

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİRLER ARASI BİR OTOBÜS MODELİNİN DEVRİLME DAYANIMININ
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan GÜNGÖR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİRLER ARASI BİR OTOBÜS MODELİNİN DEVRİLME DAYANIMININ
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hasan GÜNGÖR
(503151712)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Turgut ÖZAKTAŞ
Eş Danışman: Dr. Kubilay YAY**

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503151712 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hasan GÜNGÖR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ŞEHİRLER ARASI BİR OTOBÜS MODELİNİN DEVRİLME DAYANIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mustafa Turgut ÖZAKTAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Dr. Kubilay YAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Özgen AKALIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Muammer ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tarkan SANDALCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi : **12 Haziran 2019**





Aileme,



ÖNSÖZ

Bana bu tez çalışmasını yapma olanağını sağlayan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Mustafa Turgut Özaktaş'a, tez çalışmamda bana yardımcı olan değerli hocam Dr. Kubilay Yay'a, yüksek lisans ders sürecinde İstanbul bulduğum zaman diliminde bana evimdeymişim gibi hissettiren Baktır Ailesi'ne, ayrıca bana her zaman destek olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2019

Hasan GÜNGÖR
(Makina Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Karayolları Trafik Yönetmeliğine Göre Otobüslerin Sınıflandırılması	2
1.3 Literatür Araştırması	3
2. ECE 66 REGÜLASYONU.....	7
2.1 Tarihçe	7
2.2 Genel Bakış	8
2.3 Yaşam Hacminin Tanımlanması	9
2.4 Ağırlık Merkezinin Ölçümü	10
2.5 Test Prosedürleri.....	13
2.5.1 Tam otobüsün fiziki olarak devrilmesi.....	13
2.5.2 Tam araç modelinin bilgisayarda test edilmesi	13
3. SAYISAL METOTLAR	15
3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	15
3.2 Doğrusal Problemler.....	15
3.3 Doğrusal Olmayan Problemler	16
3.4 Eleman Tipleri	16
3.5 Mühendislik Araçları.....	17
3.5.1 LS-Prepost.....	17
3.5.2 LS-DYNA çözücüsü	17
3.5.3 SpaceClaim.....	17
4. OTOBÜSÜN SAYISAL MODELLENMESİ.....	19
4.1 Ağ Yapısı.....	20
4.2 Yapısal Olmayan Parçalar	20
4.3 Eleman Formülasyonu.....	21
4.4 Malzeme Modelleri	22
4.4.1 Parçalı doğrusal plastik malzeme modeli.....	22
4.4.2 Rijit malzeme modeli	23
4.4.3 Null malzeme modeli	23
4.5 Temas Modeli.....	23
4.5.1 Automatic Nodes to Surface temas modeli	24
4.6 Yaşam Hacmi	24

4.7 Yolcu Ağırlıkları.....	25
4.8 Ağırlık Merkezinin Tespit Edilmesi	25
4.9 İlk Hızın Hesaplanması	26
5. MODEL İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI	29
5.1 1. Model.....	29
5.2 2. Model.....	30
5.3 3. Model.....	32
5.4 4. Model.....	33
5.5 5. Model.....	35
5.6 6. Model.....	38
5.7 7. Model.....	39
5.8 8. Model.....	41
6. ANALİZ SONUÇLARI	43
6.1 7. Model Analiz Sonuçları.....	43
6.2 8. Model Analiz Sonuçları.....	51
7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	59
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR

AR-GE	: Araştırma Geliştirme
DEKRA	: Deutscher Kraftfahrzeug-Überwachungsverein
ECE-R	: Economic Commision for Europe – Regulation
LS-DYNA	: Livermore Software - Dynamics
LSTC	: Livermore Software Technology Corporation
UNECE	: United Nations Economic Commision for Europe



SEMBOLLER

σ	: Gerilme
ϵ_p	: Plastik Gerinme
F	: Kuvvet
g	: Yerçekimi İvmesi
h	: Yükseklik
I_{xx}	: Eylemsizlik Momenti
K	: Katılık Matrisi
l	: Uzunluk
m	: Efektif Kütle
M_{yolcu}	: Yolcu Kütlesi
P	: Aksta Ölçülen Ağırlık
S_R	: Yaşam Hacmi Referans Noktası
T	: Aks Mesafesi
u	: Yer Değiştirme
$\ddot{u}$	: İvme
w	: Açısal Hız



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Qste 460 malzemesi plastik bölge gerçek gerilme-plastik gerinme değerleri.	22
Çizelge 4.2 : Qste 460 malzemesi mekanik özellikleri	22





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Setra 515 MD	3
Şekil 1.2 : 1995-2011 Almanya otobüs kazaları ölüm dağılımı.	3
Şekil 1.3 : 1995-2011 Almanya otobüs kazaları kayıplar (ölü-yaralı) dağılımı	4
Şekil 1.4 : Otobüs kaza tipleri.....	4
Şekil 2.1 : Mercedes O 303 devrilme testi.....	8
Şekil 2.2 : Devrilme test düzeneği	8
Şekil 2.3 : Yaşam hacmi yanal düzenleme	9
Şekil 2.4 : Yaşam hacmi boyuna düzenleme	10
Şekil 2.5 : Ağırlık merkezi boyuna bileşeninin ölçülmesi.....	10
Şekil 2.6 : Ağırlık merkezi enine bileşeninin ölçülmesi.....	11
Şekil 2.7 : Ağırlık merkezi düşey bileşeninin ölçülmesi	12
Şekil 2.8 : Sanal ve gerçek kesitler	14
Şekil 3.1 : Eleman tipleri	16
Şekil 4.1 : Otobüs sonlu elemanlar modeli.....	19
Şekil 4.2 : Ağ yapısı	20
Şekil 4.3 : Yapısal olmayan parçalar	21
Şekil 4.4 : Belytschko-Lin-Tsay eleman formülasyonu	21
Şekil 4.5 : Temas modeli	24
Şekil 4.6 : Yaşam hacmi modeli (sol ,ön, izometrik ve arka).....	24
Şekil 4.7 : Yolcu kütlelerinin modellenmesi	25
Şekil 4.8 : Sanki-dengeli halden devrilme haline geçiş ve ağırlık merkezi değişimi	26
Şekil 5.1 : 1. Model genel görünüm	29
Şekil 5.2 : 1. Model 140. ms.....	29
Şekil 5.3 : 1. Model’de değiştirilecek bölge	30
Şekil 5.4 : 2. Model genel görünüm	30
Şekil 5.5 : Güçlendirme profilleri.....	31
Şekil 5.6 : 2. Model 140. ms.....	31
Şekil 5.7 : 3. Model genel görünüm	32
Şekil 5.8 : 3. Model yeni tavan iskeleti	32
Şekil 5.9 : 3. Model 140. ms.....	33
Şekil 5.10 : 4. Model genel görünüm	33
Şekil 5.11 : Değiştirilen profiller	34
Şekil 5.12 : 4. Model 140. ms.....	34
Şekil 5.13 : 5. Model genel görünüm	35
Şekil 5.14 : Değişiklik yapılan profiller	35
Şekil 5.15 : 5. Model 140. ms.....	36
Şekil 5.16 : Setra Comfort Class 500 iskeleti	37
Şekil 5.17 : Muhtemel hasar noktaları.....	37
Şekil 5.18 : 6. Model genel görünüm	38
Şekil 5.19 : Değiştirilen profiller	38

Şekil 5.20 : 6. Model 140. ms	39
Şekil 5.21 : 7. Model genel görünüm.....	39
Şekil 5.22 : Değiştirilen profiller	40
Şekil 5.23 : 7. Model 140. ms	40
Şekil 5.24 : 8. Model genel görünüm.....	41
Şekil 5.25 : Et kalınlığı değiştirilen profiller	41
Şekil 5.26 : 8. Model 140. ms	42
Şekil 6.1 : Kesitlerin araç üzerinde gösterimi.....	43
Şekil 6.2 : 7. Model enerji grafiği.....	43
Şekil 6.3 : 7. Model düşey eksen de ağırlık merkezi de ğişimi	44
Şekil 6.4 : 7. Model 1. Kesit 35. ms.....	45
Şekil 6.5 : 7. Model 1. Kesit 130. ms.....	45
Şekil 6.6 : 7. Model 2. Kesit 135. ms.....	46
Şekil 6.7 : 7. Model 2. Kesit 125. ms.....	46
Şekil 6.8 : 7. Model 3. Kesit 105. ms.....	47
Şekil 6.9 : 7. Model 4. Kesit 90. ms.....	47
Şekil 6.10 : 7. Model 4. Kesit 115. ms.....	48
Şekil 6.11 : 7. Model 5. Kesit 105. ms.....	48
Şekil 6.12 : 7. Model 5. Kesit 120. ms.....	49
Şekil 6.13 : 7. Model 6. Kesit 100. ms.....	49
Şekil 6.14 : 7. Model 6. Kesit 120. ms.....	50
Şekil 6.15 : 7. Model 7. Kesit 105. ms.....	50
Şekil 6.16 : 7. Model 8. Kesit 120. ms.....	51
Şekil 6.17 : 8. Model enerji grafiği.....	51
Şekil 6.18 : 8. Model düşey eksen de ağırlık merkezi de ğişimi	52
Şekil 6.19 : 8. Model 1. Kesit 115. ms.....	53
Şekil 6.20 : 8. Model 1. Kesit 155. ms.....	53
Şekil 6.21 : 8. Model 2. Kesit 135. ms.....	54
Şekil 6.22 : 8. Model 3. Kesit 105. ms.....	54
Şekil 6.23 : 8. Model 3. Kesit 120. ms.....	55
Şekil 6.24 : 8. Model 4. Kesit 120. ms.....	55
Şekil 6.25 : 8. Model 5. Kesit 120. ms.....	56
Şekil 6.26 : 8. Model 6. Kesit 105. ms.....	56
Şekil 6.27 : 8. Model 6. Kesit 120. ms.....	57
Şekil 6.28 : 8. Model 7. Kesit 115. ms.....	57
Şekil 6.29 : 8. Model 8. Kesit 125. ms.....	58

ŞEHİRLER ARASI BİR OTOBÜS MODELİNİN DEVRİLME DAYANIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Otobüs karayolu taşımacılığında kullanılan en önemli ulaşım araçlarından biridir. Her gün milyonlarca yolcu otobüsle seyahat etmektedir. Yoğun olarak kullanılan bu ulaşım aracının kaza istatistikleri incelendiğinde devrilme türü kazalarda ölü ve yaralı oranlarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Devrilme türü kazalarda ölü ve yaralı oranının yüksek olma sebebi otobüs gövde dayanımlarının yetersiz olmasıdır. Bu kaza türündeki ölü ve yaralı oranlarını en aza indirmek için ECE-R 66 regülasyonu yayınlanmıştır. Bu regülasyonun güncel hali ECE-R 66.02 dir. Bu pasif güvenlik regülasyonunda devrilme esnasında otobüs gövdesinden araçta bulunan yolcu, mürettebat ve sürücünün hayatta kalması için gerekli olan yaşam hacmini sağlaması beklenmektedir. Bu çalışmada ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun olmayan mevcut bir otobüs gövde iskeleti modelinin üzerinde değişiklikler yapılarak ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Otobüs imalatçıların araçlarının ECE-R 66.02 regülasyonuna uygunluğunun tespit edilmesi için iki seçeneğe sahiptirler. Bunlardan ilki gerçek testtir. Bu yöntem yüksek doğrulukla sonuç verir ancak pahalıdır ve büyük ihtimalle test sonrası araç kullanılmaz hale gelecektir. Ayrıca başarısızlık durumunda değişiklik yapılmasına müsait değildir. Diğer yöntem ise devrilme işleminin bilgisayar yardımıyla devrilme şartları sağlanarak sanal ortamda yapılmasıdır. Bu yöntem daha az maliyetlidir. Ayrıca model üzerinde değişiklik yapmaya müsaittir. Gerekli şartlar gerçek test koşullarına uygun bir şekilde ayarlandığında yüksek doğruluğa sahip sonuçlar elde edilmektedir.

Bu çalışmada LS-DYNA programı kullanılarak sanal ortamda otobüs gövde iskeleti modellerinin devrilme durumundaki durumları incelenmiştir. Literatür araştırması kısmında otobüslerin karışmış olduğu kazalar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Otobüslerin karışmış olduğu devrilme türü kazalar ile diğer kaza türleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır. ECE-R 66 yönetmeliğinden ve tarihçesinden bahsedilmiştir.

Çalışmada yapılan analizlerde süreden tasarruf amacıyla analizler aracın devrilmiş haldeki konumundan başlatılmıştır. Devrilmenin başladığı konumdan devrilmiş hale gelme sürecinde gerçekleşen potansiyel enerjideki azalma ise devrilmiş haldeki araç gövde iskeleti üzerine açılmal hız tanımlanarak dönme kinetik enerjisi olarak uygulanmıştır. Bu açılmal hızın hesaplanmasında kullanılan matematiksel ifadeler çalışmada verilmiştir.

Olabildiğince hafif ve ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun bir model elde etmek amacıyla 8 adet gövde iskeleti modeli oluşturulmuştur. Bu modeller oluşturulurken yapısal değişiklikler aşama aşama anlatılmıştır. İlk 5 modelde bölgesel değişiklikler yapılmış ve bu değişikliklerin devrilme dayanımının arttırılmasına katkılarının düşük

olduğu görülmüştür. Son 3 modelde ise daha köklü değışikliklere gidilerek hedeflenen otobüs gövde iskeleti modeli elde edilmiştir.

Sonuçlar incelenirken devrilme olayının fiziksel yapısını daha iyi bir şekilde ifade etmek için analiz sürecindeki enerji değışim grafikleri ve ağırlık merkezi düşey eksen değışim grafikleri kullanılmıştır. Otobüs yan duvar profilleriyle yaşam hacminin birbirlerine en yakın olduğu durumlar mesafe ve zamanlar belirtilerek gösterilmiştir. Eski tip denilebilecek şekilde tasarlanmış bir otobüs gövde iskeleti modeli üzerinde değışiklikler yapılarak ECE-R 66.02 regölasyonuna uygun güncel tipte bir otobüs gövde iskeleti modeli elde edilmiştir.



OPTIMISING THE ROLLOVER CRASHWORTHINESS OF A COACH

SUMMARY

The bus is one of the most important vehicles in road transportation. Everyday millions of passengers travel by bus. According to statistics about bus accidents, the rate of dead and injured people is very high in rollover type accidents. The reason of this situation is rollover crashworthiness of the bus superstructures were insufficient. To minimize the rate of dead and injured people in the bus crash accidents, ECE-R 66 came into force. Its actual version is ECE-R 66.02. In this passive safety regulation, it is aimed to provide the residual space required for the survival of the passengers, crew and drivers in the vehicle during the rollover. In this study, it is aimed to make an existing bus superstructure model which is not in compliance with ECE-R 66.02 regulation to be adjusted according to ECE-R 66.02 regulation.

According to ECE-R 66.02 regulation, the bus superstructure tips over into a ditch. The ditch height is 800 mm. The ground must be horizontal, dry and concrete. The bus superstructure should be tipped over the direction where it is weak in strength. The tilting platform angular velocity can not exceed 0.087 rad / s.

The bus manufacturers has two options to determine their buses are complying with ECE R 66 02 regulation or not. The first method is real test. The results of this method is high accuracy however, it is expensive and the bus model probably has damaged after the test. So the model can not use once more. Modifying the model is not easy. The second method is computer aided analysis. It is cheaper than real test. Modifying the model is very easy. It provides high accuracy results when the required conditions are set correctly.

In this study, the situations of the bus superstructure models using the LS-DYNA program in the virtual environment were examined. In the literature research, information about accidents involving buses was given. The rollover type of accidents and other types of accidents were compared. ECE-R 66 regulation and its history are mentioned.

In this study, rollover analysis of a bus body according to ECE R 66-02 regulation will be done. The bus is in the category M₃ and Class III. The length of the bus is 12.1 meters and the height of the bus including air conditioning system is 3.57 meters. There are 46 passengers, 1 crew and 1 driver on the bus.

The center of gravity measurement of real manufactured vehicles is carried out as specified in ECE-R 66.02 regulation. In this study, the center of gravity calculated by LS-Prepost is used, since the real model of the bus model is not available.

In order to save time, analyses were started from the overturned position of the vehicle. The decrease in the potential energy in the process of overturning from the beginning of the overturning was defined as the kinetic energy of rotation by defining the angular velocity on the overturned bus superstructure. Mathematical expressions used in the calculation of this angular velocity are given in the study.

In terms of analysis, there are basically three differences between ECE-R 66.00 and ECE-R 66.02. The first of these, the 0.75 coefficient in the energy calculation was changed to 1 in the current version. This change causes an energy increase of approximately 33%. The second difference is that in the current version, the masses of passengers, crew and drivers are in the vehicle model. 34 kg per passenger and crew and 75 kg for the driver have to be added. The last difference is that the effect of gravity in the process from the first contact with the ground to the end of rollover will also be applied to the vehicle model. This difference is seen as an increase in total energy in energy graphs.

Piecewise Linear Plasticity material model was used in deformable parts of the bus superstructure. This is an elastic-plastic material model. If stresses are below the yield stress that uses the young's modulus in elastic region. If the stresses are above the yield stress, that uses measured stress-strain data in plastic region. LS-DYNA uses true stress and true strain data for solution. Hence, the engineering tensile stress-strain values obtained from the tensile test should be converted to true stress-strain values by conversion formulas.

Rigid material model was used in engine, gearbox, axles, fuel tank and air conditioner. This material model is advantageous in terms of solution time since no stress-deformation calculation is done on the applied elements.

Null material model was used in the residual space. The purpose of using this material model is to clearly show the distance between the residual space and the side pillars. This material model has no contribution to strength.

In order to obtain a model as light as possible and comply with ECE-R 66.02 regulation, 8 superstructure models were designed. Structural modifications in this model are created gradually. Local modifications are made in the first 5 models. It is seen that these changes have low contribution to increase the rollover strength of the bus superstructure model. In the last 3 models, the bus superstructure model was obtained by making more radical modifications. U-shaped profiles are the most important elements of the last three models. These elements absorb the kinetic energy in the best possible way.

During the whole rollover process, the bus superstructure contacts the ground several times. However, the greatest deformations occur at the first contact. This first contact occurs within 0.3 seconds. Therefore, 0.3 seconds is sufficient to see the worst case.

While analyzing the results, energy versus time graphs and center of gravity vertical axis versus time graphs were used in the analysis process in order to better express the physical structure of the rollover event. In these graphs, total energy and sliding energy increase and kinetic energy is converted to internal energy. To obtain reliable results, the hourglass energy must not exceed 5%. The center of gravity change on the vertical axis is important because it is correlated with the work of gravity. It also helps determine whether the rollover process continues. There are 8 sections on the bus model. Situations where bus side pillars and residual space are closest to each other are shown by indicating distance and time.

Mass changes in all designed models are indicated. Mass is an important parameter in vehicle design. Because it is aimed to obtain a light and durable structure as possible while designing. The low mass ensures that fuel consumption and CO₂ emissions are reduced for the same distance.

The side pillars, which were designed as a continuous single piece, provided the integrity of the superstructure. This integrity greatly improved the rollover strength of the bus superstructure. In this way, bus superstructure models were created complying with ECE-R 66.02 regulation.

To sum up, the first bus superstructure model was far from meeting ECE-R 66.02 requirements. At the end of the study, the first 6 bus superstructure models do not comply with ECE-R 66.02 regulation. The last 2 bus superstructure models comply with ECE-R 66.02 regulation has been obtained by making modifications.



1. GİRİŞ

Günümüzde kanun koyucu merciler ve standartları belirleyen kuruluşlar sayesinde otomotiv sektöründe ortaya çıkartılan ürünün belirlenmiş olan hedef standartları sağlaması ve yönetmeliklere uygun olması gerekmektedir. Bu sebepler otomotiv sektöründeki imalatçı firmaların ciddi boyutlarda AR-GE yatırımı yapmalarını zorunlu kılmaktadır.

Bu standartların önemli bir kısmını pasif güvenlik sistemleri oluşturmaktadır. ECE-R 66.02 yönetmeliği bir pasif güvenlik standardıdır. Devrilme durumunda oluşan ölü ya da ağır yaralanma durumlarının otobüs gövdesinin yeterli direnci gösterememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yönetmelik kapsamında devrilme durumunda, otobüs gövde iskeletinin yeterli dayanım göstererek yolcu, şoför ve mürettebatın hayatta kalması için gerekli yaşam alanının garanti altına alınması hedeflenmektedir.

Devrilme durumunun olduğu kazalarda ölüm ve yaralanmaların önüne geçmek için UNECE tarafından ilk olarak ECE-R 66.00 yönetmeliği yürürlüğe konmuştur. Bu yönetmelik zamanla geliştirilerek son olarak ECE-R 66.02 yönetmeliği yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre 2010 yılından itibaren yeni tip-onay alacak vasıtalar, 9 Kasım 2017 tarihinden itibaren geçmişten günümüze üretimde olan tüm vasıtalar için bu regülasyon zorunlu hale gelmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, prototip bir şehirler arası otobüs modelinin ECE-R 66.02 regülasyonuna uygunluğunun LS-DYNA programı yardımıyla sanal ortamda incelenmesidir. Bu regülasyon kapsamında devrilme durumunda otobüs gövde iskeletinin yolcular, mürettebat ve şoför için oluşturması gereken yaşam hacminin oluşturulup oluşturulamadığı gözlemlenecektir. Bu yönetmelik kapsamında yapılan incelemelerde araç gövdesinden kaynaklı olduğu düşünülen zayıflıklar, eksiklikler görülmesi durumunda tamamlanmış olan analiz sonuçları incelenerek otobüs gövdesi üzerinde değişiklikler yapılarak yeni bir otobüs gövde iskeleti modeli oluşturulup

yeni oluşturulan modeller sanal ortamda tekrar analiz edilecektir. Yapılan bu çalışmaların sonucunda ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun, yeterli devrilme dayanımı direncine sahip bir otobüs gövdesi iskelet modeli elde edilmesi hedeflenmektedir.

1.2 Karayolları Trafik Yönetmeliğine Göre Otobüslerin Sınıflandırılması

M Kategorisi: Yolcu taşıma amaçlı kullanılan en az dört tekerleği olan motorlu taşıtlardır.

M₁ Kategorisi: Yolcu taşıma amaçlı kullanılan sürücü hariç en fazla sekiz oturma yeri bulunan motorlu taşıtlardır.

M₂ Kategorisi: Yolcu taşıma amaçlı kullanılan sekizden fazla oturma yeri bulunan ve azami kütlesi 5 tonu geçmeyen motorlu taşıtlardır.

M₃ Kategorisi: Yolcu taşıma amaçlı kullanılan sekizden fazla oturma yeri bulunan ve azami kütlesi 5 tonu geçen motorlu taşıtlardır.

Otobüs: Yolcuların yalnızca oturarak veya hem oturarak hem de ayakta seyahat edebilmesine imkan tanıyan M₂ ya da M₃ kategorisindeki taşıtlardır.

Bu kategorizasyon haricinde yolcu taşıma kapasitesi 22'den fazla olan taşıtlar için aşağıdaki şekilde bir sınıflandırma vardır.

Sınıf I: Yolcuların ayakta seyahat edebilmesine imkan veren, yolcu iniş binişlerinin sık olduğu taşıtlardır.

Sınıf II: Temel olarak yolcuların oturarak seyahat etmesi için üretilmiş ancak yolcuların koridorda ve eğer bulunuyorsa iki çift koltuğu geçmeyecek boyutta bir alanda ayakta da seyahat edebileceği taşıtlardır.

Sınıf III: Yalnızca yolcuların oturarak seyahat etmesi için üretilmiş taşıtlardır [2].

Bu çalışmada 12 metre M₃ kategorisinde ve Sınıf III bir otobüs gövdesinin ECE-R 66-02 standardına göre devrilme analizi yapılacaktır. Bu araca yakın ölçülere sahip aynı sınıf ve kategorideki araç modeli olan Setra 515 MD Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

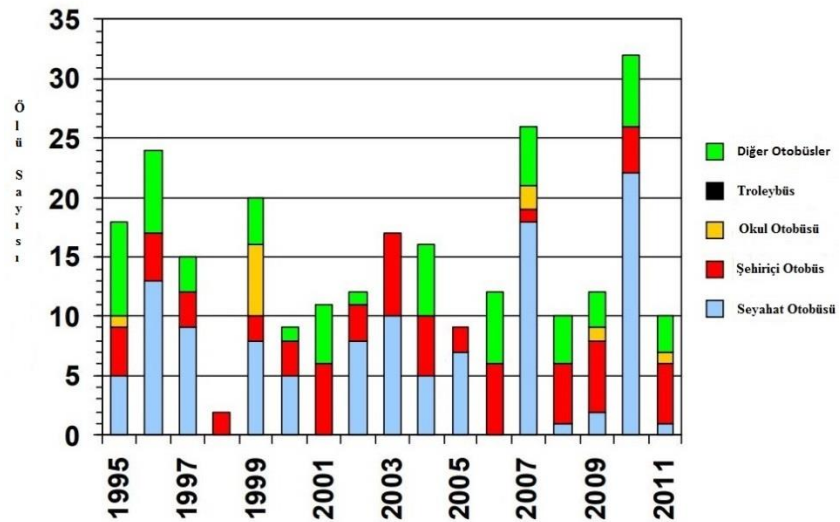


Şekil 1.1: Setra 515 MD.

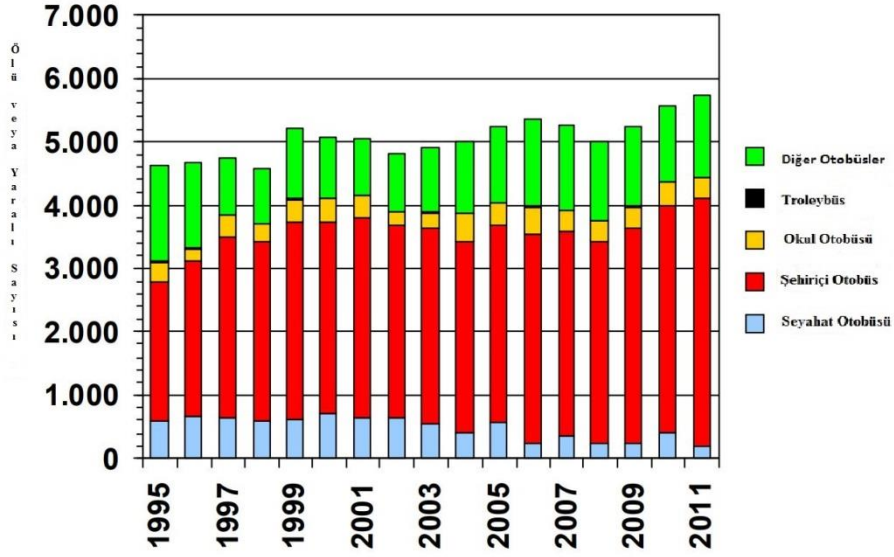
1.3 Literatür Araştırması

Her yıl dünya üzerinde birçok otobüs kazası gerçekleşmektedir. Bu kazalar can ve mal kaybına yol açmakta ve maalesef birçok insan hayatını kaybetmekte ve yaralanmaktadır.

Almanya’da yapılmış bir çalışmada 1995 – 2011 yılları arasında otobüs türlerine göre ölü ve yaralı oranları incelenmiştir. Şekil 1.2’de otobüs kazalarında ölen, Şekil 1.3’te ise otobüs kazalarında ölen veya yaralananların geçirmiş oldukları kazalardaki otobüslerin türlerine göre dağılımları yapılmıştır.

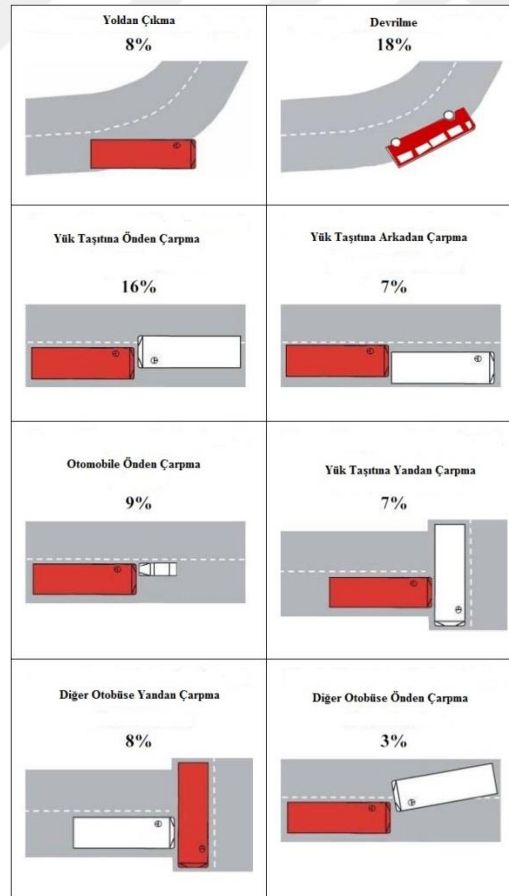


Şekil 1.2: 1995-2011 Almanya otobüs kazaları ölüm dağılımı [9].



Şekil 1.3: 1995-2011 Almanya otobüs kazaları kayıp (ölü-yaralı) dağılımı [9].

DEKRA tarafından 121 ölüm veya ağır yaralanma olan otobüs kaza raporları kayıt altında tutulmuş ve 8 kaza senaryosuna ayrılmıştır [9]. Bu senaryolar Şekil 1.4'te gösterilmektedir.



Şekil 1.4 : Otobüs kaza tipleri [9].

Bu sınıflandırmada da en büyük payın devrilmede olduğu Şekil 1.4'te görülmektedir.

1995 – 1999 yılları arasında İspanya'daki otobüs kazaları incelendiğinde devrilme türü kazaların tüm otobüs kazalarına oranının 1/25 olduğu görülmüştür. Ancak yine aynı çalışmada devrilme türü kazalardaki ölüm riskinin diğer kaza türlerinden 5 kat fazla olduğu tespit edilmiştir [4].

Almanya'da yaşanmış olan 48 tur otobüsü kazasının sadece 1/6'sı devrilme türü kazadır. Ancak ağır yaralanmaların yarısı ve ölümlerin 9/10'u devrilme türü kazalarda gerçekleşmiştir [3].

Yapılan çalışmalara göre devrilme türü kazaların toplam kaza rakamlarına göre oranı düşük olmasına rağmen ölü ve ağır yaralı oranı toplam ölü ve yaralı oranıyla birlikte incelendiğinde devrilme kazalarındaki ölü ve ağır yaralı oranının buradaki payının yüksek olduğu görülmüştür. Bunun temel sebeplerinden biri otobüslerin yüksek ağırlık merkezine sahip ulaşım araçları olmasıdır. Düşey eksenindeki bu yükseklik devrilme durumunda ortaya çıkacak enerjiye doğrudan etki eder. Diğer bir sebep ise devrilme türü kazalarda kazanın tüm araç gövdesi ve araç içerisinde bulunan tüm yolculara, mürettebata ve şoföre etki edebilmesidir. Örneğin arkadan çarpma veya önden çarpma gibi kaza durumlarında otobüs içerisinde çarpışma bölgesine yakın konumdaki yolcular veya mürettebat risk altındayken devrilme durumunda etkiler bölgesel olmayıp aracın tümünü etkileyebilmektedir. Bu sebepler devrilme türü kazalara karşı ciddi önlemler alınmasını, gereken önemin verilmesini kaçınılmaz hale getirmektedir.



2. ECE 66 REGÜLASYONU

2.1 Tarihçe

ECE-R 66 ilk olarak 1 Aralık 1986 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin ortaya çıkmasında devrilme türü kaza durumunun olduğu araçlarda yapılan incelemelerin etkisi vardır. 70'li ve 80'li yıllardaki kaza sonuçları ve araçların deformasyon durumları dikkate alınmıştır. Macaristan, Almanya ve İngiltere gibi ülkelerde kaza sonuçları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Şekil 2.1'de 1987 yılında Mercedes O 303 modeline ait bir devrilme testi gösterilmektedir. Bu ilk versiyonda araçlar boş olarak test edilmekteydi.



Şekil 2.1 : Mercedes O 303 devrilme testi [9].

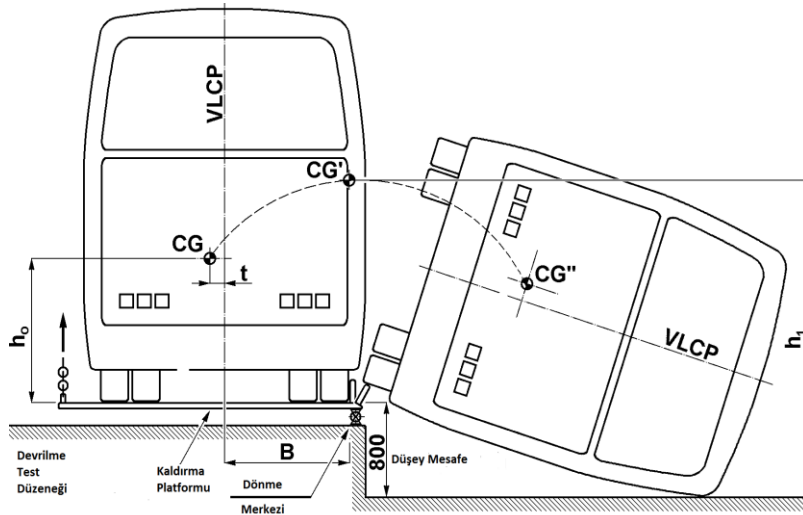
15 Ekim 2008'de ECE R 66-01 yürürlüğe girmiştir. Bu güncelleme ile artık boş araç değil, yolcuların yarı kütlesi olan 34 kg lık kütleler de test edilen araç içerisinde olacaktır. Bu durum ciddi bir enerji artışını getirmiştir. Yeni trafiğe çıkacak araçlar için 19 Kasım 2010 tarihinden itibaren geçerlidir.

19 Ağustos 2010'da son güncellenmiş versiyon olan ECE-R 66.02 yürürlüğe girmiştir. Bu güncel versiyonda yönetmeliğin kapsamı, etkilediği araçlar minibüsleri de kapsayacak şekilde genişletilmiştir. 9 Kasım 2017 tarihi itibarıyla bu yönetmeliğe uygun olmayan yeni araç başvuruları kabul edilmeyecektir.

Analiz açısından bakıldığında ECE-R 66.00 ile ECE-R 66.02 arasında temel olarak 3 fark bulunmaktadır. Bunlardan ilki enerji hesabındaki 0,75 katsayısı güncel versiyonda 1 olarak değiştirilmiştir. Diğer fark yönetmeliklerde bahsedildiği gibi yolcu kütleleri modellerde olmak zorundadır. Son fark ise zemine ilk temas anından devrilme sonuna kadar olan süreçteki yerçekimi etkisi de araç modeline uygulanacaktır.

2.2 Genel Bakış

ECE-R 66 regülasyonundaki temel amaç toplu taşıma kara taşıtının devrilme türü bir kazaya maruz kalması durumunda aracın mukavim yapısı sayesinde yanal yapısal elemanların yaşam hacmine giriş yapmaması ve bu yaşam hacminin korunarak yolcu, şoför ve mürettebatın ölüm veya ağır yaralanma risklerini minimuma indirmektir. Yönetmeliğe göre araç 800 mm yükseklikten 0,087 rad/s hızı aşmayacak biçimde mukavemet yönünden daha zayıf olduğu yönde, kuru ve temiz bir beton zeminin üzerine devrilmelidir [1]. Türkiye’de trafiğin sağdan aktığı düşünüldüğünde yolcu binişleri araçların sağ tarafından olmaktadır. Kapıların bu tarafta olması sol tarafa göre mukavemet yönünden bir miktar zayıflığa neden olmaktadır. Bu sebeple devrilme yönü olarak genellikle sağ taraf seçilmektedir. Şekil 2.2’de yönetmelik şartnamesindeki devrilme test düzeneği gösterilmiştir. Denklem 2.1’de araç gövdesinin absorbe edeceği referans enerjinin hesap formülü verilmiştir.



Şekil 2.2: Devrilme test düzeneği [1].

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

E_R = Araç gövdesinin absorbe edeceği referans enerji (J)

m = Araç kütlesi (kg)

g = Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

h_0 = İlk durumda aracın ağırlık merkezinin platformdan yüksekliği (m)

h_1 = İkinci durumda aracın ağırlık merkezinin düşme zemininden yüksekliği (m)

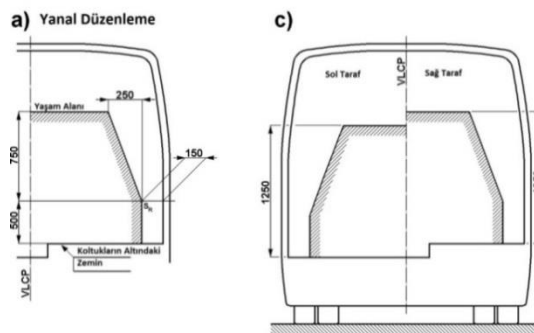
B = Aracın boyuna simetri eksenine dönme eksenine arasındaki mesafe (m)

t = Aracın ağırlık merkezi ile boyuna simetri eksenine arasındaki mesafe (m)

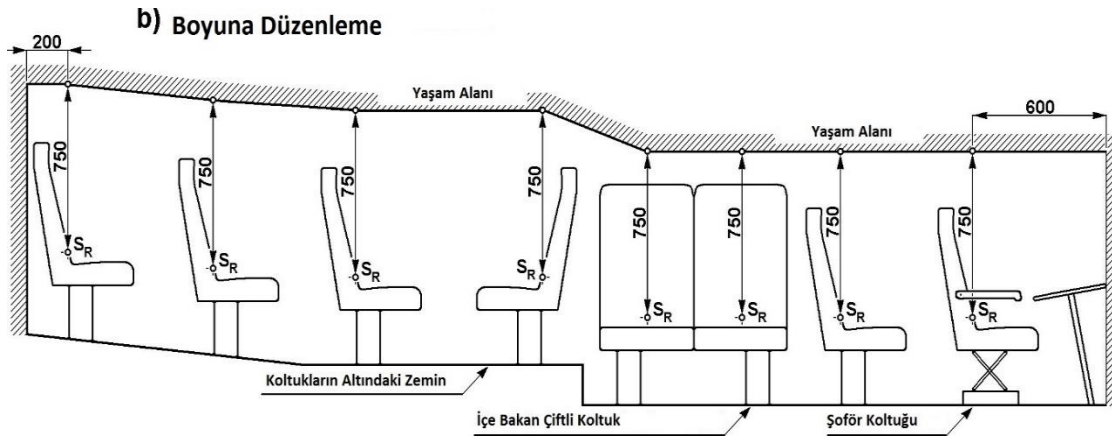
Bu devrilmenin sonucunda yolcular ve mürettebatın bulunduğu yaşam hacmine herhangi bir yapısal eleman girişi olmamalıdır [1].

2.3 Yaşam Hacminin Tanımlanması

Yaşam alanı aracın devrilmesi durumunda yolcu ve mürettebatın içerisinde bulunduğu kabul edilen hacimdir. Regülasyonuna tabi olan aracın bu testte başarılı olması için devrilme analizi veya testi sırasında yaşam hacmine herhangi bir yapısal eleman girişi olmamalıdır. Aracın tasarımsal bütünlüğü böyle bir girişimin olmasına engel olmalıdır. Aşağıda verilen yaşam hacmi ölçüleri yönetmelik tarafından talep edilen asgari ölçülerdir daha büyük ölçülere sahip yaşam hacmi kullanılabilir. Yaşam hacminin asgari ölçüleri araç zemininden 500 mm yukarıda olacak şekilde, yan direklerde altta direktten 150 mm içeride bunun 750 mm yukarısında ise bu 150 mm'ye ek 250 mm daha içerdedir. Boyuna olarak ise en önde şoför koltuğunun S_R noktasından 600 mm ileride ve en arka koltuğun S_R noktasından 200 mm geride olmalıdır [1]. Şekil 2.3'te yönetmelik şartnamesindeki yaşam hacmi yanıl düzenlemesi, Şekil 2.4'te ise yönetmelik şartnamesindeki yaşam hacmi boyuna düzenlemesi gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Yaşam hacmi yanıl düzenleme [1].



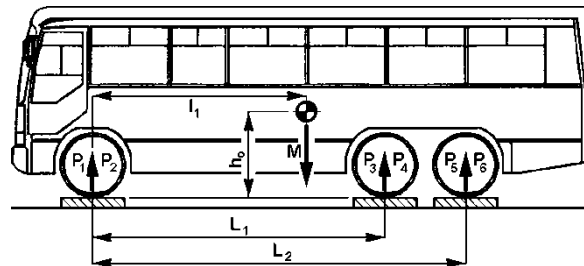
Şekil 2.4: Yaşam hacmi boyuna düzenleme [1].

2.4 Ağırlık Merkezinin Ölçümü

Araç ağırlık merkezi iki farklı durumu için ölçülebilir. Bunlardan ilki boş araç ağırlığıdır. Boş araç ağırlığı, aracın hareket edebileceği minimum ağırlıktır. Şoför ağırlığına ek olarak araç sıvıları tam dolu, yakıt tankı % 90 oranında doludur. Diğer durum ise ECE-R 66.02 yönetmeliğinde önemli bir yeri olan toplam efektif kütledir. Boş araç ağırlığına ek olarak ideal yolcu ağırlığının yarısı olan 34 kg yolcu ağırlıkları, yolcu koltuklarının R noktalarının 100 mm ileri ve 100 mm yukarısına eklenmektedir. Ölçümlerde tekerleklerin altına kantar yerleştirilerek kantar üzerindeki değerler okunur [1].

Aracın 3 eksenli için ayrı ayrı ölçüm yapılarak bu ölçümler sonucunda aracın ağırlık merkezi elde edilir.

Aracın boyuna ağırlık merkezinin hesaplanması için gerekli olan parametreler Şekil 2.5'te araç üzerinde gösterilmiştir. Aracın boyuna ağırlık merkezi denklem 2.2 kullanılarak tespit edilir [1].



Şekil 2.5 : Ağırlık merkezi boyuna bileşeninin ölçülmesi [1].

$$l_1 = ((P_3 + P_4) \cdot L_1 + (P_5 + P_6) \cdot L_2) / P_{\text{toplam}} \quad (2.2)$$

P_1 = birinci aks sol tekerleğinde ölçülen ağırlık

P_2 = birinci aks sağ tekerleğinde ölçülen ağırlık

P_3 = ikinci aks sol tekerleğinde ölçülen ağırlık

P_4 = ikinci aks sağ tekerleğinde ölçülen ağırlık

P_5 = üçüncü aks sol tekerleğinde ölçülen ağırlık

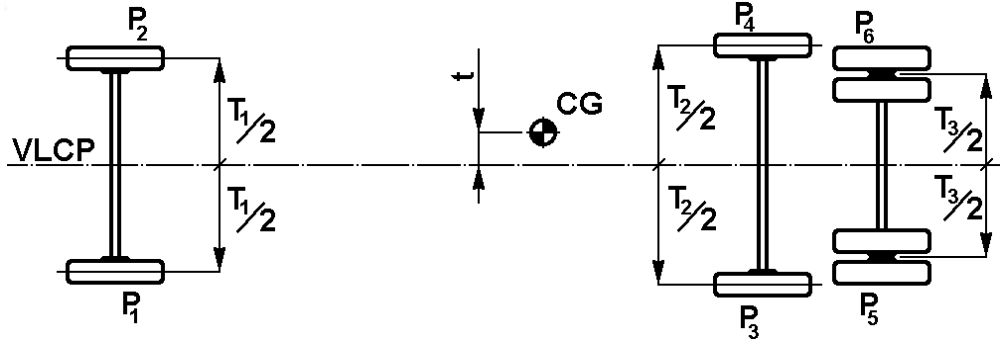
P_6 = üçüncü aks sağ tekerleğinde ölçülen ağırlık

$P_{\text{toplam}} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) = \text{Toplam efektif kütle veya boş araç ağırlığı}$

L_1 = birinci aks merkezinden ikinci aks merkezine olan uzaklık

L_2 = birinci aks merkezinden üçüncü aks merkezine olan uzaklık

Aracın enine ağırlık merkezinin hesaplanması için gerekli olan parametreler Şekil 2.6'da araç üzerinde gösterilmiştir. Aracın enine ağırlık merkezi denklem 2.3 kullanılarak tespit edilir [1].



Şekil 2.6 : Ağırlık merkezi enine bileşeninin ölçülmesi [1].

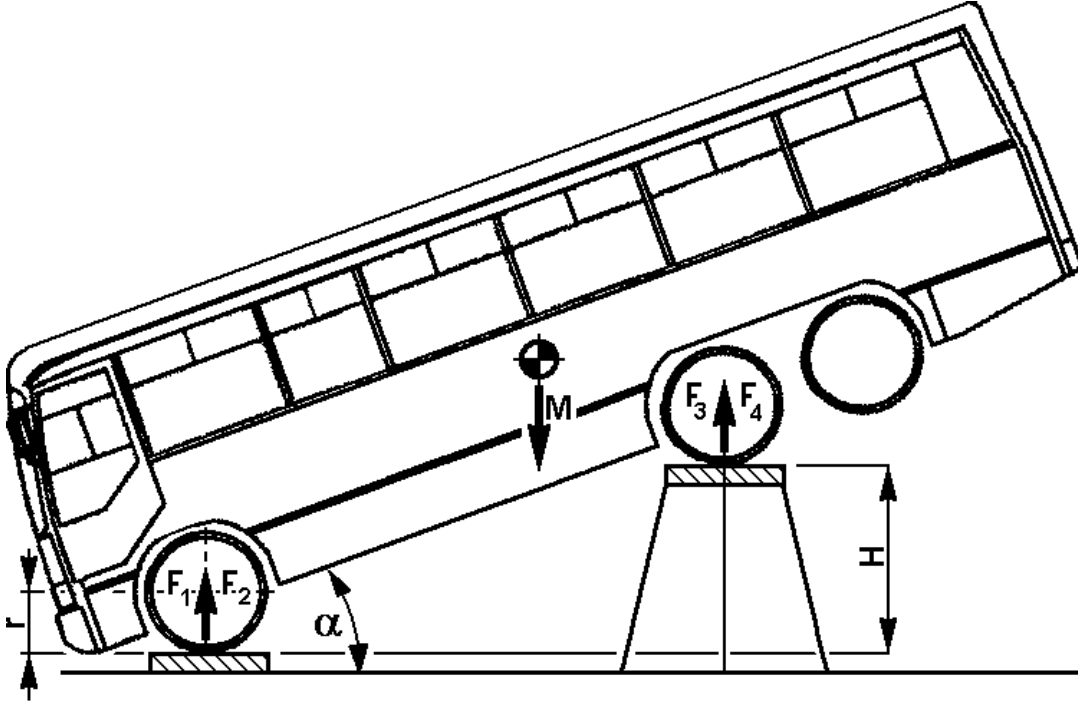
$$t = (((P_1 - P_2) \cdot T_1/2) + ((P_3 - P_4) \cdot T_2/2) + ((P_5 - P_6) \cdot T_3/2)) / P_{\text{toplam}} \quad (2.3)$$

T_1 = birinci aks tekerleklerinin arasındaki mesafe

T_2 = ikinci aks tekerleklerinin arasındaki mesafe

T_3 = üçüncü aks tekerleklerinin arasındaki mesafe

Aracın ağırlık merkezinin düşey bileşeninin hesaplanması için gerekli olan parametreler Şekil 2.7'de araç üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Ağırlık merkezi düşey bileşeninin ölçülmesi [1].

α açısı 20° 'den büyük olmak koşuluyla α açısı arttıkça ölçümün doğruluğu artmaktadır. Aracın ön veya arka tarafı kaldırılarak ölçüm gerçekleştirilir. α açısı denklem 2.4 ile bulunur.

$$\alpha = \sin^{-1}(H/L_1) \quad (2.4)$$

H = Birinci ve ikinci aks arasındaki düşey mesafe

L_1 = Birinci aks ve ikinci aks merkezleri arasındaki mesafe

$$F_{\text{toplam}} = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) = P_{\text{toplam}}$$

F_1 = birinci aks sol tekerleğinde ölçülen ağırlık

F_2 = birinci aks sağ tekerleğinde ölçülen ağırlık

F_3 = ikinci aks sol tekerleğinde ölçülen ağırlık

F_4 = ikinci aks sağ tekerleğinde ölçülen ağırlık

Ağırlık merkezinin düşey bileşeni denklem 2.5 ile bulunur [1].

$$h_0 = r + (1/\tan \alpha) \cdot (L_1 - L_1 \cdot (F_3 + F_4) / P_{\text{toplam}}) \quad (2.5)$$

r = birinci aks tekerleği yarıçapı

2.5 Test Prosedürleri

Regülasyona göre 5 farklı onay prosedürü vardır [1]. İmalatçı bunlar arasından kendine en uygun olanı seçme hakkına sahiptir. Bu prosedürler maddeler halinde şu şekildedir.

- Tam otobüsün fiziki olarak devrilmesi
- Otobüsün belirli bir kesitin devrilmesi
- Sanki-statik yükleme ile otobüsün belirli bir kesitin test edilmesi
- Belirli bir test parçasının sanki-statik yöntemle test edilmesi
- Tam araç modelinin bilgisayarda test edilmesi

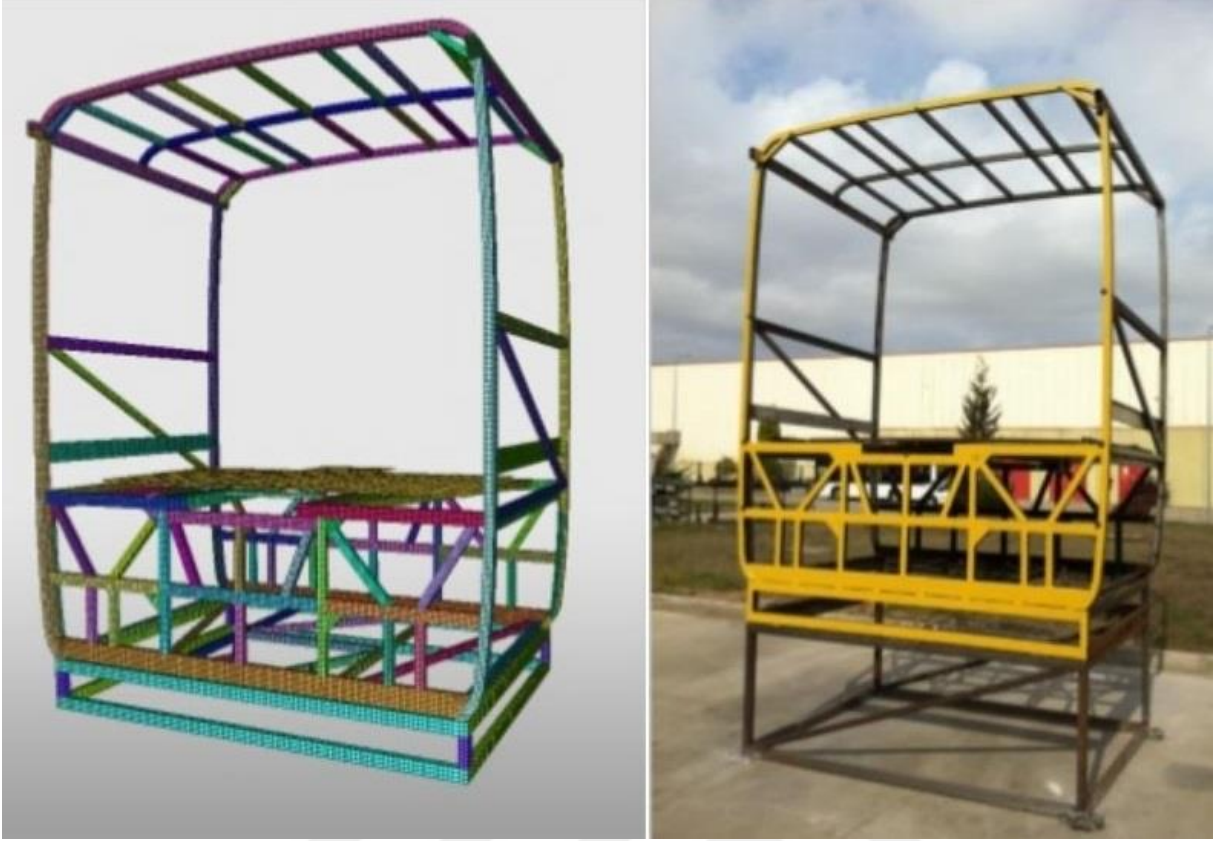
En yaygın kullanılan prosedürler tam otobüsün fiziki olarak devrilmesi ve tam araç modelinin bilgisayarda test edilmesidir. Şekil 2.8’de sanal ve gerçek kesit örnekleri gösterilmiştir.

2.5.1 Tam otobüsün fiziki olarak devrilmesi

Bu yöntem diğerlerinden maliyetlidir. Büyük bir oranda teste tabi tutulan araç modeli bir daha kullanılamaz hale gelir. Bilgisayarda yapılan analizi esas alınarak bunun arkasından tam otobüsün fiziki olarak devrilmesi daha verimli sonuçlar vermektedir. Aracın kütle, atalet gibi özellikler seri üretilecek araçla aynı olmalıdır. Süspansiyonlar kilitlenmeli, lastik basınçları uygun seviyeye ayarlanmalıdır. Yolcu yükü olarak manken ya da koltuk R noktasının 100 mm ileri ve yukarısına 34 kg yük uygulanabilir. Kapılar ve acil çıkışlar kilitlenmelidir. Vinç ya da başka bir mekanizmayla yapılabilir. İlk hız 0,087 rad/s değerini geçmemelidir [1].

2.5.2 Tam araç modelinin bilgisayarda test edilmesi

Bu yöntemde iyi bir model kurularak yüksek doğruluğa sahip analizler yapılabilir. Gerçek testlere göre ucuz olması tekrar edilebilir olması alternatif optimizasyon çalışmalarına açık olması avantajlarındandır. Aracın kütle ve atalet özelliklerinin gerçek modelle aynı olması gerekmektedir. Eksplisit çözdürücülerle çözüm yapılır. Fiziksel olmayan enerji %5’i aşmamalıdır [1]. Bu çalışmada kullanılacak yöntem budur.



Şekil 2.8 : Sanal ve gerçek kesitler.

3. SAYISAL METOTLAR

3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Basit mühendislik problemlerinde gerilme ve şekil değişimi analitik bir biçimde hesaplanabilmektedir. Büyük ve kompleks mühendislik problemlerinin çözümü zor ve uğraştırıcı olduğu için akışkanlar mekaniği ısı geçişi, elektromanyetik ve yapısal analiz vb. alanlardaki karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır.

Esas olarak sonlu elemanlar metodu gerçekte sonsuz sayıda elemana sahip yapıyı sonlu sayıda düğüm noktası adı verilen elemanlarla temsil eder. Düğüm noktalarının birleşmesiyle de mesh adı verilen ağ yapıları oluşur. Düğüm noktalarının her birinin 3 öteleme ve 3 dönme olmak üzere 6 serbestlik dereceleri vardır. Eleman sayısı arttıkça çözüm süresi ve doğruluğu artmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi otomotiv, havacılık, savunma sanayi gibi alanlarda kısa sürede, kolay uygulanabilirliği ve gerçek testlere göre daha düşük maliyetlerle güvenilir sonuçlar elde edilebildiği için tercih edilmektedir.

3.2 Doğrusal Problemler

Sınır koşullarının değişmediği malzeme gerilmelerinin alma dayanımının altında elastik bölgede olduğu deformasyon ve gerilmelerin düşük olduğu problemlerdir.

Uygulanan yük ile şekil değişimi doğru orantılıdır. Sistem dengeye ulaştığında çözüm sağlanmış olur.

Sistemin fiziksel ve mekanik özelliklerinin oluşturduğu bir $[K]$ katılık matrisi vardır. Sisteme etki eden kuvvet $[F]$ matrisiyle ifade edilirse dengeye ulaşmış bir sistemdeki düğüm noktalarının yer değiştirmesi aşağıdaki denklem 3.1'in çözümüyle elde edilebilir.

$$[F] = [K] [u] \quad (3.1)$$

3.3 Doğrusal Olmayan Problemler

Mevcut karşılaşılan problemin doğrusal olmadığı problemlerdir. Doğrusal olmama durumu temel olarak 3 çeşittir. Yer değiştirmelerin çok büyük olduğu geometrik doğrusal olmama durumu, parçalar üzerinde oluşan gerilmelerin parçanın malzemesinin akma dayanımının üzerinde olduğu plastik bölgede olduğu problemler, parçalar arasındaki temas durumlarının doğrusal olmadığı problemlerdir.

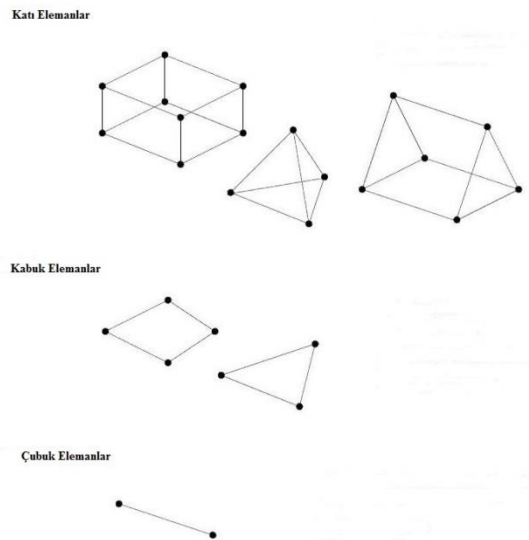
Otobüs devrilme analizlerinde büyük yer değiştirmeler olmaktadır ve parçalar üzerinde oluşan gerilmeler akma dayanımını aşarak doğrusal olmayan plastik bölgeye geçebilmektedir. Bu analizler belirli zaman aralıklarında gerçekleştiği için bu çalışmalar doğrusal olmayan dinamik problemlerdir.

Bu tür problemler eksplisit kodlar kullanılarak çözülürler. $F_{gövde}$ gövde kuvvetleri, F_{temas} temas kuvvetleri ve $F_{kumsaati}$ kumsaati kuvvetleri olmak üzere bu kodların çözümde kullandığı temel hareket denklemi, denklem 3.2'deki gibidir.

$$[M] \{\ddot{u}\} = F_{dış} - F_{iç} + F_{gövde} + F_{kumsaati} + F_{temas} \quad (3.2)$$

3.4 Eleman Tipleri

Otobüs gövde modelinin oluşturulmasında kullanılan 3 boyutlu katı eleman, 2 boyutlu kabuk eleman ve tek boyutlu çubuk eleman tipleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Eleman tipleri.

Bu çalışmada otobüs gövde profilleri kabuk elemanlar, tekerlek, klima, motor ve yakıt tankı gibi parçalar katı elemanlar, aks, yolcu-gövde bağlantısı, klima-tavan bağlantısı gibi yerlerde çubuk elemanlar kullanılmıştır.

3.5 Mühendislik Araçları

Gerçek testlerin oluşturduğu yüksek maliyetler ve genellikle tek sefer uygulanabilirliği bilgisayar destekli mühendislik araçlarının kullanımını oldukça yaygın hale getirmiştir. Bu çalışmada tasarım ve orta yüzey elde etme işlemi için SpaceClaim, ağ yapısını oluşturmak ve analiz sonuçlarını incelemek için LS-Prepost yazılımı, çözüm için LS-DYNA çözücüsü kullanılmıştır.

3.5.1 LS-Prepost

LSTC firması tarafından geliştirilmiş olan model hazırlama ve sonuç görüntüleme programıdır. Ağ yapısının oluşturulması, hız tanımlanması, temas modelleri, kısıtlayıcıların tanımlanması gibi model hazırlama işlemlerinde, deformasyonların ve enerji grafiklerinin incelenmesi gibi analiz sonuçlarını görüntüleme işlemleri için kullanılmaktadır.

3.5.2 LS-DYNA çözücüsü

Doğrusal olmayan dinamik mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan eksplisit çözücü kodudur. Oldukça zengin bir temas ve malzeme kütüphanesi bulunmaktadır. Otomotiv, uzay-havacılık ve savunma sanayi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çarpışma, devrilme ve patlama gibi küçük zaman aralıklarında büyük deformasyonların gerçekleştiği durumları modellemek için oldukça uygundur.

3.5.3 SpaceClaim

Bu çalışma için gerekli olan kabuk modelin oluşturulmasında, otobüs gövde profillerinin orta yüzeylerinin elde edilmesinde SpaceClaim programı kullanılmıştır. Kullanım kolaylığı ve birçok farklı formattaki dosyayı açabilme kabiliyetinden ötürü tercih edilmiştir.

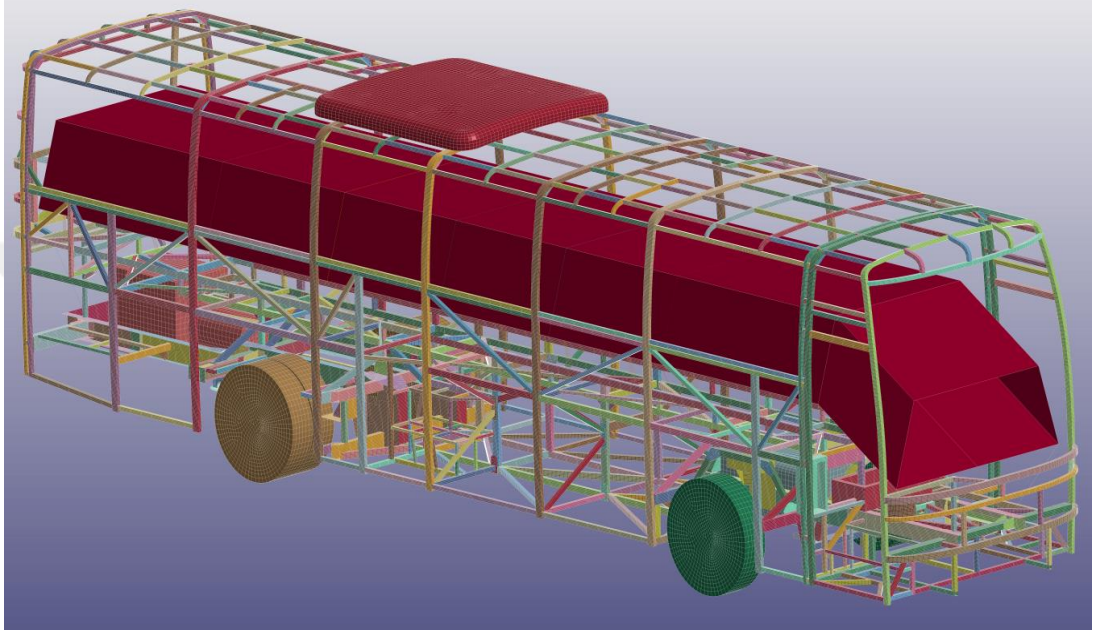
Otobüs modelinin sanal ortamda oluşturulmuş iskeleti yapısal elemanları gerçeğe uygun bir biçimde tanımlayabilmektedir ancak bunun haricinde otobüs üzerinde

bulunan elemanlarında etkilerinin model üzerine uygulanması gerekmektedir. Yapısal olmayan elemanlar araç modeli üzerinde kütle ve atalet etkilerine sahiptir. Otobüs devrilme analizinin gerçek test aracıyla uyumlu bir sonuç verebilmesi için bu büyüklükler model üzerinde belirtilmelidir.



4. OTOBÜSÜN SAYISAL MODELLENMESİ

Örnek otobüs sonlu elemanlar modeli Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Otobüs sonlu elemanlar modeli.

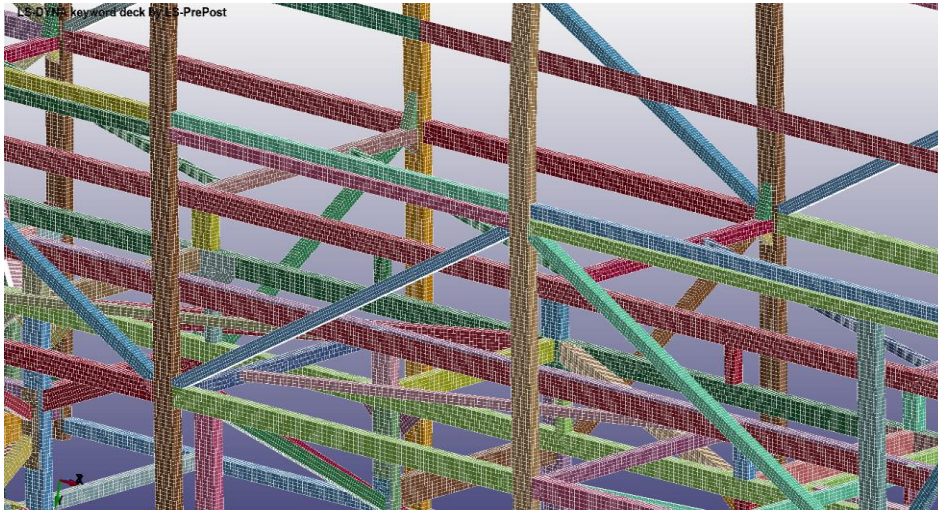
Bu çalışmada .x_t (parasolid) formatında katı model olarak temin edilen otobüs modeli SpaceClaim programına aktarılmış burada küçük köşe yuvarlatmalarından temizlenmiş ve katı şasi ve gövde elemanlarının orta yüzeyleri çıkartılmıştır. Bu orta yüzeyler LS-Prepost programına aktarılıp ağ yapısı oluşturularak kabuk eleman haline getirilmiştir. Malzeme özellikleri, sınır koşulları, yük koşulları ve farklı eleman türleri program içerisindeki kartlar aracılığıyla tanımlanmıştır.

Araç modeli esnek yapısal parçalarında Qste 460 malzemesi kullanılmıştır. Motor, dişli kutusu, aks, klima ve yakıt tankı gibi elemanlar atalet ve kütle olarak devrilme durumunda aracın göstereceği davranış konusunda önemli bir yere sahiptirler. Bu elemanlar rijit olarak modellenmiş, gerçek kütle ve atalet bilgileri kullanılmıştır. Yaşam alanı malzemesi yapısal olarak araca etki etmeyen bir malzemedir ancak yaşam alanıyla yan profiller arasındaki ilişkiyi göstermesi açısından oldukça

önemlidir. Beton zemin de rijit malzeme kartı kullanılarak modellenmiştir. Beton zemin ile araç modeli arasındaki sürtünme katsayısı 0,1 olarak tanımlanmıştır.

4.1 Ağ Yapısı

LS-Prepost programında araç modeli oluşturulurken yapısal gövde ve şasi parçaları için eleman boyutu 10 mm olarak alınmıştır. Diğer parçalar için eleman boyutu 50 mm olarak seçilmiştir. Model 1196891 kabuk eleman ve 1263331 düğüm noktasından meydana gelmektedir. Gövde ağ yapısının bir bölümü Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

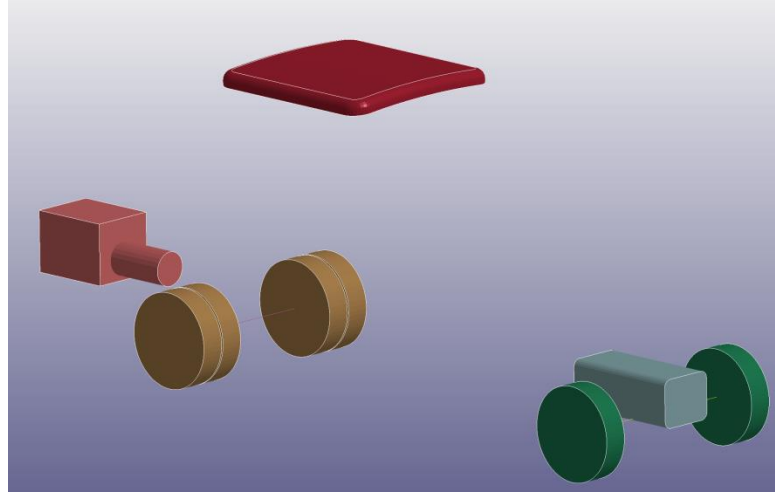


Şekil 4.2 : Ağ yapısı.

4.2 Yapısal Olmayan Parçalar

Motor, dişli kutusu, klima, yakıt tankı gibi parçalar devrilme analizi sonuçlarına ciddi boyutlarda etki edebilecek kütle ve atalet değerlerine sahiptirler. Sadece kütle bazlı bakıldığında bu parçaların doğru bir şekilde modellenmesi ağırlık merkezinin yeri konusunda etkilidir. Diğer taraftan hem kütle hem atalet açısından bakıldığında devrilme analizinde yapılan matematiksel eşitliğin sağ ve sol tarafında yer alan elemanlar oldukları için model üzerine uygulanacak açısal hız konusunda doğrudan etkilidirler.

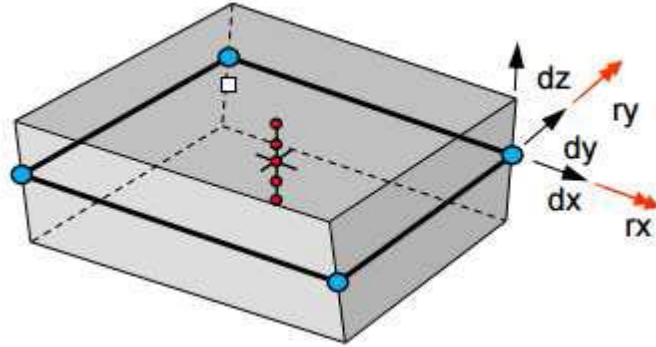
Bu yapısal olmayan elemanlar kendi içlerinde rijit olarak kabul edilir ve deformasyona uğramadığı varsayılır. Bu elemanların rijit olarak modellenmesi analizin çözüm süresinden tasarruf sağlar. Şekil 4.3’te otobüs modelinde bulunan yapısal olmayan parçalar gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Yapısal olmayan parçalar.

4.3 Eleman Formülasyonu

Otobüs modelinde kabuk elemanlar için 4 noktalı 3 integrasyon noktasına sahip Belytschko-Lin-Tsay elemanlar kullanılmıştır. Bu formülasyon, LS-DYNA kütüphanesinde 2 numara ile ifade edilmektedir. Bu eleman türünün tercih edilme sebebi hızlı ve yüksek doğruluğa sahip sonuçlar vermesidir [8]. İntegrasyon noktası elemanın kalınlığı boyunca kaç aralık kullanılacağını belirler. İntegrasyon noktasının birden fazla olması, kabuk elemanın zar, membran gibi davranmasını engeller [6].



Şekil 4.4 : Belytschko-Lin-Tsay eleman formülasyonu [11].

Bu eleman modelinde integrasyon kontrolü tek noktadan yapılır. Tek noktadan kontrolden ötürü bazı çarpılma modlarını yakalayamaz ve kum saati enerjisi problemi meydana gelir. Eleman düğüm noktaları deforme olmasına rağmen çözücünün hesapladığı iç enerji ve kuvvet sıfır olarak elde edilir. Çözücü bu sorunu ortadan kaldırmak için yapay bir kuvvet uygular [10]. Analizlerde ortaya çıkan kum saati (hourglass) enerjisinin %5'i geçmemesi istenir [1].

4.4 Malzeme Modelleri

Analiz modelinin doğru sonuç verebilmesi için gerekli olan en önemli parametrelerden biri malzemenin amaca uygun doğru bir biçimde tanımlanmış olmasıdır. Bu çalışmadaki otobüs yapısal elemanlarının tamamı Qste 460 malzemesinden yapılmıştır. Yapısal olmayan parçalar rijit olarak modellenmiş, yaşam hacmi ise (null material) etkisiz malzeme ile modellenmiştir.

4.4.1 Parçalı doğrusal plastik malzeme modeli

Otobüs gövde ve şasisindeki bütün yapısal parçalarda Qste 460 çeliği MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY malzeme modeliyle tanımlanmıştır [8]. Bu malzeme modelinin temel özelliği eğer eleman üzerinde oluşan gerilme akma dayanımının altında elastik modülü dikkate alarak doğrusal davranması, oluşan gerilme akma dayanımının üzerinde ise malzeme testleri sonucunda elde edilen gerilme-gerinim değerlerini kullanmasıdır. Bu çalışmada kullanılmış olan Qste 460 malzemesi plastik bölge gerçek gerilme-gerinim değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Qste 460 malzemesi plastik bölge gerçek gerilme - plastik gerinme değerleri [7].

Gerçek Gerilme σ (MPa)	Plastik Gerinme (ϵ_p)	Gerçek Gerilme σ (MPa)	Plastik Gerinme (ϵ_p)
456.84	0	571.19	0.025
499.99	0.002	595.56	0.05
529.79	0.004	616.37	0.077
548.89	0.008	645.35	0.127
560.27	0.015	650.25	0.146

Bu çalışmada QSTE 460 malzemesi için kullanılan mekanik özellik Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Qste 460 malzemesi mekanik özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastik Modül (Mpa)	Poisson Oranı
Qste 460	7.85	210000	0.3

Program içinde tanımlanan plastik bölge malzeme verilerinde gerçek mühendislik gerilme-gerinim değerleri kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple çekme deneyi sonucunda elde edilen değerler dönüşüm formülleri kullanılarak sanal analizlerde kullanılmaktadır.

4.4.2 Rijit malzeme modeli

Rijit parçaların malzeme özelliklerini tanımlamak için kullanılan malzeme modelidir. Bu malzeme modelinin uygulandığı parçalar üzerinde gerilme-deformasyon hesabı yapılmadığından çözüm süresi açısından avantaj sağlamaktadır.

Motor, dişli kutusu, aks, yakıt tankı, tekerlekler, klima gibi elemanlar rijit malzeme modeliyle tanımlanmıştır [8]. Malzeme kartı içerisinde rijitliğe ek olarak sabitlik şartı da tanımlanarak beton zemin modellenmiştir.

4.4.3 Null malzeme modeli

Hesaplamaya dahil edilmeyen, yapısal etkisi olmayan parçalar için kullanılan malzeme modelidir [8]. Yaşam alanı malzemesi olarak çok uygundur. Yan profillerle aradaki mesafeyi inceleme konusunda modelde bulunması gerekmektedir.

4.5 Temas Modeli

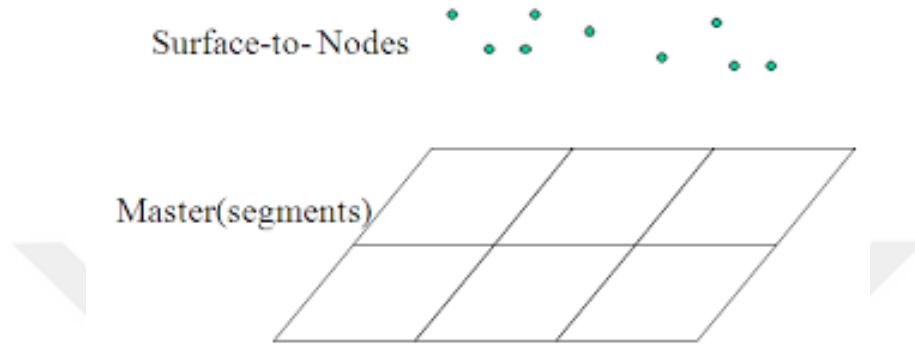
Analizde parçaların birbirleri arasındaki ilişkiler temas modelleri kullanılarak sağlanır. Analiz modelinin doğru sonuç vermesi için gerekli olan en kritik parametrelerden biri temas modelinin doğru bir şekilde kurulmasıdır.

Otobüs devrilme analizlerinde temel olarak iki farklı temas modeli kullanılabilir. Bunlardan birincisi araç gövdesinin kendi içerisinde temas durumunu düzenleyen AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE, diğeri ise araç gövdesiyle zemin arasındaki temas durumunu düzenleyen AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE temas modelidir [5]. Otobüs devrilme analizlerinde çok büyük yer değiştirmeler olmadığı için araç gövdesinin kendi içindeki temas durumunu düzenleyen AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE temas modeli bu çalışmada kullanılmamıştır. Profillerin kesiştiği bölgelerdeki noktalar ortaklaşa kullanılmıştır. Bu bölgeler haricinde araç gövdesi içindeki bağlantılar tanımlanmış olan constraintler yani kısıtlayıcılar yardımıyla yapılmıştır.

Otobüs modeli tamamlanmadan önce iki temas modelli ve tek temaslı modeller kullanılarak analizler koşturulmuş, modeller arasında kıyaslama yapılmıştır. Analiz sonuçlarının birbirine yakın çıktığı, tek temas modelli analiz modelinin süre açısından oldukça avantajlı olduğu görülmüştür. Bu sebeple tek temas modeli olarak AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE temas modeli kullanılmıştır.

4.5.1 Automatic Nodes to Surface temas modeli

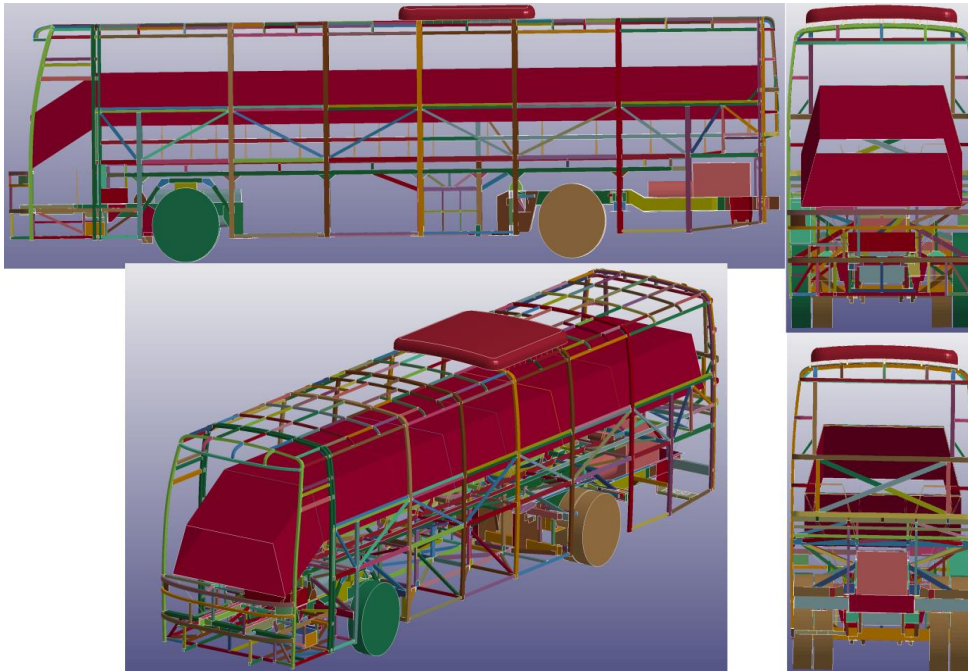
Otobüs modeliyle zemin arasındaki ilişkinin ifade edilmesinde kullanılır. Otobüs gövdesinin tüm elemanları bir PART_SET altında toplanır. Verimli bir şekilde çalışması için zemin master, otobüs gövdesi slave olarak tanımlanmalıdır. Zemin ile otobüs gövdesi arasındaki sürtünme katsayısı 0,1 olarak alınmıştır. Şekil 4.5'te temas modeli örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Temas modeli [5].

4.6 Yaşam Hacmi

Yaşam hacmi ECE-R 66.02 regülasyonunda belirtilen kriterlere uygun olarak tasarlanmıştır. Yaşam alanının malzemesi NULL_MATERIAL olarak tanımlanmıştır [8]. Şekil 4.6'da farklı açılardan yaşam hacmi gösterilmektedir.



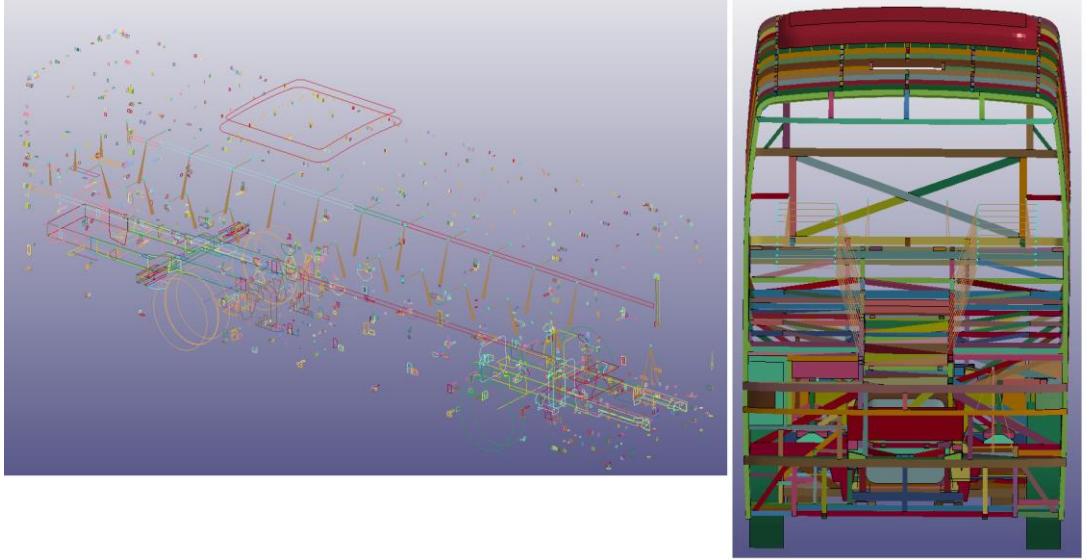
Şekil 4.6 : Yaşam Hacmi Modeli (sol, ön, izometrik ve arka).

4.7 Yolcu Ağırlıkları

Yolcu ağırlıkları noktasal kütleler olarak tanımlanmış, rijit çubuk elemanlar kullanılarak koltuk rayı bölgesine bağlanmıştır. Cam kenarındaki yolcu çubuk elemanla koridor bölgesindeki yolcuya, koridor bölgesindeki yolcu da bölgesel gerilme yığılması oluşmaması için 8 çubuk elemanla koltuk rayı bölgesine bağlanmıştır. Yönetmelikte belirtildiği gibi yolcular 34 kg, şoför ise 75 kg olarak modellenmiştir ve koridor ray bölgesinden araç gövdesine bağlanmıştır.

46 yolcu, 1 mürettebat ve 1 şoför için uygulanması gereken toplam kütle denklem 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.7’de araç üzerindeki yolcu kütleleri gösterilmiştir.

$$M_{\text{yolcu}} = 47.34 + 75 = 1673 \text{ kg} \quad (4.1)$$



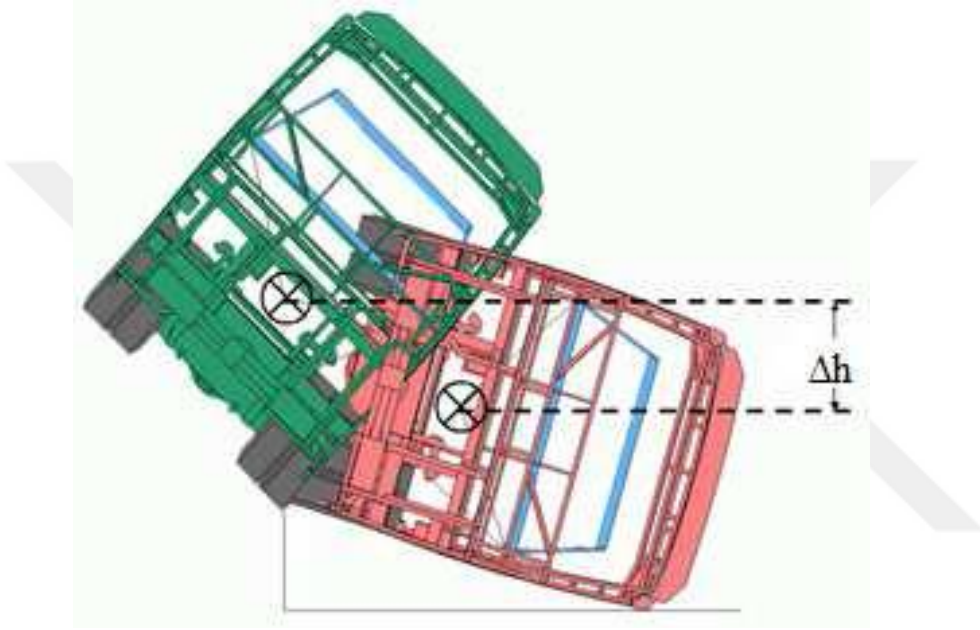
Şekil 4.7 : Yolcu kütlelerinin modellenmesi.

4.8 Ağırlık Merkezinin Tespit Edilmesi

Gerçek imal edilmiş araçlarda ağırlık merkezi ölçümü yönetmelikte belirtilen şekilde yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan otobüs modelinin gerçek imal edilmiş hali mevcut olmadığından LS Prepost tarafından hesaplanan ağırlık merkezi değeri kullanılmıştır.

4.9 İlk Hızın Hesaplanması

Bu tanımlama yapılırken aracın bütün parçalarını içeren bir PART_SET oluşturulur. INITIAL_VELOCITY_GENERATION kartı kullanılarak araç modelinin ilk hızı tanımlanır. INITIAL_VELOCITY_GENERATION kartının içerisinde dönme eksenini, açısal hız gibi büyüklükler tanımlanır. Şekil 4.8’de sanki kararlı denge durumu ve devrilme temas durumundaki araç modelleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Sanki-dengeli halden devrilme haline geçiş ve ağırlık merkezi değişimi.

Devrilme analizinde araç modelinin analiz başlamadan önce 3 farklı durumu vardır. Bunlardan ilki 800 mm yüksekliğindeki tümsek üzerinde bulunduğu ilk durumdur. Araç ağırlık merkezi en yüksek hale gelene kadar yani sanki kararlı denge durumuna ulaşana kadar 1. Dönme eksenini etrafında döndürülür. Şekil 4.8’deki yeşil araç modeli sanki kararlı denge halini ifade etmektedir. Bu halden sonra ilk denge konumundan araç düşey eksenine göre 100 mm yukarıdan zemine temas edene kadar 2. kez döndürülür. Pembe araç modeli devrilme analizinde kullanılacak olan son haldir. Bu durumlar arasındaki potansiyel enerji hesaplanarak son konumdaki zeminle temas halindeki aracın parçaları üzerine kinetik enerji olarak uygulanacaktır. Denklem 4.2’de açısal hız hesabında kullanılan enerji dönüşüm formülü verilmiştir.

$$E = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = \frac{1}{2} \cdot I_{xx} \cdot \omega^2 \quad (4.2)$$

E = Gövdesinin absorbe edeceği enerji (J)

m = Araç kütlesi (kg)

g = Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

h_1 = İkinci konumda aracın ağırlık merkezinin platformdan düşme zemininden yüksekliği (m)

h_2 = Son konumda aracın ağırlık merkezinin düşme zemininden yüksekliği (m)

I_{xx} = Aracın dönme eksenine göre atalet momenti ($kg.m^2$)

r = Aracın sanki dengeli durumdayken ağırlık merkezinin dönme eksenine olan düşey mesafesi (m)

$I_{xx(ref)}$ = Aracın kendi ağırlık merkezine göre olan atalet momenti ($kg.m^2$)

Hesaplamada kullanılacak olan atalet momentinin araç dönme eksenine göre olan atalet momenti olması gerekmektedir. Bu atalet momenti değeri denklem 4.3'teki formülle hesaplanır. Bu hesap paralel eksenler teoremine dayanmaktadır.

$$I_{xx} = I_{xx(ref)} + m.r^2 \quad (4.3)$$

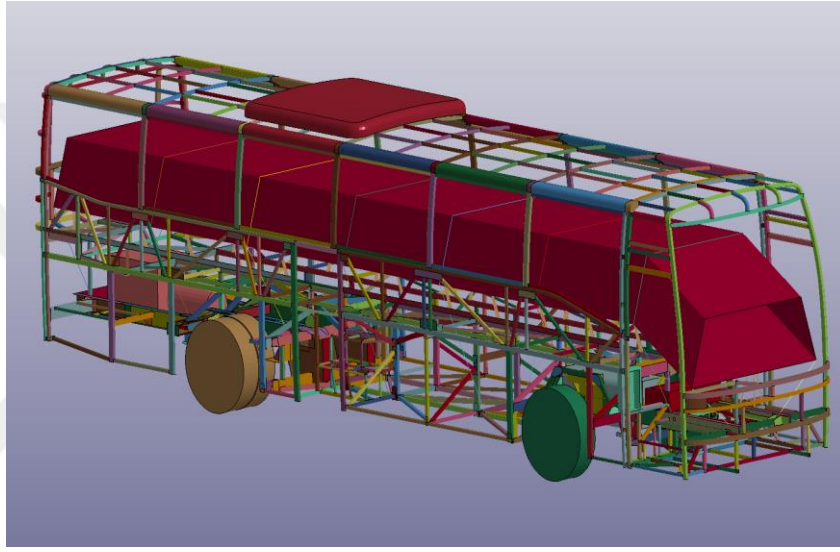
Denklem 4.2 de bilinmeyenler yerine yerleştirilerek w açısal hızı radyan cinsinden elde edilir.



5. MODEL İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

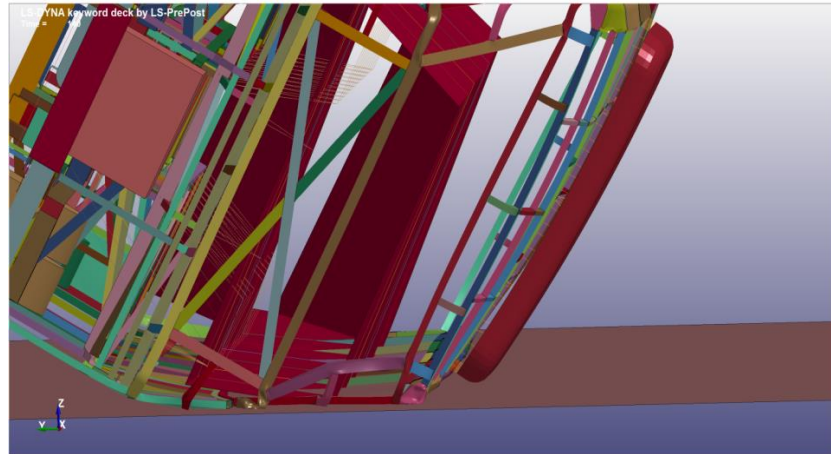
5.1 1. Model

Çalışmadaki başlangıç modeli genel görünümü Şekil 5.1’de verilmiştir. Model kütlesi 15500 kilogramdır.



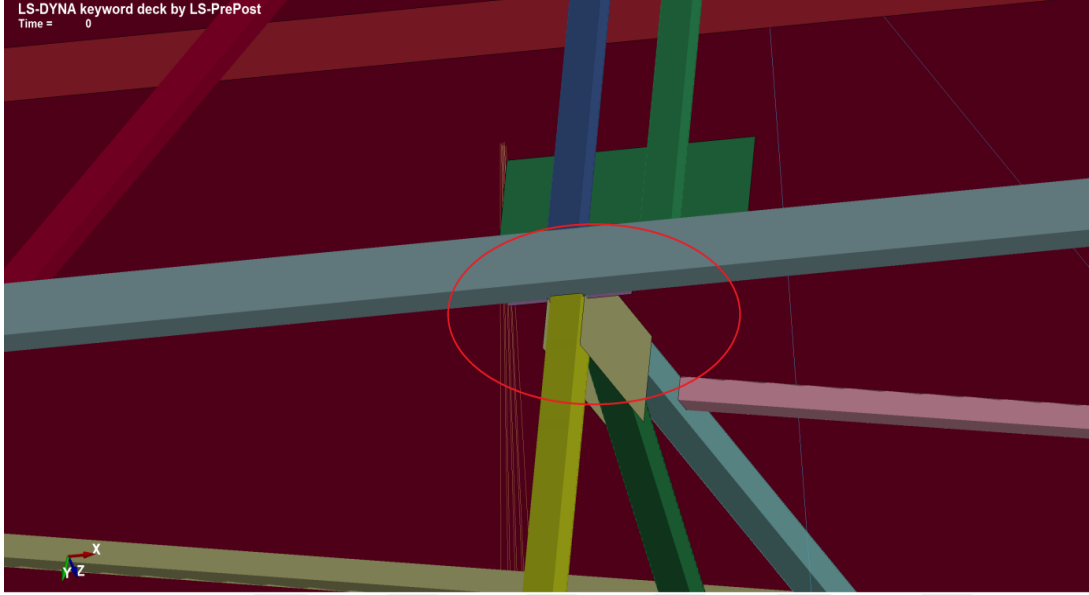
Şekil 5.1 : 1. Model genel görünüm.

Bu modelin analizinin 140. milisaniyesindeki durumu Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Yaşam hacminin üst noktalarda tüm bölgelerde profillere temas ettiği görülmektedir. Bu analiz başarısızlıkla sonuçlanmıştır.



Şekil 5.2 : 1. Model 140. ms.

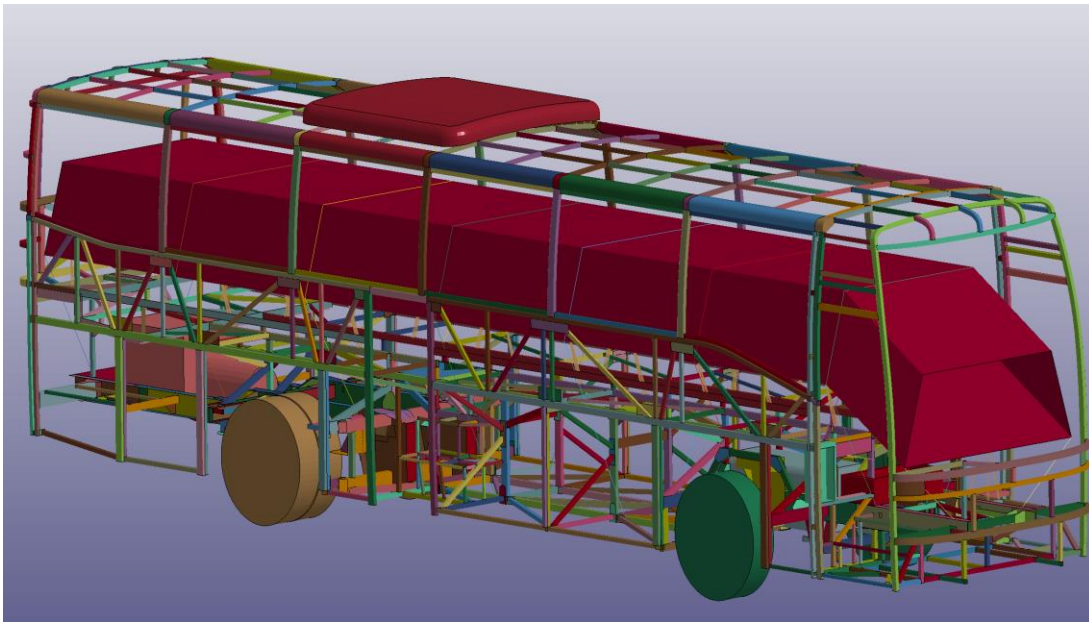
Gövde yapısı incelenmiş ve yan duvar konstrüksiyonunda Şekil 5.3'te gösterilen kırmızı çizgiyle gösterilmiş bölge ve benzer durum olan tüm bölgelerde güçlendirmeler yapılmıştır. Alt düşey profilin dış kısmına C şeklinde profiller eklentiler eklenerek yatay profille arasında bağlantı yüzeyinin artırılması hedeflenmiştir.



Şekil 5.3 : 1. Model’de değiştirilecek bölge.

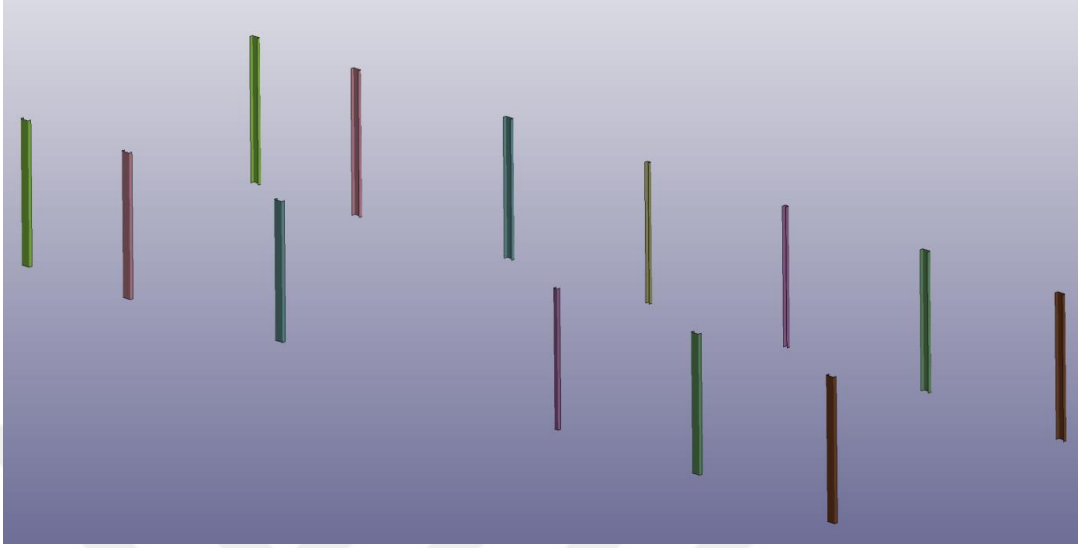
5.2 2. Model

2. Model genel görünümü Şekil 5.4’te verilmiştir. Model kütlesi 15540 kilogramdır.



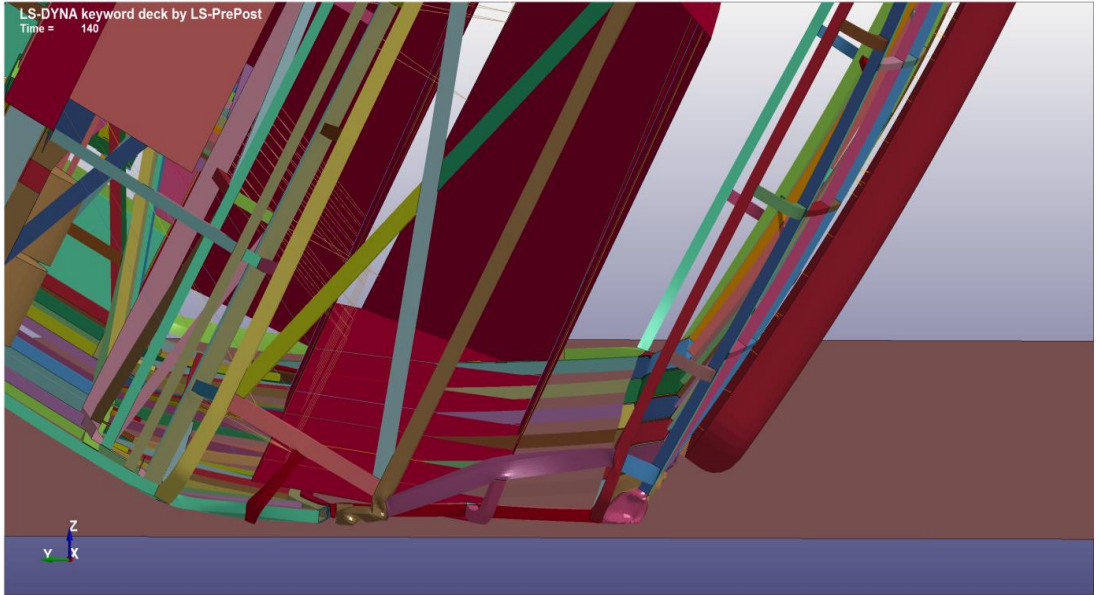
Şekil 5.4 : 2. Model genel görünüm.

Şekil 5.5'te ilk modele eklenen 3 mm kalınlığındaki profiller görülmektedir. Şekil 5.3'te bahsedilmiş durumda olan bölgelere Şekil 5.5'te gösterilen C şeklindeki profiller eklenmiştir.



Şekil 5.5 : Güçlendirme profilleri.

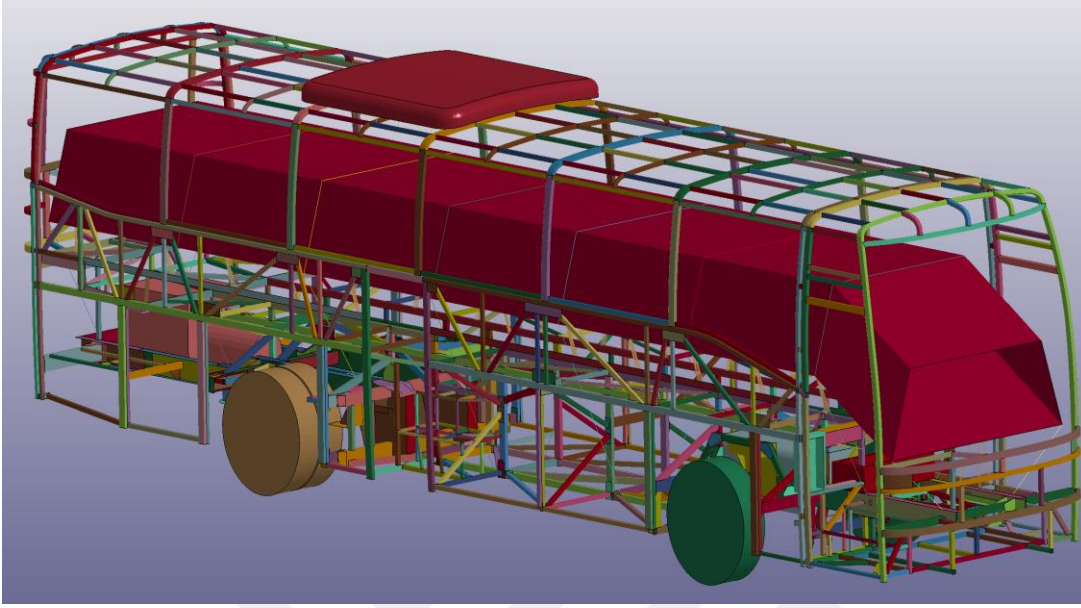
Bu modelin analizinin 140. milisaniyesindeki durumu Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Yaşam hacminin üst noktalarında tüm bölgelerde profillere temas ettiği görülmektedir. Bu analiz başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Yapılmış olan güçlendirmeye rağmen 2. Model'de devrilme dayanımının iyileştirilmesi ve ECE-R 66.02 Yönetmeliği'nin sağlanması açısından büyük bir değişim olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.6 : 2. Model 140. ms.

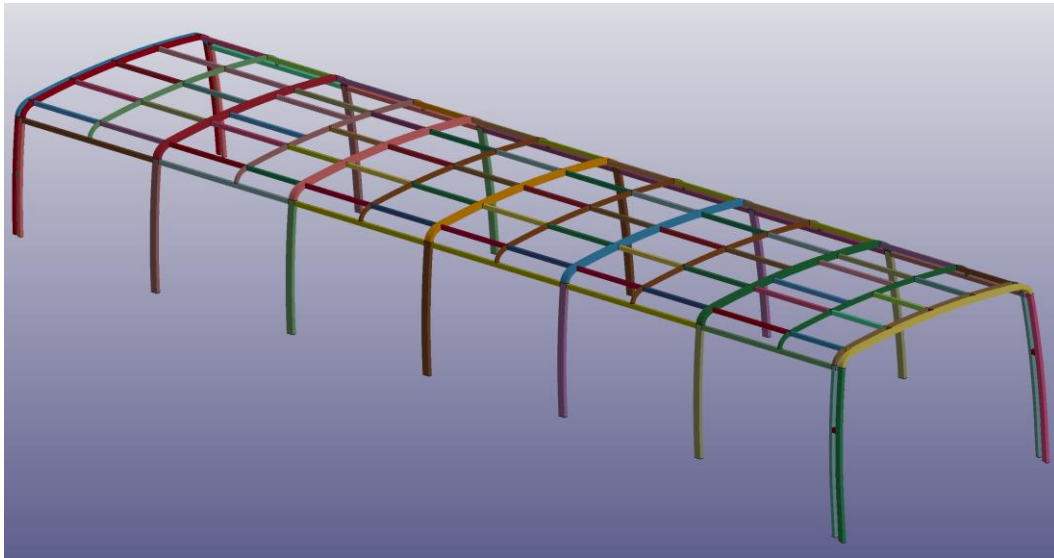
5.3 3. Model

3. Model genel görünümü Şekil 5.7’de verilmiştir. Model kütlesi 15462 kilogramdır.



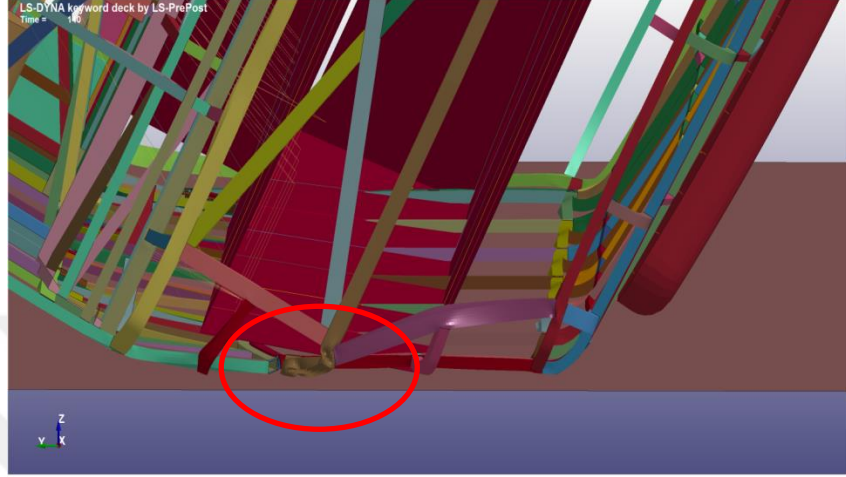
Şekil 5.7 : 3. Model genel görünüm.

Bu modelde tavanda değişiklik yapılarak yan duvarlardaki cam altı profillerinden diğer taraftaki cam altı profillerine kadar kesintisiz bağlantı sağlanarak yapıda bütünlük oluşturulması hedeflenmiştir. Bu yapı oluşturulurken daha önceki tasarımlarda yan duvar-tavan bağlantı bölgesinde bulunan özel profil yapısı kaldırılmıştır. Özel profil yapısının kaldırılmasıyla model 78 kg hafifletilmiştir. Değiştirilmiş tavan yapısı profilleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8 : 3. Model yeni tavan iskeleti.

Bu modelin analizinin 140. milisaniyesindeki durumu Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Yaşam hacminin üst noktalarda tüm bölgelerde profillere temas ettiği görülmektedir. Bu analiz başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Analiz sonuçlarında büyük bir değişiklik olmamıştır ancak daha hafif olması sebebiyle sonraki modellere yeni tavan profil yapısıyla devam edilmiştir.

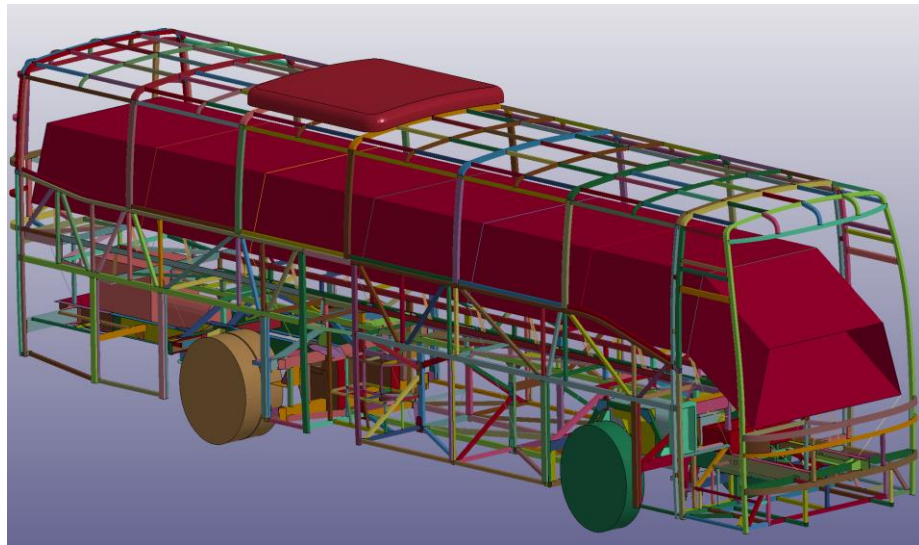


Şekil 5.9 : 3. Model 140. ms.

Şekil 5.9’da kırmızı ile işaretlenmiş bölgedeki aşırı deformasyonun engellenmesi için gelecek modelde destek profili eklenecektir.

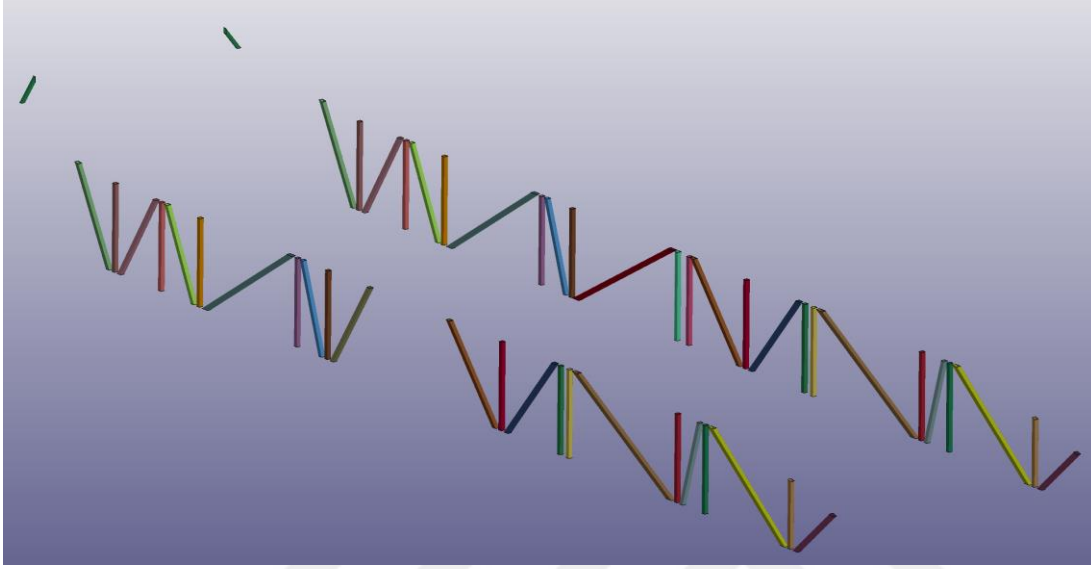
5.4 4. Model

4. Model genel görünümü Şekil 5.10’da verilmiştir. Model kütlesi 15483 kilogramdır.



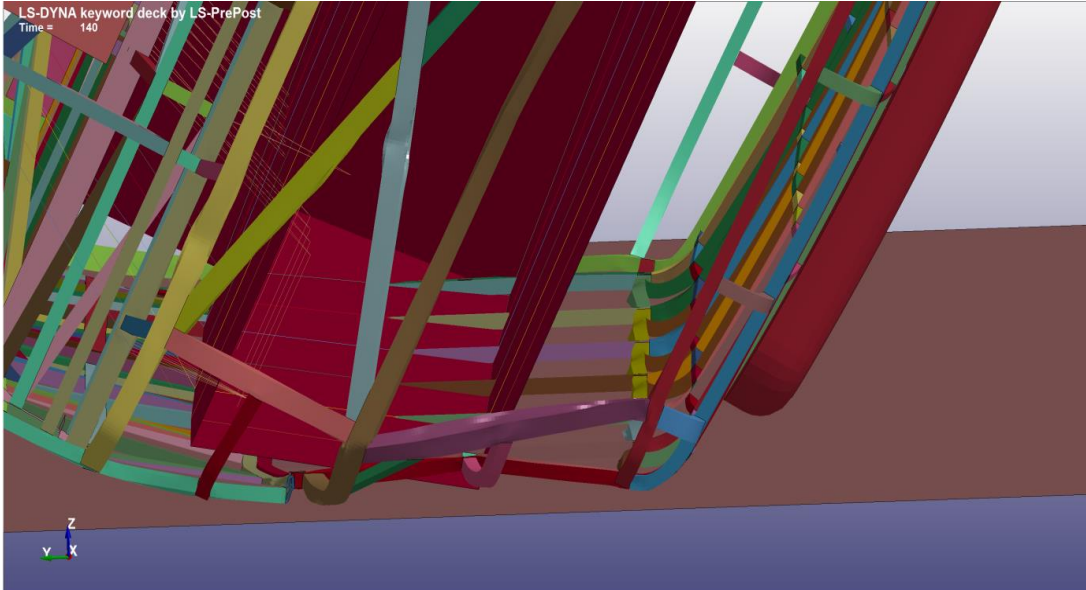
Şekil 5.10 : 4. Model genel görünüm.

Bu modelde cam altındaki profillerin et kalınlığı 3 mm ye çıkarılmış, profil kesitleri alt ve üstteki yatay profillerle eşit hale gelecek şekilde genişletilmiştir. Otobüsün arka bölümünde büyük deformasyona uğrayan Şekil 5.9'daki profillere destek profilleri eklenmiştir. Değişiklik yapılan cam altı profilleri ve arka destek profilleri Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Değiştirilen profiller.

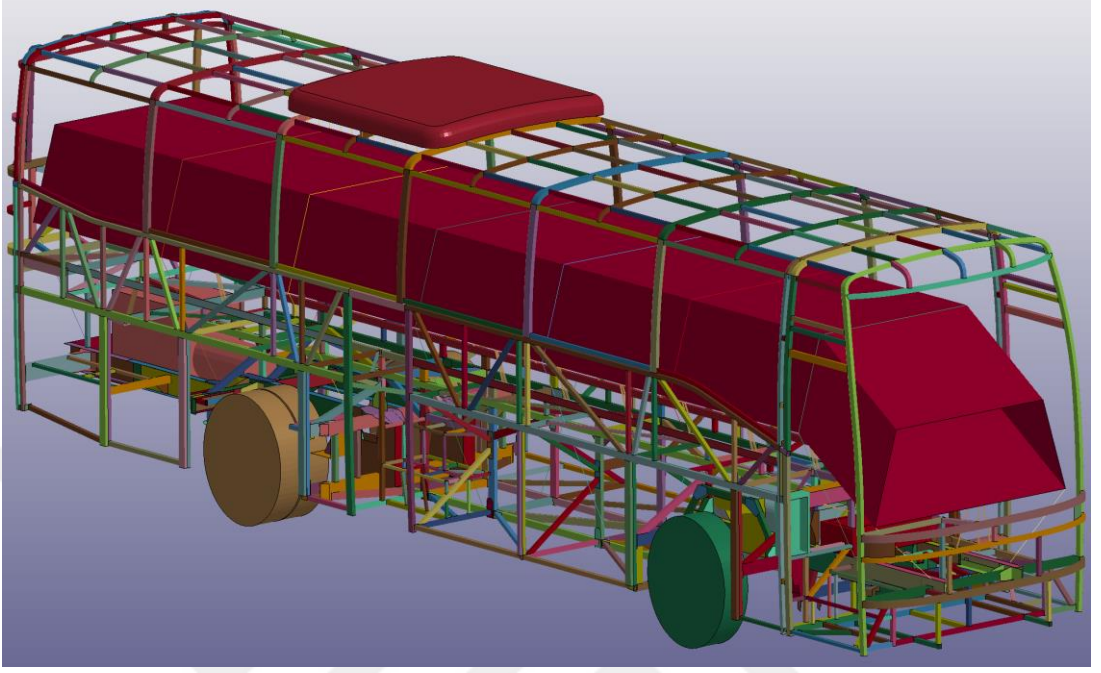
Bu modelin analizinin 140. milisaniyesindeki durumu Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Yaşam hacminin üst noktalarda tüm bölgelerde profillere temas ettiği görülmektedir. Bu analiz başarısızlıkla sonuçlanmıştır.



Şekil 5.12 : 4. Model 140. ms.

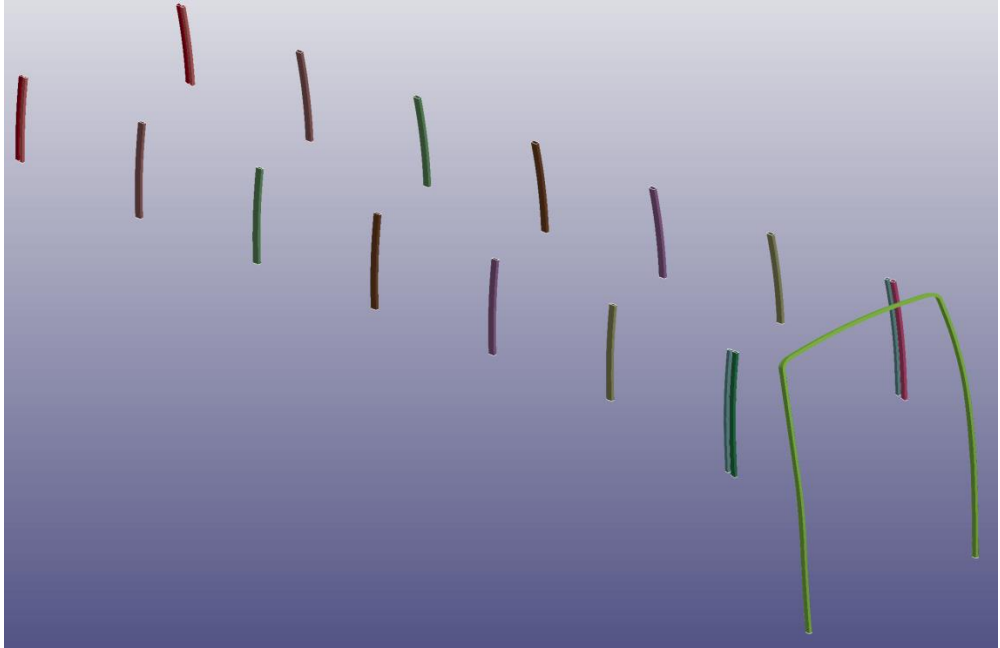
5.5 5. Model

5. Model genel görünümü Şekil 5.13'te verilmiştir. Model kütlesi 15566 kilogramdır.



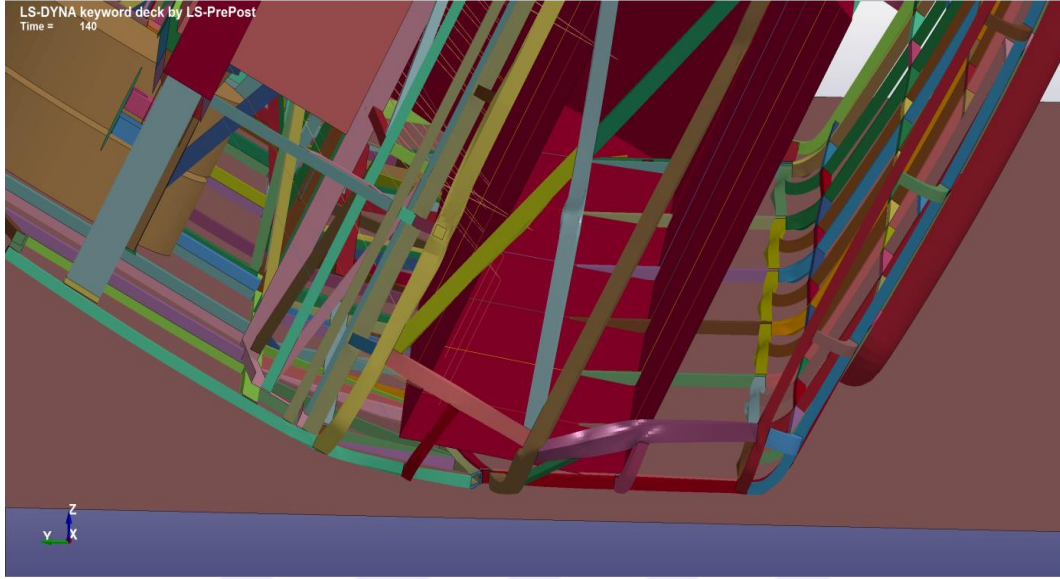
Şekil 5.13 : 5. Model genel görünüm.

Cam direklerinin ve en öndeki profilin et kalınlığı 5 mm ye çıkarılmıştır. Diğer profillerin et kalınlığı 4 mm ye yükseltilmiştir. Kalınlıkları değiştirilen profiller Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5. 14 : Değişiklik yapılan profiller.

Bu modelin analizinin 140. milisaniyesindeki durumu Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Yaşam hacminin üst noktalarda tüm bölgelerde profillere temas ettiği görülmektedir. Bu analiz başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

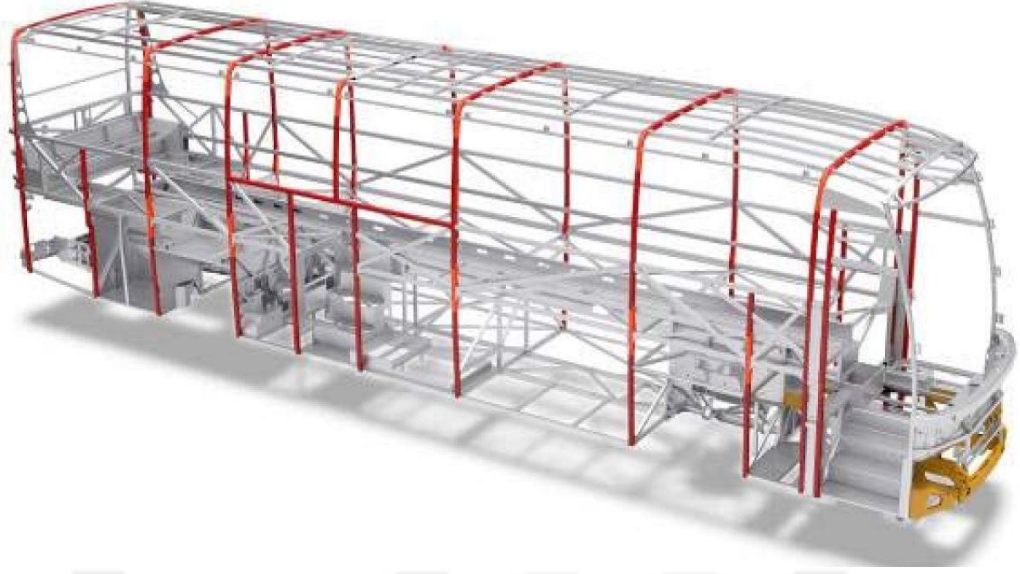


Şekil 5.15 : 5. Model 140. ms.

Buraya kadar olan kısımda otobüs gövde iskeletinde bölgesel değişiklikler yapılarak modelin ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun hale getirilmesine çalışılmıştır ancak yapılan değişikliklerden olumlu sonuç alınamamış olup deneme yapılmış olan beş modelinde standartları sağlamaktan uzak olduğu görülmüştür.

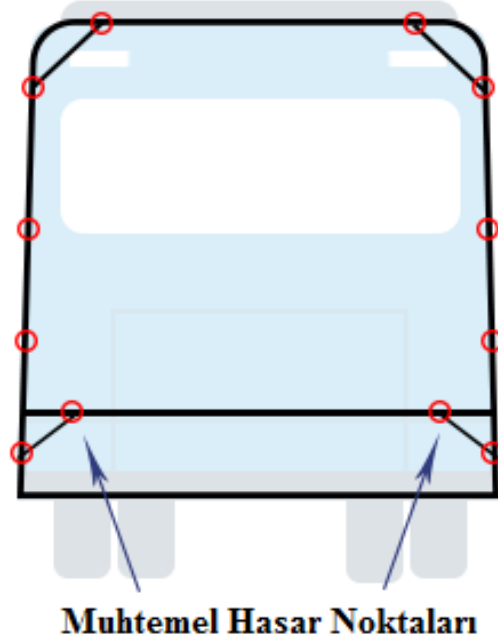
Bu aşamadan sonra model üzerinde daha köklü değişikliklere gidilerek eski tip otobüs yapısından vazgeçilip daha farklı yeni tarzda tasarıma çevrilmiştir. Bu tasarımda araç gövde yapısı bütünlüğünün artırılması amacıyla yan duvarlarda düşey kesintisiz profiller kullanılmıştır. Bu kapsamda otobüs yan duvarları yeniden tasarlanmıştır. Tavan tasarımı ise yan duvardan gelecek düşey tek parça profillerin devamı olacak, bir bütünlük oluşturacak şekilde güncellenmiştir.

Bu şekilde tasarlanmış bir otobüs modeline örnek olarak Şekil 5.16'da Daimler Grubunun ECE-R 66.02 ile uyumlu ilk otobüsü olan Setra Comfort Class 500 Serisi iskeleti görülmektedir.



Şekil 5.16 : Setra Comfort Class 500 iskeleti [9].

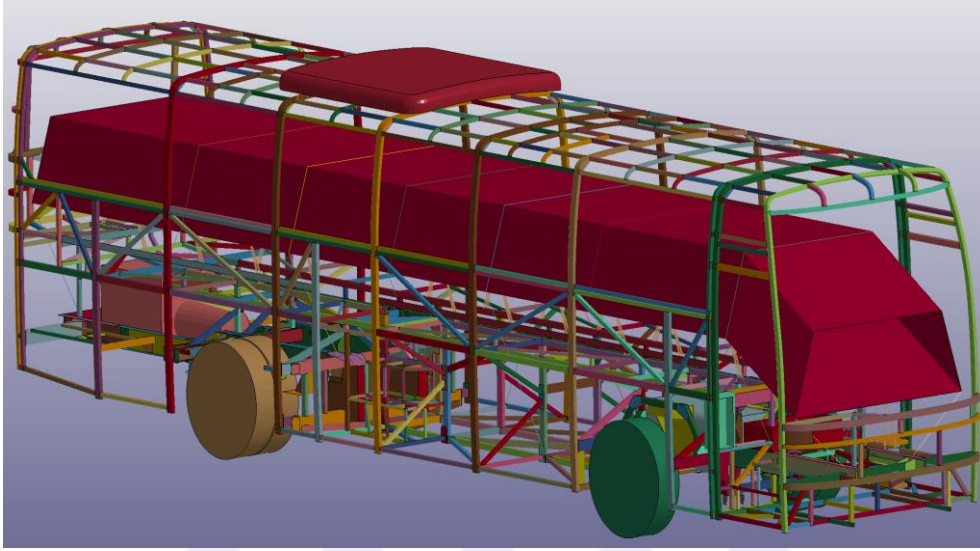
Bundan sonraki modellerde yan duvar direkleri ve cam altı çapraz profilleri Şekil 5.16'dakine benzer şekilde yapılmıştır. Bu sayede yan duvar direkleri tek parça olmuş ve çapraz profillerin sayısı azaltılmıştır. Ayrıca Şekil 5.17'de belirtilen potansiyel hasar bölgelerini minimuma indirme açısından yolcuların bulunduğu platform yan duvar bağlantısına ve yan duvar tavan bağlantıları arasına güçlendiriciler eklenmiştir.



Şekil 5.17: Muhtemel hasar noktaları [12].

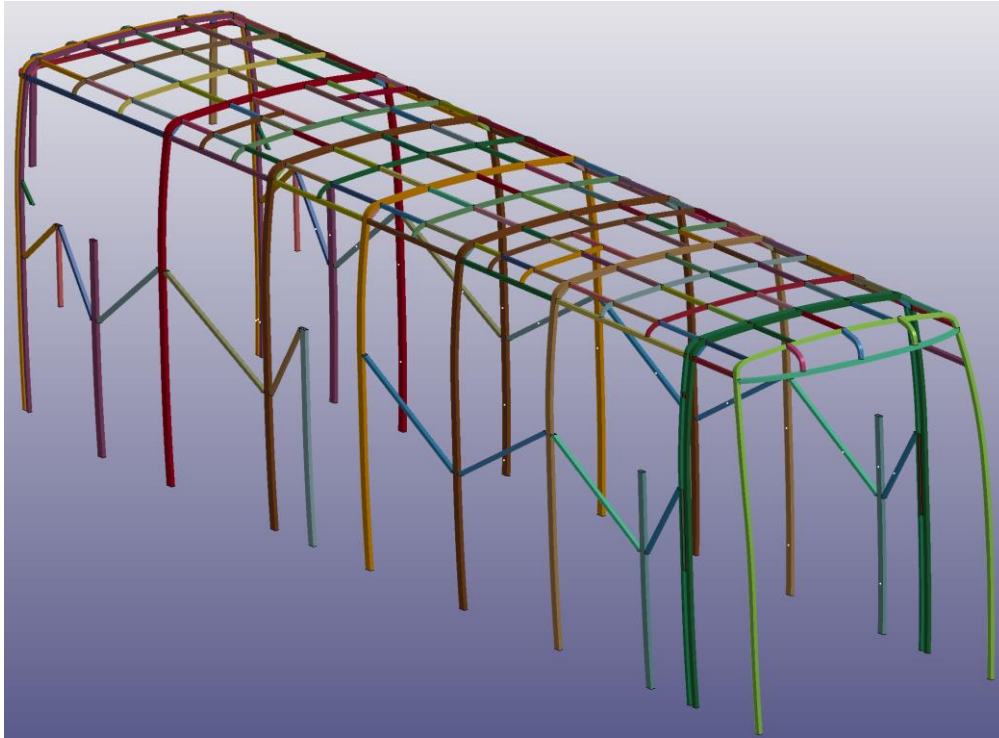
5.6 6. Model

6. Model genel görünümü Şekil 5.18’de verilmiştir. Model kütlesi 15602 kilogramdır.



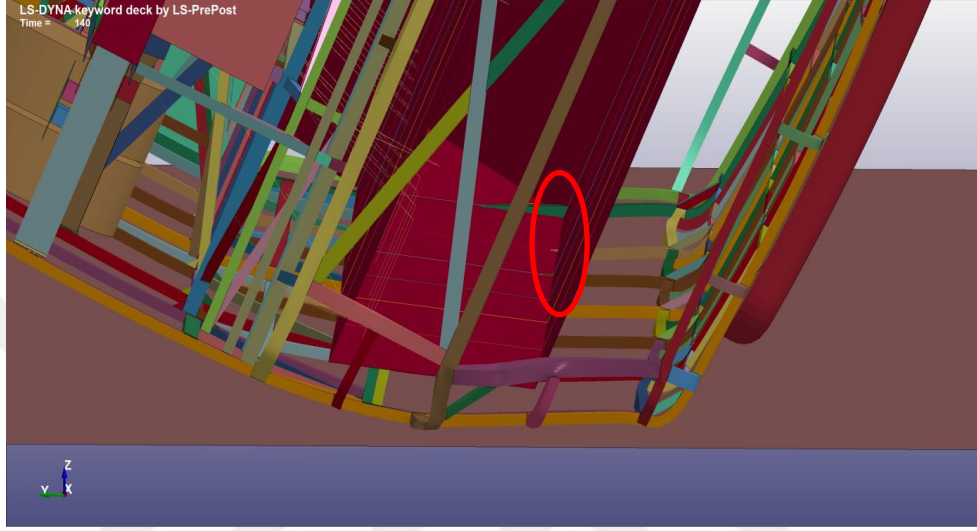
Şekil 5.18 : 6. Model genel görünüm.

Oluşturulan yeni modelde U şeklindeki profillerin et kalınlığı 4 mm yapılmıştır. Bu modeldeki U şeklindeki profiller ve cam altı çaprazları Şekil 5.19’dadır.



Şekil 5.19 : Değiştirilen profiller.

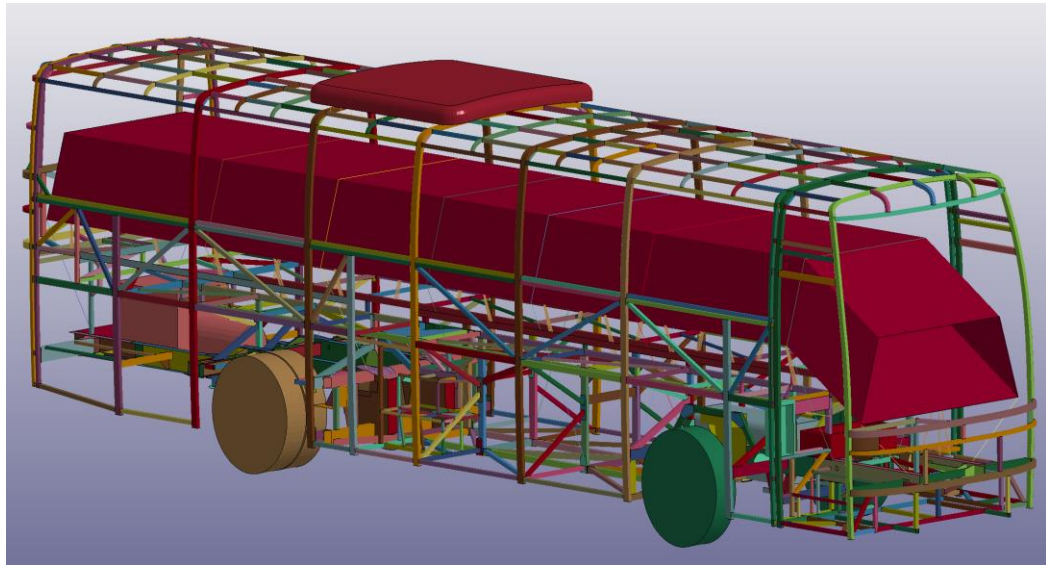
Bu modelin analizinin 140. milisaniyesindeki durumu Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Yaşam hacminin üst noktaları incelendiğinde 2. Kesit’te yaşam hacmine büyük bir giriş olduğu görülmüştür. 3. ve 4. Kesitler’de ise küçük bir giriş görülmüştür. Kesitlerin numaralandırılması 6. Bölüm Şekil 6.1’de gösterilecektir. Bu analiz başarısızlıkla sonuçlanmıştır ancak araç toplam kütlesinde sadece 36 kilogramlık bir artışla analiz sonuçlarında ciddi bir iyileşme olduğu görülmektedir.



Şekil 5.20 : 6. Model 140. ms.

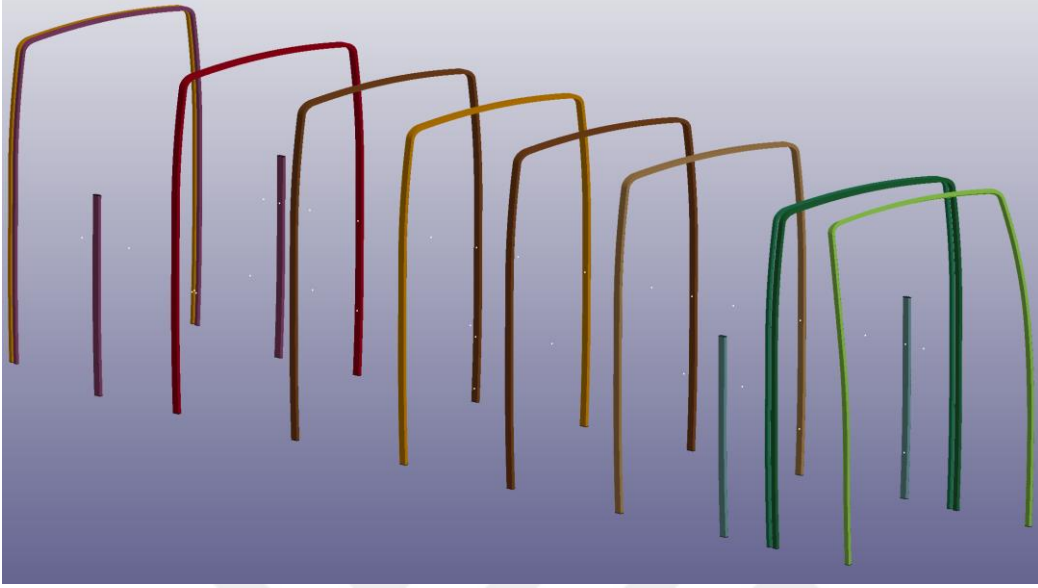
5.7 7. Model

7. Model genel görünümü Şekil 5.21’de verilmiştir. Model kütlesi 15740 kilogramdır.



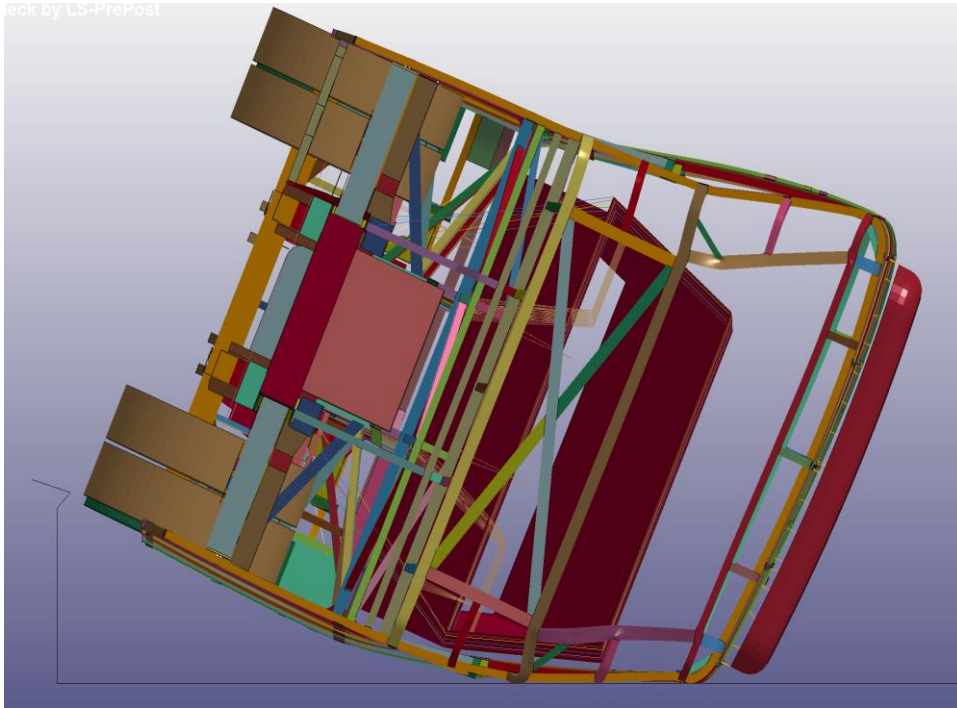
Şekil 5.21 : 7. Model genel görünüm.

Oluşturulan yeni modelde U şeklindeki profillerin et kalınlığı 5 mm yapılmıştır. Değişiklikler yapılan U profiller Şekil 5.22’de görülmektedir.



Şekil 5.22 : Değiştirilen profiller.

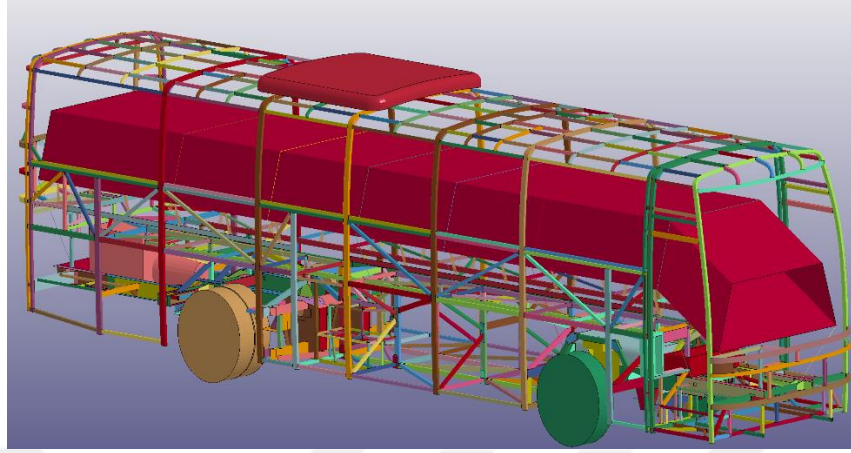
Bu modelin analizinin 140. milisaniyesindeki durumu Şekil 5.23’te gösterilmiştir. 140. ms itibariyle model ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun görünmektedir. Bu model ile ilgili daha ayrıntılı sonuçlar 6. Bölüm’de anlatılacaktır.



Şekil 5.23 : 7. Model 140. ms.

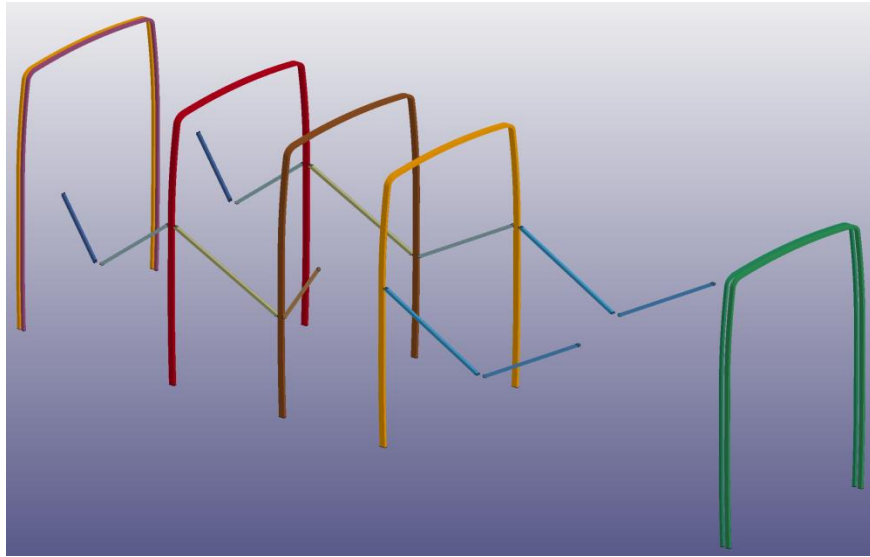
5.8 8. Model

8. Model genel görünümü Şekil 5.24'te verilmiştir. Model kütlesi 15656 kilogramdır.



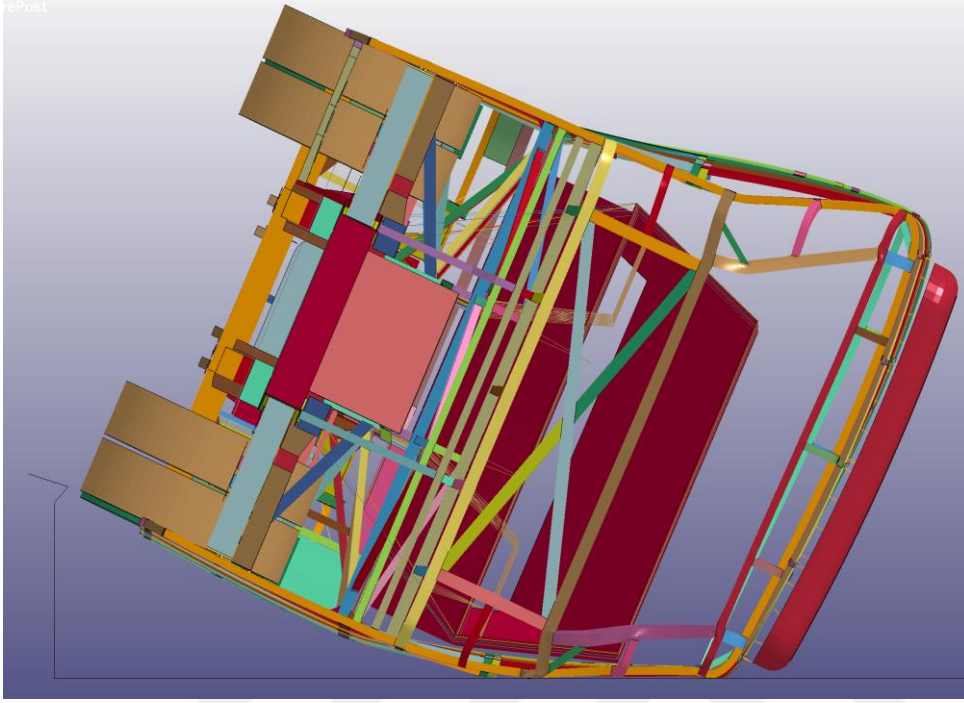
Şekil 5.24 : 8. Model genel görünüm.

Yan duvarlarda cam altındaki çapraz profillerin kalınlığı 3 mm den 2 mm ye düşürülmüştür. 7. Modelde 5 mm olarak tasarlanmış olan U yapıları en arkadaki U yapıları 3 mm, aradaki U yapıları 4 mm ve ön kapı yanındaki U yapıları 6 mm kalınlığa sahip olacak şekilde güncellenmiştir. Bu tasarım yapılırken ECE-R 66.02 yönetmeliğini sağlayan yapılabilecek en hafif gövde yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda gövde iskeletinde 7. Model'e göre 84 kilogramlık bir hafifleme sağlanmıştır. Değişiklik yapılan profiller Şekil 5.25'te görülmektedir.



Şekil 5.25 : Et kalınlığı değiştirilen profiller.

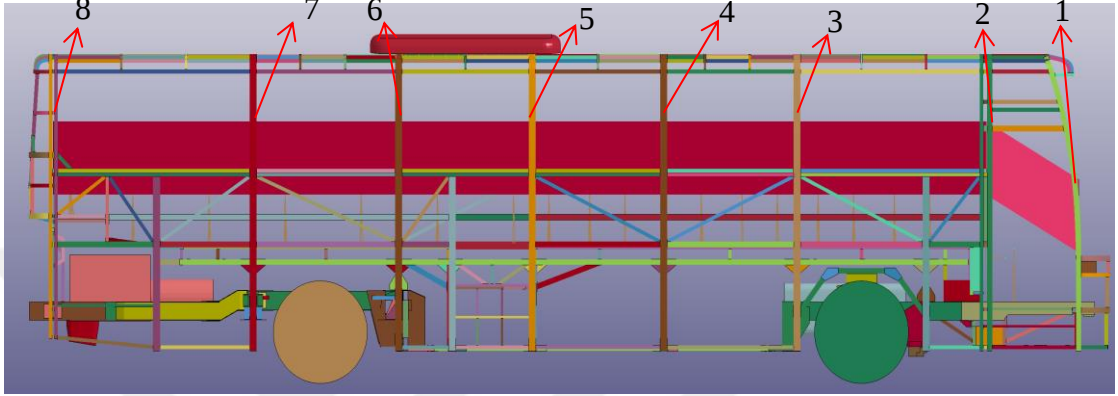
Bu modelin analizinin 140. milisaniyesindeki durumu Şekil 5.26'da gösterilmiştir. 140. ms itibariyle model ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun görünmektedir. Bu model ile ilgili daha ayrıntılı sonuçlar 6. Bölüm'de anlatılacaktır.



Şekil 5.26 : 8. Model 140. ms.

6. ANALİZ SONUÇLARI

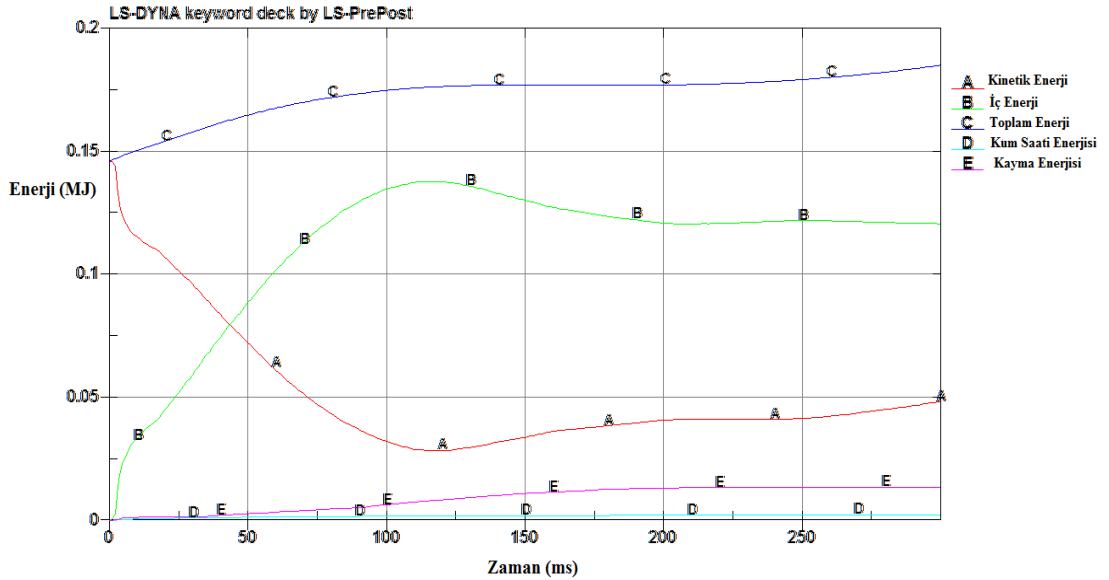
Araç üzerindeki kesitlerin konum ve numaraları Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Kesitlerin araç üzerinde gösterimi.

6.1 7. Model Analiz Sonuçları

7. Model enerji değişim grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.



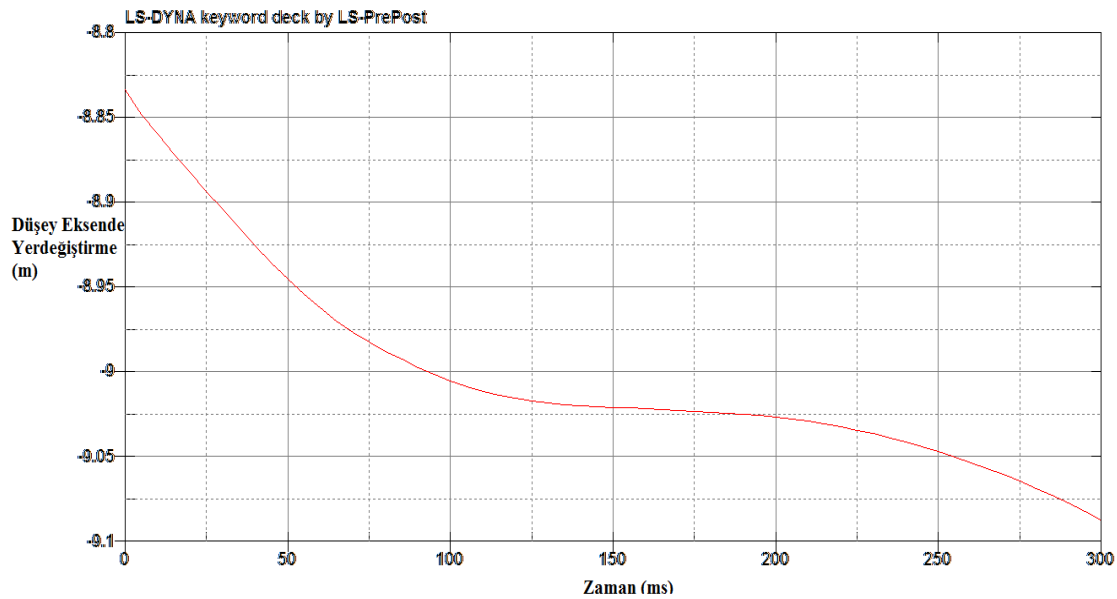
Şekil 6.2 : 7. Model enerji grafiği.

Enerji grafiği incelendiğinde kinetik enerjinin azaldığı, iç enerjinin, toplam enerjinin ve kayma enerjisinin arttığı görülmüştür. Kayma enerjisinin artarak devam etmesi ve toplam enerjinin yükselmesi devrilme sonrası kayma sürecinin devam ettiği

göstermektedir. Ağırlık merkezinin yerçekimi etkisiyle aşağı yönde hareket etmesiyle 120. milisaniyeden sonra kinetik enerjide artış görülmüştür. Kum saati enerjisi yönetmelikte belirtilen % 5 sınırının altındadır [1]. Oluşturulmuş olan sonlu elemanlar modelinin güvenli olduğu söylenebilir.

Diğer modellerde de bu enerji grafiğine benzer grafikler elde edilmiştir ancak modellerin grafikleri arasındaki temel fark kinetik enerjiyi sönümleme hızıdır. Örnek olarak 7. Model’de kinetik enerji ve iç enerjinin kesişim noktası 45. milisaniye civarındayken, başlangıç modellerinde bu kesişim noktası 85. milisaniye civarlarındadır. Modellerin enerji grafiklerinin devrilme dayanımı hakkında fikir verebileceği söylenebilir.

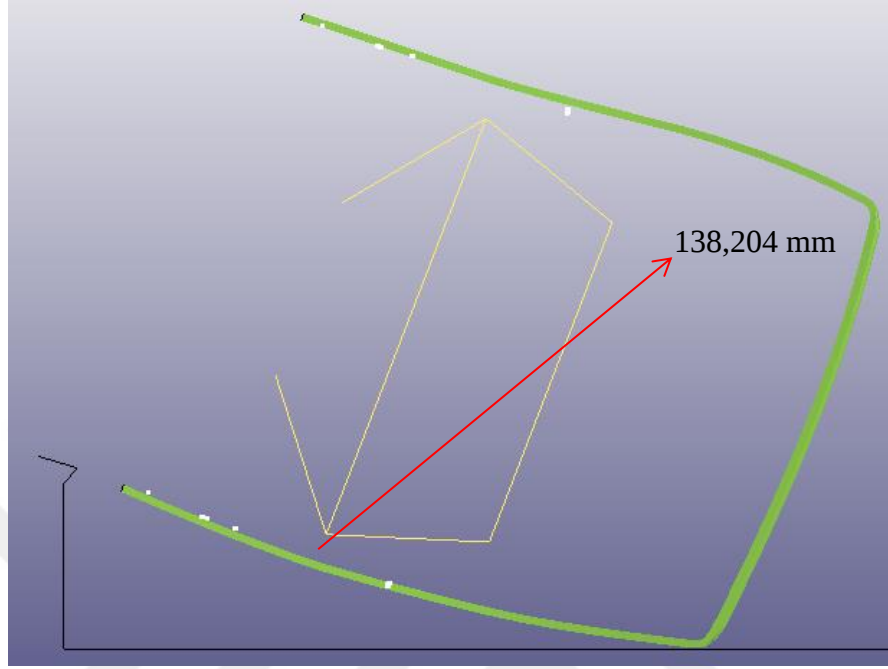
Araç gövdesinin düşey eksendeki ağırlık merkezi değişimi Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Bu değişim incelendiğinde 300. milisaniye dahil ağırlık merkezinin aşağı yönlü hareketinin devam ettiği görülmektedir.



Şekil 6.3 : 7. Model düşey eksende ağırlık merkezi değişimi.

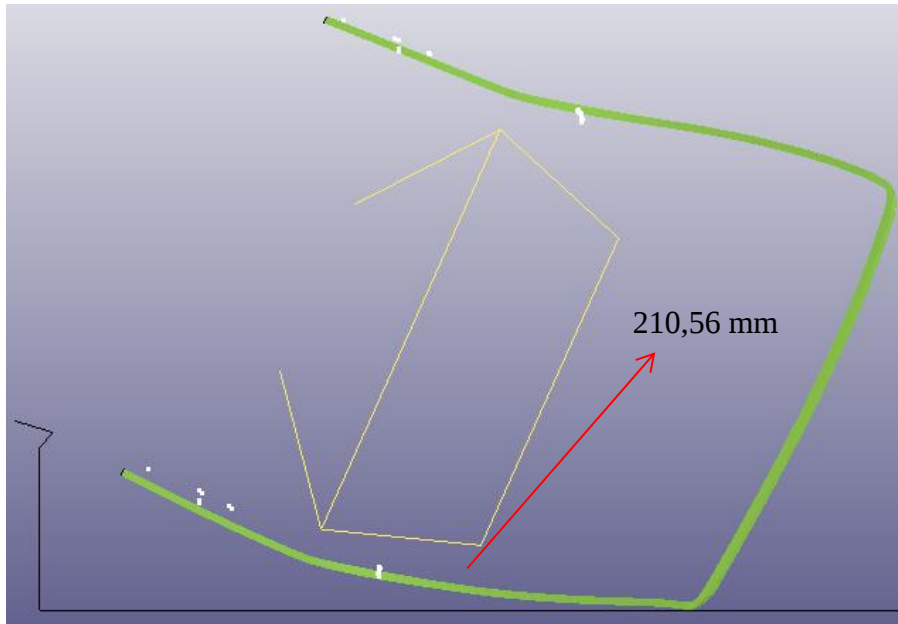
Kesitlere göre sonuçlar Şekil 6.3’ten 6.15’e kadar verilmiştir. 1. Kesit’ten 8. Kesit’e kadar yaşam hacminin alt ve üst noktalarına yan duvarların en yakın olduğu zaman milisaniye cinsinden ve en yakın olduğu uzaklıklar milimetre cinsinden verilmiştir. Yaşam hacmine herhangi bir girişim gözlenmemiştir.

Şekil 6.4'te 7. Model 1. Kesit alt noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 35. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 1. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 138,204 milimetredir.



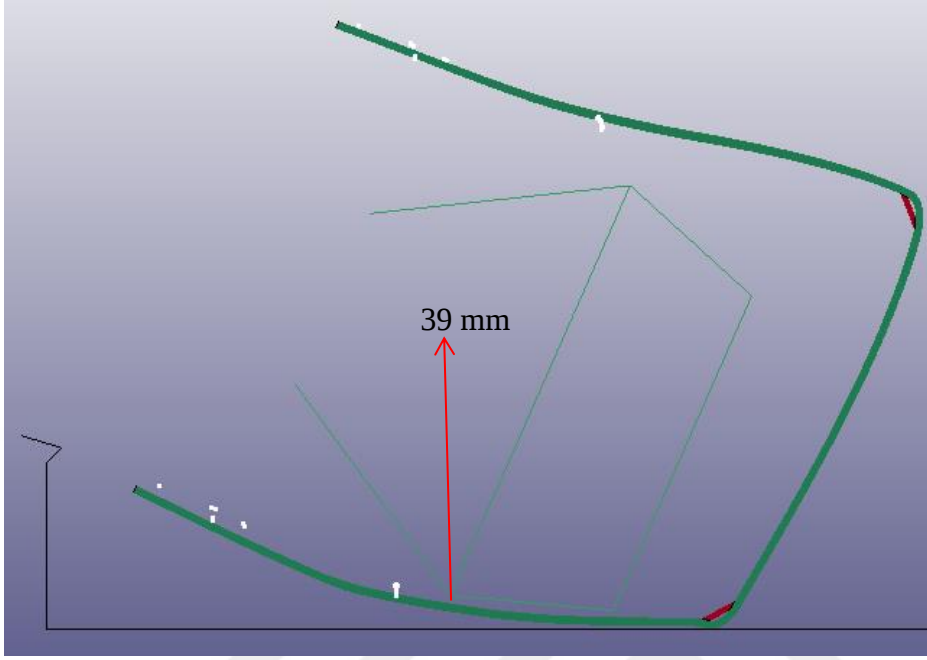
Şekil 6.4 : 7. Model 1. Kesit 35. ms.

Şekil 6.5'te 7. Model 1. Kesit üst noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 130. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 1. Kesit üst noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 210,56 milimetredir.



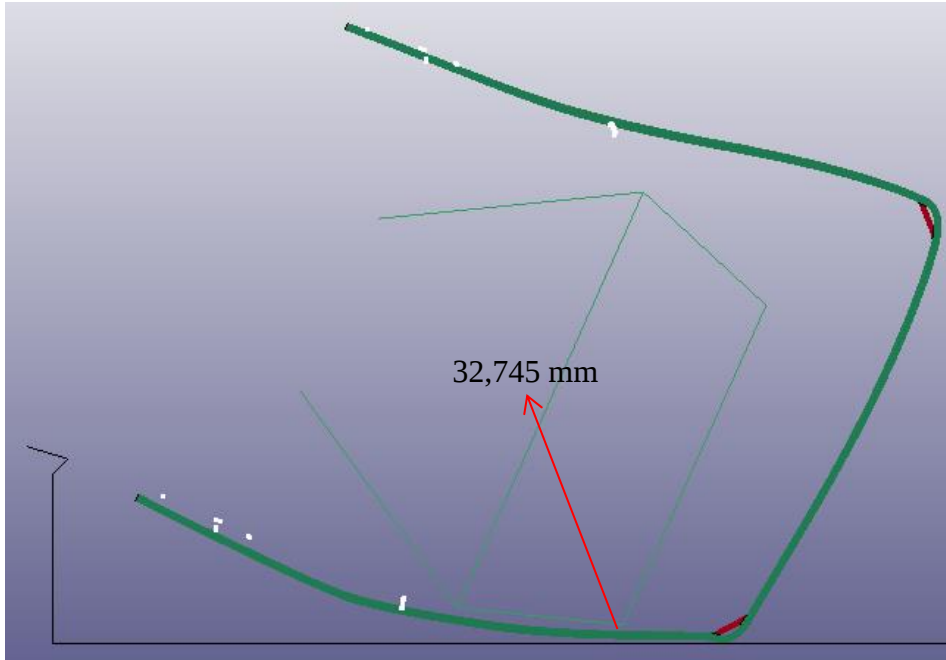
Şekil 6.5 : 7. Model 1. Kesit 130. ms.

Şekil 6.6’da 7. Model 2. Kesit alt noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 135. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 2. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 39 milimetredir.



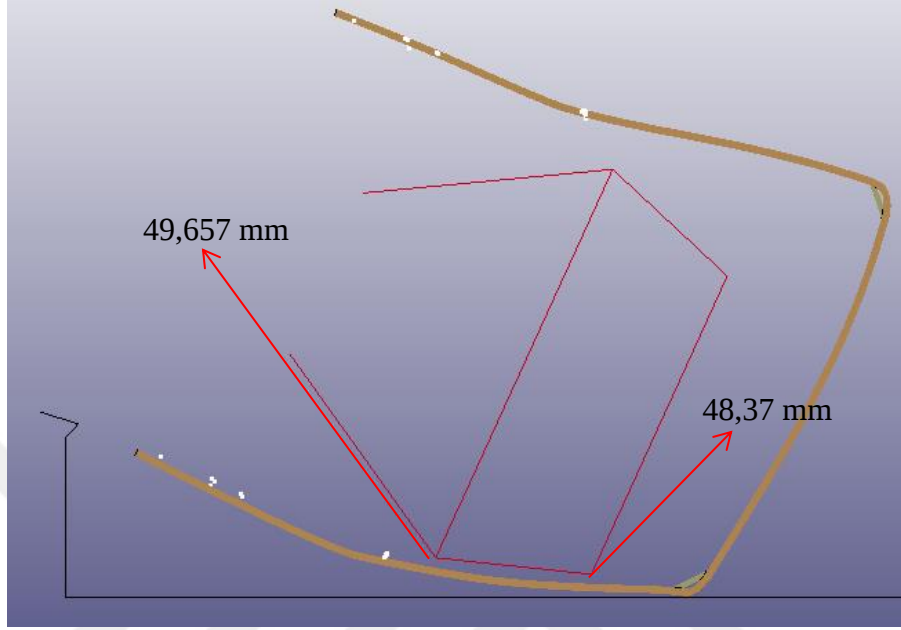
Şekil 6.6 : 7. Model 2. Kesit 135. ms.

Şekil 6.7’de 7. Model 2. Kesit üst noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 125. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 2. Kesit üst noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 32,745 milimetredir.



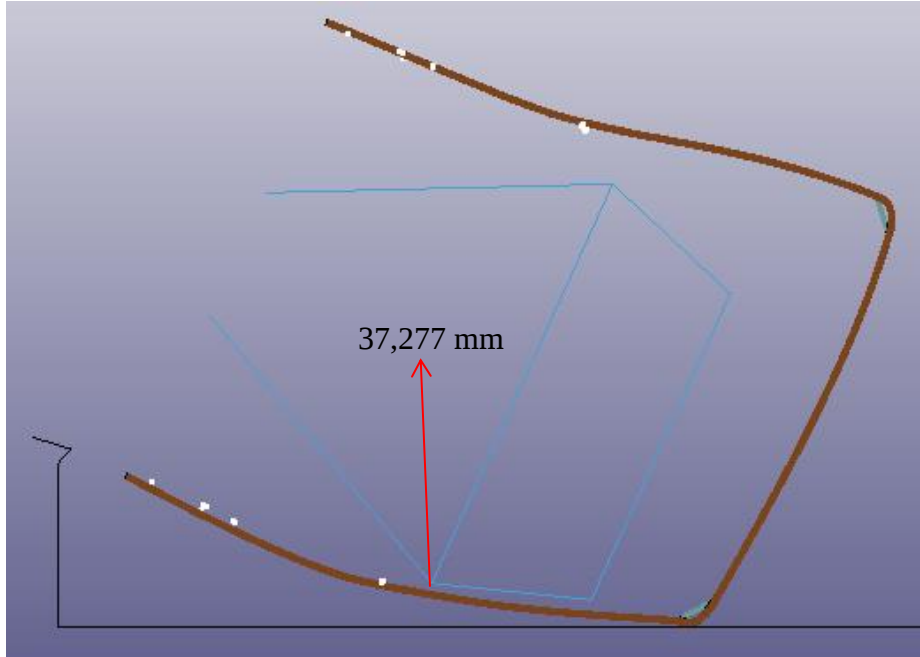
Şekil 6.7 : 7. Model 2. Kesit 125. ms.

Şekil 6.8’de 7. Model 3. Kesit alt ve üst noktalarının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 105. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 3. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 49,657 milimetre, 3. Kesit üst noktasıyla ise 48,37 milimetredir.



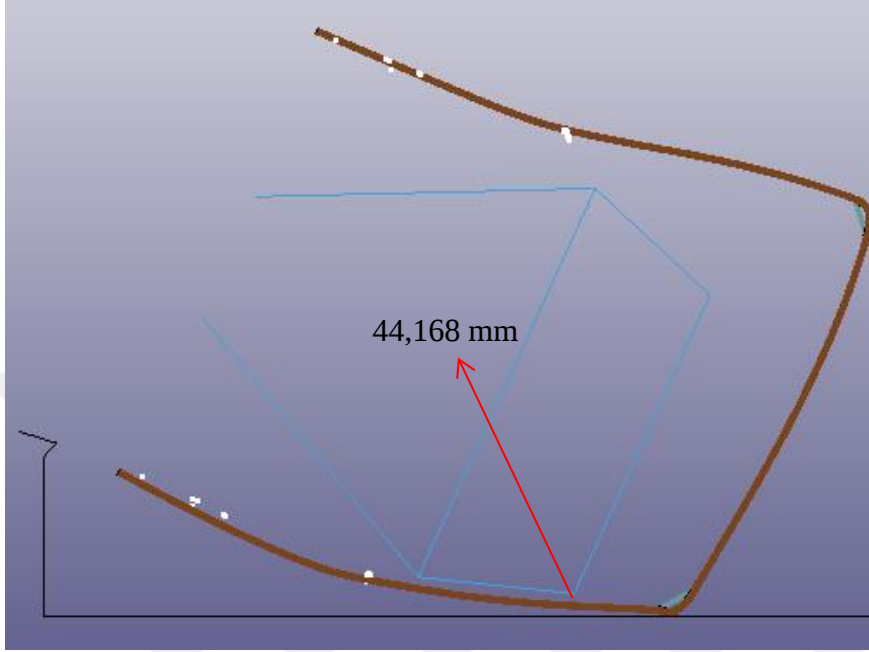
Şekil 6.8 : 7. Model 3. Kesit 105. ms

Şekil 6.9’da 7. Model 4. Kesit alt noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 90. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 4. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 37,277 milimetredir.



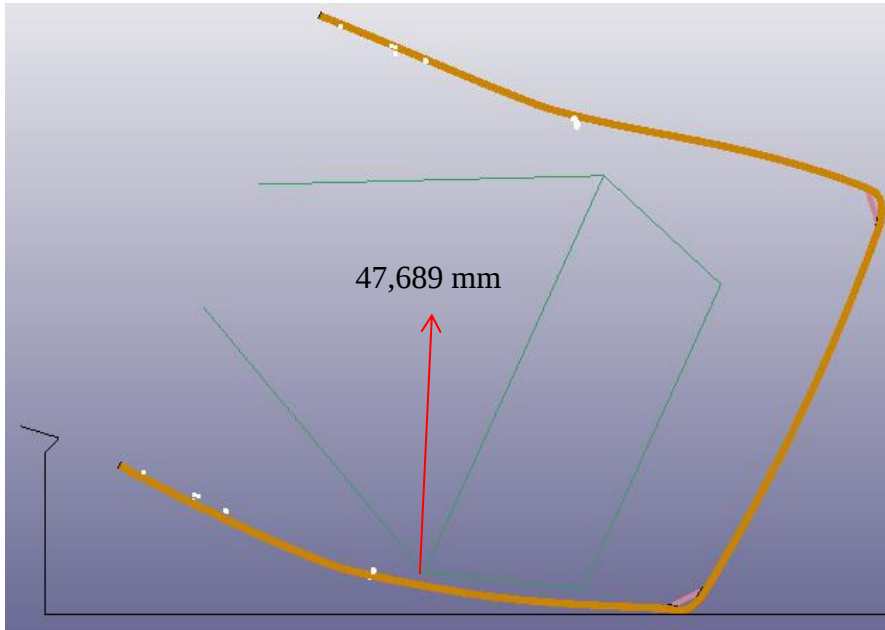
Şekil 6.9 : 7. Model 4. Kesit 90. ms.

Şekil 6.10’da 7. Model 4. Kesit üst noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 115. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 4. Kesit üst noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 44,168 milimetredir.



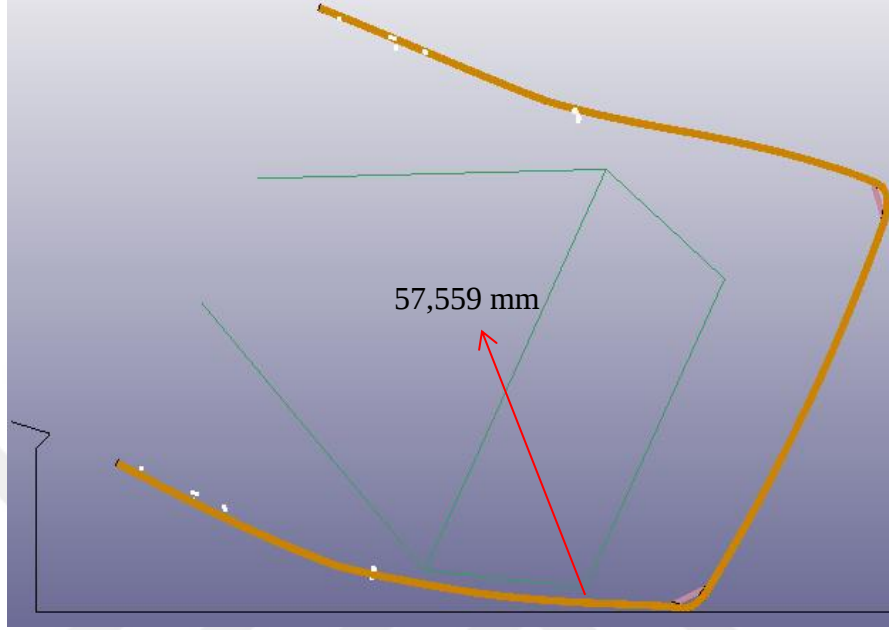
Şekil 6.10 : 7. Model 4. Kesit 115. ms.

Şekil 6.11’de 7. Model 5. Kesit alt noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 105. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 5. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 47,689 milimetredir.



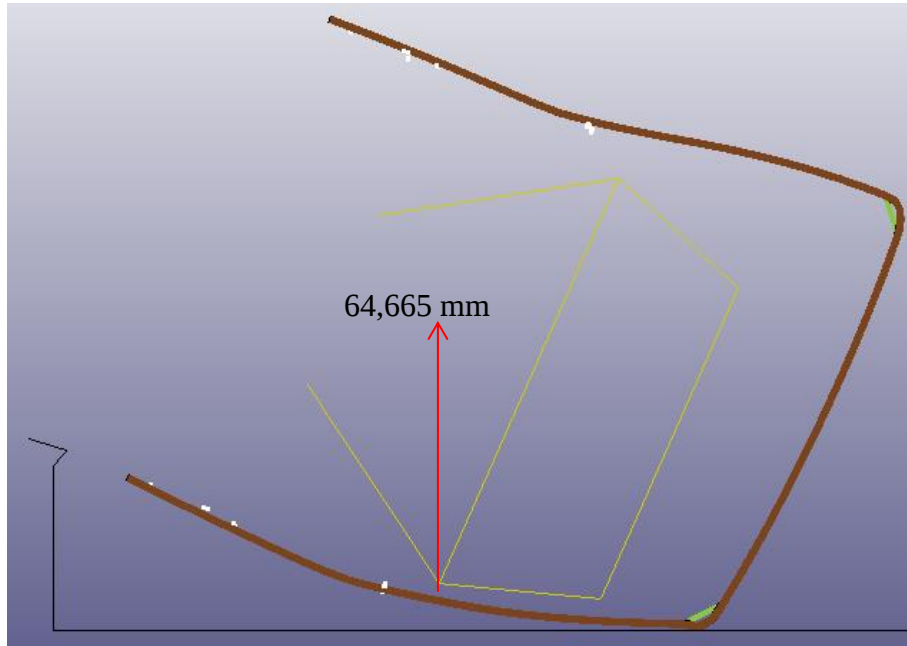
Şekil 6.11 : 7. Model 5. Kesit 105. ms.

Şekil 6.12’de 7. Model 5. Kesit üst noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 120. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 5. Kesit üst noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 57,559 milimetredir.



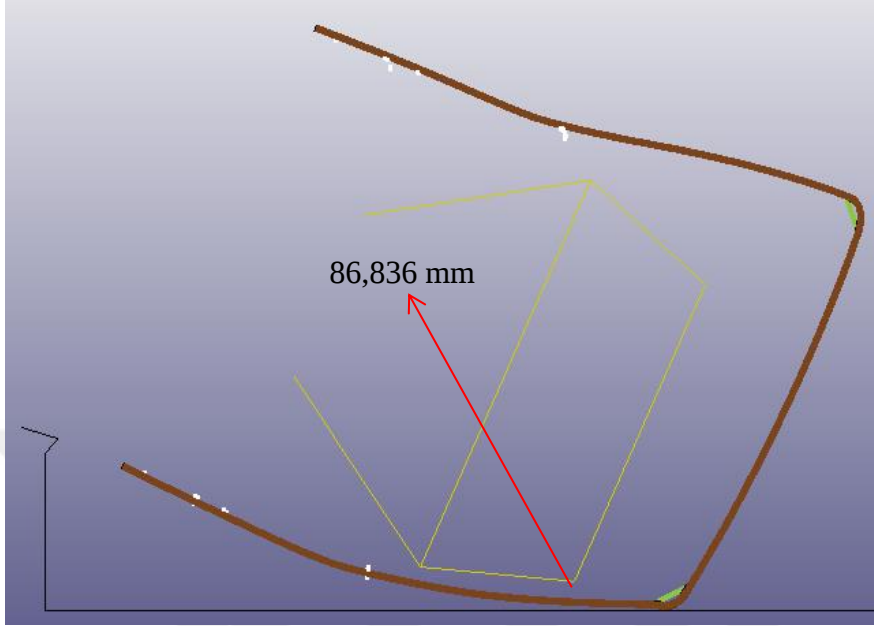
Şekil 6.12 : 7. Model 5. Kesit 120. ms.

Şekil 6.13’te 7. Model 6. Kesit alt noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 100. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 6. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 64,665 milimetredir.



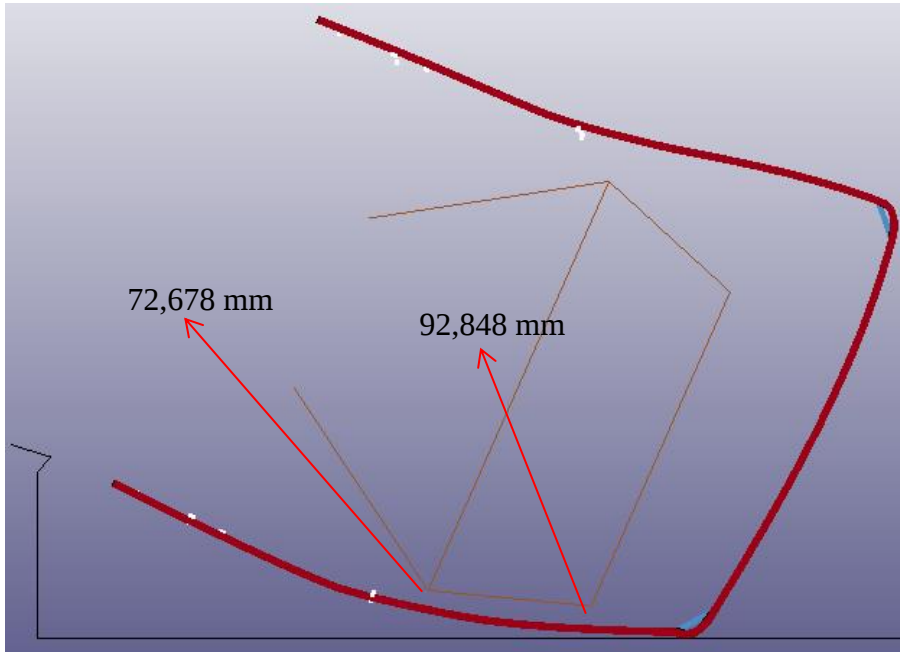
Şekil 6.13 : 7. Model 6. Kesit 100. ms.

Şekil 6.14'te 7. Model 6. Kesit üst noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 120. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 6. Kesit üst noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 86,836 milimetredir.



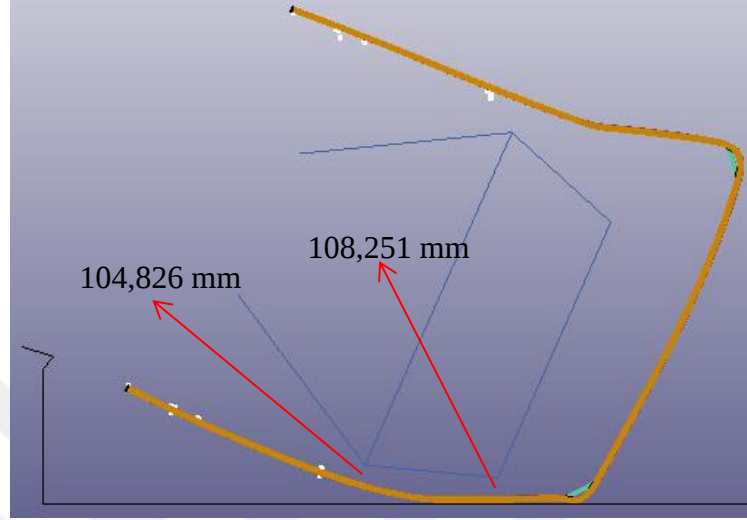
Şekil 6.14 : 7. Model 6. Kesit 120. ms.

Şekil 6.15'te 7. Model 7. Kesit alt ve üst noktalarının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 105. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 8. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 72,678 milimetre, 3. Kesit üst noktasıyla ise 92,848 milimetredir.



Şekil 6.15 : 7. Model 7. Kesit 105. ms.

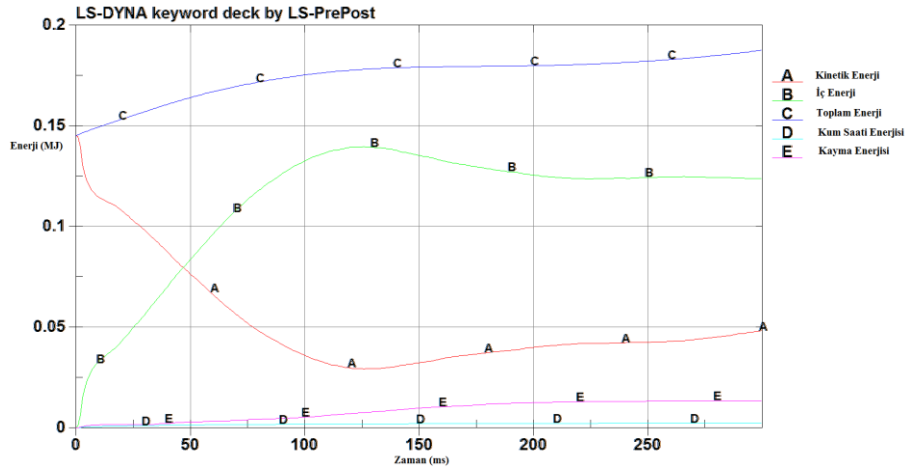
Şekil 6.16'da 7. Model 8. Kesit alt ve üst noktalarının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 120. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 8. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 104,826 milimetre, 8. Kesit üst noktasıyla ise 108,251 milimetredir.



Şekil 6.16 : 7. Model 8. Kesit 120. ms.

6.2 8. Model Analiz Sonuçları

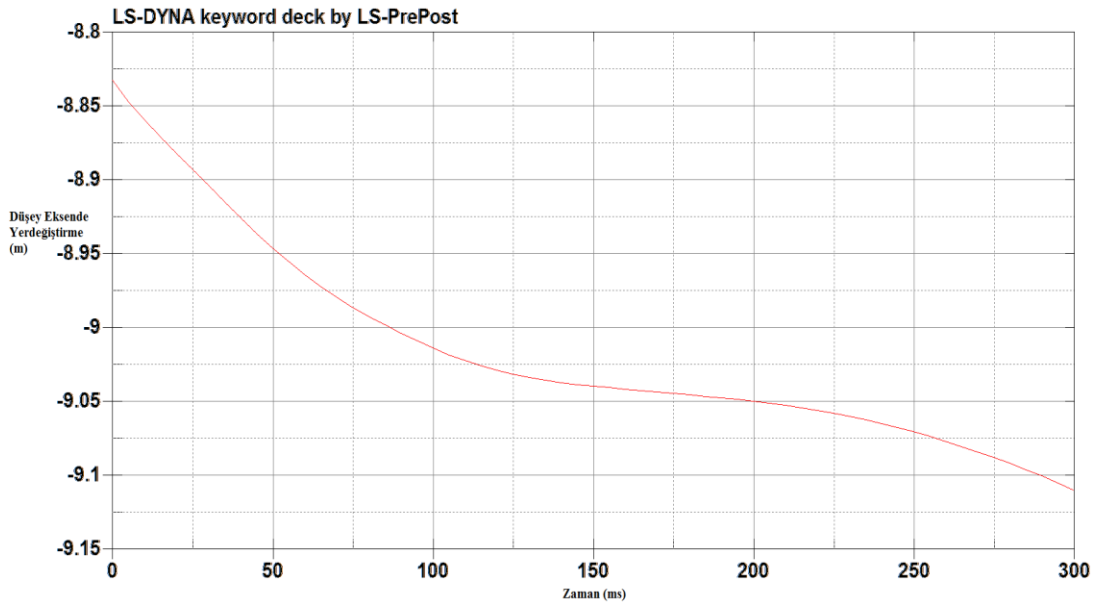
7. Modeldeki gövde iskeletinin ECE-R 66.02 regülasyonuna uygun olduğu görülmüştü ancak kütle açısından bakıldığında başlangıç modeline göre 240 kilogramlık bir artış olmuştur. 8. Modelde ise 6. ve 7. Modellerin analiz sonuçları dikkate alınarak ECE-R 66.02 regülasyonuna uygun daha hafif bir otobüs gövdesi elde edilmesi hedeflenmiştir. Yapılan değişikliklerle araç gövdesi 84 kg hafifletilmiştir. 8. Model enerji değişim grafiği Şekil 6.17'de verilmiştir.



Şekil 6.17 : 8. Model enerji grafiği.

8. Model enerji değişim grafiği incelendiğinde 7. Model enerji grafiğine oldukça benzer olduğu görülmektedir. Azalan eğilimdeki kinetik enerjiyle artan eğilimdeki iç enerjinin kesiştiği ilk nokta 7. Model enerji değişim grafiğine göre bir kaç milisaniye daha sonradır. Bu fark temel olarak 7. Model'in devrilme durumunda kinetik enerjiyi absorbe etme kapasitesinin 8. Model'in absorbe etme kapasitesinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak 7. Model enerjiyi daha iyi absorbe edebilmesinin yanı sıra 84 kilogram daha ağırdır. 8. Model oluşturulurken 6. ve 7. Modellerin analiz sonuçları dikkate alınmıştır. 6. ve 7. Modellerde analiz sonuçlarında yönetmelik şartlarının rahat bir biçimde sağlandığı kesitlerde et kalınlığı azaltılarak hafifletme sağlanmıştır. 8. Modeldeki tüm kesitlerin yan duvarlara en yakın olduğu kritik mesafeler 7. Model yan duvar – kesit kritik mesafelerinden daha yakındır ancak yönetmelik gereksinimlerini sağlamak için yeterlidir.

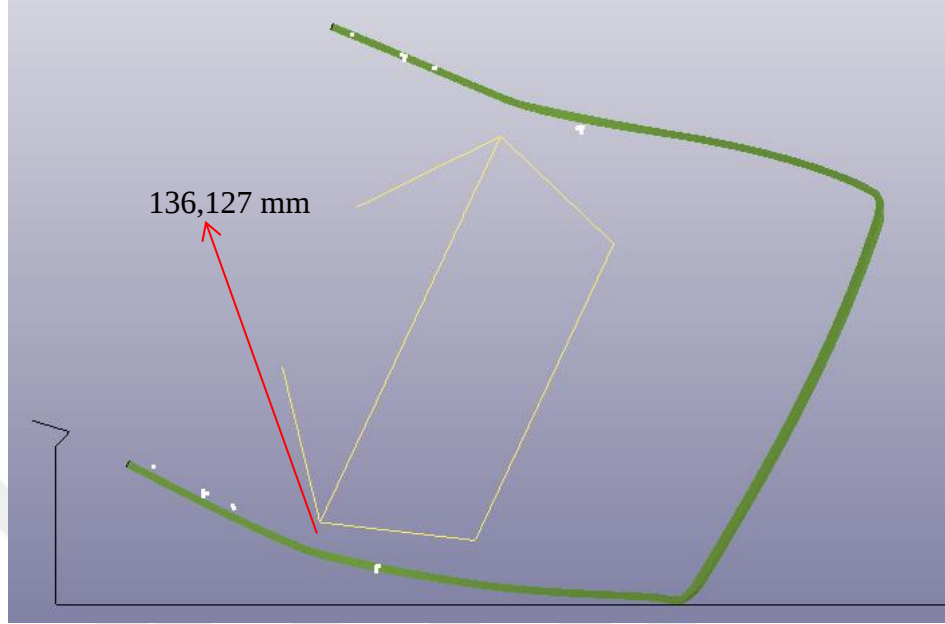
Araç gövdesinin düşey eksenindeki ağırlık merkezi değişimi şekil 6.18'de gösterilmiştir. Bu değişim incelendiğinde 300. ms dahil ağırlık merkezinin aşağı yönlü hareketinin devam ettiği görülmektedir.



şekil 6.18 : 8. Model düşey ekseninde ağırlık merkezi değişimi.

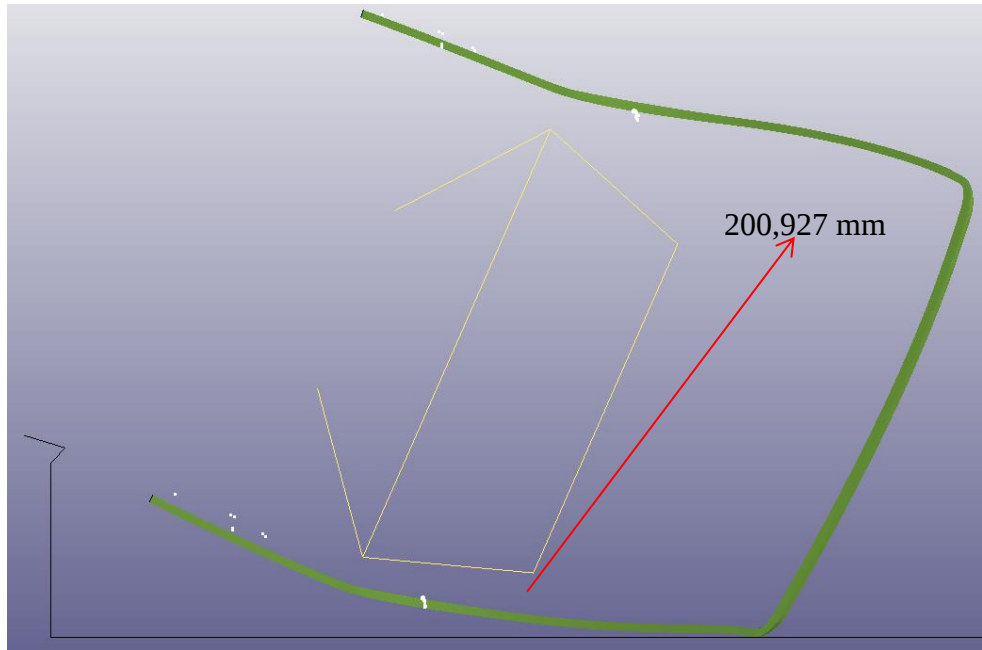
Kesitlere göre sonuçlar şekil 6.19'dan 6.29'a kadar verilmiştir. 1. Kesitten 8. Kesite kadar yaşam hacminin alt ve st noktalarına yan duvarların en yakın olduğu zaman milisaniye cinsinden ve en yakın olduğu uzaklık mm cinsinden verilmiştir. Yaşam hacmine herhangi bir girişim gözlenmemiştir.

Şekil 6.19’da 8. Model 1. Kesit alt noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 115. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 1. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 136,127 milimetredir.



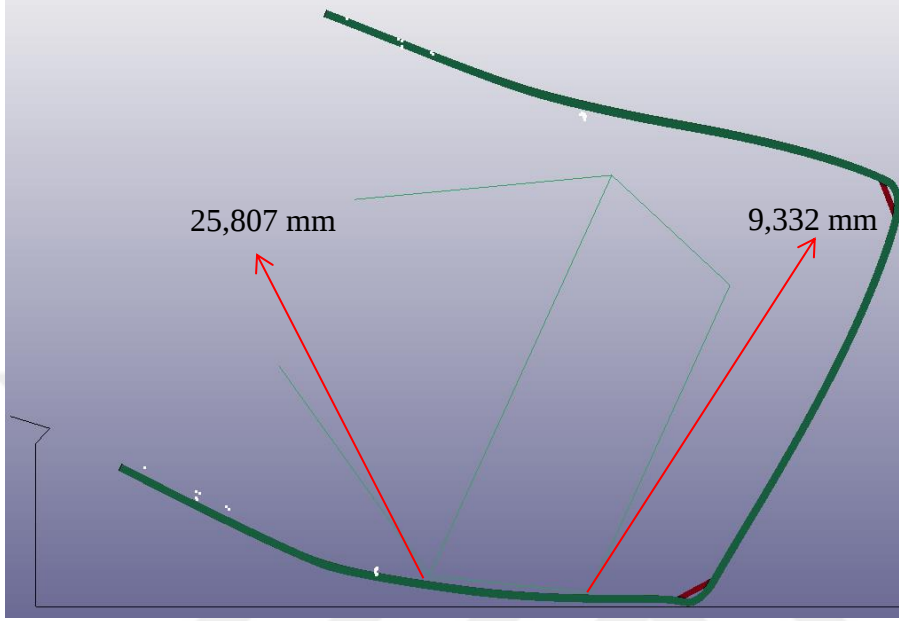
Şekil 6.19 : 8. Model 1. Kesit 115. ms.

Şekil 6.20’de 8. Model 1. Kesit üst noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 155. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 1. Kesit üst noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 200,927 milimetredir.



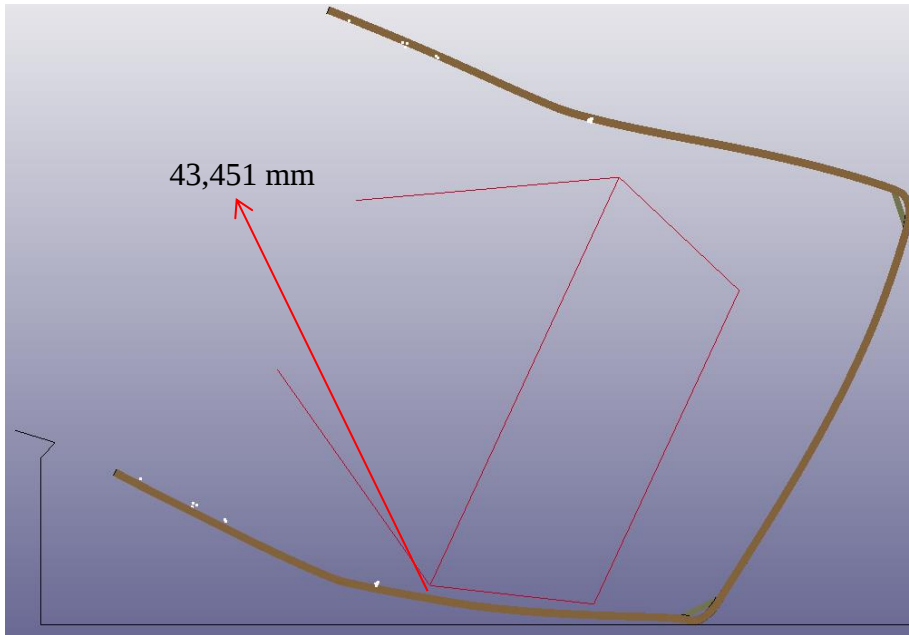
Şekil 6.20 : 8. Model 1. Kesit 155. ms.

Şekil 6.21’de 8. Model 2. Kesit alt ve üst noktalarının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 135. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 2. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 25,807 milimetre, 2. Kesit üst noktasıyla ise 48,37 milimetredir.



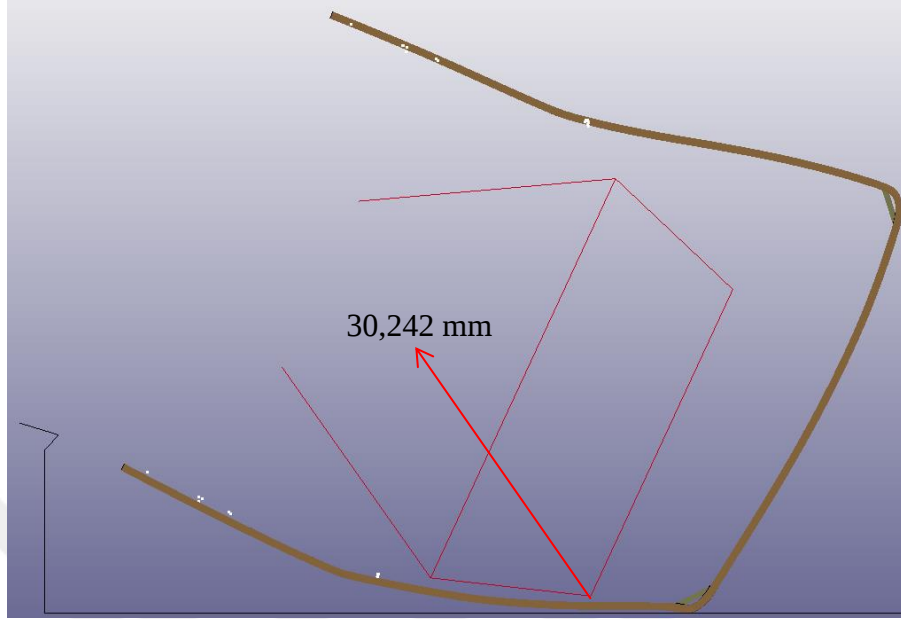
Şekil 6.21 : 8. Model 2. Kesit 135. ms.

Şekil 6.22’de 8. Model 3. Kesit alt noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 105. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 3. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 43,451 milimetredir.



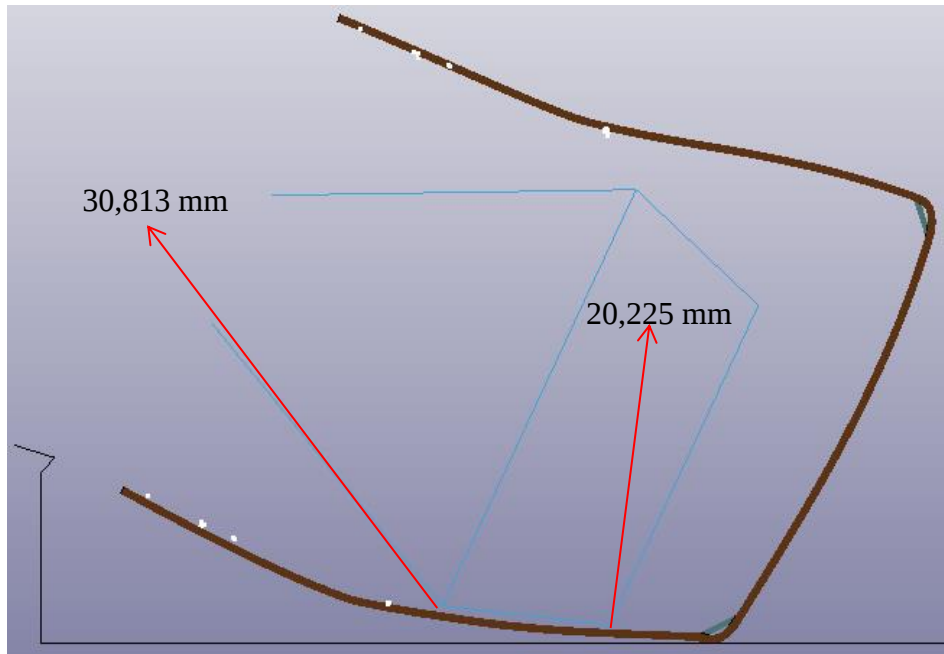
Şekil 6.22 : 8. Model 3. Kesit 105. ms.

Şekil 6.23'te 8. Model 3. Kesit üst noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 120. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 3. Kesit üst noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 30,242 milimetredir.



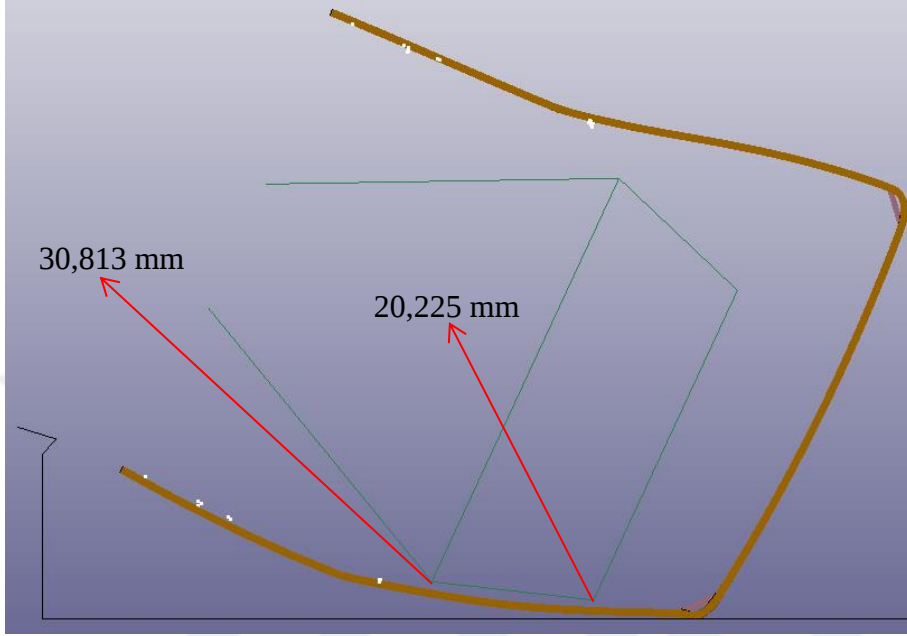
Şekil 6.23 : 8. Model 3. Kesit 120. ms

Şekil 6.24'te 8. Model 4. Kesit alt ve üst noktalarının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 120. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 4. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 30,813 milimetre, 4. Kesit üst noktasıyla ise 20,225 milimetredir.



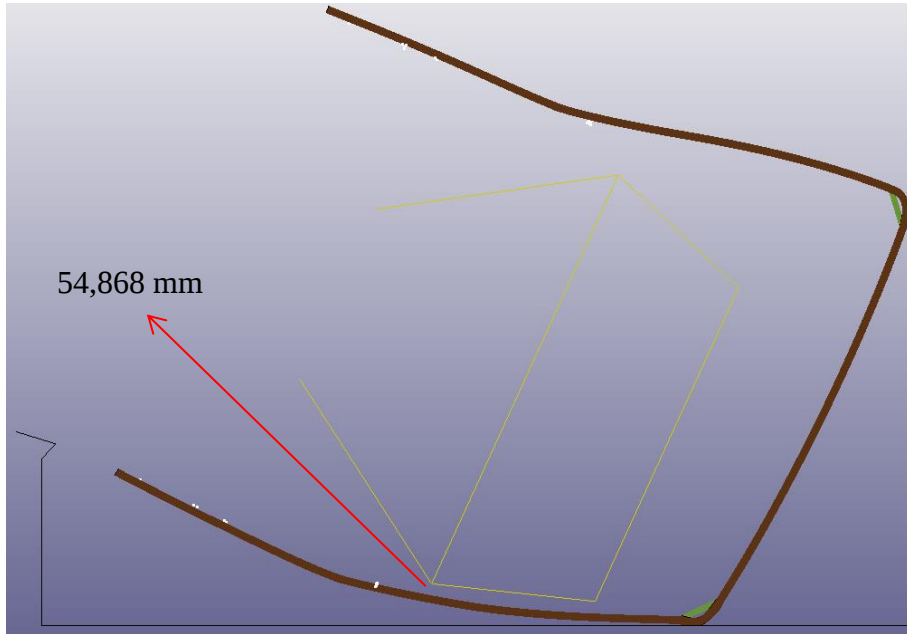
Şekil 6.24 : 8. Model 4. Kesit 120. ms.

Şekil 6.25'te 8. Model 5. Kesit alt ve üst noktalarının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 120. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 5. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 30,813 milimetre, 5. Kesit üst noktasıyla ise 20,225 milimetredir.



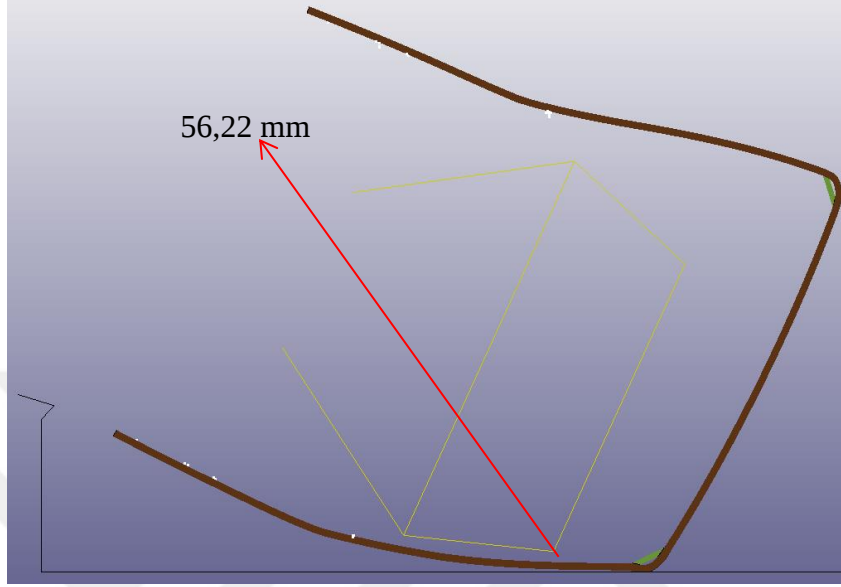
Şekil 6.25 : 8. Model 5. Kesit 120. ms.

Şekil 6.26'da 8. Model 6. Kesit alt noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 105. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 6. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 54,868 milimetredir.



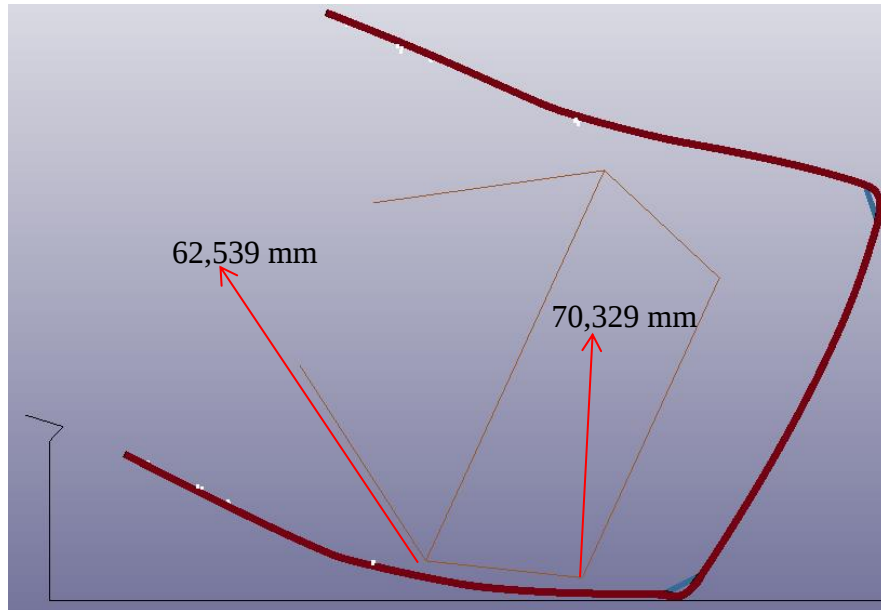
Şekil 6.26 : 8. Model 6. Kesit 105. ms.

Şekil 6.27’de 8. Model 6. Kesit üst noktasının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 120. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 6. Kesit üst noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 56,22 milimetredir.



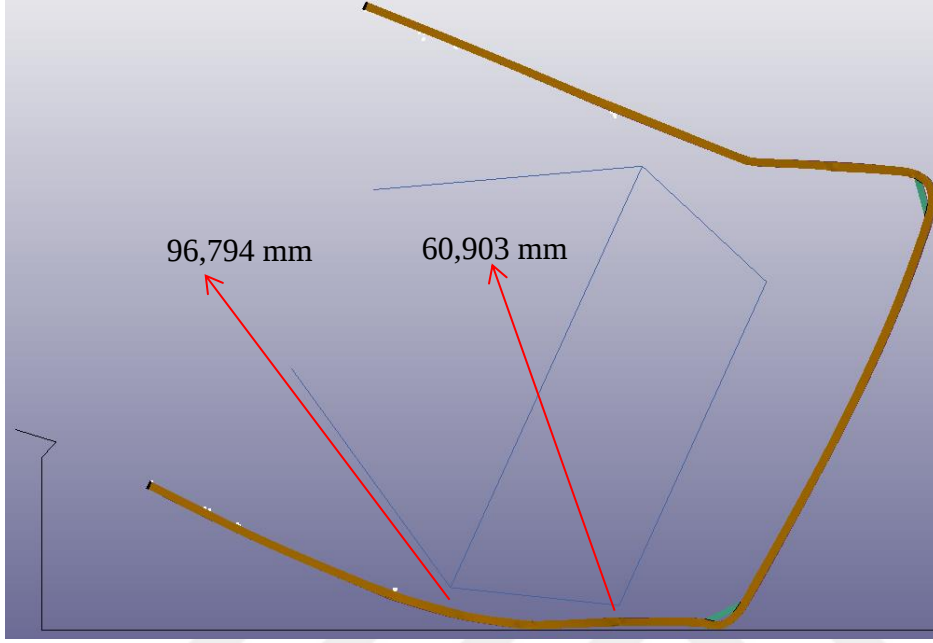
Şekil 6.27 : 8. Model 6. Kesit 120. ms.

Şekil 6.28’de 8. Model 7. Kesit alt ve üst noktalarının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 115. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 7. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 62,539 milimetre, 7. Kesit üst noktasıyla ise 70,329 milimetredir.



Şekil 6.28 : 8. Model 7. Kesit 115. ms.

Şekil 6.29’de 8. Model 8. Kesit alt ve üst noktalarının yan duvar profilleriyle en yakın olduğu durum gösterilmiştir. Bu durum 125. milisaniyede gerçekleşmektedir ve 8. Kesit alt noktasıyla bu kesite ait yan duvar profili arasındaki mesafe 96,794 milimetre, 8. Kesit üst noktasıyla ise 60,903 milimetredir.



Şekil 6.29 : 8. Model 8. Kesit 125. ms.

7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada eski tip denilebilecek şekilde tasarlanmış bir prototip otobüs modeli üzerinde değişiklikler yapılarak ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun bir otobüs modeli elde edilmesi hedeflenmiştir. Yapılan tüm analiz çalışmalarında doğrusal olamayan problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan bilgisayar destekli analiz programı LS-DYNA çözücüsü kullanılmıştır.

Başlangıçtaki otobüs modeli analize tabi tutulduktan sonra ECE-R 66.02 yönetmeliğinin gerekliliklerini sağlamadığı görülmüş ve güçlendirmeler yapılmıştır. İlk modelden sonraki dört model bir önceki model üzerinde bölgesel değişiklikler, güçlendirmeler yapılarak elde edilmiştir. Ancak analiz sonuçları incelendiğinde bu bölgesel güçlendirme çözümleriyle otobüs modelinin ECE-R 66.02 yönetmeliği gerekliliklerini sağlamaktan uzak olduğu görülmüştür.

Bir sonraki modelde daha köklü bir değişikliğe gidilmiştir. Yan duvar direkleri ve tavan profilleri Şekil 5.16'da gösterilmiş olan büyük otobüs üreticilerinin de tercih ettiği şekilde değiştirilip yeniden tasarlanmıştır. Yeni oluşturulan modelde U şeklindeki yapıların et kalınlığı 4 mm ye çıkarılmış ve yan duvarlardaki çapraz profil sayısı azaltılmıştır. Otobüs yan profillerinin bir kısmının yaşam hacmine temas ettiği, diğer bir kısmının temas etmediği görülmüştür. Bir önceki otobüs modeliyle kütle açısından sadece 40 kilogramlık bir fark olmasına rağmen sonuçlarda gözle görülür bir iyileşme olmuştur.

Bir sonraki modelde ise U yapılarının et kalınlığı 5 mm ye çıkarılmıştır. Oluşturulan yeni otobüs modelinin ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun olduğu görülmüştür ancak bu model başlangıç kütlelerine göre 240 kg gibi ciddi bir kütle artışını da beraberinde getirmiştir.

Son modelde ise önceki modellerin sonuçları incelenerek et kalınlıklarında değişiklikler yapılmıştır. Cam altındaki çapraz profillerin et kalınlığı azaltılmış, U yapıların et kalınlığı ise önceki modellerin analiz sonuçlarına göre yeniden belirlenmiştir. Yönetmeliğe uygun ve yapılan değişikliklerle elde edilebilecek en

hafif araç gövdesinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak bir önceki modelden 84 kg daha hafif, ECE-R 66.02 yönetmeliğine uygun bir otobüs gövde iskeleti modeli oluşturulmuştur.

Otomotiv sektöründe ciddi bir öneme sahip olan kütle değişimleri tasarlanmış olan bütün modellerde belirtilmiştir. Tasarımlar yapılırken olabildiğince hafif ve dayanıklı bir yapı elde edilmesi hedeflenir. Düşük kütle aynı mesafe için yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonunun azaltılmasını sağlar. Dayanıklılık açısından düşünüldüğünde ECE-R 66.02 gibi regülasyonlar kara yolunda yolcu taşıyan araç gövdelerinin yolcu, mürettebat ve sürücünün devrilme türü bir kaza anında hayatta kalmalarına yardımcı olacak şekilde belirli bir standartta imal edilmesini sağlar. Kütlenin bir diğer etkisi ise taşıma kapasitesiyle ilgilidir. Araçların yasal olarak sınırlandırılmış taşıma kapasiteleri vardır. Gövde dahil toplam izin verilen araç kütlesi sabit olmak üzere araç gövdesinde yapılacak bir hafifletme ile araçların yük veya yolcu taşıma kapasitelerinde artış sağlanır.

Bu çalışma otobüs gövde iskeleti tasarımında gövde bütünlüğünün önemini ortaya koymaktadır. Enine kesintisiz bir şekilde tasarlanmış yapının devrilme durumunda ortaya koyduğu iyi performans sonuçlarda mevcuttur. U şeklindeki yapılar yolcuların bulunduğu bölgeyi bir emniyet kafesi gibi sararak devrilme anında ortaya çıkan kinetik enerjiyi absorbe eder. Yolcular, mürettebat ve sürücü için güvence altına alınması gereken yaşam hacminin korunmasını sağlar.

Yan duvar tavan bağlantısında kullanılan özel profil yapısına gerek olmadığı ise elde edilen bir diğer sonuçtur. Bu yapı kaldırıldığında otobüsün devrilme dayanımında büyük bir değişiklik olmayıp araç gövdesinin 78 kg hafifletilmesi sağlanmıştır.

Dağınık ve bütünlükten uzak bir biçimde yapılmış yan duvar iskeletinin et kalınlıkları arttırılsa bile devrilme durumunda yeterli mukavemeti sağlamadığı görülmüştür. ECE-R 66.02 yönetmeliğinin gerekliliklerini yerine getirebilecek araç tasarımı konusunda ipuçları verilmiştir. Bütün modellerde aynı malzemenin tercih edilmesi sayesinde araç gövde yapılarının devrilme durumundaki davranışlarının net bir şekilde kıyaslanabilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada yapılmış analizlerde yolcular noktasal kütle olarak gövdeye bağlı bir biçimde tanımlanmıştır. Bunun gerçek bir otobüs kazasındaki karşılığının yolcu emniyet kemeri kullanımı olduğu söylenebilir. Yapılan analiz çalışmalarının gerçek

devrilme durumlarına referans oluşturabilmesi için yolcuların emniyet kemerlerinin bağlı olması şarttır. Eğer emniyet kemeri kullanılmıyorsa, otobüsün gövde mukavemetinin devrilme durumuna karşı yeterli dayanıma sahip olması emniyet kemerini kullanmayan yolcu açısından büyük bir anlam ifade etmemektedir.

Bu çalışmada sadece araç iskeleti gövde yapısı esas alınarak bir inceleme yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda yolcu kütleleri yerine manken modelleri yerleştirilerek devrilme durumunda araç gövde iskeletinin yanında yolcu, mürettebat ve şoför üzerindeki etkiler daha detaylı bir şekilde incelenebilir. Gerekli görülmesi durumunda yeni pasif güvenlik önlemlerinin alınmasına referans oluşturulabilir.





KAYNAKLAR

- [1] UNECE, **Regulation No.66**, (2010), Erişim: 02 Mayıs 2019.
www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs61-80.html.
- [2] **Motorlu Araçlar ve Römorkları Tip Onayı Yönetmeliği (2009)**, T.C. Resmi Gazete, 27272, 28 Haziran 2009.015).
- [3] **Rasenack W., Appel H., Rau H. and Rietz C.**, (1996), Belt systems in passenger coaches, 15th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Melbourne, Australia.
- [4] **Martínez L., Aparicio F., García A., Páez J. and Ferichola G.**, (2003), Improving occupant safety in coach rollover, Int. J. Crashworthiness, 8, 2003 (2), (s.121–132).
- [5] **M. S. Ramaiah School of Advanced Studies, Bengaluru, Suman, M. L. J.** (t.y.). *Contacts in LS-Dyna*. Retrived from http://164.100.133.129:81/eCONTENT/Uploads/10_Session19and20_LS-DYNA3.pdf
- [6] **Tar, C.S.** (2009). M2 sınıfı ticari bir aracın ECE-R66 Standardına uygun bilgisayar ortamında tavan ezilme analizi. (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Cerit, Muhammed E., Guler Mehmet A., Bayram Bertan, Yolum Uğur** Improvement of the Energy Absorption Capacity of an Intercity Coach for Frontal Crash Accidents Department of Mechanical Engineering, TOBB University of Economics and Technology, Ankara 06560, Turkey/ TEMSA AR-GE VE TEKNOLOJİ A.Ş., Tübitak MAM Teknoloji Serbest Bölgesi içi, Gebze, Kocaeli 41470, Turkey.
- [8] **Hallquist, J. O.** (2006). LS-DYNA Theory Manual. Retrived from <http://www.lstc.com/>
- [9] **Berg A., Rücker P., Niewöhner W., Steinmetz G.**, (2013), Status of the secondary safety of coaches: updated statistics, current standards and additional technical measures, 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Seoul, South Korea.
- [10] **Altair Engineering Inc.**, 2008. Radioss advanced training couse notes.
- [11] **Haufe, A., Schweizerhof, K., DuBois, P.** (2013). Properties & Limits: Review of Shell Element Formulations. *Developer Forum*, Filderstadt, Germany: Eylül 24.
- [12] **Url-1** <<https://advancedstructures.in/blogs/bus-rollover-simulation-analysis/>>, erişim tarihi 06.04.2019.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Hasan GÜNGÖR
Doğum Tarihi ve Yeri : 17/01/1992 Osmangazi
E-posta : hasan-gungor-92@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2015 – : Tekno Tasarım A.Ş. – ARGE Analiz Mühendisi