

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOBÜS KONSTRÜKSİYONLARINDA MUKAVEMET ARTTIRICI
TAKVİYE MALZEME KULLANIMININ KALİTE VE GÜVENLİK
STANDARTLARINA UYGUNLUĞUNUN TESPİTİ

Emre BAŞTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
İmal Usulleri Programı

Danışman
Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

Haziran, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOBÜS KONSTRÜKSİYONLARINDA MUKAVEMET ARTTIRICI
TAKVİYE MALZEME KULLANIMININ KALİTE VE GÜVENLİK
STANDARTLARINA UYGUNLUĞUNUN TESPİTİ**

Emre BAŞTÜRK tarafından hazırlanan tez çalışması tarihinde
aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine
Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ**
olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Anıl Akdoğan
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Binnur SAĞBAŞ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye Alen Murat KUYUMCU, Üye

Beykent Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Otobüs Konstrüksiyonlarında Mukavemet Arttırıcı Takviye Malzeme Kullanımının Kalite ve Güvenlik Standartlarına Uygunluğunun Tespiti” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Emre BAŞTÜRK

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca gerekli yardımı esirgemeyen ve beni her zaman cesaretlendiren danışman hocam sayın Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN' a, bu süreçte test ve deney çalışmalarımızda verdikleri desteklerden dolayı Mercedes Benz Türk ailesine, bilgi ve tecrübe desteği konusunda desteklerini esirgemeyen Sayın Behiç ÖZTÜRK ve Müjdat KAYA' ya sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca bana her zaman destek olan aileme yine teşekkürü borç bilirim.

Emre BAŞTÜRK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Tezin Amacı	15
1.3 Hipotez	15
2 ECE-R66 REGÜLASYONU	16
2.1 Araç ağırlık noktasının Belirlenmesi	21
2.2 Tüm aracın devrilme testi	23
2.3 Yapı Parçaları Üzerine Devrilme Testi	26
2.4 Yapı Parçaları Üzerine Yarı statik Gerilim Testi	29
2.5 Devrilme Testinin Bilgisayar Benzetimi	31
3 KOMPOZİT MALZEME	33
3.1 Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemeler (FRP)	35
3.1.1 Karbon Lif	35
3.1.2 Matris.....	35
3.1.3 FRP Farklı Uygulamaları	36
4 ÇÖZÜM BELİRLEME	38
4.1 Test ve Deneysel Çalışmalar	39
4.1.1 M16 Soğuk Şekillendirilmiş Çelik.....	40
4.1.2 Üç Nokta Büküm Testi.....	40
4.1.3 Tek Yönlü Lifli Polimer Kumaş FIB	41
4.2 Kataforez Kaplama (KTL)	43

4.3 Numune Belirleme ve Sınıflandırma.....	44
4.3.1 FRP LAM (Laminate) Malzeme.....	48
4.3.2 Uygulama.....	50
4.4 Devrilme Testi.....	54
4.4.1 Test 1.....	64
4.4.2 Test 2.....	66
4.4.3 Test 3.....	68
4.4.4 Test 4.....	69
4.4.5 Test 5.....	72
4.5.6 Test 6.....	74
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKÇA	79
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	82

SİMGE LİSTESİ

B:	Aracın boyuna simetri eksenine dönme eksenine arasındaki mesafe (m)
t:	Aracın ağırlık merkezi ile boyuna simetri eksenine mesafesi (m)
m:	Araç kütlesi (kg)
Δh :	Ağırlık merkezinin değıştirmesi
T:	Aynı akstaki tekerlerin orta noktaları arasındaki mesafedir
Re:	Akma mukavemeti (N/mm ²)
A:	Alan
ω :	Açısal hız
ϵ :	Birim uzama
E:	Enerji (J)
Σe :	Eğilme momenti
Me:	Eğme momenti
Ee:	Elastisite modülü
F:	Kuvvet
P:	Kuvveti bulunduğu akstaki tekere düşen kuvveti tanımlar
M:	Kesitteki her bölmenin kütlesidir
Rm:	Kopma Mukavemeti (N/mm ²)
δ :	sehim miktarı
g:	Yerçekimi ivmesi (m/s ²)

KISALTMA LİSTESİ

AB:	Avrupa Birliği
AIS-031:	The Strength of Superstructure of Large Passenger Vehicles
ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
BM:	Birleşmiş Milletler
ECE-R:	Economic Commision for Europe – Regulation
FEM:	Finite Element Method
FIB:	Carbon Fibre Sheet
FRP:	Fiber Reinforced Polymer
KGM:	Karayolları Genel Müdürlüğü
KTL:	Kataforez Kaplama
TSE:	Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK:	Türkiye İstatistik Kurumu
LAM:	Laminate
MÖ:	Milattan Önce
MS:	Milattan Sonra
NHTSA:	National Highway Traffic Safety Administration
UNECE:	United Nations Economic Commision for Europe

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1 Btla Barkny'i'nin Patenti.....	3
Şekil 1. 2 Benz-Omnibus.....	7
Şekil 1. 3 Mercedes-Benz Turismo 2019	8
Şekil 1. 4 Ulaşım Türlerine göre Yurtiçi Yük-Yolcu Taşıma Oranları	9
Şekil 1. 5 Devrilen otobüs.....	14
Şekil 2. 1 Mercedes Benz markasına ait M3 sınıfı Turismo modeli otobüs	17
Şekil 2. 2 Mercedes-Benz O303 model otobüs devrilme testi	18
Şekil 2. 3 Devrilme testi için araç ağırlık merkezi konumları	20
Şekil 2. 4 Yaşam alanı	20
Şekil 2. 5 M sembolü ağırlık merkezi, P sembolü akstaki tekere düşen kuvvet...22	
Şekil 2. 6 Araçta bulunan kuvvet bölgeleri ve mesafelerin gösterimi	22
Şekil 2. 7 Araç Ağırlık Noktasının Belirlenmesi	23
Şekil 2. 8 Test Öncesi Araç Dışı Hazırlık	24
Şekil 2. 9 Test Öncesi Araç İçi Hazırlık	24
Şekil 2. 10 Yolcu Ağırlığının Belirlenmesi için Örnek Ölçüler	25
Şekil 2. 11 Devrilme Düzeneği ve Lastik Konumu	25
Şekil 2. 12 Test odak bölgesi	26
Şekil 2. 13 Otobüs karoserisi genel yapısı ve ayrıntılı gösterimi.....	27
Şekil 2. 14 Otobüs karoserisi genel yapısı ve ayrıntılı gösterimi.....	27
Şekil 2. 15 Araç kesiti üzerindeki kütle dağılımı gösterilmektedir	29
Şekil 2. 16 Devrilme açısı ve uygulanacak kuvvetin için etkili parametreler	30
Şekil 2. 17 Enerji absorbe grafiği	31
Şekil 2. 18 Setra Model 516 HD Otobüs	32
Şekil 2. 19 Hesaplama modeli çıkarılan Setra S 516 HD model otobüs.....	32
Şekil 3. 1 Kompozit Malzeme Yapısı	34
Şekil 3. 2 Kırılmış karbon lif	35
Şekil 3. 3 Kolonlarda FRP sargı uygulaması	36
Şekil 3. 4 FRP malzeme uygulaması gerilme-deformasyon davranışları grafiği .36	
Şekil 3. 5 Kompozit roll bar eklenmiş ve eklenmemiş durum enerji dağılımı	37
Şekil 4. 1 Seyahat otobüsü iskelet yapısı ve model devrilme görünüm.....	38
Şekil 4. 2 Yan duvar, taşıyıcı sütun ve alternatif çözüm için hedef bölge	39
Şekil 4. 3 Üç nokta eğme deneyi düzeneği	40
Şekil 4. 4 Deney düzeneği 800 mm'lik boruların bükümü	41
Şekil 4. 5 KTL havuzuna daldırılan bir otobüs karoserisi	43
Şekil 4. 6 Test numuneleri.....	44
Şekil 4. 7 Test Düzeneği ve büküm anı	45
Şekil 4. 8 Gerilme grafiği	46
Şekil 4. 9 Test sonrası profillerin görüntüleri.....	47
Şekil 4. 10 Değerlendirilmeye alınmayan numune örnekleri.....	47
Şekil 4. 11 Laminant form gösterimi	49
Şekil 4. 12 Numuneler.....	51
Şekil 4. 13 Lam malzeme için deney düzeneği.....	52
Şekil 4. 14 Test sonrası numuneler	53
Şekil 4. 15 Lam malzeme için grafik gösterimi.....	53
Şekil 4. 16 Tezgah parçalarının ölçümü.....	55

Şekil 4. 17 Y yönünde ağırlık merkezi hesabı.....	56
Şekil 4. 18 Z yönünde ağırlık merkezi hesabı.....	56
Şekil 4. 19 Kesit üzerine eklenen ağırlık ve ağırlık merkezi	57
Şekil 4. 20 Açısal hız ve düşüş açısı hesaplama.....	58
Şekil 4. 21 LAM malzemenin uygulandığı alan	59
Şekil 4. 22 Test ve sensörlerin takip düzeneği	60
Şekil 4. 23 Test düzeneği.....	60
Şekil 4. 24 Devrilme sonrası kaynak hatası görülen bölge.....	62
Şekil 4. 25 Kaynak yırtılmaları.....	62
Şekil 4. 26 Kaynak makro	63
Şekil 4. 27 Kaynak makro	64
Şekil 4. 28 1 numaralı takviyesiz yapının devrilme testi	65
Şekil 4. 29 4 numaralı takviyeli yapının devrilme testi	70
Şekil 4. 30 5 numaralı takviyeli yapının devrilme testi	72
Şekil 4. 31 6 numaralı takviyeli yapının devrilme testi	74
Şekil 4. 32 Düzenek.....	76

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. 1	Yolcu taşımacılığındaki türel dağılım oranları.....	9
Tablo 1. 2	Avrupa ülkelerine ait motorlu kara taşıt sayıları	10
Tablo 1. 3	Oluş türlerine göre Türkiye trafik kaza bilgileri – 2020	11
Tablo 1. 4	Devrilme kazaları sonucu ölüm oranları 2014	12
Tablo 1. 5	Devrilme kazaları sonucu ölüm oranları 2018.....	12
Tablo 1. 6	Devrilme kazaları özeti	13
Tablo 1. 7	Devrilme kazaları yaralanma ve ölüm sayıları	14
Tablo 4. 1	M16 Malzeme Özellikleri	40
Tablo 4. 2	MasterBrace FIB teknik özellikler	42
Tablo 4. 3	Test Sonucu	46
Tablo 4. 4	Malzeme özellikleri.....	50
Tablo 4. 5	Test sonuçları.....	53
Tablo 4. 6	Deneme sırasında sensörler ile verilen takibi	61
Tablo 4. 7	1 numaralı takviyesiz yapının devrilme testine ait veriler	66
Tablo 4. 8	2 numaralı takviyesiz yapının devrilme testine ait veriler	67
Tablo 4. 9	3 numaralı takviyesiz yapının devrilme testine ait veriler	69
Tablo 4. 10	4 numaralı takviyeli yapının devrilme testine ait veriler	71
Tablo 4. 11	numaralı takviyeli yapının devrilme testine ait veriler	73
Tablo 4. 12	Sonuçlar	75
Tablo 4. 13	Sonuçlar	76

Otobüs Konstrüksiyonlarında Mukavemet Arttırıcı Takviye Malzeme Kullanımının Kalite ve Güvenlik Standartlarına Uygunluğunun Tespiti

Emre BAŞTÜRK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

Ulaşma ve ulaştırma eylemi insanlığın varoluşundan bu yana her zaman için önemli bir konu, bir ihtiyaç olmuştur. Toplu taşıma denilince ise yaygın olarak kullanılan otobüsler bu ihtiyaca etkili çözümler sunmaktadır. Gerek ekonomik olmaları gerekse de sundukları pratik çözümler ile dünya üzerinde en yaygın kullanılan ulaşım araçlarından biridir. Trafikteki otobüs sayısı ve yolcu sayısı arttıkça ise kaza sayılarında benzer bir artış olmuştur. Maalesef ki yine bu kazalar can kayıplarını veya ağır yaralanmaları beraberinde getirebilmektedir. Özellikle otobüs kazaları istatistikleri ve verileri incelendiğinde can kaybına yol açan en tehlikeli senaryonun devrilme durumu olduğu görülmüştür.

Bu kapsamda çeşitli komisyonlar otobüs üreticileri ve otobüs üreticileri tarafından otobüslerin güvenli bir seyahat aracı olabilmesi için çeşitli aktif veya pasif güvenlik standartları oluşturulmuştur, uygulanması zorunlu hale getirilmiştir. Bu çalışmada ise otobüslerin devrilmesi ile ilgili pasif güvenlik regülasyonu olan ve

UNECE(United Nations Economic Commision for Europe) tarafından ilk olarak 1997 yılında oluşturulan veya sonra çeşitli güncellemeler alan ECER66 (Economic Commision for Europe–Regulation66) regülasyonu incelenmiştir, en güncel versiyon olan ECR66.02 hedef alınmıştır. İlgili güvenlik standartlarını sağlamak için gerekli şartların neler olduğu, yaşam alanının korunma kavramına açıklık getirilmiştir.

Devrilme durumunda en kritik öneme sahip olan konstrüksiyon ögesi yan duvar profilleridir, devrilme anında en büyük yük bu bölgede oluşur ve yaşam alanını korunması için kalkan görevi görür. Yaşam alanı bütünlüğü korumak ve oluşan bu devrilme kuvvetini absorbe etmek için ise yan duvar profilleri kalın, ağır profillerden imal edilir. Çalışmanın yapıldığı otobüs konstrüksiyonundaki en kalın profillerde yan duvarda kullanılır ve et kalınlığı 5 mm'dir. Çalışmanın asıl amacı 5 mm kalınlığındaki bu boruları kompozit malzeme ile takviye ederek dayanım değerlerinin artırılması, başarılı olması durumunda yan duvar profillerinin kalınlığının azaltılarak 3 mm olarak inceltilmesidir.

Bu noktada öncelikle takviye malzemenin çelik profil üzerine en uygun nasıl uygulanabileceğini araştırmak adına, çeşitli parametreler belirlenerek üç nokta büküm testleri uygulanmış çelik profiller test edilmiştir. Tüm bu deneyler Mercedes Benz Türk A.Ş. Malzeme Test Laboratuvarında yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda en yüksek performansı gösteren sonuç seçilip devrilme testinde uygulanması hedeflenmiştir.

Devrilme testi yöntemi için ise “Yapı Parçaları Üzerine Yarı statik Gerilim Testi “ yöntemi seçilmiştir. Toplam 6 adet devrilme testi yapılmıştır. Devrilme testleri standartlara uygun şekilde tamamlanarak yaşam alanına etkisi incelenmiştir.

Elde edilen veriler ile takviye malzemenin devrilme testindeki mukavemet artırıcı etkisi kanıtlanmıştır. Takviye malzeme uygulanmış karoseride yaşam alanının takviyesiz çözüm ile karşılaştırıldığında daha fazla yaşam alanı yarattığı görülmüş, takviye çözüm başarıya ulaşmıştır. Başarılı sonuca rağmen test sonrası incelenen numunelerde yapıştırıcı ve bağlantı metodu kaynaklı bazı sorunlarda tespit edilmiş, bu sorunlar çözüldüğünde başarılı sonucun daha da artacağı tahmin edilmiştir. Yapıştırma metodu optimizasyonundan sonra kalın boruların takviye

edilerek inceltilebileceği ve ağırlık tasarrufu sağlayabilirken regölasyon şartlarını yerine getirebileceği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kalite, gölvenlik, tasarım, kompozit, standartlar



The Effect of Usage of Reinforcement Materials in Bus Structures According to Quality and Safety Regulations (EN)

Emre BAŞTÜRK

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Anıl AKDOĞAN

Public transportation is the most common transportation method, especially for big cities, with this method that enables people going in the same direction and same time to be transported collectively and with large vehicles. Buses, which are the first solution that comes to mind when public transportation is mentioned, offer effective solutions to this need. As the number of buses and passengers in traffic increased, there was a similar increase in the number of traffic accidents.

When the bus accident statistics and data are examined, it is seen that the most dangerous scenario that causes loss of life is the turn over situation. Active or passive safety standards have been established by commissions and bus manufacturers around the world to make buses a safe means of travel. In this study, ECER66.02, which is a passive safety regulation related to the rollover of buses and created by UNECE, has been examined. In order to protect the integrity of the living space and absorb this turn over force, the side wall profiles are

manufactured from thick profiles. The wall thickness of the side wall pillars in the bus construction where the study was carried out is 5 mm.

The main aim of the study was to research the possibility of increasing the durability values and make possible to decrease of the sidewall profile thicknesses by reinforcing these 5 mm thick tubes with composite material.

At this point, in order to determine application method of FRP material to steel rectangular tubes, various parameters were determined and three point bending tests were applied. For the rollover test method, the " Quasi-Static Calculation Based On Testing of Components as an Equivalent Approval Method" was chosen. In total, 6 rollover tests have been completed with this method.

The results which obtained after the tests showed that the reinforcement material has a strength-enhancing effect in the roll over test requirements. It has been observed that the living area creates more space when the reinforced material-applied to structure compared to the non-reinforced solution, so the FRP reinforced solution could be as succeeded. Despite the successful result, some problems due to adhesive and connection method were detected in the samples examined after the test, and it was estimated that the successful result would increase even more when these problems were resolved. It has been proven that after the optimization of the joining method, thick pipes can be reinforced and thinned and can meet the regulation requirements while saving weight.

Keywords: Quality, safety, design, composite, standards

Ulaşım, ulaşmak eylemi bir nesnenin veya kişinin bulunduğu yerden farklı bir yere aktarılmasıdır. İnsanlığın varoluşundan bu yana ulaşım her zaman insanlar için önemli bir konu ve ihtiyaç olmuştur. Tekerleğin icadı ile başlayan bu süreç günümüzde çok farklı noktalara evrilmiş ve ulaşım dediğimiz kavram günlük hayatımızın önemli bir parçası haline gelmiştir. Gelişen teknolojiler, artan nüfus, şehirleşme, çevresel faktörler gibi başlıklar sebebiyle ile de hayatımıza toplu taşıma kavramı dahil olmuştur. Aynı yöne giden insanların topluca ve büyük araçlarla taşınmasını sağlayan ulaşım sistemidir. Toplu taşıma denilince ise ilk akla gelen çözüm olan otobüsler bu ihtiyaca etkili çözümler sunmaktadır. Gerek ekonomik olmaları gerekse de sundukları pratik çözümler ile dünya üzerinde en yaygın kullanılan ulaşım araçlarından biridir.

Bu denli yaygın kullanılan bir ulaşım aracında doğal olarak çeşitli sebeplerle üzücü kazalar da gerçekleşebilmektedir. Maalesef ki yine bu kazalar can kayıplarını beraberinde getirebilmektedir. Özellikle otobüs kazaları istatistikleri ve verileri incelendiğinde can kaybına yol açan en tehlikeli senaryonun devrilme durumu olduğu görülmüştür.

Bu bağlamda otobüs üreticileri ve çeşitli komisyonlar tarafından otobüslerin güvenli bir seyahat aracı olabilmesi için çeşitli güvenlik standartları oluşturulmuştur. Bu standartlar hem kaza önleme hem de kaza durumunda oluşabilecek zararı en aza indirme konusunda araçlara onay şartı kuralları koyarak bu standartları sağlamasını ve yolcu güvenliğinin garanti altına alınmasını hedeflemektedir. Ayrıca bu standartlar günümüz şartlarına ve teknolojilerine göre sürekli kendini güncellemeye devam etmektedir.

Bu çalışmada ise devrilme durumlarına karşı pasif güvenlik sistemi olarak oluşturulan ECR-66(Economic Commision for Europe–Regulation66) regülasyonu incelenmiş ve bu regülasyonu sağlamak adına otobüs karoserisi üzerinde yenilikçi

özmler denenmiştir. Devrilme durumunda en kritik öneme sahip olan konstrüksiyon ögesi yan duvar profilleridir, devrilme anında en büyük yük bu bölgede oluşur ve yaşam alanını korunması için kalkan görevi görür. Yaşam alanı bütünlüğü korumak ve oluşan bu devrilme kuvvetini absorbe etmek için ise yan duvar profilleri kalın, ağır profillerden imal edilir. Çalışmanın yapıldığı otobüs konstrüksiyonundaki en kalın profiller yan duvarda kullanılır ve et kalınlığı 5mm'dir. Ulaşım araçlarında ağırlık her zaman önemlidir, araç ağırlığının azaltılması verimlilik için önemli bir parametredir. Ağırlık azalırken yakıt tktmi azalır, daha az karbon ayak izi oluşturulur. Bu şekilde hem ekonomik olurken hemde çevreci bir çözüm elde edilir. Çalışmanın asıl amacı 5mm kalınlığındaki bu boruları kompozit malzeme ile takviye ederek dayanım değerlerinin arttırılması, başarılı olması durumunda yan duvar profillerinin kalınlığının azaltılarak 3 mm olarak inceltilmesidir. Takviye malzeme sayesinde 3 mm profilin 5 mm'lik kalınlık varmış gibi dayanım sunması hedeflenmiştir.

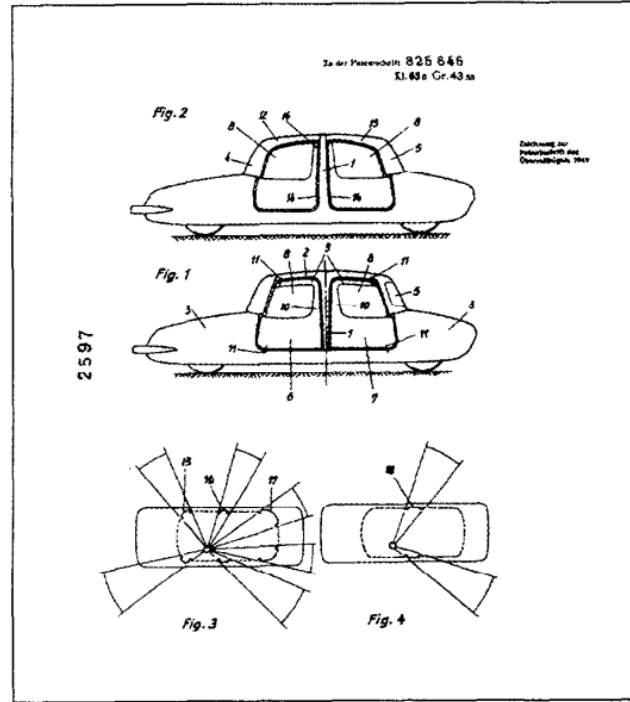
1.1 Literatür zeti

Trafik kazaları ve kaza incelemeleri dünya genelinde istatistiki olarak kayıt altına alınarak düzenli olarak yayınlanmaktadır. Bu veriler ışığında gerek üreticiler, gereksede güvenlik komisyonları bu veriler ışığında standartları güncelleme çabası içerisindedir. Yüksek kaza oranları, can ve mal kayıpları oranlarının fazla olması gibi sebeplerden dolayı araştırmacılar bu konular için araştırmalar yapmış literatüre bilgiler kazandırmıştır.

Matolcsy, 2004 yılında yayınladığı incelemede ECE-R66 düzenlemesini baz alarak kazalarda yaşam alanı korunumunun etkilerini incelemiştir. Otobüslerde devrilme kazaları aslında oldukça nadir görülen bir kaza türüdür. Macaristan'da 5 yıllık bir süre içinde (1978-1982) gerçekleşen toplam 1803 otobüs kazası arasında 22 devrilme durumu rapor edilmiştir. Bu %1,2 anlamına gelmektedir. Bu istatistikte küçük otobüsler dikkate alınmamıştır. Diğer bazı istatistiklerde bu rakamla karşılaştırıldığında ve otobüs kazalarında devrilme oranı %1-8 aralığında bulunmuştur. Fakat devrilme kazaları nadir olmasına rağmen can kaybı (kaza başına düşen kişi sayısı hesaplandığında) kaza başına 25 kişi civarındadır, ikinci en tehlikeli otobüs kaza türü olan nden çarpışma durumunda ise bu rakam 17

kişi olarak belirlenmiştir. Ölümlü ve ağır yaralanmalı karşılaştırıldığında aradaki fark daha da artığı görülür. 70'li yılların ortalarından bu yana, otobüs devrilme kazalarında yolcuların korunması, UNECE(United Nations Economic Commision for Europe) düzenleyici çalışmalarında güçlü bir otorite olmuştur. Devrilme durumunda otobüs üst yapısının gerekli mukavemetini tanımlayan bu UNECE yönetmeliği ECRR66, yalnızca büyük ve tek katlı otobüslerle ilgilidir.[1]

Macar-Avusturya doğumlu otomobil üreticisi Btla Barknyi ise, modern zamanımızın pasif güvenlik sistemi kavramının temellerini atan kişi olmuştur. Çeşitli çalışmalarıyla Daimler-Benz'e hizmet etmiştir. Pasif güvenlik kavramını 1951'de "Ön ve Arka Darbe Bölgeleri" tarihlerinde aldığı patentleriyle literatüre kazandırmıştır. Barknyi'nin ayrıca iki temel patenti ile ilgili olarak sıralama ise; Otomobiller için Rollbar (1949) ve Çok Amaçlı Güvenlik Çatısı (1955) çalışmalarıdır. Ayrıca çağımızın seçkin bir mucidi olarak ismi, Midland, Michigan'daki "Automotive Hall of Fame" duvarında yer almaktadır.[2]



Şekil 1. 1 Btla Barknyi'nin Patenti: Otomobiller için koruyucu devrilme çubukları(1949).İlk uygulaması 1967 yılında Porsche 911 Targa aracında yapılmıştır.[2]

Satrio, M. Rizka, Sandro ve Indra 2017 yılında yaptıkları çalışmada Endonezya'da toplu taşıma sektöründe otobüs ulaşımının kısa ve uzun mesafelerde önemli rol oynadığını Endonezya'daki otobüs sayısının her yıl önemli bir büyüme gösterdiğini belirtmiştir. Ancak, otobüs üreticileri için ilgili güvenlik düzenlemelerin olmaması ve artan otobüs kazalarının sayısı da büyük bir endişe kaynağı haline geldiğini ifade etmişler. Yaptıkları çalışmada, otobüs devrilmesi durumunun bilgisayar simülasyonu ile incelemesi üzerine çalışmışlardır. Otobüs karoserisi, gerçek bir otobüsteki kütle dağılımını temsil edecek şekilde modellenmiştir. Otobüs boşken ve doluyken iki ayrı durum incelenmiş. İki durum için elde edilen simülasyon sonuçları ile incelenen otobüs karoserilerinin UNECE R66 güvenlik standardına uymadığını tespit edilmiştir. Ayrıca sonuçlar, diğer araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen diğer testlerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır.[3]

Belsare, Pathak ve Kulkarni 2012 yılında yaptıkları çalışmada Hindistan Devrilme Testi standardı olan AIS-031(The Strength of Superstructure of Large Passenger Vehicles)'i kullanmıştır. AIS-031, devrilme sırasında ve sonrasında otobüslerin karoserinin dayanaklılığını hesaplamak için gereksinimleri ve yöntemleri belirleyen Ekim 2008'den beri Hindistan'da uygulanan standarttır. AIS-031, dört farklı test yöntemi içerir; komple araç üzerinde fiziksel devrilme testi, bir karoseri parçası üzerinde devrilme testi, bir karoseri kesiti üzerinde devrilme testi ve nümerik doğrulamalardan sonra sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasıdır. Yaptıkları çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak fiziksel devrilme testinin alternatif olarak kullanılabileceğini ve bu sayede zaman ve masraflardan tasarruf edilebileceğini göstermişlerdir.[4]

2011 yılında Zhang Guosheng, Xuwen Zhang, and Bin Liu yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar metodu ile birlikte tam yüklü olacak şekilde otobüs modelini oluşturmuş ve devrilme durumunun simülasyonlu testini yapmışlardır. Sonrasında ise aynı testi fiziki olarak tekrarlayıp sonuçları karşılaştırarak ECE R66 regülasyonuna göre değerlendiklerinde iki testin sonuçlarının örtüştüğünü ve her iki yönteminde ECE R66 regülasyona uygunluk açısından başarılı olduğu sonucuna varmışlardır.[5]

Seica, Michael V, ve Jeffrey A. Packer 2006 yılında yaptıkları çalışmalarda inşaat sektöründe boru şeklindeki yapıların, ekonomik ve estetik nedenlerle giderek daha popüler hale gelmesini incelemişlerdir. Ancak yapıların zamanla bozulması ve yorulma çatlaması sıklıkla rapor edilmekte olduğundan yapısal iyileştirme ve onarım önlemleri zorunlu hale gelmiştir. Fiber takviyeli Polimerler (FRP'ler) ise beton elemanların onarımı için yaygın olarak kullanılmaktaydılar, ancak çelik yapılara uygulamaları çalışmanın yapıldığı dönemde çok az olmuştu. Çalışmalarında, çeliğe uygulama ile birlikte inşaat altyapısında FRP malzemelerinin davranışı ve kullanımına ilişkin kapsamlı bir literatür taraması sunulmuştur. Bu tür malzemelerin boru şeklindeki çelik elemanları rehabilite etmeye uygunluğu ve elde edilen kompozit sistemin yapısal davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma öncelikle açık deniz endüstrisine ve su altı onarım yöntemleriyle ilgili tekniklere göre düzenlenmiştir. Tüm kompozit elemanlar gelişmiş yapısal performans sergiledikleri için güçlendirme sürecinin olumlu etkisi olmuştur; bu nedenle mevcut araştırma çalışması, boru şeklindeki çelik elemanların su altında gelişmiş kompozit malzemelerle rehabilite edilmesinin uygulanabilirliğini kanıtlamıştır.[6]

Zhao, Xiao-Ling, and Lei Zhang ise yine 2006 yılında çelik yapıları güçlendirmek için FRP'nin kullanımının, mevcut yapılarda başarılı sonuçlar vermesinden dolayı çekici bir seçenek haline gelmesini incelediler. Yaptıkları çalışmada, önceki çalışmalarda literatürde pek incelenmemiş olan, ancak hızla gelişen bazı noktaları gözden geçirdiler. Çelik ve FRP arasındaki stabiliteyi ve yorulma durumunu incelerken gelecekteki araştırma konularına yol gösterdiler. Ayrıca FRP ile güçlendirilmiş çelik malzemenin geliştirdiği mukavemet artış yeteneğini tekrardan ispatlayarak yeniden kayıt altına aldılar.[7]

2012 yılında Kang, Kyoung-Tak ve arkadaşları otobüsün devrilme emniyetinin iyileştirilmesi için kompozit bir yapısal tasarım üzerinde çalıştılar. Bu çalışma ile otobüs karoserisinde yeni bir karbon-epoksi kompozit malzeme denenmiştir. Bu yan duvara eklenen yeni devrilme önleyici borunun amacı, sertlik ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak ve kompozit bar ile güçlendirilmiş geleneksel metalik yapısal parçaları korumaktır. Bu yeni malzemenin faydaları arasında daha düşük bir ağırlık merkezi ve aracın daha düşük kütle ve yuvarlanma eylemsizlik

momentine sahip olacağı sonucuna varmışlardır. Yapıların ECE R66 ile ilgili performansı, ilk orijinal hali ve kompozit roll bar eklenmiş otobüs modelleri arasında karşılaştırılmış. Kompozit devrilme çubuğuyla güçlendirilmiş otobüs yapısının, ECE R66 tarafından belirtilen gereksinimi karşılamasının yanı sıra, hayatta kalma bölgesinin önemli bir artışı sağlamayı başardığı ispatlanmıştır.[8]

Galvez, Pedro ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptıkları araştırmada ise FRP ile çeliğin birlikte kullanımıyla konstrüksiyon kesişim bağlantılarındaki davranışının incelenmesini ve otobüs yapılarında uygulaması incelenmiştir. Son yıllarda, yapıştırıcıların yapısal uygulamalarda kullanımı artmakta ve bu teknolojinin hem havacılık hem de otomotiv uygulamalarında karmaşık şekilli yapılara sağlayabileceği faydalar nedeniyle endüstrideki uygulama alanları artmaktadır. Yapışkanlı bağlantılar, kaynaklı bağlantılar gibi diğer geleneksel bağlantılara kıyasla, homojen stres dağılımı ile sürekli bir bağlantı sundukları, farklı malzemeleri (örneğin metaller ve kompozit malzemeler) birleştirebildikleri ve büyük yatırımlar gerektirmedikleri için birçok avantaj gösterirler. Mevcut profil çelik yapıları, yaygın olarak kullanılan kaynaklı bağlantıların sertliği nedeniyle yorulma sorunları ortaya çıkarmaktadır. Yorgunluktan kaynaklanan çatlama sorunları, otobüs yapısının arka kapıya en yakın bölgelerinde belirgindir ve en kritik olan yan dikey direkler ile bel rayı arasındaki bağlantıdır. Referans düğüm üzerinde çalışan kuvvetleri elde etmek için bir profil çelik yapısının sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Elde edilen kuvvet değerlerinden referans düğümdeki gerilmenin değeri ve türü hesaplanmıştır. Yeni bir fiber takviyeli polimer (FRP) düğümü geliştirilmiştir ve mevcut kaynaklı bağlantının yerini çelik-FRP yapışkanlı bağlantı almıştır. Yeni bağlantı tasarımı, esas olarak kesme gerilimi elde edilmesini sağlamıştır. Bu çalışma, imalat kriterlerini de (montaj süreleri, maliyetler, vb.) dikkate alarak, bu yeni tip bağlantıda uygulanması için yapısal bir yapıştırıcının çalışmasına odaklanmıştır. Bu yeni yapışkan bağlantı, düğümdeki taleplerden daha yüksek ve gerinim değerlerinin %30'undan daha yüksek mukavemet değerleri göstererek yorulma sorunlarını en aza indirmiştir.[9]

Otobüs kelime anlamıyla karayolu taşıma yönetmeliğindeki tarifine göre sürücü ile birlikte 17 kişiden fazla yolcu taşıyabilen ve motorlu olan bir kara taşıtıdır. Tarihe bakıldığında ise ilk otobüsler 17.yy ortalarından itibaren Paris'te ortaya çıkmıştır. Atla çekilen bu araçlara sıradan insanların binmesi yasaklanmış ve bu hak sadece zenginlere verilmiştir Latince herkes için anlamına gelen omnibüs adıyla işletmeye konulan atlı otobüslerin bir müddet sonra ismindeki "omni" kısmı çıkarılıp "bus" şeklinde kısaltılmıştır.[10]



Şekil 1. 2 Benz-Omnibus, 1896 [10]

Otobüs tarihçesine detaylı bakarsak 1873 yılında Amédée Bollée tarafından yapılmış olan buharlı bir yolcu otobüsü ile günümüz otobüslerinin temellerinin atıldığını söyleyebiliriz. L'Oeeissante adı verilen ve Türkçe çevirisi “İtaatkâr” anlamına gelen bu otobüs, saatte 40km/h hıza ve 12 adet yolcu kapasitesi ile üretildi. Gelişmiş vites sistemi ile birlikte zorlu yollarda, dik açılı rampalarda bile sürüş imkanı tanımıştır. Zamanın teknolojisinde büyük bir başarı olan bu araç yine o zamanki yasalara göre atların çekmediği bir aracın trafiğe çıkması suç olduğundan para cezasına çarptırılmış ve trafiğe çıkması yasaklanmıştır. Benzin motorlu otobüsler ise ilk olarak 8 yolcu taşıyabilme kapasitesiyle birlikte 1895 yılında Almanya’da kullanılmaya başlanmıştır. Benzinli ilk çift katlı otobüs ise 1904 yılında Londra şehrinde kullanılmaya başlanmış, bu gelişmeyle birlikte 8 yıl içinde ise tüm atlı otobüslerin yerini almıştır. [11]

Özellikle gelişen şehirleşme yapısı, nüfus artışı gibi etkenler toplu taşımaya olan ilgiyi ve ihtiyacı hızlı şekilde arttırmıştır. Oluşan bu ihtiyacı ekonomik, güvenli ve pratik çözümler sunmaları sebebiyle ilk olarak otobüsler karşılamıştır. Otobüs taşımacılığının ilk yatırım maliyetinin düşük olması ayrıca ihtiyaca göre rotaların değiştirilebilmesi, düşük yakıt tüketim oranları ve çevreci çözümler sunmaları toplu taşımada önemli yer almasını sağlayan sebeplerden bazılarıdır.



Şekil 1. 3 Mercedes-Benz Tourismo 2019

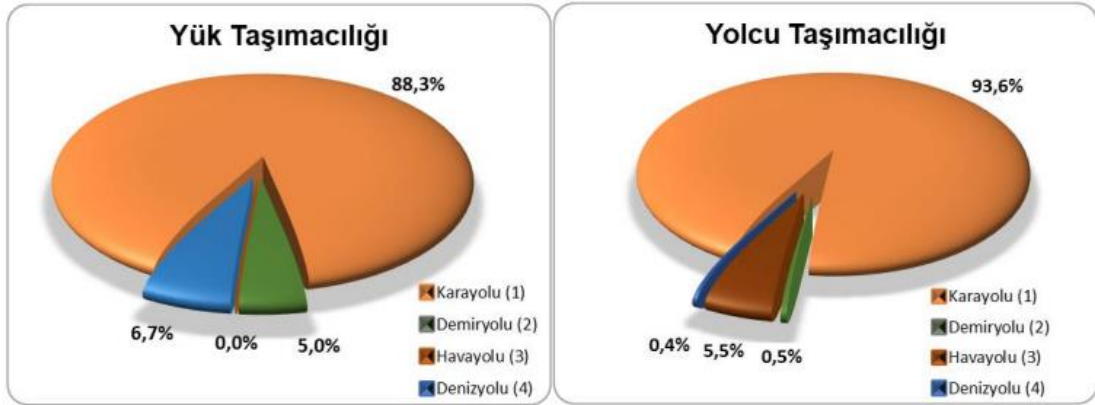
Gerek şehir içi gerekse şehir dışı seyahat aracı olarak yaygın şekilde kullanılan otobüsler, sektörün geliştirdiği yenilikçi teknolojiler ve sürekli artan yolcu konforu ile birlikte gelecekte de etkili bir ulaşım aracı olarak kullanılmaya devam edeceği görülmektedir.

Türkiye için ulaştırma alt sektörlerinin taşımacılıkta aldığı pay açısından değerlendirme yapıldığında, dünyada ve ülkemizde, yük ve yolcu taşımacılığında karayolunun ön plana çıktığı görülmektedir. Türkiye, AB(Avrupa Birliği)-28 ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Çin için yolcu taşımacılığındaki türel dağılım oranları (2015) Tablo 1.1’ de verilmiştir.

	Demiryolu	Karayolu	Denizyolu ve İç Su Yolu	Havayolu
Türkiye ¹	1,1 ²	89,9	0,6	9,5
AB-28 ³	8,3 ⁴	81,6	0,3	9,8
ABD ³	0,8 ⁴	86,0	---	13,2
Çin ⁵	39,8	35,7	0,3	24,2

Tablo 1. 1 Türkiye, AB-28 ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin için yolcu taşımacılığındaki türel dağılım oranları[12]

Tablo 1.1'e göre ülkemizde yolcu taşımacılığında karayolunun payı, AB-28 ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri'ndekine benzer olarak yüksektir. Ek olarak, Çin'in farklı bir özellikte olduğunu ve bu ülkede demiryolu ile havayolunun ağırlığının daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 1. 4: Ulaştırma türlerine göre yurtiçi yük-yolcu taşıma oranları (2020)[12]

2020 yılı KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) raporunda ise Türkiye yolcu taşımacılığındaki karayolu kullanım oranının %93.6 seviyesine çıktığı görülmektedir. Yolcu taşımalarının önemli bir kısmının karayolu ile yapılması kaza oranlarında yüksek olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca ülkemizde otobüs kullanım oranı diğer ülkelere oranla oldukça yüksektir. 2020 verileri incelendiğinde Türkiye Avrupa ülkeleri arasında en fazla otobüse sahip olan ülkeler arasındadır.[12]

ÜLKE	OTOMOBİL (x1000)	OTOBÜS (x1000)
TÜRKİYE	13.099	705,8
ALMANYA	47.096	80,5
AVUSTURYA	4.979	10,0
BELÇİKA	5.869	16,2
BULGARİSTAN	2.773	20,8
ÇEKYA	5.748	22,0
DANİMARKA	2.594	13,2
ESTONYA	747	5,0
FİNLANDİYA	3.495	18,5
FRANSA	32.034	100,7
GÜNEY KIBRIS RUM YÖNETİMİ	551	3,1
HRİVATİSTAN	1.666	5,9
HOLLANDA	8.531	9,7
İNGİLTERE	32.493	112,1
İRLANDA	2.128	10,9
İSPANYA	24.074	64,9
İSVEÇ	4.871	14,4
İTALYA	39.018	100,0
LETONYA	693	4,6
LİTVANYA	1.431	7,5
LÜKSEMBURG	415	2,0
MACARİSTAN	3.642	19,1
MALTA	300	2,1
POLONYA	23.429	119,0
PORTEKİZ	5.283	15,5
ROMANYA	6.453	51,8
SLOVAKYA	2.322	9,1
SLOVENYA	1.143	2,8
YUNANİSTAN	5.407	26,5

Tablo 1. 2 Avrupa ülkelerine ait motorlu kara taşıt sayıları[12]

Araç sayılarının günden güne artışı ve erişimin kolaylaşması beraberinde kaza oranlarında da artışı beraberinde getirmiştir.

Ülkemizden başlarsak sadece 2020 yılında 150.275 adet ölümlü ve yaralanmalı trafik kazası olmuştur. Bunların 3.918 tanesi otobüs kazası olarak meydana gelmiştir. Ayrıca KGM(Karayolları Genel Müdürlüğü)’nun 2020 yılında paylaştığı “Trafik Kazaları Özeti” raporunda, 2020 yılında ülkemizde 110000 üzerinde can kaybı ve yaralanma durumu olan trafik kazası kayıt altına alınmıştır.. Bu kazaların %11.44’ünü ise devrilme kazaları oluşturmaktadır. Ayrıca ulaşım hızının yüksek

olduğu şehirlerarası yollarda ise kazalar göz önünde alındığında devrilme kazaları %14.41 oranıyla en çok gerçekleşen ikinci çarpışma türüdür. 2020 yılındaki kaza raporu ise Tablo 1.3’de gösterilmiştir[13].

KAZA OLUŞ TÜRÜ	Yerleşim Yeri		Yerleşim Yeri Dışı		TOPLAM	
	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Yandan Çarpma veya Yandan Çarpışma	41.444	36,40	5.058	13,89	46.502	30,96
Yoldan Çıkma	8.027	7,05	14.134	38,82	22.161	14,75
Yaya Çarpma	20.913	18,37	908	2,49	21.821	14,52
Devrilme, Savrulma, Takla	11.944	10,49	5.247	14,41	17.191	11,44
Arkadan Çarpma	11.667	10,25	4.966	13,64	16.633	11,07
Karşılıklı Çarpışma	7.233	6,35	2.091	5,74	9.324	6,20
Engel/Cisim ile Çarpışma	6.094	5,35	2.387	6,56	8.481	5,64
Yan Yana Çarpışma	1.707	1,50	340	0,93	2.047	1,36
Duran Araca Çarpma	1.703	1,50	344	0,94	2.047	1,36
Araçtan Düşen İnsan	1.076	0,94	157	0,43	1.233	0,82
Park Etmiş Araca Çarpma	1.103	0,97	83	0,23	1.186	0,79
Hayvana Çarpma	381	0,33	473	1,30	854	0,57
Zincirleme Çarpışma	263	0,23	105	0,29	368	0,24
Çoklu Çarpışma	267	0,23	95	0,26	362	0,24
Araçtan Düşen Cisim	41	0,04	24	0,07	65	0,04
TOPLAM	113.863	100	36.412	100	150.275	100

Tablo 1. 3 Oluş türlerine göre Türkiye ölümlü ve yaralanmalı trafik kaza bilgileri [13]

Devrilme durumu ile ilgili raporlar daha detaylı araştırıldığında, NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration) tarafından 2014 yılında açıklanan rapora göre ise ABD’de 2014 yılında otobüslerin karıştığı kazalarda toplam 44 otobüs yolcusu hayatını kaybetmiştir ve 11000 yolcu ise yaralanmıştır. Yine aynı rapor göstermiştir ki ölümlü otobüs kazalarının %30.2’u devrilme sebebiyle gerçekleşmiştir ve otobüs devrilme kazaları sonucu 13 kişi hayatını kaybetmiştir. Devrilme kaynaklı ölüm oranları diğer araç tipleri ile karşılaştırıldığında ise otomobillerde %12.1, minibüslerde ise %12.2 olarak görülmüştür. [14]

Devrilme Kazaları Sonucu	%
Ölüm Oranları (NHTSA2014)	
Otobüs	% 30,2
Hafif Kamyon	% 25,6
Ağır Yük Kamyonu	% 13,7
Otomobil	%14,1

Tablo 1. 4 Devrilme kazaları sonucu ölüm oranları 2014 [14]

Yine aynı kurum NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration) tarafından 2018 yılında açıklanan raporu incelediğimizde ise ABD’de 2018 yılında otobüslerin karıştığı toplam 43 otobüs yolcusu otobüs kazalarına bağlı olarak hayatını kaybetmiştir ve 15000 yolcu ise yaralanmıştır. Yine aynı rapor göstermiştir ki ölümlü otobüs kazalarının %30,2 ’u devrilme sebebiyle gerçekleşmiştir ve otobüs devrilme kazaları sonucu 13 kişi hayatını kaybetmiştir. Devrilme kaynaklı ölüm oranları diğer araç tipleri ile karşılaştırıldığında ise otomobillerde %12.1, minibüslerde ise %12.2 olarak görülmüştür.[15]

Devrilme Kazaları Sonucu	%
Ölüm Oranları (NHTSA 2018)	
Otobüs	% 30
Hafif Kamyon	% 22,3
Ağır Yük Kamyonu	% 12.2
Otomobil	%12.1

Tablo 1. 5 Devrilme kazaları sonucu ölüm oranları 2018[15]

Macaristanlı araştırmacıların yaptığı ve istatistikleştirdikleri rapora göre 1990 yılından 2004 yılına arasında dünya genelinde yaşanan toplam 222 ciddi otobüs devrilme kazasını incelenmiştir ve bazı analizler yapılmıştır. Bu 222 kaza en az bir yaralanma ve can kaybı içermektedir. Macaristan'da kayıtlı otobüs sayısının 2004 yılında 19 bin civarında olduğu tahmin edilmiştir ve bu filonun yılda 12-15 devrilme kazası meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Avrupa otobüs filosunun tamamının ise 2004 yılında 500-550 bin adet aralığında olabileceği tahmin edilmiş. Macar oranını kullanarak, Avrupa'da beklenen otobüs devrilme kazalarının sayısının Avrupa'da 310-430 adet/yıl aralığında olabileceği hesaplanmıştır.[16]

Devrilme Kazaları Özeti	İstatistik I 1990- 31.07.2002	İstatistik II 01.08.2002 31.12.2002	İstatistik III 01.01.2003 31.08.2003	İstatistik IV. 01.09.2003 01.09.2004	Σ (I –IV.)
Kaza sayısı	97	20	40	65	222
İstatistikte yer alan ülke sayısı	min.37	min.14	min.22	min.30	min.56
Toplam sayılar; - ölümlü kaza	1011	170	534	841	2556
- ciddi yaralanma	304	112	112	156	684
- hafif yaralanma	415	47	59	164	685
- sınıflandırılmayan yaralanma	508	160	360	672	1700
Üstyapının deformasyon durumu	15	9	7	12	43
-ciddi deformasyon ⁽¹⁾	21	7	6	18	52
-hafif deformasyon ⁽²⁾	61	4	27	35	127
- bilgi yok					

Tablo 1. 6 Devrilme kazaları özeti[16]

(1) ciddi deformasyon, yaşam alanının zarar görmesi anlamına gelir, (üst yapının çökmesi açıkça bu kategoriye aittir).(2) hafif deformasyon, devrilme kazasında hayatta kalma alanının büyük olasılıkla hasar görmemesi anlamına gelir.

Bu 222 kaza daha detaylı incelendiğinde dikkat çeken veriler görülebilmektedir. Bu istatistikler, otobüslerin ECE-R66 ile ilgili onayının verimliliği hakkında doğrudan bilgi vermese bile, bu kaza istatistiklerinden etkili bir geri bildirimde bulunabilir. Ancak dolaylı olarak ilginç bir karşılaştırmada yapılabilir. Yukarıda tanımlandığı gibi, "yaşam alanı korumalı devrilme" kazaları, yolcuların korunması gereken, hayatta kalma alanının muhafaza edileceği kazaları kapsar. 222 devrilme kazasından 95 tanesi üst yapının davranışı hakkında bilgi sahibi olduğumuz kazadır: 52 kaza yaşam mahallinde hasara yol açmamış ve 43 kazada ise tamamen çökme de dahil olmak üzere hayatta kalma mahalline zarar vermiştir. Bu gruplara ait kayıplar Tablo 1.7 'de gösterilmiştir. [16]

Yaralanma Sınıflandırması	Yaşam Alanı Hakkında Bilgi Olmayan Kazalar	Yaşam Alanı İncelenmiş Kazalar	
		Zarar Görmemiş	Zarar Görmüş
Ölümler	799	43	565
Ciddi yaralanmalar	365	82	272
Hafif Yaralanma	487	227	190
Sınıflandırılmayan Yaralanma	766	237	422
Kaza Sayısı	127	52	43

Tablo 1. 7 Devrilme kazaları yaralanma ve ölüm sayıları [16]

Son olarak Tablo 1.7’de detaylı bakıldığında yaşam alanı davranışı hakkında bilgi sahibi olduğumuz toplam 95 kazanın 43 tanesinde yaşam alanı zarar görmüştür. Yaşam alanı zarar gören kazalar toplam incelenen kazaların %45,2’lik oranına karşılık gelmektedir. Fakat can kaybı oranlarına bakıldığında toplam can kayıplarının %92,9’luk bir oranının yaşam alanının zarar görmesi sebebiyle olduğu görülmektedir. Ciddi yaralanmalara bakıldığında durum yine benzerlik göstermektedir ağır yaralanmaların %76,8’lik kısmı yaşam alanı zarar gördüğünde gerçekleşmektedir.

İstatistikler incelendiğinde devrilme kazalarının otobüsler üzerindeki tehlikeli sonuçları net şekilde görülebilmektedir. Bu sebeple devrilme esnasında otobüs içerisindeki yaşam alanının korunması ve otobüse ait parçaların yaşam alanını işgal etmemesi durumu kritik bir önem kazanmaktadır.



Şekil 1. 5 Devrilen otobüs [5]

1.2 Tezin Amacı

Otobüs tipi araçların içerisindeki yolcuları korumaya yönelik olan regülasyon olan ECE R66 1987 yılından beri AB ülkelerinde yürürlüktedir. Bu regülasyon kapsamında üretilen otobüslerin sertifikasyon almaları zorunluluk olmuştur. Yaşam alanını korumak ve devrilme durumlarına karşı karoseri dayanımı arttırmak için tasarımsal ve yapısal bazı değişiklikler yapılması ve çeşitli metodlarla doğruluklarının kanıtlanması gerekmektedir. Bu amaçla birçok çözüm sunulabilir fakat yenilikçi ve çevreci bir ürün olması için kullanılan malzemenin azalırken daha hafif bir araç ve maksimum dayanım sağlanması amaçlanmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı ECE-R66 regülasyonuna uygun şekilde yapısal iyileştirmeler ile konstrüksiyonun yenilikçi yöntemler kullanılarak mukavemetli bir yapı haline getirmektir. Bu bağlamda çoğunlukla inşaat sektöründe takviye edici yapısal elemanlar olarak kullanılan Lif takviyeli polimer uygulamaları denenecek ve çeşitli analiz, testler ile alternatif yaratılmaya çalışılacaktır. Devrilme durumunda en kritik öneme sahip olan konstrüksiyon ögesi yan duvar profilleridir, devrilme anında en büyük yük bu bölgede oluşur ve yaşam alanını korunması için kalkan görevi görür. Yaşam alanı bütünlüğü korumak ve oluşan bu devrilme kuvvetini absorbe etmek için ise yan duvar profilleri kalın, ağır profillerden imal edilir. Çalışmanın yapıldığı otobüs konstrüksiyonundaki en kalın profillerde yan duvarda kullanılır ve et kalınlığı 5 mm'dir. Çalışmanın asıl amacı 5 mm kalınlığındaki bu boruları kompozit malzeme ile takviye ederek dayanım değerlerinin artırılması, başarılı olması durumunda yan duvar profillerinin kalınlığının azaltılarak 3 mm olarak inceltilmesidir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada FRP malzemelerin otobüs konstrüksiyonunda kullanılabileceği varsayılmıştır. Bu malzemenin mukavemeti arttırma, kullanılan profillerin ağırlıklarını inceltebilme kabiliyeti ile ECR66 regülasyonlarına uygunluk göstereceği ve toplam konstrüksiyon ağırlığının azalması bakımından fayda sağlayacağı öngörülmüştür. Üç nokta büküm testi ve devrilme testi yöntemleri kullanılarak en ideal çözümün belirlenebileceği varsayılmıştır.

ECE-R66 REGÜLASYONU

Otobüslerin büyük bir kütleye sahip olması ve ağırlık merkezinin yerden yüksek bir konumda olmasından dolayı devrilme anında ortaya çıkan darbe kuvveti dolayısıyla oluşan hasar miktarı önemli ölçüde artmaktadır. Devrilme durumu ve otobüsler yolcuları için oluşan tehlikeli durum üzerine yapılan tüm bu gözlemler, kaza sonrası tespitler sonucunda bir sertifikasyon, homologasyon ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu sebepten dolayı UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) tarafından otobüslerin devrilme sırasındaki davranışının incelendiği ve minimum kabul şartlarının tarif edildiği regülasyon olan ECER66 oluşturulmuştur. Regülasyondan kabul almak için aracın ya tamamını ya da tamamına yakını temsil edebilecek bir kesitine uygun yöntemlerle devrilme testi uygulanır. Uygulama sonrasında yolcuların yaşan alanının korunması, özellikle otobüs karoserisinin veya diğer parçalar tarafından işgal edilmemesi beklenir.

Ayrıca bu yönetmelikteki araç tanımı M2 ve M3 sınıfı, 22'den fazla yolcuya sahip araçlar olarak tanımlanmıştır. Genel olarak araç tanımlarına bakacak olursak:

Sınıf 1: Ayakta durma alanı bulunan ve güzergahı üzerinde bir çok durak noktasında durma olanağı sağlayan araçlardır.

Sınıf 2: Temel olarak oturan yolcuları taşıyan ve iki sıra koltuktan daha fazla olmayan, koridorda veya belirlenmiş alanda ayakta da yolcu taşıyan araçtır.

Sınıf 3: Sadece oturan yolcu taşımacılığında kullanılmak üzere tasarlanmış araçtır.

Sınıf A: Yolcu koltuğu da bulunan fakat ayakta yolcu taşımak üzere de tasarlanmış araçtır.

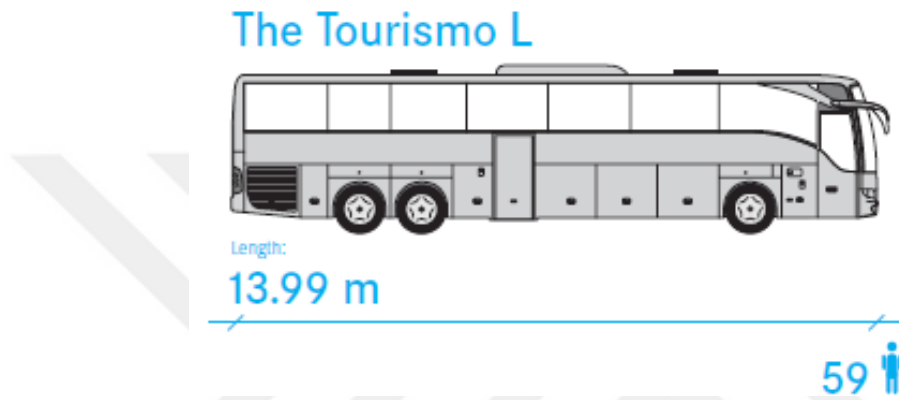
Sınıf B: Ayakta yolcu alanının hiç tanımlanmadığı araçtır.

M kategorisi araçlar: En az dört tekerlekli, motorlu yolcu taşıma amaçlı araçlardır.

M1 kategorisi araçlar: Sürücü dışında en fazla sekiz kişilik oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik motorlu araçlardır.

M2 kategorisi araçlar: Sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik ve azami kütlesi 5 tonu aşmayan, motorlu araçlardır.

M3 kategorisi araçlar: Sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik ve azami kütlesi 5 tonu aşan, motorlu araçlardır. [17]



Şekil 2. 1 Mercedes Benz markasına ait M3 sınıfı Tourismo modeli otobüs ECE-R66, 1987 yılında yürürlüğe alınmıştır. Bu yönetmeliğin ortaya çıkmasında devrilme türü kaza durumunun olduğu araçlarda yapılan incelemelerin etkisi olmuştur. 70 ve 80 yıllardaki kaza istatistikleri ve araçların deformasyon durumları baz alınmıştır. Macaristan, Almanya ve İngiltere gibi birçok Avrupa ülkelerinde kaza tutanakları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Şekil 2.2 'de ise 1987 yılında yapılan Mercedes-Benz marka O303 model otobüse ait bir devrilme testi görülmektedir. Ayrıca regülasyon ilk oluşturulduğunda araçlar boş olarak test edilirdi. [18]



Şekil 2. 2 Mercedes-Benz O303 model otobüs devrilme testi [18]

15 Ekim 2008 tarihinde ise ECER 66.01 ile birlikte regülasyon güncellendi. Bu güncelleme ile artık boş araç değil, yolcuların yarı kütlesi olan 34 kg'lık kütleler hesaplama katılmış ve araç içerisine eklenmiştir. Bu önemli ölçüde bir enerji sönümleme ihtiyacı yaratmıştır. Sonrasında ise 19 Ağustos 2010'da son güncellenmiş versiyon olan ECE-R 66.02 yürürlüğe girmiştir.

ECER 66.00 ile ECER 66.02 arasında ise 3 adet fark bulunmaktaydı. Bunlardan birincisi enerji formülünde yer alan 0,75 katsayısının 1 olarak değiştirilmesidir. İkinci fark ise yapılacak test ve hesaplamalara yolcu kütlelerinin eklenmesi olacaktır. Son fark ise zemine ilk temas anından devrilme sonuna kadar olan tüm süreçte yerçekimi etkisi de araç modeline uygulanması olarak açıklanabilir [18].

Regülasyona göre onay yöntemleri Temel ve Denk Onay Yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca ilgili regülasyonun denk onay seçenekleri altında uygulanacak dört farklı yöntem sunulmuştur; [19]

1. Temel onay yönteminde aracın standartta belirtilen şartlarda fiziksel olarak gerçekten devrilmesi ve sonuçların regülasyona göre uyumluluğunun kontrolü şeklinde yapılır.

2. Denk onay yönteminde ise, bölgesel olarak araçta test ve simülasyonlara tabi tutularak regülasyona uygunluğu kontrol edilir.

- a. Karoseriden kesit alınarak devrilme testi
- b. Karoseriden kesit alınarak yarı statik yükleme yapılması
- c. Yarı statik hesaplama temelli komponent testi
- d. Simülasyon yolu ile devrilme testi

Tüm bu onay yöntemlerinin tek bir amacı vardır, yaşam alanı olarak nitelendirdiğimiz bölgenin olası bir devrilme durumunda korunması durumunun sağlanıp sağlanamadığını tespit etmektir. Bu amaçla standart tarafından belirlenen bazı formüller kullanılır. Bu formüller temelde: referans enerji, yapısal mukavemet ve yaşam alanı başlıklarını kapsar. Regülasyona göre araç karoserisinin dayanabileceği maksimum referans enerjinin hesap formülü ise:

$$ER = m . g . h_1 = m . g \left[0,8 + \sqrt{h_0^2 + (B \pm t)^2} \right] \quad (2.1)$$

ER: Referans enerji (J)

m: Karoseri kütlesi (kg)

g: Yerçekimi (m/s²)

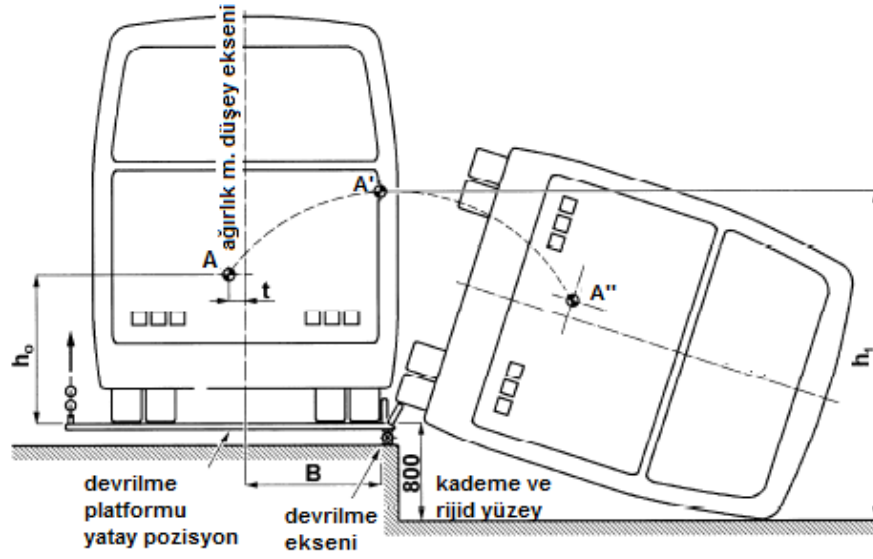
h₀: Ağırlık merkezinin yüksekliği (m)

h₁: Ağırlık merkezi yüksekliği (m)

B: Devrilme eksen mesafesi (m)

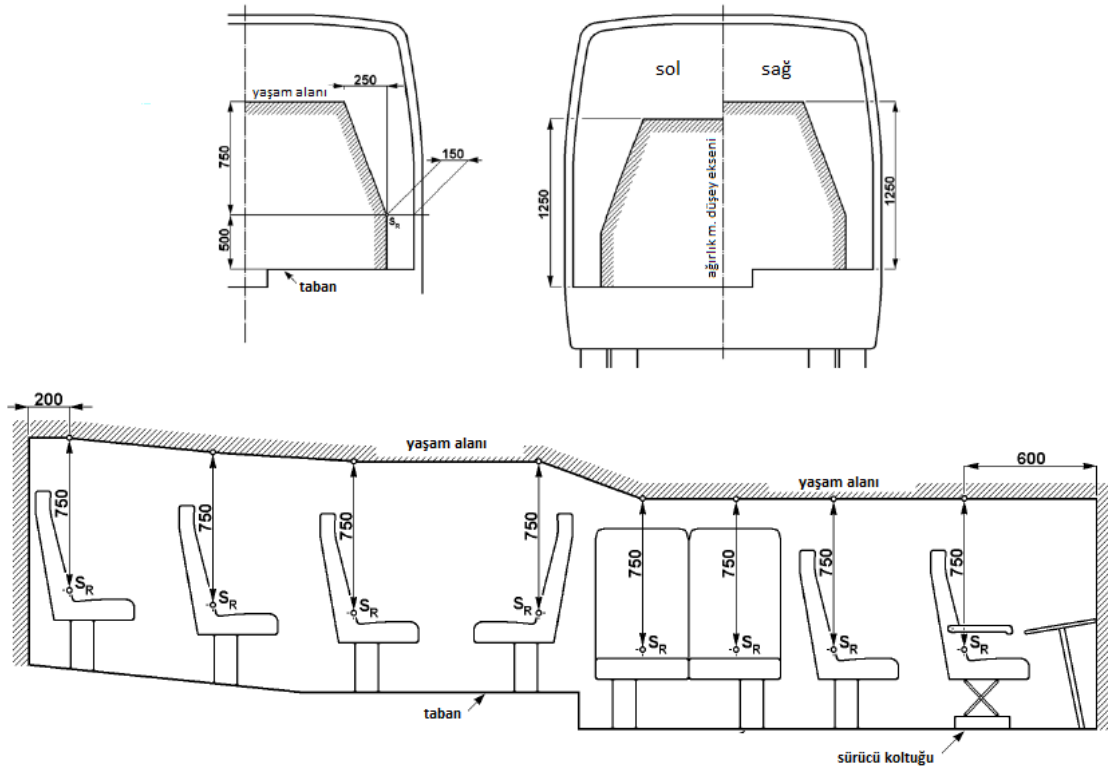
t: Ağırlık merkezi ve simetre eksen arasındaki fark (m)

Tamamlanmış bir aracın devrilmesi söz konusu olduğunda yaşama alanının yolcuları koruyacak şekilde korunması beklenir. Bu beklentiyi sağlamak için aracın yaşama alanının dışında bulunan hiçbir yapısı bu alana nüfuz etmemelidir. (Ör: Şapkalık, takviye kirişi, vb.) Aracın yaşam alanına ait hiçbir parça değişikliğe uğramış yapıya doğru çıkış yapmamalıdır. Devrilme Testinde araç nominal yüksekliği 800 mm olan bir yükseklikten devrilmeye maruz bırakılır. [20]



Şekil 2. 3 Devrilme testi için araç ağırlık merkezi konumları[20]

Şekil 2.3’de başlangıç, hareket hali ve devrildikten sonraki hal için ağırlık merkezlerinin değişimi gösterilmiştir. Referans enerji hesabında kullanılacak parametreler yine bu şekil üzerinde mevcuttur. Yaşama alanı ise; yolcu, muavin ve sürücü bölgesi alanlarının bir devrilme söz konusu olduğunda, en iyi yaşama şansı verebilecek alan olarak tanımlanır ve şekildeki verilen ölçülerle belirlenir.



Şekil 2. 4 Yaşam alanı [20]

Şekil 2.4’de ise aracın iç karoseri yapısından 150 mm içeride ve basamak üzerinden 500 mm yukarıda başlayarak şekildeki çizimle yaşam alanı tanımlanır. Ayrıca simetrik olmayan bir aracın yaşam alanı tanımlanmıştır ve örneklenmiştir. Son olarak farklı yükseklikteki aracın yaşam alanı tanımlanmıştır ve örneklenmiştir. Bir diğer önemli husus yapılan testler sonucunda onaylanmış araç üzerindeki her değişiklik onay kurumuna bildirilmelidir. Kurum sunulan rapora göre onayı uzatabilmektedir. Kurumun ve teknik hizmetin karar vermesinde üç ölçütün sağlanması gerekir:

- Yapı ölçütü: Taşıyıcı yapı özelliklerine göre araç bir önceki tip ile aynı özellikleri taşıyor veya bir önceki araçtan daha üstün özelliklere sahip olması
- Enerji ölçütü: Referans enerjisi aynı veya daha küçük değerde olması
- Yaşama alanı ölçütü: Tüm yaşam alanı sınırları karşılanması

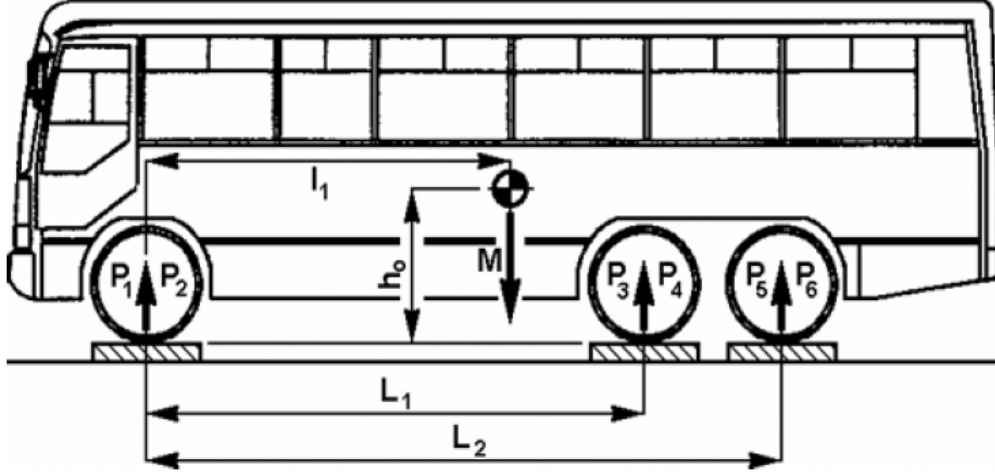
2.1 Araç ağırlık noktasının Belirlenmesi

Devrilme testinde referans enerji ve toplam enerji ağırlık noktasının yerine bağlıdır. Ağırlık noktası ise üç değişkene bağlıdır:

A)Ön ve ağırlık merkezine olan uzaklık (l_1)

$$l_1 = \frac{(P_3 + P_4).L_1 + (P_5 + P_6).L_2}{P_{toplam}} \quad (2.2)$$

Şekil 2.5’de ise araç boylamı üzerindeki ağırlık noktasını ifade eder. P kuvveti bulunduğu aksdaki tekere düşen kuvveti tanımlar.

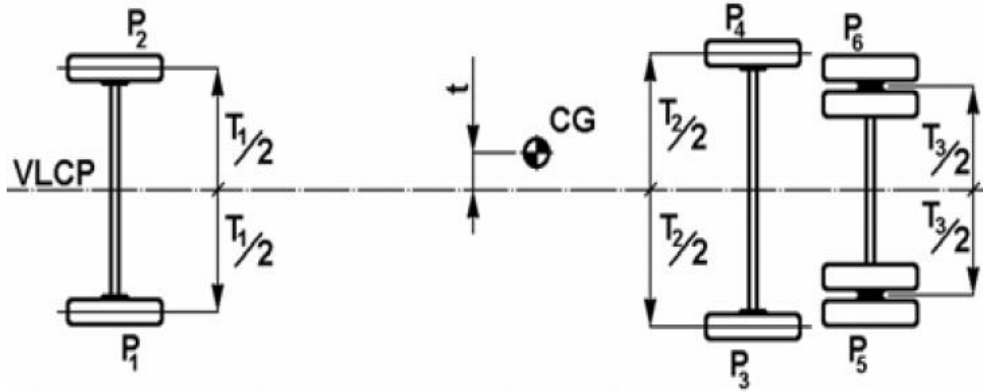


Şekil 2. 5 M sembolü ağırlık merkezi, P sembolü akstaki teker bölgesine düşen kuvvet [19]

B) Aracın eni üzerindeki düşey orta noktasına (t)

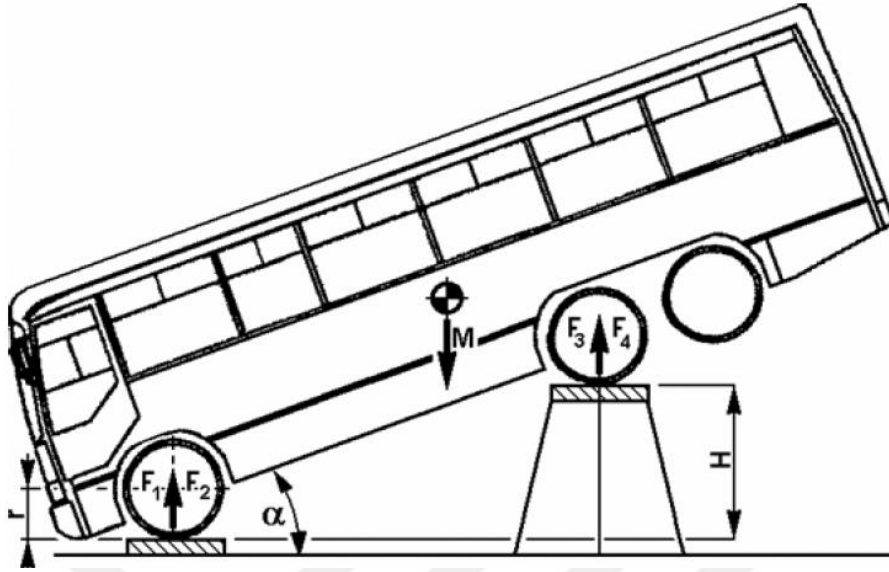
$$t = (((P_1 - P_2) \cdot T_1/2) + ((P_3 - P_4) \cdot T_2/2)) + ((P_5 - P_6) \cdot T_3/2))) / P_{\text{toplam}} \quad (2.3)$$

Şekil 2.6'da ise araç eninde bulunan ağırlık noktasını göstermektedir. T değeri aynı akstaki tekerlerin orta noktaları arasındaki mesafedir.



Şekil 2. 6 Araçta bulunan kuvvet bölgeleri ve mesafelerin gösterimi [20]

C) Tabana yatay düzlemdeki düşey yüksekliği



Şekil 2. 7 Araç Ağırlık Noktasının Belirlenmesi [20]

Ölçüm için araç ön aksı üzerinde, boyunca eğime maruz bırakılır. Destek tertibatı araç uygun eğime(>20°) ulaşınca kadar yükseltilir. Açı ne kadar büyükse, hesaplama da o kadar gerçeğe yakın olmaktadır. Tabana yatay düzlemdeki düşey yüksekliğe (h_0) denir ve formülü:

$$h_0 = r + \left(\frac{1}{\tan \alpha} \right) - \left(1 \cdot L_1 \frac{F_3 + F_4}{P_{\text{toplama}}} \right) \quad (2.4)$$

r: tekerlek yarıçap

2.2 Tüm aracın devrilme testi

Teste tabi aracın tamamen donatılması gerekmemektedir. Fakat şu şartları sağlamalıdır:

- Ağırlık merkezinin yeri, aracın ağırlığı ve dağılımı
- Taşıyıcı yapıyı oluşturan parçaların varlığı,
- Taşıyıcı yapıya ait olmayıp, pahalı olan donanımlar (mutfak ünitesi, şoför koltuğu, vb.) ağırlıklarının eşdeğeri
- Yakıt, akü gibi yanıcı ve patlayıcı özellikte bulunan malzemelerin eş değer ağırlığı
- Her yolcuya ait ağırlığı

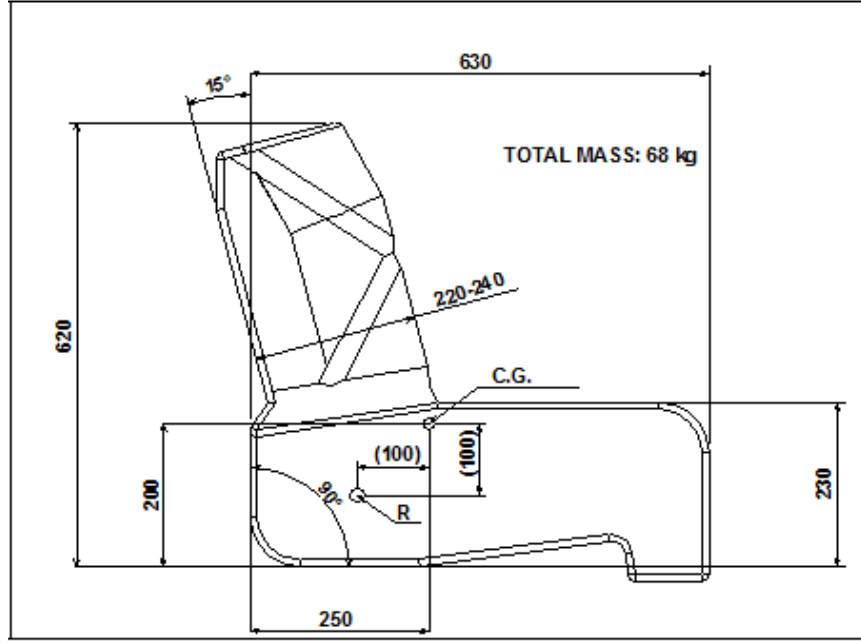
Her yolcuya ait ağırlık iki şekilde ölçülür. Ya her yolcu 68 kg kabul edilerek bu ağırlığın yarısı ağırlık noktası koltuğun r noktasının 100 mm önünde ve üstünde kabul edilir. Ya da şekildeki 68 kg ağırlığındaki model insan iki noktalı emniyet kemeri ile koltuğa; ağırlık noktası yaşam alanı maddelerini sağlayacak şekilde bağlanır.[20]



Şekil 2. 8 Test öncesi araç dışı hazırlık



Şekil 2. 9 Test öncesi araç içi hazırlık

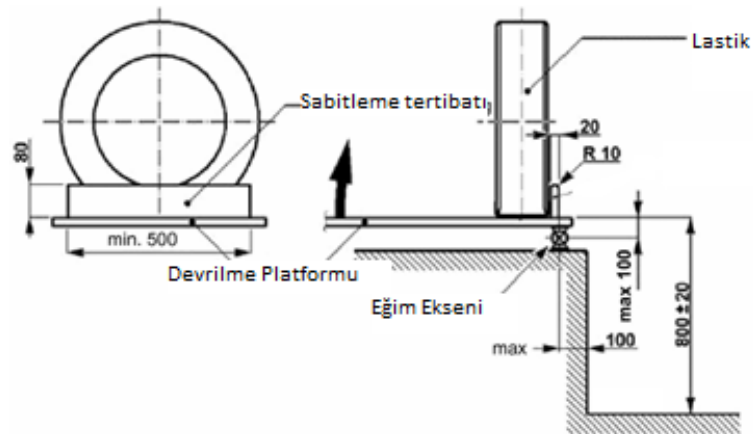


Şekil 2. 10 Yolcu ağırlığının belirlenmesi için örnek ölçüler [20]

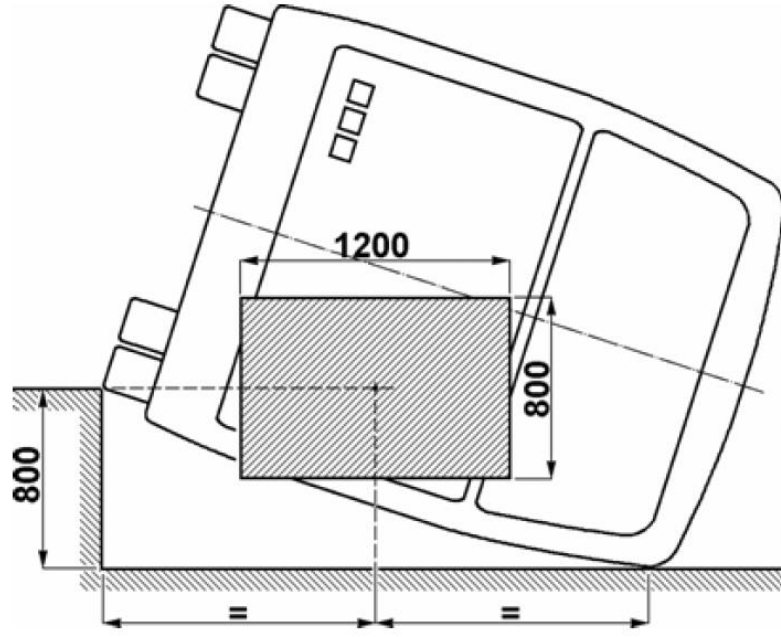
Diğer şartlar:

- Lastikler üreticinin verdiği basınca uygun olmalıdır
- Akslar, jantlar ve süspansiyon sistemi montajda sabitlenmiş olmalıdır
- Tüm kapılar ve pencereler kapalı olmalıdır

Test, ani hareket oluşturulmadan ve dinamik etki uygulanmadan, aracın bulunduğu yüzeyin yanal kaldırılmasıyla yapılır.



Şekil 2. 11 Devrilme düzeneği ve lastik konumu [19]



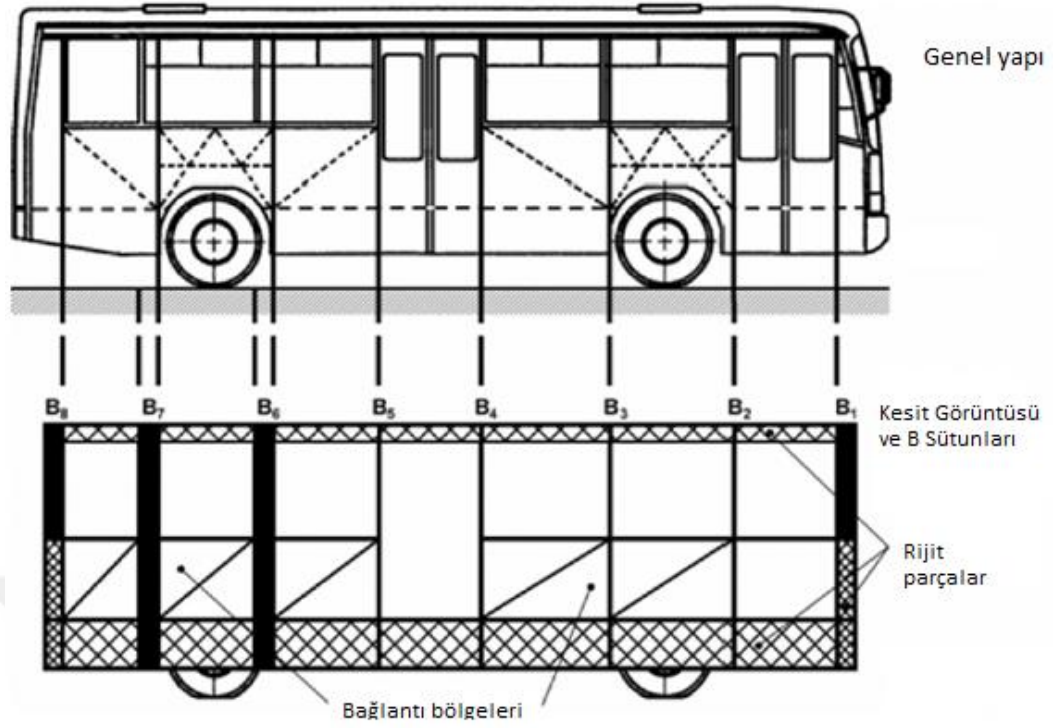
Şekil 2. 12 Test odak bölgesi [20]

Şekil 2.12’de görülen Taralı alanda geniş açı ile yapı bozulmasının oluşmayacağı bir uzaklığa aracın önünü ve arkasını gören iki kamera ile kayıt yapılır.

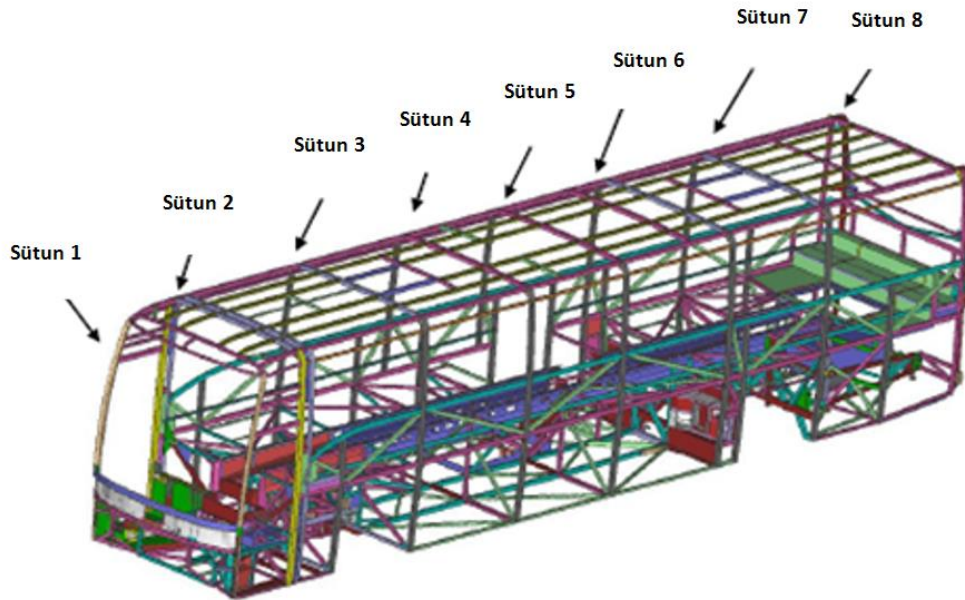
2.3 Yapı Parçaları Üzerine Devrilme Testi

Araç yapısına daha detaylı bakacak olur isek;

- Bağlantı elemanları, kesitler, kütle dağılımı ve sabit parçalar açıkça sabitlenmeli ve belirtilmelidir
- Bütün önemli parametreleri ile çizimler, parçanın malzemesi ve yapı elemanının bağlantı şekli bildirilmelidir.[20]



Şekil 2. 13 Otobüs karoserisi genel yapısı ve ayrıntılı gösterimi



Şekil 2. 14 Otobüs karoserisi model görüntüsü ve sütun dağılımı

Devrilme testi yapılacak aracın bu yöntemle göre en az iki bölümden oluşması gerekir. Bölüm dediğimiz ise Şekil 2.13' de görülen sütunların arasındaki bölgeler olarak tarif edilebilir. Otobüsler birden çok bölümden oluşur ve bu yöntem ile

yapılacak devrilme testinde seçilen bölgelerin kütle hesabı dikkatlice yapılmalıdır. Seçilen bölgelerin ağırlıkları aracın sahip olduğu bölgelere göre oranlandırıldığında aracın toplam ağırlığından az olmamalıdır. Yani formülüze eder isek;

$$\sum_{j=1}^n (m_j) \geq M \quad (2.5)$$

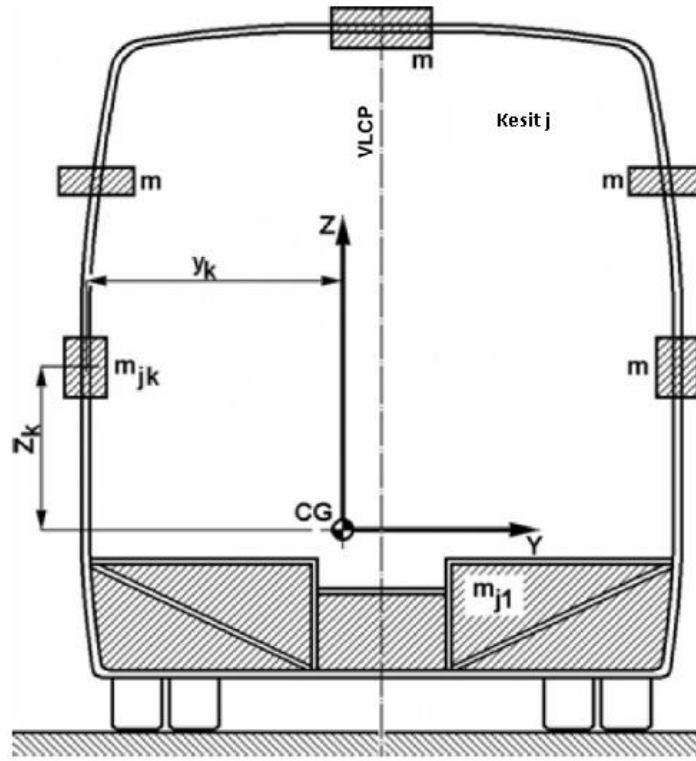
Seçilen kesit bölgelerini toplam ağırlığı en az iki noktadan sabitlenerek ölçülür ve tüm aracın yüksüz halinin ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Eğer kesit bölgelerinin hesaplanan ağırlığı bu oranı karşılamıyor ise dışarıdan kütle eklenerek bu oranın eşitlenmesi sağlanır. Ayrıca diğer önemli bir nokta, alınan kesit bölgesinin ağırlık merkezi gerçek aracın ağırlık merkezi ile aynı noktada olmalı ve aynı noktayı karşılamalıdır, bunun sebebi ise devrilme sırasında yere temas anında konstrüksiyonun maruz kalacağı kuvveti ve kuvvet dağılımını ağırlık merkezi belirler.

Ağırlık dağılımı hesaplanırken ağırlık merkezi ile ilgili formül gösterimi:

$$\sum_{j=1}^n (m_j, l_j) = 0 \quad (2.6)$$

Her bir kesitin ve gerçek tüm konstrüksiyon ağırlık merkezinin seçilen bölgelere göre aynı ağırlık merkezinde olması ile ilgili formül gösterimi:

$$\sum_{k=1}^s m_{jk} z_k \equiv \sum_{k=1}^s m_{j_k} z_k \equiv 0 \quad (2.7)$$



Şekil 2. 15 Araç kesiti üzerindeki kütle dağılımı [19]

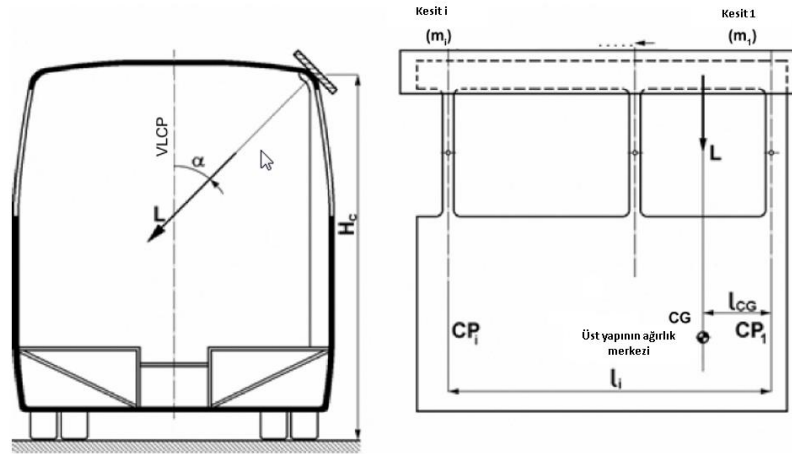
2.4 Yapı Parçaları Üzerine Yarı statik Gerilim Testi

Bir diğer yöntem ise yine kesit alınarak tek bir sütun için devrilme testi ile tüm aracın deformasyon davranışı üzerine yorum yapılmasıdır. Sütun üzerinden alınan kesit için sağlanması gereken şartlar en az iki bölgeli kesit ile yapılan test ile aynıdır. Yine ağırlık dengesi önemlidir ve kesitin aracın tamamını temsil etmesi için kesit üzerine ağırlık eklemeleri yapılarak ağırlık merkezi ve çarpma hızı hızı gibi parametreler belirlenir.

Bu yöntemle devrilme durumunun etkisinin araştırılması adına kuvvet ve enerji değerleri hesaplanmalı ve kontrol altında tutulmalıdır. Test sırasında enerji – yer değiştirme grafiği hazırlanır. Bu şekilde test sonunda taşıta aktarılan toplam enerji ile sütundan alınan kesitin devrilme ile dayanabileceği enerji seviyeleri kıyaslanır.[20]

Tavan taşıyıcıdan daha uzun bir kiriş üzerine yükleme yapılır. Yüklemenin açısı belirlemek için formül ise:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right) \quad (22.8)$$



Şekil 2. 16 Devrilme açısı ve uygulanacak kuvvetin belirlenmesi için etkili parametrelerin gösterimi [20]

- Uygulanan yük, kati bir şekil değiştirme oluşuncaya kadar yavaş yavaş artırılır.
- Taşıyıcı yapıya uygulanan toplam enerji:

$$E_T = M \cdot g \cdot \Delta h \quad (2.9)$$

Etoplam: Toplam enerji, M: Kesitteki her bölmenin kütlesidir

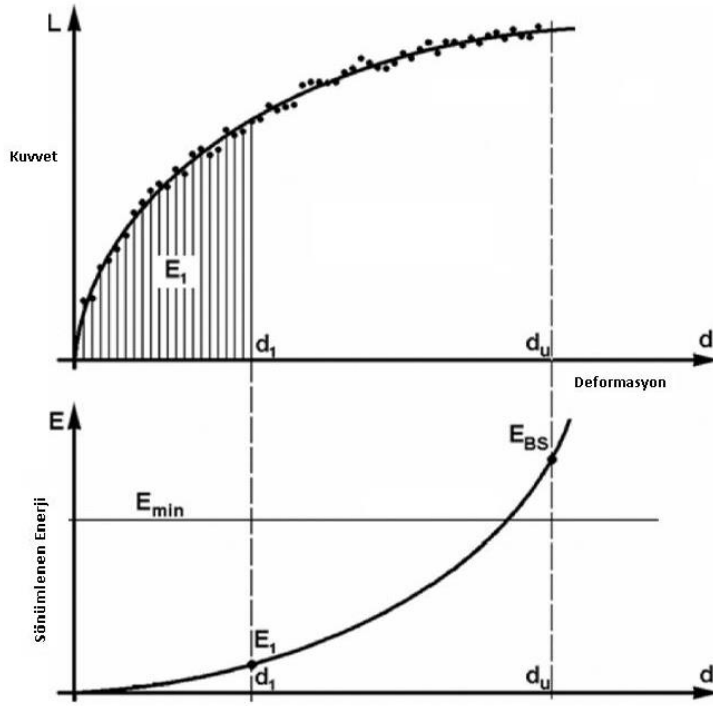
1-Bütün yapı elemanları güvenli bir şekilde tutturulmuş olmalı, bu bağlantı noktalarında hiçbir plastik bozulma olmamalı, bağlantı noktaları düzeniyle öngörülen plastik bölgeler ve menteşelerin yapımı ve şekil değiştirmesi engellenmiş olmalıdır.

2- Bu şekil değiştirme, bir elemanın yaşama alanına nüfuz etmesiyle sonuçlanmalıdır.

3- Uygulanan enerji ikinci grafikte belirtilen “Ebs” noktasının altında kalan alanı temsil eder. “Emin” yapı elemanına uygulanan en düşük enerjidir.

4- onay için Ebs eminden küçük olmalıdır.

$$E_{Bs} < E_{min} \quad (2.10)$$



Şekil 2. 17 Enerji absorbe grafiği

2.5 Devrilme Testinin Bilgisayar Benzetimi

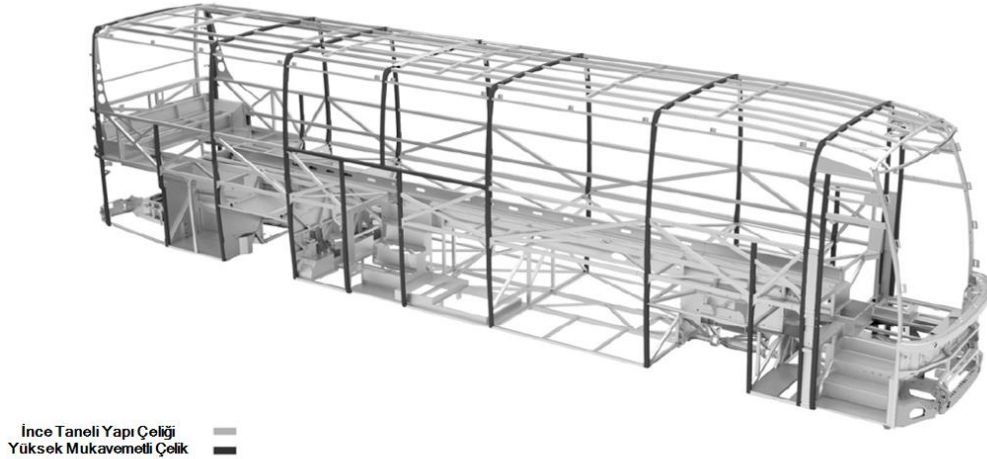
Günümüz koşullarında gelişen teknoloji ve hesaplama programları sayesinde bilgisayar destekli analiz yöntemleri doğruluk ve gerçekliğe yakın değerleri oldukça olumludur. Bu sebeple maliyetleri düşürmek ve test sayılarını arttırabilmek adına bilgisayar destekli analiz yöntemi yaygınlaşmaya başlamıştır.

Yapının devrilme testindeki davranışı matematiksel model oluşturularak izlenir. Matematiksel model oluşumunda toplam ağırlık, ağırlık noktası ve kütle dağılımı göz önünde bulundurulur. Bunun için çeşitli matematiksel formüller kullanılır. Benzetim programı aracın kararlılığının bozulduğu andan itibaren başlayabilir. Fakat en geç ilk yere temas ile başlamalıdır. Benzetim programı en yüksek bozulma gerçekleşinceye kadar devam etmelidir. Program ile zamandan bağımsız, kararlı bir çözüm bulmak hedeflenir. Tüm enerji içerikleri ve dengesi her zaman aralığında hesaplanmalıdır. Modelde araca ait her parçanın arasındaki temas dikkate alınmalıdır. Yaşam alanına bir parça girmemesi gereklidir.

Hesaplama modeli, devrilme olayının mekaniğini işleyebilecek kabiliyette olmalıdır. Ayrıca onay kurumu, modelde yapılan varsayımları değerlendirmek ve modelin geçerliliğini sınamak için gerçek taşıt üzerinde kullanılan parçaların ayrıca testlerini talep edebilmektedir. Hesaplama modelinin gerçek bir aracı ve devrilme testinin koşullarını sağladığı kanıtlandığında modelin devrile durumundaki davranışı simülasyon ortamında incelenir. Simülasyon sonucunda yaşam alanı korunuyor ve diğer regülasyon şartlarını sağladığı görünüyorsa araç için uygunluk verilir.



Şekil 2. 18 Setra Model 516 HD Otobüs



Şekil 2. 19 Hesaplama modeli çıkarılan Setra S 516 HD model otobüs ver gerçek görüntüsü

KOMPOZİT MALZEME

Kompozitler aslında doğada zaten bulunmakta olan doğal malzemelerdir. Bir tahta parçası, lignin adı verilen bir madde tarafından bir arada tutulan uzun selüloz liflerinden oluşan bir bileşiktir. Kompozit malzemeler, birbirinden oldukça farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşur ve bunlar çözünmez veya birbirine karışmaz. Kompozitteki farklı malzemeler, kompozite benzersiz özellikler vermek için birlikte çalışır. İnsanlar kompozit malzemeleri binlerce yıldır farklı alanlarda kullanmaktadır. Kompozitlerin ilk kullanımları, erken Mısırlılar ve Mezopotamya yerleşimcilerinin güçlü ve dayanıklı binalar oluşturmak için çamur ve saman karışımı kullandıkları M.Ö. 1500'e kadar uzanıyor. Bir tuğla blokta çamur ve saman kombinasyonu, ona hem de yırtılma veya bükülmeye karşı güçlü bir özellik sağlar. Saman, çanak çömlek ve tekneler de dahil olmak üzere eski kompozit ürünlere takviye sağlamıştır. M.S. 1200' de Moğollar, "hayvan yapıştırıcısı", kemik ve ahşap kombinasyonunu kullanarak ilk kompozit yayı icat ettiler. Yaylar preslenmiş ve huş ağacı kabuğu ile sarılmıştır. Bu yaylar güçlü ve uzun ömürlülerdi. Hafif ve güçlü olmaları gibi avantajları nedeniyle, kompozitlerdeki en büyük ilerlemelerin çoğu savaş zamanının ihtiyaçlarının sonucuydu. İkinci Dünya Savaşı sırasında, birçok kompozit malzeme geliştirildi ve laboratuvarlardan gerçek üretime taşındı. [21]

Sonuç olarak kompozit, iki veya daha fazla bileşenden oluşan ve üretilen bir malzemedir diyebiliriz. Bileşen malzemeler ise belirgin şekilde farklı kimyasal veya fiziksel özelliklere sahiptir. Bu ana malzemelerden birisi matris adı verilen yani bağlayıcı maddedir. Takviye veya taşıyıcı adı verilen diğer ana maddeyi bir arada tutmaya yararlar. Genel olarak kompozitler, tekil özelliklerinden ziyade bir grup olarak daha güçlü olan iki veya daha fazla doğal veya yapay elementin (farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip) birleştirilmesiyle yapılan malzemelerdir. Bileşen malzemeleri tamamen birbirine karışmaz veya kendi özelliklerini

kaybetmezler; sonucu veya nihai ürünü iyileştirmek için en yararlı özellikleri ile etki ederek ve katkıda bulunurlar. Kompozitler tipik olarak ek güç, verimlilik veya dayanıklılık gibi belirli bir kullanım düşünülerek tasarlanır.[22]



Şekil 3. 1 Kompozit malzeme yapısı[22]

Özellikleri iyileştirilmiş yeni malzemeler için sürekli bir araştırma ve istek durumu olmuştur. İstenen tüm özellikleri tek bir malzemede bulmak zordur. Örneğin, yüksek yorulma ömrüne ihtiyaç duyan bir malzeme uygun maliyetli olmayabilir. Uygulamanın ihtiyacına göre istenilen özelliklerin listesi aşağıda verilmiştir.

- Kuvvet
- Sertlik
- Tokluk
- Yüksek korozyon direnci
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek kimyasal direnç
- Yüksek çevresel bozulma direnci
- Azaltılmış ağırlık
- Yüksek yorulma ömrü
- Isı yalıtımı veya iletkenlik
- Elektrik yalıtımı veya iletkenlik
- Ses yalıtımı
- Radar şeffaflığı
- Enerji dağılımı
- Azaltılmış maliyet

Unutulmamalıdır ki kompozit malzemelerin en önemli özelliği, özelliklerinin uyarlanabilir olması, yani istenen özelliklerin tasarlanabilmesidir.[23]

3.1 Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemeler (FRP)

FRP malzeme yani Lif takviyeli polimerler matrisin içine gömülmüş liflerden oluşurlar. Cam, aramid vs karbon gibi lif türleri ile çeşitli kompozitler yapılabilmektedir, çalışmamızda kullandığımız lif türü Karbon Lif'dir.

3.1.1 Karbon Lif

Yapısal mühendislik alanında yüksek dayanım sahibi olmalarından dolayı karbon lifler güçlendirme amaçlı sıkça kullanım alanı bulabilmektedir. Karbon lifler oldukça dayanıklıdır ve sıcak ve nemli alanlarda ve yorulmaya maruz kaldıklarında çok iyi etki gösterirler. Karbon lifler ayrıca çok yüksek yorulma ve sünme direncine sahiptir.[24]



Şekil 3. 2 Kırpılmış karbon lif [24]

3.1.2 Matris

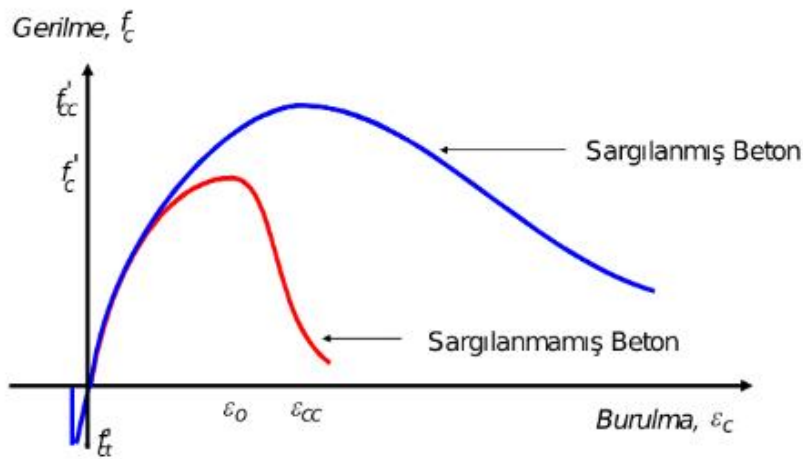
Matris lifleri bir arada tutan FRP kompozitinin polimer yapısı anlamına gelir. Polyester, vinylester ve epoksi, yüksek performanslı takviye lifleri ile kullanılan en yaygın kullanılan polimerik matris malzemeleridir. Yüklerin çoğu, lifler tarafından paylaşıldığı için matrisler FRP kompozitin dayanımına önemli bir katkıda bulunmazlar. Matrisin en önemli fonksiyonu takviye lifleri arasındaki gerilmeyi iletme, lifleri bir arada tutmak için bir yapıştırıcı görevi görmek ve lifleri mekanik ayrıca çevresel hasara karşı korumaktır. [24]



Şekil 3. 3 Kolonlarda FRP sargı uygulaması [24]

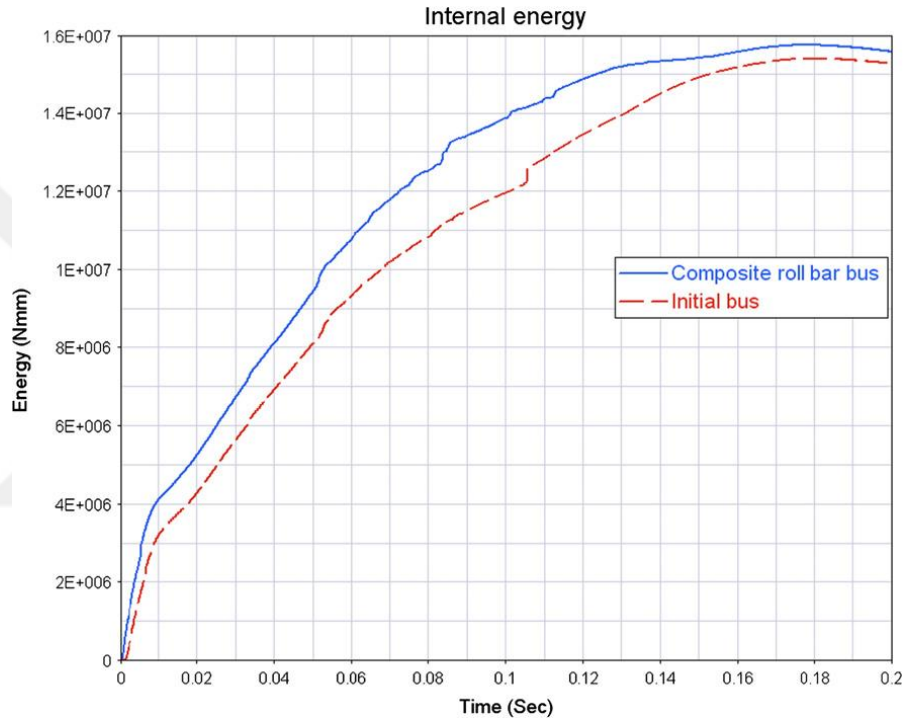
3.1.3 FRP Farklı Uygulamaları

Betonarme yapıda aslında kompozit bir sistemdir; farklı fiziksel özelliği olan beton ve demir donatısının iş birliği olarak tanımlanabilir. Kompozit FRP malzemeleri çok hafif ve fakat çok iyi fiziksel özelliklere, çok yüksek mekanik dayanımlara ve anti korozyon özelliklere sahiptirler. Harici yapıştırırmalı kompozit sistemler, yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini ve eğilme dayanımını artırır. FRP kompozitlerle takviye edilen betonarme elemanlardaki dayanım artışları oldukça yüksek seviyelerde olmaktadır. Örnek olarak Şekil 3.4’de FRP malzeme uygulanmış ve uygulanmamış betonarme yapısının gerilme ve deformasyon davranışları belirtilmiştir. [25]



Şekil 3. 4 FRP malzeme uygulanmış ve uygulanmamış betonarme yapısının gerilme ve deformasyon davranışları grafiği [25]

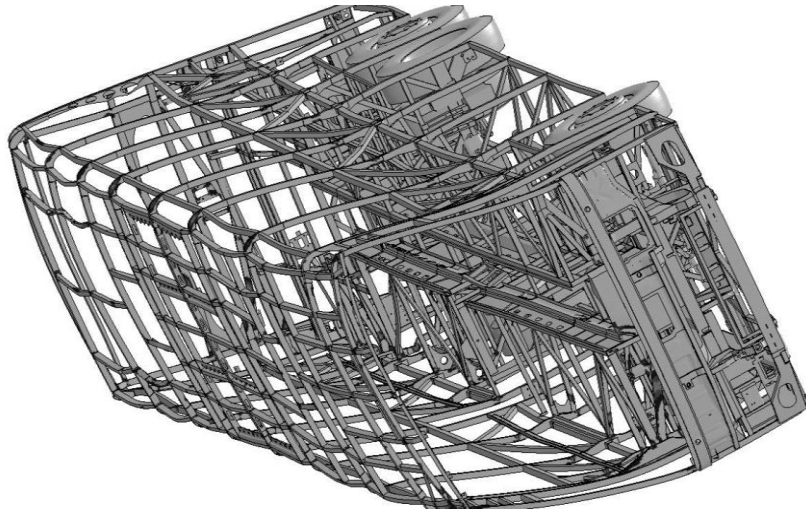
FRP malzemenin yapısal mühendislikteki başarısı ve avantajları ilgi çekmiş diğer konstrüksiyon ve yapısal sistemler üzerinde kullanımını için araştırmaları arttırmıştır. Örneğin 2012 yılında Güney Koreli bir araştırmacı grubu kompozit malzemeden imal edilen bir profili otobüs konstrüksiyonu üzerinde denemişlerdir ve devrilme durumunu incelemişlerdir. Kompozit roll bar üretmek için tek yönlü karbon fiber epoksi olan prepreg (USN 125, SK Chemicals, Suwon, Kore) kullanılmış. Test sonucunda ise kompozit malzeme kullanılarak yapılan devrilme testinde enerji sönümleme kapasitesinin arttığını görmüşlerdir. [8]



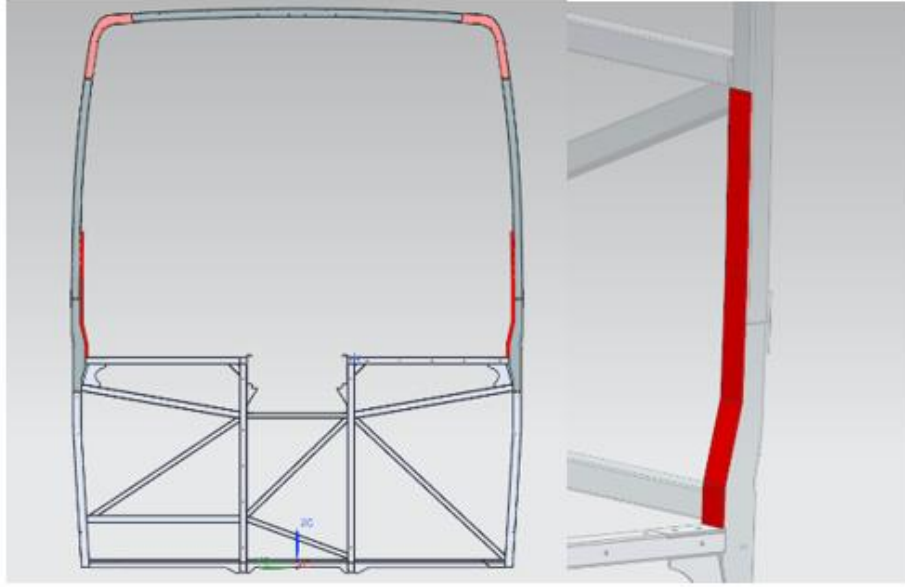
Şekil 3. 5 Kompozit roll bar eklenmiş ve eklenmemiş durum için enerji dağılımı[8]

Şekil 3.5’de başlangıç durumu ve kompozit roll bar uygulanmış otobüs yapısının enerji emilimi dağılımını göstermektedir. Bu bulgular, kompozit rollbar tarafından güçlendirilen otobüs yapısının önemli bir enerji sönümlemesi sağlar ve gereksinimlerin karşıladığını göstermektedir.

Otobüs konstrüksiyon yapısı bir çok farklı kalınlık ve kaliteden çelik profillerden oluşmaktadır. Özellikle ECR-66 Regülasyonu sağlamak ve yapı bütünlüğünü korumak adına yan duvar ile tavan boyunca uzanan yüksek mukavemetli kalın malzemeler kullanılır. Bu malzemeler yapısı gereği hem maliyetli hemde ağırlık olarak dezavantajlıdır. Çalışmanın yapılacağı bölgenin tespiti adına otobüs devrilmesi için daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir. En fazla gerilmeye maruz kalan ve plastik şekil değişiminin başladığı nokta olarak öne çıkan yan duvar olduğu görülmüştür bu sebeple bu bölge konstrüksiyon yapısında ek önlemler alınması gerekmektedir. Çalışma bölgesi için yan duvar üzerindeki en kalın kesite sahip olan bölge seçilmesinin sebebi budur. Bu çalışmada ECE-R66 regülasyonuna uyum şartları sağlanırken aynı zamanda sürdürülebilir bir karoser yapısı oluşturmak hedeflenmiştir. Yine bu amaçla farklı alternatif malzemeler ile desteklenmiş karoser yapısı üzerinde çeşitli deneyler yapılarak konstrüksiyona ve devrilme durumuna etkisi karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. 1 Seyahat otobüsü iskelet yapısı ve model devrilme görünüm



Şekil 4. 2 Yan duvar, taşıyıcı sütun ve alternatif çözüm için hedef bölge

Amaç, bu kullanılan yapıları iyileştirmek olduğu için, çözüm için kompozit olarak belirlenmiştir. Mevcut devrilme durumu için ele alınan yapı yoğun olarak basmaya ve çekmeye maruz kalmaktadır. Kompozit malzemelerin de çekmeye karşı oldukça dayanıklı olduklarını düşünüldüğünde Şekil 4.2'deki gibi bir güçlendirme için yola çıkıldı ve deneyler bu yönde yoğunlaştırıldı.

4.1 Test ve Deneysel Çalışmalar

Deney ve gözlem çalışmalarının ilk adımı olarak kompozit malzeme seçeneği için tek yönlü lifli polimer kumaş olan MasterBrace marka FIB (Carbon Fibre Sheet) malzemesi seçilmiştir. Çelik profil için ise 50x50x3 mm boyutlarında M16 soğuk şekillendirilmiş yüksek mukavemetli çelik seçilmiştir. Test yöntemi için ise üç nokta büküm testi kullanılarak sonuçları incelenmeye çalışılmıştır. En iyi kombinasyon tespit edilerek çalışmalar o varyasyonlar için yoğunlaşılacaktır. Deney düzeneği olarak Zwick-Roell marka Z600E 600kN model çekme cihazı kullanılmıştır.

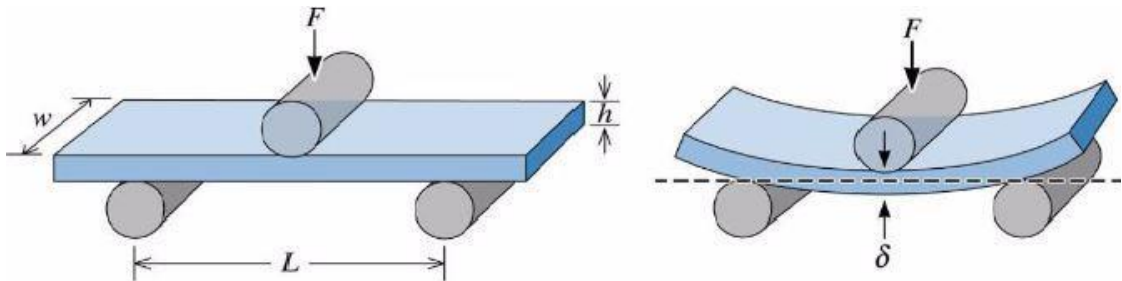
4.1.1 M16 Soğuk Şekillendirilmiş yüksek mukavemetli çelik

Malzeme İsmi	Mekanik Özellikler			Kimyasal Bileşim						
	Re	Rm	A	C	Mn	Si	P	S	N	Al
M 16 (EVO150.04)	295 N/m2	≥ 440 N/m2	≥ 3 %	0,1- 0,16 %	0,6- 0,85 %	0.3 %	0.05 %	0.008 %	0.012 %	0.02 %

Tablo 4. 1 M16 Malzeme Özellikleri

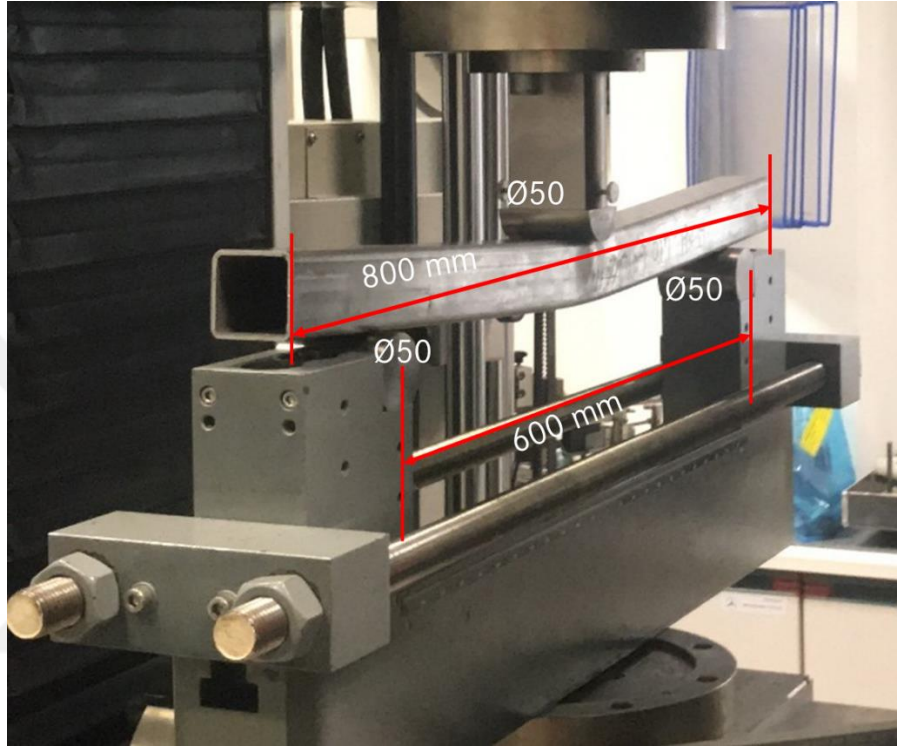
4.1.2 Üç Nokta Büküm Testi

Eğilme testleri malzemelerin mukavemeti hakkında tasarım limitlerini belirlemek ve malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılırlar. Enine yük taşıyan kiriş gibi elemanlar eğilme kuvvetine maruz bırakılırlar. Kirişin her bir bölgesinde eğilme momentleri meydana gelir. Eğme deneyi için TSE(Türk Standartlar Enstitüsü)' nin TS-205 tanımını incelersek, iki desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz parçanın yön değiştirmeksizin orta noktasından bir kuvvet uygulandığında oluşan şekil değiştirmesi olarak tanımlanır. Eğme deneyi sonucunda eğme momenti (M_e), eğilme gerilmesi (σ_e), elastisite modülü (E_e) ve sehim miktarı (δ) gibi değerler elde edilebilir. Bu deney genellikle kırılman ve gevrek malzemeler için yapılır. Örneğin; dökme demirler, yüksek mukavemetli çelikler, çelik dökümler, seramikler v.b [26].



Şekil 4. 3 Üç nokta eğme deneyi düzeneği [26]

Eğme testleri ile güvenli ve tekrarlanabilir test sonuçları elde etmek için desteklerin tam olarak hizalanması ve işaretlenmesi gereklidir. Zwick Roell bu amaç için tüm parçaları belirli bir aralıklarla ayarlanabilen özel eğme ekipmanları üretmiştir.



Şekil 4. 4 Deney düzeneği:600kN'luk Z600E Zwick-Roell cihazında 800 mm'lik boruların bükümü için hazırlık yapılmıştır.

4.1.3 Tek Yönlü Lifli Polimer Kumaş FIB

FRP kumaşlar tek yönlü veya iki yönlü %100 karbon liflerden oluşur. Özellikle karmaşık şekilli yapı elemanlarının güçlendirilmesi için etkili çözümler yaratır. Genel kullanım alanı yapısal mühendislik olan bu malzemenin bazı katkıları ise:

- Kolonlarda: Kesme, kayma, eğilme dayanımını ve darbe direncini arttıırırlar.
- Kirişlerde: Eğilme ve kesme dayanımını artırır.
- Tünellerde: Yanal hareketlere, eğilme ve basınca karşı dayanımı artırır.
- Duvarlarda: Darbe direncini artırır, patlamalara karşı koruma sağlar. [27]

Yapısal mühendislikteki başarılı çözümleri ve FRP malzemenin yüksek dayanım kabiliyeti, kolay uygulanabilir olması gibi yönleriyle FRP malzemenin otobüs konstrüksiyonu üzerine uygulanma fikri doğmuştur. Yapılacak deneyler için BASF firmasına ait MasterBrace FIB yüksek dayanımlı karbon lifli polimer kumaş kullanılmıştır.

<i>MasterBrace FIB 300/50 CFS (300g/m²)</i>	
Malzemenin Yapısı	Karbon
Elastisite Modülü (N/mm ²)	230.000
Çekme Dayanımı(N/mm ²)	4900
Tasarım Kesit Kalınlığı (mm)	0.166
Toplam Lif Ağırlığı (g/m ²)	300
Kopmada Uzama (%)	2.1
Genişlik (mm)	500

Tablo 4. 2 MasterBrace FIB teknik özellikler [28]

Uygulama için epoksi bazlı yapıştırıcı olan MasterBrace SAT4500 seçilmiştir. Uygulama lifli polimer kumaş FIB, bir kat epoksi bazlı yapıştırıcı sürülmüş yüzeye lifleri doğrultusunda gerilerek yerleştirilmiştir. Daha sonra ikinci kat uygulamalarında yapıştırıcı, lifli polimer kumaş yüzeyine rulo ile sürülerek ve lifli polimerin iki kat yapıştırıcı arasında lamine olması sağlanmıştır. Çok katlı lifli polimer uygulamalarında her kat yapıştırıcı rulo ile sürülüp ve lifli polimer kumaş rulo ile bastırılarak yapıştırıcı içinde lamine formlu hale getirilmiştir.

4.2 Kataforez Kaplama (KTL)

Kataforez kaplama yöntemi , malzemenin boya dolu bir havuza daldırılarak aynı anda bu havuzdan bir elektrik akımı oluşturarak yüzeyde mikron ölçülerinde bir kaplamanın oluşturulduğu bir kaplama yöntemidir. Kataforez boya sisteminin diğer boya veya kaplama yöntemlerine göre avantajları ise;

- Tüm yüzey üzerinde kaplamanın homojen ve kalınlığının eşit olması
- Parçaların iç kısımlarının ve boyanın ulaşabildiği her noktanın kaplanabilmesi
- Sistemin su ve organik bazlı olması çevre kirliliğinin azaltılması
- Korozyon direncinin toz boya uygulamalarına kıyasla çok yüksek seviyede olması

şeklinde sıralanabilir. Özellikle otomotiv sektöründe metalik saclar ve plakalar başta olmak üzere, galvaniz çelik saclar, çinko, bakır alaşımları, alüminyum ekstrüzyon ve hadde profilleri, alüminyum döküm parçaları gibi pek çok malzemeye uygulanabilen özel bir yöntemdir. Karmaşık geometrilere sahip, elektrostatik toz boyaya müsait olmayan tasarımlara, boyutsal hassasiyetinin önemli olduğu parçalarda rahatça uygulanabilir. [29]

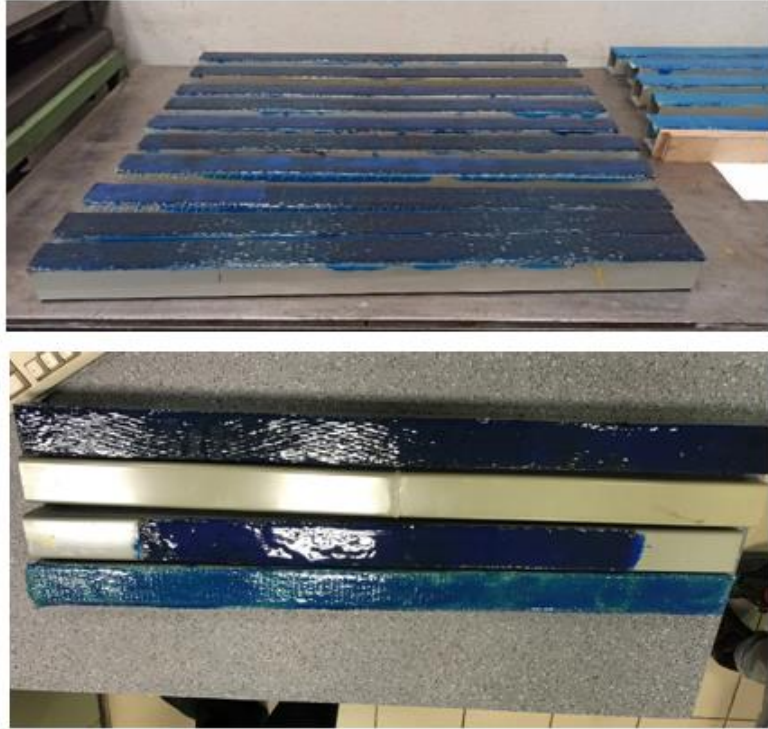


Şekil 4. 5 KTL havuzuna daldırılan bir otobüs karoserisi [30]

4.3 Numune Belirleme ve Sınıflandırma

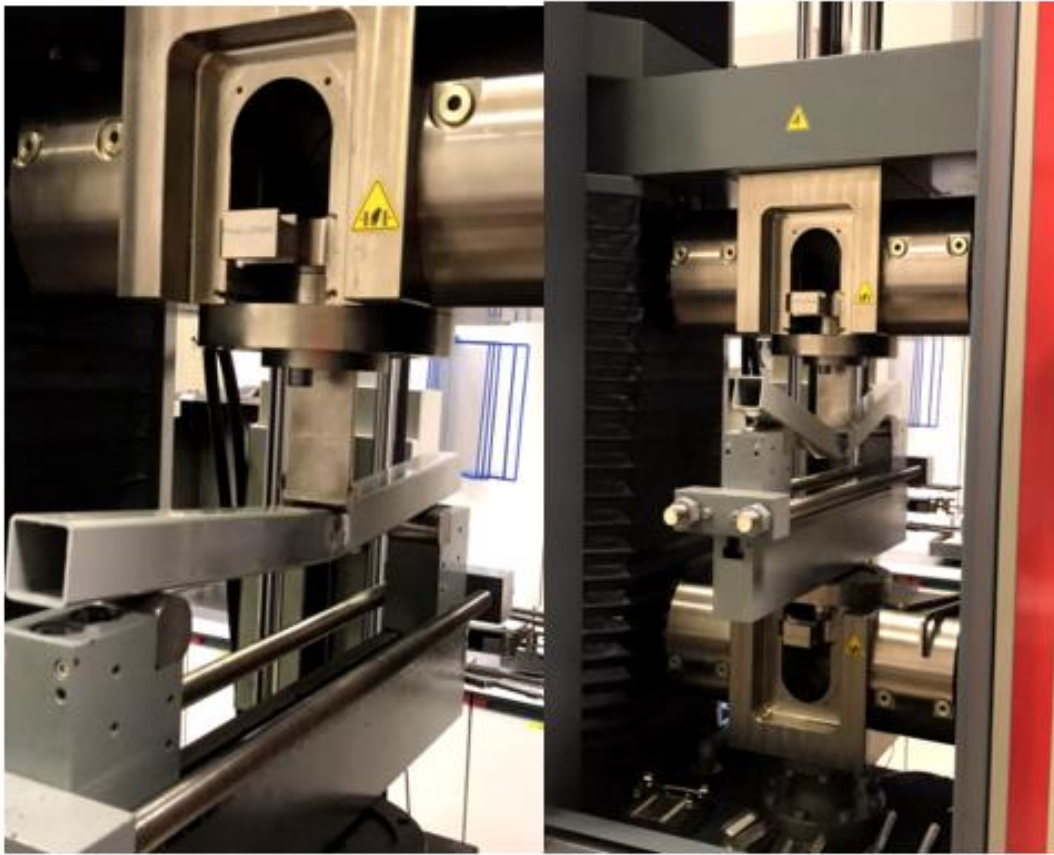
Deney çalışması 22 adet M16 malzeme kare profil kullanılarak yapılmıştır. Borular çeşitli varyasyonlara göre hazırlanmıştır ve otobüs konstrüksiyonu için en ideal çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca karoseri üzerine uygulanan KTL uygulaması da ayrıca incelenip yapıştırma veya dayanım artışına olan etkisi ayrıca araştırılmıştır. Bu sebeple numuneler KTL ve KTL kaplama olmadan iki farklı sınıfa ayrılmıştır. Sınıflandırma;

- Kaplama olmayan yalın boru
- Alın kaynağı yapılmış kataforez uygulanmış yalın boru
- Kataforez kaplanmış boru üstüne tek kat FIB uygulaması (x4)
- Kataforez kaplanmamış boru üstüne tek kat FIB uygulaması (x3)
- Kataforez kaplanmış boru üstüne iki kat FIB uygulaması (x4)
- 400mm+400mm iki borunun alın kaynağıyla birleştirilmiş ve kataforez uygulanmış hali ile tek kat FIB uygulaması (x4)
- Kataforez kaplanmış borunun orta bölgesine 550mmlik tek uygulama (x3)
- Kataforez kaplanmamış borunun orta bölgesine tek FIB uygulama (x2)

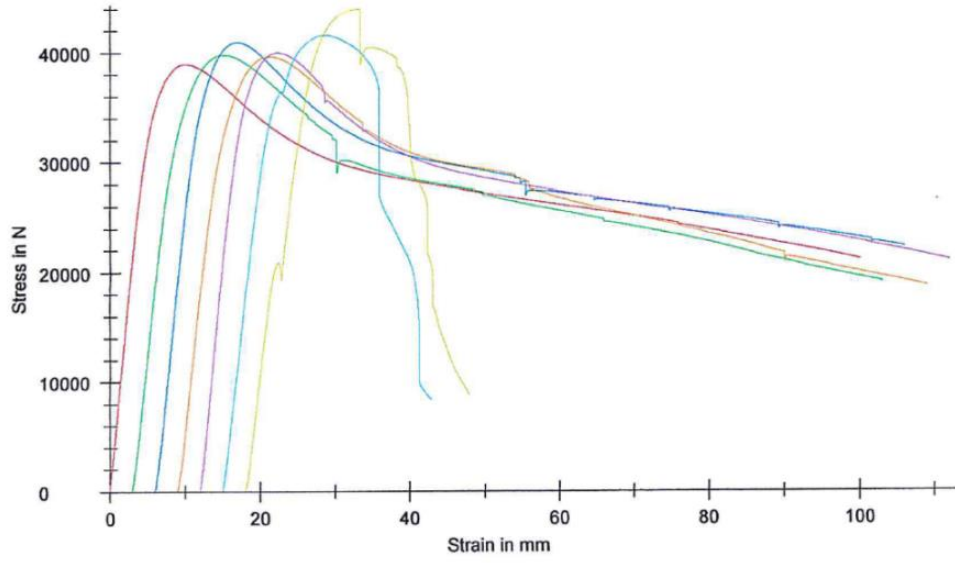


Şekil 4. 6 Test numuneleri

Numune sayısının fazla seçilmesinin sebebi olası yapıştırıcı veya malzeme kaynaklı hataları da belirleyip araç üstünde uygulama için en iyi çözümü belirlemektir. Nitekim bazı numuneler test sırasında yapıştırıcı kaynaklı hatalar sebebiyle FIB malzemenin kopma durumları ile karşılaşmıştır. Deneyler sırasında daha önce bahsedildiği gibi 3 nokta eğme metodu kullanılmıştır ve maksimum gerilme (F_{max}) verileri listelenerek grafik haline getirilmiştir. Deneyler Mercedes-Benz Türk A.Ş. Malzeme Test laboratuvarında akredite ortamda yapılmıştır.



Şekil 4. 7 Test Düzeneği ve büküm anı



Şekil 4. 8 Gerilme grafiği

		Rm N/mm2	ϵ F max	F-max N
M16 50x50x3 - kaplamasız	1	64236,2	11,1	38413,2
KTL ve tek kat FIB uygulanmış boru	2a	66652,0	11,6	39857,9
KTL'siz tek kat FIB uygulanmış boru	2b	63496,3	13,6	37970,8
KTL uygulanmış çift kat FIB boru	3	67427,9	11,2	40321,9
550mm FIB uygulanmış boru KTL'siz	4	65928,8	11,4	39425,4
550mm FIB uygulanmış boru KTL ile	5	66478,3	10,8	39754,0
Alın kaynaklı boru - kaplamasız	6	68919,5	14,3	41213,8
Alın kaynaklı boru – tek katlı FIB ve KTL	7	73463,8	14,6	43931,4

Tablo 4. 3 Test sonucu

Büküm testleri sırasında yapıştırıcı veya uygulama kaynaklı hatalar sebebiyle bazı numuneler ile yapılan testlerden sonuç elde edilememiştir, FIB malzeme koptuğundan dolayı istatistiklere katılmamıştır. Bu sebeple daha önce sınıflandırılması yapılan numuneler için başarılı olan testlerin sınıfına göre ortalaması alınarak istatistik olarak belirtilmiştir.



Şekil 4. 9 Test sonrası profillerin görüntüleri



Şekil 4. 10 Test öncesi veya test sırasında FIB malzeme kaynaklı hata sebebiyle değerlendirilmeye alınmayan numune örnekleri

22 numune ile yapılan deneyde ortalamalar alınarak en iyi sonucun “alın kaynaklı ve KTL kaplamasız boru üzerine tek katlı FIB uygulaması olduğu” görülmüştür. Kaplamasız boru ile karşılaştırıldığında %6.6 lık mukavemet artışı söz konusudur. Ayrıca KTL’siz olarak uygulanan FIB malzemenin daha verimsiz olduğu görülmüştür. FIB uygulaması KTL üstüne tercih edilmelidir.

Ayrıca deneyler sırasında FIB malzemenin F_{max} 'a ulaşmadan yapıştırıcı etkisini kaybetmesiyle parçadan daha erken ayrıldığı yine gözlemlenmiştir. Bu sebeple bazı büküm testleri başarısız olmuştur. 22 örnekten 14 tanesi hesaplama dahil edilmiştir. Diğer örnekler yapıştırıcı sorunu sebebiyle bükme işleminin en başında parçadan kopmuştur. Bu deneyler sonucunda FIB malzemenin dinamik yükler altındaki etkisi ortaya konmuştur ve inşaat sektöründe statik yüklerdeki kadar verimli olmadığı görülmüştür.

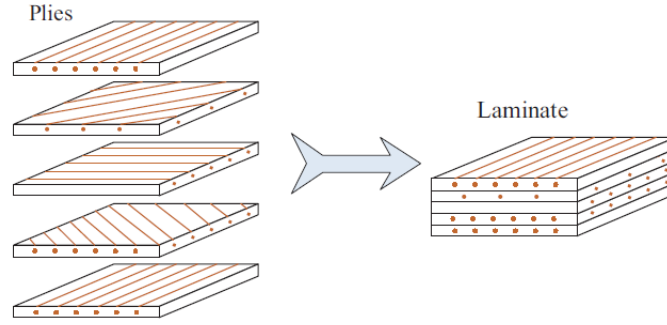
Çalışmanın %6.6lık mukavemet artışı göz önüne alındığında otobüs kontrüksiyonu için getireceği faydalar açıktır fakat bu oranın ekonomik bir çözüm olması adına arttırılma ihtiyacı da mevcuttur. Bu sebeple yine benzer bir malzeme olan Karbon Lifli Polimer malzemenin plaka olarak uygulanmış hali ile deneylere devam edilecektir. Bu beklentinin sebebi ön üretimli olması ve yapıştırıcı kaynaklı sorunları çözeceği yönündeki tahminler olmuştur.

4.3.1 FRP LAM (Laminate) Malzeme

FRP bazlı malzemeler, hafifliği, yüksek çekme ve yorulma mukavemeti, iyi ısı ve korozyon direnci gibi üstün özellikleri ve ayrıca malzemeyi uygulamalara göre uyarlama esnekliği nedeniyle bir dizi endüstrinin ilgisini çekmektedir. FRP malzemelerinin benzersiz özellikleri, farklı elektriksel ve mekanik özelliklere sahip olan karbon fiberler ve matris reçinenin birleştirilmesiyle elde edilir. Genel olarak, FRP kompozitleri çok dayanıklıdır ve Boeing 787 Dreamliner ve Airbus A380 gibi uçaklarda ve otomobillerde, BMW i3 tamamen elektrikli otomobillerde ve ayrıca rüzgar türbini bıçakları, oltalar gibi bazı sivil uygulamalarda kendilerine yer bulmuşlardır. Genel olarak, FRP'ler, çeşitli fiber oryantasyonları ile birlikte istiflenmiş birkaç tek yönlü kattan veya mekanik özellikleri geliştirmek için birbiri etrafında dokunmuş fiberlerden yapılır. FRP'lerdeki karbon lifleri, yalıtımlı polimer ile birbirinden ayrılır.[31]

FRP Laminat (FRP Levhalar), tek veya çift yönlü dirence sahip, özel FRP epoksi reçine sistemleri ile beton veya çelik yüzeylere yapıştırılan çok katmanlı levhalardır. FRP LAM genellikle, elemanların sertliğini ve mukavemetini önemli ölçüde arttıran betonarme ve gerilme yüklü yapıların güçlendirilmesi ve mukavemetinin arttırılması, elemanların plastik alanlarındaki çatlakların

kontrol edilmesi ve önlenmesi için kullanılır. FRP LAM malzemesi uygulamasına bağlı olarak karbon, cam ve aramid levhalardan yapılabilir. Karbon türü olanlar daha yaygın olarak kullanılmakta olup, sınırsız uzunluklarda ve 10 cm ve 5 cm genişliklerde kullanımı yaygındır.



Şekil 4. 11 Laminant form gösterimi [31]

Bilim ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, modern malzemeler, güçlendirmede konusunda önemli bir rol oynayan inşaat ve yapı endüstrisine kullanılmaya başlanmış ve farklı sektörlerinde ilgisini çekmiştir. Hali hazırda bina güçlendirmede kullanılan bu malzemeler için alternatif kullanım alanları mevcuttur. FRP LAM ile bina güçlendirmede, kirişler, kolonlar, perde duvarlar ve beton döşemeler gibi zayıf betonarme elemanlar, tüm binayı güçlendirmek için kullanılabildiklerinden bizim de ilgimizi çekmiş ve otobüs karoserisi üstünde uygulama ve sonuçları uygulama merakı doğmuştur. FRP FIB malzemesine nazaran uygulama metodu ve yapıştırıcı yönünden farklı olduğundan FRP LAM malzeme seçilmiştir. Yapılacak çalışma için MasterBrace LAM 50/1.4 CFH seçilmiştir. Beton, çelik ve ahşap elemanların eğilme takviyesi için olumlu etki gösteren, yüksek modüllü ve yüksek çekme dayanımı sağlayan, kullanıma hazır bir karbon fiber laminattır.

MasterBrace LAM 100/1.4 CFH (300g/m ²)	
Malzemenin Yapısı	Karbon
Elastisite Modülü (N/mm ²)	210000
Çekme Dayanımı(N/mm ²)	2800
Kopmada Uzama (%)	1.40%
Kalınlık S (mm)	1.4
Genişlik K (mm)	100
En Kesit Alanı (mm ²)	140

Tablo 4. 4 Malzeme özellikleri[32]

Malzemenin yapısal mühendislikteki özellikleri ve bazı avantajları;

- FROP LAM malzeme, çelik veya betonarme sargı gibi geleneksel güçlendirme yöntemlerine göre çok daha kolay uygulanır.
- Hafifliklerinden dolayı ağırlık dezavantajı yaratmazlar.
- Döşemelerde ve kirişlerde, yüksek elastisite modülleri ve servis yükleri nedeniyle oluşan sehimleri azaltırlar.
- Yük taşıma kapasitesi artışı sağlar.
- Çok yüksek çekme dayanımlarına sahiptirler. [32]

4.3.2 Uygulama

Önceden hazırlanmış karbon lifli polimer plakaların pürüzsüz yüzeylerine MasterBrace markasına ait ADH 4000 yapıştırıcı, 1 mm kalınlığında sürülmüştür. Daha sonra arkasına yapıştırıcı sürülmüş olan karbon lifli polimer plakalar yerlerine, lifleri doğrultusunda gerilerek ve şişme yapmayacak şekilde sabitlenmiştir.

LAM malzeme ile deney için toplam 9 adet numune kullanılmıştır. Numune ölçüleri FIB deneyinde olduğu gibidir. 9 adet numune 3'er gruplara bölünerek sınıflandırılmıştır.

- 3 adet kaplamasız M16
- 3 adet KTL kaplamalı ve LAM uygulanmış
- 3 adet KTL kaplamasız ve LAM uygulanmış

Deney düzeneği olarak FIB malzeme ile aynı sistem Zwick-Roell Çekme Cihazı kullanılmıştır



Şekil 4. 12 Numuneler



Şekil 4. 13 Lam malzeme için deney düzeneği

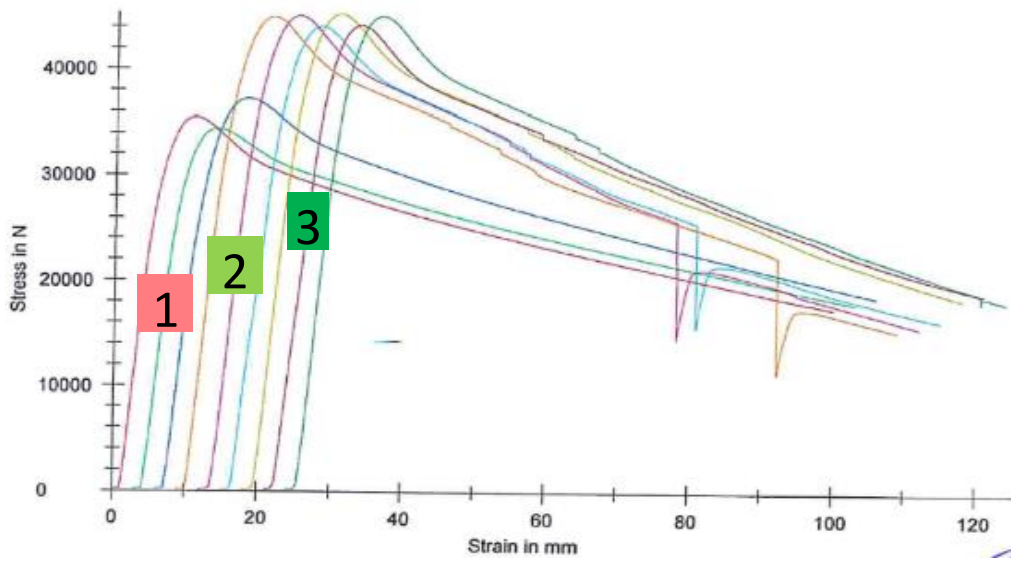
FRP FIB Malzemedede olduğu gibi deney boyunca, F kuvveti arttırılırken, malzemenin tam ortasında oluşan sehîm değeri ölçülmüştür. Ölçülen değeri sonucunu kuvvete karşılık gelen sehîm grafiğı elde edilmiştir. Bu ölçümler, tüm malzeme için en yüksek sehîm ve momentin oluştuğı orta noktada yapılmıştır. Ayrıca yine bazı numunelerde yapıştırıcı kaynaklı hatalardan takviye malzemenin erken kopma durumları görülmüştür.



Şekil 4. 14 Test sonrası numuneler

	Rm N/mm ²	ϵ F max	F-max N	Masterrace LAM
1	59.707,68	11,3	35.705,19	
2-KTL'siz	74.750,77	12,92	44.700,96	
3-KTL ile	74.951,85	12,81	44.821,21	

Tablo 4. 5 Test sonuçları



Şekil 4. 15 Lam malzeme için grafik gösterimi

LAM malzeme uygulanmış borular beklenildiği üzere yapıştırıcı kaynaklı erken kopmalar olmasına rağmen yüksek oranda mukavemet artışı göstermiştir. 3'er adetlik serilerin ortalaması alındığında KTL olmadan LAM uygulanmış borunun %25, KTL uygulanmış LAM malzemeli borunun ise %26lık bir mukavemet artışı sağladığı gözlemlenmiştir. Bu ciddi mukavemet artışı sebebiyle araç üstünde denemek için FRP LAM malzemesi seçilmiştir. Sonraki aşama olarak devrilme testinde kullanılacak karoseri üzerine FRP LAM eklenecektir.

4.4 Devrilme Testi

Yapılan deneyler sonucu FRP LAM malzemenin uygulama için en uygun malzeme olduğunu kanıtlamıştık ve devrile testinde bu malzemeyi uygulayarak kullanacağız. Daha önce bahsedildiği gibi ECR66 regülasyonundan onay alabilmek için 4 farklı ile devrilme testi yapılabilmektedir. Bu çalışmada "Yapı Parçaları Üzerine Yarı statik Gerilim Testi" kullanılmıştır. Araç üzerinden taşıyıcı sütunların olduğu bir kesit alınmış ve tüm araç devrilmesi durumunu simüle etmesi için ağırlık ve çarpışma hızı, açısı gibi parametreler detaylı hesaplar sonucunda belirlenmiştir. Tek kesit olmasına rağmen ayarlanan parametreler ile sonuçlar tüm otobüsün devrilmesi durumundaki konstrüksiyonu temsil edecektir.

Öncelikle kütle ve ağırlık merkezinin hesaplanması gerekmektedir, ölçümlere öncelikle devrilme düzeneğinde kullanılan tezgah parçaları ile başlanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda devrilme testinde tezgah olarak kullanılan parçalar 363kg olarak tartılmıştır. Elde edilen parça ağırlıkları ile ağırlık merkezi hesaplanması gerekmektedir. Daha sonra bu ağırlık merkezine göre açı ve hız hesabı yapılacaktır. ECR66 regülasyonunda daha önce belirtildiği gibi bu yöntem kullanıldığında karoseriden tek bir kesit alınır, alınan kesitin tüm aracı temsil etmesi için ise ağırlık eklemek gerekmektedir, bu sebeple hesaplanan ağırlık kesit üzerine ek olarak kullanılır. Test düzeneğinin kesiti taşırken beraber devrileceği düşünüldüğünde ve ağırlık merkezini etkiyeceğinden hesaplamalara katılması gerekecektir.



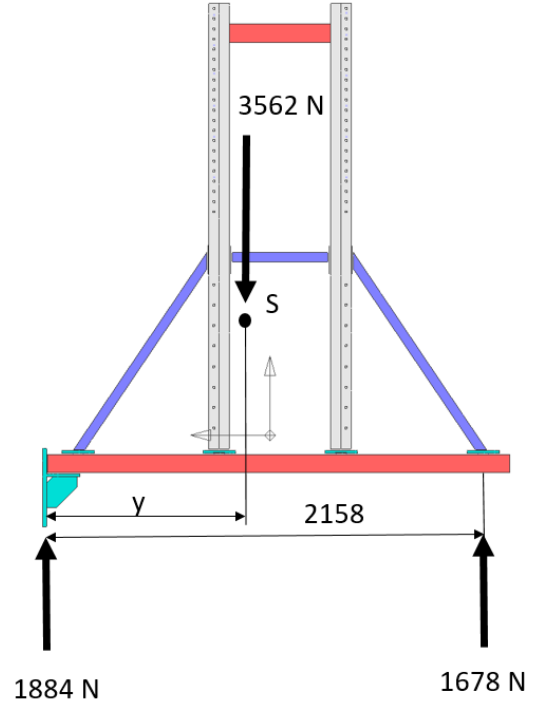
Şekil 4. 16 Tezgah parçalarının ölçümü

$$3562 * y - 1678 * 2158 = 0$$

$$3562 * y = 1678 * 2158$$

$$y = \frac{1678 * 2158}{3562}$$

$$y = 1016$$



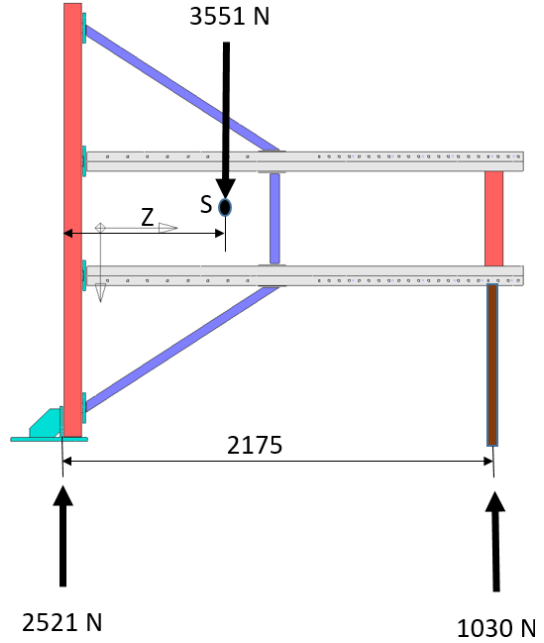
Şekil 4. 17 Y yönünde ağırlık merkezi hesabı

$$3551N * z - 1030N * 2175mm = 0$$

$$3551N * z = 1030N * 2175mm$$

$$z = \frac{1030N * 2175mm}{3551N}$$

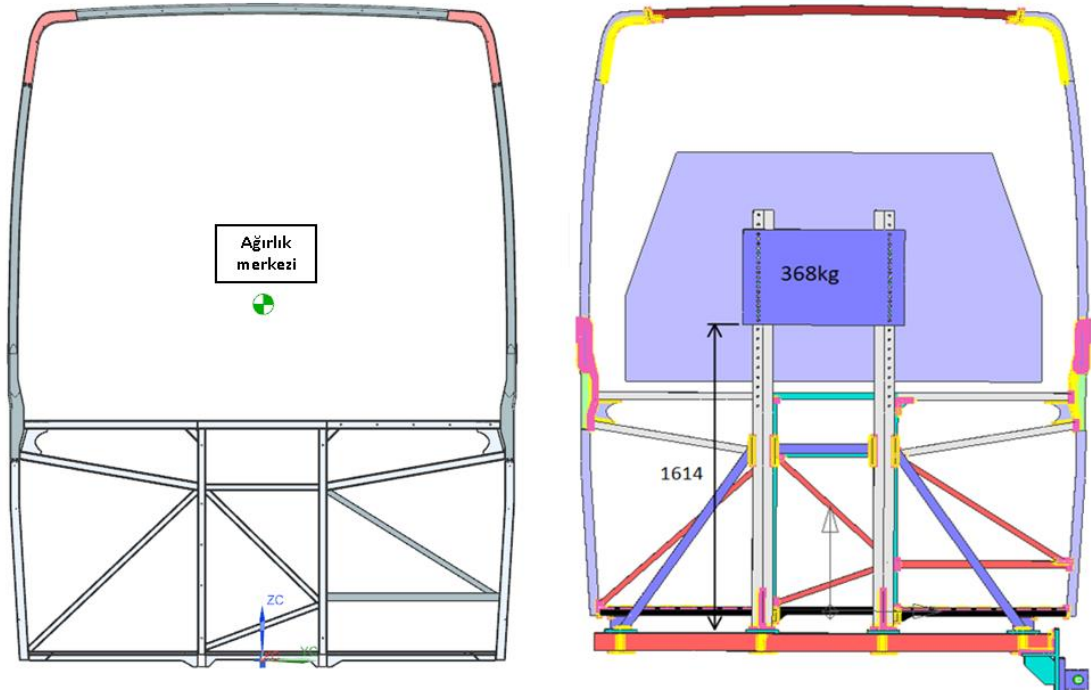
$$z = 631 \text{ mm}$$



Şekil 4. 18 Z yönünde ağırlık merkezi hesabı

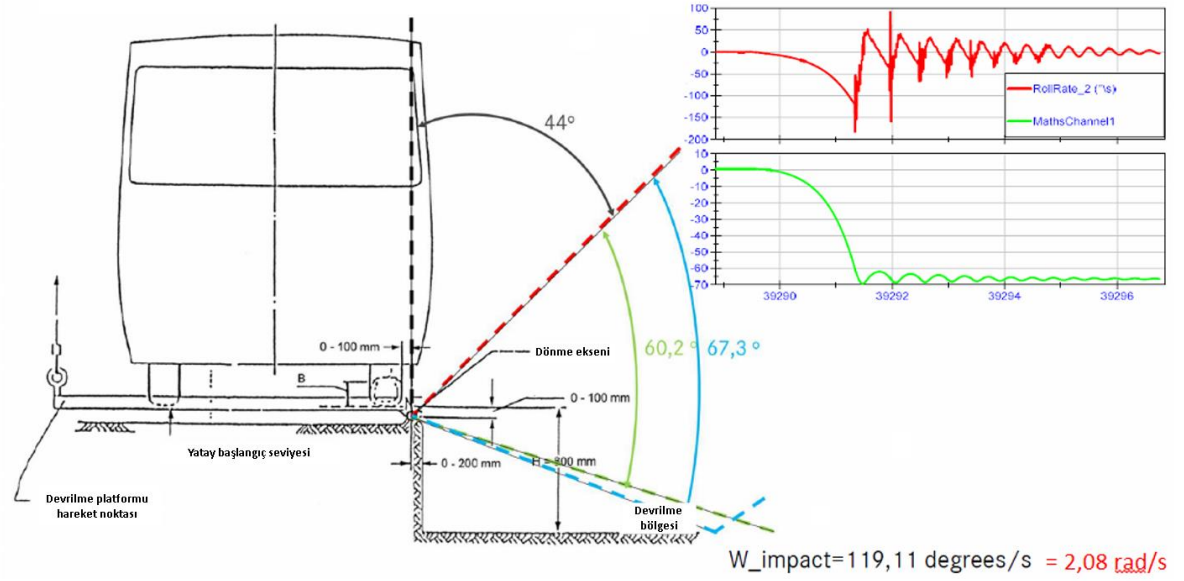
Bu yöntem ile sadece bir kesti devriliyor olsa bile tüm aracının devrilmesini temsil ettiğinden ağırlık hesabı yapılırken tüm aracın yolcular ve diğer ekipmanlar varmış gibi ağırlığı belirlenip kesite yansıtılır. Bu sebeple ağırlık merkezi önemli bir parametredir.

Regölasyon gereği devrilen kesitin tüm aracın davranışını temsil etmesi gerekmektedir bu sebeple ağırlık merkezine ekstra ağırlıklar eklenerek bu şart sağlanmaya çalışılır. Tüm aracın ağırlığının bu kesite üstüne düşen ağırlığı hesaplandığında ek olarak 368kg eklenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır, bu sebeple 26 adet plaka eklenmiştir, eklenen plakaların her biri 14.15 kg'dır ve toplam 368 kg eklenmiştir.



Şekil 4. 19 Kesit üzerine eklenen ağırlık ve ağırlık merkezi

Ağırlık merkezi ve devrilme noktası hesabı için bilgisayar destekli programlardan yardım alınmıştır ve devrilme açısı ölçüldüğünde ise 44° olarak hesaplanmıştır. Devrilme kesit 44° açı sağlandıktan sonra devrilmeye bırakılacaktır. Açısal hız ise 2,08 rad/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 20 Açısal hız ve düşüş açısı hesaplama

Açısal hız ve devrilme açısı formüller ile hesaplanmak istenseydi:

Aracın 800 mm yüksekteki platformdan devrilmesi testi sırasında potansiyel enerji dönme enerjisine dönüşür.

$$E_{pot} = E_{rot} \quad (4.1)$$

Potansiyel enerjinin serbest kaldığı yükseklik için aracın toplam ağırlığının yanında devrilme sınırındaki ve yere temas anındaki ağırlık merkezlerinin yükseklik farkı Δh dikkate alınmalıdır.

Serbest kalan potansiyel enerji aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$E_{pot} = M \cdot g \cdot \Delta h \quad (4.2)$$

g = Yerçekimi ivmesi (9.8 m/s²)

Δh = Ağırlık merkezleri farkı

$$E_{rot} = \frac{(j_{s+m \times r}) \times w^2}{2} \quad (4.2)$$

ω = Açısal hız

m = Araç kütlesi

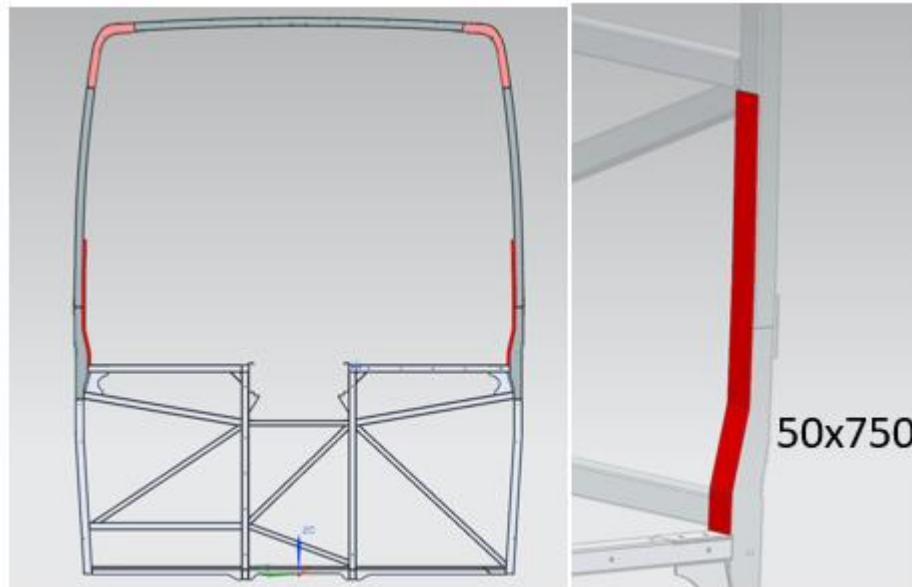
r = Ağırlık merkezinin dönme noktasına uzaklığı

J_s = Ağırlık merkezinin oluşturduğu atalet momenti

$$w = \sqrt{\frac{E_p \cdot t}{\frac{1}{Z} x_r^2 + j_s}} \quad (4.3)$$

formülleri kullanılabilirdi.

Tüm yapılan hesaplar sonucu devrilme testi için tüm parametreler hazırdır. Fakat teste başlamadan 2 adet daha parametre deneme devrilmesi yapılacaktır. Gerçek devrilme durumu için toplam 6 adet test yapılacaktır. Bu testlerin 3 tanesi normal kesit, 3 tanesi ise LAM malzeme ile güçlendirilmiş olacaktır. Daha sonra elde edilen veriler karşılaştırılıp LAM malzemenin duruma etkisi karşılaştırılmalı olarak incelenecektir. LAM malzemenin çekme kuvvetine olan aşırı dayanımından dolayı malzeme uygulama yüzeyi iç yüzey olarak seçilmiştir.



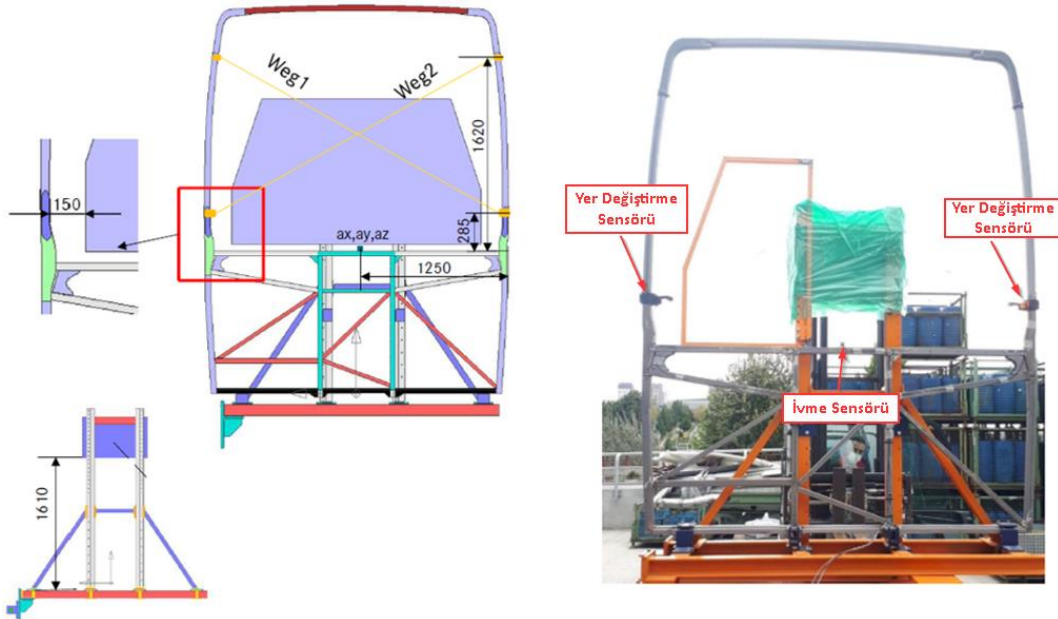
Şekil 4. 21 LAM malzemenin uygulandığı alan

Testlere başlamadan önce belirlenen parametrelerin denenmesi için toplamda 2 adet deneme devrilme testi yapılmıştır. Yapılan denemelerde yerleştirilen aç

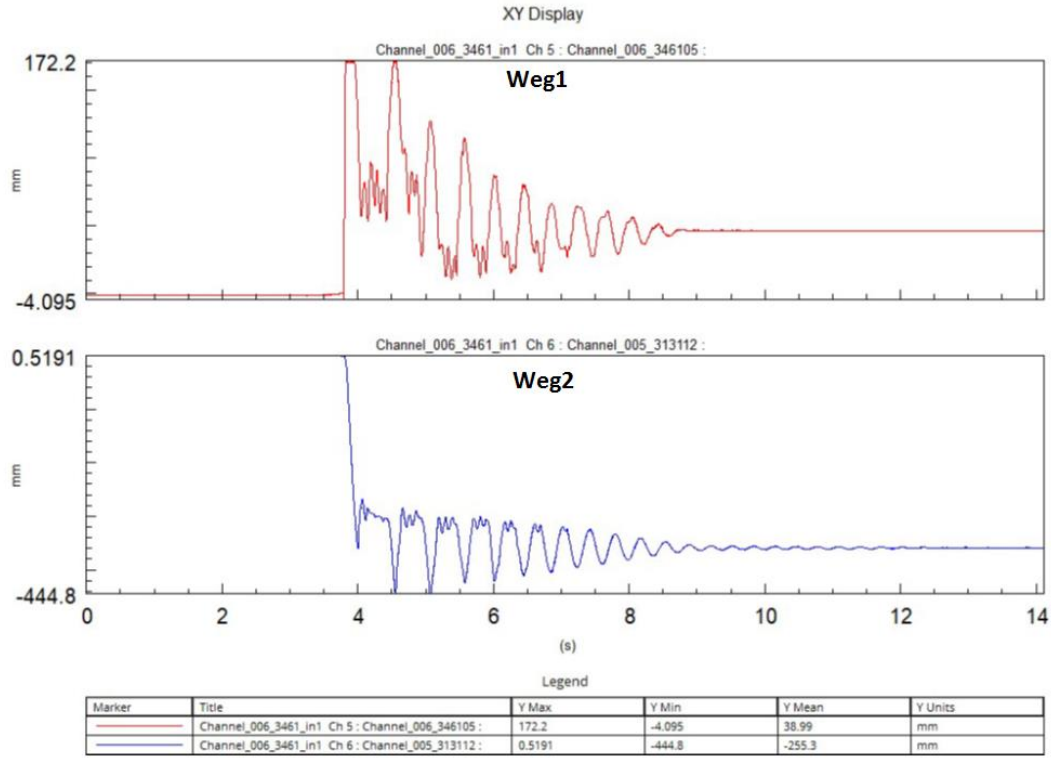
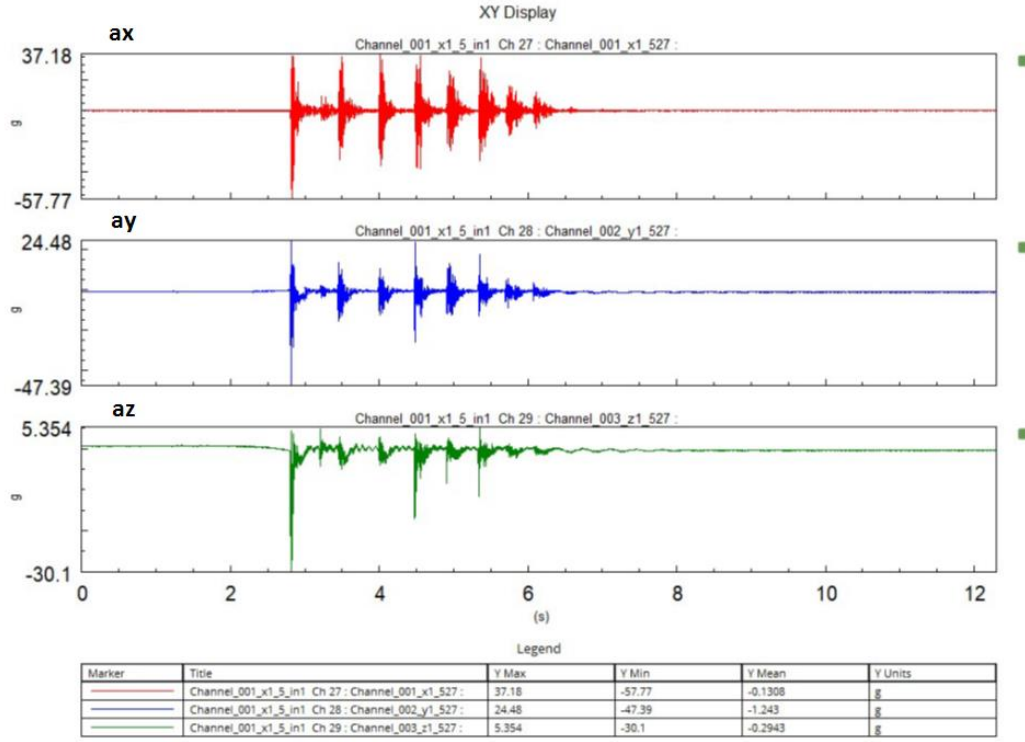
sensörü, ivme sensörü ve yer değıştirme sensörü gibi cihazlar ile kontrol edilerek parametlerin doğruluğu gözden geçirilir. Hesaplanan veriler ve gerçek durum karşılaştırılarak ağırlık, açı v.s gibi ufak ayarlamalar yapılır. Sensörlerin doğru çalıştığı kontrol edilir. Yapılan sensör okumalarında parametrelerin doğru olduğu herhangi bir değışiklik ihtiyacı olmadığı görölmüştür. Fakat başka beklenmedik bir sonuç olan profil bağlantı noktalarında kaynak yırtılmaları olduğu görölmüştür. Bu sebeple teste başlamadan önce bu konuya yoğunlaştırılmıştır.



Şekil 4. 22 Test ve sensörlerin takip düzeneği



Şekil 4. 23 Test düzeneği



Tablo 4. 6 Deneme sırasında sensörler ile verilen takibi

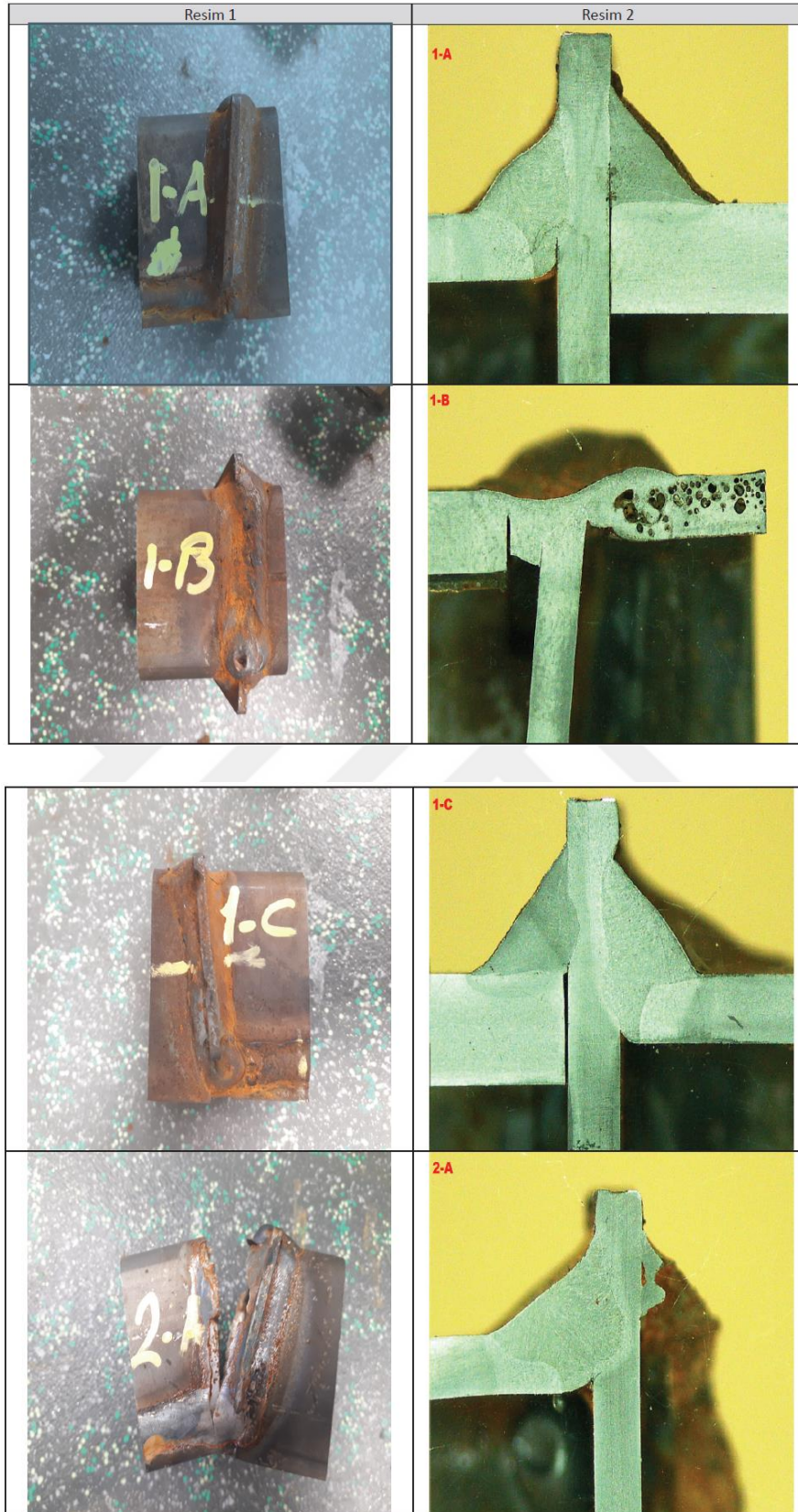


Şekil 4. 24 Devrilme sonrası kaynak hatası görülen bölge

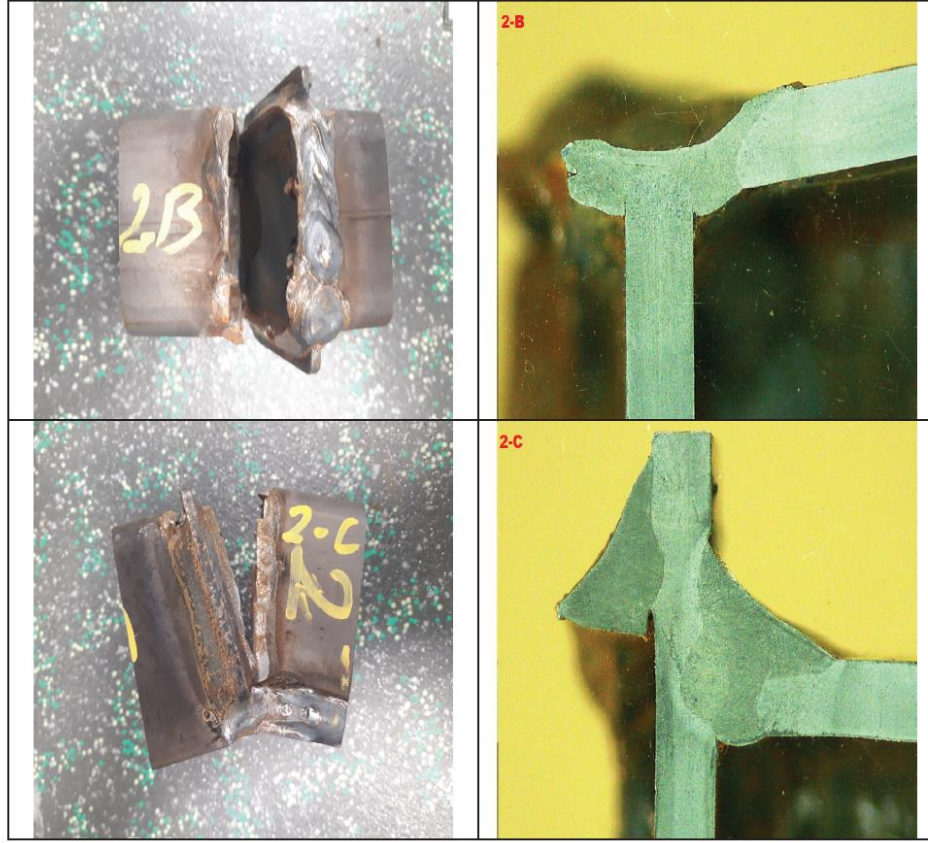


Şekil 4. 25 Kaynak yırtılmaları

Beklenmeyen bu kaynak yırtılmaları sonucu testlere kısa bir süre ara verilmiş, oluşan hatanın sebebi incelenmiştir. Bu amaçla yırtılma olan bölgelerin kaynak nüfuziyetinin tespiti amaçlı parçalar kesilerek kaynak makroları incelenmiştir. İnceleme sonrası kaynak dikişlerinde nüfuziyetsizlikler, gözenekler, yanma oluk hataları tespit edilmiştir. Hatanın nedeninin tespiti sonrası yeni yapılacak test kesit karoserilerinin kaynak parametreleri gözden geçirilmiş ve kaynak uzmanları tarafından kaynak kalitesi denetlenmiştir. Bu sayede yapılan diğer testlerde kaynak kopmasına rastlanmamıştır.



Şekil 4. 26 Kaynak makro



Şekil 4. 27 Kaynak makro

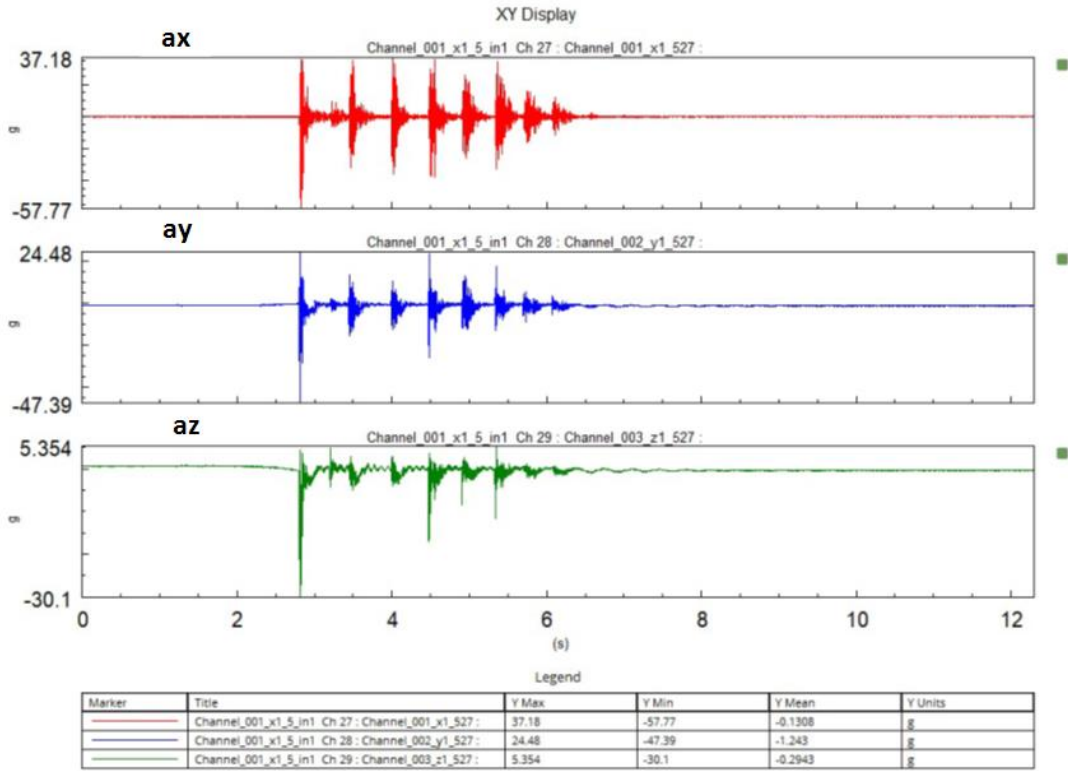
Kaynak hataları tespit edilip yeni parametrelere göre toplam 6 adet devrilme testi kesiti yeniden imalat edilmiştir. 3 tanesine LAM malzeme uygulanmıştır. Öncelikle takviyesiz kesitler devrilmiştir. Daha önce hesapladığımız parametreler yine geçerlidir, LAM takviyeli kesit içinde yine aynı parametreler kullanılarak deneyler yapılacaktır.

4.4.1 Test 1

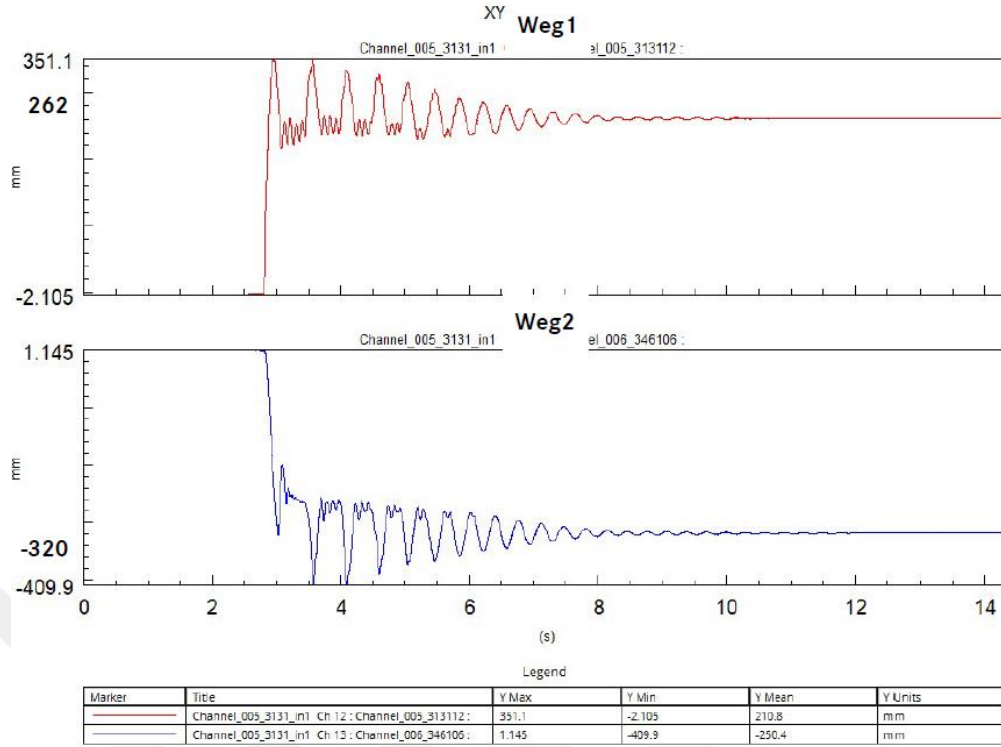
1 numaralı numune için yapılan hesaplamalar ile parametreler ayarlanmış ve forklift yardımıyla düşmenin başlayacağı açıya kadar kaldırılıp ağırlık merkezi hesaplanan konuma getirildiğinde pim serbest bırakılarak düşme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapı üzerine yerleştirilen sensörler ile X,Y koordinatlarında oluşan hareketler takip edilmiştir. Ayrıca iki sütunda meydana gelen yer değiştirme yani deformasyon Weg1-Weg2 istatistikleri sensörler yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Test sonucunda Weg1 de 351mmlik yer değişimi görülürken Weg2 de bu oran -409.9mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 28 1 numaralı takviyesiz yapının devrilme testi



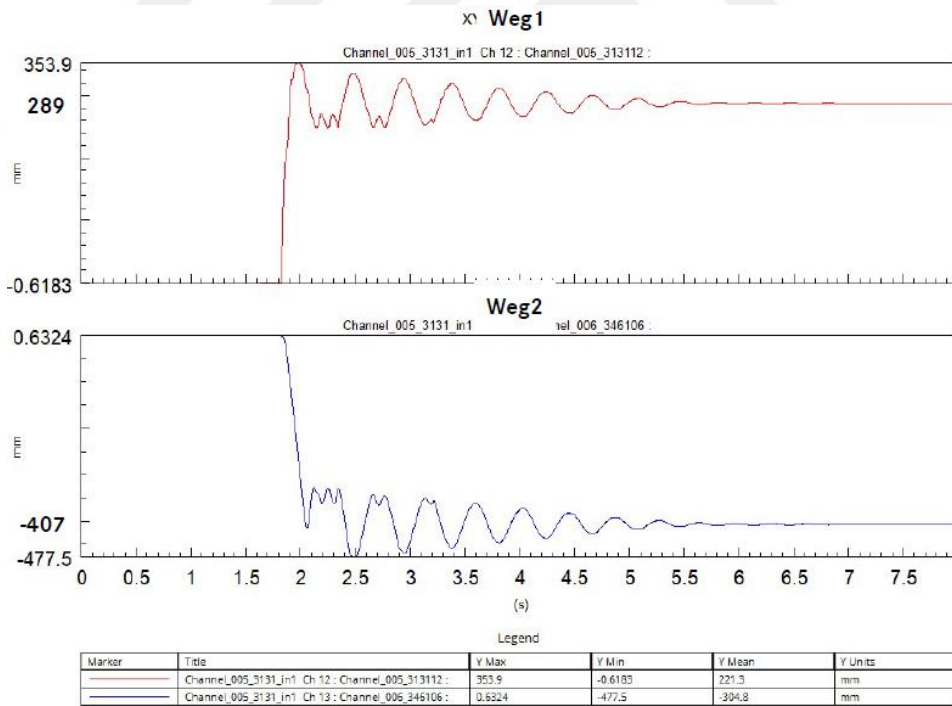
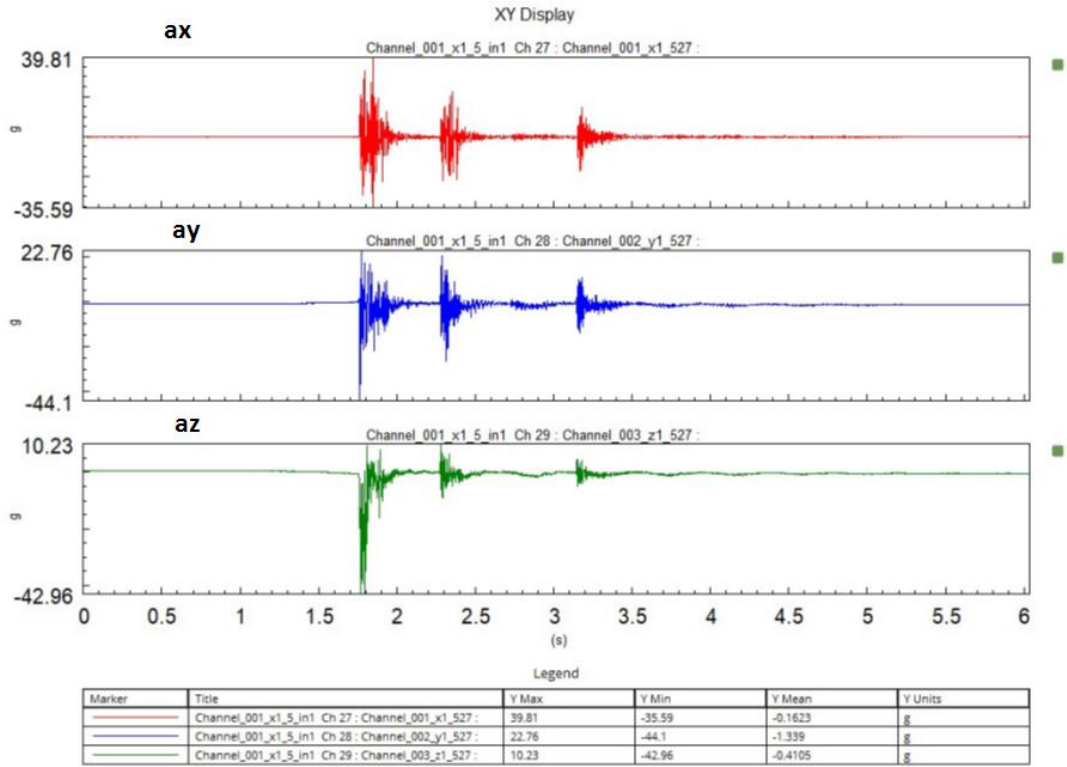
Tablo 4. 7 1 numaralı takviyesiz yapının devrilme testine ait veriler



Tablo 4. 8 1 numaralı takviyesiz yapının devrilme testine ait veriler

4.4.2 Test 2

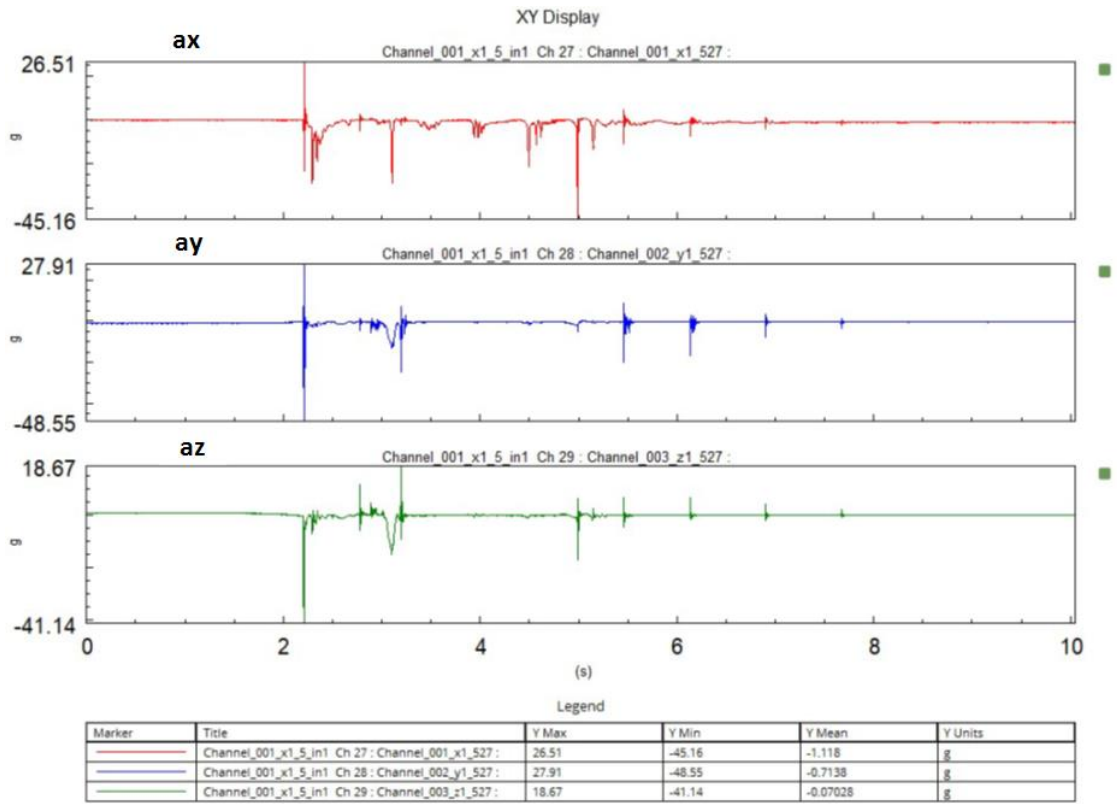
2 numaralı numune için ise benzer şekilde yapılan hesaplamalar için yine önceden parametreler ayarlanmış ve forklift yardımıyla düşmenin başlayacağı açıya kadar kaldırılıp ağırlık merkezi hesaplanan konuma getirildiğinde pim serbest bırakılarak düşme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapı üzerine yerleştirilen sensörler ile X,Y koordinatlarında oluşan hareketler takip edilmiştir. Ayrıca iki sütunda meydana gelen yer değiştirme yani deformasyon Weg1-Weg2 istatistikleri sensörler yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Test sonucunda Weg1’ de 358 mm’lik yer değişimi görülürken Weg2’ de bu oran -478 mm olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple yer değiştirmenin en yüksek olduğu test olmuştur. Ayrıca bu hata sebebiyle ivme sensöründen veri alınamamıştır.



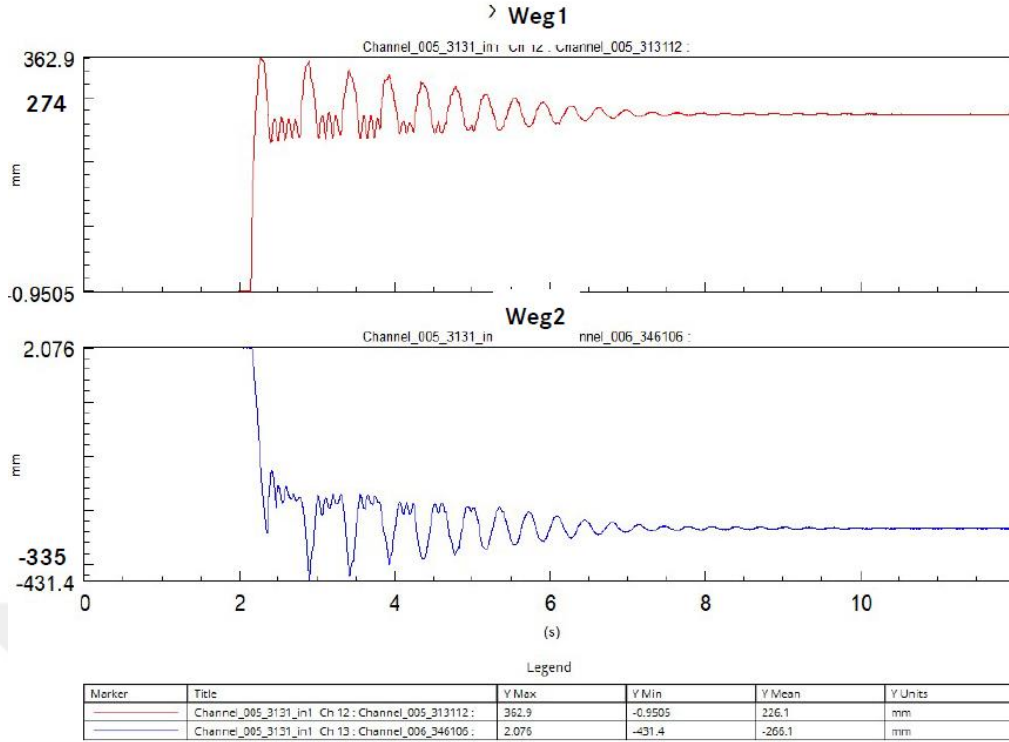
Tablo 4. 9 2 numaralı takviyesiz yapının devrilme testine ait veriler

4.4.3 Test 3

3 numaralı numune süreç yine aynıdır ve forklift yardımıyla düşmenin başlayacağı açıya kadar kaldırılıp ağırlık merkezi hesaplanan konuma getirildiğinde pim serbest bırakılarak düşme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapı üzerine yerleştirilen sensörler ile veriler takip edilmiştir. Ayrıca iki sütunda meydana gelen yer değiştirme yani deformasyon Weg1-Weg2 istatistikleri sensörler ile izlenmiştir. Test sonucunda Weg1’de 363 mmlik yer değişimi görülürken Weg2 de bu oran - 431mm olarak görülmüştür.



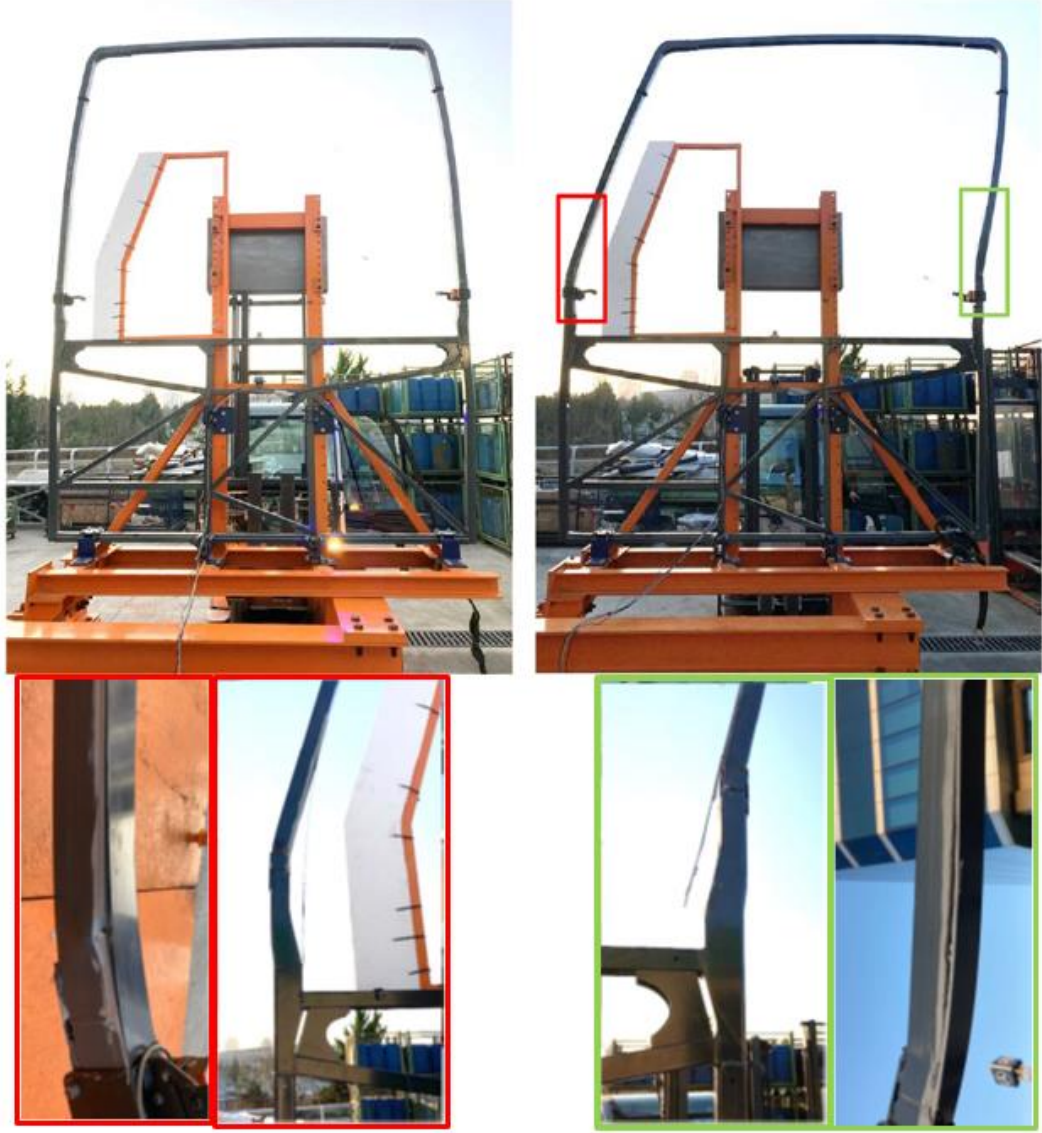
Tablo 4. 10 3 numaralı takviyesiz yapının devrilme testine ait veriler



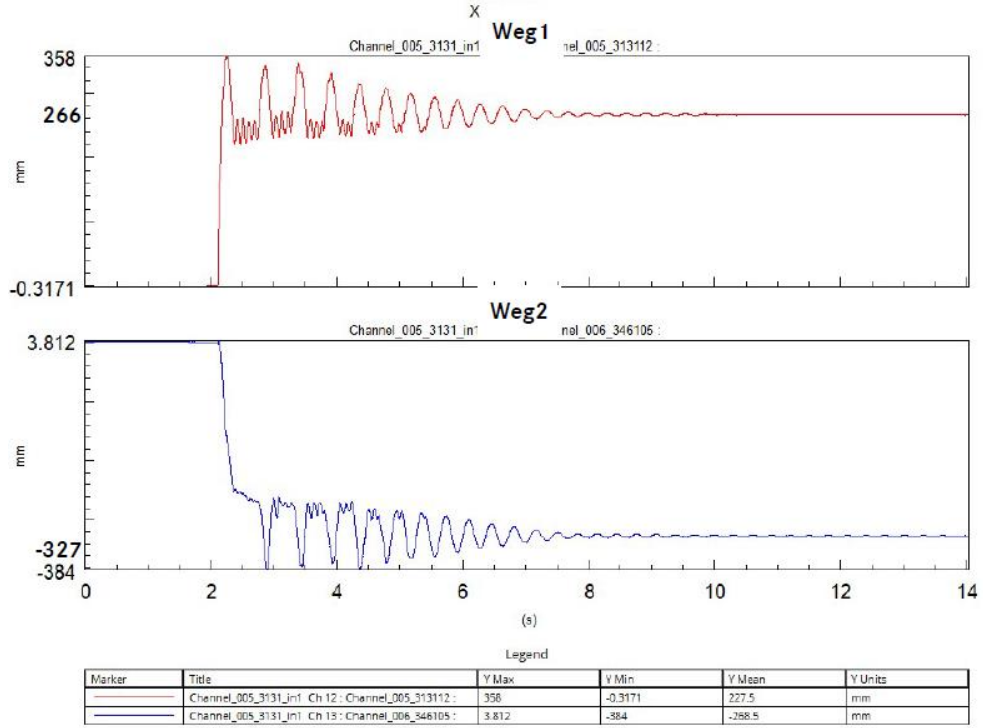
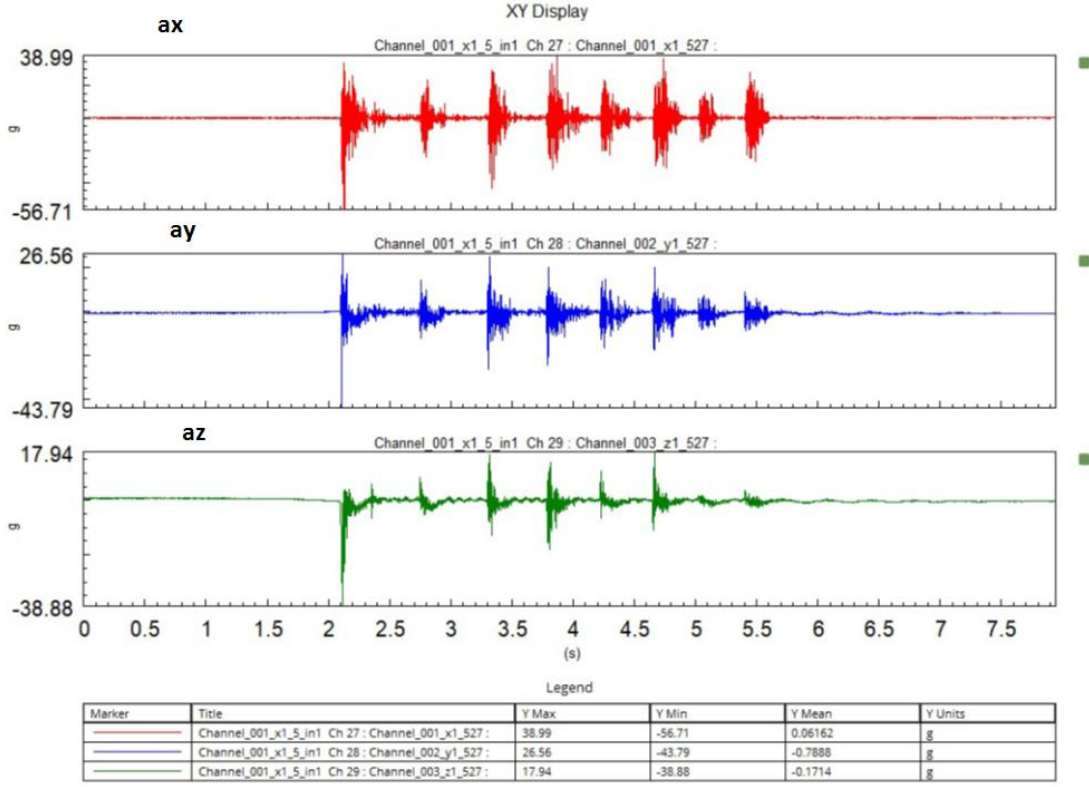
Tablo 4. 11 3 numaralı takviyesiz yapının devrilme testine ait veriler

4.4.4 Test 4

4 numaralı numune için yapılan hesaplamalar ile parametreler ayarlanmış ve forklift yardımıyla düşmenin başlayacağı açıya kadar kaldırılıp ağırlık merkezi hesaplanan konuma getirildiğinde pim serbest bırakılarak düşme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapı üzerine yerleştirilen sensörler ile X,Y koordinatlarında oluşan hareketler takip edilmiştir. Ayrıca iki sütunda meydana gelen yer değiştirme yani deformasyon Weg1-Weg2 istatistikleri sensörler yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Test sonucunda Weg1 de 358 mm'lik yer değişimi görülürken Weg2' de bu oran -384 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 29 4 numaralı takviyeli yapının devrilme testi



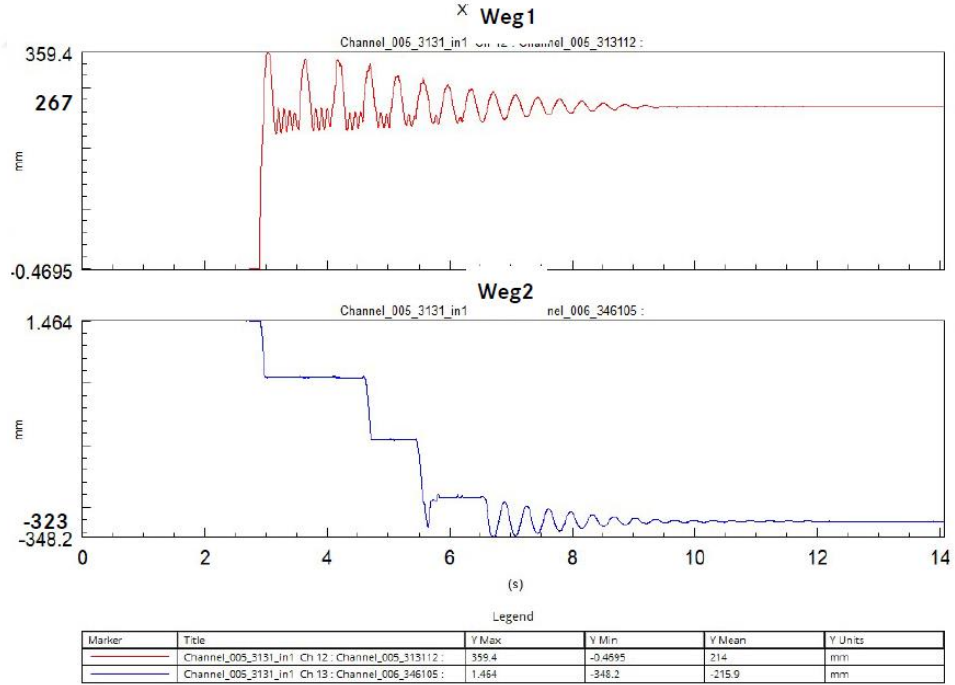
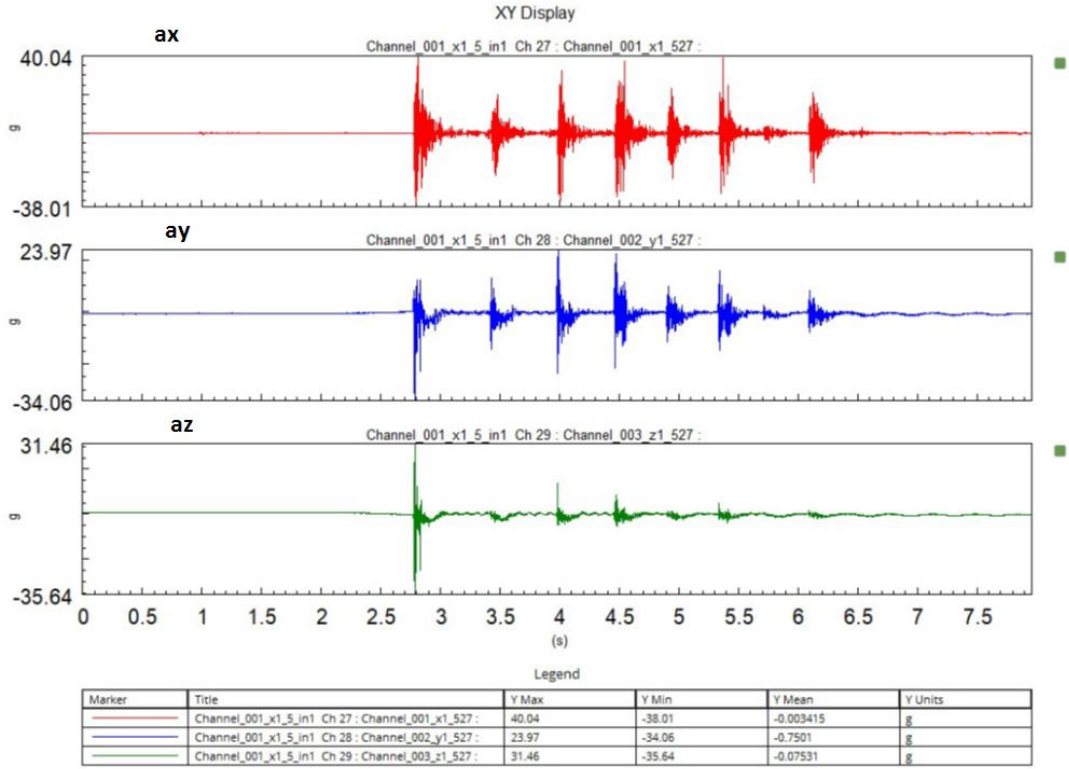
Tablo 4. 12 4 numaralı takviyeli yapının devrilme testine ait veriler

4.4.5 Test 5

5 numaralı numune yine aynı süreç gerçekleştirilmiş forklift ile kaldırılan düzenek sonrasında pim serbest bırakılarak düşme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapı üzerine yerleştirilen sensörler ile X,Y koordinatlarında oluşan hareketler takip edilmiştir. Ayrıca iki sütun arasındaki yer değiştirme yani deformasyon Weg1-Weg2 istatistikleri incelenmiştir. Test sonucunda Weg1 de 359 mm'lik yer değişimi görülürken Weg2 de bu oran -348 mm olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4. 30 5 numaralı takviyeli yapının devrilme testi



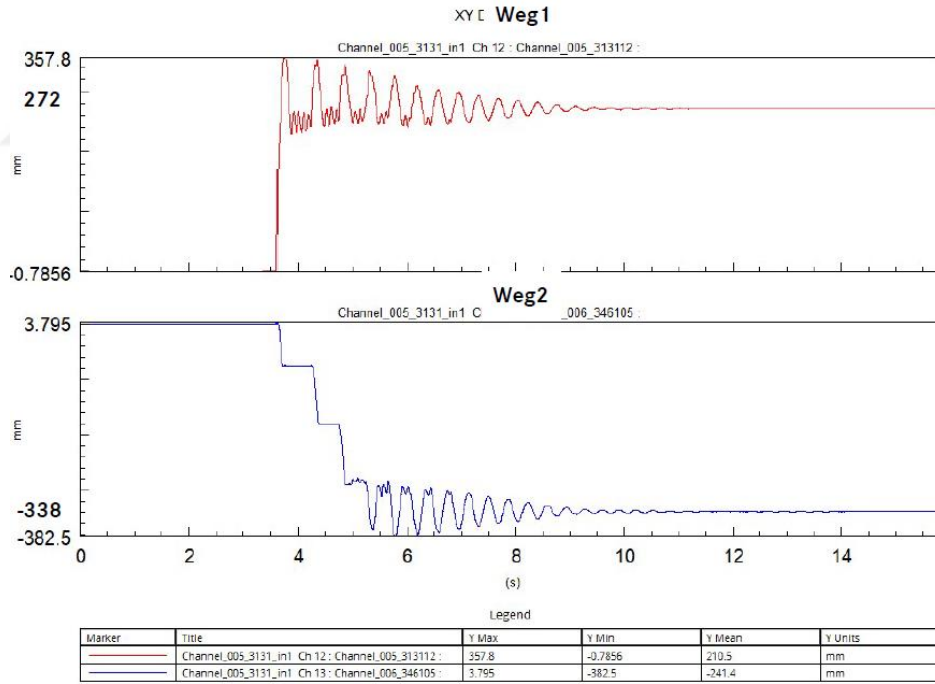
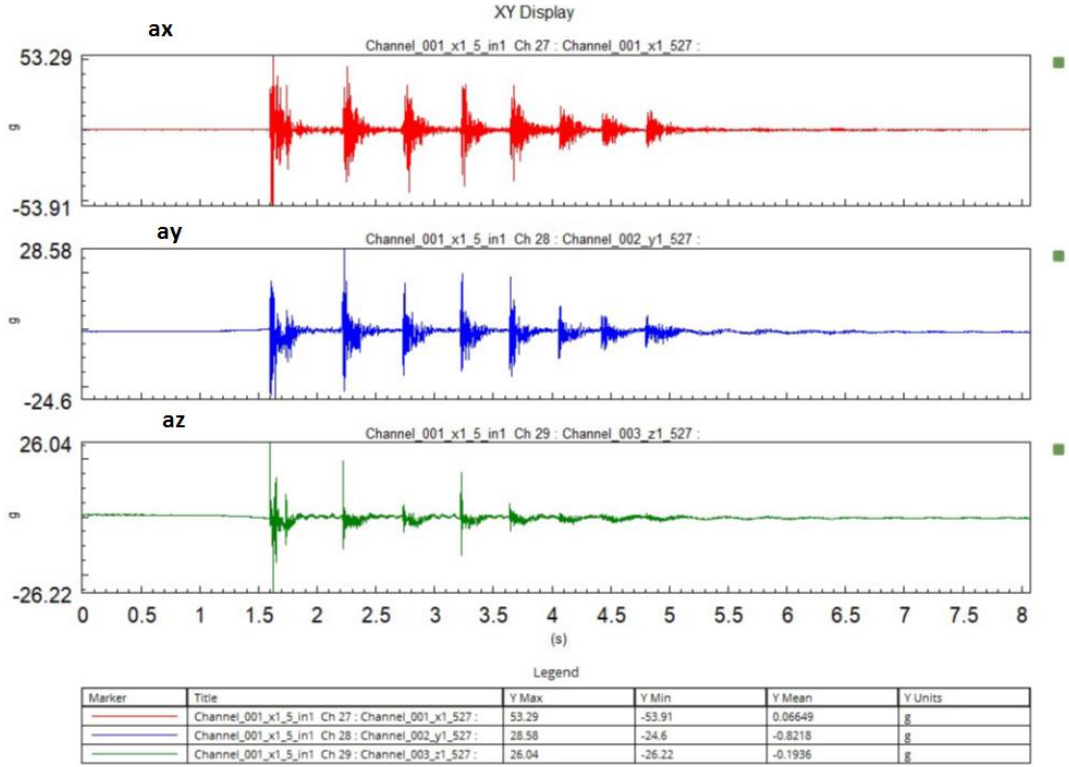
Tablo 4. 13 4 numaralı takviyeli yapının devrilme testine ait veriler

4.5.6 Test 6

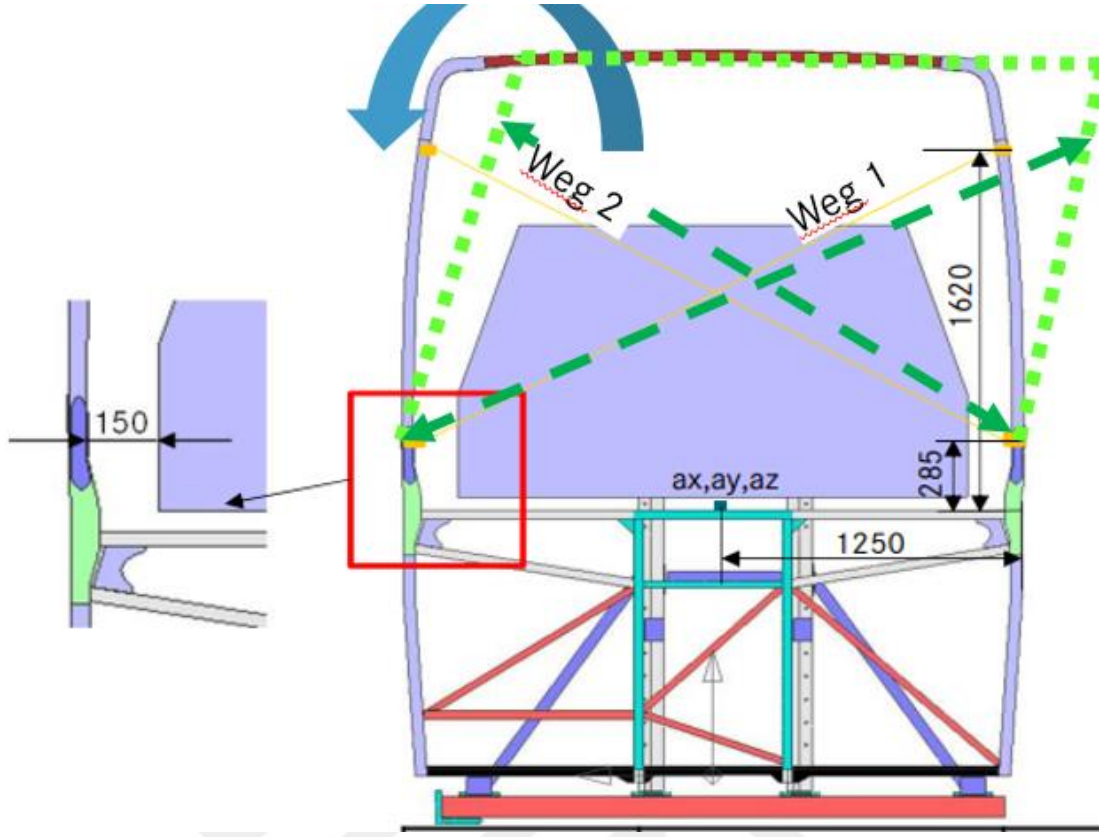
6 numaralı ve son test için yine öncesinde yapılan hesaplamalar ile devrilme parametreler ayarlanmış ve forklift yardımıyla düşmenin başlayacağı açıya kadar kaldırılıp ağırlık merkezi hesaplanan konuma getirildiğinde pim serbest bırakılarak düşme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapı üzerine yerleştirilen sensörler ile X,Y koordinatlarında oluşan hareketler takip edilmiştir. Ayrıca iki sütunda meydana gelen yer değiştirme yani deformasyon Weg1-Weg2 istatistikleri sensörler yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Test sonucunda Weg1 de 358 mm'lik yer değişimi görülürken Weg2 de bu oran -383 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 31 6 numaralı takviyeli yapının devrilme testi



Tablo 4. 14 6 numaralı takviyeli yapının devrilme testine ait veriler



Şekil 4. 32 Düzenek

Kesit Alınan Model	Deney	İvme, ax [g]	İvme, ay [g]	İvme, az [g]	Max. Weg1 [mm]	Max Weg1 [mm]	Def. Weg2 [mm]	Def. Weg1 [mm]	Ağırlık [Kg]
517 HD	1.Test	-58/37	-47/25	-30/5	351	-410	262	-320	24Plaka = 368
517 HD	2.Test	Hata	Hata	Hata	354	-478	289	-407	24Plaka = 368
517 HD	3.Test	-45/27	-49/28	-41/19	363	-431	274	-335	24Plaka = 368
517 HD	4.Test (FRP)	-57/39	-44/27	-39/18	358	-384	266	-327	24Plaka = 368
517 HD	5.Test (FRP)	-38/40	-34/24	-36/31	359	-348	267	-323	24Plaka = 368
517 HD	6.Test (FRP)	-54/53	-25/29	-26/26	358	-383	272	-338	24Plaka = 368

Tablo 4. 15 Sonuçlar

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada günümüzde toplu taşıma aracı olarak yaygın şekilde kullanılan otobüslerin güvenlik standardı ECR66 regülasyonunu sağlama şartları araştırılmıştır. Bu pasif güvenlik sistemine uyum şartlarını sağlarken tasarım değişikliği ile birlikte ağırlık tasarrufu elde edilmeye çalışılmıştır. Devrilme durumundan en çok etkilenen bölge olan ve en kalın profilin kullanıldığı yan duvar profili hedef alınmış ağırlığının 5mm den 3mm ye indirilerek araç başı 50kg lık tasarruf hedeflenmiştir. Bu bağlamda otobüs konstrüksiyonu üzerinde alternatif kompozit malzemeler vasıtasıyla takviye çözümler denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Devrilme testlerinden önce doğru kompozitin seçimi için profiller üç nokta büküm testine tabii tutulmuştur. Bu deneyler sonucu FRP FIB malzeme bekleneni veremezken, FRP LAM malzeme %26 ya yakın bir mukavemet artışı sunduğundan devrilme testinde uygulanacak kompozit malzeme olarak seçilmiştir.

FRP LAM ile takviye edilmiş konstrüksiyonun devrilme testi için ise “Yapı Parçaları Üzerine Yarı statik Gerilim Testi “ metodu seçilmiştir. Test öncesi sensörler vasıtasıyla gerekli hesaplamalar yapılmış ve yöntemin tüm şartları için ayarlamalar yapılmıştır.

Regülasyonun asıl amacı yaşam alanını korumak olduğundan, güçlendirmenin yaşam alanına etkisini incelemek için 6 adet devrilme testi yapılmıştır. Yapılan bu testlerde olası bir devrilme testinde LAM malzeme ile güçlendirilmiş karoserinin yaşam alanına 60mm daha fazla koruduğu anlaşılmıştır.

Elde edilen veriler LAM malzemenin otobüs yapısı üzerindeki mukavemet arttırıcı olumlu etkisini kanıtlamıştır fakat sonuç beklentinin altında kalmıştır. Bunun temel sebebi LAM malzeme ve metal yüzey arasındaki yapıştırıcı veya bağlanma

metodu olduğu tespit edilmiştir. Yapıştırıcı erken koptuğundan LAM malzemenin dayanım özelliği erken devre dışı kalmaktadır.

Bu verilen ışığında ilgili yapıştırıcı ve bağlanma metodu çözüldüğünde bu sonucun daha da artacağı tahmin edilmektedir. LAM malzeme ile güçlendirilen malzemenin ekstra mukavemet sağlamanın yanı sıra gerekli azami dayanımı sağlamak için kalın boruların inceltilerek FRP LAM ile güçlendirilmesi ihtimalide kesinleşmiş, temel amaç olan kalınlık azaltmanın bu takviye malzeme ile birlikte yapılabileceği anlaşılmıştır. Takviye malzeme eklenmiş konstrüksiyon ile birlikte 5mm kalınlığındaki yan duvar profilleri takviye eklenerek 3mm olarak kullanabilecek ve araç başına 50 kg ağırlık tasarrufu sağlanabilecektir.



-
- [1]Matolcsy, Mátyás. "The severity of bus rollover accidents." Scientific Society of Mechanical Engineers. Paper 70989 (2007).
- [2]Vincze-Pap, S. "European Test Methods for Superstructures of Buses and Coaches Related to ECE R66 (the applied hungarian calculation method)." Proceedings: International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Vol. 1998. National Highway Traffic Safety Administration, 1998.
- [3]Wicaksono, Satrio, et al. Finite element analysis of bus rollover test in accordance with UN ECE R66 Standard. Bandung Institute of Technology, 2017.
- [4]V. Belsare, C. Pathak, M. Kulkarni, Rollover analysis of passenger bus as per AIS-031, International Journal of Engineering Research and Development 4 (5) ,India 2012.
- [5]Zhang, Guosheng, Xuewen Zhang, and Bin Liu. "The study of bus superstructure strength based on rollover test using body sections." Advances in Multimedia, Software Engineering and Computing Vol. 2. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. 315-322.
- [6]Seica, Michael V., and Jeffrey A. Packer. "FRP materials for the rehabilitation of tubular steel structures, for underwater applications." Composite Structures 80.3 2007: 440-450.
- [7]Zhao, Xiao-Ling, and Lei Zhang. "State-of-the-art review on FRP strengthened steel structures." Engineering structures 29.8 (2007): 1808-1823.
- [8]Kang, Kyoung-Tak, et al. "Design of a composite roll bar for the improvement of bus rollover crashworthiness." Composites Part B: Engineering 43.4 (2012): 1705-1713.
- [9]Galvez, Pedro, et al. "Study of the behaviour of adhesive joints of steel with CFRP for its application in bus structures." Composites Part B: Engineering 129 (2017): 41-46.
- [10]Otobüs," Wikipedia, 27-Şubat-2022 [online] Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Otob%C3%BCs>. [Accessed: 05-Mar-2022]
- [11]F. A. Barlas, "Otobüsün Tarihçesi: Tarihte ilk Otobüs Nasıldı?," hangisi en iyi?, 10-Jan-2022. [Online]. Available: <https://www.hangisieniyi.com/otobusun-tarihcesi/>. [Accessed: 05-Mar2022].
- [12]Ulaştırma, TC Kalkınma Bakanlığı. "11. Kalkınma Planı (2019-2023)." Özel İhtisas Komisyonu Raporu (2018) , Ankara
- [13]"Trafik Kazaları Özeti, 2020 - TÜİK," Tüik Kurumsal. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2020-37436>. [Accessed: 05-Mar-2022]. Ankara
- [14]A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System, 2014. Traffic Safety Facts Annual Report Tables. [online] Available at: <<https://cdan.nhtsa.gov/tsftables/tsfar.htm>> [Accessed 5 March2022]. USA
- [15]A Compilation of Motor Vehicle Crash Data 2018. Traffic Safety Facts Annual Report.[online] Available at: <<https://cdan.nhtsa.gov/tsftables/tsfar.htm>> [Accessed 5 March 2022]. USA

- [16]Matolcsy, Mátyás. "Lessons and conclusions-learned from the analysis of bus rollover accidents." International Conference on Science and Motor Vehicles. 2003.
- [17]Karayollari trafik YÖNETMELİĞİ - mevzuat. (n.d.). Retrieved April 25, 2022, from <https://mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=8182&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>
- [18]H. Güngör, “Şehirler Arası Bir Otobüs Modelinin Devrilme Dayanımının İyileştirilmesi,” Ulusal Tez Merkezi | Anasayfa. [Online]. Available: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=nmlhK2ML9p7nzR_iQiswew&no=60blLmEYhE-_t-86PSZP_w. [Accessed: 05-Mar-2022].
- [19]Hashemi, S. M. R., A. C. Walton, and K. Kayvantash. "Strength of Super-Structure UN-ECE R66 Rollover Approval of Coaches based on Thin-Walled Framework Structures." International Journal of Vehicle Structures & Systems (IJVSS) 1.4 (2009).
- [20]“ECE regulation no. 66 - homepage | unece.” [Online]. Available: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2009/wp29grsg/GRSG-96-04e.doc>. [Accessed: 05-Mar-2022].
- [21]Ngo, Tri-Dung. "Introduction to composite materials." Composite and Nanocomposite Materials—From Knowledge to Industrial Applications (2020).
- [22]J. Sabhadiya, “What is composite material?- definition and types,” Engineering Choice, 10-Feb-2022. [Online]. Available: <https://www.engineeringchoice.com/composite-material/>. [Accessed: 05-Mar-2022].
- [23]Nagavally, Rahul Reddy. "Composite materials-history, types, fabrication techniques, advantages, and applications." Int J Mech Prod Eng 5.9 (2017): 82-7.
- [24]İ. Dalyan, “Lifli Polimerlere Farklı Biçimlerde Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme
- [25]Performanslarının Belirlenmesi Ulusal Tez Merkezi: Anasayfa,” Ulusal Tez Merkezi | Anasayfa. [Online]. Available: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>. [Accessed: 05-Mar-2022]
- [26]Arslan, Şeymanur. FRP donatılarda durabilite. MS thesis. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, 2020.
- [27]Bursa Teknik Üniversitesi , 3 Nokta Eğme Deneyi Föyü 206-16
- [28]Remyapisal.com. 2022. *ReM*. [online] Available at: <http://www.remyapisal.com> > [Accessed 17 April 2022].
- [29]Master Builders Solutions. (n.d.). Türkiye. Retrieved April 17, 2022, from <https://www.master-builders-solutions.com/tr-tr/products/masterbrace/masterbrace-fib>
- [30]Övündür, Merih. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Mikro Ark Oksidasyon Ve Anodik Oksidasyon İşlemlerinin Karşılaştırılması. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [31]2022. [online] Available at: <https://kataforeztesisi.com/kataforez-tesisi-nedir/> > [Accessed 17 April 2022].

- [32]Cheng, Jun, et al. "Research advances in eddy current testing for maintenance of carbon fiber reinforced plastic composites." *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics* 51.3 (2016): 261-284.
- [33]Master Builders Solutions. (n.d.). Türkiye. Retrieved April 17, 2022, from <https://www.masterbuilderssolutions.com/trtr/products/masterbrace/masterbrace-lam>



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

1. OTOBÜS KONSTRÜKSİYONLARINDA MUKAVEMET ARTTIRICI TAKVİYE
MALZEME KULLANIMININ KALİTE VE GÜVENLİK STANDARTLARINA
UYGUNLUĞUNUN TESPİTİ

