabilecek yaralanma riskini ifade etmektedir. ASI değerine göre vuruş şiddeti düzeyini gösteren tablo aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.1). Yaralanma olmaması için ASI değerinin olabildiğince küçük değer alması istenen bir durumdur (CEN, 2010).

Çizelge 4.1. Vuruş şiddeti düzeyleri

Vuruş Şiddeti Düzeyi	Endeks Değeri
A	$ASI \leq 1.0$
B	$1.0 < ASI \leq 1.4$
C	$1.4 < ASI \leq 1.9$

TB21 testi sonucunda ASI değerinin A vuruş şiddeti düzeyinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2). EN1317 standardında TB21 kriterlerine uygun olarak yapılan test simülasyonu sonuçları Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



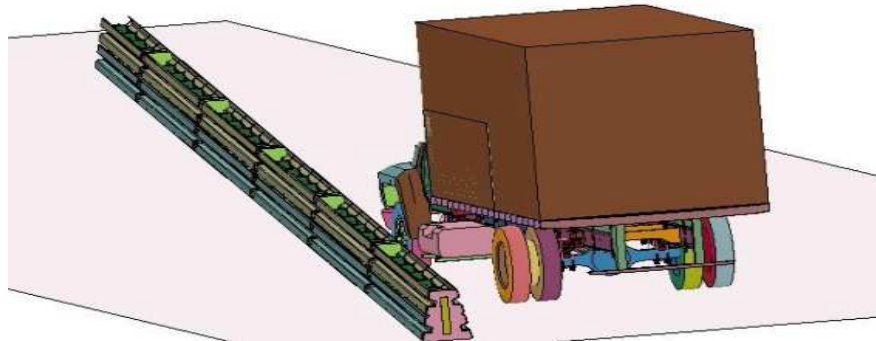
Şekil 4.2. EN1317 standardına göre TB21 kriterlerine uygun olarak yapılan test simülasyonu sonuçları

Çizelge 4.2. Çelik hareketli otokorkuluğa ait TB21 test ve simülasyon değerleri

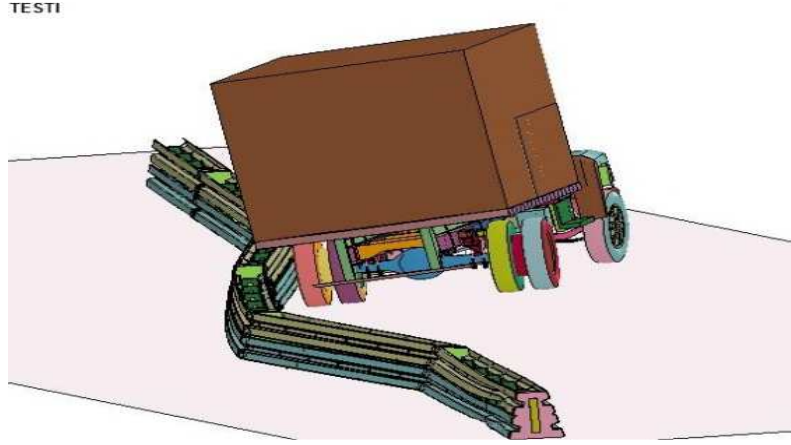
Parametre	TB21
Araç Cinsi	1300 kg otomobil
Çarpma Hızı ve Açısı	80 km/sa, 8 derece
Otokorkuluk Yanal Deformasyonu	---- (Bu testte hesaplanmaz)
Çarpışma Şiddet Derecesi	A ($ASI \leq 1$)

4.1.2. TB41 Testi

TB21 testinden sonra yapılan analiz TB41 testine aittir. Bu analiz TB21'in aksine otokorkuluğun yapısal yeterliğinin incelenmesine yöneliktir. Sisteme uygulanan enerji seviyesi aracın kütlesinden dolayı TB21'e oranla oldukça yüksektir. Aracın çarpma noktası olarak iki dikme arası seçilmektedir. Bu durum en olumsuz sonucu elde etmek amaçlıdır. TB41 testini gerçekleştirmek için 10000 kg'lık kamyon kullanılmıştır. Kamyon 70 km/sa. hızda ve 8° açıyla otokorkuluğa çarpıtılmıştır. Şekil 4.3'te TB41 test simülasyonu öncesi (a) ve sonrası (b) çarpışma durumları görülmektedir.



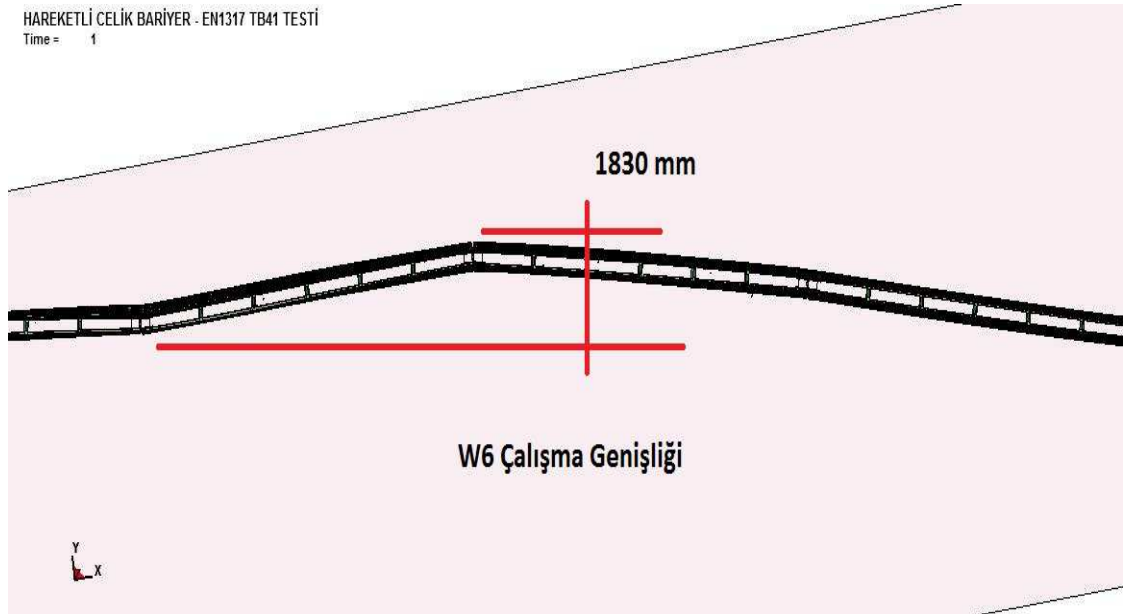
a) EN1317 TB41 Test simülasyon öncesi



b) EN1317 TB41 Test simülasyon sonrası

Şekil 4.3. TB41 Test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları (a) EN1317 TB41 Test simülasyon öncesi, b) EN1317 TB41 Test simülasyon sonrası)

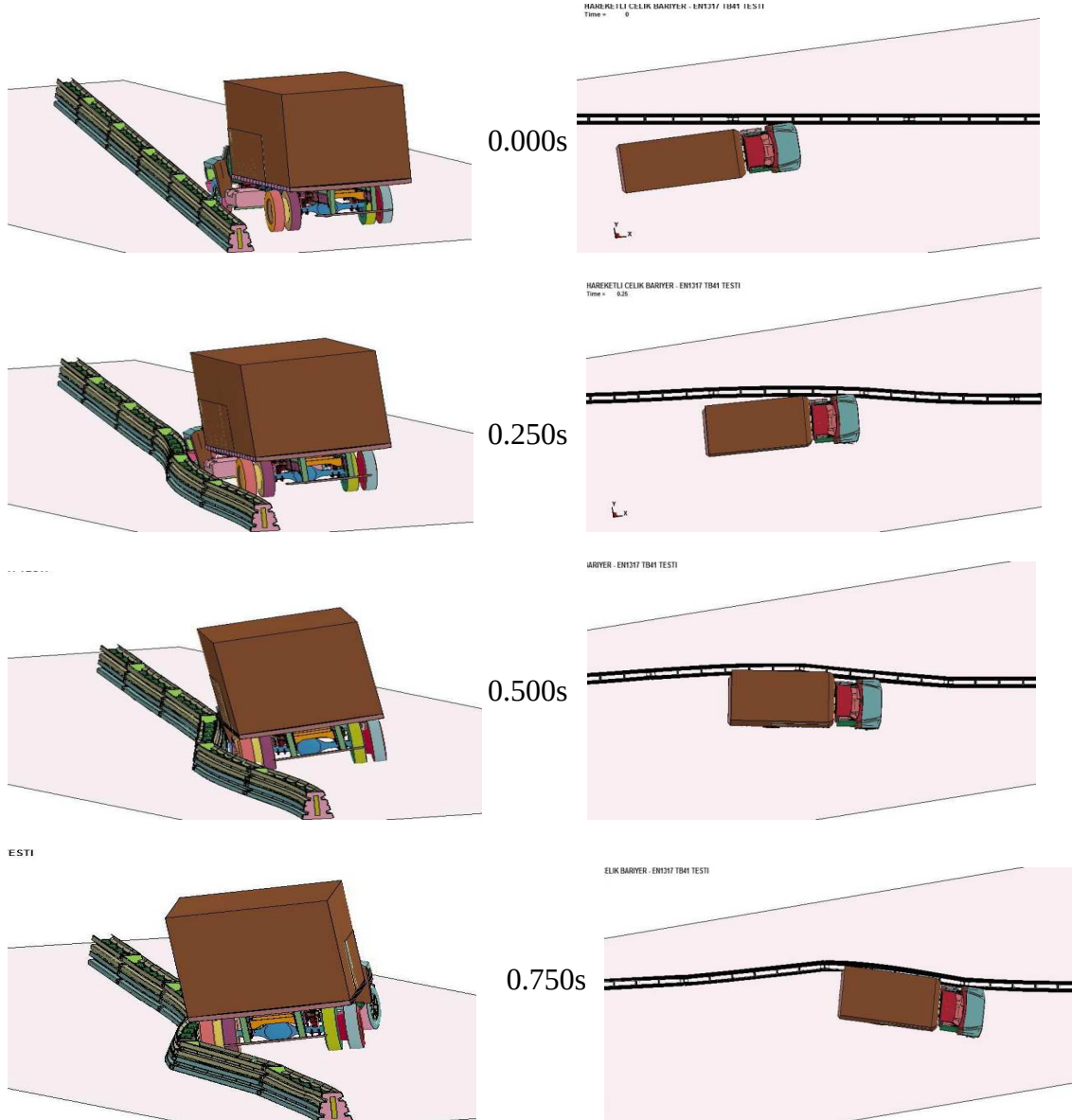
TB41 testi sonucunda hareketli otokorkuluğa ait yanal deformasyon değeri bulunmuştur (Şekil 4.4). Çizelge 4.3'te verilen çalışma genişliği sınıflarından EN1317 standardında belirtilen değerlere uygun yanal deformasyon değeri 1830 mm olduğu için deformasyon kodu W6 olarak hesaplanmıştır (CEN, 2010).

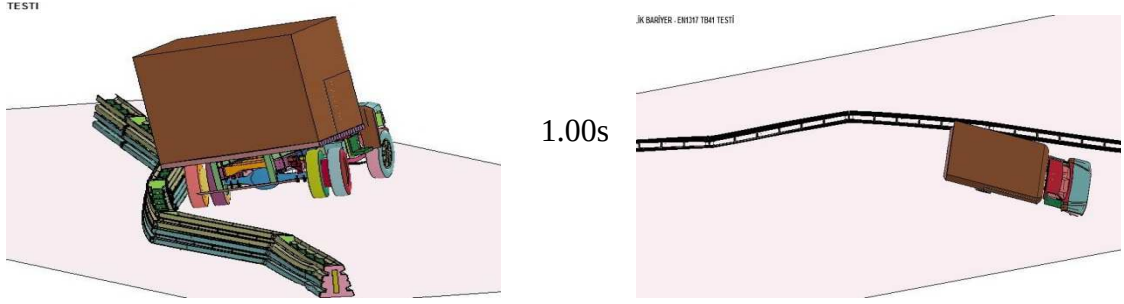


Şekil 4.4. Hareketli otokorkuluk çalışma genişliği

Çizelge 4.3. Çalışma genişliği sınıfları

Çalışma Genişliği Sınıfı	Çalışma Genişliği Mesafesi (metre)
W1	$W \leq 0.6$
W2	$W \leq 0.8$
W3	$W \leq 1.0$
W4	$W \leq 1.3$
W5	$W \leq 1.7$
W6	$W \leq 2.1$
W7	$W \leq 2.5$
W8	$W \leq 3.5$





Şekil 4.5. EN1317 standardına göre TB41 kriterlerine uygun olarak yapılan test simülasyonu sonuçları

EN1317 standardında TB41 kriterlerine uygun olarak yapılan test simülasyonu sonuçları Şekil 4.5'te gösterilmektedir. TB41 testi sonucunda otokorkuluk yanal deformasyon değerinin W6 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Çelik hareketli otokorkuluğa ait TB41 test ve simülasyon değerleri

Parametre	TB41
Araç Cinsi	10000 kg kamyon
Çarpma Hızı ve Açısı	70 km/sa, 8 derece
Otokorkuluk Yanal Deformasyonu	W6 ($W \leq 2.1m$)
Çarpışma Şiddet Derecesi	---- (Bu testte hesaplanmaz)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

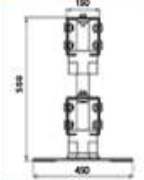
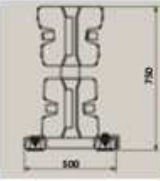
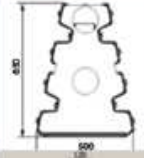
Bu çalışma ülkemizde henüz uygulamaya başlamayan hareketli çelik bir otokorkuluk sisteminin tasarımının ve bilgisayar ortamında araç çarpışma testinin detaylarını içermektedir. Sonlu elemanlar programıyla modellemesi tamamlanan otokorkuluk sisteminin EN1317-2 Avrupa Çarpışma Test Standardına T3 hareketli otokorkuluk sınıfına uygun olarak 1300 kg'lık otomobil ve 10000 kg'lık kamyonla çarpışma testi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1' de görüldüğü üzere sanal ortamda gerçekleşen çarpışma testi sonuçlarına göre hareketli otokorkuluk sisteminin T3-W6-A güvenlik seviyesini sağladığı belirlenmiştir.

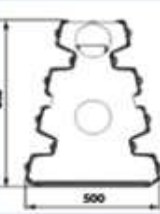
Çizelge 5.1. Çelik hareketli otokorkuluğa ait simülasyon sonuçları

Parametre	TB41	TB21
Araç Cinsi	10000 kg kamyon	1300 kg otomobil
Çarpma Hızı ve Açısı	70 km/sa, 8 derece	80 km/sa, 8 derece
Otokorkuluk Yanal Deformasyonu	W6 ($W \leq 2.1m$)	---- (Bu testte hesaplanmaz)
Çarpışma Şiddet Derecesi	---- (Bu testte hesaplanmaz)	A ($ASI \leq 1$)

Halihazırda kullanılmakta olan mobil koruyucu sistemlerden yola çıkarak bu çalışmada tasarlanan çelik hareketli otokorkuluk sistemiyle ilgili aşağıdaki bilgilere ulaşılmıştır.

Sistemin Özelliği	Sistemin Dizaynı	Etki Sınıfı	Çalışma Genişliği (W)	ASI	Kullanım Alanı	Metre Başına Ağırlık (kg)
Limes TS		T1 T3	W3 W5	A	B,D B	30 kg
Limes T3		T1 T3 H2	W2 W4 W8	A B	B,D A,B,D,E A	88 kg
Limes Berlin		T1 T3	W3 W6	A	B,D B	57 kg
Protec 120		T1 T3 H1	W1 W2 W5	A	B,D A,B,D,E A	163 kg

Şekil 4.6. Avrupa’ da kullanılmakta olan mobil koruyucu bariyer özellikleri (Outimex, 2010)

Sistemin Özelliği	Sistemin Dizaynı	Etki Sınıfı	Çalışma Genişliği (W)	W6 ASI	Kullanım Alanı	Metre Başına Ağırlık (kg)
Çelik Hareketli Otokorkuluk		T3	W6	A	B,D	60 kg
Roadsafe Limes Berlin		T1 T3	W3 W6	A	B,D	57 kg

Şekil 4.7. Tez çalışmasında tasarlanan otokorkuluk ile Limes Berlin sisteminin karşılaştırılması

5.2. Öneriler

Bu sistemin karayollarında güvenli bir şekilde kullanıma geçmesi için sonlu elemanlar programı LS-DYNA'dan elde edilen analiz sonuçlarının gerçek çarpışma testleri ile doğrulanması gerekmektedir.

Yapılacak sistem modifikasyonlarıyla ağırlık biraz daha düşürülebilir ve en yakın üründen daha avantajlı hale getirilebilir.

Karayollarında yol inşaat kazalarını engelleyen ve güvenli yol şeridi sağlayan bu sistemin gerçek çarpışma testinin yapılarak kullanımı için girişimlerde bulunulması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Atahan, A.O.ve Cansız O.F., 2005, Impact analysis of a vertical flared back bridge rail-Toguardrail transition structure using simulation, *Finite Elements in Analysis and Design*.41pp371–396, Elsevier Science Ltd.
- Atahan, A.O. Bonin, G., (2006). **Numerical analysis of an H4a heavy containment level transition**, Heavy Vehicle Systems, A series of the International Journal of Vehicle Design, 13(4), 351-365.
- Atahan, A.O. (2009). **Effect of permanent jersey shaped concrete barriers height on heavy vehicle post-impact stability**, Heavy Vehicle Systems, A series of the International Journal of Vehicle Design, 16(1/2), 243-257.
- ALKA (2012), <http://www.alkagroup.com.tr/TR/>, Istanbul, Türkiye.
- Bayat, E., (2011), **Farklı aralıklara sahip dikmelerden oluşan çelik otokorkulukların çarpışma davranışının sanal ortamda incelenmesi**, *Yüksek Lisans Tezi*, Antakya: Mustafa Kemal Üniversitesi FBE.
- Cansız, O.F., (2003), **Kuvvetli ahşap dikmelere sahip otokorkuluk sistemlerinde çarpışma deneyi davranışının sanal ortamda iyileştirilmesi**, *Yüksek Lisans Tezi*, Antakya: Mustafa Kemal Üniversitesi FBE.
- CEN (2010), Avrupa Standartları, EN1317-2, Otokorkulukların Test Yöntemleri ve Performans Değerlendirme Detayları, Avrupa Standardizasyon Komitesi, Brussels.
- Coon, B.A ve Reid J.D., 2006, Reconstruction techniques for energy-absorbing guardrail end terminals, *Accident Analysis and Prevention*.38,pp1–13, Elsevier Ltd.
- Haberler, 2012. <http://aktuel.mynet.com/galeri/haber/konyada-feci-kaza/6397/165582>
<http://www.haberler.com/otomobil-yagmur-suyu-kanalina-uctu-4338798-haberi/>
- KGM (2005), Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Tasarım El Kitabı, KGM, Ankara.
- LSTC (2011), LS-DYNA Kullanıcı El Kitabı, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA.
- 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.
- NCAC, National Crash Analysis Center, George Washington Üniversitesi, (<http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>, 15.10.2010.
- Sheikh, N.M. ve Bligh, R.P. (2006). **Analysis of the impact performance of concrete median barrier placed on or adjacent to slopes**. Report No. FHWA/TX-06/0-5210-1, Texas A&M University, Texas.
<http://tti.tamu.edu/documents/0-5210-1.pdf>.
- Solid Works (2010), Kullanıcı El Kitabı, [Dassault Systèmes SolidWorks Şirketi](http://www.solidworks.com), Velizy, Fransa.
- 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, D.C.
- Vesjenjak, M., Borovinsek, M. & Ren Z., 2007, Computational simulations of road safety barriers using LS-DYNA, *LS-DYNA Anwenderforum*, B-III, pp 11-17.

Yucel, A.O. (2012), **Karayolu yağmur drenaj kanallarının araç güvenliğine etkisinin dinamik analizler kullanılarak incelenmesi**, *Yüksek Lisans Tezi*, Antakya: Mustafa Kemal Üniversitesi FBE.

<http://www.raysantrafik.com.tr/TR/belge/1-50/oto-korkuluk-sistemleri.html>

www.ncac.gwu.edu

<http://www.solidworks.com/tutorial>

www.outimex.de

<http://imechanica.org/files/Impact%20simulation%20and%20full%20scale%20crash%20testing.PDF>

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında değerli görüş, katkı ve bilgilerini esirgemeyen ve gösterdiği ilgiden dolayı danışman hocam sayın Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve Araştırma Görevlisi Sayın Muhammet Musab ERDEM' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bana her zaman ve her konuda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Gaziantep ilinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Gaziantep'te tamamladım. 2007 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yerleştim ve 2011 yılında mezun oldum. Aynı yıl yüksek lisans öğrenimine başladım. 2011 eylül ayından beri '**Hareketli Bir Çelik Otokorkuluk Tasarım ve Sonlu Elemanlar Çarpışma Analizi**' çalışmasında görev almaktayım.