

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

**İSTANBUL ÖRNEĞİ İNCELENEREK KÖPRÜ VE
VİYADÜKLERDE KULLANILMAK ÜZERE AĞIR
TONAJLI ARAÇ DARBESİNE DAYANIKLI AĞIR
HİZMET OTO KORKULUĞU TASARIMI VE
GELİŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

FATİH KURUCU

İSTANBUL, 2011

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**İSTANBUL ÖRNEĞİ İNCELENEREK KÖPRÜ VE
VİYADÜKLERDE KULLANILMAK ÜZERE AĞIR
TONAJLI ARAÇ DARBESİNE DAYANIKLI AĞIR
HİZMET OTO KORKULUĞU TASARIMI VE
GELİŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

FATİH KURUCU

Tez Danışmanı: Prof Dr. Ali Osman ATAHAN

İSTANBUL, 2011

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi

Tezin Başlığı : İstanbul Örneği İncelenerek Köprü ve Viyadüklerde Kullanılmak Üzere Ağır Tonajlı Araç Darbesine Dayanıklı Ağır Hizmet Oto Korkuluğu Tasarımı ve Geliştirilmesi.
Öğrencinin Adı Soyadı : Fatih Kurucu
Tez Savunma Tarihi : 01/09/2012

Bu yüksek lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

İmza

Doç. Dr. Tunç BOZBURA
Enstitü Müdürü

Bu tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Tez Sınav Jürisi Üyeleri : _____

İmzalar

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali Osman Atahan

.....

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mustafa Ilıcalı

.....

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Nilgün Camkesen

.....

TEŐEKKÜR

Bahesehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Yüksek Lisans Programı dâhilinde hazırlamış olduğum “İstanbul Örneği İncelenerek Köprü ve Viyadüklerde Kullanılmak Üzere Ağır Tonajlı Araç Darbesine Dayanıklı Ağır Hizmet Oto Korkuluğu Tasarımı ve Geliştirilmesi.” konulu tez çalışmam sırasında zamanını ve emeğini vererek sağladığı bilimsel katkıları, destekleyici ve yüreklendirici tutumları için tez danışmanım Prof. Dr. Ali Osman Atahan’a şükranlarımı sunmak isterim.

Ayrıca tez çalışmama göstermiş oldukları ilgi ve katkıları değer için hocam Prof. Dr. Mustafa Ilıcalı’ ya ve Yrd. Doç. Dr.Nilgün Camkesen’ e teőekkürlerimi sunarım.

Bana her zaman ve her konuda maddi ve manevi destek olan sevgili eşime, gelişiyle hayatıma da mutluluk getiren kızıma ve kıymetli aileme sonsuz sevgi,saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2012

Fatih KURUCU

ÖZET

İSTANBUL ÖRNEĞİ İNCELENEREK KÖPRÜ VE VİYADÜKLERDE KULLANILMAK ÜZERE AĞIR TONAJLI ARAÇ DARBESİNE DAYANIKLI AĞIR HİZMET OTO KORKULUĞU TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ.

Fatih Kurucu

Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Osman Atahan

Eylül 2012, 74 sayfa

İstanbul sınırları içerisinde bulunan uluslar arası karayollarından, bulunduğu jeopolitik konum ve Türkiye ekonomisindeki önemi sebebi ile yıllık onbeşmilyonun üzerinde kamyon ve TIR geçişi olmaktadır. Yolcu hareketleri içinde bu yolların kullanılması sebebi ile yolcu ve yük hareketleri çoğu zaman birbiri ile iç içe bir hal almıştır. Bu çalışmada amaç, İstanbul il sınırları içerisinde bulunan otoyollar üzerindeki en riskli kesimlerden olan köprü ve viyadük geçişlerinde yüksek tonajlı araç darbelerine dayanıklı bir ağır hizmet oto korkuluğu tasarlanması ve geliştirilmesidir. Normal yollara oranla köprü ve viyadük geçişlerindeki farklılıklar ve riskler ortaya konmaya çalışılacaktır. Köprü ve viyadüklerde meydana gelen kazalar incelendiğinde, mevcut oto korkulukların otobüs ve ağır tonajlı kamyonları güvenli bir şekilde durdurma konusunda yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Mevcut sistemler ile ihtiyaçlar da göz önüne alınarak uygun bir ağır hizmet oto korkuluğu tasarlanacaktır. Sistemin çarpışma davranışını belirlemek için sonlu elemanlar programı kullanılacaktır. Program sonuçları doğrultusunda sistemin yeterliliği belirlenecek ve sistemin kullanılabilmesi için gerekli öneriler yapılacaktır.

Anahtar Sözcükler: İstanbul, Ağır Hizmet Oto Korkuluğu, Köprü-Viyadük, Yol Kenar Güvenliği, Kara Taşımacılığı, Kamyon, EN1317, Çarpışma Testi, LS-DYNA, Analiz,

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF ROAD SAFETY BARRIER FOR HIGH-LOAD IMPACT BY HEAVY TONNAGE VEHICLES, TO BE USED ON BRIDGES AND VIADUCTS IN ISTANBUL AS AN EXAMPLE CASE.

Fatih Kurucu

Urban Systems And Transportation Management

Thesis Advisor: Prof. Dr. Ali Osman Atahan

September, 2012, 74 pages

Due to its geopolitical location and importance with regard to the Turkish economy, the international highways within the city limits of Istanbul are used for the transit of more than 15 million trucks and other heavy transports. Due to the fact that the same highways are used for passenger transport, the result is that freight and passenger transport is very commonly mixed on these highways. The objective of this study is to design and develop, road safety barrier for high-load impact by heavy tonnage vehicles to be used on bridges and viaducts on increased risk locations, within the city limits of Istanbul. The differences and risks between bridges and viaducts, compared to normal roads are detailed within this study. When the accidents occurring on bridges and viaducts are analyzed, it becomes clear that the current safety barrier is insufficient with respect to safely stopping heavy tonnage vehicles. Safety barrier will be designed according to the needs of existing systems and requirements for heavy-duty use. The collision behaviour of this safety barrier will be determined by means of finite-element analysis. As a result of this analysis, the adequacy of this new design will be determined and further recommendations will be made in order to improve its applicability.

Keywords: İstanbul, Heavy Duty Safety Barrier, Bridges And Viaducts, Safety Barrier Design, Land Carriage, HGV, EN1317, Crash Test, LS-DYNA, Analysis

İÇİNDEKİLER

TABLOLAR	ix
ŞEKİLLER	x
KISALTMALAR.....	xiii
1.GİRİŞ	1
2.TÜRKİYE KARAYOLLARININ GENEL DURUMU	3
2.1 BÖLGELER ARASI KARAYOLU ŞEBEKESİ.....	3
2.2 İSTANBUL'UN KARAYOLU TAŞIMACILIĞINDAKİ YERİ:	4
2.2.1 İstanbul Trafiğini Etkileyecek Projeler.....	6
2.2.2 İstanbul Metropoliten Alanındaki Yük Hareketi Özellikleri.....	6
2.2.2.1 2009 yılı yük hareketleri.....	6
2.2.2.2 2023 yılı yük hareketleri talep tahmini	9
2.2.3 İstanbul Trafik Kaza İstatistikleri:	12
3.KARAYOLLARINDA KÖPRÜ VE VİYADÜK GEÇİŞLERİ	14
3.1 KÖPRÜ VE VİYADÜKLERİN RİSKLERİ	14
3.2 KÖPRÜ TİP OTOKORKULUKLAR	17

3.2.1 Oto Korkuluklar.....	17
3.2.2 Köprü Tipi Oto Korkuluklar Ve Uygulama Örnekleri;.....	18
3.2.3 İstanbul Sınırları İçerisinde Bulunan Köprü Tipi Oto Korkuluk Uygulamaları	19
3.2.4 İstanbul Sınırları İçerisinde Bulunan Köprülerde Meydana Gelen Trafik Kazalarına Örnekler	21
4.KARAYOLLARINDA KÖPRÜ VE VİYADÜK GEÇİŞLERİ	24
4.1 EN 1317 STANDARTI PERFORMANS KRİTERLERİ	24
4.1.1 Engelleme Düzeyi	25
4.1.2 Vuruş Şiddeti Endeksi	26
4.1.3 Çalışma Genişliği Düzeyleri	29
4.1.4 Vuruş Testi Kabul Kriterleri	30
4.2 OTO KORKULUK SİSTEMİNİN ÇALIŞMA KARAKTERİSTİĞİ.....	31
4.3 TESTİN YAPILACAĞI YERİN ÖZELLİKLERİ.....	32
5.KÖPRÜ TIP OTO KORKULUK TASARIM VE ANALİZ ÇALIŞMALARI	33
5.1 TASARIM AŞAMALARI.....	34
5.1.1 Modellerin Oluşturulması	34
5.1.1.1 Sistem 1:	34

5.1.1.2 Sistem 2:	36
5.2 ANALİZ ÇALIŞMALARI.....	38
5.2.1 Sonlu Elemanlar Metodu:	38
5.2.2 Çözüm Aşaması	39
5.2.3 Yöntem	39
5.2.4 Analiz Sonuçları	42
5.2.4.1 Sistem 1	42
5.2.4.2 Sistem 2	48
5.2.5 Analiz Sonuçların Karşılaştırılması	52
6.SONUÇLAR	54
KAYNAKÇA	56
ÖZGEÇMİŞ.....	60

TABLolar

Tablo 2.1: Taşıma türleri kıyaslaması.....	7
Tablo 2.2: 2009 Yılı kamyon ve TIR hareketleri.....	8
Tablo 2.3: FSM'den Geçen Yük Aracı-GSYİH İlişkisi.....	10
Tablo 2.4: 2023 Yılı Tahmin Edilen Yük Aracı Sayısı.....	11
Tablo 2.5: 2023 Yılı kamyon ve TIR hareketleri.....	11
Tablo 2.6: Türkiye ve İstanbul'da meydana gelen trafik kazası istatistikleri.....	13
Tablo 2.7: İstanbul'da meydana gelen trafik kazası sebepleri istatistikleri.....	13
Tablo 4.1: EN1317 Standartına göre engelleme düzeyinin bir fonksiyonu olarak test parametreleri kabul kriterleri.....	26
Tablo 4.2: EN1317 Standartına göre çarpışma şiddeti endeks değerleri.....	28
Tablo 4.3: EN1317 Standartına göre çarpışma şiddeti endeks değerleri.....	29
Tablo 4.4: EN1317 Standartına göre araç vuruş test kriterleri.....	30
Tablo 4.5: EN1317 Standartına çıkış kutusu uzaklığı.....	31
Tablo 5.1: Analizi yapılacak sistemlerin EN1317 Standartına göre engelleme düzeyinin bir fonksiyonu olarak test parametreleri kabul kriterleri.....	39
Tablo 5.2: Analizi yapılacak sistemlerin EN1317 Standartına göre araç vuruş Test kriterleri.....	40
Tablo 5.3: TB11 ve TB81 çarpışma analizlerine göre sonuçların karşılaştırılması.....	43

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Türkiye’den geçen uluslararası yol ağı.....	3
Şekil 2.2: Türkiye TEM yol ağı.....	4
Şekil 2.3: İstanbul ve çevre illeri arasındaki karayolu ağı.....	5
Şekil 2.4: İstanbul’da yük araçlarının üretim-çekim alanları (2009).....	7
Şekil 2.5: 2009 Yılı kamyon ve TIR hareketleri.....	9
Şekil 2.6: Yıllara göre FSM’den geçen yük aracı sayısı-GSYİH ilişkisi.....	10
Şekil 2.7: 2023 Yılı kamyon ve TIR hareketleri.....	12
Şekil 2.8: Soğuk havanın köprü geçişlerine olan etkisi.....	14
Şekil 2.9: Soğuk havanın köprü geçişlerine olan etkisinin şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.10: Köprü geçişi sırasında kontrolden çıkan bir araç.....	16
Şekil 3.1: Köprü tipi oto korkulukların tasarım kriterleri.....	19
Şekil 3.2: İstanbul sınırları içerisinde bulunan köprü tipi oto korkuluk uygulamaları grafik gösterimi.....	20
Şekil 3.3: İstanbul sınırları içerisinde bulunan köprü tipi, mevcut oto korkuluk uygulamaları.....	20
Şekil 3.4: İstanbul sınırları içerisinde bulunan köprü tipi, yeni uygulanmaya başlanan başarılı oto korkuluk uygulamaları.....	21
Şekil 3.5: TEM otoyolu Bağcılar-Mahmutbey viyadüğü üzerinde meydana gelen kaza.....	21
Şekil 3.6: TEM otoyolu Molla Gürani viyadüğü üzerinde meydana gelen kaza.....	22
Şekil 3.7: TEM otoyolu Karasu viyadüğü üzerinde meydana gelen kaza.....	22
Şekil 3.8: D100 Karayolu Büyükçekmece-Yakuplu viyadüğü üzerinde meydana gelen kaza.....	23
Şekil 4.1: Çarpışma esnasında seçilen P noktasında x, y ve z yönlerinde ivme değerleri ölçülür.....	27

Şekil 4.2: Çarpışma şiddeti endeks seviyeleri.....	28
Şekil 4.3: Test aracının oto korkuluğa yaklaşma kriterleri.....	30
Şekil 4.4: Çarpışma sonrası araç hareketleri.....	32
Şekil 5.1: Oto korkuluk tasarım ve analiz aşamaları.....	34
Şekil 5.2: Analiz edilecek 1 numaralı sistemin genel görünüşü.....	35
Şekil 5.3: Analiz edilecek 1 numaralı sistemin 3 boyutlu perspektif görünüşü.....	36
Şekil 5.4: Analiz edilecek 2 numaralı sistemin genel görünüşü.....	37
Şekil 5.5: Analiz edilecek 2 numaralı sistemin 3 boyutlu perspektif görünüşü.....	37
Şekil 5.6: Analizler de kullanılacak olan TB11 (900 kg) otomobil modeli.....	40
Şekil 5.7: Analizler de kullanılacak olan TB81 (38.000 kg) TIR modeli.....	40
Şekil 5.8: TB11 çarpışma testinin Ls-Prepost ekranında analize hazır hali.....	41
Şekil 5.9: TB81 çarpışma testinin Ls-Prepost ekranında analize hazır hali.....	41
Şekil 5.10: Sistem 1 için TB11 çarpışma analizi esnasında oto korkuluk sisteminin ve aracın deformasyon davranışı.....	42
Şekil 5.11: Sistem 1 için TB11 çarpışma analizi sonrasında araçta meydana gelen deformasyon davranışı.....	43
Şekil 5.12: Sistem 1 için TB11 çarpışma analizi sonrasında oto korkuluk sisteminde meydana gelen deformasyon davranışı.....	43
Şekil 5.13: Sistem 1 için çarpışma şiddet endeksi (ASI) değeri.....	44
Şekil 5.14: Sistem 1 için TB81 çarpışma analizi esnasında oto korkuluk sisteminin ve aracın deformasyon davranışı.....	45
Şekil 5.15: Sistem 1 için TB81 çarpışma analizi sonrasında araçta meydana gelen deformasyon davranışı.....	46
Şekil 5.16: Sistem 1 için TB81 çarpışma analizi sonrasında oto korkuluk sisteminde meydana gelen deformasyon davranışı.....	46
Şekil 5.17: Sistem 1 için çalışma genişliği düzey sınıfı.....	47

Şekil 5.18: Sistem 2 için TB11 çarpışma analizi esnasında oto korkuluk sisteminin ve aracın deformasyon davranışı.....	48
Şekil 5.19: Sistem 2 için çarpışma şiddet endeksi (ASI) değeri.....	49
Şekil 5.20: Sistem 2 için TB81 çarpışma analizi esnasında oto korkuluk sisteminin ve aracın deformasyon davranışı.....	50
Şekil 5.21: Sistem 2 için TB81 çarpışma analizi sonrasında araçta meydana gelen deformasyon davranışı.....	51
Şekil 5.22: Sistem 2 için TB81 çarpışma analizi sonrasında oto korkuluk sisteminde meydana gelen deformasyon davranışı.....	51
Şekil 5.23: Sistem 2 için çalışma genişliği düzey sınıfı.....	52

KISALTMALAR

İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İUAP	: İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı
EGM	: Emniyet Genel Müdürlüğü
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
FEMB	: Sonlu Elemanlar Metoduna Uygun Modelleme Yapan Program
AASHTO	: Amerikan Eyalet Karayolu ve Ulaştırma Birimleri Topluluğu
EN	: Avrupa Birliği
LS-DYNA	: Livermore Software Şirketinin Dyna Adlı Programı
ASI	: Hızlanma Şiddet Endeksi
TRAP	: The Risk Assessment Program
AGR	: Güneydoğu Avrupa Uluslar arası Yol ağı
TEM	: Avrupa Transit Otoyolu
DLH	: Demiryolları, Havaalanları ve Liman İnşaatı Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Gelişmiş ülke otoyollarının en önemli özelliklerinden biri, karayollarının tasarlanırken yol kenar bölgelerinin de tasarıma dâhil edilip yolları çevreleyen bölge ile uyumlu olmasının sağlanmasıdır. Bu uyum düşünülmeden salt karayolu inşası, kötü bir alt yapı tasarımı olmasının yanı sıra karayolunu kullanan araçlar ve yolları çevreleyen bölge içinde bulunan tüm canlı ve cansız etmenler için açık bir tehlikedir.

Ülkemizde meydana gelen ve ölümlerle sonuçlanan trafik kazalarının büyük bir kısmının tek aracın yoldan çıkması sonucu meydana geldiği bilinmektedir. Aşırı hız, uykusuzluk, alkollü halde araç kullanma, aracın hâkimiyetini farklı sebeplerle kaybetme, hava koşullarından dolayı görüşün azalması ve kayganlaşan yollar, yoldan çıkarak sonuçlanan kazaların en başta gelen sebepleridir. Bu kazalarda meydana gelecek can ve mal kaybını azaltmanın en etkin metodu ise otoyolu kullanan araçları olası bir kaza esnasında karayolu içerisinde tutarak kontrollü bir şekilde durmasını sağlamaktır. Bunu sağlayan en önemli güvenlik ekipmanı ise oto korkuluklardır.

Oto korkuluklar herhangi bir sebeple karayolundan çıkma eğiliminde olan araçları karayolu sınırları içerisinde tutan pasif güvenlik sistemidir (Atahan 2009).

Günümüzde birçok farklı materyalden ve birçok farklı ebatta yapılmış oto korkuluk çeşitleri mevcuttur. Fakat karayolları farklı ebat ve tonajlarda birçok araç için ortak kullanım alanıdır. Bu sebeple araçları karayolu içerisinde tutmak için farklı çözümler getirilmeli ve karayolu güvenliği bir mühendislik yaklaşımı ile değerlendirilmelidir. Bu konu Avrupa, İngiltere, Amerika gibi ülkelerde “EN1317, BS 6779, AASHTO 17th Edition” gibi standartlar ile düzenlenmektedir. Ülkemizde ise, oto korkuluk performans değerleri için TS EN 1317 Avrupa standardı kabul edilmiştir.

Standart da belirtilen performans değerlerini karşılayan mühendislik ürünleri ile karayolunu kullanan araçların tip ve kaza risklerine göre uygun oto korkuluğun kullanılması hayati öneme sahip, kritik bir tasarım aşamasıdır. Uygun olmayan ve gerekli kaza riski düşünülmeden seçilmiş bir oto korkuluk yol güvenliğini sağlamak bir

kenara, sonucu tahmin edilemeyen kazalara sebep verip amacı dışında sonuçlar ortaya çıkarabilecektir.

Bu çalışmada otoyolların en riskli bölgelerinden olan köprü ve viyadük geçişlerinin karayoluna göre riskleri tanımlanacaktır. Yük ve yolcu hareketlerinin jeopolitik konumu sebebi ile beraber seyretmek zorunda olduğu İstanbul trafik talepleri mevcut durumu incelenerek durum tespiti yapılacaktır. Ayrıca 2023 için kamyon ve TIR talep tahmini yapılacaktır. Böylelikle ihtiyaçlar belirlenip köprü ve viyadüklerde kullanılmak üzere TIR ve Kamyon darbelerine dayanıklı alternatif ve rekabet edebilir bir oto korkuluk sistemi tasarım çalışmaları ve çarpışma simülasyonları yapılacaktır.

2. TÜRKİYE KARAYOLLARININ GENEL DURUMU

2.1 BÖLGELER ARASI KARAYOLU ŞEBEKESİ

Türkiye jeopolitik konumu itibariyle Avrupa ile Ortadoğu arasındaki transit koridorda yer almaktadır. Güneydoğu Avrupa Uluslar arası Yol ağının (AGR) Türkiye'ye batı sınırından iki arteri ulaşmaktadır. Bu iki ana güzergâh Avrupa Uluslar arası yol ağını Anadolu'dan geçerek Türkiye'nin doğu sınırları ile Asya'ya ve güney doğu sınırları ile de Ortadoğu'ya birbirine bağlamaktadır.¹

Şekil 2.1: Türkiye'den Geçen Uluslararası Yol Ağı



Kaynak: İBB, (2011), *İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*

Güneydoğu Avrupa Uluslar arası Yol ağına ait olan bu iki E yoluna ilaveten Avrupa transit otoyolu (TEM) tüm ülkeyi ekspres yol ağı olarak dolaşmaktadır. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu'nun (BM/AEK- UN/ECE) teknik ve idari desteğiyle 1977 yılında kurulmuş bir alt bölgesel işbirliği projesi olan Trans-Avrupa Kuzey-Güney Otoyolu (TEM) Projesi, Avrupa ulaştırma tarihinde en eski ve en gelişmiş bölgesel altyapı projelerinin birisidir. TEM Bulgaristan sınırında Edirne'den

¹ İBB, 2011. *İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:39

başlamakta, Fatih Sultan Mehmet köprüsü ile İstanbul'u geçmekte Ankara'da doğuya ve güneye giden iki kola ayrılmaktadır. Doğu kolu İran sınırında Güney kolu ise Suriye ve Irak sınırlarında son bulmaktadır. Ayrıca TEM Güney otoyolu İstanbul'u İzmir'e ve Antalya'ya bağlamaktadır. TEM Projesi kapsamında yer alan yollarımızın büyük bölümü aynı zamanda Uluslar arası E-Yolları ağının bir parçasıdır.²

Şekil 2.2: Türkiye TEM Yol Ağı



Kaynak: KGM, (2011),

<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Projeler/UluslararasıProjeler/Tem.aspx>

2.2 İSTANBUL'UN KARAYOLU TAŞIMACILIĞINDAKİ YERİ:

İstanbul, Güney Avrupa ve Asya arasında en önemli bağlantı noktasıdır. Bölüm 2,1'de bahsedilen tüm uluslar arası yol ağları, Boğaz köprüsü ve Fatih Sultan Mehmet Köprüsünü kullanarak İstanbul sınırları içinden geçerler. Ayrıca İstanbul'da yol ağı, kentleşmenin doğu batı yönünde gelişmesinden dolayı ring/radyal bir formdan ziyade doğrusal bir yapı göstermektedir. Doğu batı aksında uzanan TEM (Trans European Motorway) otoyolu ve D100 karayolu İstanbul'un iki ana koridorunu oluşturmaktadır.

² İBB, 2011. *İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:39

TEM otoyolu ve D100 karayolu otoyol/ekspres yol olarak tasarlanmış olup yüksek trafik kapasitelerinden dolayı diğer yollara katlı ve köprülülük kavşaklarla bağlanmaktadır.

Kent içinde büyük çaplı projeler bakımından DLH'nin (Ulaştırma Bakanlığı'na bağlı Demiryolları, Havaalanları ve Liman İnşaatı Genel Müdürlüğü) önerdiği İstanbul Boğazı karayolu tünel geçişi projesi ve Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğunda olan Kuzey Marmara Otoyolu (İstanbul 3.Çevre yolu dâhil) projesi yer almaktadır. Kuzey Marmara Otoyolu ihalesi 2012 yılında yapılmıştır. Üçüncü köprü'nün de inşa edileceği bu proje ile İstanbul'un kuzeyinde yeni bir karayolu koridoru açılacaktır.

Bu projeler İstanbul trafiğini doğrudan etkileyeceğinden ana plandaki şebekede yer almaktadır.³

Jeopolitik konumu itibari ile Avrupa ve Asya arasında bir köprü vazifesi gören İstanbul'un çevre illerle olan karayolu ağı Şekil 2.3'de gösterilmektedir.

Şekil 2.3: İstanbul ve Çevre İlleri Arasındaki Karayolu Ağı



Kaynak: KGM, (2011), <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/1Bolge/Harita.aspx>

³ İBB, 2011. *İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:41

2.2.1 İstanbul Trafikini Etkileyecek Projeler

Ulaştırma Bakanlığı tarafından bölgeler arası ve kent içi karayolu projeleri planlanmaktadır. Bölgesel ölçekli projeler İstanbul sınırları içinde olmasa da, dolaylı olarak İstanbul trafikini etkileyecektir. Planlı projeler aşağıda sıralanmıştır.

- a) Boğaz köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu,
- b) İzmit Körfez köprüsü ve Gebze –Orhangazi Otoyol projesi,
- c) Malkara – İpsala Karayolu projesi,
- d) Çanakkale Boğazı köprüsü ve Kınalı-Tekirdağ-Çanakkale- Balıkesir Otoyol projesi,

Yukarıdaki karayolu projelerinin uygulanmasıyla Marmara Denizi etrafındaki otoyol projeleri tamamlanmış olacak. Böylelikle bölge transit geçişlerinde bağlantılar güçlenecek ve seyahat süreleri kısılacaktır.⁴

2.2.2 İstanbul Metropoliten Alanındaki Yük hareketi Özellikleri

İstanbul Metropoliten alanı, içinde barındırdığı nüfus, ekonominin ürettiği hareketlilik ve transit yolların şehir trafiği ile aynı ağları kullanması sebebi ile yoğun bir yük hareketinin içinde bulunmaktadır. Yolcu ve yük hareketliliğinin aynı karayolu ağları üzerinden yapılması, karayolu güvenliği açısından irdelenmesi gereken bir konudur. Bu bölümde mevcut ve 2023 hedef yılı için yük akışı tahminlerine göre İstanbul trafiğinde bulunacak kamyon ve TIR sayısı tahmin edilecek ve böylelikle artan ağır tonajlı araç sayısına göre karayollarında alınması gereken önlemlerin önemi gösterilecektir.

2.2.2.1 2009 Yılı yük hareketleri

Tablo 2.1 'de hafta içi ve hafta sonu olmak üzere yük geliş ve gidişlerine göre yük hareketlerinin zamansal dağılımı görülmektedir. Bun göre yıllık gelen ve giden toplam 15.081.423 tır ve kamyon hareketi, 19.722.728 kamyonet hareketi gözlenmektedir.⁵

⁴ İBB, 2011. *İstanbul Metropoliten Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:40

⁵ İBB, 2011. *İstanbul Metropoliten Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:243

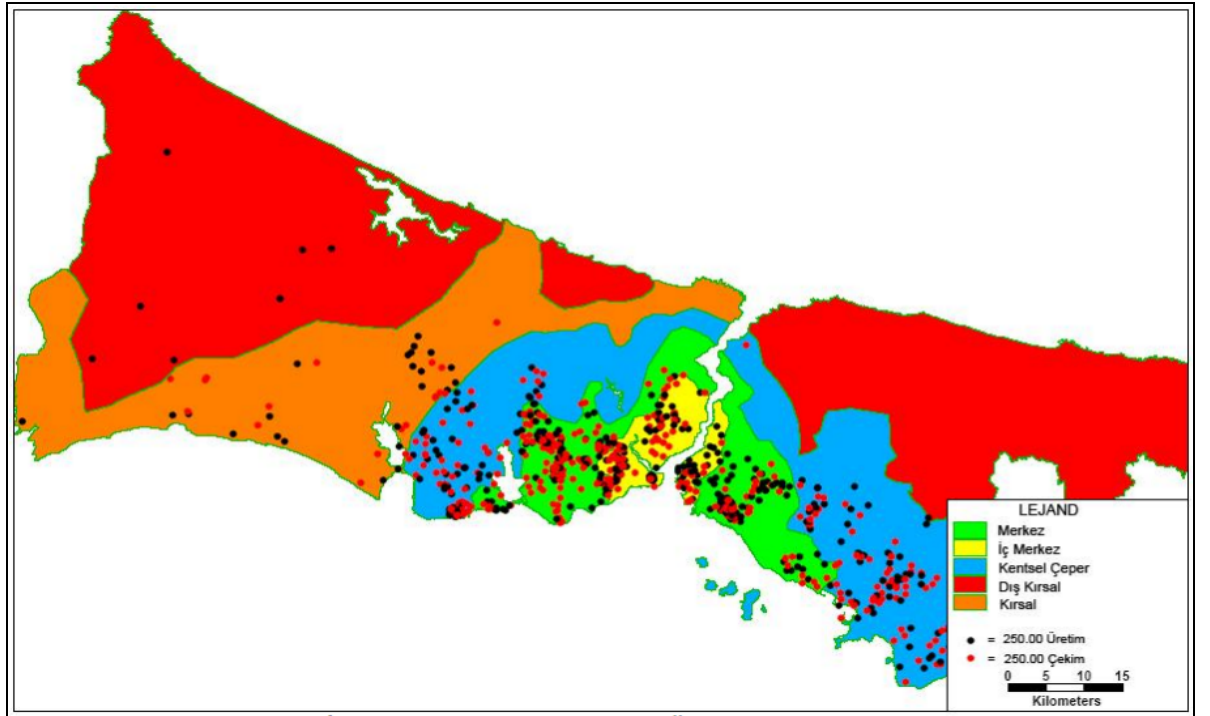
Tablo 2.1: Taşıma Türleri Kıyaslaması

YÜK HAREKETİ	GÜNLÜK	YILLIK
	Tır ve Kamyon	Tır ve Kamyon
Hafta içi Yük Getiren	24.962	6.490.140
Hafta Sonu Yük Getiren	8.966	941.388
Hafta İçi Yük Götüren	26.452	6.877.395
Hafta Sonu Yük Götüren	7.357	772.500
Toplam	67.737	15.081.423

Kaynak: İBB, (2011), İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)

Şekil 2.4’de ise 2009 yılına ait İstanbul’ daki yük araçlarının üretim ve çekim alanları ve büyüklükleri görülmektedir. Şekilde iç merkez, merkez, kentsel çeper, kırsal ve dış kırsal alanlarındaki yük üretim ve çekimleri yer almaktadır. Haritadaki siyah noktalar üretim, kırmızı noktalar ise çekim oranlarını belirtmektedir.⁶

Şekil 2.4: İstanbul’da Yük Araçlarının Üretim-Çekim Alanları (2009)



Kaynak: İBB, (2011), İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)

⁶ İBB, 2011. İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP) ,İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:243

Tablo 2,2’de ve şekil 2,4’de 2009 yılına ait kamyon ve tır hareketleri görülmektedir. Söz Konusu hareketler Asya ve Avrupa yaka içi, yakalar arası, Asya ve Avrupa güney, Asya ve Avrupa dış yönlerdeki kamyon ve TIR hareketlerini kapsamaktadır. 2009 yılında toplam 37.294 kamyon ve TIR hareketi gözlemlenmekte olup Avrupa yaka içinde 6.739, Asya yaka içinde 4.715, dış hareketler hariç yaka geçişlerinde 7.464 kamyon ve TIR hareketi gerçekleşmiştir. Yaka geçişi yapan toplam kamyon ve TIR sayısı 37.294 olup kamyon ve TIR’ların birim otomobil değeri 4 olarak kabul edildiğinde 56.362 birim otomobile denk gelmektedir. ⁷

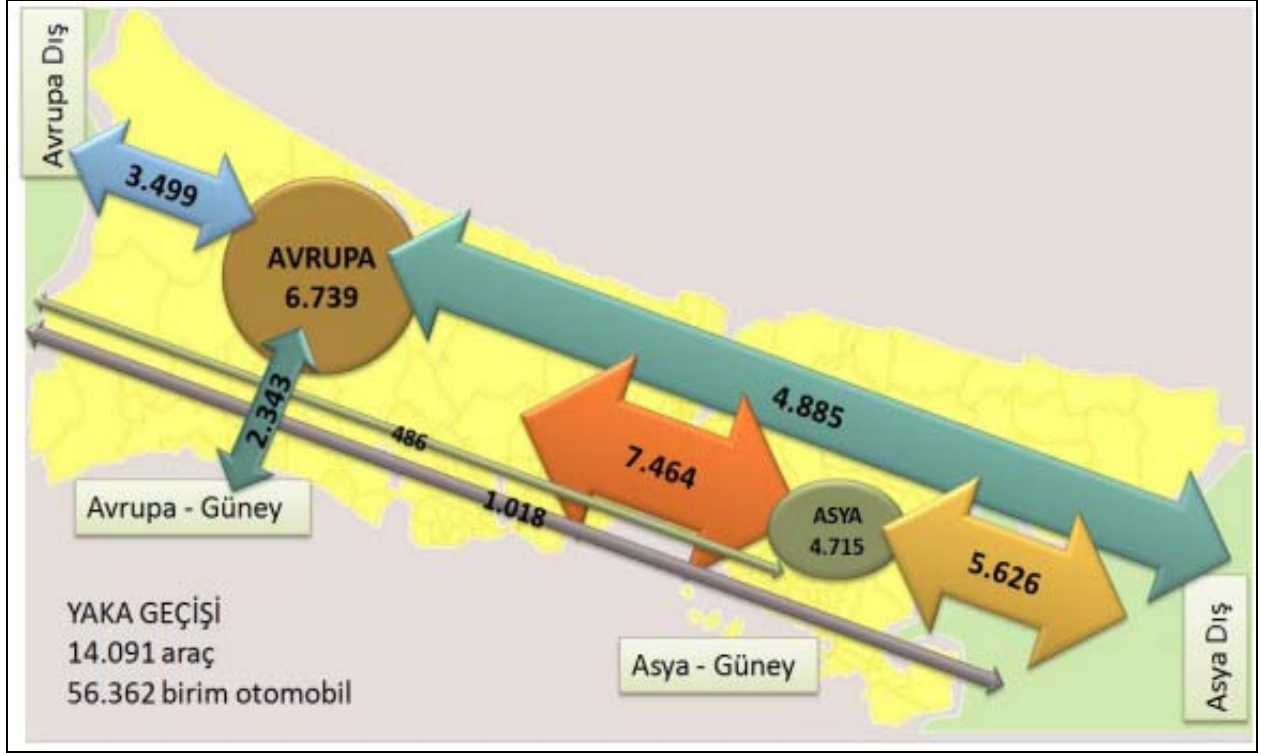
Tablo 2.2: 2009 Yılı Kamyon Ve TIR Hareketleri

	Asya	Avrupa	Asya Güney	Asya	Avrupa Güney	Avrupa Dış	Toplam
Asya	4.715	3.956	11	2.813	163	243	11.901
Avrupa	3.508	6.739	15	2.442	1.177	1.750	15.632
Asya Güney	11	15	0	39	0	1	66
Asya Dış	2.813	2.442	39	97	0	509	5.900
Avrupa Güney	41	1.167	0	0	34	2	1.244
Avrupa Dış	243	1.750	1	509	2	46	2.552
Toplam	11.331	16.069	66	5.900	1.376	2.552	37.294

Kaynak: İBB, (2011), İstanbul Metropolitlen Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)

⁷ İBB, 2011. *İstanbul Metropolitlen Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:244

Şekil 2.5: 2009 Yılı kamyon ve TIR hareketleri



Kaynak: İBB, (2011), İstanbul Metropolen Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)

2.2.2.2 2023 Yılı yük hareketleri talep tahmini

2023 yılına ait yük hareketleri tahmini yapılırken yıllara göre Fatih Sultan Mehmet köprüsünden geçen yük araçları sayısı ve Türkiye' nin gayri safi yurt içi hâsılası (GSYİH) değerleri arasında ki ilişki temel alınmıştır. Gelecek tahmini yapılırken, hesaplanan bu artış oranı kullanılmıştır.⁸

Tablo 2.3'de yıllara göre FSM köprüsünden geçen 3,4 ve 5. Sınıf yük araçları sayıları ve o yıllara denk gelen ülke genelinde GSYİH değerleri değişimleri görülmektedir. Bahsi geçen 3. Sınıf araç grubunda 3 akslı araçlar grubuna giren otobüs, kamyon ve treyler türleri bulunmaktadır. 4. Sınıf araç grubunda 4 veya 5 akslı otobüs, kamyon ve treyleri türleri; 5. Sınıf araç grubunda ise 6 veya daha fazla akslı römorklu kamyon ve treyler türleri bulunmaktadır.

⁸ İBB, 2011. *İstanbul Metropolen Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)* ,İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:244

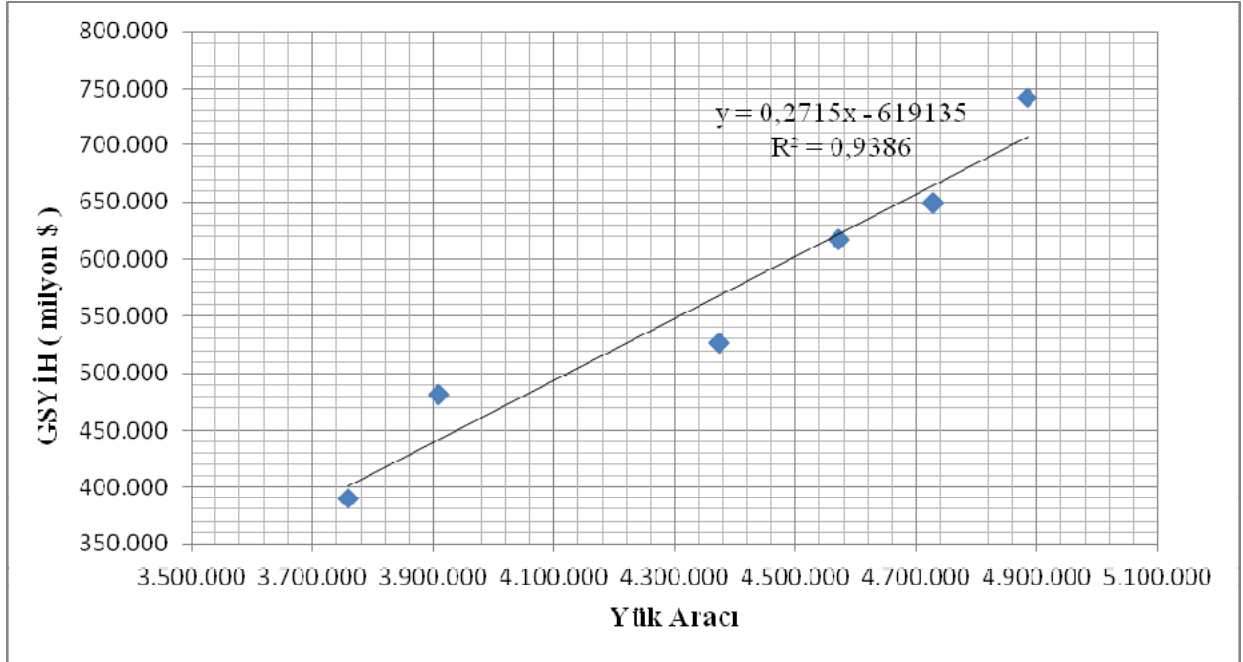
GSYİH' de ortalama yıllık 5,2 sabit büyüme oranı olduğu kabul edilerek 2023 hedef yılı için yapılan tahminde İstanbul'da 1.518 milyar \$ olacağı hesaplanmıştır. Tablo 2.4'de 2023 yılına ait hesaplanan yıllık ve günlük kamyon, tır ve kamyonet sayıları verilmiştir.

Tablo 2.3: FSM'den Geçen Yük Aracı-GSYİH İlişkisi

YIL	FSM Köprüsünden Geçen Araç Sayısı	Türkiye GSYİH (milyon \$)
	3. 4. 5. Sınıf Araçların Toplamı	
2004	3.760.148	390.387
2005	3.909.130	481.497
2006	4.373.056	526.429
2007	4.728.152	648.754
2008	4.884.904	742.094
2009	4.570.840	616.753

Kaynak: İBB, (2011), İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)

Şekil 2.6 : Yıllara Göre FSM' Den Geçen Yük Aracı Sayısı-GSYİH İlişkisi



Kaynak: İBB, (2011), İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)

Tablo 2.4: 2023 Yılı Tahmin Edilen Yük Aracı Sayısı

	Yıllık	Günlük
Kamyon -TIR	7.872.253	26.674

Kaynak: İBB, (2011), İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)

Ortaya çıkan bu ilişki kullanılarak 2023 Yılı Tahmin edilen Kamyon – TIR Sayısı Tablo 2.5 ve Şekil 2.7’de görülmektedir. Söz Konusu hareketler Asya ve Avrupa yaka içi, yakalar arası, Asya ve Avrupa güney, Asya ve Avrupa dış yönlerdeki 2023 yılı kamyon ve TIR hareketlerini kapsamaktadır. 2023 yılında toplam 70.593 kamyon ve TIR hareketi gözlemlenmekte olup Avrupa yaka içinde 12.758, Asya yaka içinde 8.925, dış hareketler hariç yaka geçişlerinde 14.130 kamyon ve TIR hareketi gerçekleşmesi planlanmaktadır. Yaka geçişi yapan toplam kamyon ve TIR sayısı 26.674 olup kamyon ve TIR’ların birim otomobil değeri 4 olarak kabul edildiğinde 106.695 birim otomobile denk gelmektedir.⁹

Tablo 2.5: 2023 Yılı Kamyon Ve TIR Hareketleri

	Asya	Avrupa	Asya Güney	Asya Dış	Avrupa Güney	Avrupa Dış	Toplam
Asya	8.925	7.489	21	5.324	308	460	22.527
Avrupa	6.641	12.758	29	4.624	2.227	3.312	29.590
Asya Güney	21	29	0	73	0	3	125
Asya Dış	5.324	4.624	73	183	0	963	11.167
Avrupa Güney	77	2.209	0	0	65	4	2.355
Avrupa Dış	460	3.312	3	963	4	87	4.829
Toplam	21.448	30.420	125	11.167	2.604	4.829	70.593

Kaynak: İBB, (2011), İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)

⁹ İBB, 2011. *İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul s:248

sayısı Türkiye’de 2.581 iken İstanbul’da bu oran yaklaşık yüzde onu kadardır. Yaralanmalı kazalarda da İstanbul yaklaşık aynı kaza oranına sahiptir.

Tablo 2.6: Türkiye Ve İstanbul’da Meydana Gelen Trafik Kazası İstatistikleri

	Türkiye	İstanbul	Pay
Ölümlü Kaza	2.581	262	10%
Yaralanmalı Kaza	76.615	8.193	11%
Mal Hasarlı Kaza	585.344	209.544	36%
Toplam	664.540	217.999	33%
Ölen Kişi	3.365	282	8%
Yaralı Kişi	135.224	12.809	9%
Mal hasarı (TL)	1.152.919.799	349.279.296	30%

Kaynak: İEM, (2010), İstanbul Emniyet müdürlüğü, Trafik denetleme şube müdürlüğü

Tablo2.7’ de İstanbul’da meydana gelen kazaların oluşum türlerine göre dağılımına baktığımızda en çok kaza oluşum unsuru yüzde 27 ile yandan çarpma ve ya çarpışmadır. Burada yüzde13 ile yoldan çıkma ve yüzde 10 ile devrilme sonucu oluşan kazalar karayolu otoriteleri tarafından doğru önlemler alınarak en az seviyelere çekilebilecek kaza türleridir. Bu çalışmada ağır tonajlı araçların olası bir kaza anında yoldan çıkmasını ve özellikle köprü ve viyadüklerde aşağı düşmeleri engelleyecek köprü tipi oto korkuluk sistemleri üzerinde durulacaktır.

Tablo 2.7: İstanbul’da Meydana Gelen Trafik Kazası Sebepleri İstatistikleri

Kaza Oluşum Türleri	Yıllık	Yüzde
Yandan çarpma veya Çarpışma	23.469	27,4%
Yayaya Çarpma	15.933	18,6%
Yoldan Çıkma	11.120	13,0%
Arkadan Çarpma	8.809	10,3%
Devrilme	8.598	10,1%
Sabit Cisme Çarpma	7.332	8,6%
Karşılıklı Çarpışma	6.308	7,4%
Duran Araca Çarpma	2.835	3,3%
Araçtan Düşen İnsan	507	0,6%
Hayvana Çarpma	492	0,6%
Araçtan Düşen Cisim	115	0,1%
TOPLAM	85.518	100,0%

Kaynak: İEM, (2010), İstanbul Emniyet müdürlüğü, Trafik denetleme şube müdürlüğü

3. KARAYOLLARINDA KÖPRÜ VE VİYADÜK GEÇİŞLERİ

3.1. KÖPRÜ VE VİYADÜKLERİN RİSKLERİ

Köprü ve viyadük geçişleri otoyollar üzerinde bulunan en riskli geçiş noktalarının başında gelir. Bu geçiş noktalarında en önemli güvenlik sorunu buzlanmadır. Soğuk havalarda köprü ve viyadükler bağlı oldukları yollara göre daha erken bir sürede donma sıcaklığına ulaşır. Bu durum yolu kullanan araçların kazaya karışma olasılığını artırır.

Şekil 2.8: Soğuk Havanın Köprü Geçişlerine Olan Etkisi



Kaynak: Iceroadsafety, (2012), <http://icyroadsafety.com/icybridges.shtml>

Köprü ve viyadüklerde yolun her iki kısmının da soğuk hava ile temas etmesinden dolayı soğuk havanın sadece üst kısmına temas ettiği yollara göre daha erken donma sıcaklığına ulaşır ve buzlanmalara sebep olur. Şekil 2.9'da köprülerin bağlı oldukları yollara göre daha önce buzlanmalarının sebebi şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 2.9: Soğuk Havanın Köprü Geçişlerine Olan Etkisinin Şematik Gösterimi



Kaynak: Iceroadsafety, (2012), <http://icyroadsafety.com/icybridges.shtml>

Buzlanmış bir köprüdeki en büyük risk sürücülerin çoğu zaman köprü üzerindeki buzlanmanın etkisini fark edememeleridir. Soğuk havada sürücü otoyolda seyir halinde iken yol zemini çoğu zaman sadece ıslaktır. Seyir hızlarını mevcut yol durumuna göre ayarlayan sürücüler köprü üzerinden geçerken gerekli limitlere uysalar bile buzlanma sebebi ile aracın kontrolünü kaybedebilmektedirler. Bu durum, köprülerin üzerinde zincirleme kazalarda dâhil olmak üzere köprüden düşme gibi sonuçları olan bir çok kazaya sebebiyet vererek can ve mal kaybına neden olabilmektedir. Şekil 2.10'da normal seyir halinde olan bir otomobilin köprüden geçerken nasıl kontrolünü kaybettiği numara sırasına göre verilmiştir.

Şekil 2.10: Köprü Geçişi Sırasında Kontrolünden Çıkan Bir Araç



Kaynak: Iceroadsafety, (2012), <http://icyroadsafety.com/jan2107video.shtml>

Yol kenar güvenliği bakımından gerekli alana sahip olmayan köprü ve viyadüklerde buzlanma ve ya olası bir yoldan çıkma durumu, aracın düşme riskini ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple köprü ve viyadüklerde en önemli pasif güvenlik tedbirlerinden olan oto korkuluklar için özel çözümler getirilmelidir.

3.2. KÖPRÜ TİP OTOKORKULUKLAR

3.2.1. Oto Korkuluklar

Günümüzde, Yolcu güvenliğini sağlamaya yönelik, dünya karayollarının büyük çoğunluğunda, koruyucu (yol kenarı, virajlar, köprü ve viyadükler) ve ayırıcı (anayol-tali yol ayrımları, otoyol gişeleri önleri) korkuluklar kullanılmaktadır. Yol kenarı güvenlik sistemleri hem düşük maliyetli hem de yüksek performanslı olacak şekilde tasarlanmalarına rağmen genelde ölümcül veya ciddi yaralanmalara yol açan kazaların olmaya devam etmesi güvenlik artırıcı önlemlerin yoğunlaştırılması gerektiğini işaret etmektedir (İlcalı, Arslan ve Ergün 2009).

Ayrıca otoyoldaki mevcut kaza riskleri araç sınıflarına göre belirlenerek, uygun tipte ve performansta oto korkuluk seçilmelidir.

Türkiye ve dünyada yollarında kullanılan oto korkuluklar genellikle üç tiptir;

- a) Esnek sistemler; 3 metreye yakın yanal deformasyon yaparlar.
- b) Yarı esnek sistemler; genelde çelik korkuluklardan oluşur ve 0,2 – 1,5 metre arası yanal deformasyon yaparlar.
- c) Rijit sistemler; genelde beton korkuluklardan oluşur 0 – 0,2 metre arası yanal deformasyon yaparlar.

Esnek çelik sistemler, daha çok küçük yolcu taşıtları için elverişli koruma sağlarken, yarı esnek ve rijit sistemler, yük taşıtları için uygundur. Beton bariyerler olası bir kazada daha büyük yükler taşımalarına rağmen yaralanma riski yüksektir. Yarı esnek çelik sistemler de ise yapılan mühendislik çalışmaları ile hem yüksek performanslı hem de düşük yaralanma riski içeren ürünler ortaya konabilmektedir (Atahan 2009).

Yol güvenliğinin artırılması için her geçen gün yeni malzemelere ve “yeni tasarım sistemlere” daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni tasarım sistemlerde üstün güvenlik, yüksek performans, uzun ömür, kolay kurulum ve bakım, düşük maliyet, vb. gibi kriterler, aranan özellikler arasında ilk sıralarda yer almaktadır.

Dünyanın gelişmiş ülkelerinde kullanımı giderek yaygınlaşan “enerji sönmüleyici” oto korkulukların, trafik kazalarında meydana gelen can ve mal kayıplarını azaltıcı etkileri

yapılan araştırmalar doğrultusunda kanıtlanmıştır. Karayollarında hâlihazırda kullanılan korkulukların, gelişmiş ÷lkelerde tercih edilen ve uygulanan yeni tasarımlar ışığında modernizasyonunun sağlanması ve böylece, korkulukların dahil olduğu trafik kazalarında, araçların, hızlarına paralel olarak artan kinetik enerjilerinin, geliştirilmiş “enerji-sönümleyici” tasarıma sahip korkuluklar tarafından emilimi (absorbsiyonu) sağlanacaktır. Bu suretle de, kazaların hem yolcu hem de araç ağıından mümkün olan en az zayıatla sonuçlanması mümkün olacaktır (Ilıcalı, Arslan ve Ergün 2009).

Dünyada mevcut oto korkulukların uluslararası standartlara uyup uymadıkları, yapılan testlerle kanıtlanmakta, standartları karşılayan oto korkulukların yapılan testin akabinde karayollarına yerleştirilmelerine izin verilmektedir. ÷lkemizde bu husus, göz ardı edilmekte olup, Belediye ve Karayolları sınırları içinde oto korkuluk montajı yapan firmaların, anılan testleri gerçekleştirmeleri gerekmektedir (Ilıcalı, Arslan ve Ergün 2009).

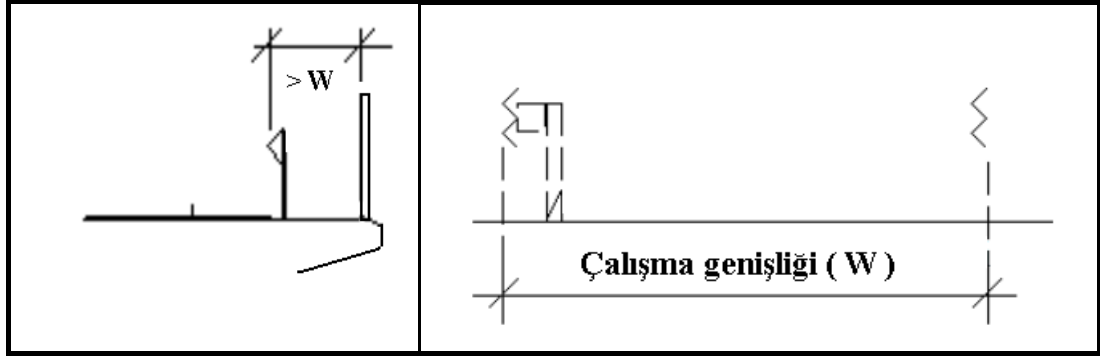
3.2.2. Köprü Tipi Oto Korkuluklar ve Uygulama Örneklere;

Köprü sistemlerinde Bölüm 3,1’de belirtildiği gibi karayolu hattının en riskli kesimlerinden biridir. Gerek güvenli yol kenar bölgesinin olmaması gerekse soğuk havalarda bağlı olduğu yoldan önce donma sıcaklıklarına ulaşması sebebi ile güvenlik önlemi olarak özel önlemler alınması gereklidir.

Otoyollarda özellikle köprü ve viyadüklerde oto korkulukla tehlikeli unsur arasındaki mesafe oto korkuluğun çalışma genişliğinden (W) daha fazla olmalıdır.¹⁰

¹⁰ Sweroad,
<http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/UzmanRaporlari/lovkvistotoko rk.pdf> [erişim tarihi:05.04.2012] s:16

Şekil 3.1: Köprü Tipi Oto Korkulukların Tasarım Kriterleri



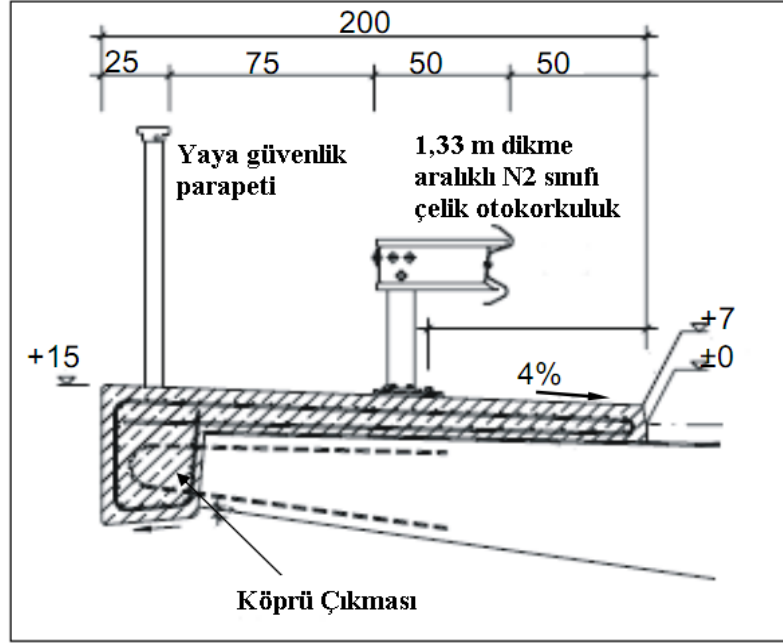
Kaynak: Sweroad (2000), *Sweroad Trafik Güvenliği Projesi, 2000, Karayolları Tasarımı Raporu - Yol Kenarı Alanları ve Oto korkuluklar İle İlgili Olarak Önerilen Tasarım Esasları*, Ankara
<http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/UzmanRaporlari/lovkvistotokork.pdf> (05.Nisan.2012)

Öncelikle köprü yaklaşımlarında, yapılan oto korkuluk hatları köprü üzerinde de kesintisiz olarak devam etmelidir. Köprü üzerinde farklı profilde bir oto korkuluk kullanılacaksa uygun geçiş terminali yapılmalıdır. Ayrıca köprü üzerinde devam eden oto korkuluk hatları, köprü genişleme derzlerine uyum sağlayacak ve projelerine göre imal edilmiş bir genişleme eki ile birleştirilmelidir.

3.2.3. İstanbul Sınırları İçerisinde Bulunan Köprü Tipi Oto korkuluk Uygulamaları

İstanbul sınırları içerisinde oto korkulukların köprü üzerinde uygulamalarına baktığımızda yol tarafında, sadece otomobil çarpmalarında oluşacak kaza şiddetini absorbe edebilen yarı esnek çelik oto korkulukların kullanıldığını görürüz. Oto korkuluk ile köprü ucunda ise yaya güvenliği için kullanılan metal parapetler mevcuttur. Köprü üzerinde yaya güvenliği için konulmuş parapetlerin araçlar açısından herhangi bir koruyucu etkisinin olmadığı unutulmamalıdır.

Şekil 3.2: İstanbul Sınırları İçerisinde Bulunan Köprü Tipi Oto Korkuluk Uygulamaları Grafik Gösterimi



Şekil 3.3: İstanbul Sınırları İçerisinde Bulunan Köprü Tipi, Mevcut Oto Korkuluk Uygulamaları



Karayollarında yeni yapılan projeler de sistemin kullanılacağı köprü ve viyadük geçiş güzergâhında mevcut riskleri karşılayacak tipte oto korkulukların kullanıldığı örnekler mevcuttur. Fakat kullanılan sistemlerin yurt dışı firmalara ve kuruluşlara ait lisans haklarından dolayı, projelerin ilk yatırım ve onarım maliyetleri yüksektir. Yüksek maliyetli bu ürünlere alternatif, rekabet edebilir ve lisans hakları milli olan ürünlerin çeşitliliğinin artırılması ülkemiz için önemli bir kazanım olacaktır.

Şekil 3.4: İstanbul Sınırları İçerisinde Bulunan Köprü Tipi, Yeni Uygulanmaya Başlanan Başarılı Oto Korkuluk Uygulamaları



3.2.4. İstanbul Sınırları İçerisinde Bulunan Köprülerde Meydana Gelen Trafik Kazalarına Örnekler

İstanbul sınırları içinde köprü ve viyadüklerde meydana gelen kazalar mevcut oto korkuluk sisteminin otobüs ve ağır tonajlı kamyonları güvenli bir şekilde durdurma konusunda yeterli olmadığını ortaya koymaktadır.

Şekil 3.5: TEM Otoyolu Bağcılar-Mahmutbey Viyadüğü Üzerinde Meydana Gelen Kaza



Kaynak: <http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/466211.asp> (23.01.2012)

Şekil 3.6: TEM Otoyolu Molla Gürani Viyadüğü Üzerinde Meydana Gelen Kaza



Kaynak:

http://aksam.medyator.com/2009/08/19/haber/guncel/6043/viyadukten_ucan_tir_tem_i_tikadi.html (23.01.2012)

Şekil 3.7: TEM Otoyolu Karasu Viyadüğü Üzerinde Meydana Gelen Kaza



Kaynak:

http://www.posta.com.tr/3Sayfa/HaberDetay/Buyukcekmece_golune_TIR_uctu.htm?ArticleID=107214 (05.03.2012)

**Şekil 3.8: D100 Karayolu Büyükçekmece-Yakuplu Viyadüğü
Üzerinde Meydana Gelen Kaza**



Kaynak: <http://www.haberturk.com/yasam/haber/174926-kopruden-ucan-tirdan-yarali-kurtuldu> (05.03.2012)

4. KARAYOLLARINDA KÖPRÜ VE VİYADÜK GEÇİŞLERİ

Karayolları farklı ebat ve tonajlarda birçok araç için ortak kullanım alanıdır. Bu sebeple araçları karayolu içerisinde tutmak için farklı çözümler getirilmeli ve karayolu güvenliği bir mühendislik yaklaşımı ile değerlendirilmelidir. Bu konu Avrupa, İngiltere, Amerika gibi ülkelerde “EN1317, BS 6779, AASHTO 17th Edition” gibi standartlar ile düzenlenmektedir. Ülkemizde ise TSE tarafından, oto korkuluk performans değerleri için 1998 yılında EN 1317 Avrupa standardı kabul edilmiştir.

4.1. EN 1317 STANDARTI PERFORMANS KRİTERLERİ

Türkiye Nisan 1998 tarihinden bu yana TS EN 1317 standardını kabul etmiştir. EN 1317 standartını diğer standartlardan ayıran temel ve en önemli özellik, standardın performansa dayalı olmasıdır. Sistemin standarda uygun hale gelmesi için standart değerlerinde yapılacak testlerden başarılı bir şekilde geçmesi gerekmektedir.

Standart 8 bölüme ayrılmıştır. 4, 6, 7 ve 8. bölümü hazırlık aşamasındadır. Standartın bölümlerinin konu başlıkları;

- a) EN1317 – 1 :Test metotları için terminoloji ve kriterler,
- b) EN1317 – 2 :Oto korkuluk performans sınıfları, çarpma testi kabul kriterleri ve oto korkuluğun test metotları,
- c) EN1317 – 3 :Çarpma yastığı için performans sınıfları, çarpma testi kabul kriterleri ve çarpma yastığının test metotları,
- d) EN1317 – 4 :Oto korkuluk geçiş parçalarının çarpma testi kabul kriterleri ve çarpma yastığının test metotları , (Hazırlık aşamasında)
- e) EN1317 – 5 : Ürün gereksinimleri ve oto korkuluk sistemleri için uygunluk değerlendirmesi,
- f) EN1317 – 6 : Yayalar için parapet koruma sistemleri kriterleri, (Hazırlık aşamasında)
- g) EN1317 – 7 : Oto korkuluk terminal parçalarının çarpma testi kabul kriterleri ve çarpma yastığının test metotları, (Hazırlık aşamasında)
- h) EN1317 – 8 : Motor bisikletler için çarpma şiddetini azaltan yol güvenlik sistemleri, (Hazırlık aşamasında)

Güvenliğin iyileştirmek amacıyla yolların tasarımını, hatalı araçları engellemeyi ve bunları güvenli bir şekilde içindkiler ve diğer yol kullanıcıları yararına yolun bazı bölümlerinde ve özel yerlerde yeniden yönlendirmeyi amaçlayan güvenlik bariyerlerinin kurulması yol güvenliği bakımından önemlidir.¹¹

EN1317 standartının da aracın olası bir kaza esnasında yol güzergâhında kısıtlanması ile ilgili üç ana kıstas vardır,

4.1.1. Engelleme Düzeyi

Burada T3, N2, H1, H2, H3 ve H4 engelleme düzeyine sahip oto korkuluklarda performansı iki farklı araç tipi ile yapılacak testlere göre belli olur. Bu testlerin biri maksimum engelleme düzeyi için yapılırken, diğeri ise elde edilen maksimum engelleme düzeyi değerinin aynı zamanda hafif vasıta T1 (900 kg) tip otomobil içinde uygun olduğunu doğrulamak için yapılır. Standarda göre elde edilen engelleme düzeyi değeri ile sistem daha düşük bir düzeydeki test şartlarını karşılamış kabul edilecektir.¹²

Kabul kriterlerinin değerlendirileceği test parametreleri Tablo 4.1' de engelleme düzeyinin bir fonksiyonu olarak sıralamıştır.

¹¹ European Committee for Standardization (1998) *European Standard EN1317-2, Road Restraint Systems*, Brussels.

¹² European Committee for Standardization (1998) *European Standard EN1317-2, Road Restraint Systems*, Brussels.

Tablo 4.1: EN1317 Standartına Göre Engelleme Düzeyinin Bir Fonksiyonu Olarak Test Parametreleri Kabul Kriterleri.

	Engelleme Düzeyi	PARAMETRELER			
		Güvenlik bariyeri ve araç davranışları	Vuruş şiddeti düzeyi ASI- THIV (PHD)	Araç Deformasyonu (VCDI)	Güvenlik bariyeri deformasyonu
Düşük Açılı Engelleme	T1	TB21	TB21	TB21	TB21
	T2	TB22	TB22	TB22	TB22
	T3	TB41+TB21	TB21	TB21	TB41
Normal Engelleme	N1	TB31	TB31	TB31	TB31
	N2	TB32+TB11	TB32+TB11	TB32+TB11	TB32
Daha Yüksek Engelleme	H1	TB42+TB11	TB11	TB11	TB42
	H2	TB51+TB11	TB11	TB11	TB51
	H3	TB61+TB11	TB11	TB11	TB61
Çok Yüksek Engelleme	H4a	TB71+TB11	TB11	TB11	TB71
	H4b	TB81+TB11	TB11	TB11	TB81

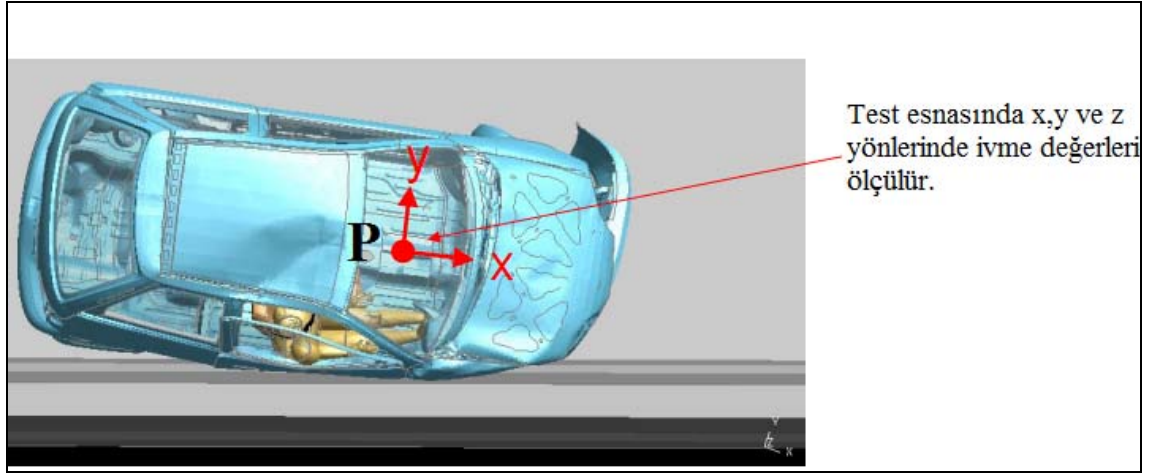
Kaynak: EN 1317-2 (1998), Yol kısıtlama sistemleri – Kısım2: Performans sınıfları, vuruş testi kabul kriterleri ve güvenlik bariyerleri için test metotları.

4.1.2. Vuruş Şiddeti Endeksi

Olası bir kazada yolcular çeşitli yaralanmalara maruz kalabilir. Bu yaralanmalar standarda ölçülebilir bir endeks olarak tanımlanmıştır. Hızlanma şiddeti indeksi (ASI), darbe anında seçilen P noktası yakınında araç içinde oturan bir kimse için, araç hareket şiddetinin ölçümünü zamanın bir fonksiyonu olarak vermeyi amaçlamaktadır .¹³

¹³ European Committee for Standardization (1998) *European Standard EN1317-2, Road Restraint Systems*, Brussels.

Şekil 4.1: Çarpışma esnasında seçilen P noktasında x, y ve z yönlerinde ivme değerleri ölçülür.



Kaynak: Sturt, R, Arup , (2009), *EN1317 Barrier test: The relationship between ASI and injury* ,
http://www.eupave.eu/documents/graphics/technical-seminar-090609/richard-sturt-injury_accident_severity_ppt_distribute.pdf (27.07.2012)

$$ASI(t) = [(\bar{a}_x / \hat{a}_x)^2 + (\bar{a}_y / \hat{a}_y)^2 + (\bar{a}_z / \hat{a}_z)^2]^{1/2}$$

\hat{a}_x , \hat{a}_y ve \hat{a}_z , x, y ve z eksenleri boyunca hızlanma unsurlarının sınır değeridir ve \bar{a}_x , \bar{a}_y ve \bar{a}_z aracın $\delta=50$ ms ortalama ivme değeri üzerinden hesaplanmıştır.

Emniyet kemeri takan yolcular için genel hızlanma limitleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\hat{a}_x = 12g \quad \hat{a}_y = 9g \quad \hat{a}_z = 10g$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Bu çalışmada çarpışma şiddeti endeksi değeri ASI Ls-Dyna programında yapılan analizler sonucu elde edeceğimiz ve standarda göre belirlenen P noktasındaki ivme değerlerine göre TRAP (The Risk Assessment Program) Version 2.1 isimli bilgisayar programı kullanılarak hesaplanacaktır.

Bu program Detayları EN1317-1 standardında belirtilen parametrelere göre birçok yolcu risk parametrelerini hesaplamaktadır (Bligh, Hayes, Epperson, Sherry 2000).

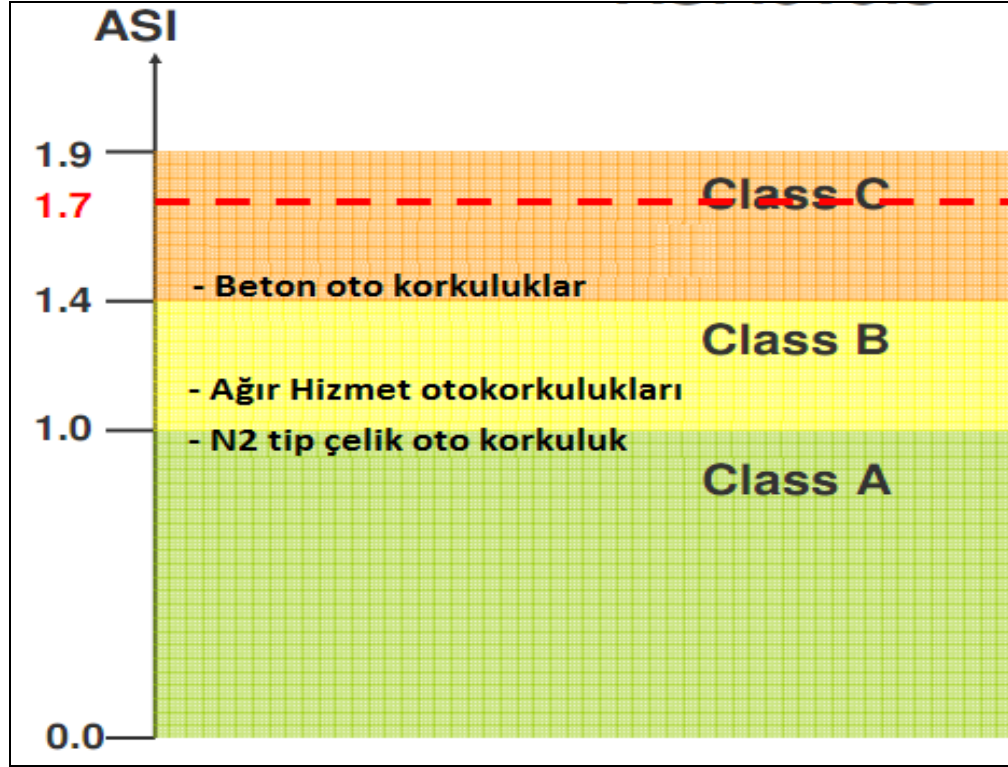
Kabul kriterlerinin değerlendirileceği test parametreleri aşağıdaki tabloda engelleme düzeyinin bir fonksiyonu olarak sıralamıştır.¹⁴

Tablo 4.2: EN1317 Standartına Göre Çarpışma Şiddeti Endeks Değerleri

Çarpışma Şiddet Endeksi	Endeks Değeri	
A	$ASI \leq 1,0$	ve $THIV \leq 33 \text{ km /saat}$
B	$ASI \leq 1,4$	
C	$ASI \leq 1,9$	

Kaynak: EN 1317-2 (1998), Yol kısıtlama sistemleri – Kısım2: Performans sınıfları, vuruş testi kabul kriterleri ve güvenlik bariyerleri için test metotları.

Şekil 4.2: Çarpışma Şiddeti Endeks Seviyeleri



Kaynak: Sturt. R, ARUP , (2009), *EN1317 Barrier test: The relationship between ASI and injury* ,

http://www.eupave.eu/documents/graphics/technical-seminar-090609/richard-sturt-injury_accident_severity_ppt_distribute.pdf (27.07.2012)

¹⁴ European Committee for Standardization (1998) *European Standard EN1317-2, Road Restraint Systems*, Brussels.

Burada etki eden değerler yolcu güvenliği ile direkt olarak etkilidir. A sınıfı çarpışma şiddeti endeksi için herhangi bir yaralanma riski söz konusu değildir. B sınıfı içinde yine bir yaralanma riski n görülmez. ASI değeri 1.7 ve 1.4 arasında yaralanma riski düşüktür. ASI değeri 1,7'den sonra ise yaralanma riski fazladır. ¹⁵

4.1.3. Çalışma Genişliği Düzeyleri

Oto korkuluğun vuruş testi sırasında deforme olması çalışma genişliği olarak tanımlanır çalışma genişliği (W), oto korkuluk sisteminin çarpışma etkisi öncesinde trafiğe bakan taraf ile sistemin herhangi bir ana kısmının çarpışma sonrası maksimum dinamik yan pozisyonu arasındaki uzaklıktır.

Bu alışma değerleri sistemin gerekli performans değerini belirleyerek sistemin kurulma aşamasında engeller önüne bırakılacak alanların belirlenmesi için önemlidir. Ortaya çıkacak deformasyon hem sistem türüne hem de test karakteristiklerine bağlıdır. ¹⁶

Tablo 4.3: EN1317 Standartına Göre arpışma şiddeti Endeks Değerleri.

Çalışma Genişliği düzeyleri sınıfları	alışma Genişliği Düzeyleri (m)
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	$W \leq 3,5$

Kaynak: EN 1317-2 (1998), Yol kısıtlama sistemleri – Kısım2: Performans sınıfları, vuruş testi kabul kriterleri ve güvenlik bariyerleri için test metotları.

¹⁵ Sturt. R, ARUP, http://www.eupave.eu/documents/graphics/technical-seminar-090609/richard-sturt-injury_accident_severity_ppt_distribute.pdf [erişim tarihi:27.07.2012]

¹⁶ European Committee for Standardization (1998) *European Standard EN1317-2, Road Restraint Systems*, Brussels.

Bu kriterler ile karayolları ve belediyeler gibi karayolu otoritelerinin kullanacakları oto korkulukların performans sınıfını belirleyebilmelerini sağlamaktadır. Böylelikle karayolunun tasarım aşamasında yolun sınıfı veya türüne, yerleşimine, etrafındaki zarar görebilecek yapı varlığına, yolu kullanan araç türlerine, daha önce meydana gelmiş kaza istatistiklerine göre sınıflandırmalar yapabilmektedir.

4.1.4. Vuruş Testi Kabul Kriterleri

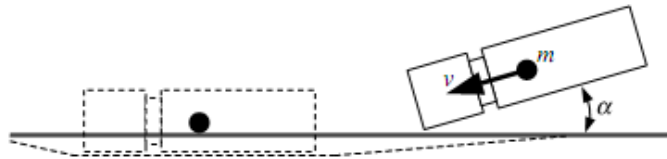
EN1317 standardına göre yapılacak çarpışma testleri Tablo 4.4 'de tanımlanmıştır. Yapılacak bu testler ile sistemin performans değerleri ortaya çıkacaktır.

Tablo 4.4: EN1317 Standartına Göre Araç Vuruş Test Kriterleri

Test	Vuruş Hızı km/saat	Vuruş Açısı	Toplam araç Ağırlığı (kg)	Araç Türü
TB11	100	20°	900	Otomobil
TB21	50	8°	1.300	Otomobil
TB22	80	15°	1.300	Otomobil
TB31	80	20°	1.500	Otomobil
TB32	110	20°	1.500	Otomobil
TB41	70	8°	10.000	Kamyon
TB42	70	15°	10.000	Kamyon
TB51	70	20°	13.000	Otobüs
TB61	80	20°	16.000	Kamyon
TB71	65	20°	30.000	Kamyon
TB81	65	20°	38.000	TIR

Kaynak: EN 1317-2 (1998), Yol kısıtlama sistemleri – Kısım2: Performans sınıfları, vuruş testi kabul kriterleri ve güvenlik bariyerleri için test metotları.

Şekil 4.3: Test Aracının Oto Korkuluğa Yaklaşma Kriterleri



4.2. OTO KORKULUK SİSTEMİNİN ÇALIŞMA KARAKTERİSTİĞİ

Standarda göre oto korkuluk sistemi çarpma anında sistemi ana parçalarında herhangi bir kırılma ve kopma olmadan çarpma şiddetini absorbe edecek ve aracı yönlendirecektir. Sistemin herhangi bir parçası aracın yolcu kabinine girip yaralanma riski oluşturmayacaktır. Araç çarpma sonrası güvenlik bariyerini terk edecek ve trafiğin akışına paralel ve maksimum genişliği, aracın genişliğine ilaveten aracın uzunluğunun yüzde 16'sı olan bir çizgi içinde kalacaktır.¹⁷

Tablo 4.5: EN1317 Standartına Çıkış Kutusu Uzaklığı

Araç Türü	A (metre)	B (metre)
Otomobil	2,2	10
Diğer araçlar	4,4	20

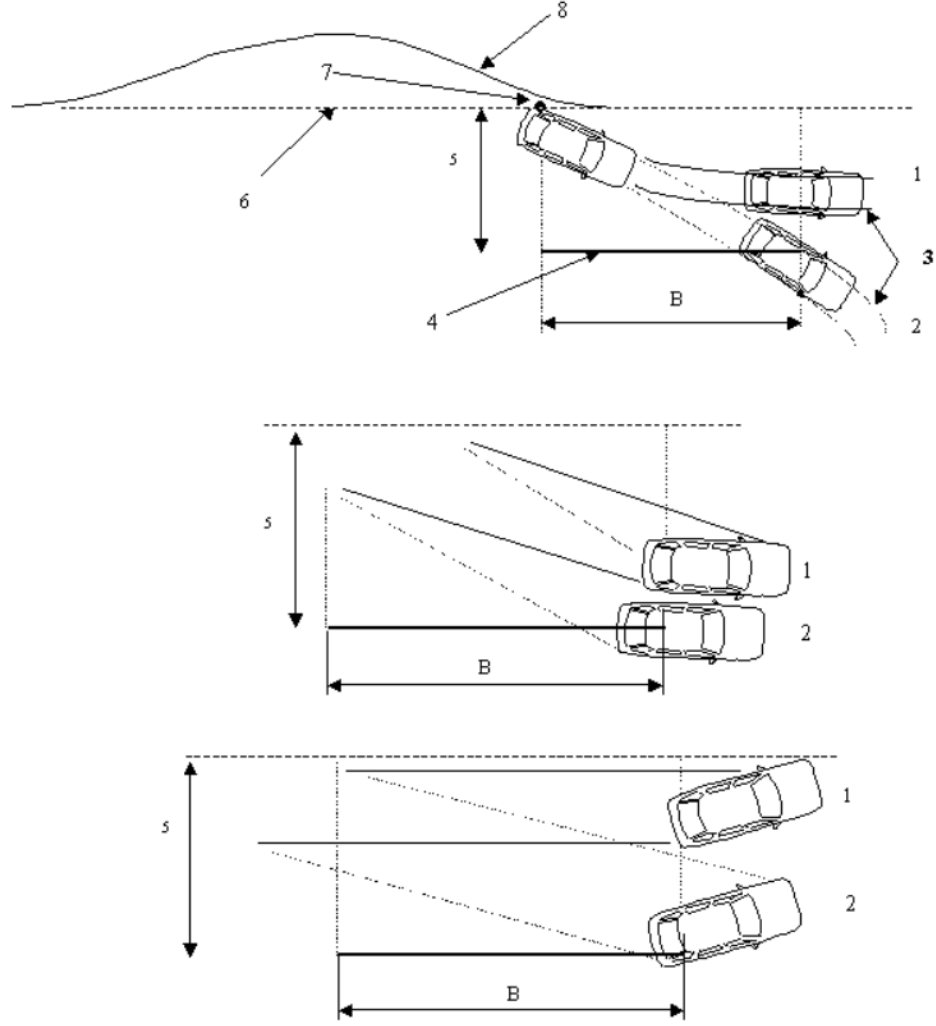
Kaynak: EN 1317-2 (1998), Yol kısıtlama sistemleri – Kısım2: Performans sınıfları, vuruş testi kabul kriterleri ve güvenlik bariyerleri için test metotları.

Test esnasında oluşabilecek durumlar Şekil 4.4' de görülmektedir.

- 1- Test başarılı.
- 2- Test başarısız.
- 3- Tekerlek izi
- 4- Çıkış kutusunun uzunluğu
- 5- $A = \text{Aracın genişliği} + \text{Aracın uzunluğunun } \%16'sı$
- 6- Oto korkuluğun çarpışma öncesi çizgisi
- 7- P noktası = aracın çarpma sonrası oto korkulukla temasının kesildiği nokta.
- 8- Oto korkuluğun çarpışma sonrası oluşan geometrisi,

¹⁷ European Committee for Standardization (1998) *European Standard EN1317-2, Road Restraint Systems*, Brussels.

Şekil 4.4: Çarpışma Sonrası Araç Hareketleri



Kaynak: EN 1317-2 (1998), Yol kısıtlama sistemleri – Kısım2: Performans sınıfları, vuruş testi kabul kriterleri ve güvenlik bariyerleri için test metotları.

4.3. TESTİN YAPILACAĞI YERİN ÖZELLİKLERİ

Testin yapılacağı bölge düz bir arazi yapısına ya da maksimum yüzde 2,5 ‘luk bir eğime sahip olmalıdır. Zemini sert asfaltlı yüzey düzeyinde olmalı ve test sırasında durgun su, buz ve kardan arındırılmış olmalıdır. Test aracının gerekli hıza yükselmesini sağlamak ve bu hızla güvenlik bariyerine yaklaşımının sabit olmasını kontrol edebilecek büyüklükte bir yaklaşım yoluna sahip olmalıdır. Çarpa esnasında oluşabilecek toz bulutunun önüne geçebilecek önlemler alınmalıdır.

5. KÖPRÜ TİP OTO KORKULUK TASARIM VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

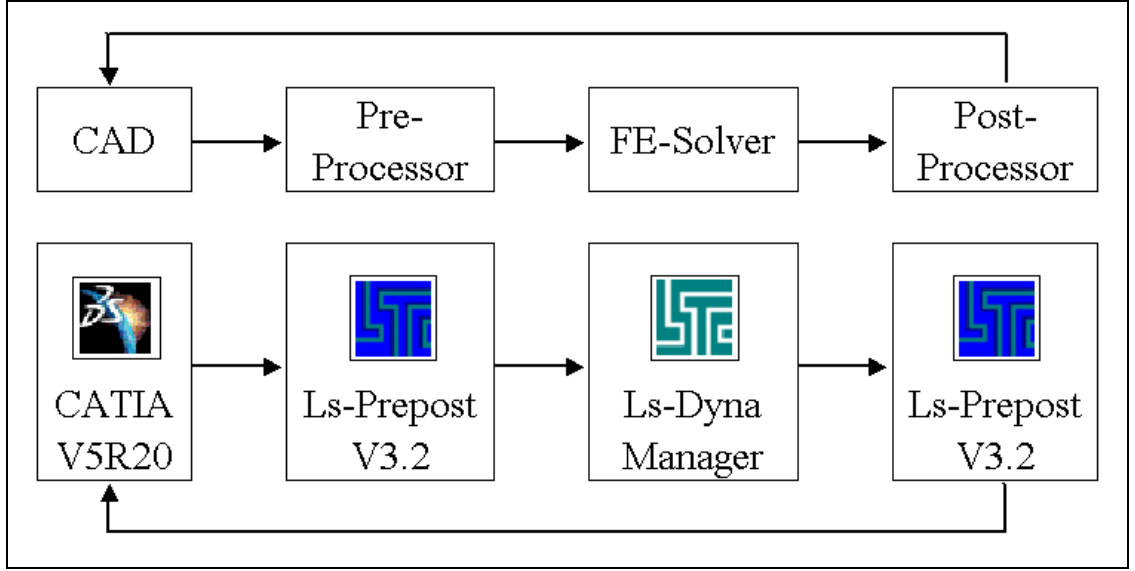
Bu bölümde karayollarının en riskli geçiş noktalarından olan köprü ve viyadüklerde kullanılmak üzere H4b engelleme seviyesinde olacak oto korkulukların tasarım ve analiz çalışmaları incelenecektir. Tasarımların birbirleri ve mevcut yurtdışı menşeli rakiplerine göre performans değerlendirmeleri yapılacaktır.

Catia V5R20 kullanılarak teknik resimleri hazırlanan yol güvenlik oto korkuluk tasarımı ön modelleri, LS-DYNA programı kullanılarak test edilmiştir. Bu çalışmada yer alan yarı köprü geçişlerinde kullanılacak yarı rijit ve birbirinden farklı 2 tip çelik oto korkuluk sistemi özel olarak tasarlanmıştır. Tasarımların LS-DYNA yazılımı kullanılarak sanal ortamda doğrusal olmayan (açık) dinamik ekspilisit sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Ekspilisit (açık) yöntem, çarpışma gibi dinamik kuvvetlerin çok kısa zaman aralıklarında büyüklüklerinin ve yönlerinin değiştiği durumlarda ki sonlu elemanların çözümünde kullanılan bir yöntemdir. Bu metotta sistem üzerine etkiyen kuvvetlerin zamanla değişimi söz konusudur. Çarpışmalar sanal ortamda tasarlanan oto korkuluklar ve araçlarla yapılacağından dolayı belli bir miktar enerji araçtan oto korkuluğun yapısına geçecektir. Çarpma modellerinde çok kısa zaman aralıklarında değişen kuvvet büyüklükleri olduğundan ekspilisit (açık) zaman entegrasyonunda hareket denkleminin zaman alanında entegrasyonu merkezi farklar yöntemi kullanılarak hesaplanır (Kaya 2008).

Oluşturulan ön modellere TS EN 1317 standardında belirtilen şartlar dikkate alınarak analiz senaryoları uygulanmıştır. Tasarım aktif bir yaklaşım ile elde edilen sonuçlara göre, başa dönerek ilgili tasarım revizyonlarından geçerek tekrar analiz edilmiştir.

Şekil 5.1: Oto Korkuluk Tasarım Ve Analiz Aşamaları



5.1. TASARIM AŞAMALARI

5.1.1. Modellerin Oluşturulması

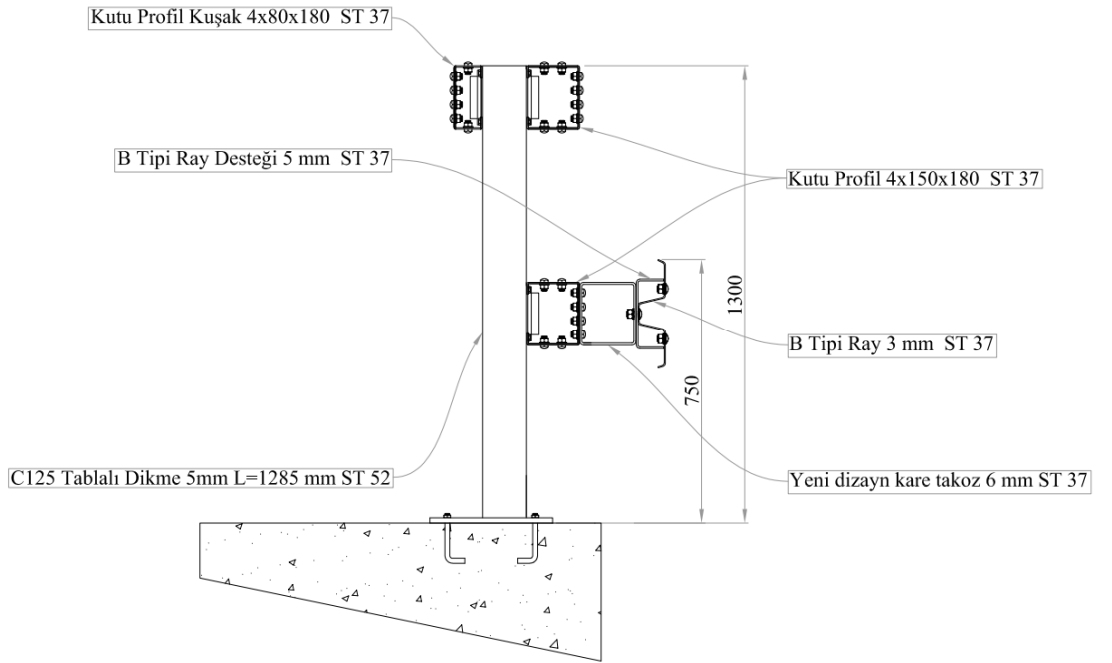
Tasarım modelleri hâlihazırda kullanılan ağır hizmet tipi oto korkuluklar incelenerek özgün bir model oluşturacak şekilde düşünülmüştür. Kullanılacak saç kalınlıkları maliyeti etkileyecek en önemli kalemdir. Sistemi oluşturacak parçaların taşıyacakları yüklerle göre en uygun saç malzemesi ve saç kalınlığı seçilmiştir. Modellerin biri mevcut kullanılan köprü tip H4b sisteme yakın bir tasarıma sahip iken diğeri tamamen farklı özgün bir geometriye sahiptir. Böylelikle mevcut sistem ile esas tasarımı oluşturan ikinci sistemin performans değerleri karşılaştırılmış olacaktır. Ürünlerde kullanılan tüm ekipmanlar seri üretime uygun bir şekilde tasarlanmıştır.

5.1.1.1. Sistem 1:

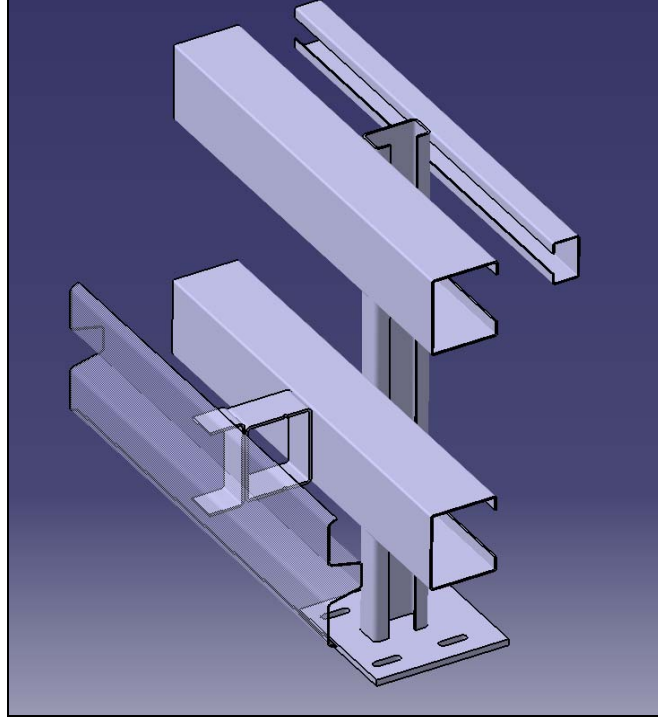
Birinci sistem RAL-RG620 standardı olan ve sadece bu birliğe üye firmalar tarafından kullanılabilen köprü tipi H4b Super rail plus seri ürün ile benzer bir tasarıma sahiptir. Sistemin yola bakan tarafında çarpma şiddetini karşılayabilecek güç ve dayanımda St37

malzemeden imal edilecek 4 mm kalınlığında 150 x180 mm ölçülerinde iki adet kutu profil yerleştirilmiştir. Sistemin yine yola bakan tarafında küçük araç (TB11) kazalarını absorbe edecek B tipi ray kullanılmıştır. Kutu profil ve B tipi ray arasında 6 mm kalınlığında 180x180 mm ebatlarında kare takozlar yerleştirilmiştir. Sistemin arka tarafında ise olası bir sistem kopmasını engellemek için 4 mm kalınlığında saçtan 80 x180 mm ölçülerinde kutu profilden kuşak sistem boyunca bulunacaktır. Dikmeler 5 mm kalınlıkta saçtan 62,5 x 125 mm ölçülerinde ve St 52 malzemeden imal edilecektir. Dikmeler yanıl çalışmayı azaltmak için 1,33 metre aralıkla yola bağlanacaktır.

Şekil 5.2: Analiz Edilecek 1 Numaralı Sistemin Genel Görünüşü



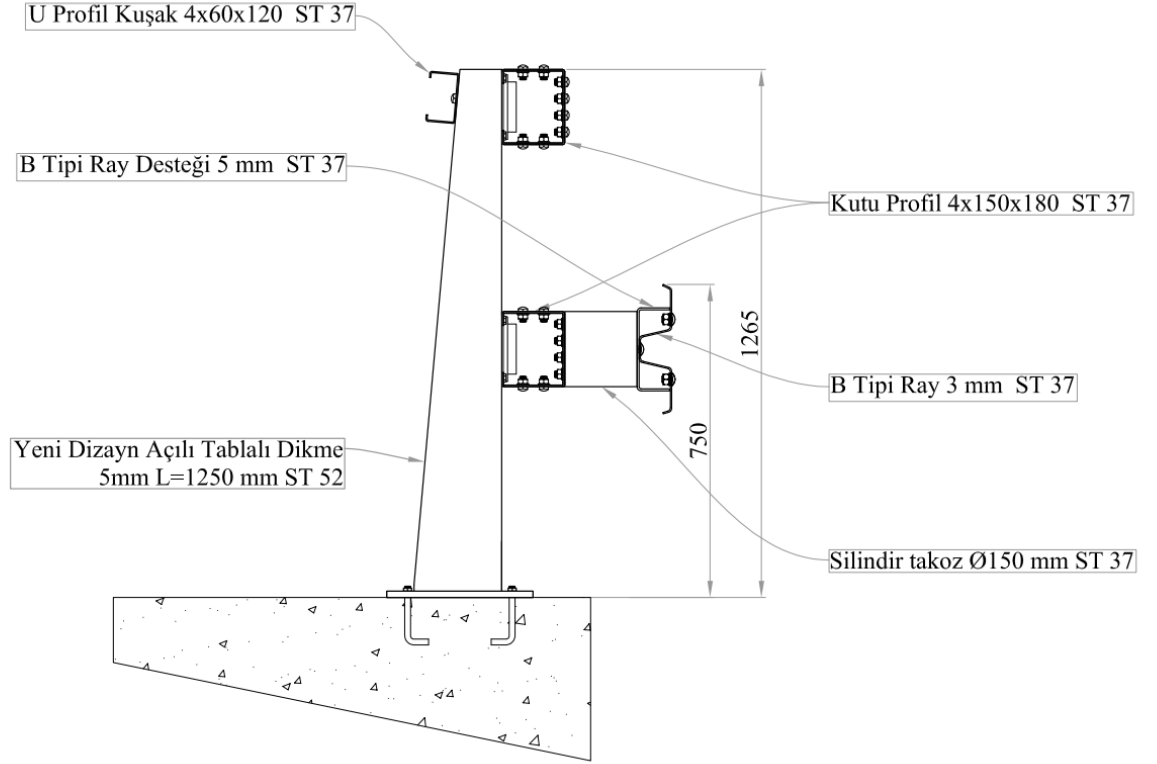
Şekil 5.3: Analiz Edilecek 1 Numaralı Sistemin 3 Boyutlu Perspektif Görünüşü



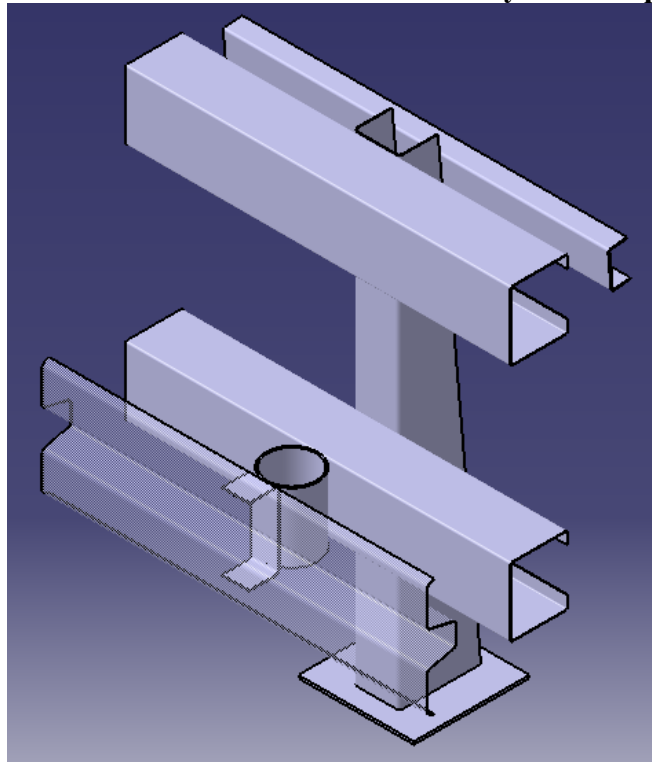
5.1.1.2. Sistem 2:

İkinci sistem ise dünya çapında üreticilerin kullandığı tüm sistemler incelenerek oluşturulmuş özgün bir tasarıma sahiptir. Üründe kullanılan tüm ekipmanlar seri üretime uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Sistemin yola bakan tarafında çarpma şiddetini karşılayabilecek güç ve dayanımda St37 malzemenin imal edilecek 4 mm kalınlığında 150x180 mm ölçülerinde iki adet kutu profil yerleştirilmiştir. Sistemin yine yola bakan tarafında küçük araç kazalarını absorbe edecek B tipi ray kullanılmıştır. Kutu profil ve B tipi ray arasında 6 mm Ø150 mm çapında takozlar yerleştirilmiştir. Sistemin arka tarafında ise olası bir sistem kopmasını engellemek için 4 mm kalınlığında saçtan 60x120 mm ölçülerinde kutu profilden kuşak sistem boyunca bulunacaktır. Dikmeler 5 mm kalınlıkta ve arka tarafı 5° açılı olacak şekilde ve St 52 malzemenin imal edilecektir. Dikmeler yanıl çalışmayı azaltmak için 1,33 metre aralıkla yola bağlanacaktır.

Şekil 5.4: Analiz Edilecek 2 Numaralı Sistemin Genel Görünüşü



Şekil 5.5: Analiz Edilecek 2 Numaralı Sistemin 3 Boyutlu Perspektif Görünüşü



5.2. ANALİZ ÇALIŞMALARI

5.2.1. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu Elemanlar Metodu mühendislikte karşılaşılan birçok karmaşık problemlerde çözüm elde etmek için kullanılan nümerik bir yöntemdir. Gerilme analizindeki sürekli, süreksiz, doğrusal veya doğrusal olmayan problemler, ısı transferi, sıvı akışı ve elektromanyetizma problemleri Sonlu Elemanlar Metodu ile incelenebilir ve çözümlenebilirler. Modern Sonlu Elemanlar Metodu başlangıcı, bazı araştırmacıların esnek çubukları kullanarak modelledikleri 1900' lü yılların başlarına dayanır. Literatürde, Courant (1943) Sonlu Elemanlar Metodunu geliştiren ilk kişi olarak bilinmektedir. 1940'lı yılların başında yayınladığı bir makalede, Courant, bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanarak bir burulma problemi için çözüm üretmiştir.¹⁸

Herhangi bir problemin sonlu elemanlar analizinde aşağıdaki adımlar uygulanır.

Ön Analiz Aşaması

- a) İlk aşama olarak iki veya üç boyutlu model hazırlanır.
- b) Sonlu elemanlar metodu ile analiz yapmak için incelenen yapı alt parçalara (mesh) ayrılarak nodlar (düğüm noktaları) ve bu düğüm noktalarından birbiri ile birbirine bağlı olan elemanlar elde edilir.
- c) Bir elemanın fiziksel davranışını temsil eden bir şekil fonksiyonu olduğu varsayılır. Başka bir deyişle, sürekli bir fonksiyonun, bir elemanın çözümünü temsil edeceği varsayılır.
- d) Bir eleman için denklemler geliştirilir.
- e) Tüm problemi temsil edecek şekilde elemanlar birleştirilir. Direngenlik matrisi oluşturulur.
- f) Sınır koşulları, başlangıç koşulları belirlenir ve yükleme uygulanır.

¹⁸ LSTC, Livermore Software Technology Corporation, 2007. *LS-DYNA Keyword User's Manual Volume 1*, Livermore, California.

5.2.2. Çözüm Aşaması

Her düğüme ait sonuçlar örneğin farklı nodlardaki yer değiştirme değerleri vb. verileri elde etmek için doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel denklemler çözülür.

LS-DYNA, açık (ekspilisit) 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.

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.

5.2.3. Yöntem

Oluşturulan ön modellere TS EN 1317 standardında belirtilen şartlar dikkate alınarak analiz senaryoları uygulanmıştır. Buna göre LS –Prepost ekranında Tablo 5.1’ de verilen araçlar ile Tablo 5.2’ de verilen şekilde sistem ve araçlar analize hazır hale getirilmiştir.

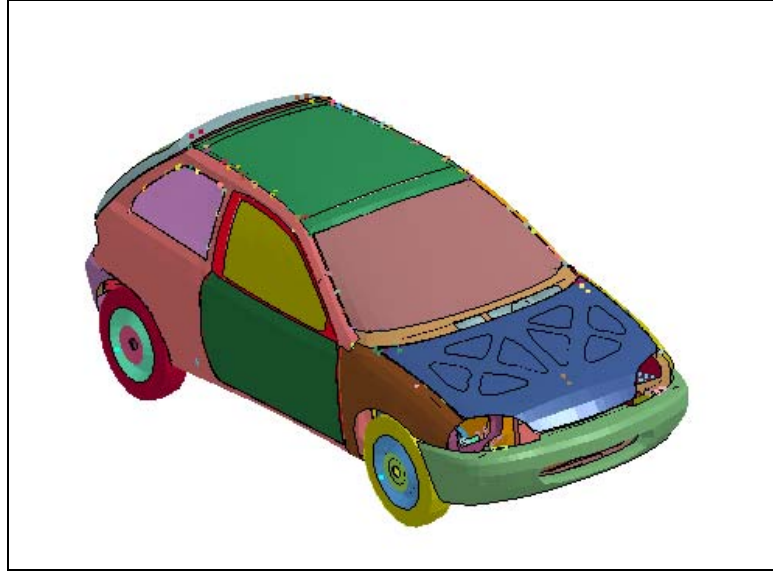
Tablo 5.1: Analizi Yapılacak Sistemlerin EN1317 Standartına Göre Engelleme Düzeyinin Bir Fonksiyonu Olarak Test Parametreleri Kabul Kriterleri.

Engelleme Düzeyi	Güvenlik bariyeri ve araç davranışları	Vuruş şiddeti düzey (ASI)	Güvenlik bariyeri deformasyonu
H4b	TB81+TB11	TB11	TB81

Tablo 5.2: Analizi Yapılacak Sistemlerin EN1317 Standartına Göre Araç Vuruş Test Kriterleri

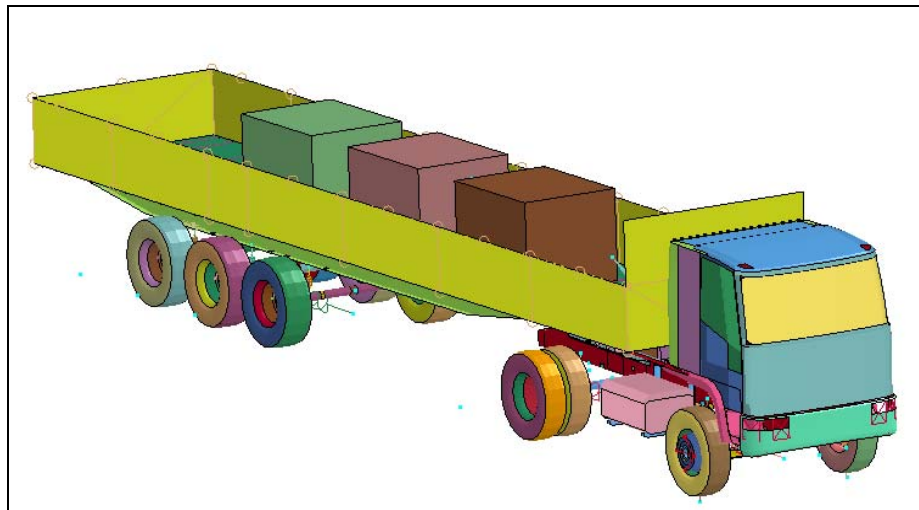
Test	Vuruş Hızı km/saat	Vuruş Açısı	Toplam araç Ağırlılığı (kg)	Araç Türü
TB11	100	20°	900	Otomobil
TB81	65	20°	38.000	TIR

Şekil 5.6: Analizler De Kullanılacak Olan TB11 (900 Kg) Otomobil Modeli



Kaynak: <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html> (01.04.2012)

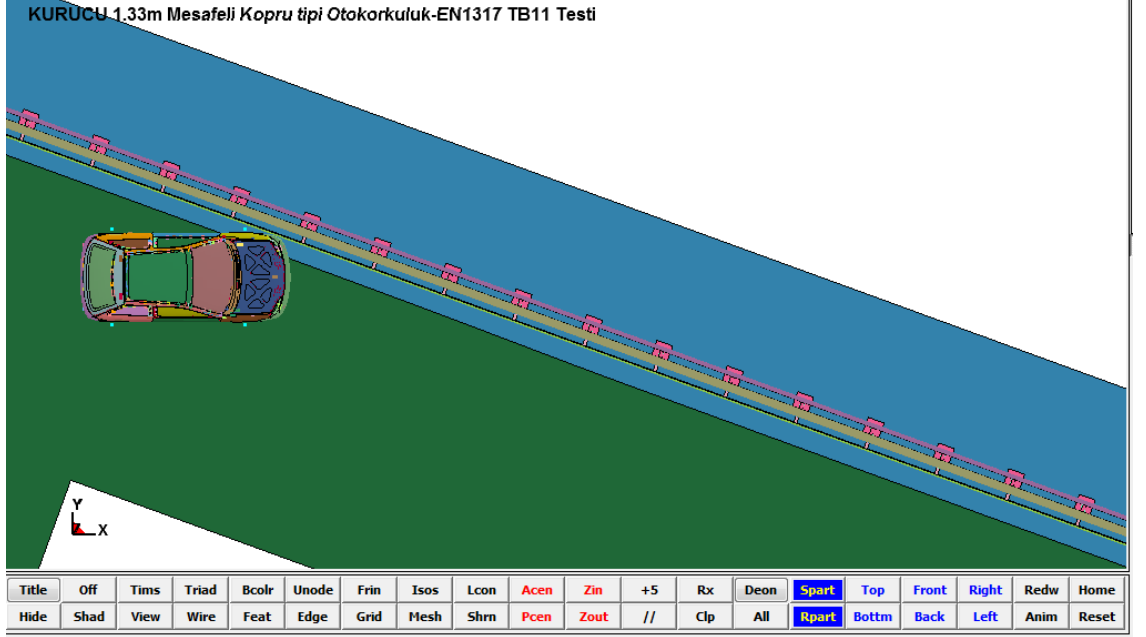
Şekil 5.7: Analizler De Kullanılacak Olan TB81 (38.000 Kg) TIR Modeli



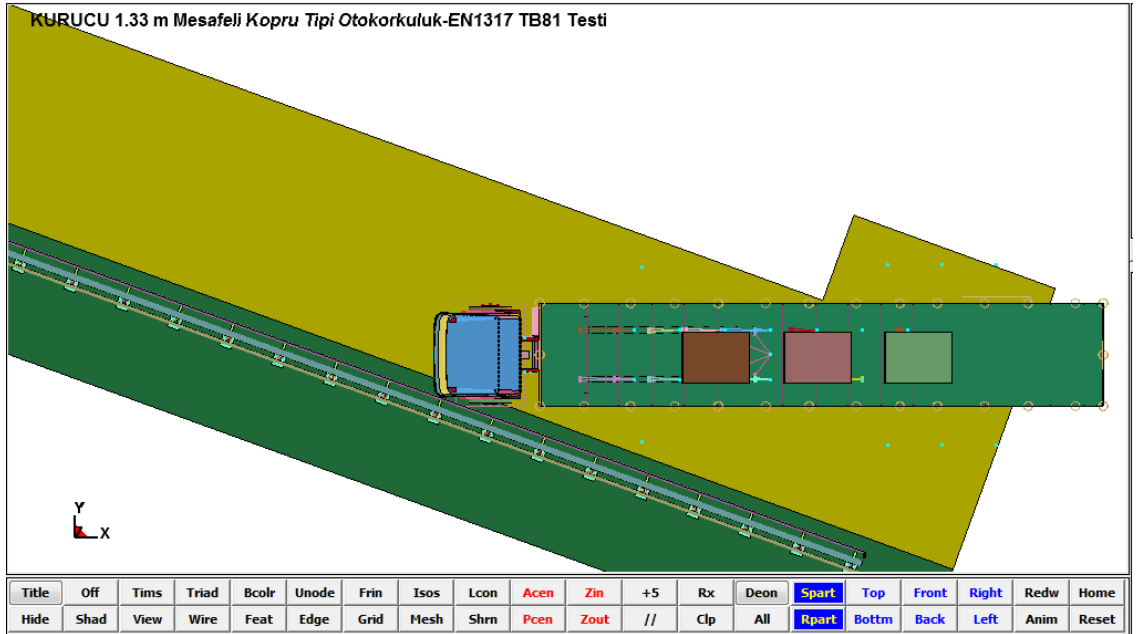
Kaynak: <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html> (01.04.2012)

Oto korkuluklara uygulanacak çarpma senaryolarının LS-prepost ekranında sınır değerleri verilmiş analize hazır hali Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 'de gösterilmiştir. Her iki sistem içinde aynı senaryolar uygulanmıştır.

Şekil 5.8: TB11 Çarpışma Testinin Ls-Prepost Ekranında Analize Hazır Hali



Şekil 5.9: TB81 Çarpışma Testinin Ls-Prepost Ekranında Analize Hazır Hali



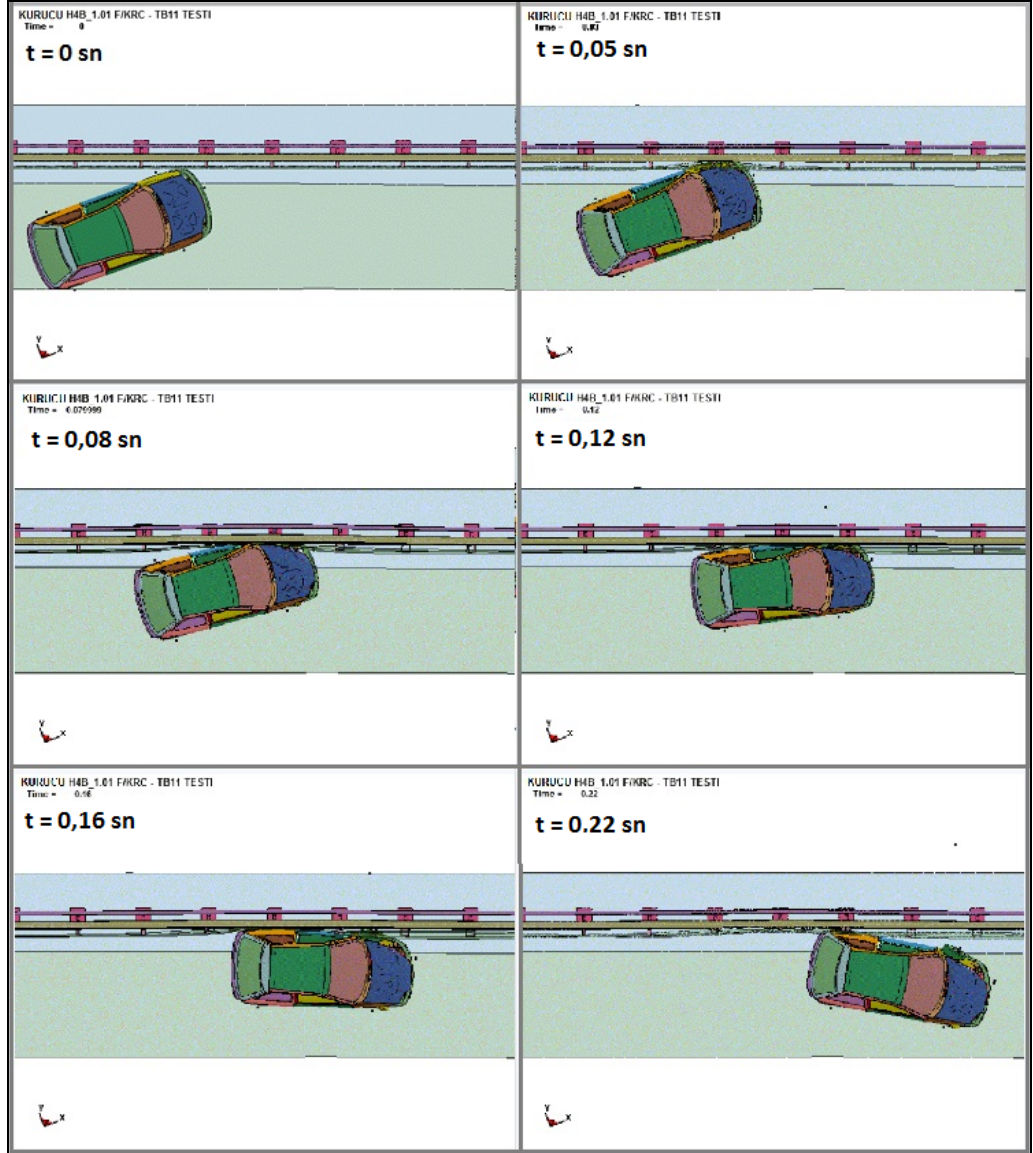
5.2.4. Analiz Sonuçları

Yapılan analiz çalışmaları test ettiğimiz sistemlerin davranışları aşağıdaki bölümlerde ayrı ayrı gösterilmiştir. Yapılan birçok bilimsel çalışma analiz sonucu elde edilen değerler ile gerçek testler sonucu elde edilen değerlerin birbiri ile uyduğunu ispatlamıştır.

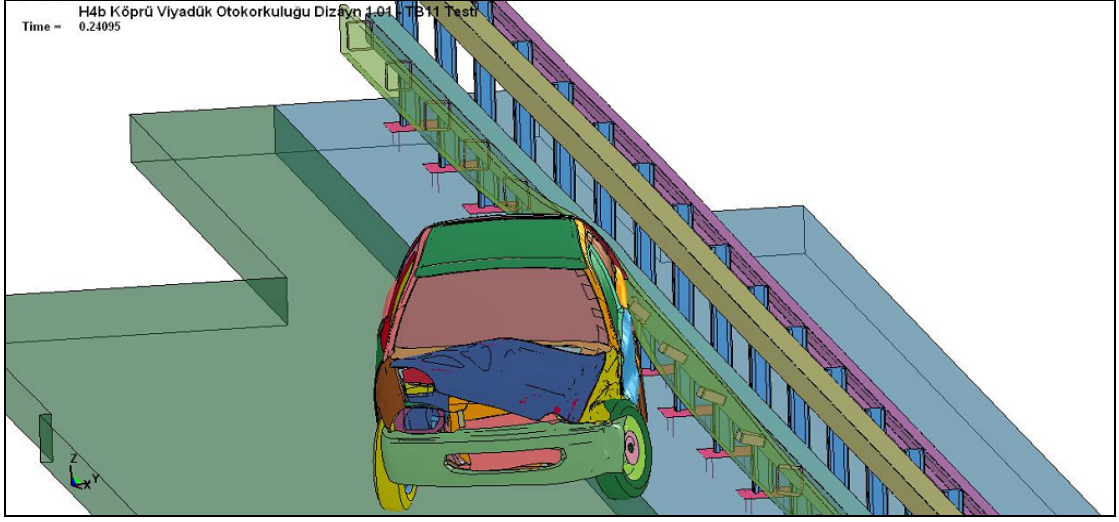
5.2.4.1. Sistem 1

a) TB11 için sistem davranışı:

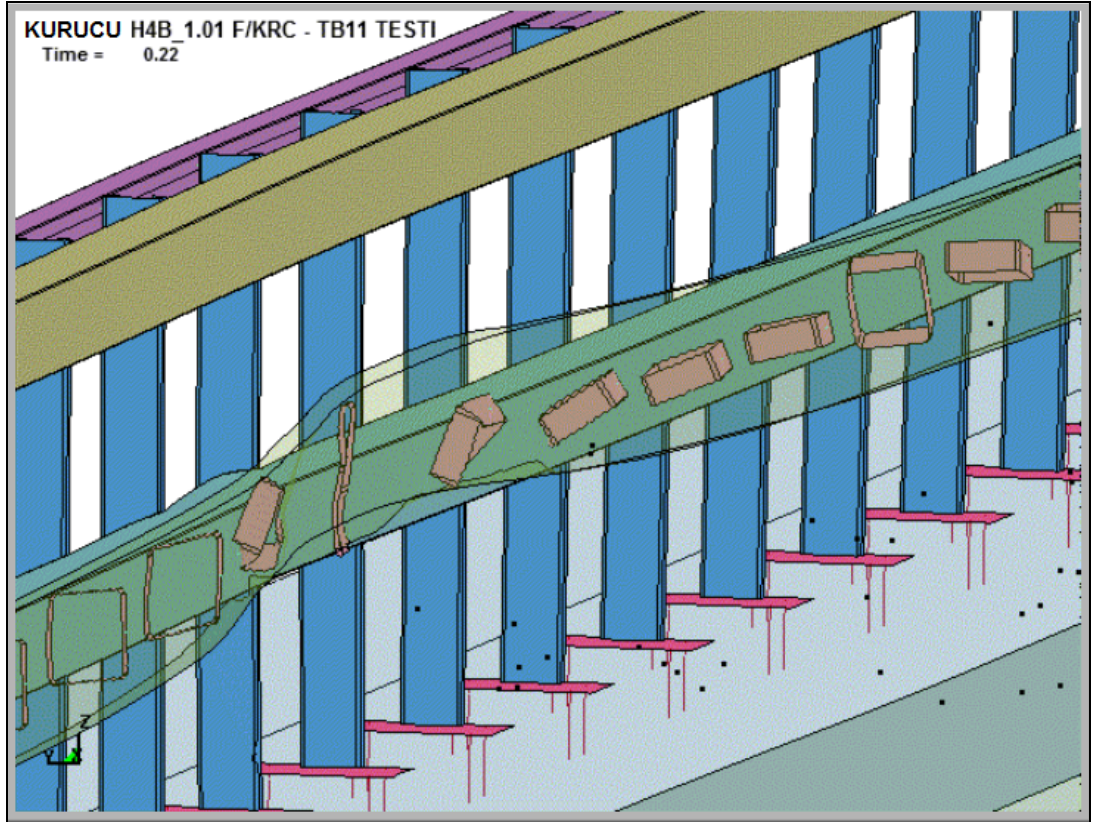
Şekil 5.10: Sistem 1 İçin TB11 Çarpışma Analizi Esnasında Oto Korkuluk Sisteminin Ve Aracın Deformasyon Davranışı.



Şekil 5.11: Sistem 1 İçin TB11 Çarpışma Analizi Sonrasında Araçta Meydana Gelen Deformasyon Davranışı



Şekil 5.12: Sistem 1 İçin TB11 Çarpışma Analizi Sonrasında Oto Korkuluk Sisteminde Meydana Gelen Deformasyon Davranışı

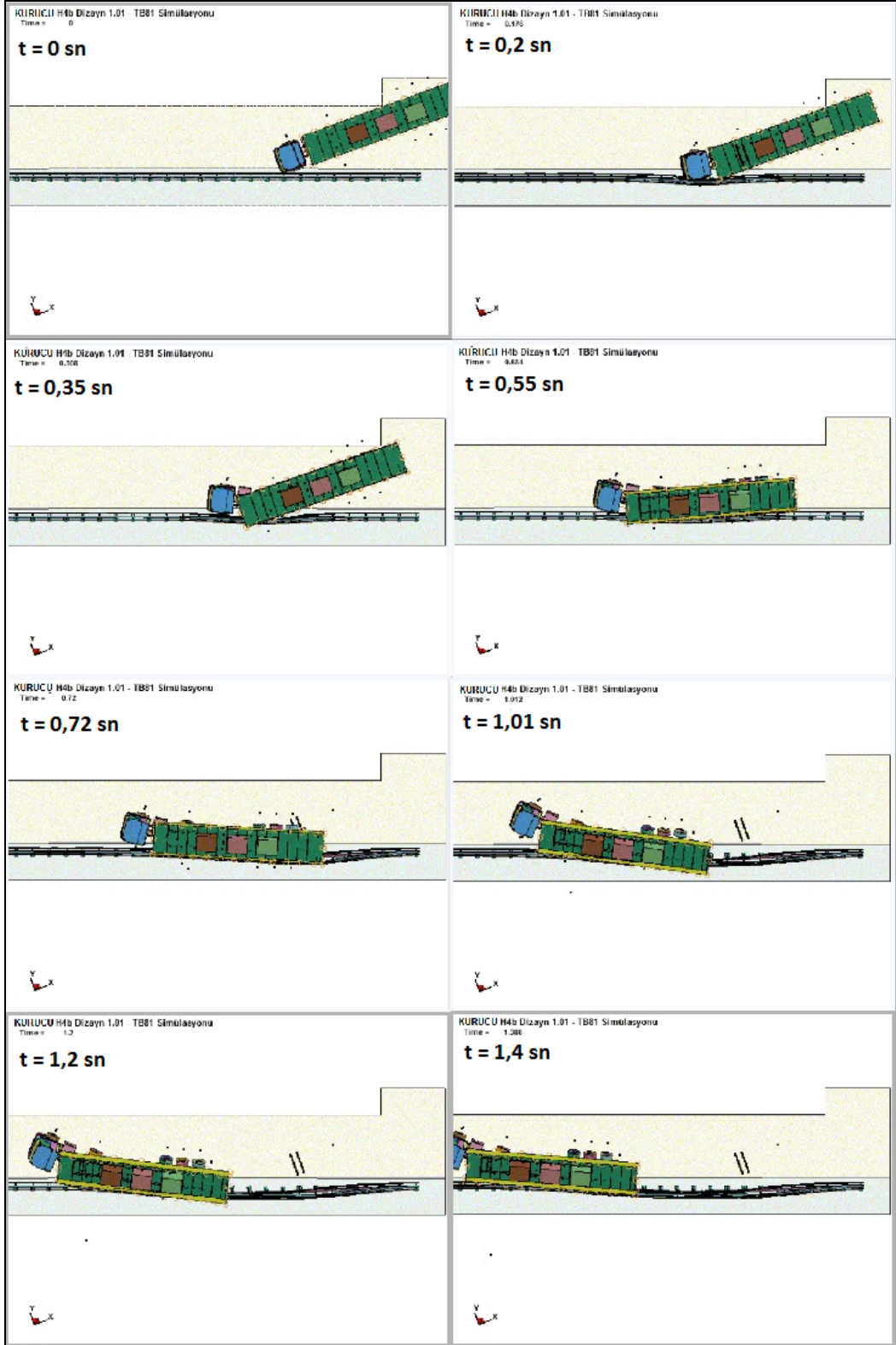


Şekil 5.13: Sistem 1 İçin Çarpışma Şiddet Endeksi (ASI) Değeri

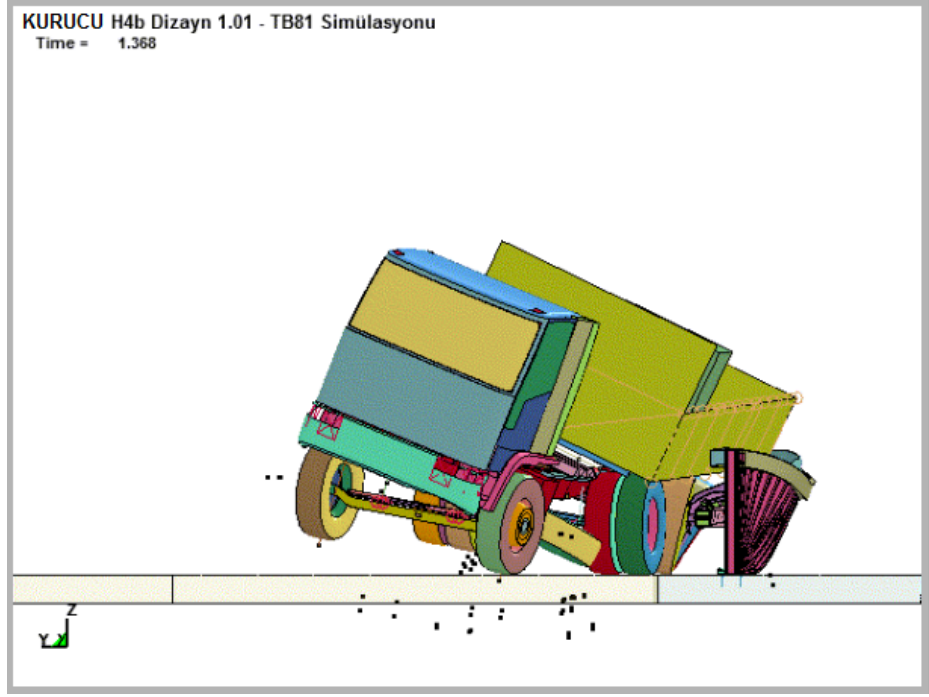
Test Summary Report		
General Information		
Test Agency:	MKU	
Test Number:	1	
Test Date:	07.04.2012	
Test Article:	H4b Seviye Otokorkuluğu - Dizayn 1.01	
Test Vehicle		
Description:	Geo Metro	
Test Inertial Mass:	900 kg	
Gross Static Mass:	900 kg	
Impact Conditions		
Speed:	100.0 km/hr	
Angle:	20.0 degrees	
Occupant Risk Factors		
Impact Velocity (m/s)	at 0.0894 seconds on right side of interior	
x-direction	2.8	
y-direction	6.0	
THIV (km/hr):	N/A	
Ridedown Accelerations (g's)		
x-direction	-1.0	(0.1062 - 0.1162 seconds)
y-direction	-7.1	(0.0898 - 0.0998 seconds)
PHD (g's):	N/A	
ASI:	1.14	(0.0040 - 0.0540 seconds)
Max. 50msec Moving Avg. Accelerations (g's)		
x-direction	-5.1	(0.0032 - 0.0532 seconds)
y-direction	-9.5	(0.0044 - 0.0544 seconds)
z-direction	1.3	(0.0321 - 0.0821 seconds)

b) TB81 için sistem davranışı:

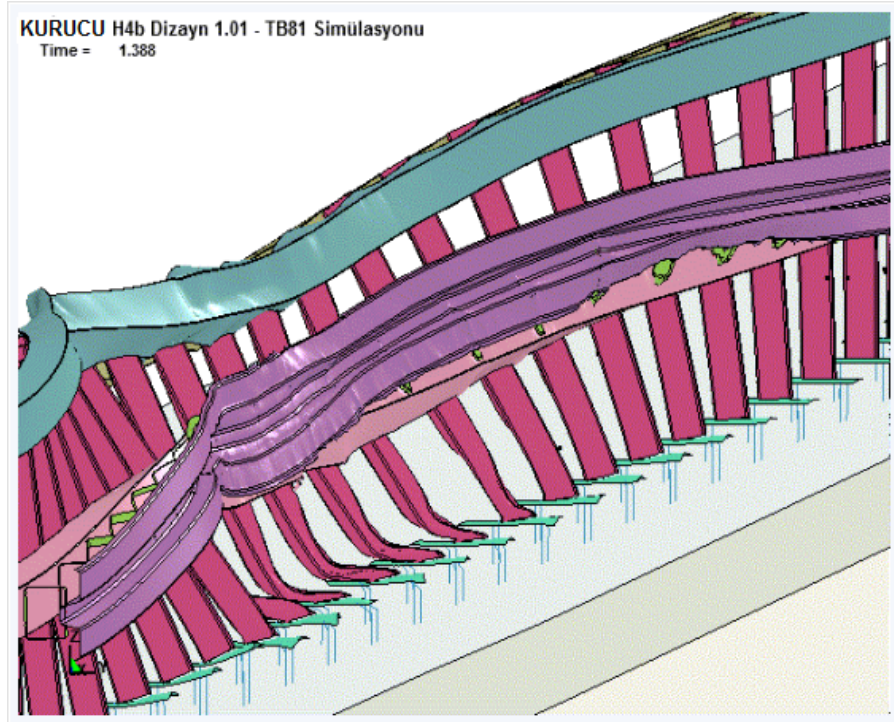
Şekil 5.14: Sistem 1 İçin TB81 Çarpışma Analizi Esnasında Oto Korkuluk Sisteminin Ve Aracın Deformasyon Davranışı



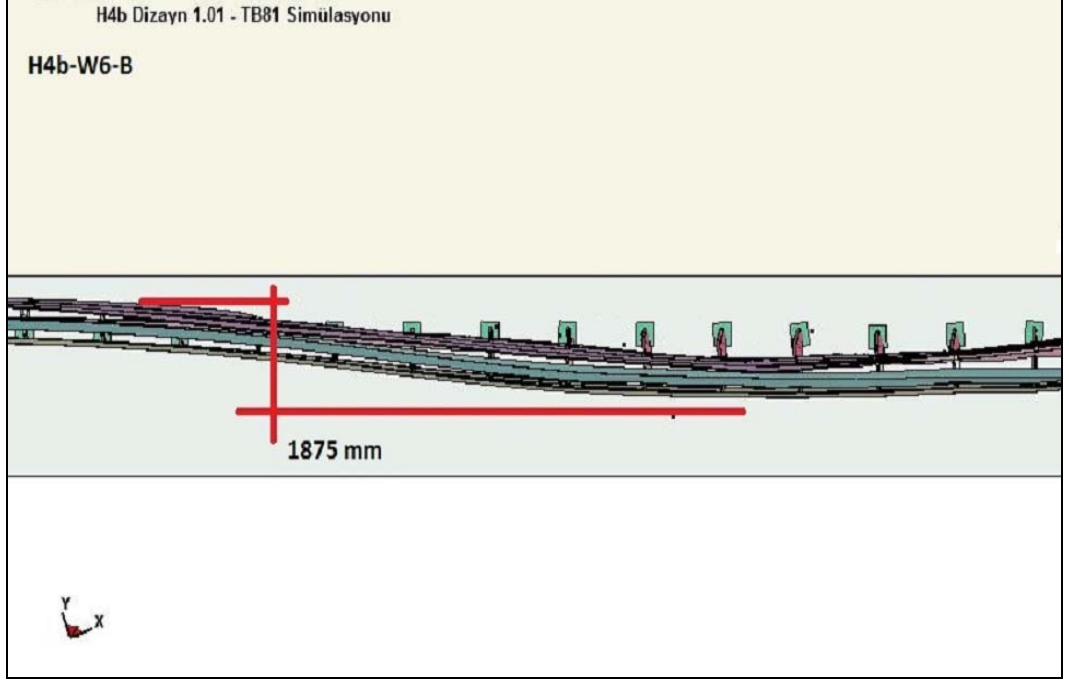
Şekil 5.15: Sistem 1 İçin TB81 Çarpışma Analizi Sonrasında Araçta Meydana Gelen Deformasyon Davranışı



Şekil 5.16: Sistem 1 İçin TB81 Çarpışma Analizi Sonrasında Oto Korkuluk Sisteminde Meydana Gelen Deformasyon Davranışı



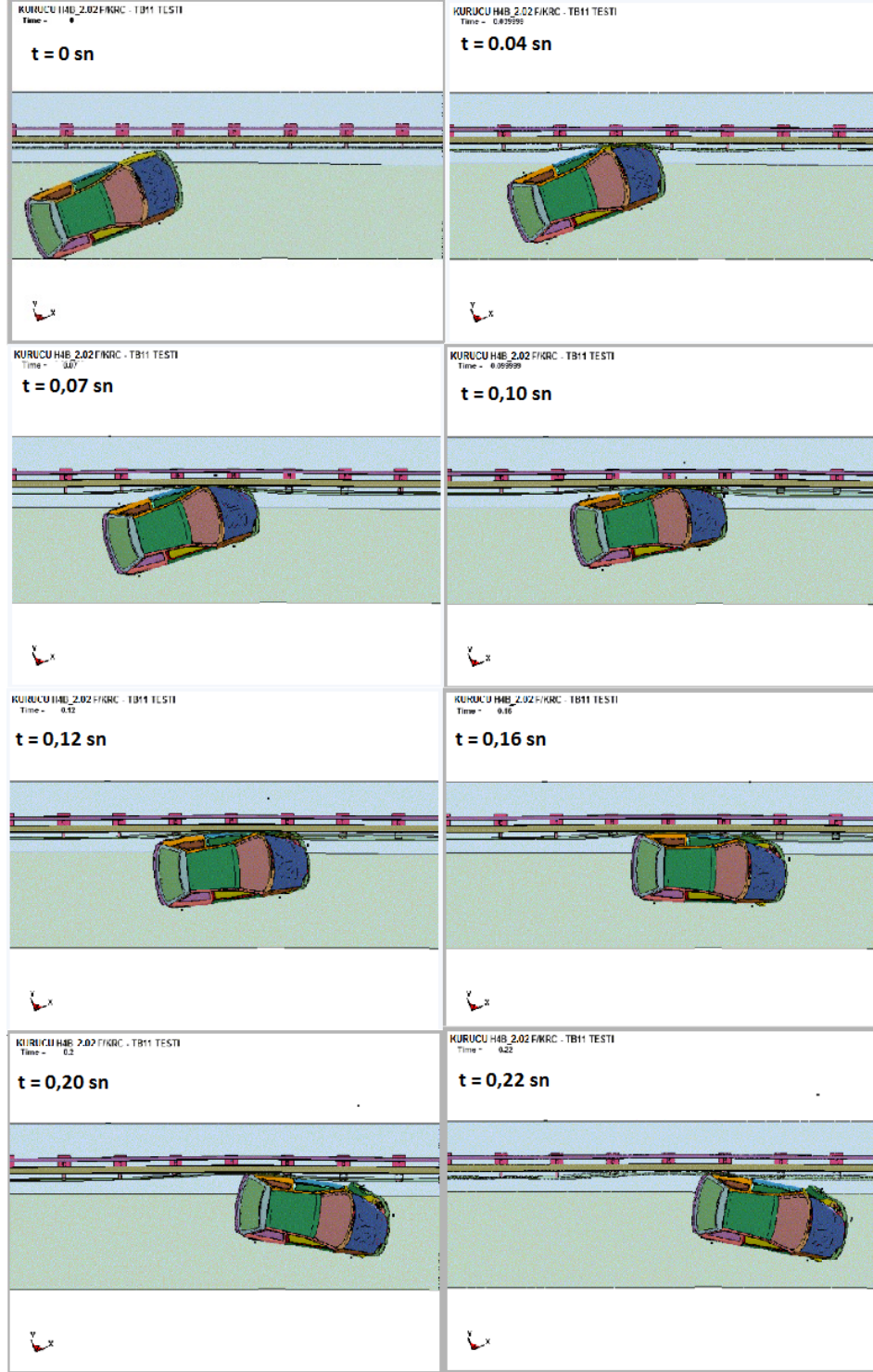
Şekil 5.17: Sistem 1 İçin Çalışma Genişliği Düzey Sınıfı



5.2.4.2. Sistem 2

a) TB11 için Sistem davranışı:

Şekil 5.18: Sistem 2 İçin TB11 Çarpışma Analizi Esnasında Oto Korkuluk Sisteminin Ve Aracın Deformasyon Davranışı



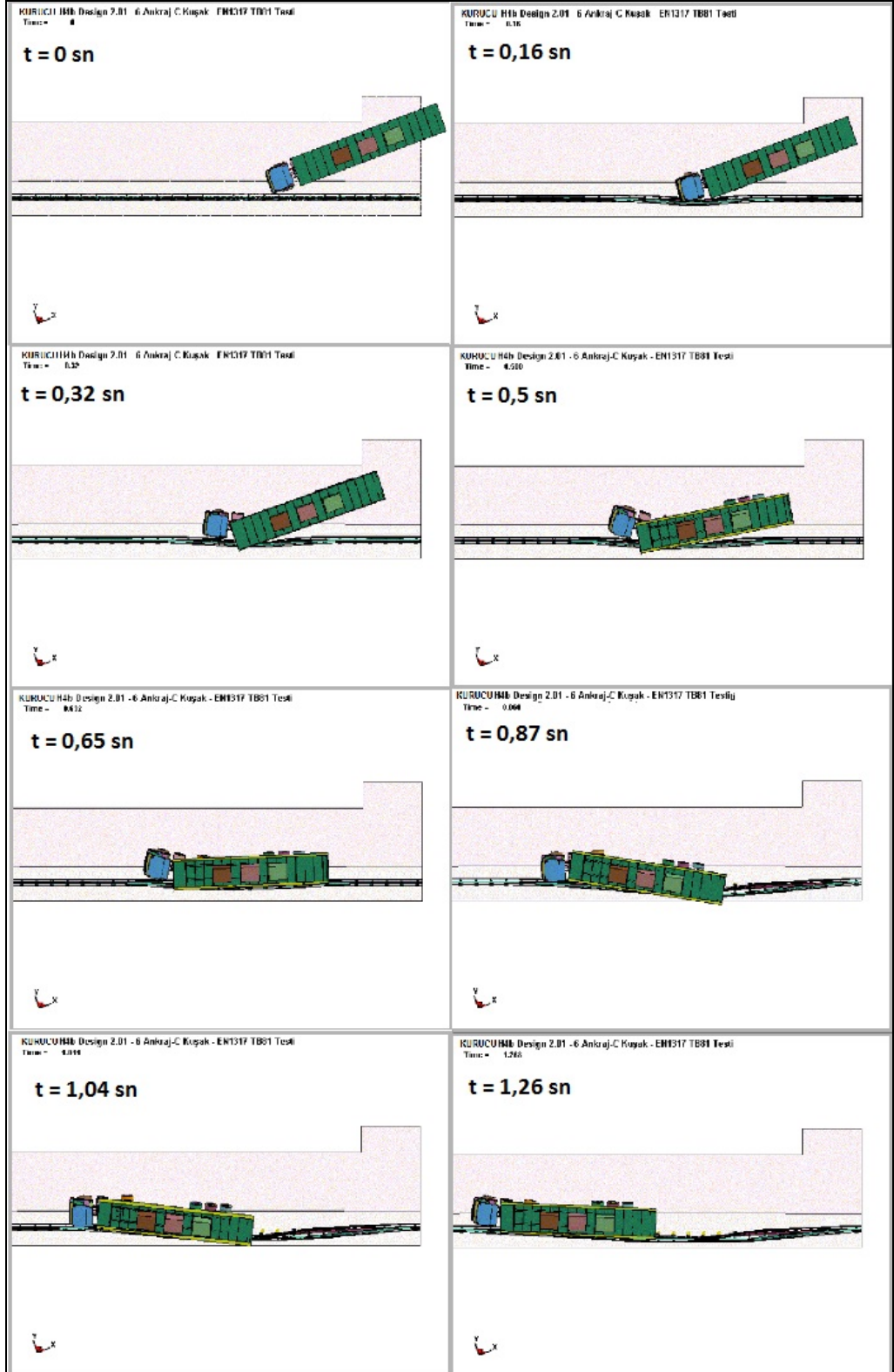
TB11 aracı için yapılan analiz sonucu deformasyonun sadece, iki sistem içinde ortak olan B tipi rayda olduğu görülmüştür. TB11 testi için sistem deformasyonları ve ASI endeksi birbiri ile çok yakın sonuçlar vermiştir.

Şekil 5.19: Sistem 2 İçin Çarpışma Şiddet Endeksi (ASI) Değeri

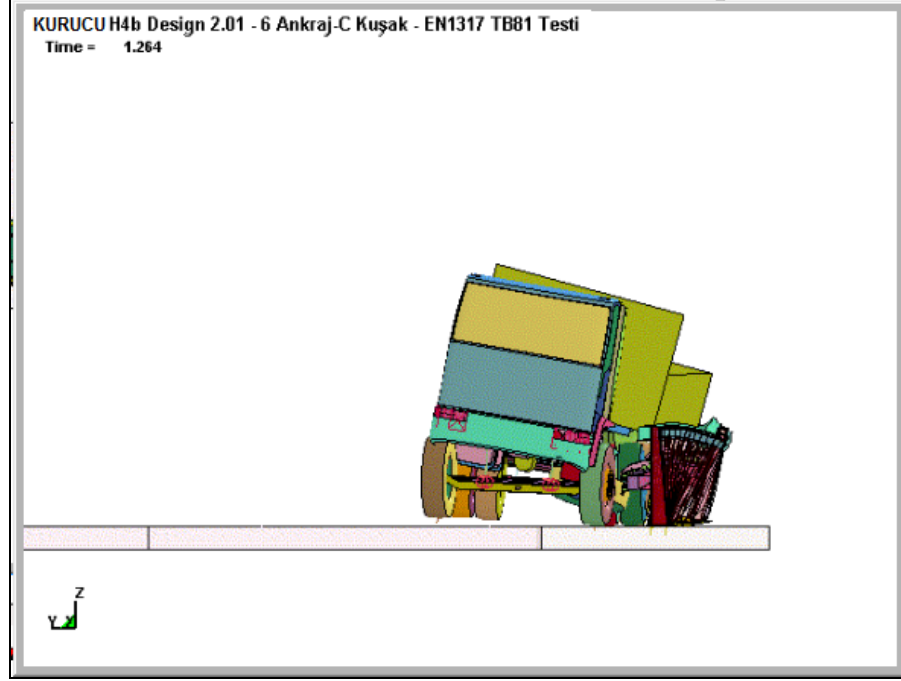
General Information		
Test Agency:	MKU	
Test Number:	1	
Test Date:	23.04.2012	
Test Article:	H4b DIZAYN 2.01	
Test Vehicle		
Description:	Geo Metro	
Test Inertial Mass:	900 kg	
Gross Static Mass:	900 kg	
Impact Conditions		
Speed:	100.0 km/hr	
Angle:	20.0 degrees	
Occupant Risk Factors		
Impact Velocity (m/s)	at 0.0891 seconds on right side of interior	
x-direction	2.5	
y-direction	7.1	
THIV (km/hr):	N/A	
Ridedown Accelerations (g's)		
x-direction	1.7	(0.0996 - 0.1096 seconds)
y-direction	-9.6	(0.0899 - 0.0999 seconds)
PHD (g's):	N/A	
ASI:	1.14	(0.0210 - 0.0710 seconds)
Max. 50msec Moving Avg. Accelerations (g's)		
x-direction	-4.0	(0.0073 - 0.0573 seconds)
y-direction	-9.9	(0.0210 - 0.0710 seconds)
z-direction	-1.1	(0.0490 - 0.0990 seconds)

b) TB81 için sistem davranışı:

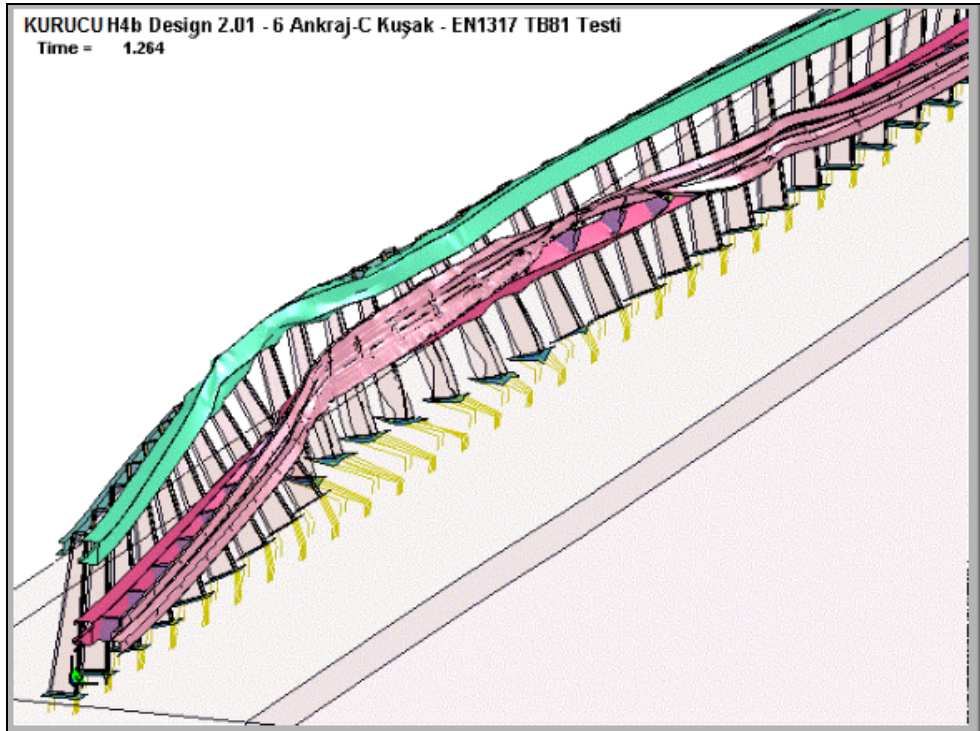
Şekil 5.20: Sistem 2 İçin TB81 Çarpışma Analizi Esnasında Oto Korkuluk Sisteminin Ve Aracın Deformasyon Davranışı



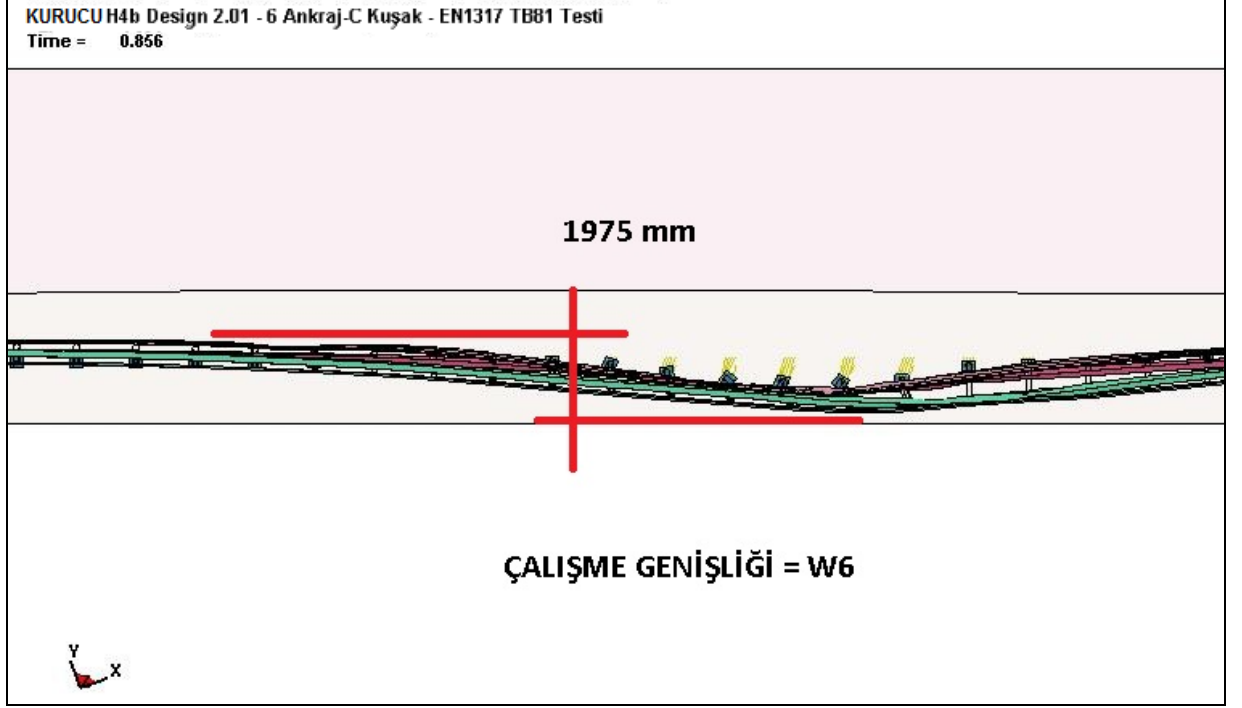
Şekil 5.21: Sistem 2 İçin TB81 Çarpışma Analizi Sonrasında Araçta Meydana Gelen Deformasyon Davranışı



Şekil 5.22: Sistem 2 İçin TB81 Çarpışma Analizi Sonrasında Oto Korkuluk Sisteminde Meydana Gelen Deformasyon Davranışı



Şekil 5.23: Sistem 2 İçin Çalışma Genişliği Düzey Sınıfı



5.2.5. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Sistem 1 için ve sistem 2 için EN1317-2 standardında belirtildiği sınır şartlarında detaylı TB11 ve TB81 çarpışma analizleri yapılmıştır. Buna göre çıkan sonuçları Tablo 5.3' de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.3'de mevcut kullanımda olan H4b Super Rail Plus sisteminin de performans değerleri de karşılaştırma tablosuna eklenmiştir (Kübler 2008).

Tablo 5.3: TB11 Ve TB81 Çarpışma Analizlerine Göre Sonuçların Karşılaştırılması

	Mevcut Kullanılan Sistem Super Rail Plus		Sistem 1		Sistem 2	
Araç Cinsi	TB11 900 kg (Otomobil)	TB81 38000 kg (TIR)	TB11 900 kg (Otomobil)	TB81 38000 kg (TIR)	TB11 900 kg (Otomobil)	TB81 38000 kg (TIR)
Çarpma Hızı ve Açısı	100 km/sa 20°	65 km/sa 20°	100 km/sa 20°	65 km/sa 20°	100 km/sa 20°	65 km/sa 20°
Çalışma Genişliği (W)	-	W7 2200 mm	-	W6 1875 mm	-	W6 1975 mm
Çarpma Şiddeti İndeksi (ASI)	B (-)	-	B (ASI=1.14)	-	B (ASI=1.10)	-
Ağırlık	88 kg/m		83 kg/m		80 kg/m	

Tablo 5.3’ de değerler karşılaştırıldığında her üç sisteminde birbirine yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Sistem 2 performans değerlerinin yanında hem tasarımının farklı olması hem de metre başına çelik ağırlığının diğerlerine göre daha düşük olması ile öne çıkmaktadır.

6. SONUÇLAR

Ölümlü kazaların yüzde altmışının sadece bir araç ile meydana geldiği ve bunların yüzdeyetmişinin de araçların yolu terk ederek yol kenarında, ya devrilerek veya yol kenarında bir sabit cisimle çarpışmaktan kaynaklandığı düşünülürse, yol kenarlarının neden sürücü kusurlarını “affeder” bir şekilde tasarlanması gerekliliği anlaşılabilir (Wright 1996)

Son yıllarda inşa edilen modern karayollarımız da kullanılmaya başlanan pasif güvenlik tertibatlarından olan oto korkuluk, çarpışma yastığı gibi tedbirlerin kazalarda meydana gelen can ve mal kayıplarını azaltıcı etkisi bulunmaktadır.

Ülkemizin son yıllardaki gelişimine paralel olarak gelişen karayolu ağımızda ihtiyaçlar ve riskler tam olarak belirlenmeye çalışılmalı, riskli bölgelerde araç tipine göre uygun oto korkuluk çözümleri için EN1317 standardının performans değerlerini karşılayacak oto korkuluk tipleri üzerine çalışmalar yapıp güvenli ve düşük maliyetli ürün tipleri üzerine tasarım çalışmaları yapılmalıdır.

Bu tedbirlerin Avrupa Normu EN1317 standardına uygun üretilip testlerden geçirilmesi için mühendislik yaklaşımı şarttır. Bu bağlamda oto korkuluklar, çarpışma testleri, performans sınıfları, çarpışma yastıkları, kabul edilebilirlik kriterleri, oto korkuluk ürün şartnameleri, vb. gibi değer ve normları bünyesinde barındıran EN 1317 standardına uyumun hızlanması ve ülkemiz karayolu otoriteleri ve üreticiler tarafından mutlak surette kullanımı çok önemli bir husustur.

Standartın uygulanmasının karayolu otoriteleri tarafından teşviki ile üreticilerin EN1317’ de istenen kriterlere uygun ürün üretme gayretleri artacak ve AR-GE birimlerinin ortaya koyacağı mühendislik çalışmaları ile yüksek performanslı, düşük maliyetli ve rekabet edebilir ürünler ortaya konmaya başlayacaktır.

Bu çalışmalar beraberinde belgelendirme yapabilecek çarpışma test merkezleri ihtiyacını doğuracaktır. Test merkezinin kurulması için çalışmalar TSE merkezi tarafından yapılabilir.

Bu çalışma ile Türkiye’de İstanbul örneği incelenerek, ulaşım hareketliliğinin büyük bir payını üstlenen karayollarının ve otoyolların üzerinde bulunan ve en riskli geçiş bölgesi olan köprü ve viyadükler ile bu yolların şehrin içine bağlantı bölgelerinde bulunan köprülü kavşaklar da meydana gelebilecek kazalarda ortaya çıkacak can ve mal kaybını en aza indirecek alternatif oto korkuluk tasarımları üzerine çalışmalar yapılmış ve performans değerleri ortaya koyulmuştur.

Böylelikle köprü ve viyadük geçişleri, gerek sürücüler ve yolcular, gerekse de taşıtlar açısından daha güvenli bir hale getirilerek, meydana gelen trafik kazalarında ortaya çıkan can ve mal kaybını en aza indirgeyecek yerli tasarıma sahip ürünlerin tasarlanabileceği gösterilmiştir.

Analiz sonuçları yeni tasarlanan ve gelişme aşamasında olan pasif güvenlik tertibatlarının, ülkemizde hali hazırda kullanılmakta olan ve yüksek maliyetli ürünler ile rekabet edebileceğini göstermiştir.

Böylelikle karayollarımız da kullanım hakkı ülkemize ait, ekonomik, başarılı performans değerlerine sahip ve milli kaynaklarımızın yurtiçinde kalacağı oto korkuluklar kullanılarak yol güvenliğini sağlayabileceğimizi göstermiştir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

İBB, 2011. *İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Planı (İUAP)*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul

LSTC, Livermore Software Technology Corporation, 2007. *LS-DYNA Keyword User's Manual Volume 1*, Livermore, California.

LCTC, Livermore Software Technology Corporation, 1998. *LS-DYNA theoretical manual*, Livermore, California.

Reid, J. 2001. *LS-DYNA Examples Manual*, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California

Bligh, R.B., Hayes, E.R., Epperson, B. ve Sherry, K., 2000. *Test risk assessment program (TRAP) version 2.1, User's manual*, Texas Transportation Institute, Texas

AASHTO-AGC-ARTBA, 1996, *Joint Committee. "A Standardized Guide to Highway Barrier Hardware." American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington D.C.

European Committee for Standardization (1998) *European Standard EN1317-1, EN1317-2, Road Restraint Systems*, Brussels.

KGM, 2002. *Karayolunda Pasif Koruma Tertibatları Hakkında Çeviri Bilgileri (Çelik Ve Beton Oto korkulukları)*, Ankara.

KGM, 2005. *Karayolu Tasarım El Kitabı*, Ankara.

KGM, 2007. *Karayolu Trafik Güvenliği Kontrol El Kitabı*, Ankara.

Sürelî Yayınlar

- Atahan A.O.ve Cansız O.F., 2005, *Impact analysis of a vertical flared back bridge rail-to-guardrail transition structure using simulation*, *Finite Elements in Analysis and Design*, Elsevier Science Ltd., **41**, s:371–396,
- Atahan A.O. ve Bonin G., 2006, *Numerical analysis of an H4a heavy containment level transition*, *Int. J. Heavy Vehicle Systems*, Inderscience Enterprises, **13(4)**,
- Vesenjak M., Ren Z., 2003. *Dynamic analysis of a road restraint systems deformation resulting from a vehicle impact*.Univesity of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, Slovenia, *Journal of Mechanical Engng.*, **12(2003)**, s: 586-592
- Vesenjak M., Borovinsek M., Ren Z., 2003. *Computational and experimental crash analysis of the road safety*, Univesity of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, Slovenia, *Engineering Failure Analysis*, **12(2005)**, s: 963-973
- Vesenjak M., Ren Z., 2003. *Computational simulations of road safety barriers using LS-DYNA*.Univesity of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, Slovenia, s: BIII-11 – BIII-18
- Borovinsek M., Vesenjak M., Ulbin M., 2006. *Simulating the impact of a truck on a road safety barrier*. *Journal of Mechanical Engineering*, **2(2006)**, s:101-110
- Daniel, M. ve Dana, M., 2009. *Multi-criteria evaluation of crash barrier systems type* , *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, s: 108–114
- Shankar, V.N., Chayanan, S., Sittikariya, S., Shyu, M.B., Juwa, N.K. ve Milton, J.C., 2004. *Marginal impacts of design, traffic, weather, and related interactions on roadside crashes*, *Transportation Research Record*, s: 156–163
- Wang, Y.G.,Ci, Y.S.,Chen, K.M. ve Hu, L.W., 2011. *Safety performance audit for roadside and median barriers using freeway crash records: Case study in Jiangxi, China*, *Sharif University of Technology, Scientia Iranica* , **18(6)**, s:1222-1230
- Öztürk İ., Kaya N., 2008, *Otomobil ön tampon çarpışma analizi ve optimizasyonu*, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **Cilt 13**, Sayı 1

Diğer Yayınlar

- Sweroad Trafik Güvenliği Projesi, 2000. *Karayolları Tasarımı Raporu - Yol Kenarı Alanları ve Oto korkuluklar İle İlgili Olarak Önerilen Tasarım Esasları*, Ankara
- İlıcılı, M., Arslan, C. ve Ergün, G., 2009. *Karayollarında Trafik Güvenliği: “Oto korkuluklar” Raporu*, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- Kübler J., 2008. *Improvement of safety barriers on German bridges - Results of impact test with heavy lorries*, Federal Highway Research Institute (BAST), Almanya
- Bayat E., (2011), Farklı Aralıklara Sahip Dikmelerden Oluşan Çelik Oto Korkulukları Çarpışma Davranışının Sanal Ortamda İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- Mutlu O., (2010), Metrobüs Güzergahında Kullanılan Halatlı Otokorkulukların İncelenmesi Ve Alternatif Sistemlerin Güvenlik Dayanımının Belirlenmesi , *Yüksek Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- Finite Element Model Archive, FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html> , [erişim tarihi:01.04.2012]
- Sturt. R, ARUP, http://www.eupave.eu/documents/graphics/technical-seminar-090609/richard-sturt-injury_accident_severity_ppt_distribute.pdf [erişim tarihi:27.07.2012]
- KGM, <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Projeler/UluslararasıProjeler/Tem.aspx> , [erişim tarihi:25.05.2012]
- KGM, <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/1Bolge/Harita.aspx> [erişim tarihi:25.05.2012]
- Bahcesehir Universitesi, <http://trafikguvenligi.bahcesehir.edu.tr/RAPOR.pdf> [erişim tarihi:220.04.2012]
- Iceroadsafety, <http://icyroadsafety.com/icybridges.shtml> [erişim tarihi:15.03.2012]
- Iceroadsafety, <http://icyroadsafety.com/jan2107video.shtml> [erişim tarihi:15.03.2012]
- Sweroad, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/UzmanRaporlari/lovkvistotokork.pdf> [erişim tarihi:05.04.2012]
- <http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/466211.asp> [erişim tarihi:23.01.2012]

http://aksam.medyator.com/2009/08/19/haber/guncel/6043/viyadukten_uca_n_tir_tem_i_tikadi.html

[erişim tarihi:23.01.2012]

http://www.posta.com.tr/3Sayfa/HaberDetay/Buyukcekmece_golune_TIR_uctu.htm?ArticleID=107214

[erişim tarihi:05.03.2012]

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih Kurucu

Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul 1980

Yabancı Dili : İngilizce

İlk - Orta Öğretim : Remzi Yurtsever İlköğretim Okulu 1994

Lise : Marmara Lisesi 1997

Lisans : Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği 2002

Yüksek Lisans : Bahçeşehir Üniversitesi

Enstitü Adı : Fen Bilimleri Enstitüsü

Program Adı : Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Çalışma Hayatı : İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Ulaşım A.Ş AR-GE Müdürlüğü (2009–...), AR-GE Mühendisi.

Borusan Makine Servis ve Tic.A.Ş İstanbul Bölge Müdürlüğü (2007 –2009), Servis Mühendisi,

Hidromode Hidrolik Mak. Tic. ve San. A.Ş (2004 –2007), Proje Sorumlusu.