

T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

EN 1317-TB11 TESTİ GÜVENLİK
PARAMETRELERİNİN GÜVENİLİRLİĞİNİN
FARKLI ARAÇ TÜRLERİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür ÖZCAN

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN

ŞIRNAK, 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm. Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Özgür ÖZCAN

ÖNSÖZ

Yol kenar güvenliği ve bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizleri konularında tez çalışması süresince bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışma boyunca akademik anlamda bana yol gösteren değerli ablam Dr. Dicle ÖZCAN ELÇİ'ye, maddi ve manevi destekleriyle bana kuvvet veren başta sevgili eşim Pınar YILDIZ ÖZCAN olmak üzere tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.



**EN 1317-TB11 TESTİ GÜVENLİK PARAMETRELERİNİN
GÜVENİLİRLİĞİNİN FARKLI ARAÇ TÜRLERİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Özgür ÖZCAN

ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN
Yıl : 2022
Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN
: Dr. Öğr. Üyesi Befrin Neval BİNGÖL
: Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ

EN 1317 standartları, yol kenar güvenliği kapsamında otokorkuluk sistemlerinin tasarım ve kabul kriterlerini içermektedir. Otokorkuluk sınıflandırılmasında değerlendirilen üç ana kategoriden biri olan çarpma şiddeti seviyesini belirlemek için en sık kullanılan güvenlik parametrelerinden biri İvme Şiddeti İndeksi (ASI)'dir. EN 1317 standardında ASI değerini belirlemek amacıyla bariyerlerin TB11 tam ölçekli çarpışma testine maruz kalması gerekmektedir. TB11 çarpışma testinde ASI hesaplanırken ilgili standartlarda binek otomobil türü araçlar için yalnızca 900 kg ağırlık kriteri tanımlanmıştır.

Bu çalışmada sonlu elemanlar yazılımı LS-DYNA kullanılarak EN 1317 standardı TB11 testi için belirlenen araç kriterlerinin yeterliliği araştırılmıştır. Bunun yanı sıra farklı araçların kullanıldığı sonlu eleman analizleriyle araç cinsine bağlı şasi ve gövde tipi, araç uzunluğu, genişliği, yüksekliği gibi kriterlerin ASI değeri üzerindeki etkileri de tez kapsamında araştırılmıştır. İlk olarak Fiat Uno marka araç için H1W2-A çelik bariyer sistemi kullanılarak TB11 sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları ile tam ölçekli çarpışma testi verileri karşılaştırılarak sonlu elemanlar kalibrasyonu ve doğrulaması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Doğrulan çarpışma senaryosu 4 farklı araç (Fiat Uno, Toyota Yaris, Dodge Neon, Honda Accord) için ayrı ayrı uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Test sonuçlarına göre en güvensiz seçenek olan Fiat Uno'nun ASI değeri, en güvenli seçenek Honda Accord'a oranla %31 fazladır. Honda Accord'un gabari açısından Fiat Uno'dan fazla olduğu, araçların toplam boyutları arttıkça ASI değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. 2 kapılı Hatchback şasi ve gövde tipine sahip Fiat Uno marka aracın ASI hesabında 4 kapılı Sedan tipi diğer 3 araca göre daha elverişsiz olduğu gözlenmiştir. EN 1317 standardı ASI hesap kriterlerinin çalışmadan elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak revize edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Güvenlik analizi, ASI, EN 1317, Çarpışma testi, Sonlu elemanlar.

ABSTRACT

EVALUATION OF RELIABILITY OF EN 1317-TB11 TEST SAFETY PARAMETERS IN TERMS OF DIFFERENT VEHICLE TYPES

Özgür ÖZCAN

SIRNAK UNIVERSITY

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

Msc THESIS

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Sedat ÖZCANAN
Year : 2022
Jury : Asst. Prof. Dr. Sedat ÖZCANAN
: Asst. Prof. Dr. Befrin Neval BİNGÖL
: Asst. Prof. Dr. Halil İbrahim YUMRUTAŞ

EN 1317 standards include the design and acceptance criteria of guardrail systems within the scope of roadside safety. One of the most frequently used safety parameters to determine the impact severity level, which is one of the three main categories evaluated in guardrail classification, is the Acceleration Severity Index (ASI). In order to determine the ASI value in the EN 1317 standard, the barriers must be subjected to the TB11 full-scale crash test. In ASI calculation with TB11 crash test, only 900 kg weight criterion is defined in the relevant standards for small passenger car type vehicles.

In this study, the adequacy of the vehicle criteria determined for the EN 1317 standard TB11 test was investigated using the finite element software LS-DYNA. In addition, the effects on ASI value of criteria such as chassis and body type, vehicle length, width, height depending on the vehicle type are also aimed within the scope of the thesis, with finite element analyzes using different vehicles. Firstly, TB11 finite element analysis was performed for Fiat Uno brand vehicle by using H1W2-A steel barrier system. Finite element calibration and validation were successfully performed by comparing the analysis results with the full-scale crash test data. The validated crash test scenario was applied for 4 different vehicles (Fiat Uno, Toyota Yaris, Dodge Neon, Honda Accord) and the results were compared.

According to the test results, the ASI value of Fiat Uno, which is the most unsafe option, is 31% higher than the safest option Honda Accord. It has been observed that the dimensional quantities (length, width, height) of Honda Accord are higher than Fiat Uno and ASI values decrease as the total dimensions of the vehicles increase. It has been observed that the Fiat Uno brand vehicle, which has a 2-door Hatchback chassis and body type, is more unfavorable than the other three 4-door Sedan type vehicles in the ASI calculation. It is thought that the ASI calculation criteria of the EN 1317 standard should be revised considering the results obtained in the study.

Keywords: Safety analysis, ASI, EN 1317, Crash test, Finite elements.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR.....	vi
SEMBOLLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı.....	3
1.2. Yol Kenar Güvenliği Bariyerleri (Otokorkuluk Sistemleri).....	4
1.3. Çarpışma Test Standartları.....	5
1.3.1. EN 1317 Yaralanma Kriterleri	6
1.3.1.1. ASI.....	7
1.3.1.2 THIV.....	8
1.3.2. Bariyer Performansı Kriterleri	9
1.4. Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)	12
1.5. Literatür Özeti	16
2. MATERYAL VE METOT	24
2.1. Kullanılan Bilgisayar Destekli Programlar	24
2.2. Kullanılan Otokorkuluğun Tanıtımı.....	26
2.2.1. Otokorkuluğun Geometrik ve Teknik Detayları	26
2.2.2. Otokorkuluğun Sonlu Elemanlar Modeli	28
2.3. Kullanılan Araçların Tanıtımı.....	32
2.4. Çarpışma Testi Ön Hazırlığı	34
3. ÇALIŞMA VE BULGULAR.....	40
3.1. Sonlu Elemanlar Kalibrasyonu ve Doğrulaması.....	41
3.2. TB11 Çarpışma Testi Simülasyonları.....	43
3.2.1. Fiat Uno TB11 Testi.....	43
3.2.2. Toyota Yaris TB11 Testi.....	44
3.2.3. Dodge Neon TB11 Testi	45
3.2.4. Honda Accord TB11 Testi	46

3.3. ASI ve Diğer Parametrelerin Belirlenmesi	47
3.3.1. Fiat Uno Verileri	47
3.3.2. Toyota Yaris Verileri.....	49
3.3.3. Dodge Neon Verileri	50
3.3.4. Honda Accord Verileri	52
3.4. Sonlu Elemanlar Analizlerinin Karşılaştırılması	53
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
4.1. Sonuçlar	59
4.2. Öneriler	61
KAYNAKÇA	62



KISALTMALAR

AIS	:	Kısaltılmış Yaralanma Puanı (Abbreviated Injury Score)
ASI	:	İvme Şiddeti İndeksi (Acceleration Severity Index)
CE	:	Conformite European
CEN	:	European Committee for Standardization
EN	:	European Norm
HE	:	High Energy Absorbing (Yüksek Enerji Yutma)
HIC	:	Kafa Travması Kriteri (Head Injury Criterion)
KGM	:	Karayolları Genel Müdürlüğü
LE	:	Low Energy Absorbing (Düşük Enerji Yutma)
NE	:	Non-Energy Absorbing (Enerji Yutamama)
NHTSA	:	Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (National Highway Traffic Safety Administration)
NJ	:	New Jersey Bariyer
PHD	:	Post Impact Head Deceleration (Darbe Sonrası Baş Yavaşlaması)
RAE	:	Bağıl Mutlak Hata (Relative Absolute Error)
SEM	:	Sonlu Elemanlar Metodu
TÇMB	:	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
THIV	:	Teorik Baş Çarpma Hızı (Teoric Head Impact Velocity)
TS EN 1317	:	Yol Güvenlik Sistemleri
TS EN 1317-1	:	Terminoloji ve Deney Yöntemleri İçin Genel Kriterler
TS EN 1317-2	:	Taşıt Parapetleri Dâhil Güvenlik Bariyerleri için Performans Sınıfları, Çarpma Deneyi Kabul Kriterleri ve Deney Yöntemleri
TVCB	:	Temporary Vertical Concrete Barrier (Geçici Dikey Beton Bariyer)
WHO	:	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

SEMBOLLER

α	:	Çıkış açısı
$ASI(t)$	:	Zamana bağlı fonksiyon olarak ASI değeri
$\bar{a}_x, \bar{a}_y, \bar{a}_z$	:	Üç eksen için filtrelenmiş hesap ivme değerleri
$\hat{a}_x, \hat{a}_y, \hat{a}_z$	:	Üç eksen için sınır ivme değerleri
D_m	:	Dinamik yer değiştirme
D_x, D_y	:	Teorik baş kütlelerinin x ve y eksenlerine olan uzaklıkları
g	:	Yerçekimi ivmesi
$RAE(\%)$	:	Bağıl mutlak hata oranı
δ	:	Hesap ivme değerlerinin ölçüldüğü zaman aralığı
W_m	:	Çalışma genişliği
$V_{head\ x}^2(T)$	:	Araç eksenine göre yatay yöndeki teorik baş hızı değeri
$V_{head\ y}^2(T)$	:	Araç eksenine göre düşey yöndeki teorik baş hızı değeri
V_r	:	Kafa hareketi hızı
VI_m	:	Taşıt girme mesafesi
y_{ct}	:	Hata hesabı için çarpışma testi sonuç değeri
y_{se}	:	Hata hesabı için sonlu eleman modeli sonuç değeri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Bariyersiz yolda ormanlık alana giren araç	2
Şekil 1.2: Otokorkuluk sistemlerinin sınıflandırılması.....	5
Şekil 1.3: ASI ve THIV ölçüm ekipmanları	6
Şekil 1.4: ASI ve THIV ölçüm cihazlarının konumları.....	7
Şekil 1.5: Teorik baş kütesinin sol kenara çarpma durumu.....	8
Şekil 1.6: Araç ve zemin referanslı koordinatlar	9
Şekil 1.7: Dinamik yer değiştirmeler ve çalışma genişlikleri.....	11
Şekil 1.8: Çıkış açısı ve çıkış kutusu hesabı	13
Şekil 1.9: Boyutlarına göre sonlu eleman türleri	14
Şekil 1.10: Sonlu elemanlar analiz prosedürü	15
Şekil 2.1: Yazılım kullanım diyagramı.....	26
Şekil 2.2: H1W2-A otokorkuluğun geometrik detayları	27
Şekil 2.3: Otokorkuluk sınıfı ve sınıflandırma kategorileri.....	27
Şekil 2.4: Çelik otokorkuluk elemanları	28
Şekil 2.5: Otokorkuluk sistemi perspektif görünüm.....	28
Şekil 2.6: Otokorkuluk sistemi ön cephe ve yan cephe görünümü.....	28
Şekil 2.7: Otokorkuluk sistemi ağlandırma	29
Şekil 2.8: Genişletilen otokorkuluğa ait perspektif görünüm.....	30
Şekil 2.9: Otokorkuluk elemanlarına ait kesit bilgileri.....	30
Şekil 2.10: Sınır-mesnet koşullarının tanımlanması.....	31
Şekil 2.11: Fiat Uno sonlu elemanlar modeli	32
Şekil 2.12: Toyota Yaris sonlu elemanlar modeli	33
Şekil 2.13: Dodge Neon sonlu elemanlar modeli	33
Şekil 2.14: Honda Accord sonlu elemanlar modeli	33
Şekil 2.15: Temas yüzeyi kabulleri	35
Şekil 2.16: Üç boyutlu ivmeölçer konum ve doğrultusu	35
Şekil 2.17: Fiat Uno marka aracın çarpışma öncesi durumu	36
Şekil 2.18: Toyota Yaris marka aracın çarpışma öncesi durumu	37
Şekil 2.19: Dodge Neon marka aracın çarpışma öncesi durumu.....	38
Şekil 2.20: Honda Accord marka aracın çarpışma öncesi durumu.....	39
Şekil 3.1: H1W2-A tipi çelik bariyer için TB11 çarpışma testi verileri.....	40
Şekil 3.2: Tam ölçekli çarpışma testi ve sonlu elemanlar modelinin kalitatif karşılaştırması.	42
Şekil 3.3: ASI diyagramı karşılaştırması	43
Şekil 3.4: Fiat Uno marka araç için TB11 test simülasyonu	44
Şekil 3.5: Toyota Yaris marka araç için TB11 test simülasyonu	45
Şekil 3.6: Dodge Neon marka araç için TB11 test simülasyonu	46
Şekil 3.7: Honda Accord marka araç için TB11 test simülasyonu	47
Şekil 3.8: Fiat Uno marka araç için ASI bileşenlerinin kısaltılmış Excel dönüşümü	48
Şekil 3.9: Fiat Uno araca ait ASI diyagramı.....	48

Şekil 3.10: Toyota Yaris marka araç için ASI bileşenlerinin kısaltılmış Excel dönüşümü	49
Şekil 3.11: Toyota Yaris araca ait ASI diyagramı	50
Şekil 3.12: Dodge Neon marka araç için ASI bileşenlerinin kısaltılmış Excel dönüşümü	51
Şekil 3.13: Dodge Neon araca ait ASI diyagramı.....	51
Şekil 3.14: Honda Accord marka araç için ASI bileşenlerinin kısaltılmış Excel dönüşümü	52
Şekil 3.15: Honda Accord araca ait ASI diyagramı	53
Şekil 3.16: Araç çarpışma testi simülasyonlarına ait ön cephe görünümünün karşılaştırılması	54
Şekil 3.17: Araç çarpışma testi simülasyonlarına ait üst cephe görünümünün karşılaştırılması	55
Şekil 3.18: Araç çarpışma testi simülasyonlarına ait perspektif görünümünün karşılaştırılması	55
Şekil 3.19: ASI diyagramlarının karşılaştırması.....	56

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1: EN 1317 Çarpışma Testleri	10
Çizelge 1.2: Yolda tutma seviyeleri.....	10
Çizelge 1.3: Çalışma genişliği sınıfları.....	11
Çizelge 1.4: Çarpma şiddeti seviyeleri	12
Çizelge 2.1: Otokorkuluk sisteminin teknik detayları	27
Çizelge 2.2: Otokorkuluk sistemi elemanları için malzeme tanımları	31
Çizelge 2.3: Araç sonlu eleman modellerine ait boyutsal ve kütleli nicelikler	34
Çizelge 3.1: Tam ölçekli çarpışma testi ve sonlu elemanlar modelinin nicel karşılaştırması	42
Çizelge 3.2: Araç cinsine göre güvenlik ve performans değerlerinin karşılaştırılması	56
Çizelge 4.1: ASI hesabına etkileri araştırılan parametreler ile araçların karşılaştırılması	60

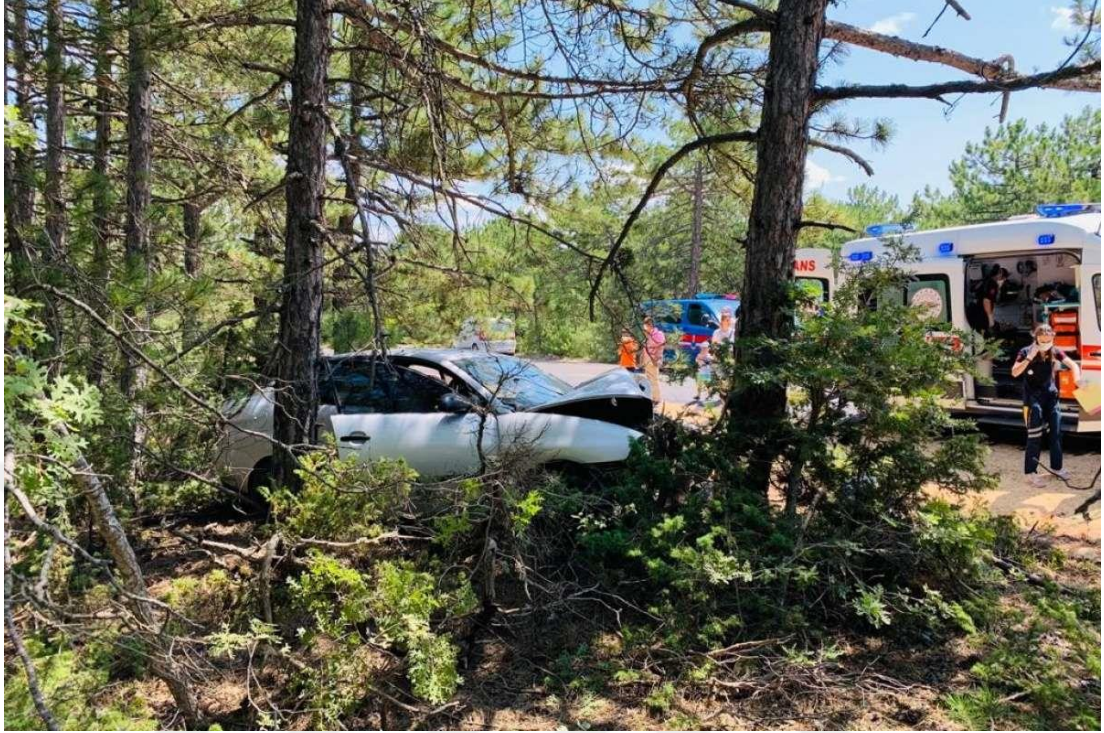
1. GİRİŞ

Karayolu ulaşımı; arazi koşullarına kolayca uyum sağlaması, ucuz altyapı maliyeti, kısa sürede inşa edilebilmesi, taşımacılıkta sabit yatırımı en az olan ulaşım türü olması bakımından en çok tercih edilen ulaşım seçeneklerinin başında gelmekte ve mevcut önemini korumaktadır. Son yıllarda ulaşım alanındaki teknolojik gelişmelerle beraber taşıt güvenliği, yol konforu, sürüş kolaylığı gibi faktörlerin iyileşme göstermesine karşın; karayolu ulaşımı, trafik kazalarının en fazla meydana geldiği ulaşım türü olma özelliğini korumaktadır. Karayolu kullanımı çok fazla olan az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde trafik kazaları başlı başına önemli bir sorun teşkil etmekte iken gelişmiş ülkelerde kaza sayısı azalmış olsa da hala ciddiyetini muhafaza etmektedir (WHO, 2002). Her yıl dünya genelinde yaklaşık 1,35 milyon insanın hayatını kaybettiği trafik kazalarının başlıca ölüm sebepleri arasında 8. sırada bulunması, bu durumu küresel bir sorun ve tehdit haline getirmekte ve karayolu güvenliğine daha fazla önem verilmesi gerektiğini hatırlatmaktadır (WHO, 2019).

Karayollarında taşıt yoğunluğunun fazla olması, karayolu yapısının elverişsiz olması, çevre koşullarının yetersiz olması, yolu kullananların hatalı davranması gibi nedenler; trafik kazalarının meydana gelmesini kaçınılmaz kılmaktadır (Temel ve Özcebe, 2006). Bu durum, kazaya sebebiyet veren beşerî faktörlerin yanı sıra; kaza meydana geldikten sonra yol üzerinde ve çevresinde taşıt güvenliğini sağlamaya yönelik karayolu mühendisliği alanında uzmanlık gerektiren çalışma ve araştırmalara ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur.

Karayolu ulaşımında karşılaşılan trafik kazalarının en önemli sebeplerinden biri de şüphesiz yol kenar güvenliğinin yetersiz olmasıdır. Yol kenar güvenliğinin yetersiz olduğu yol kesimlerinde Şekil 1.1'deki gibi ölümcül kazalar meydana gelebilmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nin 2020 yılına ait yayımladığı Trafik Kazaları Özeti Raporu'nda oluş türlerine göre ölümlü ve yaralanmalı kazaların %14,75'i yoldan çıkmaya bağlı kazalar iken kazaya karışan

araç sayısı bakımından trafik kazalarının %45,24'ü tek araçla gerçekleşen kazalardır (KGM, 2021).



Şekil 1.1: Bariyersiz yolda ormanlık alana giren araç (Eskişehir/2021)

Kaynak: <https://www.megahaber27.com/haber/yoldan-cikan-otomobil-agaca-carpti-aractaki-cift-yaralandi-115458.html>

Karayolları üzerinde ve çevresinde araçlar ile yolcuların güvenliğini sağlamaya yönelik tüm önlemler, yol kenar güvenliği kapsamında ele alınmaktadır. Yol kenar güvenliğini sağlamak amacıyla genellikle otokorkuluk sistemleri kullanılmaktadır. Yol kenar güvenliğinin otokorkuluk sistemleriyle sağlandığı karayollarında çelik otokorkuluklar, beton bariyerler, çelik halatlı sistemler, ahşap dikmeli otokorkuluklar gibi yöntemler tercih edilmektedir. Herhangi bir yol kesiminde tercih edilecek olan otokorkulukların bazı belirli kıstas ve parametreleri taşınması gerekmektedir. Otokorkuluk tasarımında gözetilmesi gereken bu kıstas ve parametreler, dünyanın çeşitli ülkelerinde standartlar haline getirilip geliştirilmiştir. Bu standartlardan biri de Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından oluşturulan, Avrupa ülkelerinde kullanılan EN 1317 standardıdır. Bunun ülkemizdeki karşılığı ise TS EN 1317'dir (Nakaş, 2016).

EN 1317 standardı çerçevesinde otokorkuluk sınıflandırması yapılırken yolda tutma seviyesi, çalışma genişliği ve çarpma şiddeti seviyesi olmak üzere üç ölçüt esas alınmaktadır. 6 bölümden oluşan EN 1317 standartlarının birinci kısmında, çarpma

şiddeti seviyesini belirlemek için çarpışmadan doğan tahribatın araç içindeki yolculara etkisini ölçen birtakım yaralanma kriterleri ve şiddet indeksleri düzenlenmiştir. Bu kriterlerden biri de çarpma şiddeti ölçüsü olarak sıkça kullanılan, araç ivmesini temel alan İvme Şiddeti İndeksi (ASI)'dir. Araç ağırlık merkezine yerleştirilen ivmeölçerler yardımıyla ölçülen ASI değeri, dinamik çarpışma etkisine maruz kalmış araçların davranışlarıyla belirlenebilir (TS EN 1317-1, 2011). EN 1317'ye göre tasarlanan bir otokorkuluğun tasarım kriterlerine uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla birtakım tam ölçekli çarpışma testlerine maruz kalması gerekmektedir. ASI değerini ölçmek ve çarpma şiddeti seviyesini belirlemek için otokorkuluklar, TB11 çarpışma testine tabi tutulmalıdır (TS EN 1317-2, 2011).

Dinamik çarpışma etkisi, tam ölçekli çarpışma testleriyle deneysel olarak gözlenebileceği gibi bilgisayar destekli sonlu elemanlar yazılımları kullanılarak sanal ortamda da simüle edilebilir. Son yıllarda araç çarpışma senaryoları için sıklıkla kullanılan LS-DYNA ve benzeri sonlu elemanlar programları, araca etkiyen çarpma şiddetini numerik olarak analiz etmenin yanında çarpışma testlerini simüle edip araç hareketlerinin an be an gözlemlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Gerçek çarpışma testlerine çok yakın sonuçlar verebilen bu programlar, otokorkuluk tasarım aşamalarında hata ve kusurların minimize edilmesine imkân vermektedir. Bu da olası maliyet ve zaman kayıplarını en aza indirip işçilik gereksinimlerini ortadan kaldırmaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

EN 1317 standardına göre herhangi bir otokorkuluğa ait güvenlik parametreleri değerlerini ölçmek ve çarpma şiddeti seviyesini belirlemek amacıyla TB11 çarpışma testinin yapılması gerekmektedir. TB11 testi, 100 km/sa hıza sahip 900 kg ağırlığındaki bir binek otomobilin 20° açıyla otokorkuluğa çarptırılması ile gerçekleştirilmektedir. EN 1317'de kullanılan araç için belirleyici hesap kriteri olarak yalnızca araç ağırlığı kabul edilmektedir. Bu kabule göre 900 kg ağırlığa sahip herhangi bir aracın tasarlanan bir otokorkuluğa TB11 testi ile çarptırılması durumunda sonuç olarak aynı ASI değerini vermesi gerekmektedir.

ASI değeri ve çarpma şiddeti seviyesi ile alakalı önceden yapılan çalışmalar, aynı tür otokorkulukların aynı ağırlıktaki farklı araçlarla gerçekleştirilen TB11 testleri sonucunda farklı ASI değerlerinin elde edilebildiğini göstermektedir (ROBUST,

2004). Bu da EN 1317’de TB11 testinde kullanılan araçlar için belirlenen kriterlerin gerçek ASI değerini hesaplama noktasında yetersiz olabileceğine işaret etmektedir.

Bu çalışmada EN 1317’de ASI hesap kriterleri belirlenirken TB11 testinde kullanılacak araç cinsine bağlı birtakım parametrelerin hesaba katılmadığı gerçeğinden hareketle; ASI değeri de araç ağırlık merkezine etkiyen üç boyutlu ivmenin bir ölçüsü olduğundan ağırlık merkezinin konumunu belirleyen araç uzunluğu, genişliği, yüksekliği, şasi ve gövde tipi gibi faktörlerin ASI üzerinde önemli etkilerinin olduğu öngörülmektedir.

Tam ölçekli çarpışma testlerinden elde edilen verilerin LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımında kalibrasyon ve doğrulamaları yapıldıktan sonra 900 kg ağırlığındaki farklı araçların aynı özellikteki H1W2-A çelik otokorkuluk sistemine çarptırılarak araç uzunluğu, genişliği, yüksekliği, şasi ve gövde tipi gibi etmenlerin ASI değeri üzerindeki etkilerinin tespiti tez kapsamında amaçlanmıştır.

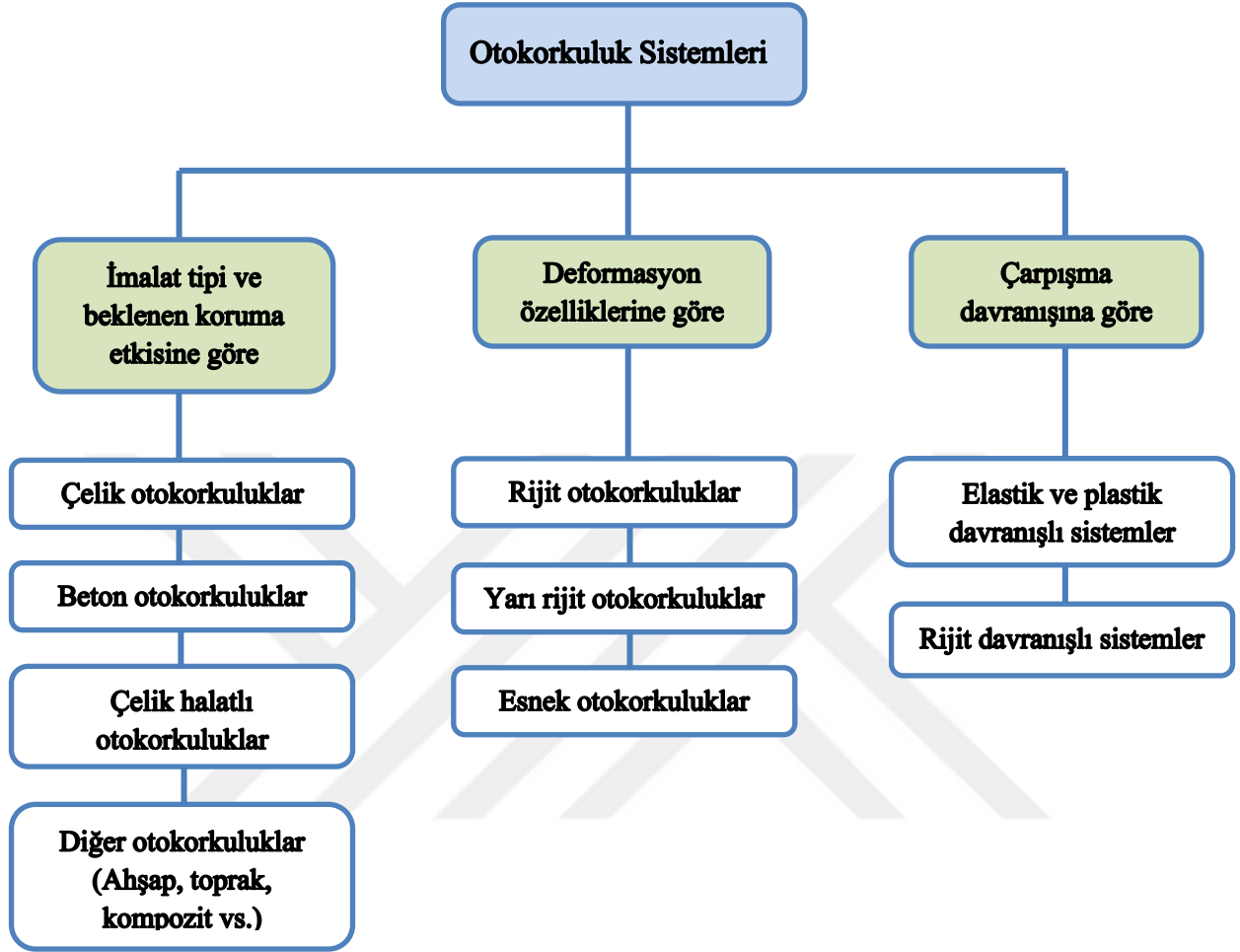
1.2. Yol Kenar Güvenliği Bariyerleri (Otokorkuluk Sistemleri)

Otokorkuluklar, yoldan sapmanın tehlike arz ettiği yol kesimlerinde araçları yolda tutmak, yol kenar güvenliğini sağlamak, çarpışma esnasında enerjilerinin bir kısmını absorbe ederek araçları yola döndürmek amacıyla tasarlanan pasif koruma tertibatlarıdır. Karayollarında araçların yolu terk etmesinden kaynaklanan olası kazaların tahribat şiddetini azaltarak araç içindeki yolcuların güvenliğini arttırmak ve trafiğin güvenli bir şekilde seyrine olanak sağlamak için inşa edilen otokorkuluklar; nadiren de olsa trafiği yönlendirmek, yolu trafiğe kapamak, trafik kaynaklı gürültü kirliliğini önlemek gibi amaçlarla da kullanılabilmektedir (TÇMB, 2011).

Dik eğimli şevler, ormanlık alanlar, istinat duvarları gibi yayılı tehlikelerin veya ağaç, direk, yığma yapı gibi noktasal tehlikelerin bulunduğu, temiz açıklığın sağlanamadığı durumlarda affedici yol kenarı prensibine göre otokorkulukların inşa edilmesi gerekmektedir (Atahan, 2001).

Otokorkuluk performansı belirlenirken araç, yolcular ve bariyerin çarpma esnasındaki etkileşimleri göz önüne alınmalıdır. Bariyerin yanal deformasyonu ve aracı yolda tutabilme kapasitesi, aracın çarpışma sonrası hareketi ve stabilitesi, yolcuların maruz kaldığı darbe şiddeti gibi faktörler; bariyer performansını belirleyen ölçütlerdir (Atahan, 2009).

Otokorkuluk sistemleri; genel olarak imalat tipine, deformasyon özelliklerine ve çarpışma sonrası davranışlarına göre sınıflandırılmaktadırlar (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Otokorkuluk sistemlerinin sınıflandırılması

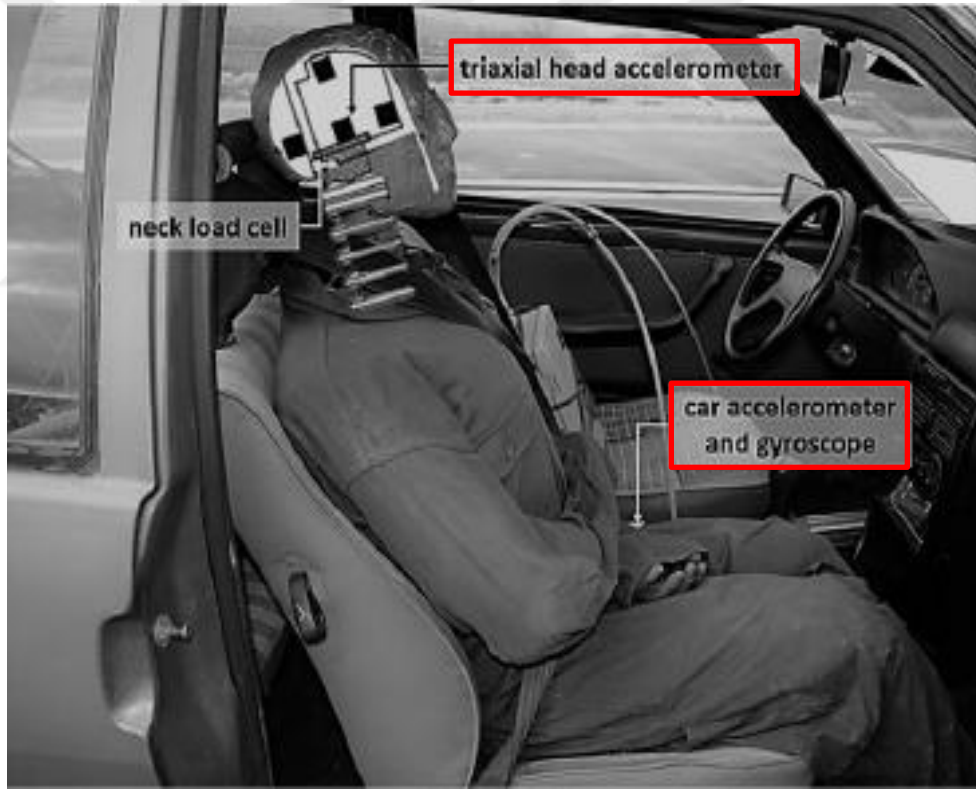
1.3. Çarpışma Test Standartları

EN 1317 standartları; Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından oluşturulan, yol kenar güvenliğini sağlamaya yönelik mevcut şartlarda alınabilecek bütün önlemleri, yol kenar güvenlik sistemlerinin tanım ve özelliklerini, bununla ilgili kavram ve prosedürleri, test ve kriterleri detaylı bir şekilde ele alan standartlar bütünüdür. Otokorkuluk sistemlerinin Avrupa ülkelerinde ve ülkemizde kullanılabilmesi için sahip olması gereken kriterleri içeren belge, CE (Conformite European) sertifikasıdır. Bu sertifikanın alınabilmesi için gereken tüm şartlar ve nitelikler EN 1317 standardında belirtilmiştir.

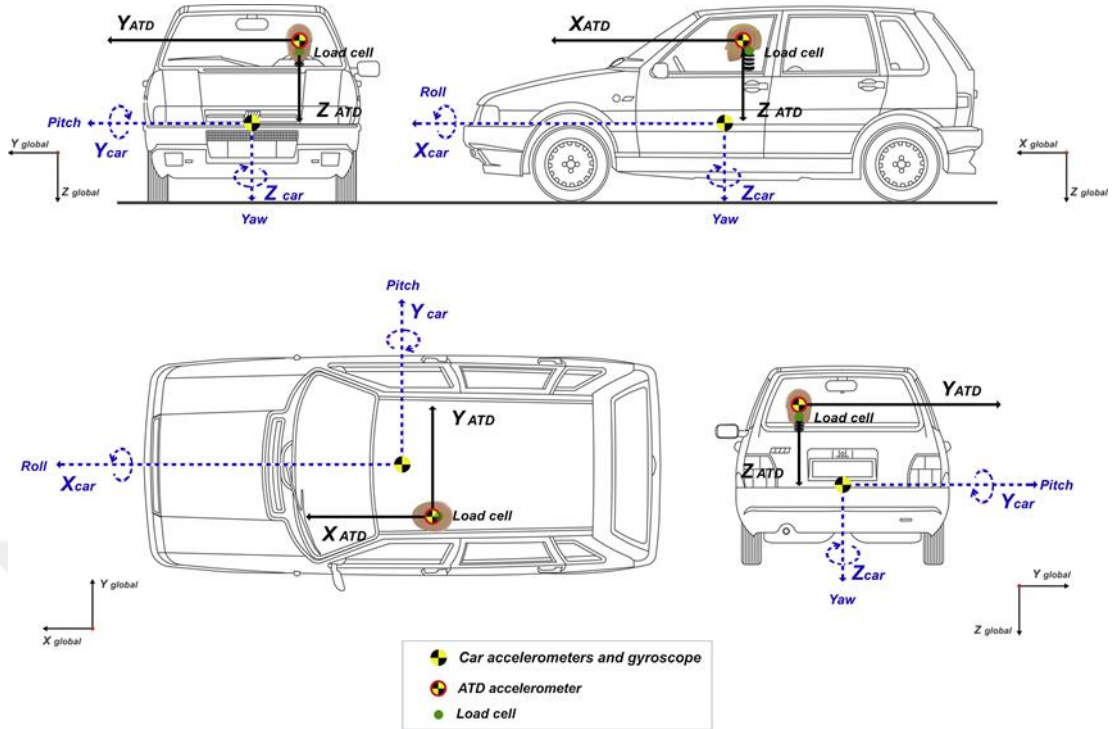
1.3.1. EN 1317 Yaralanma Kriterleri

Yaralanma kriterleri veya şiddet indeksleri EN 1317 standartlarının birinci kısmında düzenlenmiştir. Çarpışma testlerinde otokorkulukların çarpma şiddeti seviyelerini belirlemede en sık kullanılan kriterler İvme Şiddeti İndeksi (ASI) ve Teorik Baş Çarpma Hızı (THIV)'dır.

ASI, çarpışma esnasında araçtaki yolculara etki eden üç boyutlu ivmenin araç ağırlık merkezine yerleştirilen ivmeölçerler kullanılarak düşey, yatay ve dikey olarak ölçülmesiyle elde edilmektedir. THIV ise araç ağırlık merkezine yakın oturtulan bir insansı mankenin kafa kısmına yerleştirilen üç eksenli kafa ivmeölçeri kullanılarak araç içindeki düzgün bir yüzeye çarpan baş hızının hesaplanmasıyla elde edilmektedir (Şekil 1.3, Şekil 1.4).



Şekil 1.3: ASI ve THIV ölçüm ekipmanları (Chell vd., 2019).



Şekil 1.4: ASI ve THIV ölçüm cihazlarının konumları (Chell vd., 2019).

1.3.1.1. ASI

ASI, çarpışma esnasında oluşan ivmeden dolayı taşıt içindekiler üzerinde meydana gelen tahribatın bir ölçüsüdür. ASI hesabı, denklem 1.1'e göre yapılmaktadır.

$$ASI(t) = \left[\left(\frac{\bar{a}_x}{\hat{a}_x} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y}{\hat{a}_y} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z}{\hat{a}_z} \right)^2 \right]^{0,5} \quad (1.1)$$

Denklemde $\bar{a}_x, \bar{a}_y, \bar{a}_z$ şeklinde ifade edilen bileşenler, ivmeölçerler tarafından kesim frekansı 13 Hz olan dört kutuplu dijital Butterworth filtresi ile 50 milisaniyede bir kaydedilen ivme değerleridir. Bu bileşenler, denklem 1.2'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\bar{a}_x = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_x dt ; \quad \bar{a}_y = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_y dt ; \quad \bar{a}_z = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_z dt \quad (\delta = 50 \text{ ms}) \quad (1.2)$$

Denklemdeki diğer bileşenler olan $\hat{a}_x, \hat{a}_y, \hat{a}_z$ ise araçtakilerin emniyet kemeri takmış olması varsayımıyla üç yöndeki ivmeyi kısıtlayan sınır değerlerdir. Bu değerler yer çekimi ivmesi $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ cinsinden sırasıyla $\hat{a}_x = 12g, \hat{a}_y = 9g, \hat{a}_z = 10g$ olarak alınmaktadır.

Zamanın skaler bir fonksiyonu olarak ifade edilen ASI, boyutsuz bir nicelik olup yalnızca pozitif değerler almaktadır. Hesap aşamasında virgülden sonraki iki hane

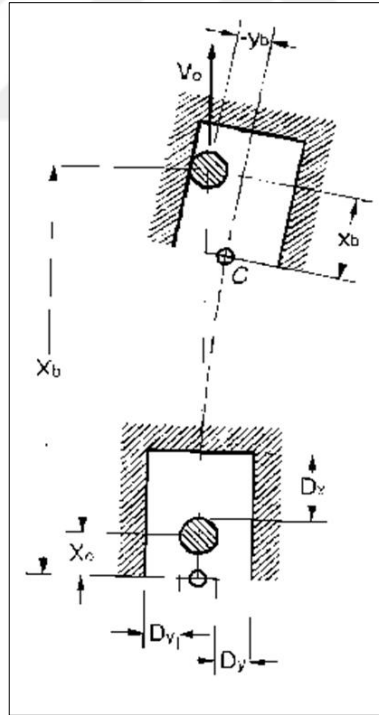
dikkate alınırken nihai ASI değeri, virgülden sonraki tek haneye yuvarlanır. Nihai ASI değeri, çarpışma sırasında belirli zaman aralıklarında kaydedilen maksimum değerler alınarak denklem 1.3'teki gibi hesaplanır.

$$ASI = \max[ASI(t)] \quad (1.3)$$

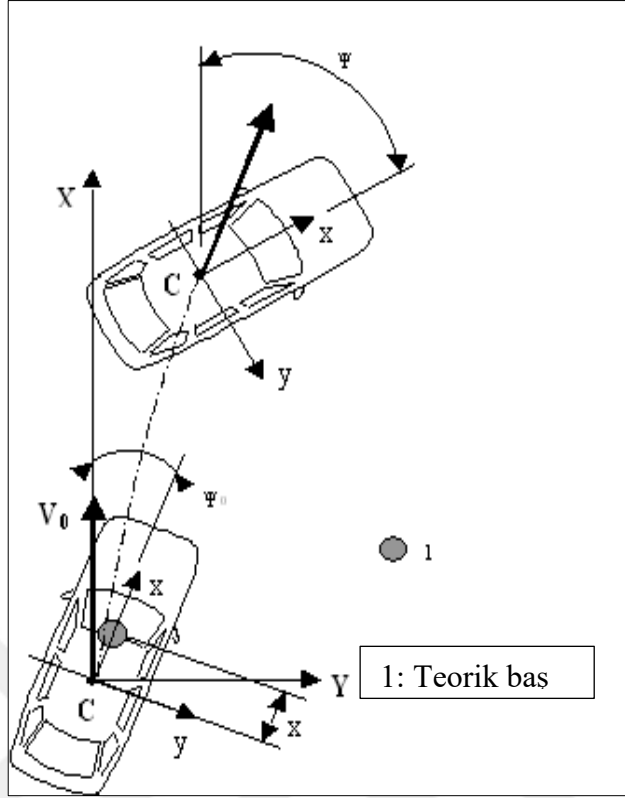
1.3.1.2 THIV

THIV, çarpışma anında oluşan momentumla araçtaki yolcunun maruz kalacağı yaralanmaların araç içindeki düz bir yüzeye çarpmasıyla bağlantılı olduğunu varsayan bir parametredir. THIV değeri, çarpışma esnasında aracın hızıyla araç içindeki teorik baş kütlelerinin hızının eşit olduğu varsayımıyla taşıtın devrilmediği durumlarda geçerli olmaktadır.

Teorik baş kütlelerinin x ve y eksenlerine uzaklıklarını ifade eden standart değerleri sırasıyla $D_x=0,6$ m ve $D_y=0,3$ m olacak şekilde kabul edilir (Şekil 1.5). Teorik kütlelerin x ve y doğrultularındaki dönmeleri ihmal edilerek yalnızca z ekseninde döndüğü varsayılmakta ve bu dönme ψ açısı ile ifade edilmektedir (Şekil 1.6).



Şekil 1.5: Teorik baş kütlelerinin sol kenara çarpma durumu (TS EN 1317-1, 2011).



Şekil 1.6: Araç ve zemin referanslı koordinatlar (TS EN 1317-1, 2011).

Teorik baş kütlelerinin çarpışma anından bir yüzeye çarpma kadar kaydettiği süre, THIV değerinin hızın zamana bağlı integrasyonu ile hesaplanabilmesini mümkün kılmaktadır. THIV'in zamana bağlı nihai formülü denklem 1.4'de gösterildiği gibidir.

$$THIV = [V_{head\ x}^2(T) + V_{head\ y}^2(T)]^{1/2} \quad (1.4)$$

Burada, $V_{head\ x}$, $V_{head\ y}$, merkezden geçen araç eksenine göre sırasıyla yatay ve düşey yöndeki teorik baş hızı değerlerini ifade etmektedir.

1.3.2. Bariyer Performansı Kriterleri

EN 1317 standartlarının ikinci kısmında bariyer performansını belirlemek için yolda tutma seviyesi, çalışma genişliği ve çarpma şiddeti seviyesi olmak üzere üç kriter düzenlenmiştir. Otokorkuluk isimlendirmesi yapılırken de bu sıra takip edilir. Otokorkuluk sistemleri için geçerli bir sınıflandırma yapabilmek amacıyla otokorkulukların ilgili standart çerçevesinde birtakım çarpışma testlerine maruz bırakılması gerekmektedir. Araç cinsi, ağırlığı, hızı ve çarpma açısına göre değişkenlik gösteren çarpışma testleri Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1: EN 1317 Çarpışma Testleri (TS EN 1317-2, 2011).

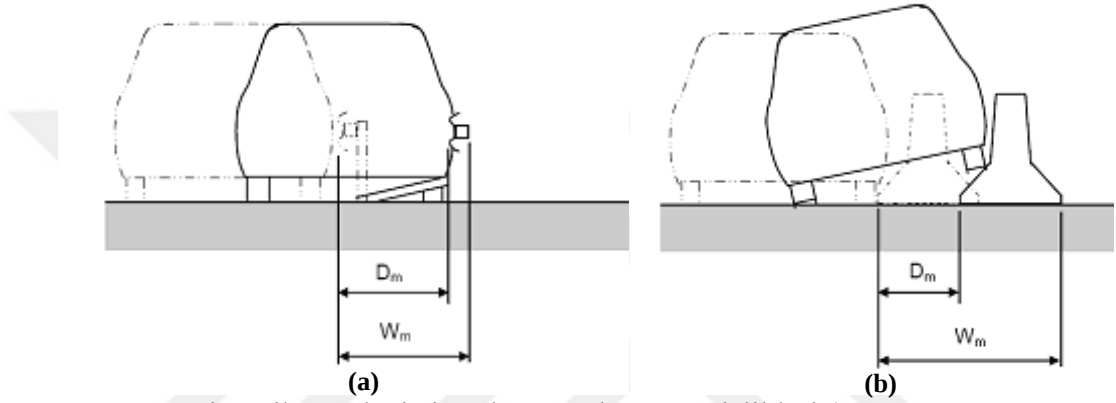
Test	Çarpma hızı (km/sa)	Çarpma açısı (°)	Araç kütlesi (kg)	Araç cinsi
TB11	100	20	900	Otomobil
TB21	80	8	1300	Otomobil
TB22	80	15	1300	Otomobil
TB31	80	20	1500	Otomobil
TB32	100	20	1500	Otomobil
TB41	70	8	10000	Rijit HGV
TB42	70	15	10000	Rijit HGV
TB51	70	20	13000	Otobüs
TB61	80	20	16000	Rijit HGV
TB71	65	20	30000	Rijit HGV
TB81	65	20	38000	Römorklu HGV

Yolda tutma seviyesi, otokorkulukların çarpışma durumunda yoldan çıkmayı önleyerek araçları yola döndürme kabiliyetidir. Bariyer kullanılmasının gerekli olduğu yol kesimlerinde trafik yoğunluğu, arazi durumu, temiz açıklık mesafesi gibi faktörler; otokorkuluğun yolda tutma seviyesinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Tehlike durumunun fazla olduğu kesimlerde yolda tutma seviyesi yüksek olan otokorkuluk tipleri tercih edilmelidir. EN 1317'deki yolda tutma seviyeleri ve her bir seviye için gerekli olan kabul testleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2: Yolda tutma seviyeleri (TS EN 1317-2, 2011).

Yolda tutma seviyeleri		Kabul Testleri
Düşük açıyla yolda tutma	T1	TB21
	T2	TB22
	T3	TB41 ve TB21
Normal seviyede yolda tutma	N1	TB31
	N2	TB32 ve TB11
Yüksek seviyede yolda tutma	H1	TB42 ve TB11
	H2	TB51 ve TB11
	H3	TB61 ve TB11
	L1	TB42, TB32 ve TB11
	L2	TB51, TB32 ve TB11
	L3	TB61, TB32 ve TB11
Çok yüksek seviyede yolda tutma	H4a	TB71 ve TB11
	H4b	TB81 ve TB11
	L4a	TB71, TB32 ve TB11
	L4b	TB81, TB32 ve TB11

Bariyer performansını değerlendirmedeki bir diğer kriter çalışma genişliğidir. Çalışma genişliği, çarpışmadan sonra bariyerde meydana gelen yanal deformasyon ve şekil değiştirmenin bir ölçüsüdür. Çarpışma sonrası aracın bariyerdeki penetrasyonuna taşıt girme mesafesi (V_{I_m}), bariyerin ötelenme miktarına dinamik yer değiştirme (D_m), bariyerin çarpışma öncesi ve sonrasında işgal ettiği toplam mesafeye çalışma genişliği (W_m) denmektedir. Şekil 1.7’de çelik ve beton bariyerlerde oluşan çalışma genişlikleri gösterilmektedir. EN 1317 standardındaki çalışma genişliği sınıfları Çizelge 1.3’te verilmiştir.



Şekil 1.7: Dinamik yer değiştirmeler ve çalışma genişlikleri (TS EN 1317-2, 2011).
(a) Çelik otokorkuluk (b) Beton bariyer

Çizelge 1.3: Çalışma genişliği sınıfları (TS EN 1317-2, 2011).

Çalışma genişliği sınıfları	Çalışma genişliği seviyeleri (m)
W1	$W_N \leq 0,6$
W2	$W_N \leq 0,8$
W3	$W_N \leq 1,0$
W4	$W_N \leq 1,3$
W5	$W_N \leq 1,7$
W6	$W_N \leq 2,1$
W7	$W_N \leq 2,5$
W8	$W_N \leq 3,5$

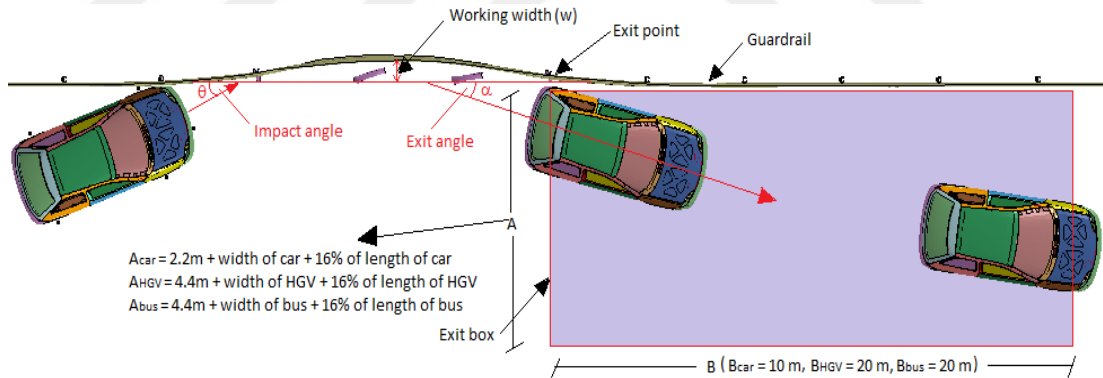
Çarpma şiddeti seviyesi, çarpışma durumunda araçtakilerin yaralanma ölçüsüne göre otokorkulukların izin verdiği darbe şiddeti düzeyini ifade eder. ASI ve THIV yaralanma kriterlerini esas alan çarpma şiddeti seviyesi; A, B ve C seviyeleri olarak sınıflandırılmaktadır. Çarpma şiddeti seviyesi, $ASI \leq 1.0$ olduğu durumlarda A sınıfı (güvenli), $ASI \leq 1.4$ olduğu durumlarda B sınıfı (tehlike ihtimali var), $ASI \leq 1.9$

olan durumlarda ise C sınıfı (tehlikeli) olarak belirlenmektedir. THIV değeri, hiçbir durum için 33 km/sa değerini geçmemelidir. EN 1317 standardında tanımlanan çarpma şiddeti seviyeleri Çizelge 1.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 1.4: Çarpma şiddeti seviyeleri (TS EN 1317-2, 2011).

Çarpma şiddeti seviyesi	İndeks değerleri	
A	$ASI \leq 1,0$	$THIV \leq 33 \text{ km/sa}$
B	$ASI \leq 1,4$	
C	$ASI \leq 1,9$	

Çıkış açısı (α), aracın çarpışma esnasında bariyerle etkileşimden sonra bariyeri terk etme açısı olarak tanımlanmaktadır. Çıkış kutusu ise EN 1317'de çarpışma sonrası trafikte oluşabilecek tehlikeleri önlemek için tanımlanan bir parametre olup aracın bariyere çarptıktan sonra trafiğe döndüğü güvenli alan olarak tanımlanmaktadır. Çıkış açısı ve EN 1317 standardında bulunan çıkış kutusu hesabı Şekil 1.8'de verilmiştir (Özcanan ve Atahan, 2019).



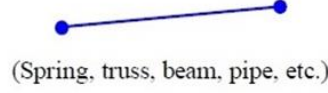
Şekil 1.8: Çıkış açısı ve çıkış kutusu hesabı (Özcanan ve Atahan, 2019).

1.4. Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)

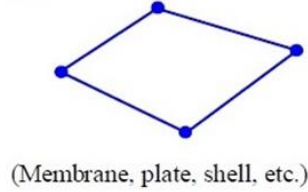
Sonlu elemanlar metodu (SEM); günümüzde mühendislik ve fizik alanlarında karşılaşılan problemlerin çözümünde, bilimsel projelerin hayata geçirilmeden evvel teknik açıdan analiz edilmesinde kullanılan yaygın sayısal metotlardan biridir. Bu yöntemde karmaşık yapılar, basitleştirilerek üzerinde hesap yapılabilecek parçalara ayrılır. Problemin türüne göre bu karmaşık yapıları oluşturan, benzer davranış

gösteren; bir, iki veya üç boyutlu tasarlanabilen (Şekil 1.9) parçalardan her birine sonlu eleman denir (Logan, 2007).

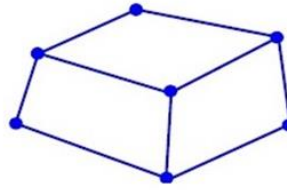
1-D (Line) Element



2-D (Plane) Element



3-D (Solid) Element



Şekil 1.9: Boyutlarına göre sonlu eleman türleri (Logan, 2007).

Tasarlanan bir yapı veya sistemin doğruluğunu kontrol etmek için prototip oluşturmak veya ona uygun deney ortamı hazırlamak çoğu zaman mümkün olmayabilir. Bu şartlar sağlansa bile elde edilen veri ve sonuçların hızlı bir şekilde teyit edilmesi için başka yöntemlere başvurmak gerekebilir. Bilgisayar teknolojilerinin hızla ilerlediği günümüz şartlarında bu karmaşık hesapların yapılmasını sağlayacak birçok yöntem gelişmiştir. Şüphesiz bu yöntemlerin en etkililerinden biri SEM'dir. SEM sayesinde bilgisayar ortamında yapılacak olan iyi bir modelleme, gerçeğe çok yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir (Çayıroğlu, 2021).

Gerçek hayatta bir otomobil tamponunun dayanıklılığını ölçmek için modelleri önceden tasarlamak, tasarlanan modelleri üretmek, üretilen numunelerin dayanıklılık testlerini gerçekleştirmek gibi bir dizi işlemi uzun uzadıya yapmak gerekmektedir. Tampon, istenilen hizmet seviyesine gelene kadar, her tasarım değişikliğinde bu testlerin tekrar tekrar yapılması ve sonuçlarının analiz edilmesi gerekir. Bu da ciddi miktarda işçilik gereksinimine, zaman ve maliyet kaybına sebebiyet vermektedir. SEM, bu kayıpları ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilen bilgisayar programlarıyla yüksek miktarda maliyet ve işçilik gerektirmeksizin kısa sürede sayısız testin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bütün bu avantajlar, SEM'in otomotiv, uçak, uzay,

savunma, inşaat, makine sanayii başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmasını kaçınılmaz kılmıştır (Çayiroğlu, 2021).

SEM'in matematiksel dönemi 1900'lü yılların başlarına dayanmaktadır. İngiliz fizikçi Lord Rayleigh (1842-1919), Rus matematikçi Boris Grigoryevich Galerkin (1871-1945) ve Alman fizikçi Walther Ritz (1878-1909) bilgisayarın olmadığı dönemlerde SEM'in temellerini atan çalışmalara imza atmışlardır (Topçu, 2015).

SEM'in modern gelişimi ise 1941 yılında Hrennikoff tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metodları ile başlar (Hrennikoff, 1941). Bu çalışmayı 1943 yılında McHenry desteklemiş ve geliştirmiştir (McHenry, 1943). SEM'i önemli ölçüde geliştiren ilk kişi olarak kabul edilen Richard Courant, 1943 yılında yayınlanan bir makalede burulma problemlerini araştırmak için üçgen şeklindeki alt bölümlerde parçalı polinom interpolasyonu kullanmıştır (Courant, 1943).

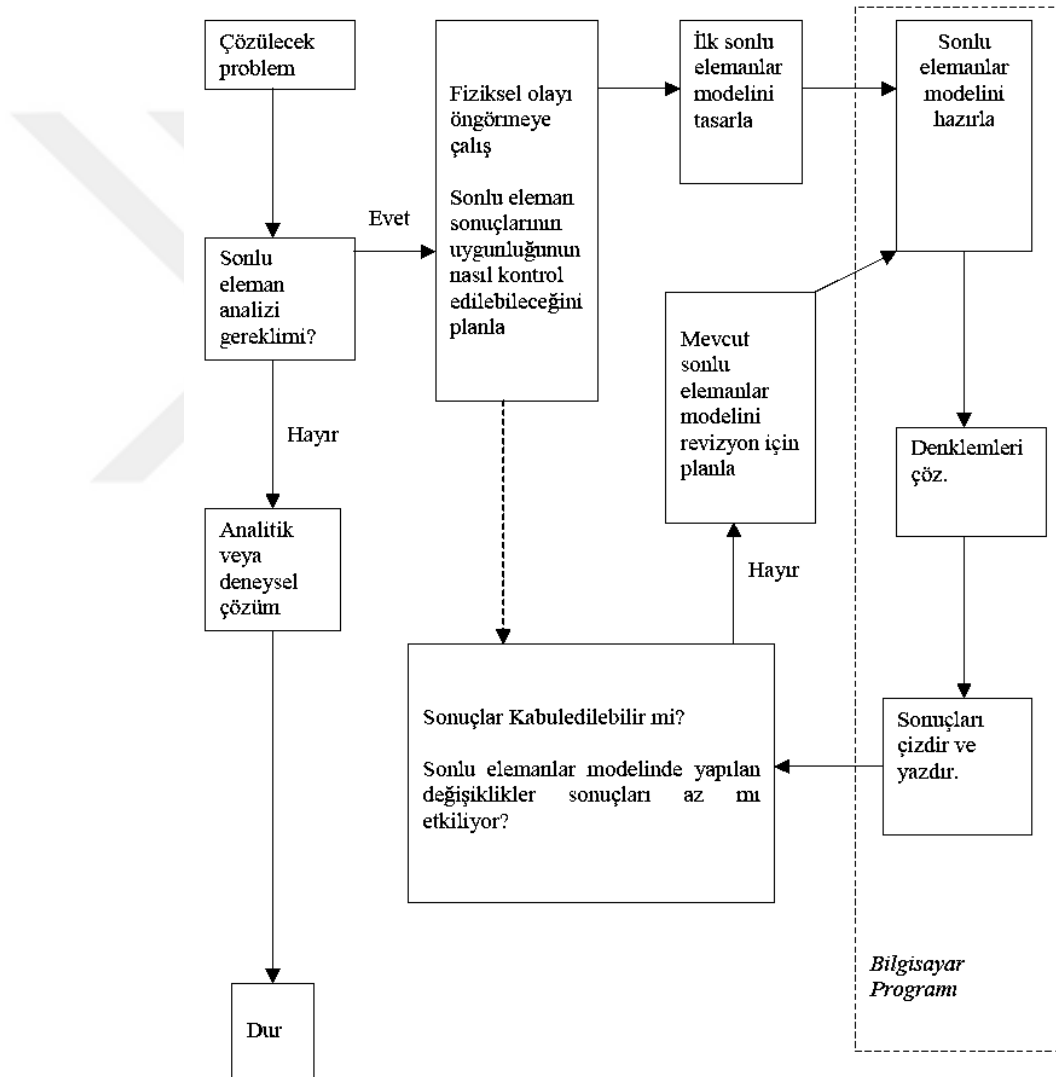
SEM, 1950'li yıllarda Boeing tarafından uçak kanatlarının modellenmesinde üçgen gerilme elemanlarının kullanılmasıyla uçak sanayide yer edinmiştir. Turner ve arkadaşları 1960'ta bir üçgen eleman için rijitlik matrisi oluşturmuştur (Turner vd., 1960). Bilgisayarların icadı ile SEM'in fiziksel ve mühendislik problemlerde kullanımı yaygınlaşmıştır. 1960 yılında Clough tarafından sonlu elemanlar yöntemi kavramı ilk kez telaffuz edilmiştir (Clough, 1960). Yine 1960'ta Argyis ve Kelsey, virtüel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir (Argis ve Kelsey, 1960).

1960'lı yıllardan sonra araştırmacılar SEM'i ısı transferi ve sızıntı akışları gibi mühendisliğin diğer alanlarında kullanmaya başladılar. Bütünüyle SEM'in ele alındığı ilk detaylı kitap 1967'de Zienkiewicz ve Cheung tarafından yazılmıştır (Zienkiewicz ve Cheung, 1967). 1970'li yıllardan sonra genel amaçlı paket programlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bunlardan biri olan ANSYS programı 1971'de üretilmiştir. 1980'li yıllardan sonra paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde SEM ile alakalı sayısız makale ve çalışma bulunmaktadır.

SEM'de gerçeğe yakın bir analiz yapabilmek için matematiksel olarak izlenmesi gereken birtakım aşamalar bulunmaktadır. İlk adım, mevcut problem için bir çözüm ortamı oluşturmaktır. Çözüm ortamı oluşturduktan sonra sistem ağlandırılarak üzerinde işlem yapılabilecek parçalara ayrılır. Buna ayrıklaştırma da denir. Bu işlemden sonra çözüm için uygun bir enterpolasyon veya yer değiştirme modeli seçilmelidir. Örneğin bir polinom denklemi seçilebilir. Elde edilen yer

değiştirme modelinden denge koşulları gözetilerek rijitlik matrisleri ve yük vektörleri oluşturulur. Her bir sonlu eleman için belirlenen eleman denklemleri birleştirilerek global rijitlik matrisleri oluşturulur ve nihai denge denklemleri elde edilir. Sınır şartları göz önüne alınarak bilinmeyen düğüm noktalarında yer değiştirme denklemleri çözülür, gerilme ve şekil değiştirmeler bulunur (Kurtay, 1980).

Sonlu elemanlar analizini en gerçekçi yaklaşımla elde edebilmek için deneysel ve analitik olarak karşılaştırmalı bir çözüm yolu ortaya konmalıdır. Bu analiz için izlenmesi gereken prosedür Şekil 1.10'daki diyagram ile verilmiştir.



Şekil 1.10: Sonlu elemanlar analiz prosedürü (Ergin, Bayraktarkatal ve Ünsan, 2000).

Günümüzde çeşitli mühendislik alanlarında kullanılan birçok SEM yazılımı mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan bazı SEM yazılımları şu şekilde sıralanabilir: LS-

DYNA, ANSYS, ABAQUS, SAP2000, ADINA, COMSOL Multiphysics, FEFLOW, JMAG, LUSAS, NASTRAN vb.

1.5. Literatür Özeti

Yol kenar güvenliği için numerik ve deneysel çarpışma analizlerinin karşılaştırılmasının amaçlandığı çalışmada, W-ray tipi çelik otokorkuluklara EN 1317 standardı kapsamında TB11 tam kapasiteli gerçek çarpışma testi ve LS-DYNA sonlu elemanlar programıyla TB11 simülasyonu uygulanmıştır. TB11 simülasyonu sonucunda ASI değeri 0.66, çalışma genişliği 1.2 m (W4), otokorkuluk-araç etkileşim uzunluğu 10.8 m iken; gerçek çarpışma testi sonucunda ASI değeri 0.63, çalışma genişliği 0.95 m (W3), etkileşim uzunluğu 12.0 m olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak numerik ve deneysel çarpışma testlerinin sonuçlarının oldukça yakın olduğu, maliyetli ve zahmetli sayısız gerçek çarpışma testi yapmak yerine lineer olmayan dinamik analizlerin yapılabileceği kanaatine varılmıştır (Ren ve Vesenjak, 2005).

Yol kenar güvenliği için bilgisayar tabanlı simülasyon programlarının güvenilirliğinin araştırıldığı çalışmada, H1 yolda tutma seviyesine sahip bir çelik otokorkuluğa EN 1317 standardında yapılması zorunlu olan TB11 ve TB42 çarpışma testleri LS-DYNA sonlu elemanlar programında uygulanmış ve elde edilen sonuçlar gerçek çarpışma testleriyle karşılaştırılmıştır. Buna göre; otokorkuluğun TB11 testi sonucunda gerçek çarpışma testindeki ASI değeri 0.85 iken simülasyonda 0.96 olarak belirlenmiş olup %7,72 değerinde bir hata payı elde edilmiştir. TB42 gerçek çarpışma testi sonucu çalışma genişliği 1.82 m iken simülasyonda 1.71 m çalışma genişliği belirlenmiş olup hata payı %6 olarak elde edilmiştir. Her iki testte de kabul edilebilir %10'luk hata payı sınırları içinde kaldığı için simülasyon programının kullanışlı olduğu kanısına varılmıştır (Borovinšek vd., 2007).

Yaralanma riskinin kaza şiddeti ile ilişkisinin araştırıldığı çalışmada, testte kullanılan araca Hybrid III ve EuroSID insansı manken yerleştirilerek LS-DYNA sonlu elemanlar programıyla rijit beton bariyerin kullanıldığı çarpışma testi simülasyonları gerçekleştirilmiştir. 3 gerçek çarpışma testi ve 50 adet simülasyon ile elde edilen ASI ve THIV şiddet indeksi değerleri; kafa, boyun ve göğüs gibi uzuv yaralanmalarını esas alan EuroNCAP protokolü, kısaltılmış yaralanma puanı (AIS), kafa travması kriteri (HIC) gibi yaralanma indeksleri ile korelasyon haline getirilmiştir. Buna göre; boyun bölgesinin kaza sonrasında vücutta yaralanma olasılığı

en yüksek olan kısım olduğu, kafa ve göğüs için ise kabul edilebilecek limit değerlerin ASI için 2.0 ve altı, THIV için ise 35 km/sa olduğu gözlenmiştir. Boyun için ASI değeri 2.0 ve yukarısı, THIV değeri 38 km/sa ve üstünün kabul edilemez değerler olduğu belirlenmiştir. Otokorkuluk seçiminde şiddet indeksi olarak yalnızca ASI değerini baz almanın yaralanmalar açısından riskli olabileceği belirtilmiştir (Sturt ve Fell, 2009).

Farklı çarpma hızlarının ASI değerine olan etkisinin incelendiği çalışmada numerik metot olarak LS-DYNA sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Dönel biçimdeki W-ray tipi çelik otokorkuluk sistemine 40 km/sa, 60 km/sa ve 80 km/sa olmak üzere 3 ayrı hızda çarpışma testi uygulanmıştır. Testler sonucunda maksimum ASI değerlerinin 40 km/sa için 0 – 0.20 aralığında, 60 km/sa için 0.20 – 0.40 aralığında, 80 km/sa için ise 0.40 – 0.60 aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalışmaya göre çarpma hızı arttıkça ASI değerinin de arttığı gözlemlenmiş olup iki faktör arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu saptanmıştır (Nasution vd., 2009).

LS-DYNA sonlu elemanlar programının kullanıldığı çalışmada iki farklı bariyer tipi için ayrı ayrı TB11 ve TB32 test simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Daha güvenli bariyer tipi belirlemenin amaçlandığı çalışmada rijit beton bariyer için ASI değeri; TB11 testinde 1.8 ve TB32 testinde 4.0, taşınabilir beton bariyer için ise TB11 testinde 1.3 ve TB32 testinde 1.9 olarak elde edilmiştir. Buna göre; ASI değerleri göz önüne alındığında taşınabilir beton bariyerin rijit beton bariyere göre daha güvenli olduğu belirlenmiştir (Borkowski vd., 2010).

Konuya ilişkin bir diğer çalışmada ise EN 1317 standardı kapsamında bazı kriterlere göre TB11 tam ölçekli çarpışma testi ve LS-DYNA sonlu elemanlar simülasyonlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Otokorkuluk tipi olarak taşınabilir beton bariyerlerin kullanıldığı çalışmada çarpma hızı, çarpma açısı, dinamik defleksiyon, çalışma genişliği, maksimum boyuna ivme ve ASI değeri gibi faktörler karşılaştırılmıştır. Çalışmaya göre gerçek çarpışma testinde ASI değeri 1,58 iken sonlu elemanlar simülasyonunda bu değer 1,30 olarak ölçülmüş, hata payı %17,7 olarak belirlenmiştir. Çalışmada karşılaştırılan diğer kriterlerin yakınlığından dolayı otokorkuluk tasarımında kullanılan simülasyon metodunun kullanışlı olduğu kanısına varılmıştır (Borkowski vd., 2010).

Bilgisayar destekli yazılımların çarpışma testlerinin modelleme ve simülasyonunda kullanımı ile alakalı olan çalışmada, ilk olarak Stalprodukt firmasına

ait SP-01 çelik otokorkuluk parçasına 900 kg araçla 52 km/sa hız ve 90 derecelik açıyla gerçek çarpışma testi ve LS-DYNA sonlu elemanlar simülasyonu, ardından aynı firmaya ait SP-06 çelik otokorkuluğa kaldırımli ve kaldırımsız olmak üzere TB11 gerçek çarpışma testi ve simülasyonları uygulanmıştır. 90 derecelik açıyla yapılan test sonuçlarına göre gerçek çarpışma testi ve simülasyon değerleri oldukça yakın olup meydana gelen küçük farklılıkların yapısal kusurlar ve modellemedeki sadeleştirmelerden kaynaklandığı belirtilmiştir. TB11 test sonuçlarına göre kaldırımli gerçek çarpışma testi ve simülasyon için ASI değerleri 1.2 olup kaldırımsız testlerde bu değerler 1.3 olarak ölçülmüştür. Buna göre; numerik ve deneysel testlerin büyük ölçüde birbirini doğruladığı, bilgisayar destekli yazılımların çarpışma testlerinde kullanımının elverişli olacağı tavsiye edilmiştir (Dziewulski vd., 2012).

Bir başka çalışmada ise L1 yolda tutma seviyesine sahip bir çelik otokorkuluğa ait gerçek çarpışma testleri ile birtakım kriterler esas alınarak karşılaştırma ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. A ve B ray türünden teşkil edilen ALKA GROUP'a ait AG04-2.0 tipi otokorkulukların kullanıldığı çalışmada TB11, TB32 ve TB42 çarpışma testleri yapılmıştır. TB11 testi sonucunda A tipi ray için ASI değeri 0.94, B tipi ray için ise 0.7 olarak ölçülmüş olup B tipi rayla teşkil edilen otokorkuluğun A'ya göre, ASI değeri açısından daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır (Atahan, Yücel ve Erdem, 2014).

W ray tipi çelik otokorkuluklarda yükseklik ve dikme aralığı kriterlerinin ASI değeri üzerindeki etkisi üzerine bir çalışma yapılmıştır. LS-DYNA sonlu elemanlar programının kullanıldığı çalışmada 6 farklı yükseklik (600, 650, 700, 750, 800 ve 820 mm) ve 3 farklı dikme aralığı (1.33, 2, ve 4 m) için ayrı ayrı TB11 testi uygulanmıştır. Buna göre; 2 m dikme aralığı için 0.93, 700 mm yükseklik için ise ASI değeri 0.86 olarak belirlenmiş olup bu değerler her iki kriter için minimum ASI değeri olarak gözlenmiştir. 2 m dikme aralığı ve 700 mm yüksekliğe sahip otokorkuluk tiplerinin diğer otokorkuluklara göre daha güvenilir olduğu saptanmıştır (Teng, Liang ve Tran, 2015).

Farklı dikme tipleri (I, C, U ve Σ profil) ile teşkil edilen W-ray tipi çelik otokorkulukların ASI, THIV ve çalışma genişliği gibi faktörleri esas alarak güvenilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, LS-DYNA sonlu elemanlar programı ile EN 1317 standardı kapsamında TB11 testi simülasyonları yapılan farklı dikme türlerine sahip otokorkulukların test sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre; minimum ASI

değeri Sigma profilli otokorkuluk için 0.93, maksimum ASI değeri ise I profilli otokorkuluk için 1.08 olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak en güvenilir ve en iyi performans gösteren dikme tipinin Sigma profil olduğu, en kötü performans gösteren ve en az enerji absorbe eden dikme tipinin ise I profil olduğu ifade edilmiştir (Teng vd., 2016).

Bir diğer çalışmada yol kenarı güvenlik sistemlerine çeşitli parametrelere göre araçların çarpması halinde bu parametrelerin ASI değerine olan etkileri araştırılmıştır. LS-DYNA sonlu elemanlar programı kullanılarak yol kenarında bulunan bir aydınlatma direğine 3 farklı araç ile (1100 kg Toyota Yaris, 878 kg Suzuki Geo Metro, 880 kg Suzuki Geo Metro) EN 12767 standardına göre düşük hız sınıfı (35 km/sa) ve daha yüksek hız sınıflarında (50 km/sa, 70 km/sa, 100 km/sa), 3 farklı enerji yutabilme kategorisi (HE, LE, NE) ve 3 farklı yolcu güvenliği seviyesi (1, 2, 3) esas alınarak ayrı ayrı frontal çarpışma testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda farklı ağırlık merkezi konumlarına sahip Suzuki Geo Metro marka araçların çarpışma anındaki hız eğrilerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Buna göre; araç ağırlık merkezinin çarpışma anında enerji yutabilme seviyesi, hız ve ivme gibi parametreler üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir (Mariusz, 2016).

Benzer bir diğer çalışmada ise her iki yönden yatay olarak alçaltılmış sonlandırıcıya sahip W-ray tipi kısa otokorkuluk sisteminin (20+ 2x8 m) zayıf noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. LS-DYNA sonlu elemanlar programından yararlanılarak 31 farklı çarpma noktası (-5, -4, -3, ... 23, 24, 25) için ayrı ayrı TB11 testi uygulanan çalışmada kritik 5 çarpma noktası (-4, 2, 10, 18, 24) seçilerek araç hareketi ve ASI, THIV, PHD gibi şiddet indeksi değerleri incelenmiştir. Buna göre; başlangıç kısmında alçaltılmış sonlandırıcının bulunduğu a= -4 m'de uygulanan TB11 testinde, aracın bariyerin öbür tarafına geçtiği ve maksimum ASI değeri olan 1.44 değerine erişilerek C çarpma şiddeti seviyesine ulaşıldığı gözlenmiştir. Bu nokta, otokorkuluğun en güvensiz olduğu nokta olarak tespit edilmiştir (Wilde vd., 2017).

LS-DYNA sonlu elemanlar programı kullanılarak TB11 testi ile üç çeşit otokorkuluk tipi için ASI değerlerinin incelendiği çalışmada en güvenli otokorkuluk tipi araştırılmıştır. W-ray çelik otokorkuluk, geçici dikey beton bariyer (TVCB) ve New Jersey (NJ) beton bariyer tipleri için araştırma yapılan çalışmada TB11 testi simülasyonu ile gerçek çarpışma testleri karşılaştırılmıştır. Çalışmaya göre ASI değeri; W-ray tipi çelik otokorkuluk (yarı rijit) için 0.70, NJ tipi beton bariyer için 1.68, TVCB

tipi beton bariyer için 1.85 olarak belirlenmiş ve en güvenli bariyer tipi yarı rijit otokorkuluk olarak gözlenmiştir (Neves vd., 2018).

Konuya ilişkin başka bir çalışmada EN 1317 standardına göre H2W5-B tipi beton bariyer üzerinde bazı kriterler (çarpma açısı, çarpma hızı, kinetik enerji, ASI ve THIV değerleri, çalışma genişliği, tahrip olan bariyer parça sayısı) esas alınarak 5 farklı ağırlıkta araç (0.9 t, 1.5 t, 10 t, 13 t, 38 t) ile birtakım çarpışma testleri LS-DYNA sonlu elemanlar programıyla simüle edilmiştir. H2/W5/B tipi beton bariyerin sağladığı performansın araştırıldığı çalışmada belirtilen kriterlere göre yapılan testlerin başarılı olduğu ve bariyerin kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir (Pachocki ve Wilde, 2018).

Köprü üstü ağır otokorkuluk sistemlerinin İstanbul'daki köprü ve viyadükler için geliştirilmesinin amaçlandığı çalışmada, Türk araştırmacılar tarafından ilk defa geliştirilen Yımtaş Şirketler Grubu'na ait YIM04 otokorkuluk sisteminin performansı incelenmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen sistemin EN 1317 kapsamında TB11 ve TB81 tam kapasiteli gerçek çarpışma testi ve sonlu elemanlar simülasyonları (LS-DYNA) yapılmış, numerik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. TB11 testlerinde elde edilen ASI değeri her iki test için de 1.2 olarak ölçülmüş olup bu değer köprü rayları için kabul edilebilir olduğu gözlenmiştir. Gerçek TB81 testinde çıkış açısı 4 derece, çıkış hızı 41 km/sa ve yanal deformasyon 1130 mm olarak, simülasyonda ise çıkış açısı 5 derece, çıkış hızı 44 km/sa ve yanal deformasyon 1100 mm olarak ölçülmüş olup oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Sonuç olarak söz konusu geliştirilen sistemin İstanbul'da trafik güvenliğini arttırmak, karayolu kullanıcıları için yeterli emniyet ve güvenliği sağlamak adına uygun bir çözüm olacağı kanaatine varılmıştır (Atahan, 2018).

Bir diğer çalışmada ise araştırmacıların kendi geliştirdikleri düşük yoğunluklu polietilen içerikli çelik kablo ve plakalarla güçlendirilmiş Ulukur çarpışma yastığının çarpışmaya olan dayanıklılığı ve genel performansının EN 1317 standardı kapsamında incelenmesi amaçlanmıştır. 900 kg'lık Ford Taurus marka aracın çarpışma yastığına 50 km/sa hız ve 0 derecelik açı ile ardından aynı aracın dummy ve ölçüm aletleri eklenerek 1300 kg ağırlığıyla 50 km/sa hız ve 15 derecelik açı ile çarptırılmak kaydıyla iki adet çarpışma testi tasarlanmıştır. Tam kapasiteli gerçek çarpışma testleri ve LS-DYNA sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon testleri başarıyla uygulanmış olup test sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere göre;

tasarımın hız değeri 50 km/sa ve altındaki çarpışmalar için uygun ve kullanılabilir olduğu, bu hız değeri için çarpışmaya olan dayanıklılığın kabul edilebilir, hasar seviyesinin makul ve yolcu risk faktörünün yaralanma eşiğinin altında olduğu sonuçlarına varılmıştır. Bu değerlendirmenin daha yüksek hız değerleri için yapılacak olan yeni çarpışma yastığı tasarımlarına ışık tutabileceği öngörülmüştür (Atahan, Büyük ve Kurucuoğlu, 2018).

Benzer bir çalışmada birtakım yapısal özelliklerin ve çarpışma parametrelerinin çelik halatlı bir bariyer sistemine olan etkileri araştırılmıştır. Bariyer sistemine LS-DYNA sonlu elemanlar programıyla; dikme yüksekliği, çelik halatların germe kuvveti, çarpma açısı ve çarpma hızı gibi farklı kriterlere göre ayrı ayrı TB11 çarpışma testi simülasyonları uygulanmıştır. Çalışmaya göre TB11 referans testinde ASI değeri 0.68 iken farklı yapısal kriterler göz önüne alınarak yapılan testlerde bu değerlerin kayda değer bir değişim göstermediği gözlenmiştir. Buna karşılık ASI değeri, çarpma açısı 30° iken 1.06 ve çarpma hızı 140 km/sa iken 1.04 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak seçilen çarpışma parametrelerinin çelik halatlı bariyer performansına yapısal özelliklerden daha fazla etki ettiği belirlenmiştir (Bruski ve Witkowski, 2018)

Yol kenarında gerçekleşen çarpışmalar için simülasyonlar yardımıyla bir değerlendirme yapılmasının amaçlandığı çalışmada LS-DYNA ve VPG3.2 yazılımları kullanılmıştır. 5 yol kenarı engeli (trafik ışığı direği, ağaç, kübik kaya, dikdörtgen hendek ve beton bariyer sonlandırması), 2 tip bariyer (W-ray tipi çelik otokorkuluk ve beton bariyer), ve 5 farklı yüksekliğe (2, 4, 6, 8 ve 10 m) sahip 3 dolgu şevine (1:0, 1:1 ve 1:2) 3 farklı araçla (1500 kg otomobil, 18000 kg otobüs ve 18000 kg kamyon) toplamda 59 adet çarpışma senaryosu sonlu elemanlar simülasyonu olarak uygulanmıştır. Bütün simülasyonlar, otomobil için 20 derecelik açı ve 52 km/sa hız, kamyon için 20 derecelik açı ve 45 km/sa hız, otobüs için ise 20 derecelik açı ve 40 km/sa hız değerleri esas alınarak yapılmıştır. Ölçülen ASI değerleri korelasyona tabi tutularak ASI değeri 1.0'dan küçük değerler için I, 1.0 ve 5.0 arasındaki değerler için II, 5.0 ve 8.0 arasındaki değerler için III ve 8.0'dan büyük değerler için IV olmak üzere 4 adet çarpışma şiddeti seviyesi elde edilmiştir. Olası araç-obje çarpışmalarında, çalışmada elde edilen çarpışma şiddeti seviyeleriyle sınıflandırmanın güvenlik açısından elverişli olacağı düşünülmüştür (Long vd., 2018).

Araçların yol kenarında bulunan engellere çarpması halinde yolcu güvenliğini lineer olmayan dinamik analizlerle araştırıldığı çalışmada numerik yöntem olarak LS-DYNA sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. ASI, THIV gibi direkt olmayan metotlar ile AIS, HIC ve kafa hareketi hızı (V_r) gibi direkt metotlar esas alınarak yol kenarında bulunan bir aydınlatma direğine 3 farklı hızda (30 km/sa, 50 km/sa ve 80 km/sa) gerekli ekipman (Hybrid III dummy, emniyet kemeri, 60 dm³ hava yastığı, koltuk ve direksiyon) ile donatılan modifiye edilmiş 900 kg'lık bir Geo Metro araç çarptırılarak frontal çarpışma testi simülasyonları uygulanmıştır. Ek olarak aynı araçla bir beton bariyere TB11 testi simülasyonu uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre; direkt metotlara göre %15 kafa yaralanma kriteri (HIC15) ve ASI değerleri yüksek çıkmasına rağmen ölçek dışı değer olan D çarpma şiddeti seviyesi belirlenirken, direkt olmayan metotlara göre HIC15 ve ASI değeri daha düşük olduğu halde çarpma şiddeti seviyesi C olarak gözlenmiştir. Bunun yanında THIV değeri bütün testlerde V_r değerinden yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak direkt olmayan metotlar olan ASI ve THIV değerlerinin yaralanma riskini tahmin etmede daha güvenilir yöntemler olduğu kanaatine varılmıştır (Burzyński vd., 2019).

NJ tipi beton bariyerin optimizasyonunu gerçekleştirmek ve bu bariyer tipi için optimal bir dizayn oluşturmak amacıyla yapılan çalışmada LS-DYNA sonlu elemanlar programını kullanılarak H4b yolda tutma seviyesine sahip bariyerlere EN 1317 standardı kapsamında TB11 ve TB81 testleri uygulanmıştır. İlk etapta referans bariyeri olan Kiper NJ tipi bariyerin gerçek çarpışma testi ve simülasyon test sonuçları karşılaştırılmış olup ASI değeri, TB11 gerçek çarpışma testi için 1.42 iken sonlu elemanlar simülasyonunda 1.39 olarak ölçülmüştür. Buna göre; %2.1'lik bir hata payı elde edilmiş olup simülasyonun güvenilir olduğu saptanmıştır. Çalışmanın devamında NJ tipi beton bariyer için optimal bir dizayn yapılarak sabit ve yer değiştirmeye izin verecek şekilde iki bariyer türü için simülasyon testleri yapılmıştır. Buna göre; ASI değerleri sabit ve yer değiştirmeye izin veren bariyerler için sırasıyla 1.22 ve 1.11 olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak optimal dizayn sonrası ASI değerinin orijinal dizayna göre %14.1 oranında azaldığı, yer değiştirmeye izin veren bariyerde ise sabit bariyere göre %9.4 oranında ek bir azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir. Yapılan dizaynın NJ bariyer tasarımı için daha kullanışlı ve daha güvenilir bir seçenek olacağı kanaatine varılmıştır (Özcanan ve Atahan, 2020).

Özetle; EN 1317-TB11 çarpışma testi ve güvenlik parametrelerini LS-DYNA yazılımını kullanarak konu edinen mevcut literatürde sonlu elemanlar analizleriyle çeşitli kriterlerin araştırıldığı ve birtakım sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Konuyla ilgili benzer çalışmalar taranarak yapılan detaylı literatür araştırması sonucunda TB11 testinde ASI ve THIV parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan araç kriterlerinin yetersizliğinin araştırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışma, EN1317-TB11 testi üzerinden belirlenen güvenlik parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan araç kriterlerinin yetersizliğinin araştırılması ve bu yetersizliklerin tespiti noktasında benzersiz ve ilk olma niteliği taşımaktadır. Çalışma, bu açıdan önceki çalışmalardan ayrılıp özgünlük kazanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu kısımda çalışma kapsamında kullanılan bilgisayar destekli programlar, TB11 sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan otokorkuluk ve araçlara ait birtakım bilgiler ve tanımlamalara yer verilmiştir. Kullanılan yazılımların kullanım ve işleyiş şeması, otokorkuluğun geometrik ve teknik detayları gösterilmiş olup otokorkuluğa ait sonlu eleman modelinin tasarımı yapılarak malzeme özellikleri ve veri girişleri tanımlanmıştır. Araçlara ait sonlu eleman modelleri, otokorkulukların bulunduğu dosyalara dahil edilip sonlu eleman TB11 test senaryoları çarpışmaya hazır hale getirilmiştir.

2.1. Kullanılan Bilgisayar Destekli Programlar

TB11 çarpışma testlerinin sanal ortamda tasarım, modelleme ve simülasyonlarını gerçekleştirmek için bu amaçlarla kullanılan birtakım ticari yazılımlardan faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan otokorkuluğun üç boyutlu tasarım ve çizimleri AutoCAD programında yapılmıştır. Modelleme ve simülasyon için ise LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı paketindeki Ls-Manager ve yardımcı ön ve son işlemci program olan Ls-Prepost kullanılmıştır.

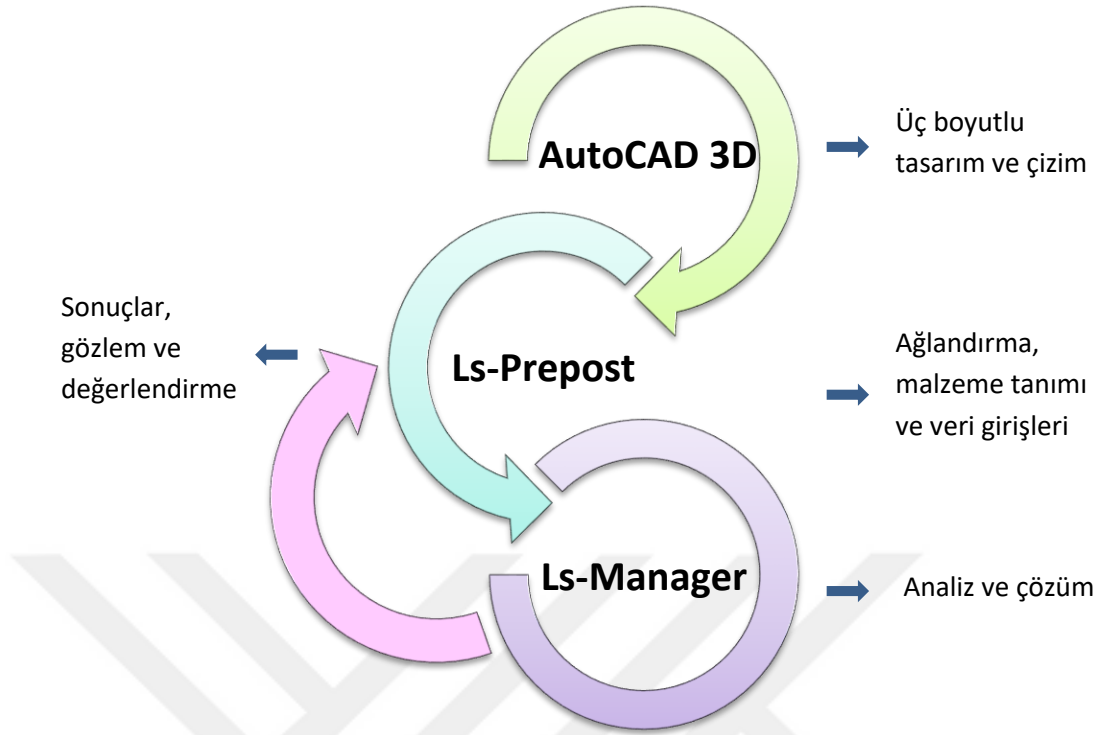
AutoCAD, dünya çapında ticari olarak sıklıkla kullanılan iki ve üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım programıdır. Kullanışlı ara yüzü ve temel araç setleri sayesinde birçok meslek grubunun faydalanabildiği, neredeyse bütün mühendislik dallarına hitap edebilen bir yazılım olma özelliği taşımaktadır. Yazılımın üç boyutlu kısmı olan AutoCAD 3D, zengin bir araç seti ile üç boyutlu çizim için kullanıcılarına özel bir dizi komut ve fonksiyon sunmaktadır.

LS-DYNA; komut satırı ile çalışan yürütülebilir bir dosyadan oluşan, açık çözüm kullanan bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Nonlineer analizler için en gelişmiş sonlu elemanlar programlarından biri olan LS-DYNA; uçak sanayiinde kuş çarpması, jet motoru kanadı muhafazası, kompozit malzeme davranışı analizlerinde, otomotiv

sanayiinde çarpışma testleri, yaya güvenliği ve otomotiv parça imalatında, metal üretim sektöründe ise derin çekme, haddeleme, metal kesme gibi işlemlerde sıkça kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra sıçrama ve düşme testleri, arıza ve kararlılık araştırmaları, deprem analizleri, ısıl değişimler ve elektromanyetik analizler gibi birçok sektör ve alanda kullanımı bulunmaktadır. Yazılıma ait Ls-Manager programı, oluşturulan senaryoları çalıştırıp analiz edilmesini ve çözümlenmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada yazılımın LS-DYNA 971 versiyonu kullanılmıştır.

LS-Prepost, LS-DYNA programında çalıştırılacak olan analiz dosyalarını oluşturmak amacıyla üç boyutlu cisimler ve senaryoları kod satırları haline getiren yardımcı bir programdır. Çalıştırılacak dosyadaki elemanlara ait hız, ivme, ağırlık gibi girdiler ile eleman ağlandırma (mesh), malzeme tanımlaması, sınır ve mesnet koşullarının tanımlanması gibi işlemler Ls-Prepost programında yapılabilmektedir. Dosyalar “K” formatında kaydedildikten sonra not alma programlarından biri (Notepad ++) kullanılarak kod satırları görüntülenebilmekte, dosya dâhilindeki veriler ve tanımlamalar değiştirilebilmektedir. Üç boyutlu ara yüze sahip yazılım basit üç boyutlu cisimlerin tasarımına da olanak sağlayabilmektedir. Ayrıca LS-DYNA programında çalıştırılan dosyaların çalıştırma işlemi bittikten sonra Ls-Prepost programı üzerinde simülasyonu görüntülenebilir, sonuçları değerlendirilebilir. Bu çalışmada programın Ls-Prepost V4.5.24 versiyonu kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan yazılımlar, kullanım sırası ve ilişkileriyle birlikte Şekil 2.1’deki diyagramda gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Yazılım kullanım diyagramı

2.2. Kullanılan Otokorkuluğun Tanıtımı

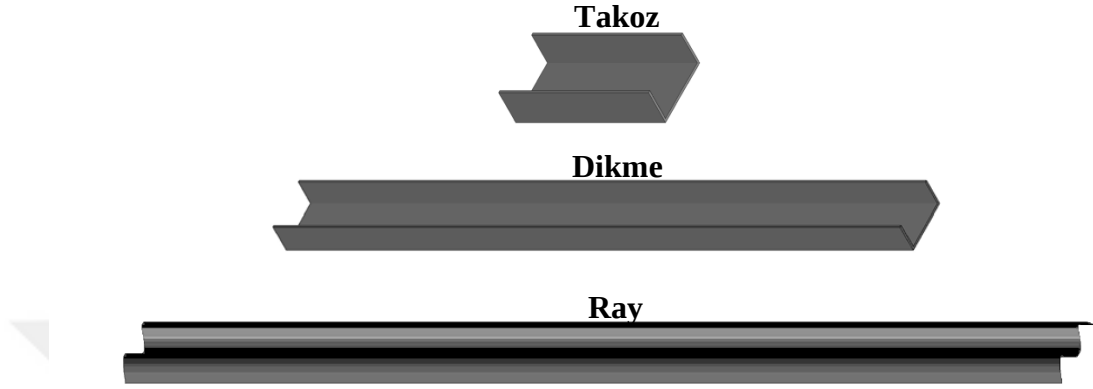
2.2.1. Otokorkuluğun Geometrik ve Teknik Detayları

Bu çalışmada, LS-DYNA üzerinde çarpışma testi simülasyonlarını gerçekleştirmek için en yaygın kullanılan otokorkuluk türlerinden biri olan H1W2-A tipi çelik otokorkuluk sistemi tercih edilmiştir. Kullanılan otokorkuluk, performansı doğrulanmış şekilde önceki çalışmalarından alınmıştır (Özcanan ve Atahan, 2019, 2020, 2021).

S235JR çeliğinden imal edilen çelik otokorkuluk, C dikme tipine sahiptir. C tipi dikme, kancasız olup C150x75x5 olarak ifade edilmektedir. Buradaki boyutlar; sırasıyla boy, en ve et kalınlığını göstermektedir. Dikmeyle aynı profil ve boyutlara sahip takoz elemanının uzunluğu 330 mm'dir. Yerden yüksekliği 700 mm ve zemine saplanan kısmı 1100 mm uzunluğunda olan dikmenin toplam boyu 1800 mm olup iki dikme aralığı 2000 mm'dir. W-ray tipi otokorkuluğun ray yüksekliği 312 mm, derinliği 83 mm, et kalınlığı ise 3 mm'dir. Otokorkuluk sistemine ait geometrik detaylar Çizelge 2.1'de verilmiştir.

2.2.2. Otokorkuluğun Sonlu Elemanlar Modeli

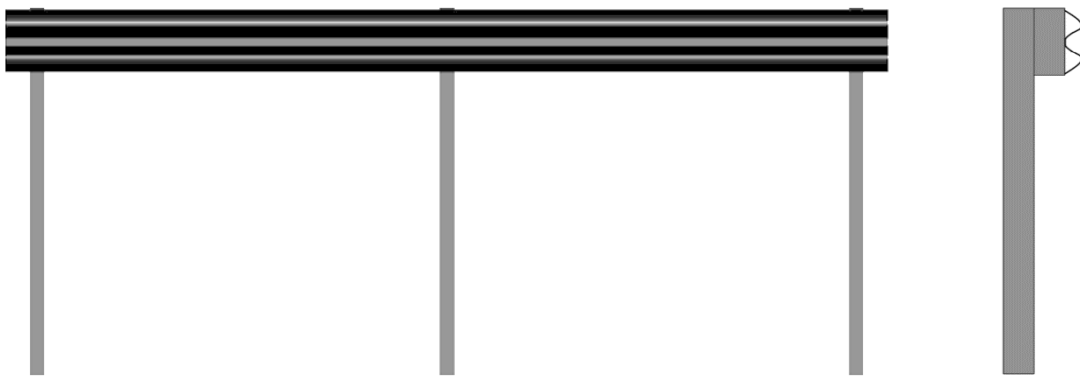
Çelik otokorkuluğa ait üç ana eleman AutoCAD 3D programında üç boyutlu olarak ayrı ayrı çizilmiş (Şekil 2.4) ve birleştirilerek çelik otokorkuluk sistemi basitçe teşkil edilmiştir (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).



Şekil 2.4: Çelik otokorkuluk elemanları

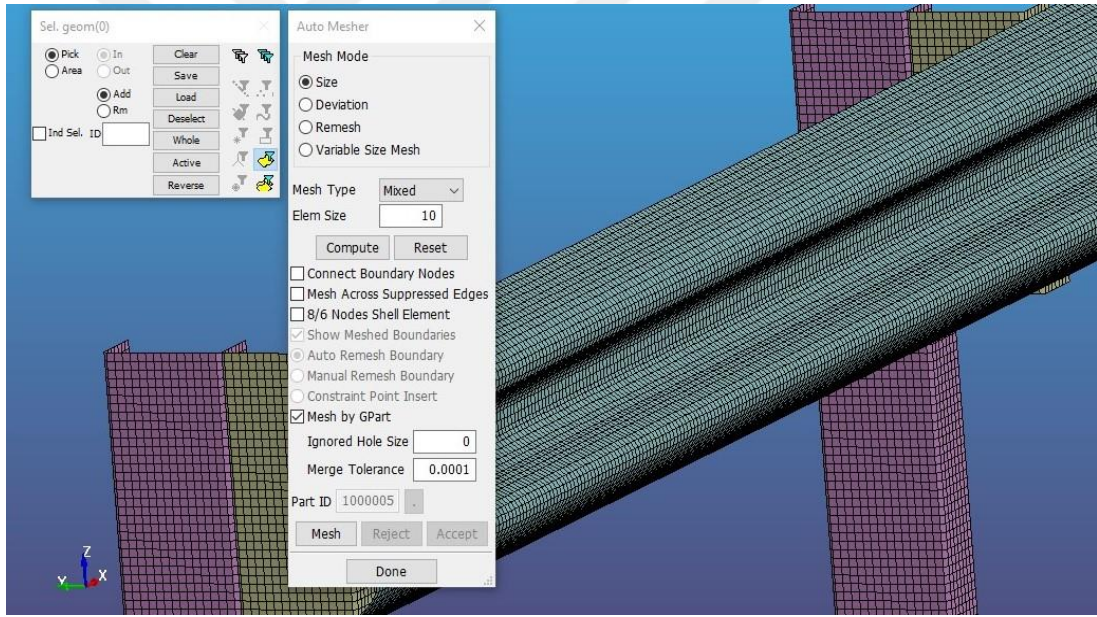


Şekil 2.5: Otokorkuluk sistemi perspektif görünüm

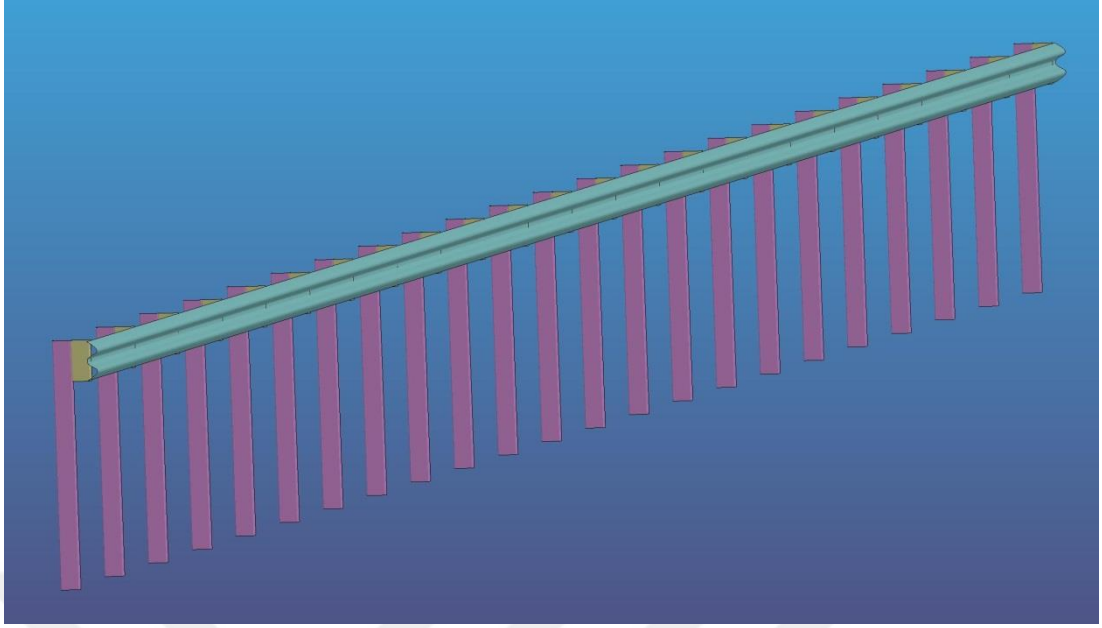


Şekil 2.6: Otokorkuluk sistemi ön cephe ve yan cephe görünümü

AutoCAD 3D programında çizimi tamamlanan otokorkuluk sistemi “IGES” formatında kaydedilmiş ve Ls-Prepost’ta bu formatla açılmıştır. Otokorkuluk sistemi elemanları, “MESH” komutuyla maksimum 10x10 mm boyutlarında sonlu elemanlara bölünecek şekilde Şekil 2.7’deki gibi ayrı ayrı ağlandırılmıştır. “TRANSLATE” komutu kullanılarak 4318 mm uzunluğundaki otokorkuluk sistemi kopyalanarak 44318 mm ($\approx 44,3$ m) uzunluk değerine kadar genişletilmiştir (Şekil 2.8). “SECTION” komutuyla dikme, takoz ve ray “SHELL” eleman, bu elemanların bağlantısını sağlamak amacıyla da M10 ve M16 cıvatalar “BEAM” eleman olarak tanımlanmış ve ilgili kalınlık değerleri girilmiştir (Şekil 2.9). Her bir elemana ait malzeme bilgileri “MAT” komutu kullanılarak girilmiş, “PART” komutuyla bu elemanlara kesit ve malzeme tanımları yapılmıştır. Ls-Prepost üzerinde tanımlanan elemanlara ait malzeme bilgileri Çizelge 2.2’deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 2.7: Otokorkuluk sistemi ağlandırma



Şekil 2.8: Genişletilen otokorkuluğa ait perspektif görünüm

NewID	Draw	RefBy	Sort/T1	Add	Accept	Delete	Default	Done
1000000	C post							
1000001	C spacer							
1000002	W beam							

☐ Use *PARAMETER (Subsys: 1) Setting

*SECTION_SHELL_(TITLE) (3)

TITLE
C post

1	SECID	ELFORM	SHRF	NIP	PROPT	QR/IRID	ICOMP	SETYP
	1000000	2	1.0000000	2	1	0	0	1

2	T1	T2	T3	T4	NLOC	MAREA	IDOF	EDGSET
	5.0000000	5.0000000	5.0000000	5.0000000	0.0	0.0	0.0	0

(a)

NewID	Draw	RefBy	Pick	Add	Accept	Delete	Default	Done
1000003	m10							
1000004	m16							

☐ Use *PARAMETER (Subsys: 1) Setting

*SECTION_BEAM_(TITLE) (2)

TITLE
m10

1	SECID	ELFORM	SHRF	QR/IRID	CST	SCOR	NSM
	1000003	2	1.0000000	2	1	0.0	0.0

2	A	ISS	ITT	J	SA	IST
	58.000000	228.80000	228.80000	456.00000	52.200001	0.0

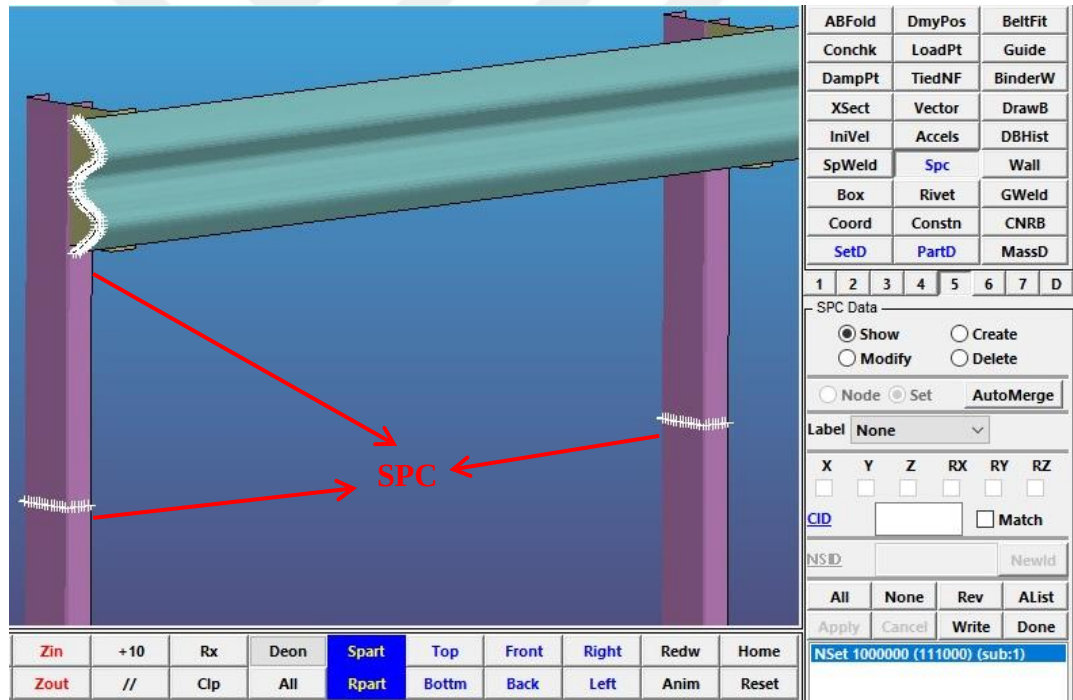
(b)

Şekil 2.9: Otokorkuluk elemanlarına ait kesit bilgileri
(a) Shell elemanlar (b) Beam elemanlar

Çizelge 2.2: Otokorkuluk sistemi elemanları için malzeme tanımları

Eleman	Materyal No	Materyal	Yoğunluk (RO) (t/mm ³)	Elastisite Modülü (E) (MPa)	Poisson Oranı (PR)	Akma Gerilmesi (SIGY) (MPa)
Dikme	MAT_024	PIECEWISE LINEAR PLASTICITY	7,850e-09	2,050e+05	0,30	235
Takoz						
Ray						
M10 Cıvata	MAT_098	SIMPLIFIED JOHNSON COOK	1,000e-07	2,070e+05	0,28	---
M16 Cıvata						

Sınır-mesnet koşulları “BOUNDRY_SPC” komutuyla otokorkuluk sistemine ait rayların başlangıç ve bitiş kesimleri ile dikmelerin zemin ile temas eden alanlarında hareketi sınırlandıracak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 2.10).



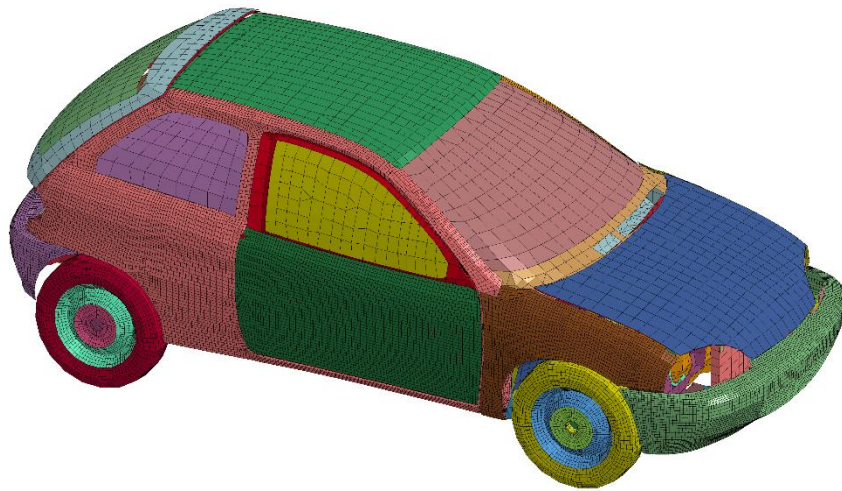
Şekil 2.10: Sınır-mesnet koşullarının tanımlanması

Son olarak “DATABASE” çıktı komutu kullanılarak “ASCII_options”, “BINARY_D3PLOT”, “EXTENT_BINARY”, ve “FORMAT” gibi veri çıktısı ve analiz seçenekleri tanımlanmıştır. “BINARY_D3PLOT” seçeneği, LS-DYNA programında dosya çalıştırıldığı anda veri çıkışlarını “d3plot” isimli bir dosyaya kaydederek analizden elde edilen sonuçların tekrar Ls-Prepost’ta görüntülenmesini

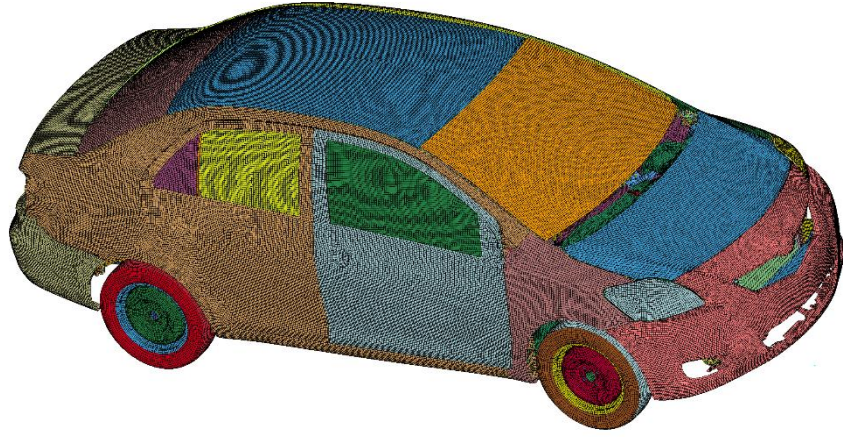
sağlamaktadır. Bu seçenek için zaman aralığı 0,01 birim alınmıştır. “ASCII_options” seçeneği ise analizden istenilen farklı nümerik verilerin çıktıların seçilmesini sağlamaktadır. “ABSTAT”, “ELOUT”, “GLSTAT”, “MATSUM”, “NODOUT”, “RCFORC”, “RWFORC”, “SECFORC” olmak üzere 8 adet ASCII seçeneği zaman aralığı 0,1 olacak şekilde tanımlanmıştır.

2.3. Kullanılan Araçların Tanıtımı

Çalışma kapsamında TB11 testinde kullanılmak üzere 4 adet farklı araca ait doğruluğu kanıtlanmış LS-DYNA sonlu eleman modellerinden faydalanılmıştır. İki kapılı Hatchback ve dört kapılı Sedan şasi-gövde tipine sahip binek otomobil türü bu araçlar; farklı yükseklik, genişlik, uzunluk ve ağırlığa sahiptirler. EN 1317 standardında TB11 testiyle ASI ve THIV indekslerini belirlemede araçlar için geçerli tek kriter araç ağırlığı olduğundan başlangıçta 900 kg şartını sağlamayan araçların ağırlıkları Ls-Prepost üzerinde “MASS DATA INTERFACE” komutu kullanılarak 900 kg olacak şekilde ayarlanmıştır. Testlerde kullanılacak olan Fiat Uno (Şekil 2.11), Toyota Yaris (Şekil 2.12), Dodge Neon (Şekil 2.13) ve Honda Accord (Şekil 2.14) marka araçların sonlu eleman modelleri Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı’na bağlı Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (NHTSA)’ne ait test merkezinden temin edilmiştir (NHTSA, 2021). Araçlara ait yükseklik, genişlik, uzunluk ve ağırlık değerleri Çizelge 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.11: Fiat Uno sonlu elemanlar modeli



Şekil 2.12: Toyota Yaris sonlu elemanlar modeli



Şekil 2.13: Dodge Neon sonlu elemanlar modeli



Şekil 2.14: Honda Accord sonlu elemanlar modeli

Çizelge 2.3: Araç sonlu eleman modellerine ait gabari ve ağırlıklar

Araç Markası	<i>Fiat Uno</i>	<i>Toyota Yaris</i>	<i>Dodge Neon</i>	<i>Honda Accord</i>
Yükseklik (mm)	1420	1465	1370	1460
Genişlik (mm)	1580	1695	1710	1845
Uzunluk (mm)	3750	4300	4355	4945
İlk Ağırlık (kg)	1172	866	1317	1097
Düzeltilen Ağırlık (kg)	900	900	900	900

2.4. Çarpışma Testi Ön Hazırlığı

TB11 çarpışma testini LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı üzerinde gerçekleştirebilmek için Ls-Prepost üzerinde testte kullanılacak araç ve otokorkuluğun aynı dosyada birleştirilmesi gerekmektedir. Önceden oluşturulan otokorkuluk ve özelliklerinin tanımlandığı “K” formatındaki dosyaya “DYN” uzantılı araç dosyası eklenmiş, gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra “Main.dyn” olarak kaydedilmiştir. Bu dosya LS-DYNA yazılımında çalıştırılacak olan nihai çarpışma testi modellemesini içermektedir. Çarpışma testi unsurlarını “MAIN” dosyası adı altında birleştirme işlemi çalışmada kullanılan bütün araçlar için tekrar edilmiştir.

“MAIN” dosyası oluşturulurken Ls-Prepost üzerindeki bazı kartlara test için birtakım tanımlamalar yapılmıştır. “CONTACT” kartı yardımıyla iki çeşit temas kabulü yapılmıştır. “AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE” seçeneği ile araç parçalarının ve otokorkuluk elemanlarının birbiri ile olan temasına dair iki adet temas kabulü yapılmıştır. “AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE” seçeneği ile de aracın otokorkuluk ile yaptığı temasa dair bir temas kabulü mevcuttur. Temas kabullerinin kısaltılmış kodları Şekil 2.15’te gösterilmiştir.

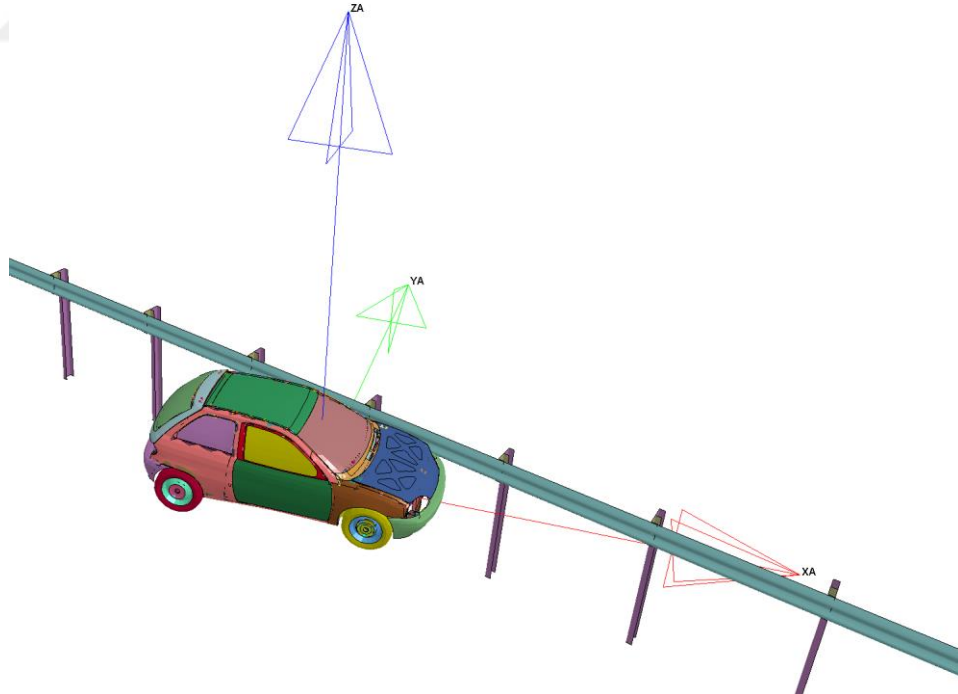
```

*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE
$Contact between parts of the vehicle
6 0 2 0 0 0 0 0
*SET_PART
$^Parts of the vehicle
*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE
$Contact between parts of the barrier
7 0 2 0 0 0 0 0
*SET_PART_LIST
$Parts of the barrier
$
*CONTACT_AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE
$VEHICLE TO BARRIER CONTACT
$PARTI DI VEICOLO TO METROBUS
$ SSID MSID SSTYP MSTYP SBOXID MBOXID SPR MPR
7 6 2 2 0 0 0 0
$ FS FD DC VC VDC PENCHK BT DT
0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0 0.0000000 0.0000000
$ SFS SFM SST MST SFST SFMT FSF VSF
0.0000000 0.0000000 10.000000 10.000000 0.0000000 0.0000000
*END

```

Şekil 2.15: Temas yüzeyi kabulleri

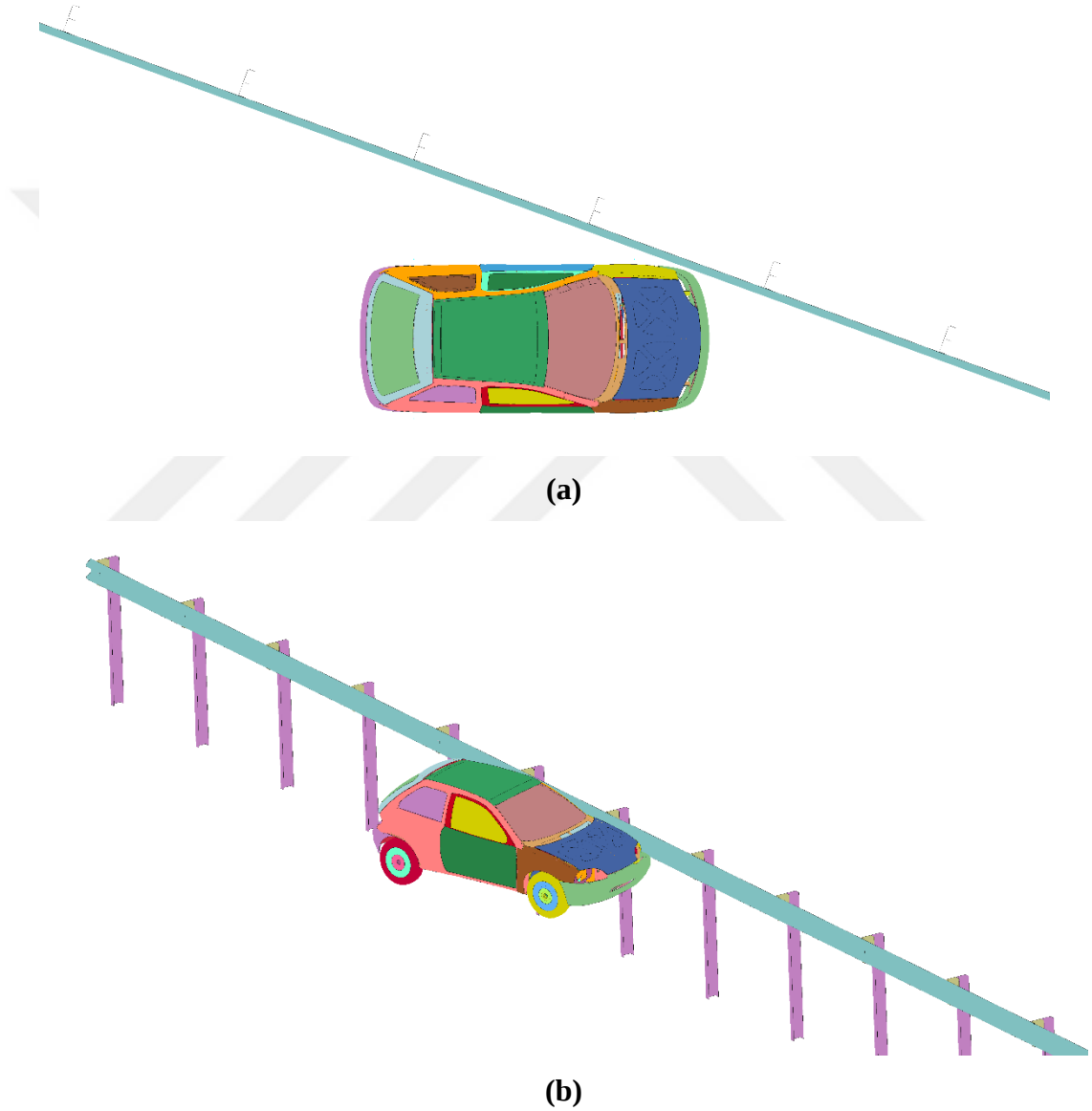
Ağırlıkları 900 kg’a ayarlanan araçların ağırlık merkezlerine “DEFINE_ACCELEROMETER_SEATBELT” kartı ile üç boyutlu ivmeölçer tanımlaması yapılmıştır (Şekil 2.16). Test analizlerinde ASI değerleri bu kart yardımıyla okunan ivmeler yardımıyla hesaplanacaktır.



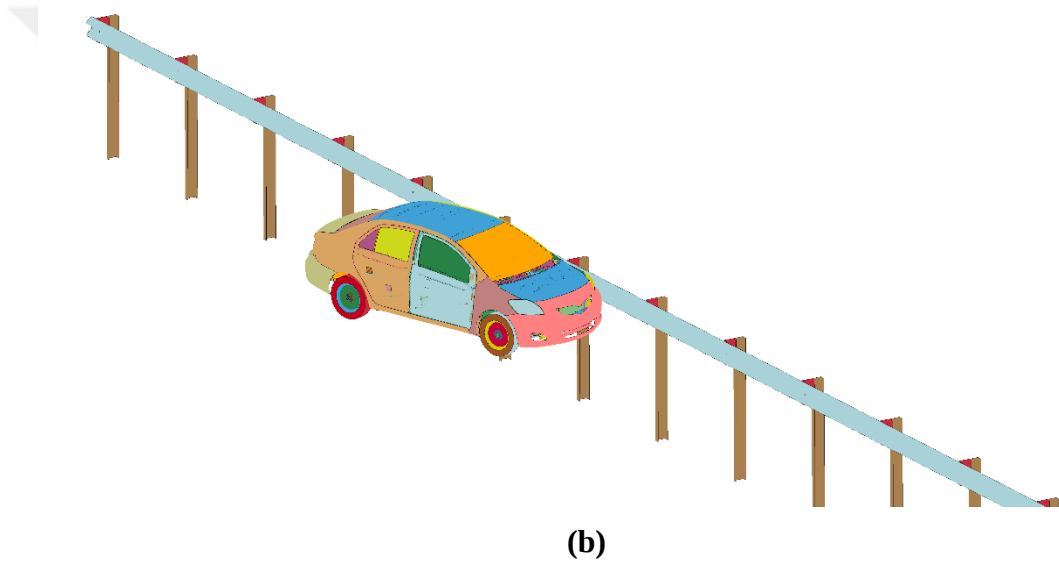
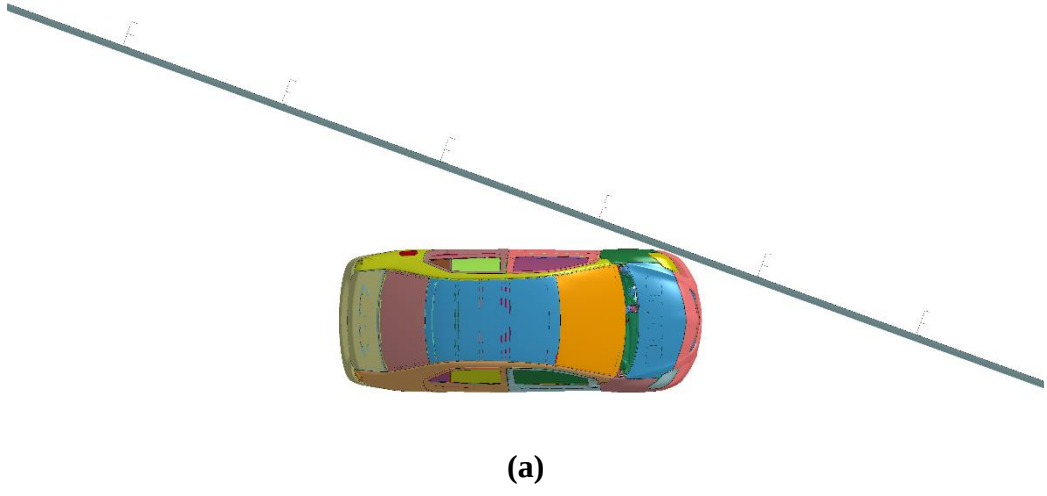
Şekil 2.16: Üç boyutlu ivmeölçer konum ve doğrultusu

1800 mm dikme uzunluğa sahip otokorkuluğun 1100 mm’lik kısmı zeminde gömülü olup 700 mm’lik kısmı zemin üstünde bulunmaktadır. Bu sebeple “MAIN”

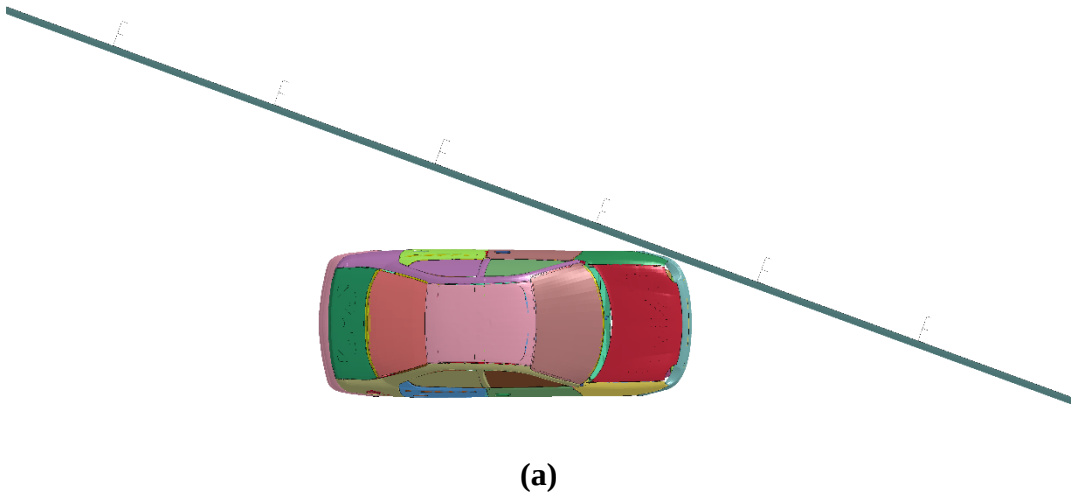
dosyasında dikme tabanından 1100 mm yükseklikte zemin tanımı yapılmıştır. “RIGIDWALL” kartı kullanılarak “PLANAR” komutuyla “X” ekseninde bir zemin tanımlanmış olup araçlar “MOVE_OR_COPY” kartı kullanılarak tanımlanan zemin üzerinde otokorkuluğa çok yakın bir mesafede konumlandırılmıştır. Araçların çarpışma öncesi konumlandırmaları plan ve perspektif görünüm olarak sırasıyla verilmiştir (Şekil 2.17, Şekil 2.18, Şekil 2.19 ve Şekil 2.20).

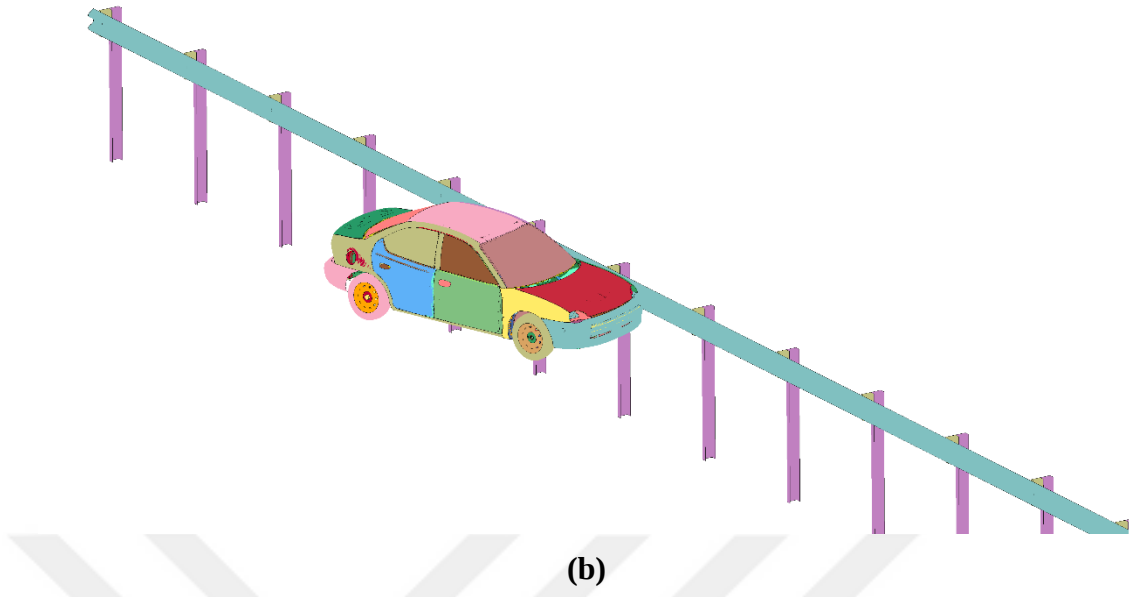


Şekil 2.17: Fiat Uno marka aracın çarpışma öncesi durumu
(a) Plan görünüm (b) Perspektif görünüm



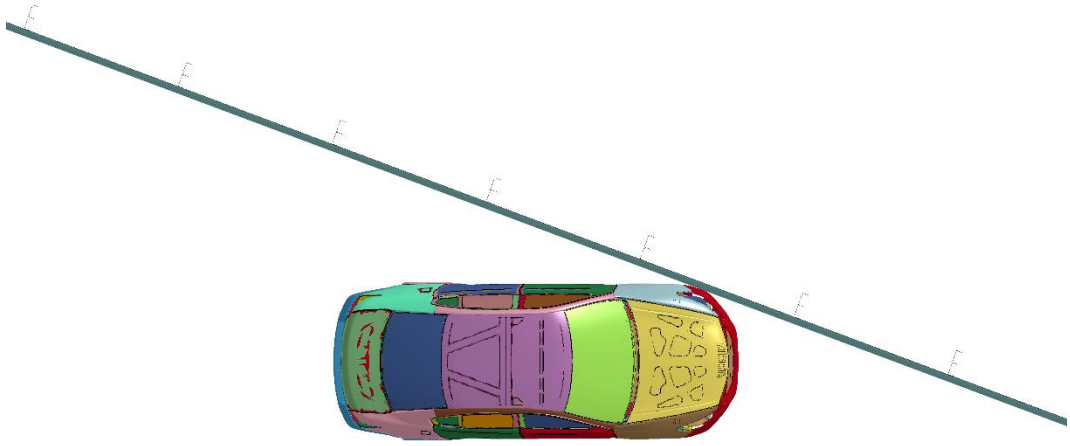
Şekil 2.18: Toyota Yaris marka aracın çarpışma öncesi durumu
(a) Plan görünüm (b) Perspektif görünüm



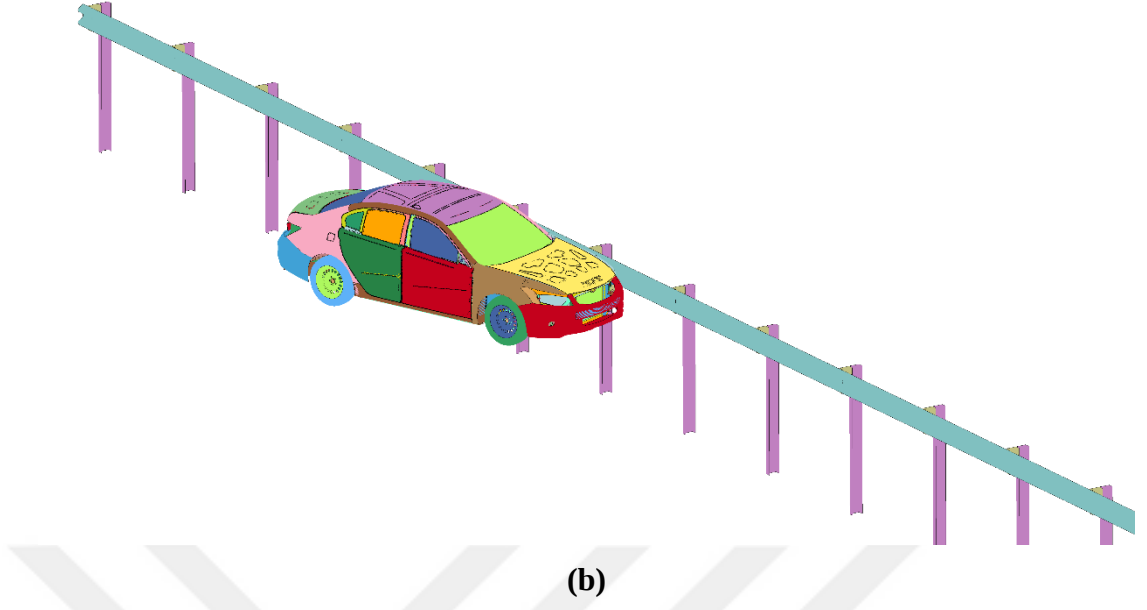


(b)

Şekil 2.19: Dodge Neon marka aracın çarpışma öncesi durumu
(a) Plan görünüm (b) Perspektif görünüm



(a)

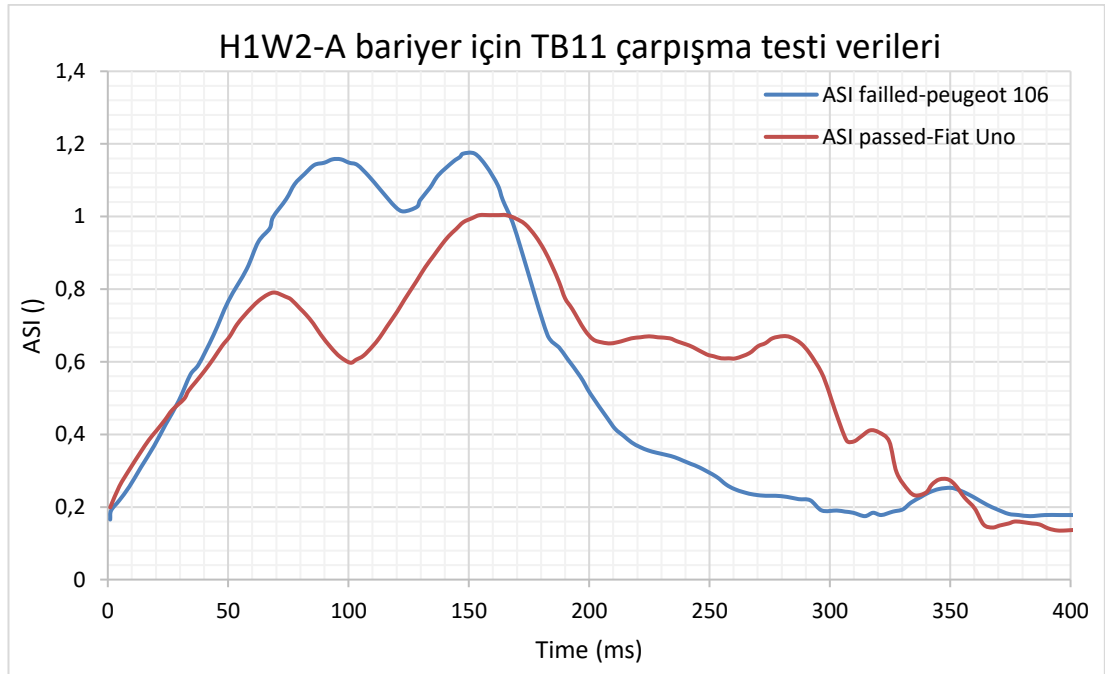


(b)

Şekil 2.20: Honda Accord marka aracın çarpışma öncesi durumu
(a) Plan görünüm (b) Perspektif görünüm

3. ÇALIŞMA VE BULGULAR

Çalışmanın amacı, EN 1317 standartlarında ASI değerini belirlemek için TB11 çarpışma testinde kullanılan araçlar için tanımlanan 900 kg ağırlık kriterinin tek başına yetersiz olduğu hipotezinden hareketle; şasi ve gövde tipi, araç yüksekliği, genişliği, uzunluğu gibi kriterlerin ASI değeri üzerinde etkili olabileceğini araştırmaktır. Yakın zamanda H1W2-A tipi çelik otokorkuluk tipinin kullanıldığı 900 kg ağırlık kategorisindeki Fiat Uno ve Peugeot 106 marka araçlarla yapılan tam ölçekli çarpışma testi verilerine göre ASI değerlerinin önemli ölçüde farklılaştığı görülmüştür. Fiat Uno marka araç, testi başarıyla geçerken Peugeot 106 marka aracın testi geçemediği gözlenmiştir (TRANSPOLIS, 2021a, 2021b). İki araca ait ASI diyagramları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: H1W2-A tipi çelik bariyer için TB11 çarpışma testi verileri (TRANSPOLIS, 2021a, 2021b).

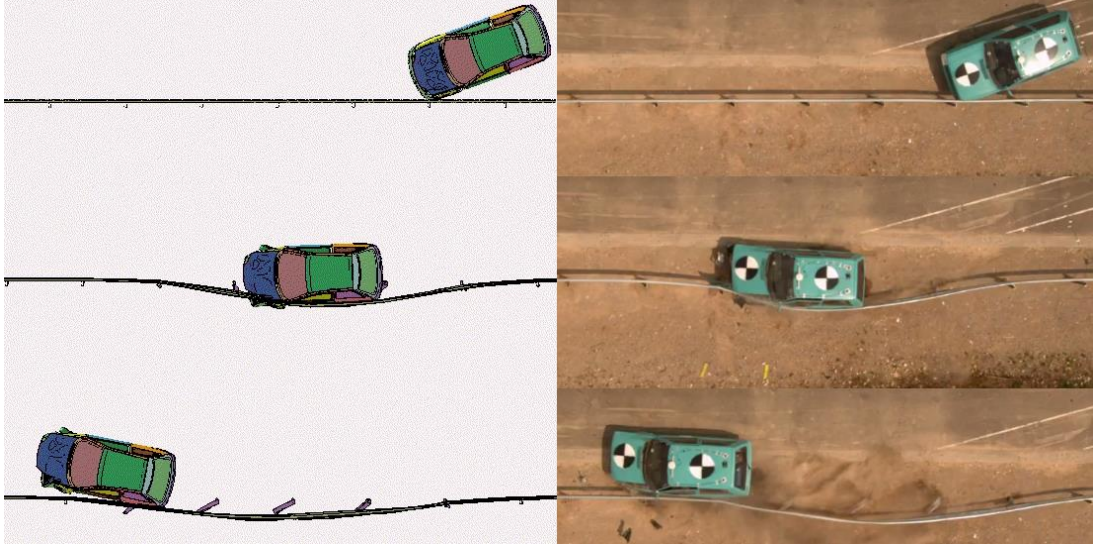
Bahsi edilen çarpışma testinden elde edilen sonuçlar; ASI hesap kriterlerinin irdelenmesine, indeks değerini belirlemede başka parametrelerin etkilerinin araştırılmasına zemin ve dayanak teşkil etmektedir. Bu gerçekten yola çıkarak önceki çalışmalar ışığında araç yüksekliği, genişliği, uzunluğu, şasi ve gövde tipi gibi etmenlerin ASI değeri üzerindeki olası etkileri H1W2-A tipi çelik bariyer kullanılarak çalışma kapsamında araştırılmıştır.

3.1. Sonlu Elemanlar Kalibrasyonu ve Doğrulaması

Sonlu eleman modellerini ve hazırlanan senaryoyu kalibre etmek ve doğrulamak için ASI değerinin yanı sıra otokorkuluk sisteminin performans ve yeterliliğini saptayabilmek amacıyla THIV değeri, çalışma genişliği (W) ve aracın çarpma sonrası otokorkuluktan çıkış açısı (α) gibi faktörler de değerlendirilmiştir. Kullanılan otokorkuluk W2 çalışma genişliği sınıfına dâhil olduğundan “W” değerinin 0,8 m’den küçük olması gerekmektedir.

LS-DYNA üzerinde TB11 çarpışma testlerini gerçekleştirmeden önce Ls-Prepost programında çarpışma testi için oluşturulan ortam ve hazırlanan senaryonun kalibre edilmesi ve doğrulanması gerekmektedir. Bu amaçla Fiat Uno marka araca ait TB11 tam ölçekli çarpışma testi ile modellemesini yaptığımız sonlu elemanlar analizi sonuçları karşılaştırılıp doğrulanması yapılmıştır.

Bölüm 3.2’de Fiat Uno marka araca ait TB11 sonlu eleman simülasyonu ve çarpışma testi sonuçları detaylı olarak irdelenecektir. Burada ise kalibrasyon ve doğrulama için LS-DYNA üzerinde gerçekleştirilen TB11 çarpışma testine ait birtakım nitel ve nicel sonuçlar alınıp tam ölçekli çarpışma testi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Tam ölçekli çarpışma testi ve sonlu elemanlar modelinin kalitatif olarak karşılaştırması Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Tam ölçekli çarpışma testi ve sonlu elemanlar modelinin kalitatif karşılaştırması (TRANSPOLIS, 2021b).

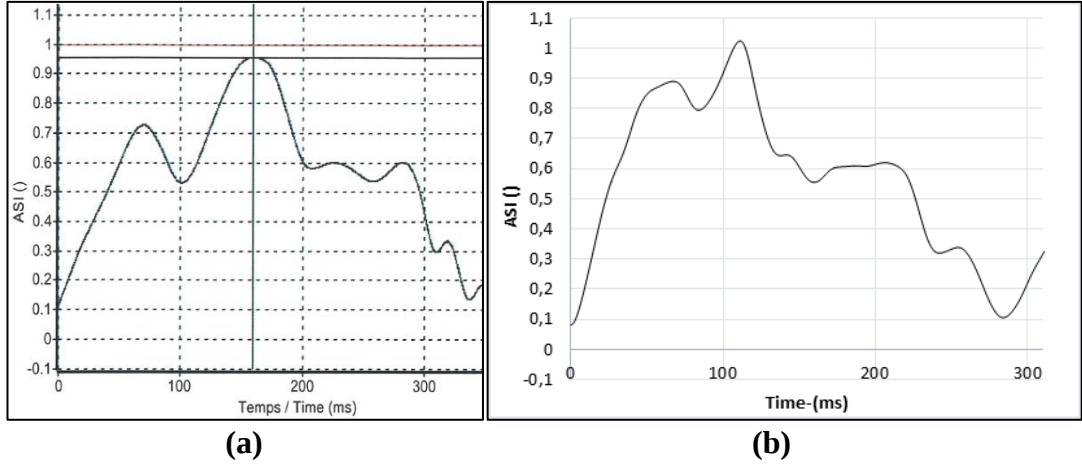
Tam ölçekli çarpışma testi ve sonlu elemanlar modeli nicel olarak karşılaştırılırken doğrulama ve güvenilirlik ölçüsünü veren bağıl mutlak hata oranı dikkate alınmalıdır. Kabul edilebilir bir çalışma olması için bağıl mutlak hata oranı, %5 değerinden az olmalıdır. Bağıl mutlak hata (RAE), Denklem 3.1'deki formülle hesaplanmaktadır. Buradaki y_{ct} , çarpışma testi ve y_{se} ise sonlu eleman modeli sonuç değerleridir.

$$RAE(\%) = \left| \frac{y_{ct} - y_{se}}{y_{ct}} \right| \quad (3.1)$$

Bağıl mutlak hata esas alınarak yapılan çarpışma testi ve sonlu elemanlar modelinin araştırılan parametre değerleriyle nicel karşılaştırması Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çarpışma testi ve sonlu elemanlar modelinde kaydedilen ASI diyagramı ve maksimum ASI değerleri Şekil 3.3'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1: Tam ölçekli çarpışma testi ve sonlu elemanlar modelinin nicel karşılaştırması

Kriterler	Tam ölçekli çarpışma testi	Sonlu elemanlar modeli	Bağıl mutlak hata (%)
ASI	1,0	1,02	2,0
THIV (km/sa)	23	23	0
Çıkış açısı (α) (°)	11	11	0
Çalışma genişliği (W) (m)	0,70	0,67	4,3



Şekil 3.3: ASI diyagramı karşılaştırması
(a) Tam ölçekli çarpışma testi (b) Sonlu elemanlar modeli

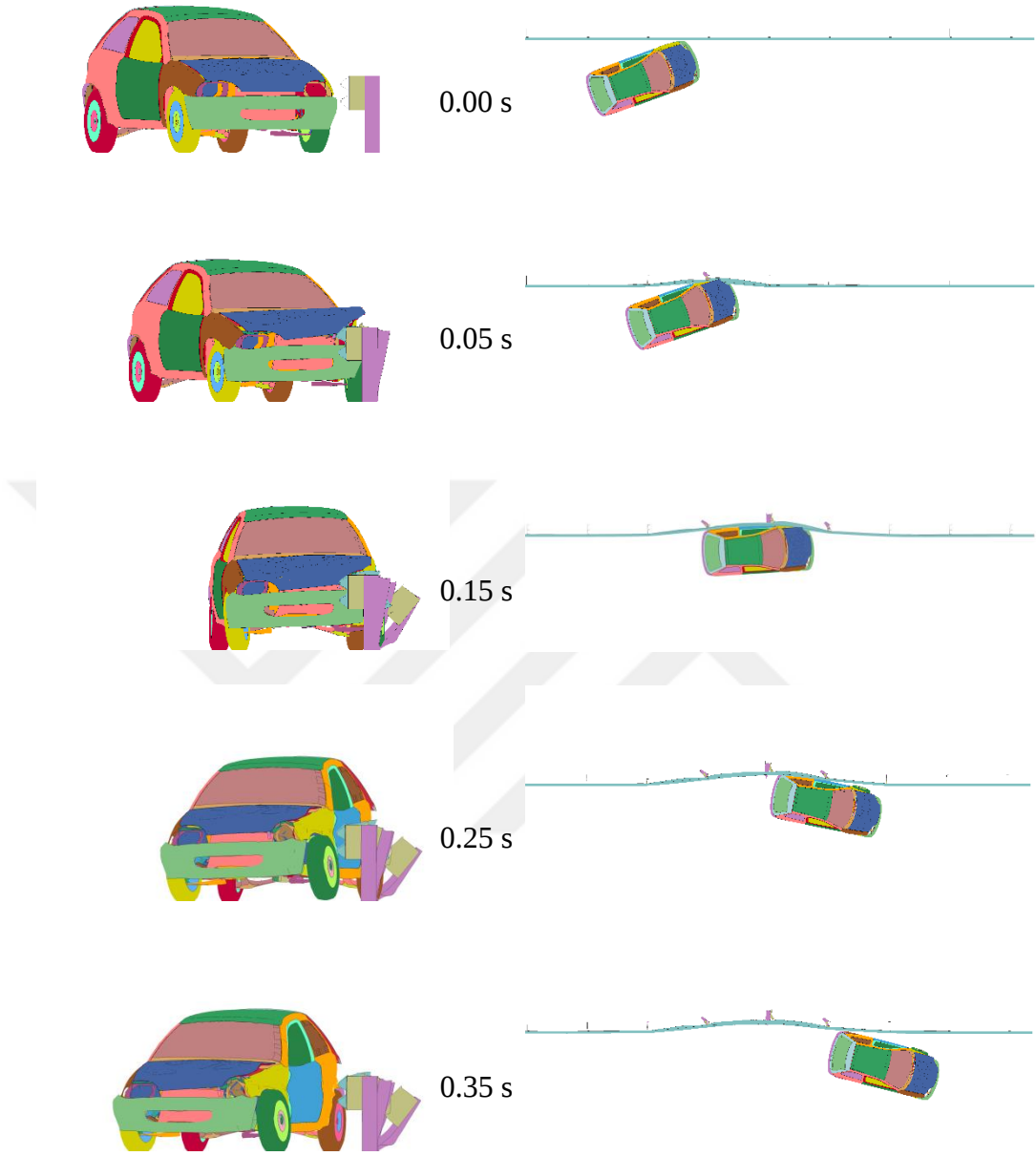
Çizelge 3.1 incelendiğinde doğrulama için araştırılan parametrelerinin tam ölçekli çarpışma testi ve sonlu elemanlar modelinde çok yakın olduğu; hatta THIV ve çıkış açısı kriterlerinin aynı değerlerde olduğu görülmektedir. Tüm parametreler için bağıl mutlak hatanın %5 değerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.4'te gösterilen ASI diyagramlarının grafiksel olarak çok yakın olduğu, değerlerin benzer noktalarda azalıp arttığı görülmektedir. Tüm bu sonuçlar, Ls-Prepost üzerinde hazırlanan çarpışma senaryosunun güvenilir olduğunu ve çarpışma testi verilerini doğruladığını göstermektedir.

3.2. TB11 Çarpışma Testi Simülasyonları

Ls-Prepost programında daha önceden oluşturulan çarpışma testi senaryoları EN 1317 standartlarında TB11 çarpışma testi için belirlenmiş şartlar gözetilerek gerçekleştirilmiştir. 900 kg ağırlığa ayarlanan araçlar, 100 km/sa hızla bariyerle 20° açı yapacak şekilde H1W2-A tipi çelik otokorkuluğa çarpıtılmıştır. TB11 sonlu eleman simülasyonları; Fiat Uno, Toyota Yaris, Dodge Neon ve Honda Accord marka araçlarla ayrı ayrı uygulanmıştır.

3.2.1. Fiat Uno TB11 Testi

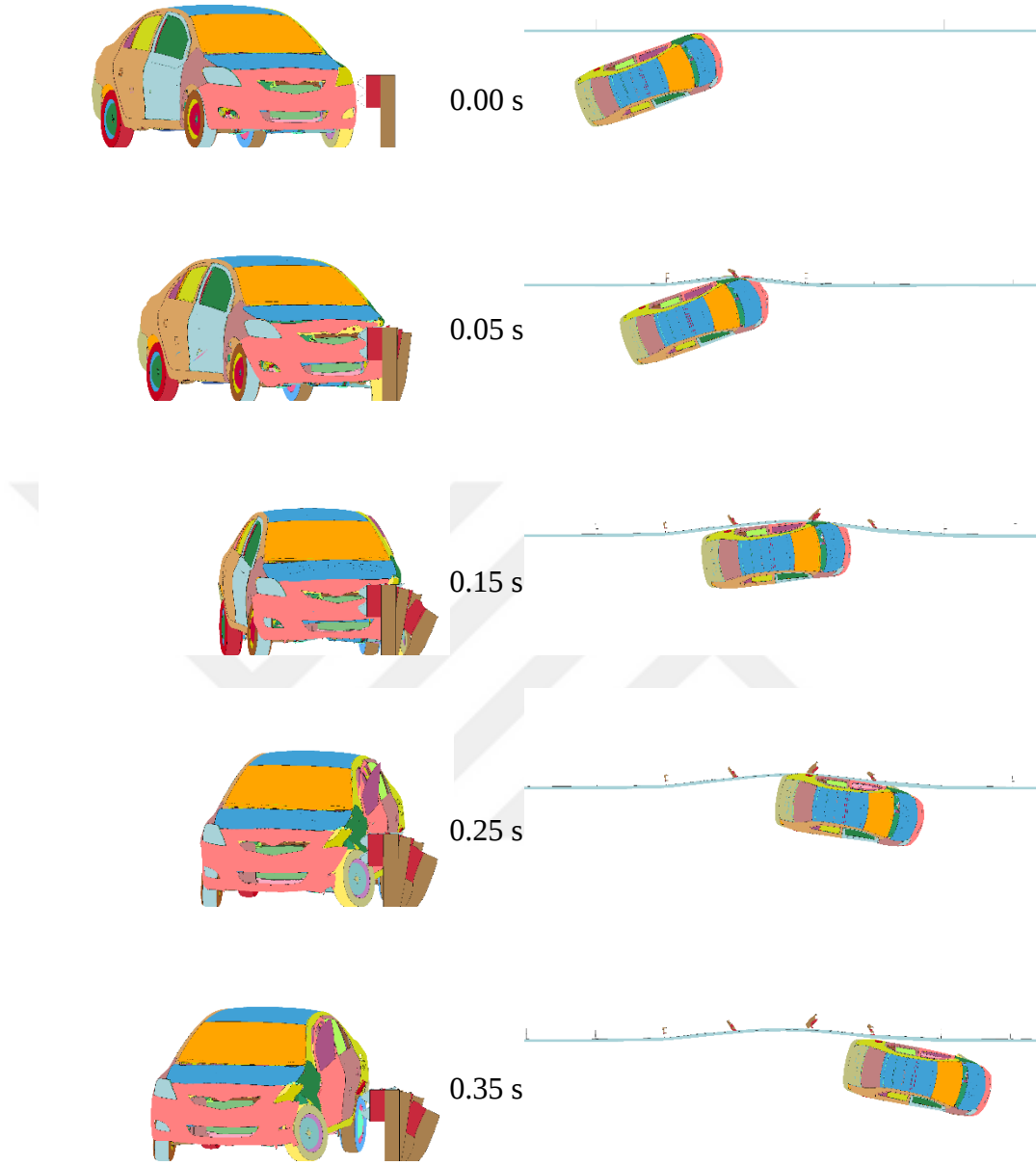
Fiat Uno marka araç için TB11 testi sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiş olup test simülasyonu Ls-Prepost'ta görüntülenmiştir. Fiat Uno TB11 simülasyon sonuçları Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Fiat Uno marka araç için TB11 test simülasyonu

3.2.2. Toyota Yaris TB11 Testi

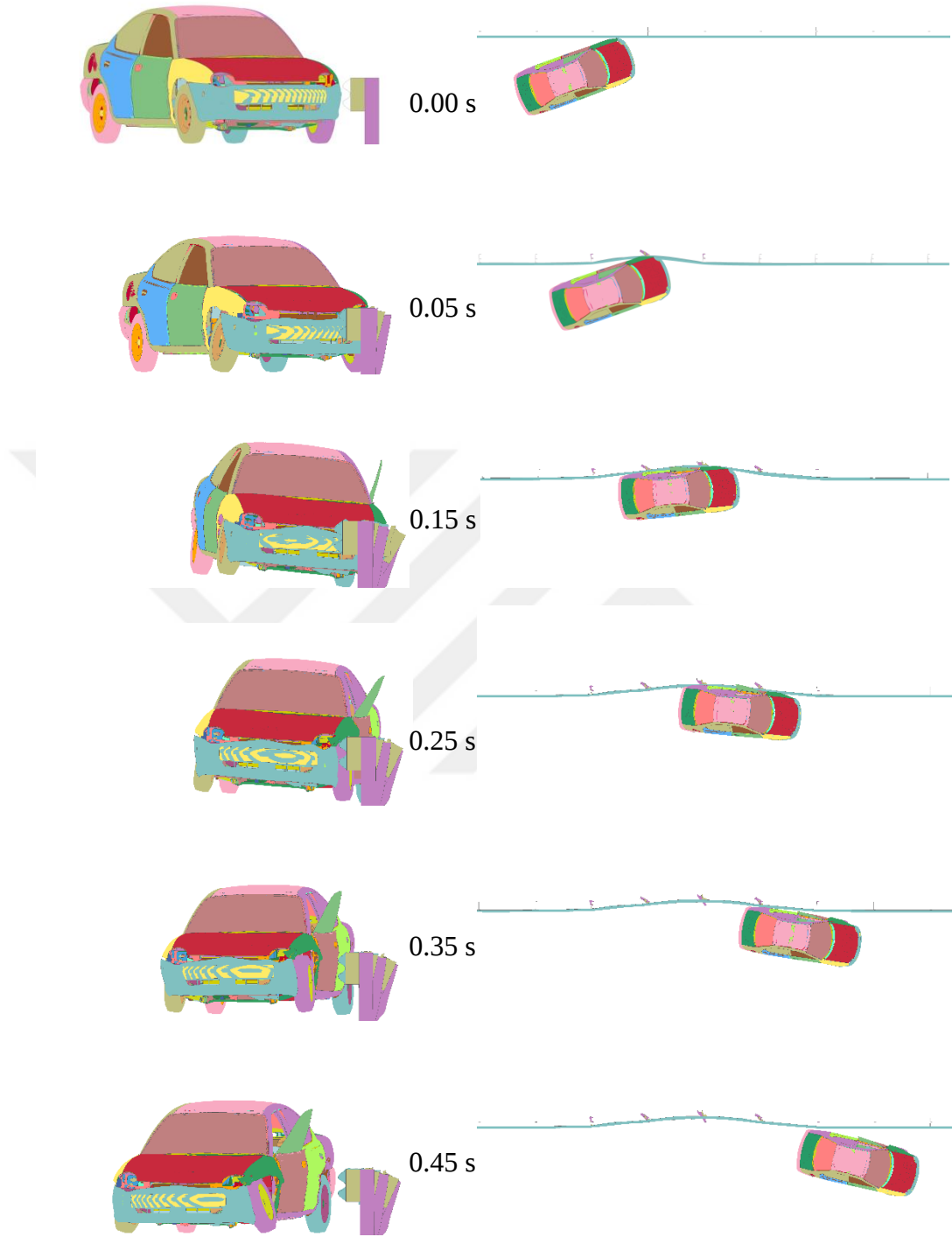
Toyota Yaris marka araç için TB11 testi sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiş olup simülasyon sonuçları Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Toyota Yaris marka araç için TB11 test simülasyonu

3.2.3. Dodge Neon TB11 Testi

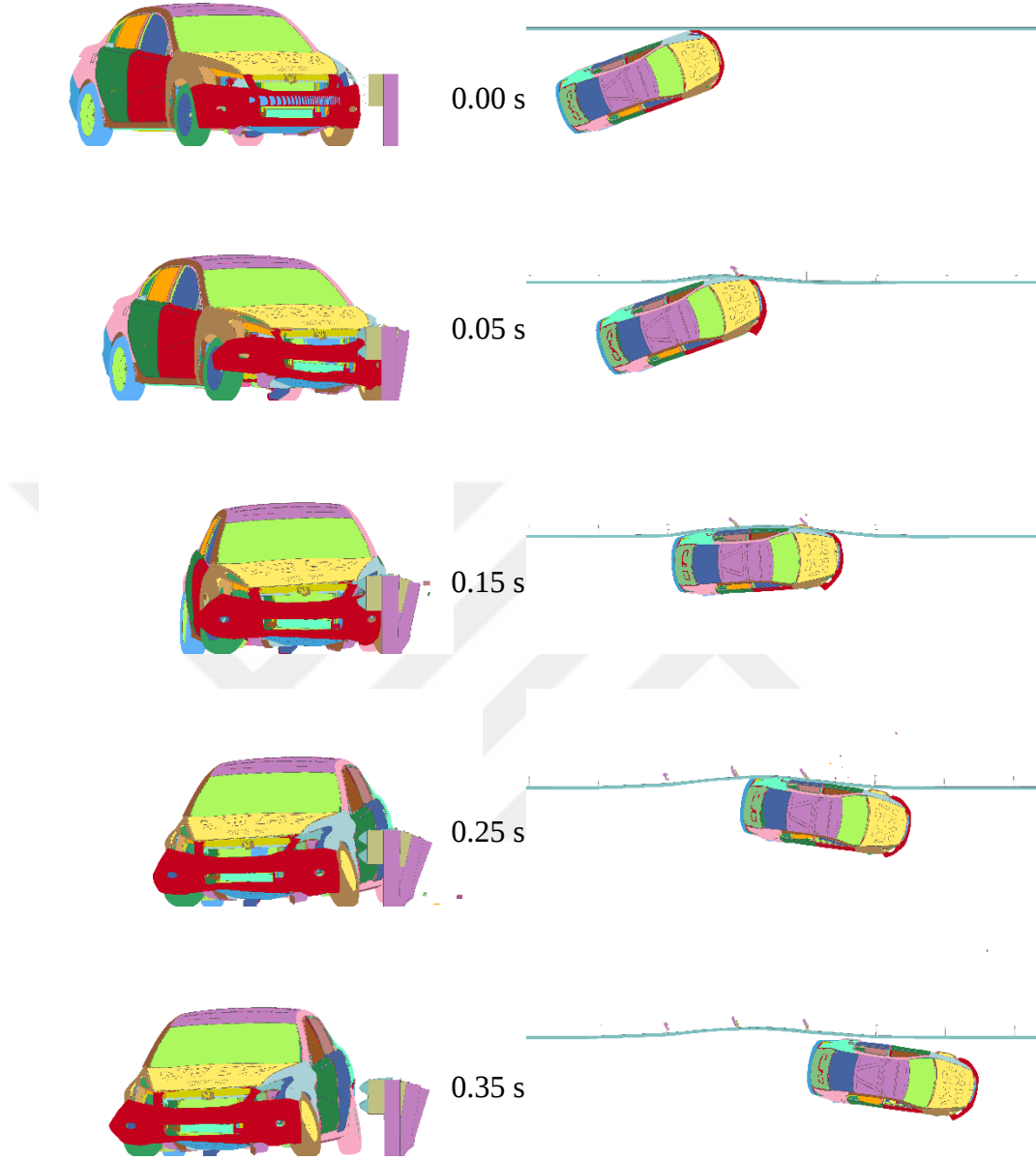
Dodge Neon marka araç için TB11 testi sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiş olup simülasyon sonuçları Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6: Dodge Neon marka araç için TB11 test simülasyonu

3.2.4. Honda Accord TB11 Testi

Honda Accord marka araç için TB11 testi sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiş olup simülasyon sonuçları Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Honda Accord marka araç için TB11 test simülasyonu

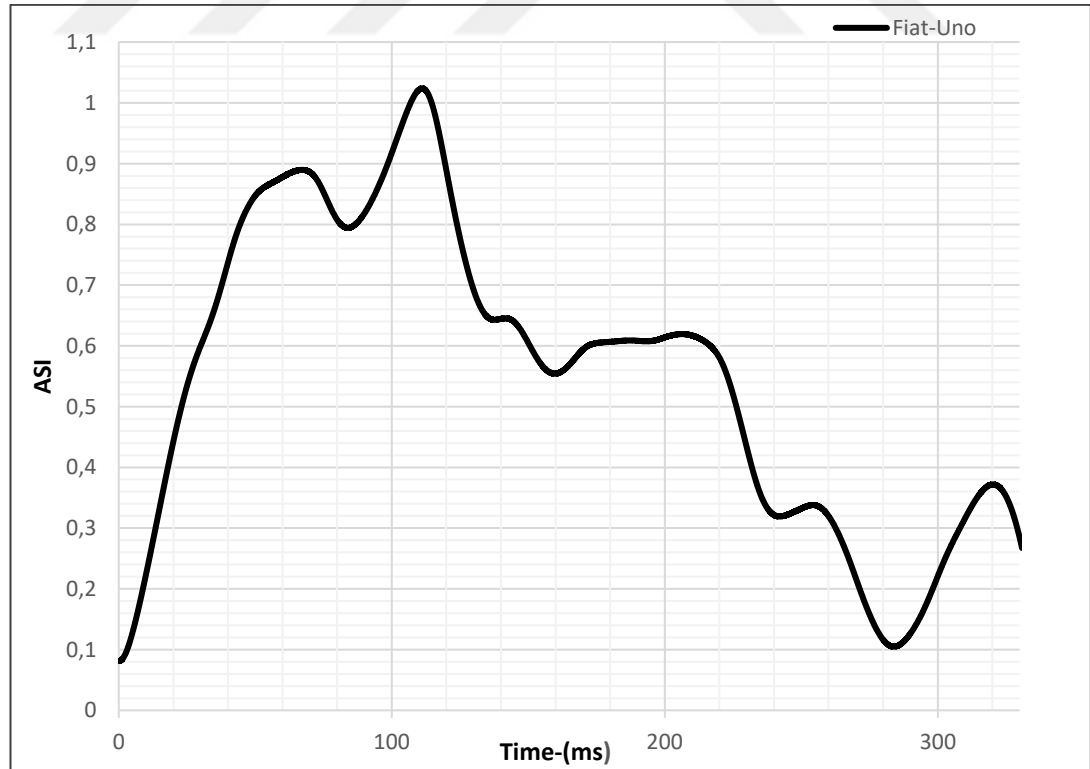
3.3. ASI ve Diğer Parametrelerin Belirlenmesi

3.3.1. Fiat Uno Verileri

Fiat Uno marka araçla gerçekleştirilen çarpışma testinde ASI değerinin hesaplanması için X, Y ve Z yönlerine ait ivme değerleri Ls-Prepost üzerinden alınıp Excel dosyasına aktarılmıştır (Şekil 3.8). Bu değerler Şekil 3.9'daki gibi grafik haline getirilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Fiat-Uno							
2	time	700002	time(s)	X accel	Y accel	Z accel	ASI	ASI-Uno
3	0.000000	4,56E+13	0	4,261763	-4,17648	-5,65022	0,81285	0,08128497
4	1,98E+05	4,53E+13	1,87E-05	4,230159	-4,19762	-5,64541	0,812714	0,08127138
5	3,96E+05	4,50E+13	3,89E-05	4,198554	-4,21879	-5,64062	0,812596	0,0812596
6	5,99E+05	4,48E+13	5,9E-05	4,166947	-4,23999	-5,63583	0,812496	0,08124965
7	7,97E+05	4,45E+13	7,92E-05	4,135339	-4,26122	-5,63106	0,812415	0,08124151
8	9,96E+05	4,42E+13	9,94E-05	4,10373	-4,28247	-5,6263	0,812352	0,0812352
9	1,20E+06	4,40E+13	0,00012	4,07212	-4,30375	-5,62155	0,812307	0,08123071
10	1,40E+06	4,37E+13	0,00014	4,040509	-4,32506	-5,61682	0,812281	0,08122806
11	1,60E+06	4,34E+13	0,00016	4,008897	-4,3464	-5,61209	0,812272	0,08122723
12	1,80E+06	4,32E+13	0,000179	3,977283	-4,36777	-5,60737	0,812282	0,08122824
13	2,00E+06	4,29E+13	0,000199	3,945668	-4,38917	-5,60267	0,812311	0,08123108
14	2,20E+06	4,26E+13	0,000219	3,914053	-4,41059	-5,59798	0,812358	0,08123577
15	2,40E+06	4,23E+13	0,000239	3,882436	-4,43204	-5,59329	0,812423	0,08124229
16	2,60E+06	4,21E+13	0,000259	3,850818	-4,45352	-5,58862	0,812507	0,08125066
17	2,80E+06	4,18E+13	0,000279	3,8192	-4,47503	-5,58396	0,812609	0,08126087
18	3,00E+06	4,15E+13	0,0003	3,78758	-4,49657	-5,57931	0,812729	0,08127293
19	3,20E+06	4,13E+13	0,00032	3,755959	-4,51813	-5,57467	0,812868	0,08128684
20	3,40E+06	4,10E+13	0,00034	3,724338	-4,53973	-5,57004	0,813026	0,0813026

Şekil 3.8: Fiat Uno marka araç için ASI bileşenlerinin kısaltılmış Excel dönüşümü



Şekil 3.9: Fiat Uno araca ait ASI diyagramı

Sonlu elemanlar analizi sonucunda Fiat Uno marka araca ait ASI değeri 1.02 olarak ölçülmüştür. TB11 simülasyonuna göre otokorkuluğun B sınıfı çarpma şiddeti seviyesinde olduğu gözlenmiştir. H1W2-A bariyerin olması gereken A seviyesindeki çarpma şiddeti sınıfı kriterini karşılayamadığı görülmektedir. Yapılan hesaplar neticesinde THIV değeri 23 km/sa olarak ölçülmüştür. Bu değerin 33 km/sa sınır hız değerinden düşük olduğu gözlenmiştir.

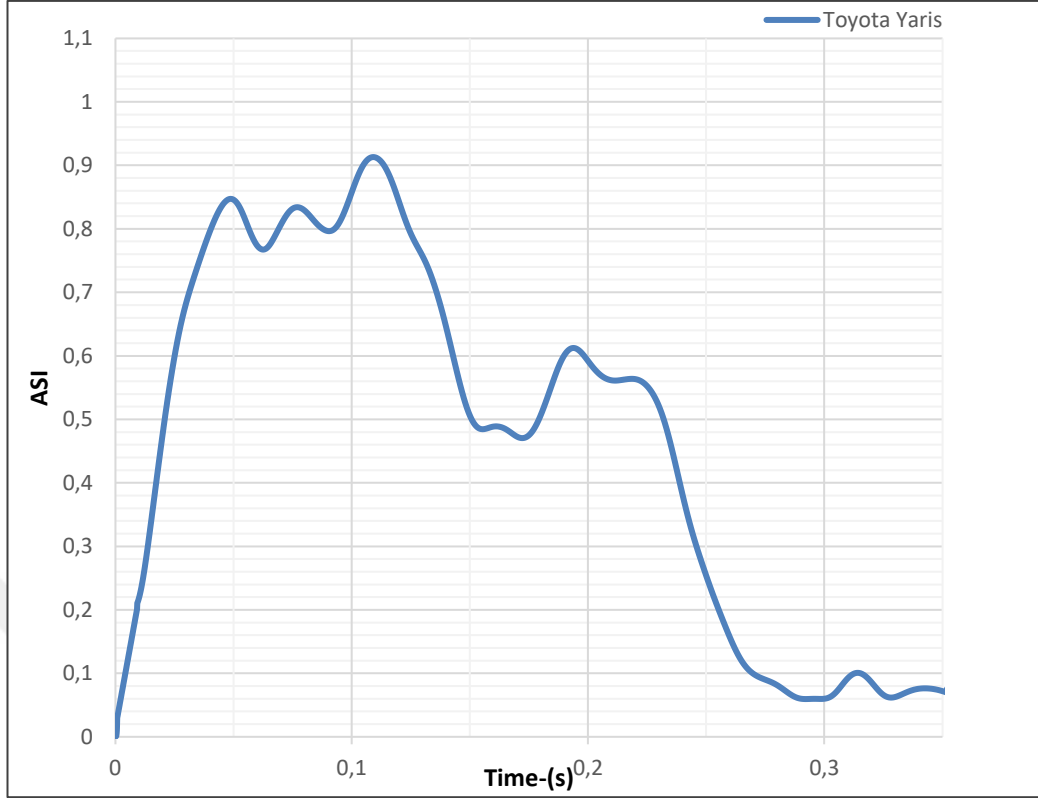
Analiz sonucunda aracın otokorkuluğu terk ettiği sıradaki çıkış açısı 11° olarak ölçülmüştür. Otokorkuluğun çalışma genişliği 0,67 m olarak hesaplanmış olup bu değerin 0,80 m'den küçük olduğu gözlenmiştir. Buna göre otokorkuluk W2 çalışma genişliği sınıfını sağlamaktadır.

3.3.2. Toyota Yaris Verileri

Toyota Yaris marka araçla gerçekleştirilen çarpışma testine ait ivme değerleri Ls-Prepost üzerinden alınıp Excel dosyasına aktarılmıştır (Şekil 3.10). Bu değerler Şekil 3.11'deki gibi grafik haline getirilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Toyota Yaris							
2	time	700002	time	X accel	Y accel	Z accel	ASI	ASI-yaris
3	0.000000	4,56E+13	#DEĞER!	2,695936	-5,65431	-52,6174	5,303879	0,00011587
4	1,98E+05	4,53E+13	1E-04	2,805566	-5,63823	-52,2388	5,266498	0,00023175
5	3,96E+05	4,50E+13	0,0002	2,913464	-5,62285	-51,8617	5,229306	0,0004635
6	5,99E+05	4,48E+13	0,0003	3,019671	-5,60819	-51,4863	5,192307	0,00092699
7	7,97E+05	4,45E+13	0,0004	3,124228	-5,59424	-51,1127	5,155505	0,00185398
8	9,96E+05	4,42E+13	0,0005	3,227175	-5,581	-50,7408	5,118903	0,00370797
9	1,20E+06	4,40E+13	0,0006	3,328554	-5,5685	-50,3707	5,082506	0,00741593
10	1,40E+06	4,37E+13	0,0007	3,428405	-5,55672	-50,0025	5,046319	0,01483186
11	1,60E+06	4,34E+13	0,0008	3,526768	-5,54567	-49,6362	5,010344	0,02966372
12	1,80E+06	4,32E+13	0,0009	3,623686	-5,53536	-49,2718	4,974587	0,03170694
13	2,00E+06	4,29E+13	0,001	3,719197	-5,52579	-48,9093	4,939051	0,03375016
14	2,20E+06	4,26E+13	0,0011	3,813343	-5,51697	-48,5489	4,90374	0,03579338
15	2,40E+06	4,23E+13	0,0012	3,906163	-5,50889	-48,1905	4,868659	0,0378366
16	2,60E+06	4,21E+13	0,0013	3,997694	-5,50157	-47,8342	4,833811	0,03987982
17	2,80E+06	4,18E+13	0,0014	4,087972	-5,49501	-47,48	4,799199	0,04192304
18	3,00E+06	4,15E+13	0,0015	4,177032	-5,48922	-47,1279	4,764828	0,04396626
19	3,20E+06	4,13E+13	0,0016	4,264901	-5,48419	-46,7781	4,730703	0,04600948
20	3,40E+06	4,10E+13	0,0017	4,351608	-5,47993	-46,4305	4,696825	0,0480527

Şekil 3.10: Toyota Yaris marka araç için ASI bileşenlerinin kısaltılmış Excel dönüşümü



Şekil 3.11: Toyota Yaris araca ait ASI diyagramı

Sonlu elemanlar analizi sonucunda Toyota Yaris marka araca ait ASI değeri 0.91 olarak ölçülmüştür. TB11 simülasyonuna göre otokorkuluğun A sınıfı çarpma şiddeti seviyesinde olduğu gözlenmiştir. H1W2-A bariyerin olması gereken A seviyesindeki çarpma şiddeti sınıfı kriterini karşıladığı görülmektedir. Yapılan hesaplar neticesinde THIV değeri 20 km/sa olarak ölçülmüştür. Bu değer 33 km/sa sınır hız değerinden düşük olduğu gözlenmiştir.

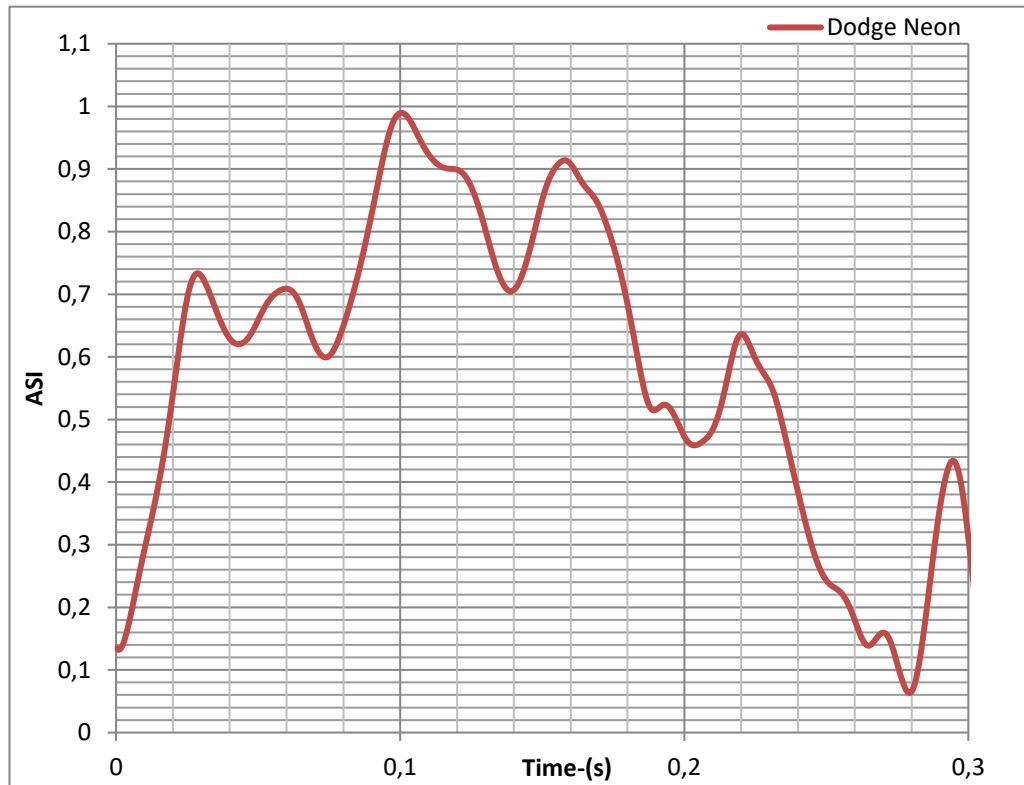
Analiz sonucunda aracın otokorkuluğu terk ettiği sıradaki çıkış açısı 10° olarak ölçülmüştür. Otokorkuluğun çalışma genişliği 0,59 m olarak hesaplanmış olup bu değer 0,80 m'den küçük olduğu gözlenmiştir. Buna göre otokorkuluk W2 çalışma genişliği sınıfını sağlamaktadır.

3.3.3. Dodge Neon Verileri

Dodge Neon marka araçla gerçekleştirilen çarpışma testine ait ivme değerleri Ls-Prepost üzerinden alınıp Excel dosyasına aktarılmıştır (Şekil 3.12). Bu değerler Şekil 3.13'teki gibi grafik haline getirilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dodge Neon							
2	time	700002	time	X accel	Y accel	Z accel	ASI	ASI-neon
3	0.000000	4,56E+13	#DEĞER!	4,324447	5,573872	11,52145	1,356784	0,13567835
4	1,98E+05	4,53E+13	9,91E-05	4,042961	5,374491	11,62609	1,349733	0,13497326
5	3,96E+05	4,50E+13	0,000199	3,761172	5,175206	11,73035	1,343466	0,13434658
6	5,99E+05	4,48E+13	0,000299	3,479099	4,976028	11,83419	1,337993	0,13379934
7	7,97E+05	4,45E+13	0,000399	3,196757	4,77697	11,93761	1,333324	0,13333241
8	9,96E+05	4,42E+13	0,000499	2,914164	4,578046	12,04058	1,329465	0,1329465
9	1,20E+06	4,40E+13	0,000599	2,631337	4,379269	12,14309	1,326422	0,13264217
10	1,40E+06	4,37E+13	0,0007	2,348293	4,180651	12,24512	1,324198	0,13241981
11	1,60E+06	4,34E+13	0,0008	2,06505	3,982206	12,34665	1,322796	0,1322796
12	1,80E+06	4,32E+13	0,0009	1,781623	3,783945	12,44766	1,322216	0,13222157
13	2,00E+06	4,29E+13	0,001	1,498028	3,585881	12,54814	1,322456	0,13224559
14	2,20E+06	4,26E+13	0,0011	1,214282	3,388023	12,64806	1,323513	0,13235132
15	2,40E+06	4,23E+13	0,0012	0,930402	3,190385	12,74742	1,325382	0,13253824
16	2,60E+06	4,21E+13	0,001299	0,646401	2,992975	12,84618	1,328057	0,1328057
17	2,80E+06	4,18E+13	0,001399	0,362294	2,795805	12,94433	1,331529	0,13315285
18	3,00E+06	4,15E+13	0,001499	0,078096	2,598888	13,04185	1,335787	0,1335787
19	3,20E+06	4,13E+13	0,001599	-0,20618	2,402236	13,13873	1,340821	0,1340821
20	3,40E+06	4,10E+13	0,001699	-0,49052	2,205861	13,23494	1,346618	0,13466181

Şekil 3.12: Dodge Neon marka araç için ASI bileşenlerinin kısaltılmış Excel dönüşümü



Şekil 3.13: Dodge Neon araca ait ASI diyagramı

Sonlu elemanlar analizi sonucunda Dodge Neon marka araca ait ASI değeri 0.98 olarak ölçülmüştür. TB11 simülasyonuna göre otokorkuluğun A sınıfı çarpma şiddeti seviyesinde olduğu gözlenmiştir. H1W2-A bariyerin olması gereken A seviyesindeki çarpma şiddeti sınıfı kriterini karşıladığı görülmektedir. Yapılan hesaplar neticesinde THIV değeri 22 km/sa olarak ölçülmüştür. Bu değerin 33 km/sa sınır hız değerinden düşük olduğu gözlenmiştir.

Analiz sonucunda aracın otokorkuluğu terk ettiği sıradaki çıkış açısı 12° olarak ölçülmüştür. Otokorkuluğun çalışma genişliği 0,63 m olarak hesaplanmış olup bu değerin 0,80 m'den küçük olduğu gözlenmiştir. Buna göre otokorkuluk W2 çalışma genişliği sınıfını sağlamaktadır.

3.3.4. Honda Accord Verileri

Honda Accord marka araçla gerçekleştirilen çarpışma testine ait ivme değerleri Ls-Prepost üzerinden alınıp Excel dosyasına aktarılmıştır (Şekil 3.14). Bu değerler Şekil 3.15'teki gibi grafik haline getirilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Honda Accord							
2	time	700002	time	X accel	Y accel	Z accel	ASI	ASI-accord
3	0.000000	4,56E+13	#DEĞER!	65,41227	71,39898	-54,3107	11,05197	0,00812436
4	1,98E+05	4,53E+13	9,95E-05	65,49557	70,78053	-53,5883	10,97073	0,01616276
5	3,96E+05	4,50E+13	0,0002	65,58075	70,16571	-52,8698	10,89034	0,02411517
6	5,99E+05	4,48E+13	0,0003	65,66763	69,55458	-52,1549	10,81082	0,03198183
7	7,97E+05	4,45E+13	0,000399	65,756	68,94718	-51,4437	10,73215	0,03976279
8	9,96E+05	4,42E+13	0,0005	65,84567	68,34357	-50,7362	10,65434	0,04745823
9	1,20E+06	4,40E+13	0,0006	65,93644	67,7438	-50,0323	10,57739	0,05506835
10	1,40E+06	4,37E+13	0,0007	66,02811	67,14794	-49,3321	10,50129	0,06259345
11	1,60E+06	4,34E+13	0,000799	66,12048	66,55602	-48,6354	10,42604	0,07003368
12	1,80E+06	4,32E+13	0,0009	66,21338	65,96809	-47,9423	10,35164	0,07738919
13	2,00E+06	4,29E+13	0,001	66,30662	65,38423	-47,2528	10,27808	0,08466021
14	2,20E+06	4,26E+13	0,0011	66,40002	64,80447	-46,5668	10,20537	0,0918469
15	2,40E+06	4,23E+13	0,0012	66,49345	64,22887	-45,8843	10,1335	0,09894942
16	2,60E+06	4,21E+13	0,0013	66,58673	63,65748	-45,2053	10,06248	0,10596799
17	2,80E+06	4,18E+13	0,0014	66,67972	63,09036	-44,5297	9,992292	0,11290283
18	3,00E+06	4,15E+13	0,001499	66,77228	62,52754	-43,8577	9,922944	0,11975418
19	3,20E+06	4,13E+13	0,0016	66,86427	61,96908	-43,189	9,854431	0,12652233
20	3,40E+06	4,10E+13	0,0017	66,95554	61,41502	-42,5238	9,786749	0,13320755

Şekil 3.14: Honda Accord marka araç için ASI bileşenlerinin kısaltılmış Excel dönüşümü



Şekil 3.15: Honda Accord araca ait ASI diyagramı

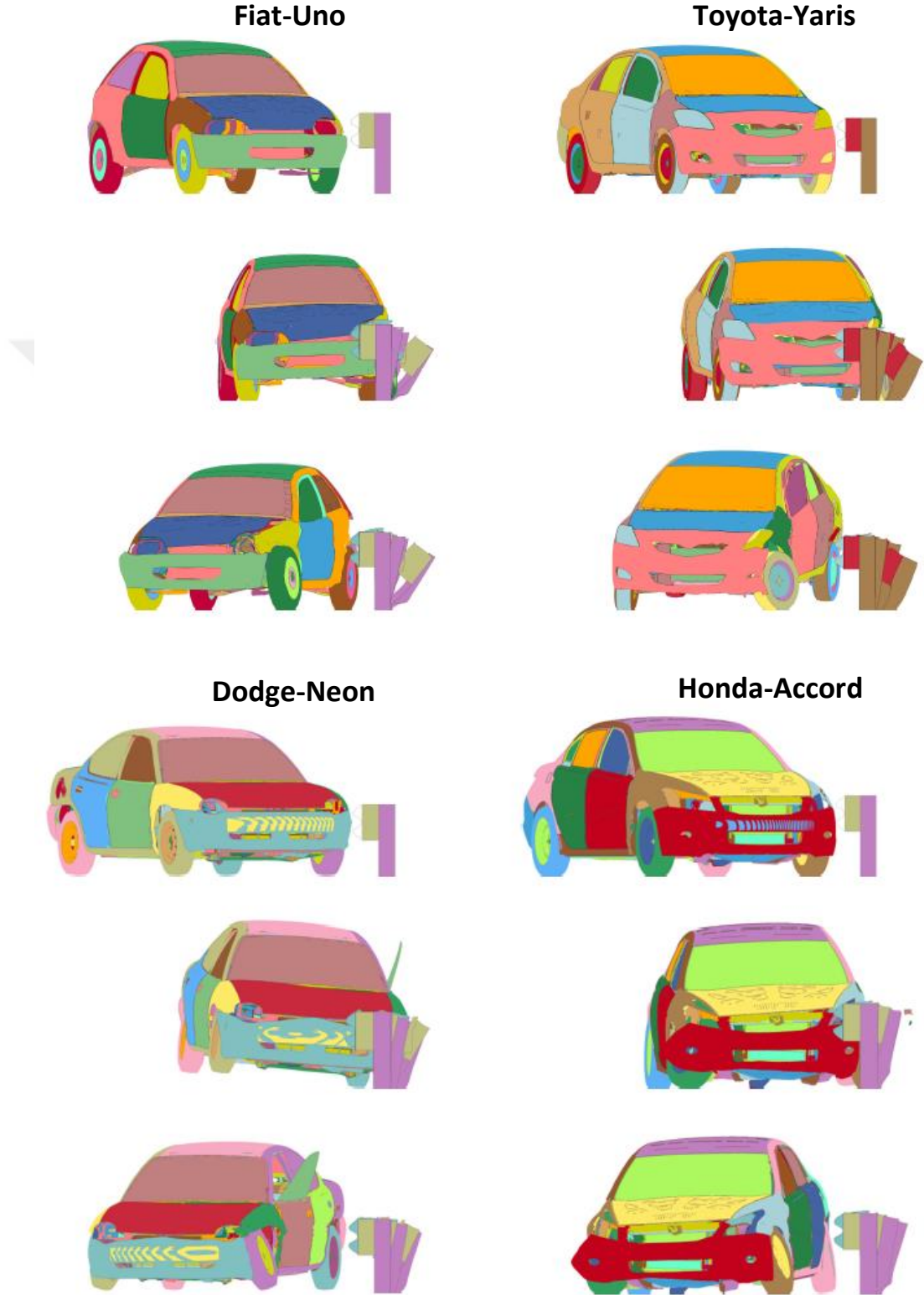
Sonlu elemanlar analizi sonucunda Honda Accord marka araca ait ASI değeri 0.78 olarak ölçülmüştür. TB11 simülasyonuna göre otokorkuluğun A sınıfı çarpma şiddeti seviyesinde olduğu gözlenmiştir. H1W2-A bariyerin olması gereken A seviyesindeki çarpma şiddeti sınıfı kriterini karşıladığı görülmektedir. Yapılan hesaplar neticesinde THIV değeri 17 km/sa olarak ölçülmüştür. Bu değerin 33 km/sa sınır hız değerinden düşük olduğu gözlenmiştir.

Analiz sonucunda aracın otokorkuluğu terk ettiği sıradaki çıkış açısı 8° olarak ölçülmüştür. Otokorkuluğun çalışma genişliği 0,51 m olarak hesaplanmış olup bu değerin 0,80 m'den küçük olduğu gözlenmiştir. Buna göre otokorkuluk W2 çalışma genişliği sınıfını sağlamaktadır.

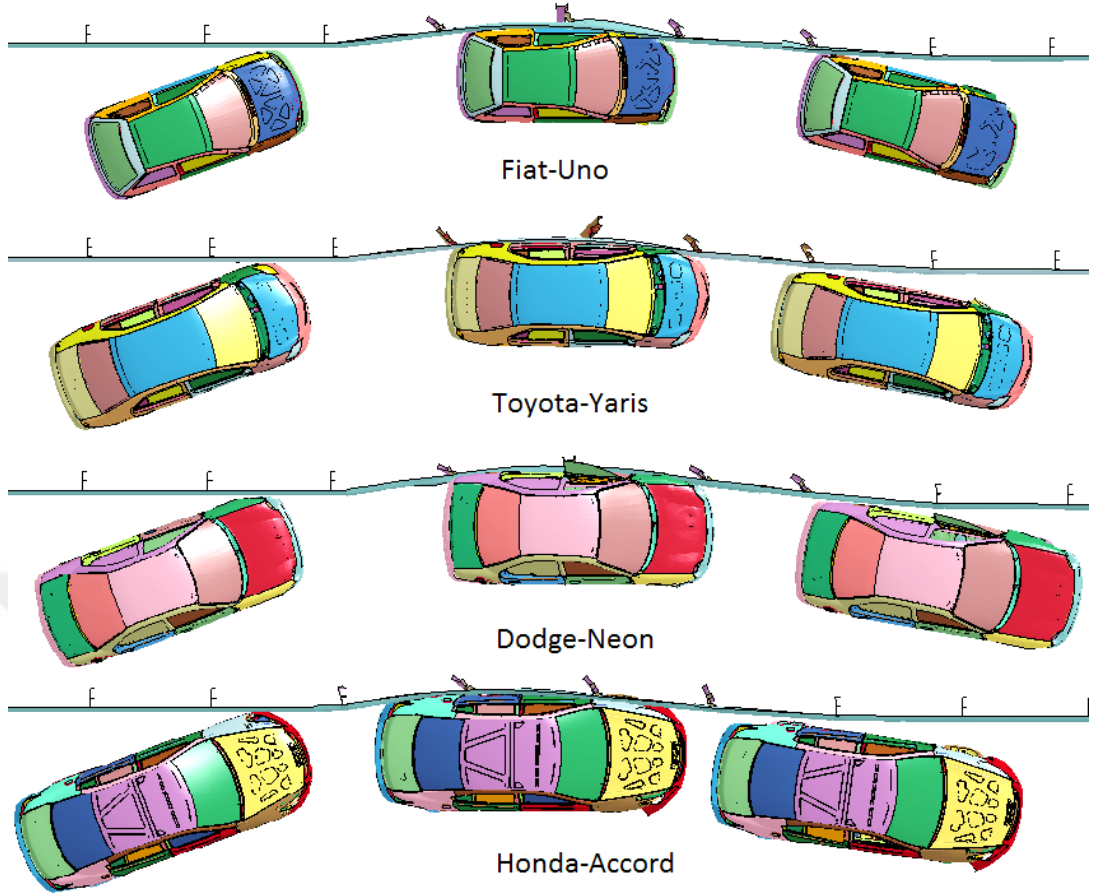
3.4. Sonlu Elemanlar Analizlerinin Karşılaştırılması

Çalışmada araştırılan araç özelliklerine dair ASI ve diğer parametreler göz önünde bulundurularak iyi bir değerlendirme yapılabilmesi için sonlu eleman analizi verilerinin kalitatif ve nicel olarak kıyaslanması gerekmektedir. Kalitatif karşılaştırma

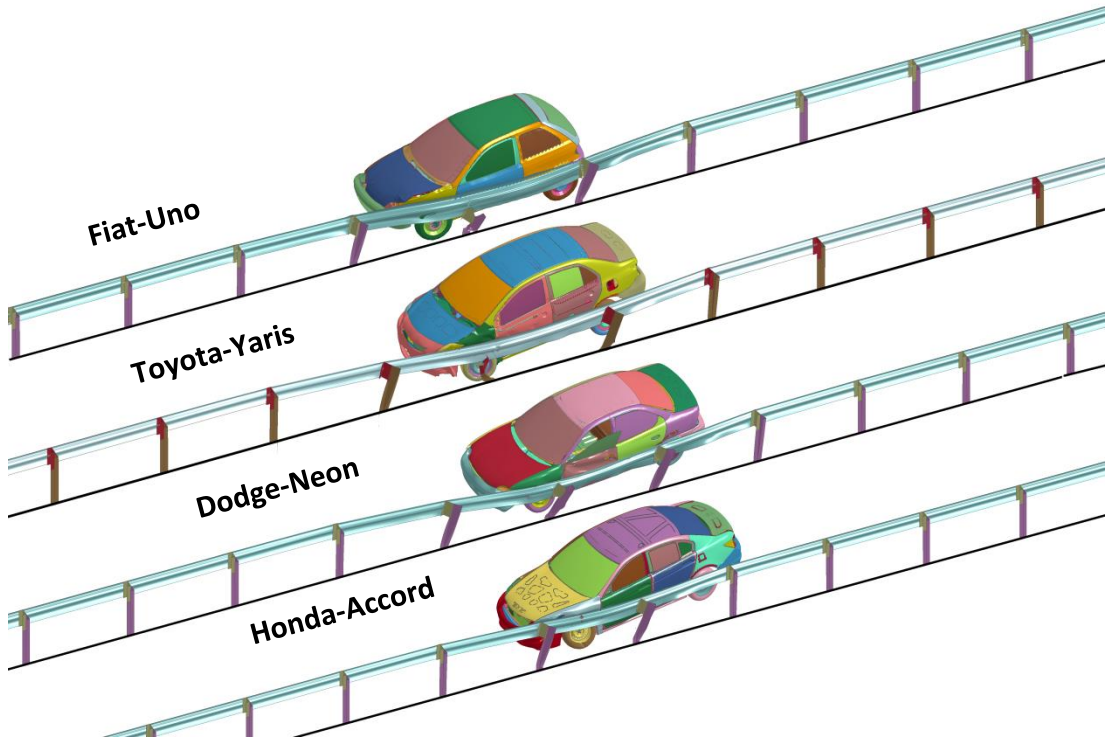
için çarpışma testlerine dair Şekil 3.16’da ön cephe, Şekil 3.17’de üst cephe ve Şekil 3.18’de perspektif görünümeler gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Araç çarpışma testi simülasyonlarına ait ön cephe görünümelerinin karşılaştırılması



Şekil 3.17: Araç çarpışma testi simülasyonlarına ait üst cephe görünümünün karşılaştırılması



Şekil 3.18: Araç çarpışma testi simülasyonlarına ait perspektif görünümünün karşılaştırılması

Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'deki görseller, araçların otokorkuluğun aynı noktasına çarptırılmasına rağmen bariyerde oluşan deformasyonların kullanılan araca göre değiştiğini göstermektedir. Fiat Uno ve Toyota Yaris marka araçlarla gerçekleştirilen çarpışma testlerinde 4 adet dikmenin bariz bir şekilde tahrip olduğu, tahrip olan 4 dikmeden birisinin takozla beraber raydan ayrıldığı gözlenmiştir. Dodge Neon marka aracın kullanıldığı çarpışma testinde 4, Honda Accord marka aracın kullanıldığı çarpışma testinde ise 3 adet dikmenin tahrip olduğu görülmüştür. Bu iki çarpışma testinde de dikmelerin tahribat boyutunun kalitatif anlamda önceki iki aracın kullanıldığı testlere nazaran daha az olduğu ve raydan kopmaların söz konusu olmadığı görülmüştür. Çarpışma testleri kalitatif olarak incelendiğinde bariyeri en çok tahrip eden aracın Fiat Uno, en az tahrip eden aracın ise Honda Accord marka araç olduğu gözlemlenmiştir.

Araçlara ait çarpışma testlerinden elde edilen ASI, THIV, çıkış açısı ve çalışma genişliği parametreleri esas alınarak yapılan nicel karşılaştırma Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2: Araç cinsine göre güvenlik ve performans değerlerinin karşılaştırılması

Araç cinsi	ASI	THIV (km/sa)	Çıkış açısı (α) (°)	Çalışma genişliği (W) (m)
<i>Fiat Uno</i>	1,02	23	11	0,67
<i>Toyota Yaris</i>	0,91	20	10	0,59
<i>Dodge Neon</i>	0,98	22	12	0,63
<i>Honda Accord</i>	0,78	17	8	0,51
<i>RAE(%)*</i>	+31	+35	+50	+31

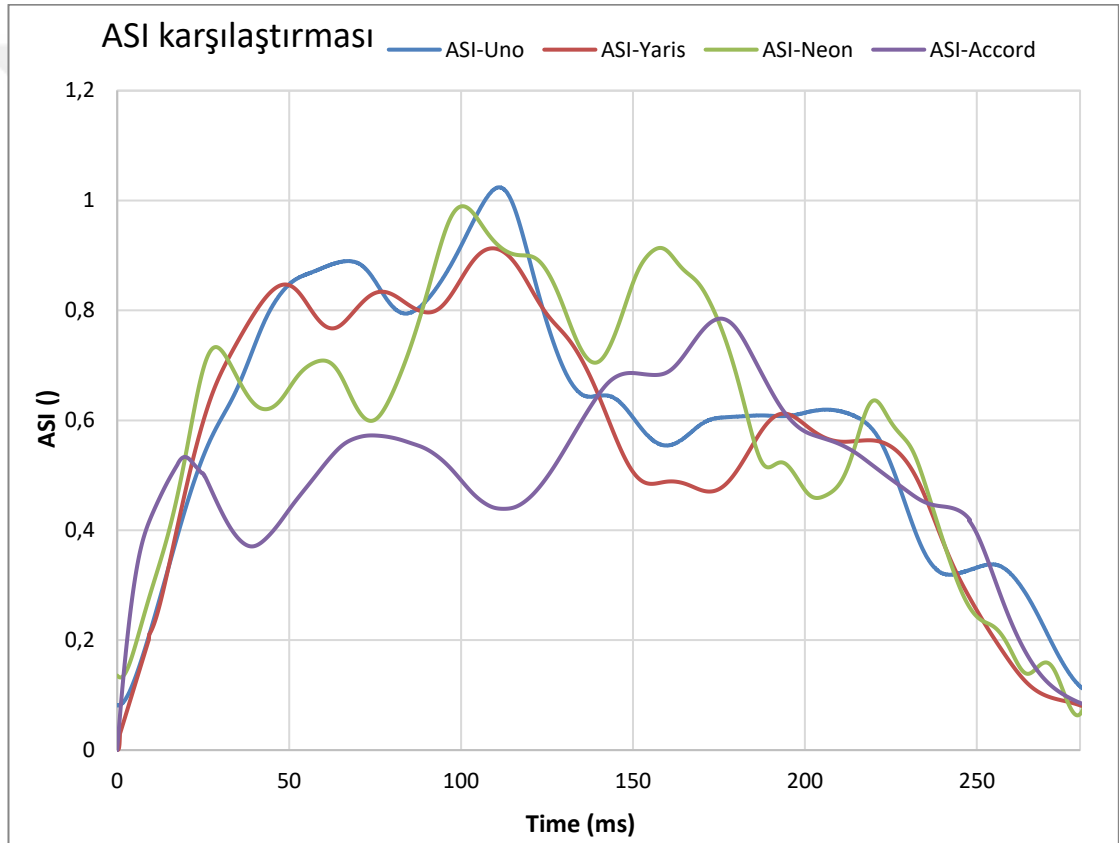
*En küçük değerler referans alınıp maksimum farklar dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.2'deki veriler dikkate alındığında hesaplanan ASI değerleri arasında önemli ölçüde farklılıkların bulunduğu görülmektedir. Toyota Yaris, Dodge Neon ve Honda Accord marka araçlarla yapılan çarpışma testlerinde bariyerin çarpma şiddeti sınıfı A olarak belirlenirken Fiat Uno araçla yapılan çarpışma testinde ise B çarpma şiddeti sınıfı kaydedilmiş olup bariyerin bu kriterin sağlanması hususunda yetersiz olduğu görülmüştür.

ASI değerlerini karşılaştırırken dikkat edilmesi gereken bir diğer çarpıcı bir nokta da Fiat Uno ve Honda Accord marka araçlar için kaydedilen ASI değerleri arasındaki farkın boyutudur. ASI değeri Fiat Uno marka araç için 1.02 iken Honda

Accord için 0.78 mertebesindedir. Fiat Uno araca ait ASI değeri, Honda Accord için ölçülen değerden Honda Accord'a göre %31 oranında fazladır. Aynı ağırlığa sahip araçlarla yapılan testlerden elde edilen sonuçların bu denli farklı olması, çalışmanın haklılığını ortaya koymaktadır.

ASI hesaplanma kriterlerinin yetersizliğinin araştırıldığı bu çalışmada TB11 sonlu elemanlar araç çarpışma testi analizleri sonucunda elde edilen ASI diyagramlarının karşılaştırılması da çalışmanın verimliliği açısından elverişli olacaktır. Çarpışma testlerinde kullanılan araçlara ait ASI diyagramları Şekil 3.19'daki gibi karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.19: ASI diyagramlarının karşılaştırması

Şekil 3.19 incelendiğinde ASI diyagramlarının araç cinsine göre farklılaştığı görülmektedir. ASI değerleri farklı anlarda yükselip azalmaktadır. Fiat Uno, Toyota Yaris ve Dodge Neon marka araçlar 100-120 ms aralığında pik değerine ulaşırken Honda Accord marka araçta ait ASI değerleri bu aralıkta azalış eğilimi göstermektedir. 150-180 ms saniye aralığında Dodge Neon ve Honda Accord marka araçlara ait ASI değerleri yükseliş gösterirken Fiat Uno ve Toyota Yaris marka araçların ASI değerleri azalmaktadır.

Çizelge 3.2'deki veriler göz önüne alındığında THIV, çalışma genişliği ve çıkış açısı değerleri açısından da araç cinsine göre farklılıklar mevcuttur. Tablodaki her bir parametreye göre en küçük değer referans alınıp maksimum farkların dikkate alındığı karşılaştırmada THIV için bağıl mutlak hata oranı +%35, çalışma genişliği için +%31, çıkış açısı için ise +%50 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, çarpışma testlerinde aynı ağırlıktaki araçların kullanılmış olması düşünüldüğünde söz konusu kriterler için ciddi farklar teşkil etmektedir.

Dört araç için yapılan TB11 sonlu elemanlar çarpışma testi analizi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde hem kalitatif olarak hem de nicel anlamda bariyeri en güvenli kılan araç Honda Accord olmuştur. Bariyeri en çok tahrip eden ve bariyerin en güvensiz kaldığı araç cinsi ise Fiat Uno'dur. Bu durum yapılan çalışma için tutarlılık oluşturmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada EN 1317 standardının TB11 çarpışma testi için güvenlik parametrelerinin belirlenmesinde esas aldığı ölçütlerin yeterliliği araştırılmıştır. EN 1317 standardında güvenlik parametreleri hesaplanırken TB11 testi için yalnızca 900 kg ağırlık kriterinin tanımlanmasının yetersiz olduğu, tam ölçekli çarpışma testlerini içeren önceki çalışmalarla anlaşılmaktadır. Deneysel çalışmalarda ortaya çıkan bu yetersizliğin sonlu eleman analizleriyle desteklenerek detaylı olarak ele alınması bu çalışmada amaçlanmıştır.

Sonlu eleman analizlerinde farklı yükseklik, uzunluk, genişlik, ağırlık değerlerine sahip 4 farklı araç (Fiat Uno, Toyota Yaris, Dodge Neon ve Honda Accord) ve H1W2-A türü otokorkuluk kullanılmıştır. İlk olarak önceki çalışmalarda Fiat Uno ve H1W2-A türü bariyerin kullanıldığı TB11 tam ölçekli çarpışma testi verileriyle LS-DYNA sonlu elemanlar programında oluşturulan TB11 simülasyon sonuçları karşılaştırılıp sonlu elemanlar modelinin kalibrasyon ve doğrulaması yapılmıştır. Doğrulaması gerçekleştirilen TB11 sonlu elemanlar modeli, 900 kg ağırlık değerine ayarlanan diğer araçlarla da uygulanmıştır.

Sonlu elemanlar analizi sonucunda hazırlanan TB11 sonlu elemanlar çarpışma senaryosunun tutarlılığını göstermek amacıyla ASI değeri ile beraber THIV, çıkış açısı ve çalışma genişliği gibi parametreler hesaplanmıştır. Hesaplanan parametre değerlerine göre bariyerin en güvensiz olduğu seçenek Fiat Uno ile yapılan çarpışma testi iken bariyeri en güvenli kılan seçeneğin Honda Accord marka araç ile yapılan çarpışma testi olduğu gözlenmiştir. Bu iki araçla yapılan test sonuçlarında ASI değerleri arasında %31 oranında farkın olduğu saptanmıştır. Aynı ağırlığa sahip araçların kullanıldığı testlerden çarpma şiddeti seviyesini değiştirebilecek kadar farklı ASI değerlerinin hesaplanması, araç cinsine bağlı olarak

araç uzunluğu, genişliği, yüksekliği, şasi ve gövde tipi gibi boyut kriterlerinin ASI hesabında etkili olduğunu göstermektedir.

Çalışma kapsamında ASI değeri üzerindeki etkileri araştırılan dört araca ait araç uzunluğu, genişliği, yüksekliği, şasi ve gövde tipi gibi faktörler ile bu araçlara ait ASI değerleri Çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4.1: ASI hesabına etkileri araştırılan parametreler ile araçların karşılaştırılması

Araç Markası	Yükseklik (mm)	Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)	Toplam Boyut (mm)	Şasi ve Gövde Tipi	ASI
<i>Fiat Uno</i>	1420	1580	3750	6750	2 kapılı Hatchback	1,02
<i>Dodge Neon</i>	1370	1710	4355	7435	4 kapılı Sedan	0,98
<i>Toyota Yaris</i>	1465	1695	4300	7460	4 kapılı Sedan	0,91
<i>Honda Accord</i>	1460	1845	4945	8250	4 kapılı Sedan	0,78

Çizelge 4.1'e göre şasi ve gövde tipi 2 kapılı Hatchback olan tek araç Fiat Uno, 1,02 ile ASI değeri en yüksek olan araçtır. 4 kapılı Sedan şasi ve gövde tipine sahip diğer araçlar, Fiat Uno'ya göre daha düşük ASI değerleri kaydetmişlerdir. Buna göre 2 kapılı Hatchback araçlar ile yapılan TB11 çarpışma testlerinin ASI değeri ölçmede 4 kapılı Sedan tipi araçlara göre daha elverişsiz olduğu gözlenmiştir.

ASI değeri en yüksek olan Fiat Uno marka araç, ASI değeri en düşük olan Honda Accord'a araç boyutları esas alınarak kıyaslandığında; Fiat Uno'nun uzunluk, genişlik ve yükseklik kriterlerinin tümünde daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra araçların toplam boyutları dikkate alındığında boyut miktarı arttıkça ASI değerinin azaldığı; araç uzunluğu, genişliği ve yüksekliğini kapsayan toplam boyut miktarı ile ASI değeri arasında doğrusal olmayan ters bir orantının bulunduğu gözlenmektedir.

Çizelge 3.2 dikkate alındığında bir diğer güvenlik parametresi olan THIV değerleri arasında da önemli ölçüde farklılıkların mevcut olduğu görülmektedir. Buna göre Fiat Uno marka araca ait THIV değeri, Honda Accord'a göre %35 oranında fazladır. Ayrıca araçlara ait THIV değerleri ASI değerlerine paralel olarak değişmektedir. Bu da TB11 testinde farklı araçlar kullanmanın güvenlik parametrelerini benzer oranlarda değiştirebildiğini göstermektedir.

Çarpışma testlerinde araştırılan bir diğer parametre olan çalışma genişliği değerlerinin de yine Çizelge 3.2 esas alındığında önemli ölçüde değiştiği gözlenmektedir. Bu tabloya göre Fiat Uno'ya ait çalışma genişliği değeri Honda Accord araca göre %31 oranında fazla hesaplanmıştır. Araçlara ait çalışma genişliklerinin ASI ve THIV değerleriyle benzer ölçüde değiştiği görülmektedir. Bu da güvenlik parametreleri ve çalışma genişliği arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Test sonuçlarına göre araştırılan çıkış açısı parametresinin de Çizelge 3.2'ye bakıldığında araçlar için oldukça değişken değerler aldığı gözlenmektedir. Dodge Neon marka araca ait çıkış açısının Honda Accord'a göre %50 oranında artış gösterdiği görülmektedir. TB11 testinde farklı araçlar kullanmanın çıkış açısı parametresi göz önüne alındığında farklı sonuçlar doğurduğu anlaşılmaktadır.

4.2. Öneriler

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre EN 1317 standardı kapsamında gerçekleştirilen TB11 çarpışma testinde ASI güvenlik kriterinin belirlenmesinde araç ağırlığının yanında araç cinsine bağlı şasi-gövde tipi ile boyutsal nicelikler olan araç uzunluğu, genişliği ve yüksekliği gibi parametrelerin etkili olduğu saptanmıştır. TB11 testi ve ASI güvenlik kriteri üzerine yapılacak olan sonraki çalışmalarda ASI hesabı üzerinde etkili olduğu kanıtlanan yukarıda bahsi edilen parametrelerin dikkate alınması önemli olacaktır. TB11 çarpışma testlerinde kullanılacak olan araç seçiminin çalışma nitelikleri ve araştırılan özelliklere göre bu çalışmadaki sonuçlar dikkate alınarak yapılması önerilmektedir.

EN 1317 standardındaki ASI hesap kriterlerinin ASI değerini belirlemede yetersiz kaldığı bu çalışma ile bir kez daha görülmüştür. EN 1317 standardı ASI hesap kriterlerinin bu çalışmada etkili olduğu kanıtlanan kriterler ile araç ağırlık merkezinin konumu gibi çalışmada yer almayan diğer başka parametreler de hesaba katılarak revize edilmesi gerektiği açıktır.

Araç ve otokorkuluk tasarımlarının bu çalışmada belirlenen parametreler dikkate alınarak yapılmasının yolcu, sürücü ve yol kenar güvenliği hususunda elverişli olabileceği, çarpma şiddeti seviyesinin bu sayede azaltılabileceği, can ve mal kayıplarının azaltılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Ahmet, E., E. Bayraktarkatal ve Y. Ünsan. (2000). “Sonlu Elemanlar Metodu ve Gemi İnşaatı Sektöründeki Uygulamaları”. Türk Loydu Vakfı ve İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul.

Argyis, J.H. and S. Kelsey. (1960). “Energy Theorems and Structural Analysis”. Butterworths.

Atahan, A.O. (2001). “Yol kenar bariyerleri: İstenen performans, seçim ve güvenlik özellikleri”. Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay.

Atahan, A.O. (2009). “Niçin Beton Otokorkuluklar?”. (*TÇMB Hazır Beton Komitesi sunum metni*, 2009, İstanbul).

Atahan, A.O., A.O. Yucel and M.M. Erdem (2014). “Crash testing and evaluation of a new generation L1 containment level guardrail”. *Eng Fail Anal*, 38, 25–37.

Atahan, A.O., M. Buyuk and K. Kurucuoglu (2018). “Impact performance evaluation of a crash cushion design using finite element simulation and full-scale crash testing”. *Safety 2018*, 4(4), 48.

Atahan, A.O. (2018). “Development of a heavy containment level bridge rail for Istanbul”. *Lat Am J Solids Struct*, 15(6), e81.

Atahan, A.O., A.O. Yucel and M.M. Erdem (2014). “Crash testing and evaluation of a new generation L1 containment level guardrail”. *Eng Fail Anal*, 38, 25–37

Atahan, A.O., M. Buyuk and K. Kurucuoglu (2018). “Impact performance evaluation of a crash cushion design using finite element simulation and full-scale crash testing”. *Safety 2018*, 4(4), 48.

Atahan, A.O. (2018). “Development of a heavy containment level bridge rail for Istanbul”. *Lat Am J Solids Struct*, 15(6), e81.

AutoCAD (2014). AutoCAD Software. Mill Valley, CA, USA: Autodesk Inc.

Borkowski, W., Z. Hryciów, P. Rybak and J. Wysocki (2010). “Numerical simulation of the standard TB11 and TB32 tests for a concrete safety barrier”. *J Kones*, 17(4), 63-71.

Borkowski, W., Z. Hryciów, P. Rybak and J. Wysocki (2010). “The researches of effectiveness of road restraint systems”. *J Konbin*, 1(13), 53-64.

Borovinšek, M., M. Vesenjaj, M. Ulbin and Z. Ren. (2007). "Simulation of crash tests for high containment levels of road safety barriers". *Eng Fail Anal*, 14(8), 1711-1718.

Bruski, D. and W. Witkowski. (2018). "Numerical studies on the influence of selected construction features and road conditions on the performance of road cable barriers". *MATEC Web Conf*, 231, 01003.

Chell, J., C.E. Brandani, S. Frascetti, J. Chakraverty and V. Camomilla. (2019). "Limitations of the European barrier crash testing regulation relating to occupant safety". *Accid Anal Prev*, 133, 105239.

Clough, R.W. (1960). "The Finite Element in Plane Stress Analysis". *Proc 2nd A.S.C.E. Conf on Electronic Computation*, p.345-378, Pittsburgh.

Courant, R. (1943). "Variational Methods for the Solution of Problems of Equilibrium and Vibrations". *Bull Amer Math Soc*, 49, 1-23.

Çayıroğlu, İbrahim. (2021). "Bilgisayar Destekli Tasarım ve Analiz (CAD) Ders Notları". Karabük Üniversitesi, Karabük.

Don Ho. (2021). Notepad++. In: What is Notepad++. Retrieved 27 Dec 2021 from <https://notepad-plus-plus.org/>.

Hrennikof, A. (1941). "Solution of Problems in Elasticity by the Framework method". *Journal of Applied Mechanics*, A8, 169-175.

KGM (2021). "Trafik Kazaları Özeti 2020". Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

Kurtay, Teoman. (1980). "Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş Ders Notları". İTÜ Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

Logan, Daryl L. (2007). "A First Course in the Finite Element Method (Fourth Edition). London: Thomson Learning.

Long, K., Z. Gao, Q. Yuan, W. Xiang and W. Hao. (2018). "Safety evaluation for roadside crashes by vehicle-object collision simulation". *Adv Mech Eng*, 10(10), 1-12.

LSTC (2014). "A general purpose dynamic finite element analysis program, LS-DYNA version 971 user's manual". Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California, USA.

Mariusz, P. (2016). "The Acceleration Severity Index in the impact of a vehicle against permanent road equipment support structures". *Mech Res Commun*, 77, 21-28.

McHenry, D. (1943). "A Lattice Analogy for the Solution of Plane Stress Problems". *Journal of Inst Civil Eng*, 21, 59-82.

Nakaş, Fatih. (2016). "Karayolu Güvenlik Sistemleri". (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Perşembe Seminerleri, 2016, Ankara).

Nasution, R.P., R.A. Siregar, K. Fuad and A.H. Adom. (2009). "The effect of ASI (Acceleration Severity Index) to different crash velocities". *Proc of International Conf on Applications and Design in Mechanical Eng (ICADME)*, October 11-13, 2009, Batu Ferringhi, Penang, Malaysia.

Neves, R.R., H. Fransplass, M. Langseth, L. Driemeier and M. Alves. (2018). "Performance of some basic types of road barriers subjected to the collision of a light vehicle". *J Braz Soc Mech Sci*, 40, 274.

NHTSA (2021). National Highway Traffic Safety Administration, Crash Simulation Vehicle Models, 1200 New Jersey Avenue, SE Washington, D.C. 20590, (Accessed 2021).

Niezgoda, T., W. Barnat, P. Dziwulski and A. Kiczko (2012). "Numerical modelling and simulation of road crash tests with the use of advanced CAD/CAE systems". *J Konbin*, 3(23), 95-108.

Ozcanan, S. and A.O. Atahan (2019). "RBF surrogate model and EN1317 collision safety-based optimization of two guardrails". *Struct Multidisc Optim*, 60, 343–362.

Ozcanan, S. and A.O. Atahan (2020). "Radial basis function surrogate model-based optimization of guardrail post embedment depth in different soil conditions". *P I Mech Eng D-J Aut*, 234(2-3), 739-761.

Ozcanan, S. and A.O. Atahan (2021). "Minimization of Accident Severity Index in concrete barrier designs using an ensemble of radial basis function metamodel-based optimization". *Optim Eng*, 22, 485–519.

Pachocki, L. and K. Wilde. (2018). "Numerical simulation of the influence of the selected factors on the performance of a concrete road barrier H2/W5/B". *MATEC Web Conf*, 231, 01014.

Ren, Z. and M. Vesenjak. (2005). "Computational and experimental crash analysis of the road safety barrier". *Eng Fail Anal*, 12(6), 963–973.

ROBUST (2004). "ROB/VN2-01/886 and ROB/VN2-02/887 ROBUST Interlaboratories Test Reports". *LIER*, France.

Sturt, R. and C. Fell, (2009). "The relationship of injury risk to accident severity in impacts with roadside barriers". *Int J Crashworthines*, 14(2), 165-172.

TÇMB (2011). "Beton Bariyerler (Otokorkuluklar)". Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

Temel F. ve H. Özcebe. (2006). "Türkiye'de Karayollarında Trafik Kazaları". *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 15(11), 197.

Teng, T.L., C.C. Liang and T.T. Tran. (2015). "Effect of various W-beam guardrail post spacings and rail heights on safety performance". *Adv Mech Eng*, 7(11), 1-16.

Teng, T.L., C.C. Liang, C.C. Hsu, C.Y. Shih and T.T. Tran. (2016). "Impact performance of W-beam guardrail supported by different shaped posts". *Int J Mech Eng*, 4(2), 59-64.

Topçu, Ahmet. (2015). "Sonlu Elemanlar Metodu Ders Notları". Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

TRANSPOLIS SAS. (2021). “Partial test report of H1W2-A guardrails systems (failed)”. No:P_20049, (2021a), Béligneux, France.

TRANSPOLIS SAS. (2021). “Partial test report of H1W2-A guardrails systems (passed)”. No:P_21080, (2021b), Béligneux, France.

Turner, M.J., E.H. Dill, H.C. Martin and R.J. Melosh. (1960). “Large Deflections of Structures Subjected to Heating and External Loads” *J Aeron Sci*, 27, 97-107.

Türk Standartları Enstitüsü (2011). “TS EN 1317-1, Yol Güvenlik Sistemleri – Bölüm 1: Terminoloji ve Deney Yöntemleri için Genel Kriterler”.

Türk Standartları Enstitüsü (2011). “TS EN 1317-2, Yol Güvenlik Sistemleri – Bölüm 2: Taşıt Parapetleri Dahil Güvenlik Bariyerleri için Performans Sınıfları, Çarpma Deneyi Kabul Kriterleri ve Deney Yöntemleri”.

WHO (2002). “WHO Injury Chart Book: Department of Injuries and Violence Prevention Noncommunicable Diseases and Mental Health Cluster”. World Health Organization, Geneva.

WHO (2019). “World health statistics 2019: Monitoring health for the SDGs, sustainable development goals”. World Health Organization, Geneva.

Wilde, K., S. Burzynski, D. Bruski, J. Chróścielewski and W. Witkowski. (2017). “TB11 test for short W-beam road barrier”. *11th European LS-DYNA Conference*, Salzburg.

Wilde, K., A. Tilsen, S. Burzynski and W. Witkowski. (2019). “On estimation of occupant safety in vehicular crashes into roadside obstacles using nonlinear dynamic analysis”. *MATEC Web Conf*, 285, 00022.

Zienkiewicz, O.C. ve Y.K Cheung. (1967). *The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics*, New York: McGraw-Hill.