



**GAZİ ÜNİVERSİTESİ TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**  
**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**GÖVDE TASARIMI VE İMALATI (OM-335)**

M3 KATEGORİSİNDE BİR KÖRÜKLÜ OTOBÜS TASARIMI VE ANALİZİ

**KONTROL**

PROF. DR. HAMİT SOLMAZ

**KONTROL TARİHİ**

04.01.2024

**HAZIRLAYANLAR**

TALHA YILMAZ \*21181212754\*

MUAMMER SUVEREN \*21181212039\*

AHMET EREN ÖZEN \*21181212038\*

ARDA ŞAHİN \*21181212042\*

MURATCAN KANİTEMİZ \*21181213010\*

ŞEYMA NUR APAYDIN \*Y21181818003\*

JOHN EVANS DAKURAH \*21181212068\*

# İçindekiler

|   |    |
|---|----|
| Özet .....  | 2  |
| 1- Giriş .....                                    | 3  |
| 2- Teori .....                                    | 4  |
| Ağır Vasıtalar İçin Şasi Tipleri .....            | 4  |
| AİTM ve M3 Kategorisi Motorlu Taşıtlar .....      | 6  |
| Şasi Profilleri.....                              | 9  |
| Üç Boyutlu Katı Modelleme Paket Programları ..... | 9  |
| SolidWorks .....                                  | 9  |
| Catia .....                                       | 10 |
| Şasiye Etki Eden Kuvvetler .....                  | 10 |
| 3- Materyal Metod .....                           | 11 |
| Sonlu Elemanlar Metodu .....                      | 11 |
| Gövde Tasarımı .....                              | 12 |
| Aerodinamik Akış Analizi .....                    | 14 |
| Şasi Tasarımı .....                               | 17 |
| Şasi Analizleri .....                             | 20 |
| 4- Bulgular ve Tartışma .....                     | 27 |
| 5- Sonuçlar .....                                 | 36 |
| Kaynakça .....                                    | 37 |

## ÖZET:

Bu çalışma kapsamında, standartların uygunluğu gereği bir şehir içi körüklü tip otobüs gövde ve şasisi tasarlanmıştır. Burada taşıtın sonlu elemanlar modeli hazırlanıp, tam yüklü haldeyken mukavemet analizlerinin yapılması, burulma rijitliği gerilmelerinin elde edilmesi; FMVSS regülasyonlarının kapsamış olduğu birtakım testlerin bilgisayar ortamındaki analizlerinin yapılması hedeflenmiştir. 17,1 metrelik otobüs gövdesi öncelikle CATIA V5 R19 programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modelleme yapılırken paket programa ait Wireframe and Surface Design, Shape Design, Sketch Tracer ve modülleri kullanılmıştır. Otobüsün gövdesinin tasarımı AİTM yönetmeliklerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir [1]. Yapısal analizler SOLIDWORKS 2020 paket programı yardımı ile yapılmıştır. İlk olarak sonlu elemanlar modeli kullanılarak otobüsün tam yüklü ağırlığından kaynaklanan kuvvetler etki ettirilmiştir. Akabinde modal analiz ile burulma gerilmesi analizi gerçek koşullardaki gibi SOLIDWORKS analiz ortamında uygulanmıştır. Bu analizler sonucu kritik noktalardaki değerler saptanmış, bu değerlerin kritik değerleri aşıp aşmadığı belirlenmiş gerilme ve yer değiştirme değerleri bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Merdiven tipi şasi, analiz, gerilme, burulma, AİTM, sonlu elemanlar metodu



Şekil 1.1 M3 Tipi Körüklü Şehir İçi Toplu Taşıma Aracı

## 1.GİRİŞ:

Otobüs tasarım süreci estetik bakış açısının yanında yolcu konforu, güvenlik, teknolojik yenilikler ve çevre dostu kullanım gibi düşünceleri de zorunlu kılmaktadır. Otobüs tasarımı sektördeki müşterilerin ihtiyacı çevresinde şekillenmektedir. Ayrıca bu tasarımlar üretim ve satış yapılacak ülkenin yönetmeliklerine uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Araç seçiminden son analize kadar çalışmalar, bu detaylar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Tasarım sürecinin ilk aşaması olan araç seçimi sırasında ağır vasıta taşıtlar araştırılmış ve hangi aracın çizileceğine karar verilmiştir. Seçim, M3 tipi körüklü şehir içi toplu taşıma aracından yana olmuştur. Otomotiv endüstrisi gün geçtikçe gelişmekte, erişilebilir teknolojilerin gündelik hayatımızdaki en büyük örneklerinden biri haline gelmektedir. Otobüs, Karayolu Taşıma Yönetmeliğine göre sürücü koltuğu hariç sekizden fazla koltuğa sahip ve 5 tondan daha ağır motorlu taşıtlardır [2]. Körüklü şehir içi toplu taşıma aracının ilk aşaması olarak gövde tasarımı yapılmaya karar verilmiştir. Bu süreç, gövde tasarım aşamaları ve araç tipinden başlayarak araç tasarımında kullanılacak malzemenin türüne kadar detaylı bir inceleme ile devam etmiştir. Buna bağlı olarak aracın ölçüleri seçilmiş, ardından çizilecek olan aracın şekline karar verilmiştir. Sonrasında tasarım, aracın blueprint görsellerinden yararlanılarak CATIA paket programının Sketch Tracer, Wireframe And Surface Design ve Shape Design modülleri ile tamamlanmıştır. Tasarım aşamasında MARTOY'dan M3 tipi motorlu taşıtlar ile ilgili özellik ve sınırlamalar göz önünde bulundurulmuştur. MARTOY yönetmeliğine göre taşıt azami kütlesi 5 tonu aşacak şekilde sınırlandırılmıştır [3]. Aracın genişliği 2550 mm, uzunluğu 17940 mm yüksekliği ise 3120 mm olarak belirlenmiştir [4]. Devamında tasarlanan aracın, akış analizi için SOLIDWORKS 2020 paket programında Part Design ve Surface Design eklentileri kullanılarak bir katı modeli oluşturulmuştur. Aracın aerodinamik analizi ise SOLIDWORKS 2023 paket programında Flow Simulation eklentisi kullanılarak yapılmıştır. Aerodinamik analizin tamamlanmasının ardından şasi tasarımı aşamasına geçilmiştir. Ağır vasıtalarda yaygın kullanılan şasi tipleri araştırılmış ve körüklü bir otobüs için merdiven şasinin en uygun seçenek olduğu kararlaştırılmıştır. Şasi, tip seçiminin ardından uygun ölçülerde tasarlanmış olup malzeme seçim aşamasına gelinerek yaygın kullanılan şasi malzemeleri araştırılmıştır.

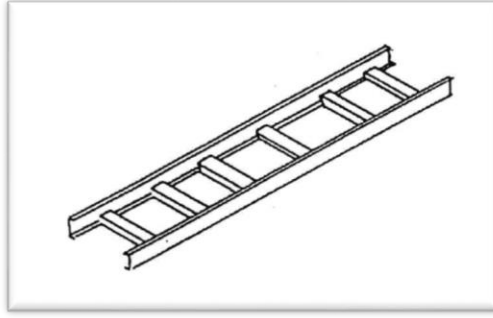
## 2-TEORİ

### AĞIR VASITALAR İÇİN ŞASI TİPLERİ:

Şasiler araçların ana omurgasıdır. Otomotiv sanayinde çok farklı yapısal özelliklere sahip olan şasiler kullanılmaktadır [5].

#### Dikdörtgen şasi (Merdiven Şasi):

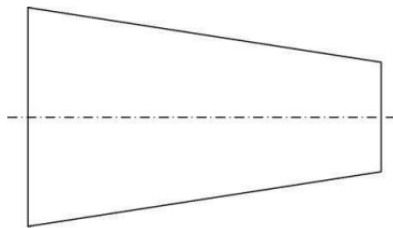
En yaygın kullanılan şasi tipidir. Genellikle kamyon ve otobüslerde kullanılır. Otomobillerde uygulaması hemen hemen yoktur. İki boylamasına kiriş ve ikiden fazla enlemesine kirişten oluşur. Kiriş profilleri genellikle açık kesitlidir. Perçin veya cıvata bağlantılı olarak birleştirilirler. Nadiren kaynaklı birleştirme yapılır. İmalatı ucuz ve basittir. Şekil 2.1’de bu şasiye örnek verilmektedir.



Şekil 2.1 Merdiven Şasi

#### Trapez Şasi:

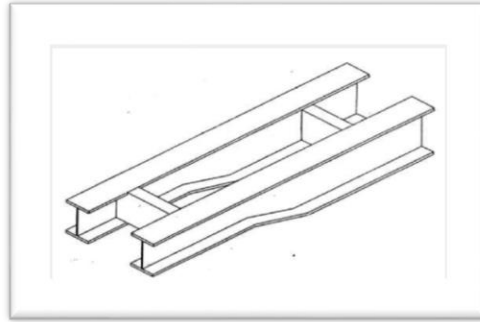
Yapı itibarı ile dikdörtgen şasi özelliklerine benzemekle birlikte, geometrik şekli trapez formunda olduğu için adına trapez şasi denmiştir. Uygulama alanı olarak; hemen hemen dikdörtgen şasi ile aynıdır. Şekil 2.2’de Trapez Şasi görülmektedir.



Şekil 2.2 Trapez şasi

#### Ana Kiriş Şasi:

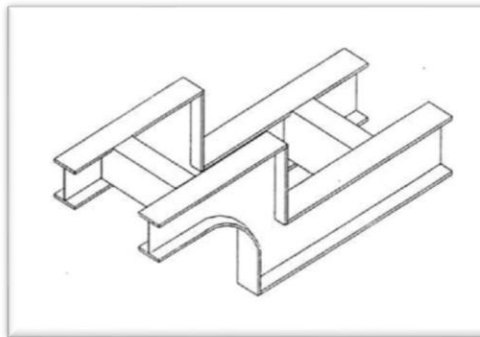
Ana şasinin profil türü “I Tipi” seçilmiştir. I tipi şasi profili, genellikle kamyon ve yarı römork uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu tip şasilerde yüksek mukavemet değerleri gereklidir. Bu nedenle; bu yükleri kaldıracak özellikte profil boyutunu çekmek için çok büyük makinelere ihtiyaç olması ve ayrıca da çok seri kullanılmaması sebebiyle, bu şasi krosları genellikle özel imalat olarak yapılırlar. Şekil 2.3 'te ana kiriş (I profil) şasi görülmektedir.



Şekil 2.3 Ana Kiriş Şasi

#### Ana Kiriş Şasi:

Genellikle küçük ebatlı lastik ve aksların altına yerleştirilen bu şasi, treylerin iç hacmini arttırmak amacıyla kullanılır. Ana kiriş şaside olduğu gibi burada kullanılan kros tipi I tipidir. İstenirse C tipi kros da kullanılabilir. Burada en önemli özellik kuğu boynu denilen, ön ve arka grup şasilerin birleştiği bölgedeki gerilmeyi karşılayacak mukavemette bir bölgenin oluşturulmasıdır. Şekil 2.4’de kademeli şasi görülmektedir.



Şekil 2.4 Kademeli Şasi

### M3 TİPİ MOTORLU TAŞITLARI İÇEREN AİTM MADDELERİ:

#### 1- M<sub>2</sub> Veya M<sub>3</sub> Kategorisi Motorlu Araçlar:

1.1- Otobüsler: Sadece oturan ve ayaktaki yolcuların taşınması için tasarlanmış ve imal edilmiş M<sub>2</sub> veya M<sub>3</sub> kategorisi araçlar anlamındadır.

1.2- Körüklü Otobüsler (“mafsallı araç”): Birbirine mafsalla bağlı iki veya daha fazla rijit bölümden oluşan, her bir bölümün yolcuların yolcu kompartımanından diğerine serbestçe geçebilmelerine imkân verecek şekilde birbirine bağlantısı olan araç anlamındadır; iki rijit bölümün birbirlerinden ayrılması ancak bir atölyede yapılabilecek biçimde birbirleri ile kalıcı olarak birleştirilmişlerdir.

#### 2- M<sub>2</sub> veya M<sub>3</sub> Kategorisi Araçlarda Sınıflandırma:

2.1- Sürücü hariç, yolcu taşıma kapasitesi 22’yi aşan araçlar;

2.1.1- “Sınıf I”, ayakta yolcu taşımak için ayrılmış alanları bulunan ve yolcu iniş binişlerinin sıkça yapıldığı araçlardır.

2.1.2- “Sınıf II”, esasen yolcuları oturarak taşımak üzere imal edilmiş ve ayaktaki yolcuların koridorda ve eğer bulunuyorsa, iki çift oturma yeri için ayrılan boşluğu aşmayacak bir alanda taşınmalarına imkân verecek şekilde tasarlanmış araçlardır.

2.1.3- “Sınıf III”, yolcuları tamamen oturarak taşımak üzere imal edilmiş araçlardır.

2.2- Sürücü hariç, yolcu taşıma kapasitesi 22’yi aşmayan araçlar;

2.2.1- “Sınıf A”, ayakta yolcu alacak şekilde tasarlanmış araçlar; bu sınıftaki bir araç oturma yerlerine sahiptir; ayaktaki yolcular için de gerekli donatıma sahip olabilir.

2.2.2- “Sınıf B”, ayakta yolcu alacak şekilde tasarlanmamış araçlardır; bu sınıftaki bir araç ayaktaki yolcular için gerekli donatıma sahip değildir.

2.3- Bir araç birden çok sınıfa dahil olarak kabul edilebilir. Böyle bir durumda, araç, bu Yönetmeliğin bütün ilgili şartlarına uymak zorundadır.

2.4- Sadece oturan veya oturan ve ayaktaki yolcuların taşınması için tasarlanmış araçlar dışındaki M<sub>2</sub> veya M<sub>3</sub> kategorisi araçlar, özel amaçlı araçlar olarak kabul edilir.

#### Azami Uzunluklar:

- Mafsallı (körüklü) otobüs ..... 18,75 metre
- İki dingilli otobüs ..... 13,50 metre
- Üç ve daha fazla dingilli otobüs ..... 15,00 metre
- Otobüs ve römork ..... 18,75 metre

#### Azami Genişlik:

- M<sub>1</sub> ve L kategorisi hariç, bütün araçlar ..... 2,55 metre

#### Azami Yükseklik:

- L Kategorisi hariç bütün Araçlar İçin ..... 4,00 metre

Otobüslerde, bu madde 2.1’de belirtilen azami uzunluklar, kayak kutusu veya sökülebilir ilave bagaj yeri gibi eklentiler ile aşılamaz.

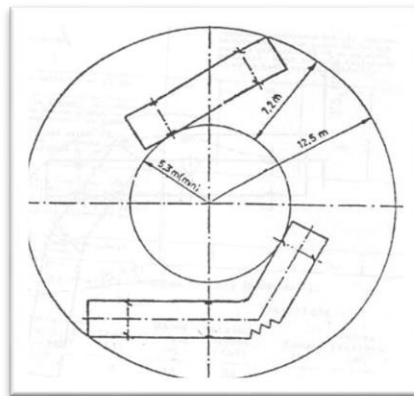
#### Kütleler:

Üç Dingilli Mafsallı Otobüsler ..... 28 ton

M<sub>2</sub> ve M<sub>3</sub> Kategorisi araçlar için teknik açıdan izin verilen çekilebilir azami kütle 3,500 kg’ı aşmamalıdır.

#### Motorlu Araçlar

Motorlu aracın en ön dış noktası, dış dairenin çevre çizgisini takip etmelidir (Şekil 2.5).

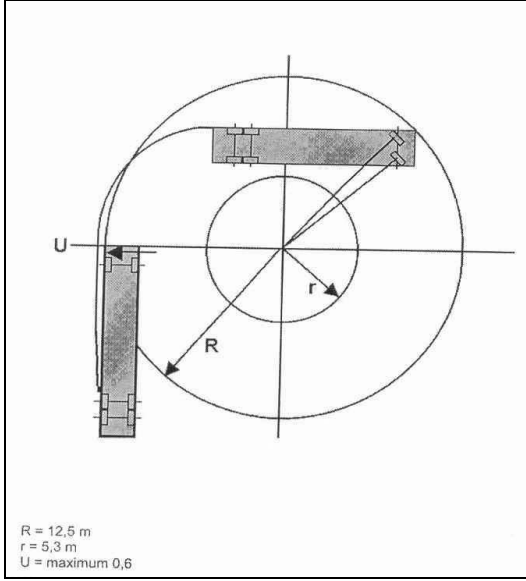


Şekil 2.5

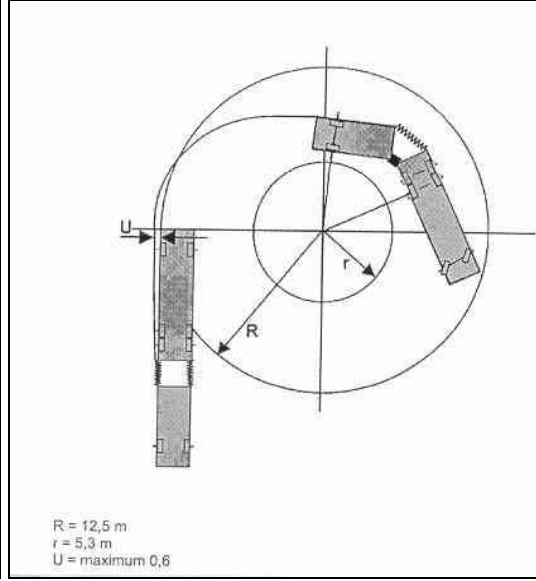


### 15.3- M<sub>2</sub> ve M<sub>3</sub> kategorisi araç için ek şartlar

Araç sabitken, yere bir çizgi çizildiğinde aracın dairenin dışına bakan yanına teğet düşey bir düzlem oluşacaktır. Mafsallı bir araç için, iki rijit kısım düzlemle aynı hizada olmalıdır. Araç düz bir çizgiden dairesel alana hareket ettiğinde, aracın hiçbir parçası düşey dışına 0.60 m'den fazla çıkmamalıdır (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7).



Şekil 2.6



Şekil 2.7

Tip detayları MARTOY (Motorlu Araçlar ve Römorkları Tip Onayı) Yönetmeliğinde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir [7].

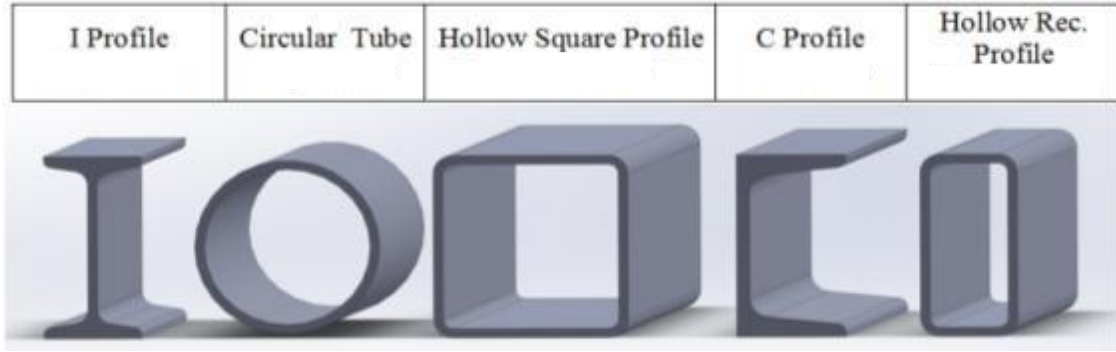
## ŞASI PROFİLLERİ:

Şasinin ana yapısını oluşturan kesit görüntüsüdür. Ağır vasıtalarda genellikle C, I ve kare profiller kullanılmaktadır (Şekil 2.8).

C Profil: Günümüzde çoğu ağır hizmet araçlarında görülen bir şasi profilidir. Ana şasinin her iki yanında araç boyunca yer alabilir.

I profil: Yine bu profil de C profil gibi ağır vasıtalar da kullanılır. Dayanıklı bir yapı oluşmasını sağlar.

Kare Profil: Dayanıklı olması sebebiyle şasinin orta kiriş kısmında çoğunlukla kullanılır. Üzerine gelen yükleri dağıtır.



Şekil 2.8 Şasi Profilleri

## ÜÇ BOYUTLU KATI MODELLEME PROGRAMLARI

### SolidWorks:

Solidworks, katı model oluşturan bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli mühendislik (CAE) programıdır. Solidworks ayrıca DSS Solidworks olarak da bilinir. DSS, bu programı geliştiren bir şirket olan Dassault Systems firmasının kısaltmasıdır. Bu CAD yazılımı, hiçbir karmaşıklığa sebep olmadan 2D veya 3D katı modelleri hızlı bir şekilde oluşturmanızı sağlar. Diğer CAD programlarına göre kıyaslandığında en büyük avantajı, oldukça kullanışlı bir arayüze sahip olmasıdır. Ayrıca bu yazılım; katı parça modelleme, simülasyon, hareket, montaj, araç kutusu, araç analisti, Photoview 360, ScanTo3D, e-drawings ve DWG editör gibi modülleri içerir [8].

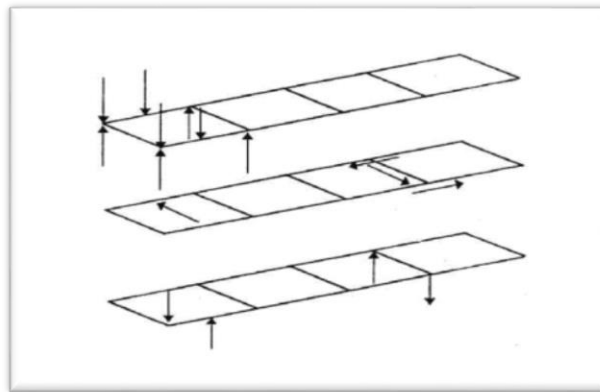
Catia:

CATIA, bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli imalatla yaygın olarak kullanılan bir bilgisayar programıdır. Fransızca “ *Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive Appliquée*” kelimelerinin baş harflerinin bir araya getirilmesiyle oluşan akronim bir isme sahip olan CATIA programı yaklaşık 40 yıldır Fransız Dassault Systèmes firması tarafından geliştirilmektedir. CATIA programı, sağlamış olduğu pek çok üstün komut ve özellik sayesinde ülkemizde de CAE (bilgisayar destekli mühendislik) konusunda sıklıkla başvurulacak programların başında gelir. Yalnızca bir çizim programı olmayan CATIA, sahip olduğu ek özellikler sayesinde tasarımın başlangıcından üretim safhasına kadar her aşamada kullanıcıya destek verir. Mühendislik çizimlerinde çok kullanılması sebebi, programın kullanıcıya kolay çizim komutlarının yanı sıra etkileşimli analiz yapma imkânı da sunmasıdır. CATIA programında tümleşik olarak bulunan analiz sistemleri ile üç boyutlu çizimi hazırlanan model üzerinde her türlü analizin yapılması mümkündür [9].

#### ŞAŞİYE ETKİ DEN KUVVETLER:

Şasiye etki eden yükler, araç tiplerine göre değişir. Ancak genel anlamda şasiler iki tip yüklemeye maruz kalırlar (Şekil 2.9). Bunlar statik ve dinamik yüklerdir. Bu kuvvetler şöyle sıralanabilir [10]:

- Boyuna Düşey Eğilmeye Zorlayan Yükler
- Enine Düşey Eğilmeye Zorlayan Yükler
- Yatay Eğilmeye Zorlayan Yükler
- Burulmaya Zorlayan Yükler

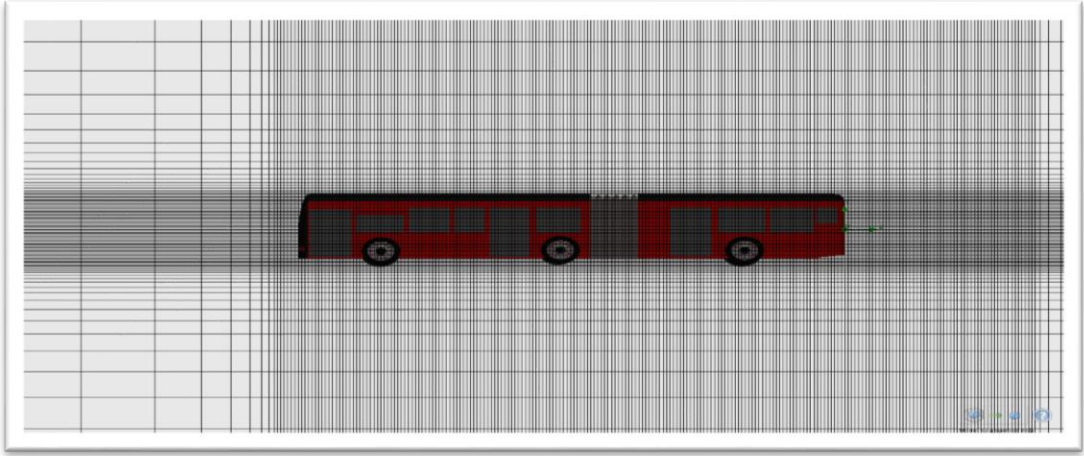


Şekil 2.9 Şasiye Etkiyen Yükler

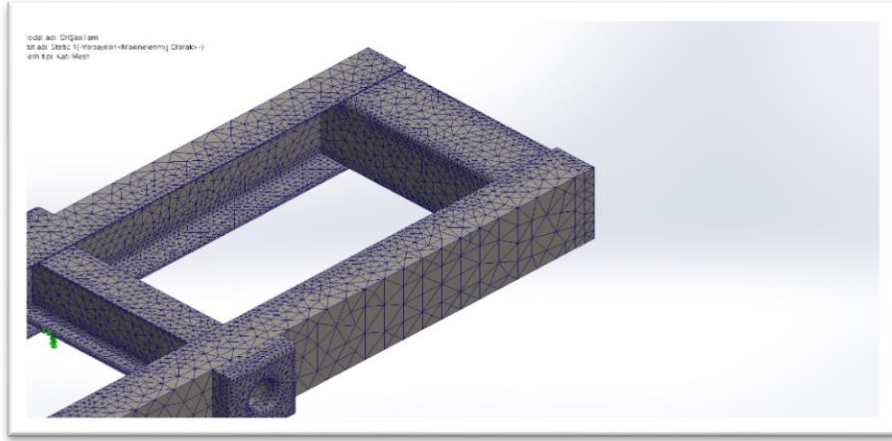
### 3-MATERYAL METOD:

#### SONLU ELEMENLAR METODU

Sonlu Elemanlar Yöntemi ya da Sonlu Elemanlar Metodu, kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen veya fonksiyonel minimizasyonu olarak formüle edilebilen problemleri çözmek için kullanılan bir sayısal yöntemdir. İlgilenilen bölge sonlu elemanlar (Finite Element) topluluğu olarak gösterilmektedir (Şekil 3.1 ve 3.2). Sonlu elemanlardaki yaklaşık fonksiyonlar, araştırılan fiziksel alanın modal değer terimlerinde belirlenmektedir. Sürekli fiziksel problem, bilinmeyen modal değerli kesikli sonlu eleman problemine dönüştürülmektedir. Bu yöntemin uygulanması için basit yaklaşım fonksiyonları oluşturulmalıdır. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle, katı mekaniği, sıvı mekaniği, akustik, elektromanyetizma, biyomekanik, ısı transferi gibi alanlardaki problemler çözülebilir ve karmaşık sınır koşullarına sahip sistemlere, düzgün olmayan geometriye sahip sistemlere, kararlı hal, zamana bağlı ve özdeğer problemlerine, lineer ve lineer olmayan problemlere uygulanabilir [11].



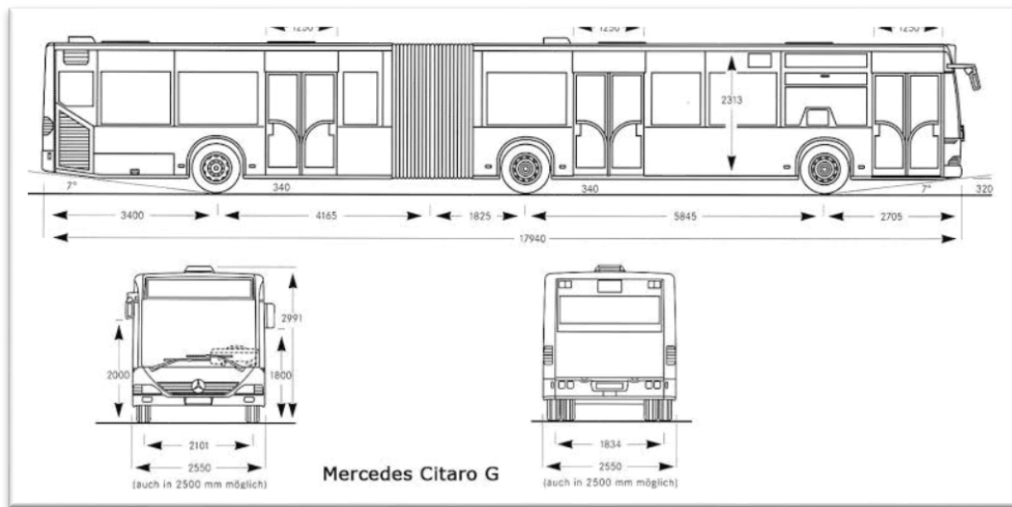
Şekil 3.1 Araç Gövdesinin Sonlu Elemanlara Ayrılmış Görüntüsü



Şekil 3.2 Araç Şasisinin Sonlu Elemanlara Ayrılmış Şekli

## GÖVDE TASARIMI

Aracımızın gövde tasarımı CATIA V5R19 programında blueprint görüntüsünden yararlanılarak (Şekil 3.3) Sketch Tracer, Wireframe and Surface Design ve Shape Design modülleri kullanılarak ölçüler gerçeğe ve yönetmeliklere uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Yüzey modelleme tamamlandıktan sonra (Şekil 3.4) araç üzerinde aerodinamik akış analizi yapabilmek için ölçekli katı model oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Daha sonra ölçekli katı model üzerinde akış analizi yapılmıştır. Analiz SOLIDWORKS 2023 Flow Simulation eklentisi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.3 Körüklü Otobüs Blueprint Görüntüsü

Catia içerisindeki render eklentisi kullanılarak program içerisine arkaplan aktarılmıştır. Ardından ışıklandırma, konumlama ve kontrast gibi ayarlar yapılmıştır. Tüm bu değişikliklerden sonra render alınmıştır. Tasarımın render öncesi (Şekil 3.5) ve sonrası (Şekil 3.4) görünümü aşağıda verilmiştir.



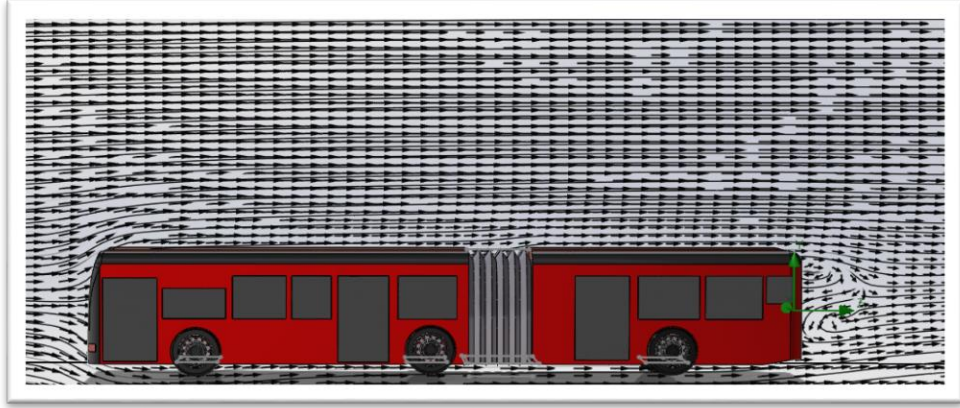
Şekil 3.4 Aracın CATIA Programından Alınan Render Çıktısı



Şekil 3.5 Aerodinamik Akış Analizi İçin Oluşturulmuş Ölçekli Katı Model

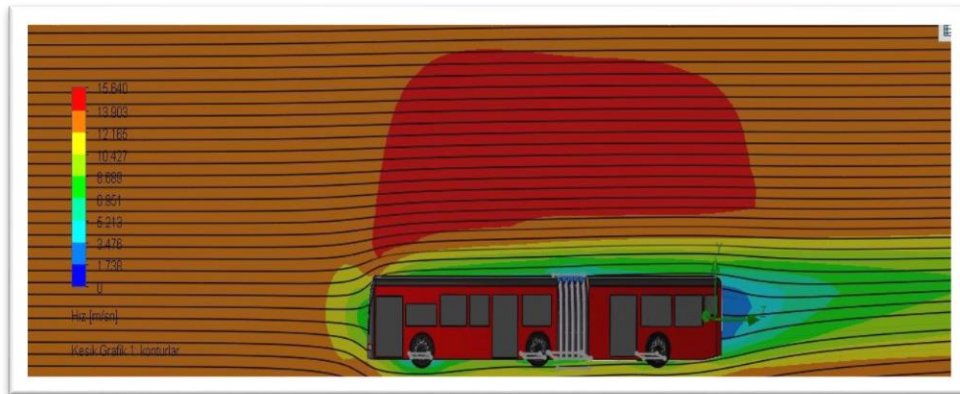
## AERODİNAMİK AKIŞ ANALİZİ

Araca, Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Ve Altyapı Bakanlığına bağlı Karayolları Genel Müdürlüğü internet sitesinde yer alan Hız Sınırlarından M2-M3 tipi otobüsler için şehir içindeki hız sınırı olan 50 km/h (13.88 m/s) hız uygulanmıştır. Bu hız değerinin uygulanmasının nedeni körüklü otobüslerin mesafelerden ziyade şehir içi kullanıma uygun olmasıdır. KGM tarafından hız sınırı 50 km/h (13.88 m/s) olarak belirlenmiştir [12]. Aracın akış çizgileri Şekil 3.6’teki gibidir.



Şekil 3.6 Akış Çizgileri Görünümü

Aracın arkasında uyartım akımından kaynaklı vortexler gözlemlenmiştir. Ayrıca körük etrafında hız düşümü gözlemlenmiştir. Otobüse hareket halindeyken gelen rüzgârın araç etrafındaki dağılımı Şekil 3.7’te gösterilmiştir.

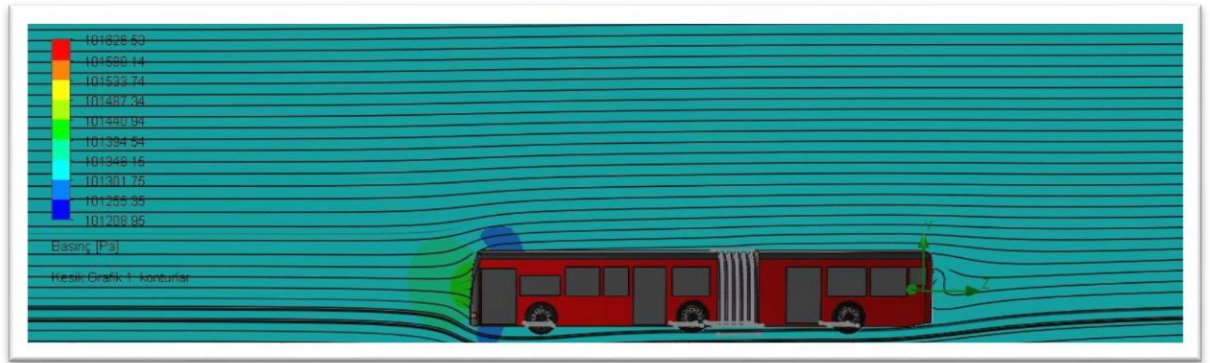


Şekil 3.7 Aracın Çevresindeki Hız Akış Bölgeleri



Aracın önünde, arkasında ve körük etrafında hız düşümü gözlemlenmiştir. Araca havanın ilk temas ettiği yer ön yüzey olmuştur. Araçta en yüksek hız 56.3 km/h (15.64 m/s) en düşük hız körük etrafında 12.51 km/h (3.476 m/s) olarak gözlemlenmiştir. Aracın ön yüzeyinde hız 31.28 km/h (8.689 m/s) olarak gözlemlenmiştir. Aracın arkasında hız anlık olarak sıfırdır.

Aynı zamanda araca etkiyen basıncın analizi de yapılmıştır. Aracın ön yüzeyinde basınç düşümü gözlenmiştir ve bu değer 101.2 kPa olarak ölçülmüştür. Araca tatbik eden maksimum basınç ise 101.6 kPa'dır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Basınç analizi

Aerodinamik direnç katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanabilir [13]:

$$F_D = 0,5 * \rho * C_d * A * V^2$$

$$C_d = (2 * F_D) / (\rho * A * V^2)$$

$F_D$  : Aerodinamik direnç kuvveti (N)

$\rho$  : Havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_d$  : Aerodinamik katsayı

$A$  : Harekete dik izdüşüm alanı ( $\text{m}^2$ )

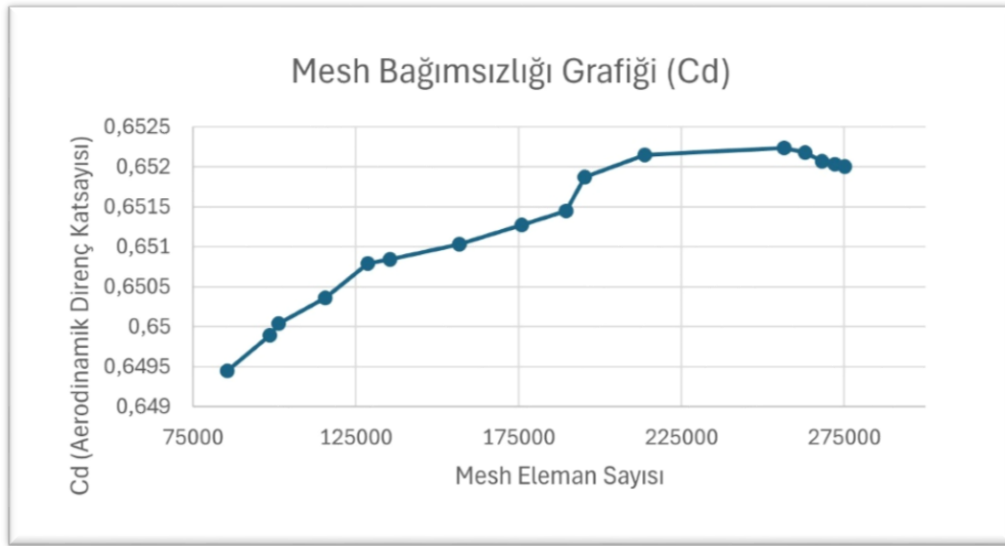
$V$ : Taşıtın hızı ( $\text{m/s}$ )

$C_d$  için mesh bağımsızlığı grafiği Şekil 3.9'da verilmiştir. Mesh eleman sayısı arttıkça  $C_d$  bir süre değişmekte fakat belli bir mesh eleman sayısından sonra sabitlenmektedir.



Dinamik benzerlik için analiz sonucunda elde edilen boyutsuz katsayıların model ve prototip için aynı olması gerekir. Otobüs üzerindeki akışın incelendiği bu çalışma için etkin kuvvetler atalet ve viskoz kuvvetlerdir. Aşağıda verilen denklemde görüldüğü gibi Re sayısı, atalet kuvvetlerinin dinamik viskoziteye oranıyla elde edilir [14].

$$Re = \frac{\text{Atalet Kuvveti}}{\text{Dinamik Viskozite}} = \frac{\rho.V.L}{\mu} = \frac{V.L}{\mu/\rho} = \frac{V.L}{\nu}$$



Şekil 3.9 Aerodinamik Direnç Katsayısı İçin Mesh Bağımsızlığı Grafiği

## ŞAŞİ TASARIMI

Şaşinin tasarlanırken malzeme olarak AISI 4340 Çelik (Normalize) olarak seçildi. Bu tür çeliklerin ısıtıl işleminden sonra gerilime dayanımları yüksektir. Normalleştirme, dövme işleminden sonra homojen olmayan bir şekilde soğumuş olabilecek dövmelemlerin yapısını iyileştirmek için kullanılır ve son ısıtıl işleminden önce bir şartlandırma işlemi olarak kabul edilir. AISI 4340 çeliği için normalleştirme sıcaklığı 850°C-880°C arasında yapılmaktadır. Bu şekilde mekanik özellikler (Şekil 3.10) iyileştirilmeye çalışılır [15].

| Physical Properties        | Metric    | English                  |
|----------------------------|-----------|--------------------------|
| Density                    | 7.85 g/cc | 0.284 lb/in <sup>3</sup> |
| Mechanical Properties      | Metric    | English                  |
| Hardness, Brinell          | 321       | 321                      |
| Hardness, Knoop            | 348       | 348                      |
| Hardness, Rockwell B       | 99        | 99                       |
| Hardness, Rockwell C       | 35        | 35                       |
| Hardness, Vickers          | 339       | 339                      |
| Tensile Strength, Ultimate | 1110 MPa  | 161000 psi               |
| Tensile Strength, Yield    | 710 MPa   | 103000 psi               |
| Elongation at Break        | 13.2 %    | 13.2 %                   |
| Reduction of Area          | 36 %      | 36 %                     |
| Modulus of Elasticity      | 200 GPa   | 29000 ksi                |
| Bulk Modulus               | 159 GPa   | 23100 ksi                |
| Poissons Ratio             | 0.29      | 0.29                     |
| Machinability              | 50 %      | 50 %                     |
| Shear Modulus              | 78.0 GPa  | 11300 ksi                |

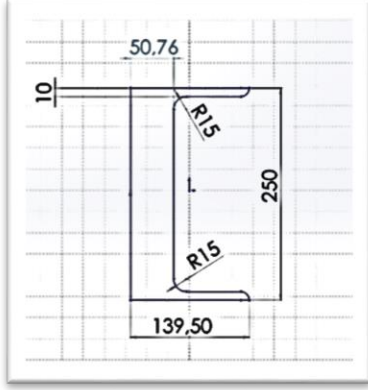
Şekil 3.10 AISI 4340 Normalize Çeliğin Mekanik Özellikleri

Aynı zamanda bu çelik çeşitli elementlerden oluşmaktadır. Şekil 3.11 da bu elementlerin oranları gösterilmektedir.

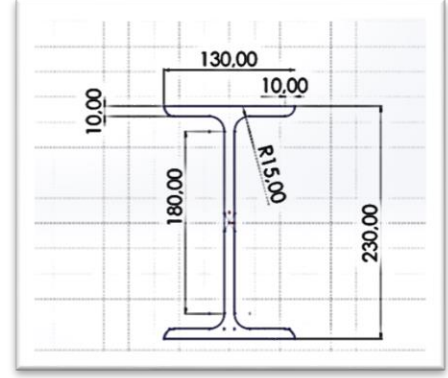
| Component Elements Properties | Metric           | English          |
|-------------------------------|------------------|------------------|
| Carbon, C                     | 0.37 - 0.43 %    | 0.37 - 0.43 %    |
| Chromium, Cr                  | 0.70 - 0.90 %    | 0.70 - 0.90 %    |
| Iron, Fe                      | 95.195 - 96.33 % | 95.195 - 96.33 % |
| Manganese, Mn                 | 0.60 - 0.80 %    | 0.60 - 0.80 %    |
| Molybdenum, Mo                | 0.20 - 0.30 %    | 0.20 - 0.30 %    |
| Nickel, Ni                    | 1.65 - 2.0 %     | 1.65 - 2.0 %     |
| Phosphorus, P                 | <= 0.035 %       | <= 0.035 %       |
| Silicon, Si                   | 0.15 - 0.30 %    | 0.15 - 0.30 %    |
| Sulfur, S                     | <= 0.040 %       | <= 0.040 %       |

Şekil 3.11 AISI 4340 Çeliğin Alaşım Oranları

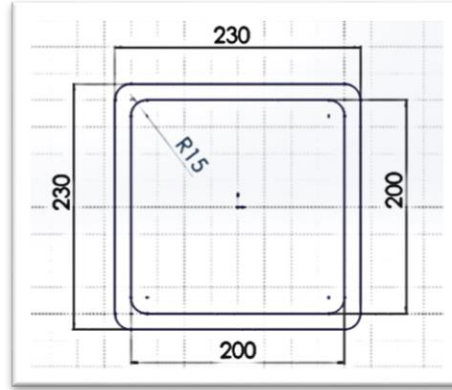
Şasi tasarımında öncelikle şaside kullanılacak profiller belirlenmiş ve uygun ölçüler seçilerek SOLIDWORKS 2020 programında tasarımı yapılmıştır. Şaside U, I ve kare profiller kullanılmıştır. Şekil 3.12, 3.13 ve 3.14'te bu profillerin teknik resimleri verilmiştir.



Şekil 3.12 U Profil Teknik Resim

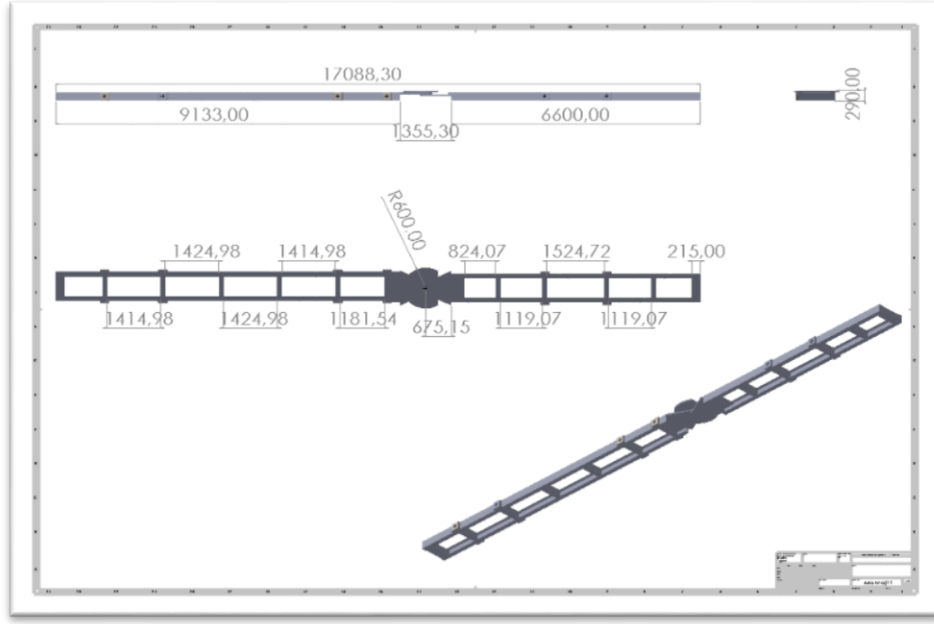


Şekil 3.13 I Profil Teknik Resim



Şekil 3.14 Kare Profil Teknik Resim

Şasi profilleri oluşturulduktan sonra ön ve arka şasi ayrı ayrı SOLIDWORKS Part Design kısmında çizilmiştir. Bu şasilerin arasındaki körük bağlantısı da yine Part Design sekmesinde tasarlanmıştır. Daha sonra ön şasi, arka şasi ve körük, montaj sayfasında birleştirilmiştir. Teknik resimleri de Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15 Full Şasinin Üç Görünüş Ve İzometrik Görüntüsü

Şasilerin analizi ilk önce ön şasi ve arka şasi olmak üzere ayrı ayrı yapılmıştır. Şasinin kaldıracağı maksimum yük 35 Ton olarak belirlenmiştir. Bunun üzerine emniyet katsayısı (2) ile çarpılarak 70 Ton yük şasi üzerine yayılı olarak uygulanmıştır ve şasinin buna gösterdiği tepki analiz edilmiştir. Fakat ayrı ayrı analiz yapılırken 70 ton yükün 35 tonluk kısmı ön şasiye diğer 35 tonluk kısmı da arka şasiye etki ettirilmiştir. Yük, en ön ve en arka dingiller arasında dingil kapasitelerini aşmayacak şekilde dağıtılır.  $F_{\bar{o}}$ ,  $F_a$  aracın en ön ve en arka dingillerine düşen yük olmak üzere basitçe aşağıdaki formülle hesaplanır [16]:

$$F_{\bar{o}} = \frac{Wl_a}{(l_{\bar{o}} + l_a)}$$

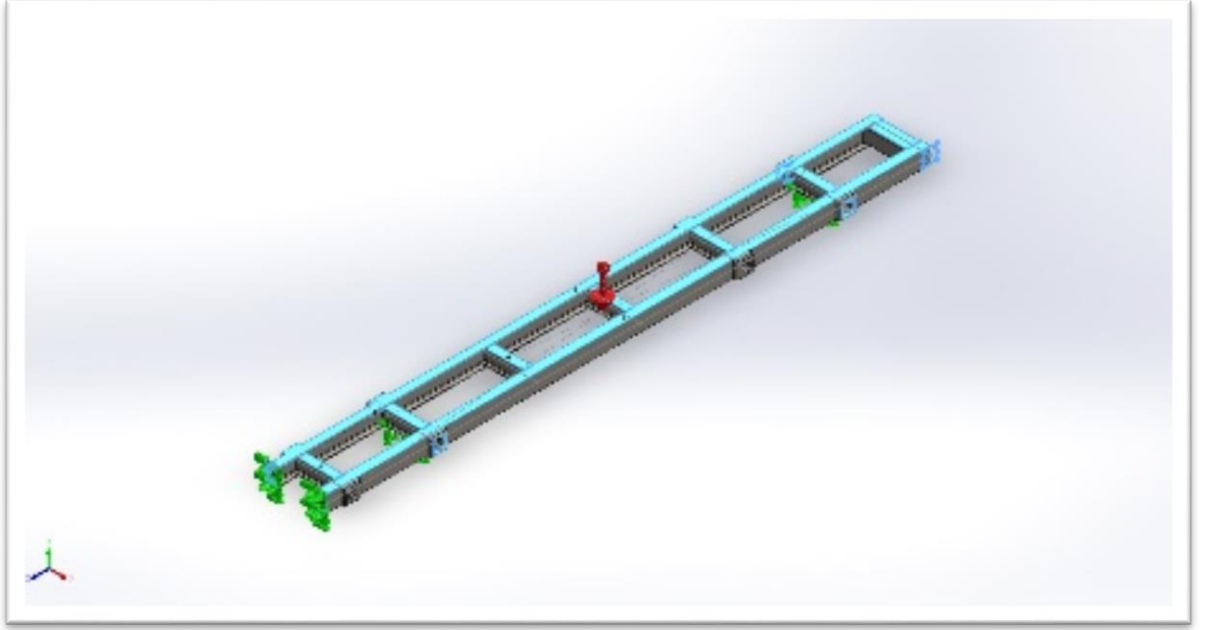
$$F_a = \frac{Wl_{\bar{o}}}{(l_{\bar{o}} + l_a)}$$

Aracın toplam ağırlığını  $W$ ,  $l_{\bar{o}}$  ön dingil ile ağırlık merkezi arasındaki mesafeyi  $l_a$  arka dingil ile ağırlık merkezi arasındaki mesafeyi tanımlar. Bu eşitlik arka dingili birbirinde bağımsız olmayan üç dingilli araçlar için de kullanılabilir.

## ŞASI ANALİZLERİ

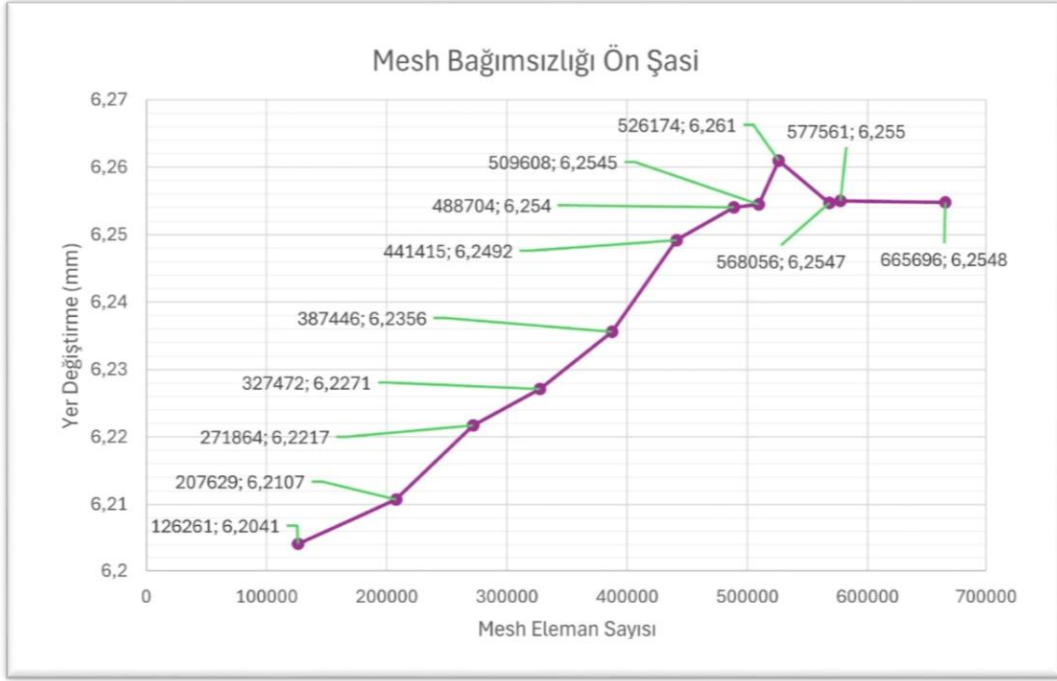
Ön şasi:

Ön şaside iki adet dingil bağlantısı bulunmaktadır. Analiz yapılırken bu bağlantıların olduğu kısımlar ve körük kısmı sabit tutulmuştur (Şekil 3.16). 35 tonluk yük şasiye yayılı olarak etki ettirilmiştir. Şaside meydana gelen deformasyonlar ve gerilmeler aşağıda gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi şasinin mavi yüzeylerine kuvvet uygulanmış ve şasi yeşil bölgelerden sabit tutulmuştur. Analiz sonlu elemanlar yöntemiyle SOLIDWORKS 2020 Simulation eklentisi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.16 Ön Şasi Sabit Tutulan Yerler Ve Dağılmış Kütlenin Uygulandığı Yüzeyler

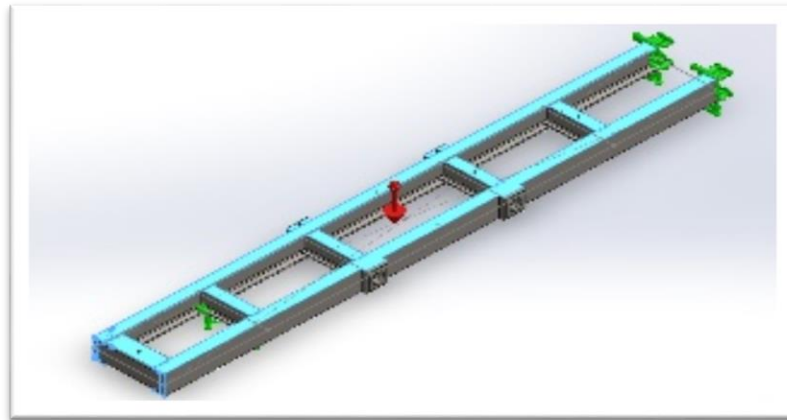
Ayrıca ön şasi için mesh bağımsızlığı grafiği de mesh eleman sayısına karşılık meydana gelen yer değiştirmeler bulunarak çizdirilmiştir. Belirli bir mesh sayısından sonra yer değiştirmede çok az miktarda oynamalar olmuştur (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Ön Şasi İçin Mesh Bağımsızlığı Grafiği

Arka Şasi:

Yine arka şasi de ön şasi gibi sonlu elemanlara ayrılmış ve kalan 35 tonluk yük etki ettirilmiştir. Aracın arka tarafında tek bir dingil bulunmaktadır. Analiz yapılırken en arkadaki tekerlerin bağlı olduğu kısım ve yine köprüye bağlı kısım sabit tutulmuştur. Şekil 3.18’da kuvvetin uygulandığı yüzeyler ve sabit tutulan yerler gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Arka Şasi Sabit Tutulan Yerler Ve Kuvvet Uygulanan Bölgeler

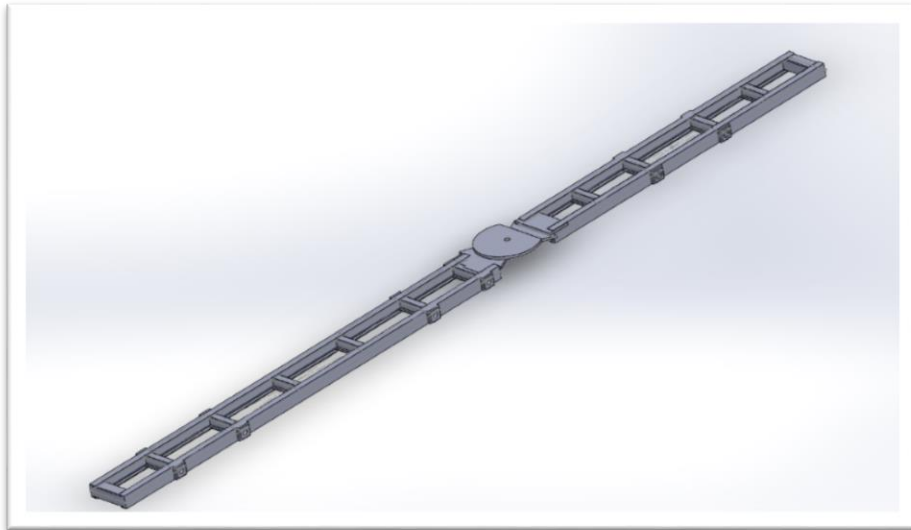
Arka şaside de ön şaside olduğu gibi mesh bağımsızlığı grafiğini yine mesh eleman sayısı ve yer değiştirmenin bir fonksiyonu olarak oluşturduk. Şekil 3.19’da arka şasiye ait mesh bağımsızlığı grafiği gösterilmiştir. Belirli bir mesh eleman sayısından sonra yer değiştirme miktarı düzene oturmaktadır ve değer stabil hale gelmektedir.



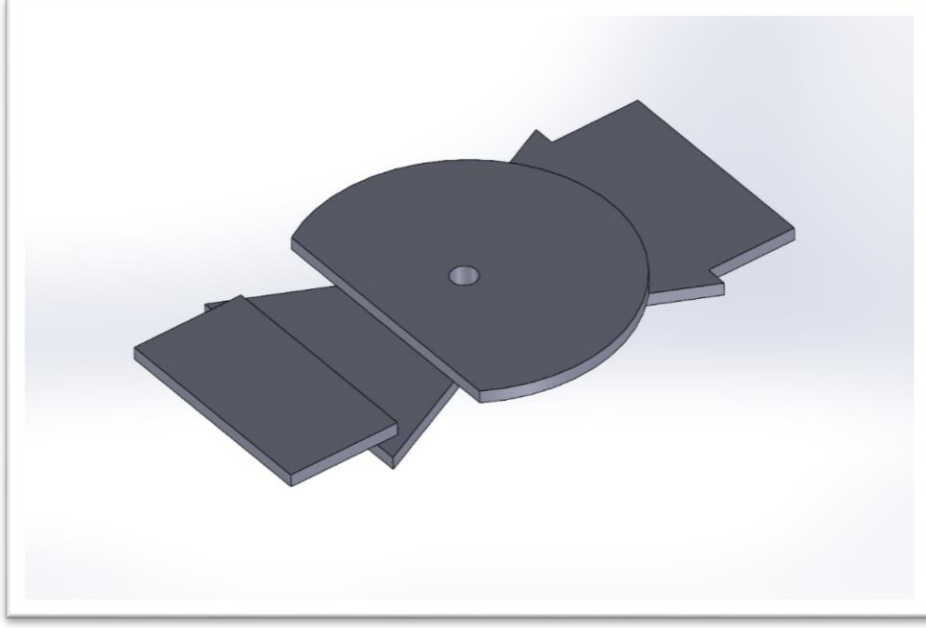
Şekil 3.19 Arka Şasiye Ait Mesh Bağımsızlığı Grafiği

Montajlanmış Şasi ve Körük:

Şasilerin ayrı ayrı analizi yapıldıktan sonra montajlanmış körük ve şasi tasarımı (Şekil 3.20) üzerinde de statik analizleri tekrarladık.

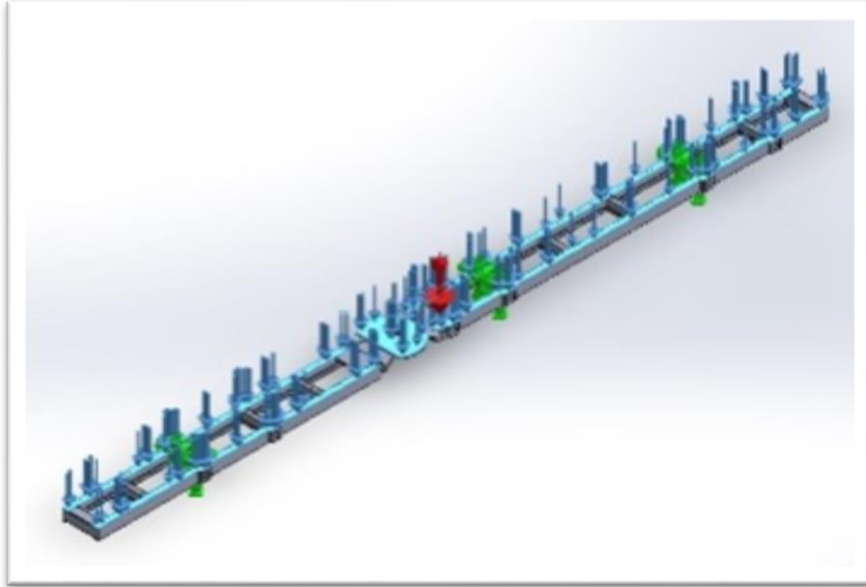


Şekil 3.20 Montajlanmış Şasinin Üç Boyutlu Cad Görüntüsü



Şekil 3.21 Körük Kısımının Üç Boyutlu CAD Görüntüsü

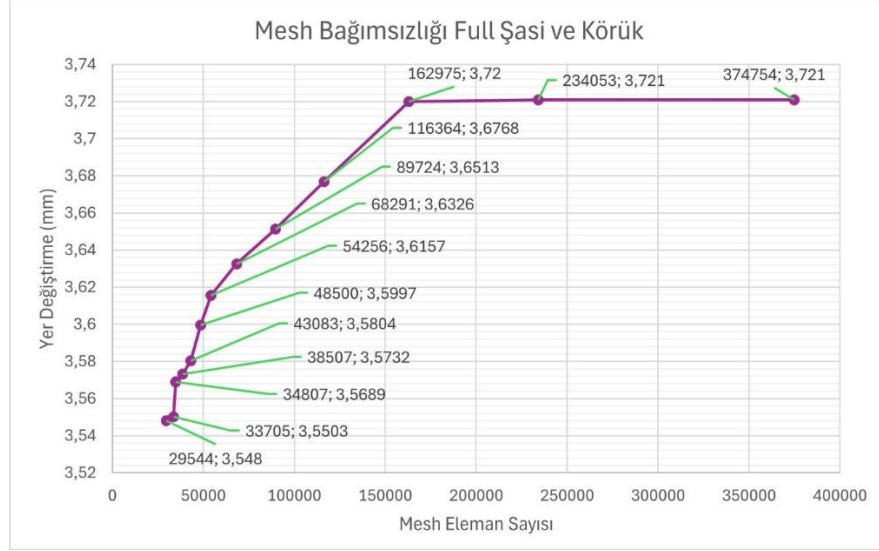
Şasinin nihai haline 2 EKS ile toplamda 70 tondan kaynaklanan ağırlık kuvveti etki ettirilmiştir. Tekerleklerin bağlandığı ön, orta ve arka dingil kısımları sabit tutulmuş olup şasinin yüzeyine kuvvet uygulanmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Tam Şasiye Etkiyen Kuvvetin Dağılımı Ve Sabit Kısımlar



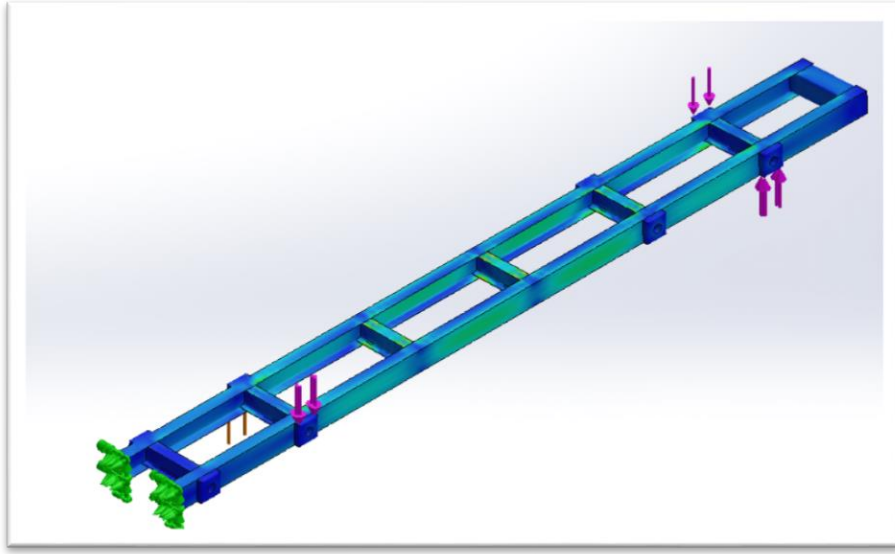
Montaj edilmiş şasiye de mesh bağımsızlığı grafiği oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak toplam yer değiştirme de grafik üzerinde görünmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Full Şasi Ve Körük İçin Mesh Bağımsızlığı Grafiği

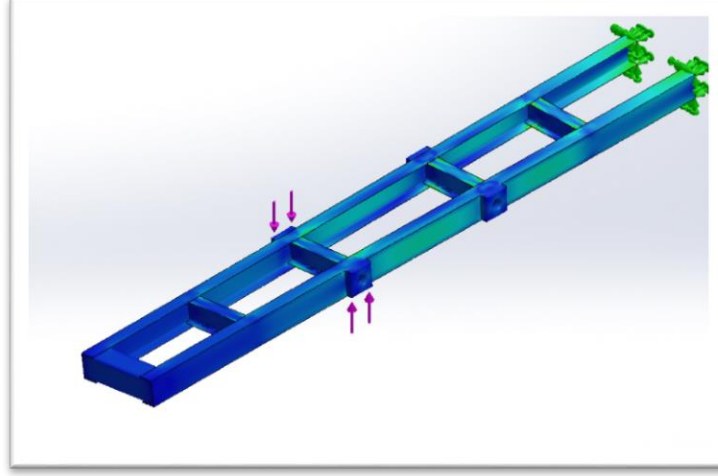
## BURULMA ANALİZLERİ

Statik analizin diğ er bir parçası olan burulma analizi de ayrı ayrı  n ve arka  asiye uygulanmıştır. Ardından montajlanmış  asi-körük tasarımı için de tekrar burulma analizi yapılmıştır.  n  asi için burulma analizi yapılırken körük kısmı sabit kabul edilmiş,  n sol ve orta sağı tekerlerin bulunduğı kısımlara aşağı yönde;  n sağı ve orta sol tekerlerin bulunduğı kısımlara ise yukarı yönde 35 ton kütleden doğan 343350 N'luk kuvvet eşit dağıtılarak etki ettirilmiş (şekil 3.24), oluşan deformasyon ve gerilmeler gözlenmiştir.



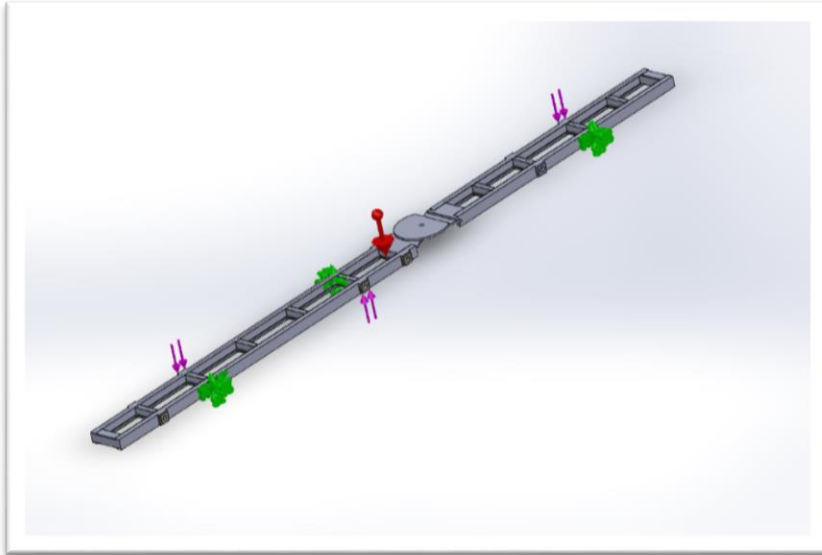
şekil 3.24  n  aside Burulma Analizi İçin Uygulanan Kuvvetler Ve Sabit Tutulan Kısım

Arka  asi için ise yine 35 ton yükten doğan 343350 N kuvvet eşit bölünerek sol arka tekerin bağlandığı yerden aşağı yönde, sağı arka tekerin bağlandığı yerden yukarı yönde uygulanmıştır. Yine burada da körük kısmın sabit olduğu varsayımı yapılmıştır (şekil 3.24).



Şekil 3.25 Arka şasi burulma analizi için kuvvet uygulanan ve sabit tutulan yerler

Full şasinin burulma analizi yapılırken de ön sol teker orta sağ teker ve en arka sol teker bağlantıları sabit tutulmuş olup bunların karşılarından zıt yönlü kuvvetler uygulanmıştır. Kuvvetlerin değeri de toplamda 70 ton yükün doğurduğu kuvvetin eş paylaşılması ile bulunmuştur (Şekil 3.26).



Şekil 4.26 Tam Şasinin Burulma Analizinde Kuvvet Uygulanan Ve Sabitlenen Yerler

## 4-BULGULAR VE TARTIŞMALAR

### AERODİNAMİK ANALİZ

Araca gelen kuvvetler doğrultusunda Aerodinamik direnç katsayısı  $C_d=0.652$  olarak bulunmuştur. Aerodinamik direnç katsayısı  $C_d = (2 * F_D )/( \rho * A * V^2)$  formülüyle bulunmuştur [17]. Bu sonuç otobüsler için değer aralığı olan 0.6 ile 0.7 (Şekil 4.1) arasında olduğundan aracımız aerodinamik olarak uygundur.

### Aerodinamik direnç...

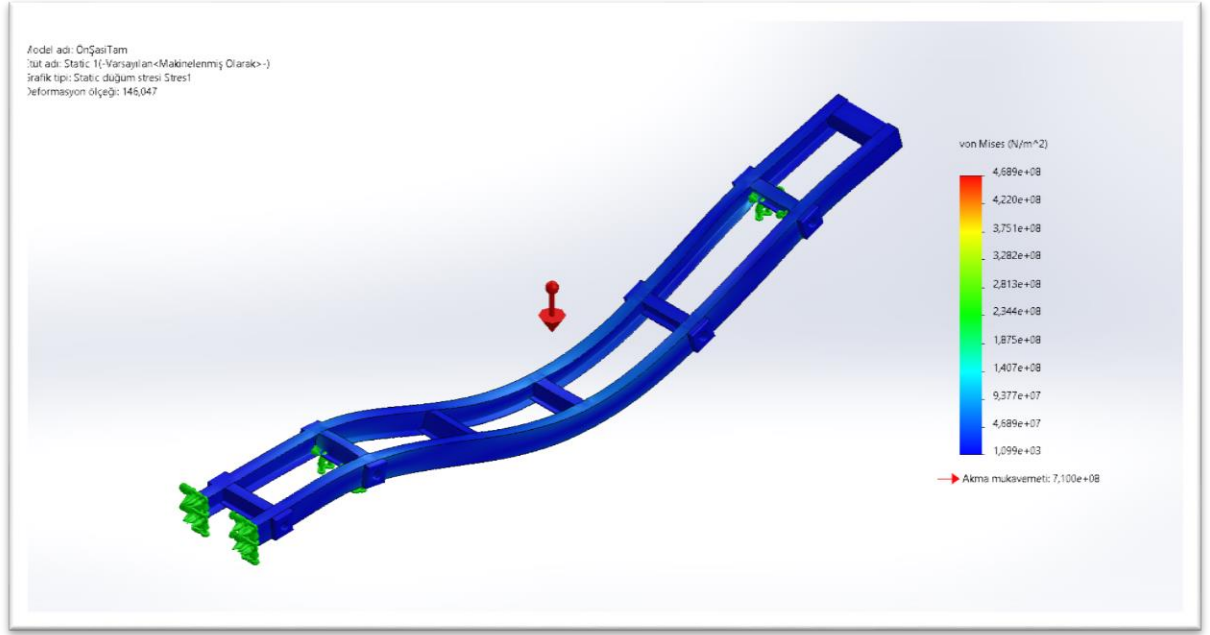
Bazı taşıtların aerodinamik katsayıları

| T A Ş İ T   |   | C <sub>x</sub> katsayısı |
|---|---|--------------------------|
|    | Açık spor   | 0,5-0,7                  |
|    | Pikap   | 0,5-0,6                  |
|    | Arkası uzun   | 0,4-0,55                 |
|    | Farlar, arka tekerlekler, yedek lastik gövde içinde, kama biçimli gövde | 0,3-0,4                  |
|  | En avantajlı aerodinamik biçim  | 0,15-0,20                |
|  | Otobüs  | 0,6-0,7                  |
|  | Kamyon, treyler   | 0,8-1,5                  |
|   | Motosiklet  | 0,6-0,7                  |

Şekil 4.1 Kara taşıtlarının aerodinamik direnç katsayıları [14]

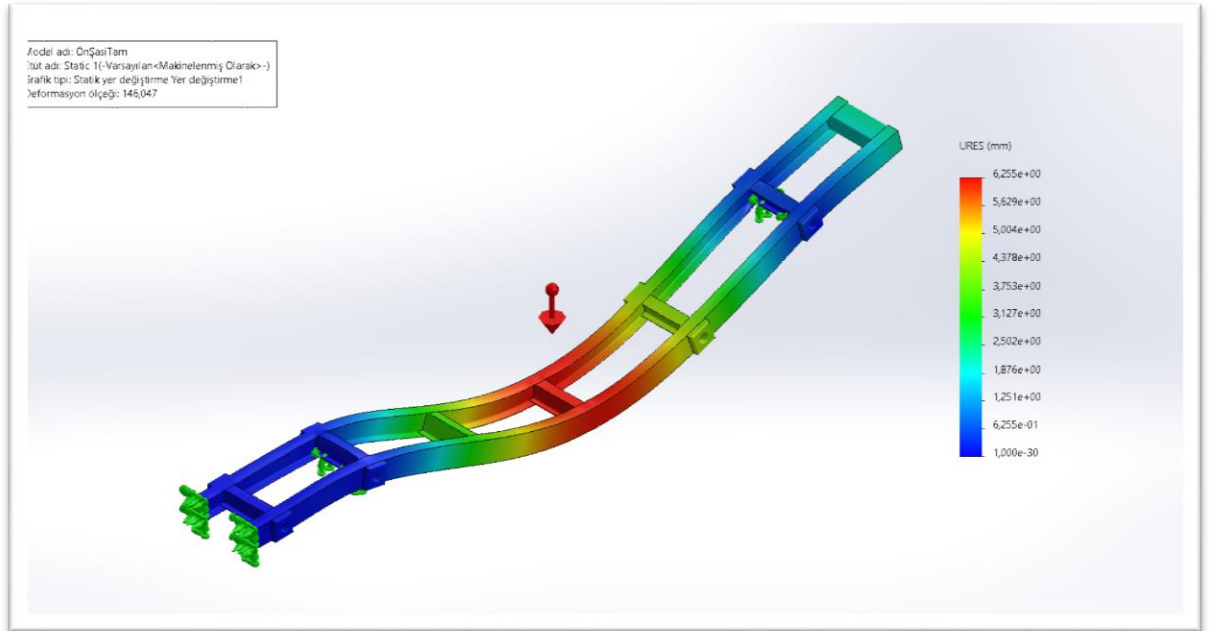
### ŞASİ YAPISAL ANALİZ

Şasi malzemesinin akma mukavemeti 710 MPa'dır. Analiz sonucunda elde ettiğimiz Von mises stres gerilmesi yaklaşık 469 MPa bulunmuştur (Şekil 4.2). Bu değer akma mukavemetinin altında olduğundan şasi dayanıklıdır.



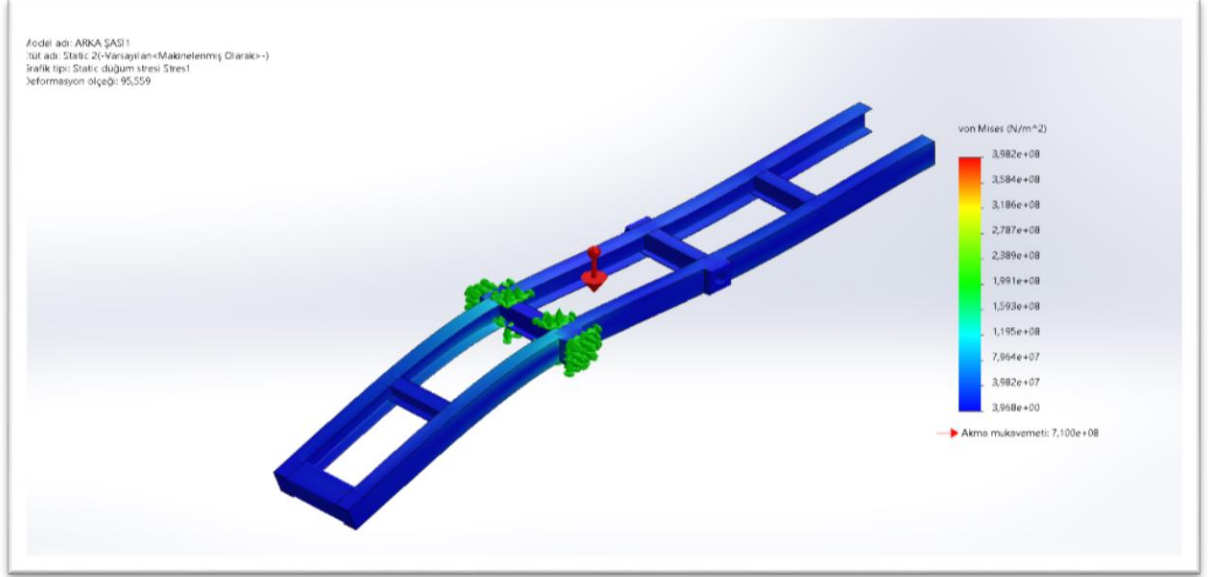
Şekil 4.2 Ön Şasi İçin Tam Yüklü Durumda Oluşan Von Mises Gerilme Değeri

Yer değiştirme değeri ise 6,25 mm olarak şasinin orta kısmında ölçülmüştür (Şekil 4.3).



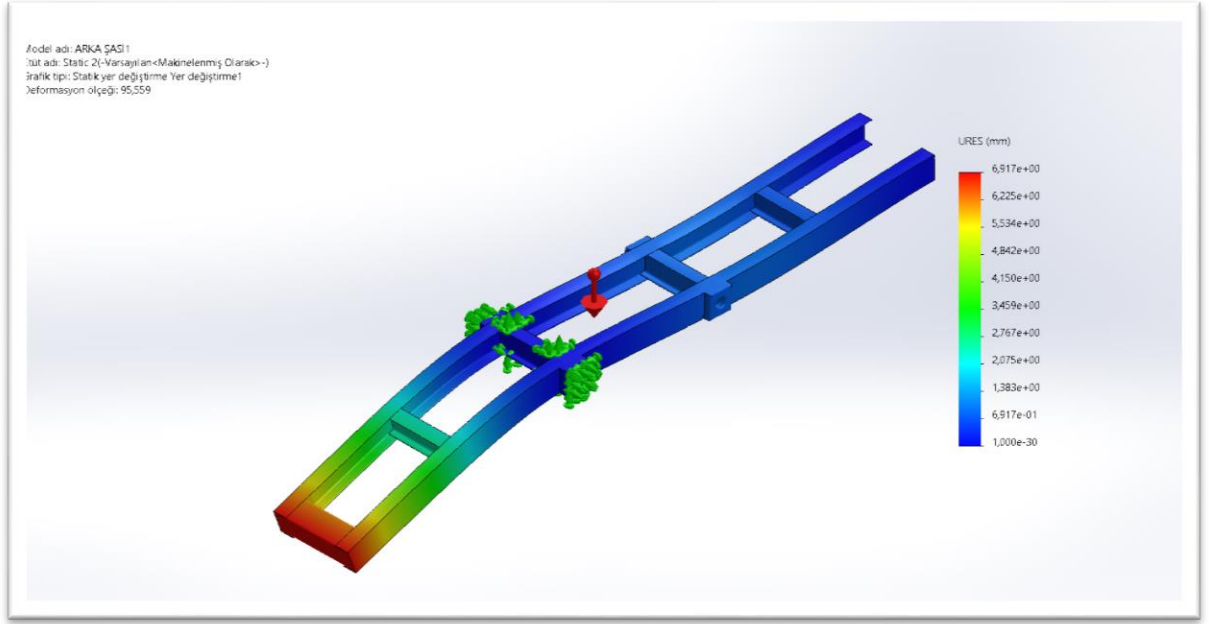
Şekil 4.3 Ön Şasi İçin Tam Yüklü Durumda Oluşan Deformasyona Bağlı Yer Değiştirme Miktarı

Arka şasi için ise aynı yöntemlerle analiz yapılmıştır. Bu kısımdaki Von Mises gerilmesi ise 398 MPa bulunmuştur. Bu sonuç akma gerilmesinin altında olduğundan şasi dayanmaktadır. Şekil 4.4'te şasi gerilmesinin abartılı görünümü verilmiştir.



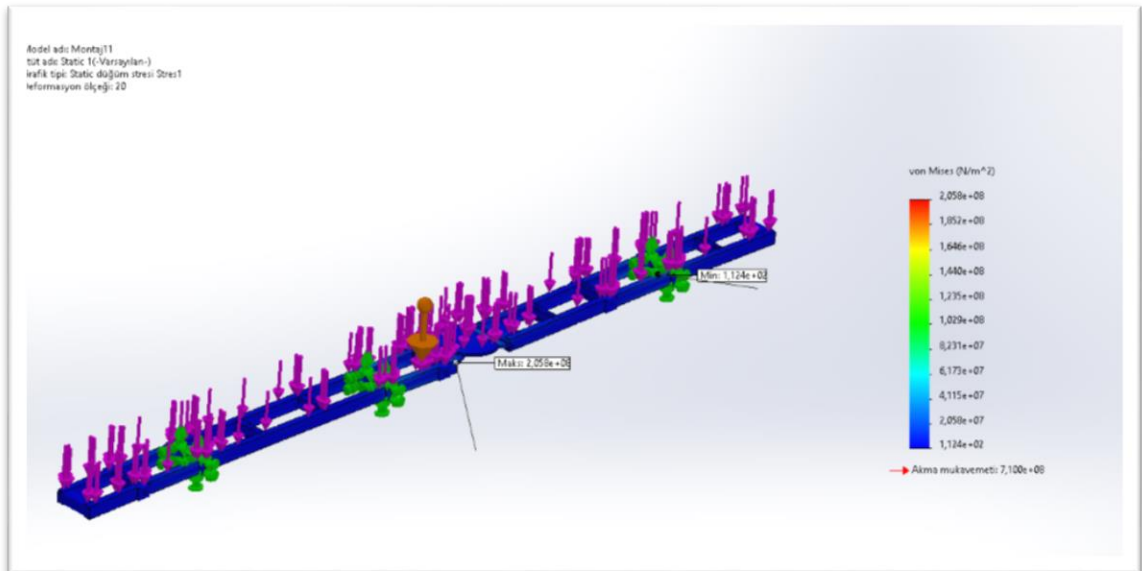
Şekil 4.4 Arka Şasi Von Mises Stres Analiz Sonucu

Yer değiştirme miktarı da Şekil 4.5'te görüldüğü gibi bulunmuş ve maksimum yer değiştirme miktarı 6,917 mm'dir.

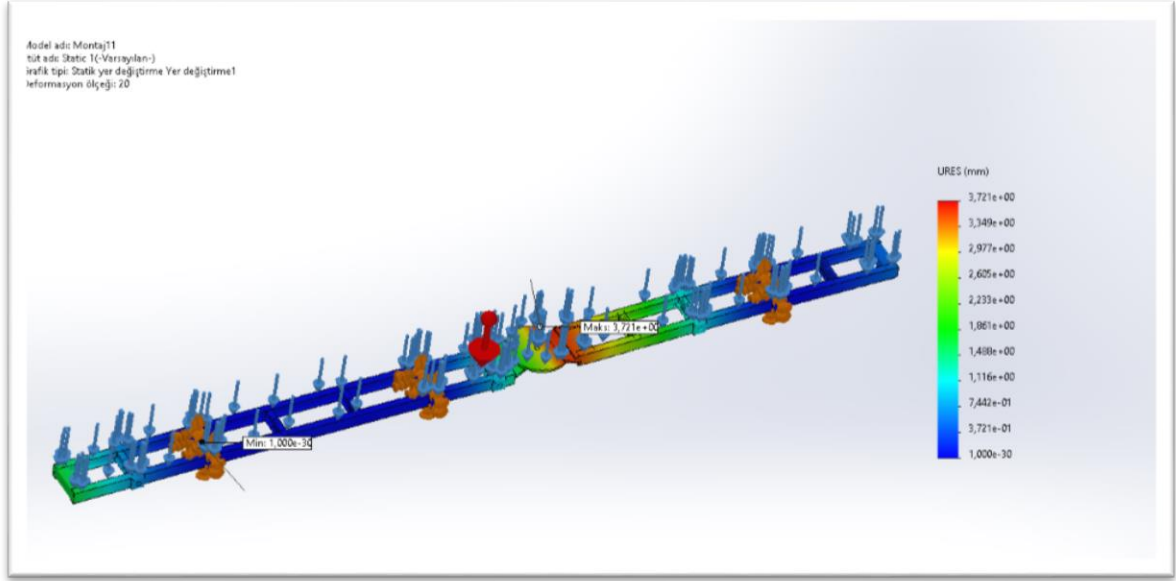


Şekil 4.5 Arka Şasi Yer Değiştirme Miktarı

Son olarak şasinin montajlanmış haline de yapısal analiz yapılmıştır. Maksimum gerilme değeri 206 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 4.6). Maksimum yer değiştirme miktarı da 3,72 mm'dir. Şasinin beklenilenin de üstünde dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.6 Şasi Von Mises Gerilmesi

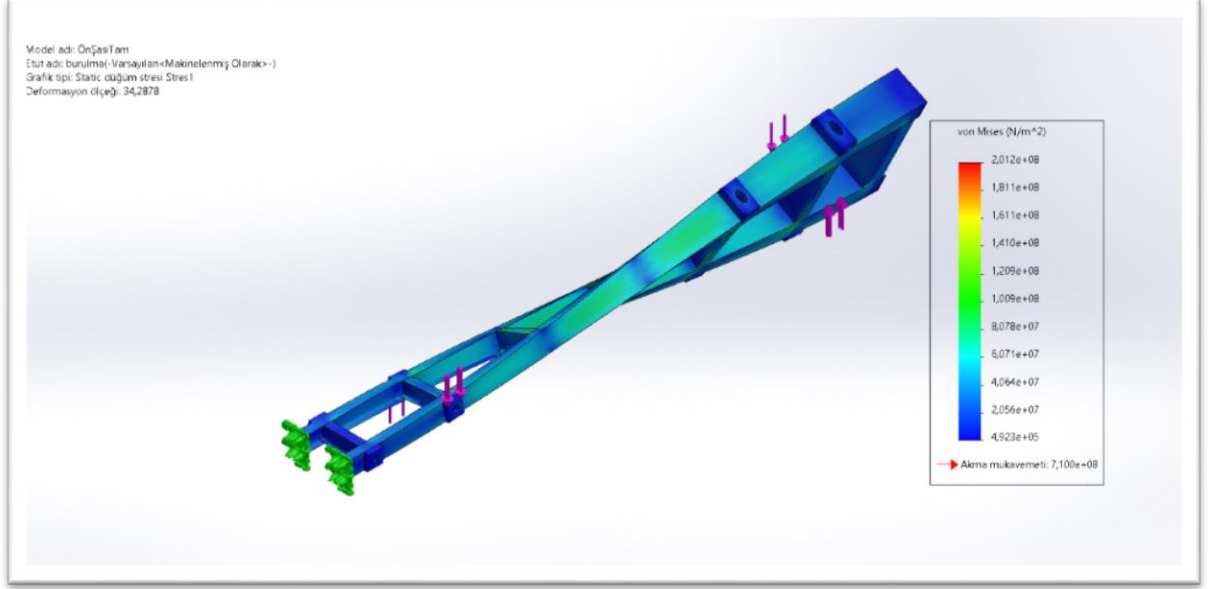


Şekil 4.7 Yer Değıştirme Miktarı

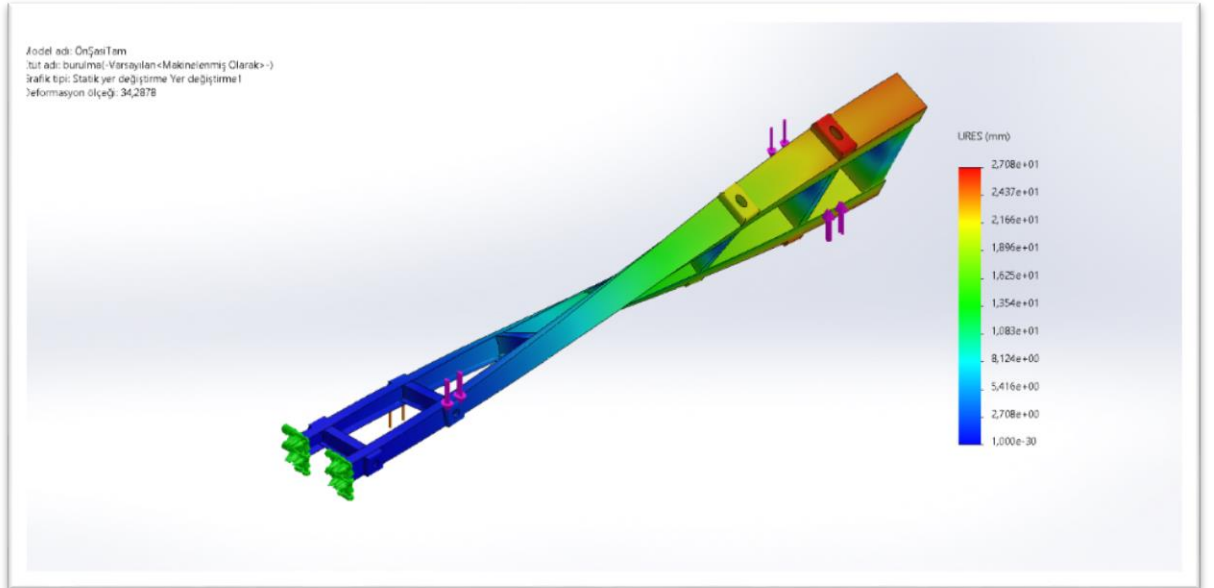


## BURULMA ANALİZİ

Burulma analizi sonucunda ön şaside 202 MPa maksimum gerilme (Şekil 4.8) ve 27 mm maksimum yer değiştirme (Şekil 4.9) meydana gelmiştir.

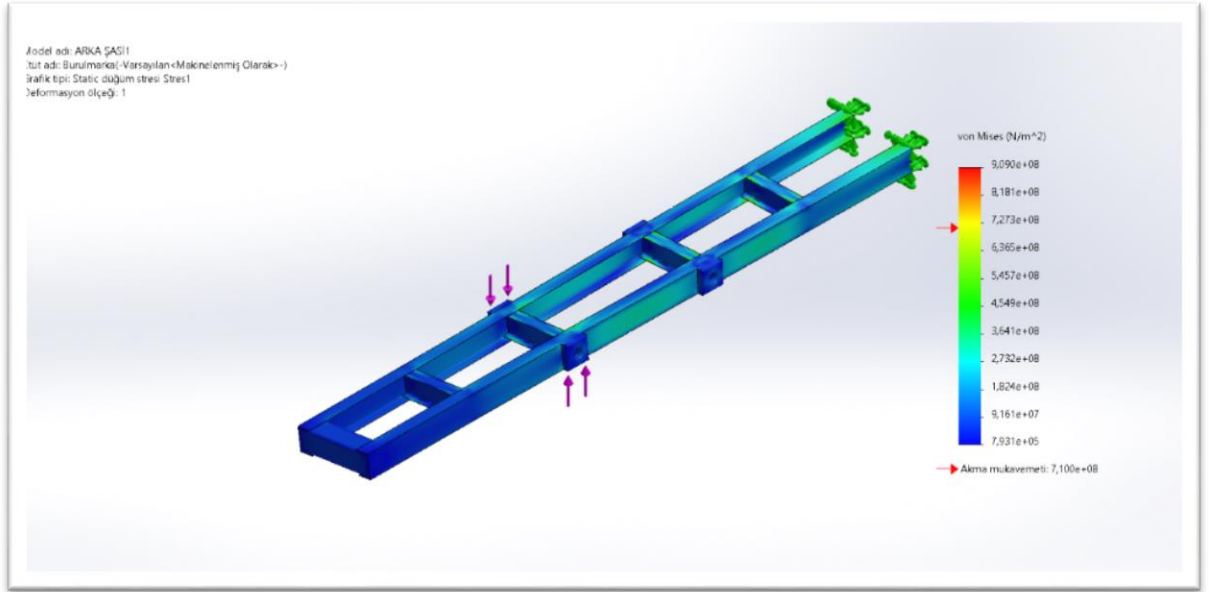


Şekil 4.8 Ön Şasi Von Mises Gerilme Değeri Abartılı Gösterim

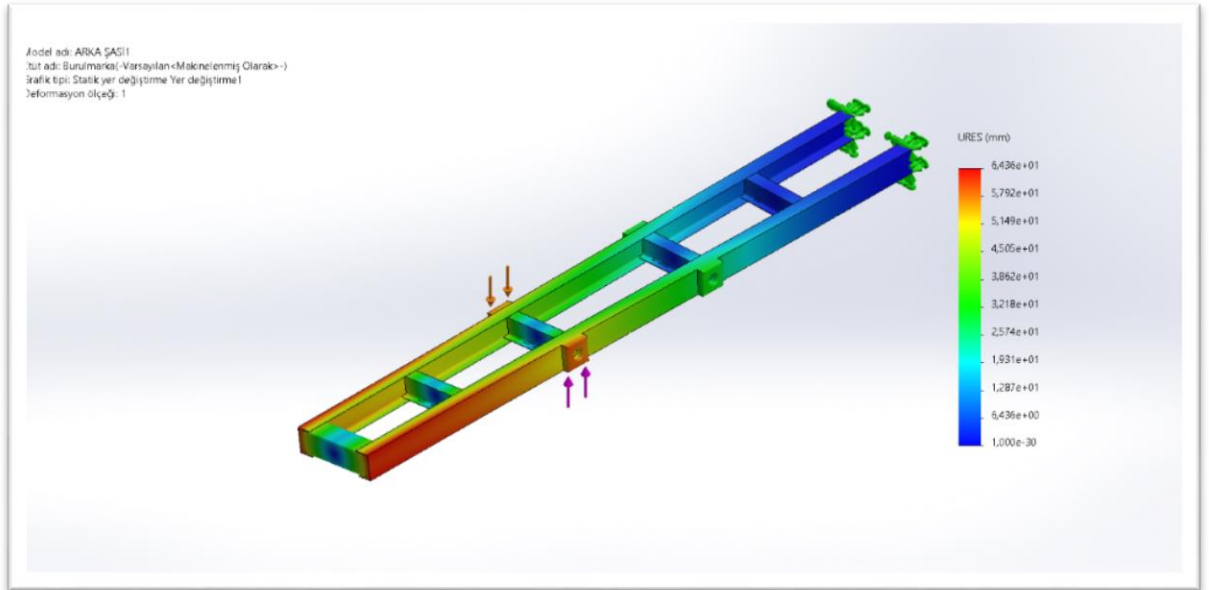


Şekil 4.9 Ön Şasi Maksimum Yer Değiştirme Miktarı Abartılı Gösterim

Arka şasi burulma analizinde ise elde edilen sonuçlara göre maksimum gerilme 910 MPa (Şekil 4.10), maksimum yer değiştirme ise 64mm olarak bulunmuştur (Şekil 4.11). Gerilme değeri akma mukavemetini geçmektedir. Sonucun böyle çıkmasında ihmallerimiz ve varsayımlarımız etkilidir.

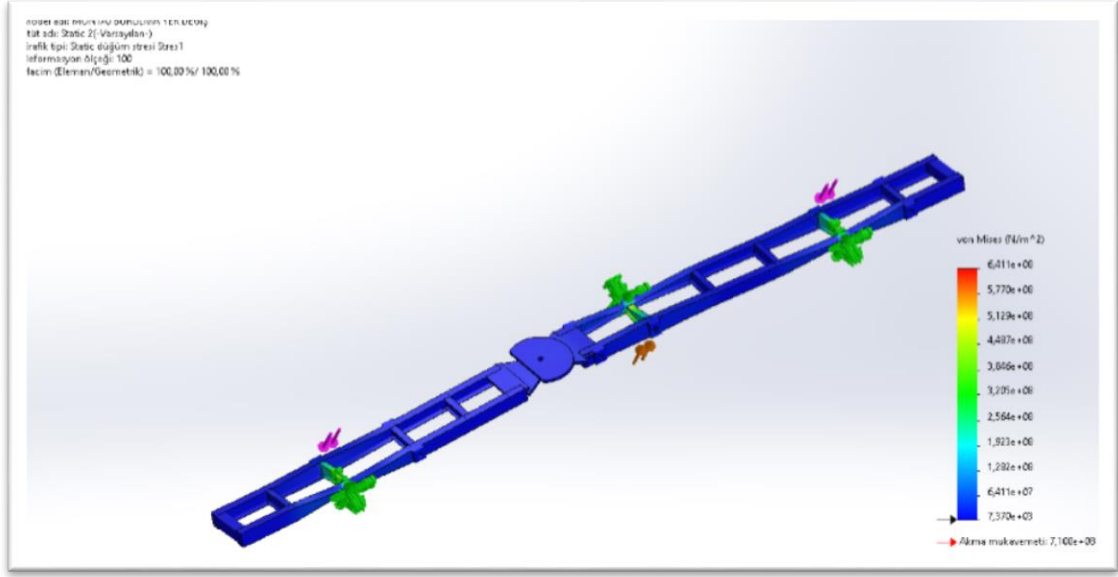


Şekil 4.10 Arka Şasi Burulma Von Mises Gerilmesi Gerçekçi Görünüm

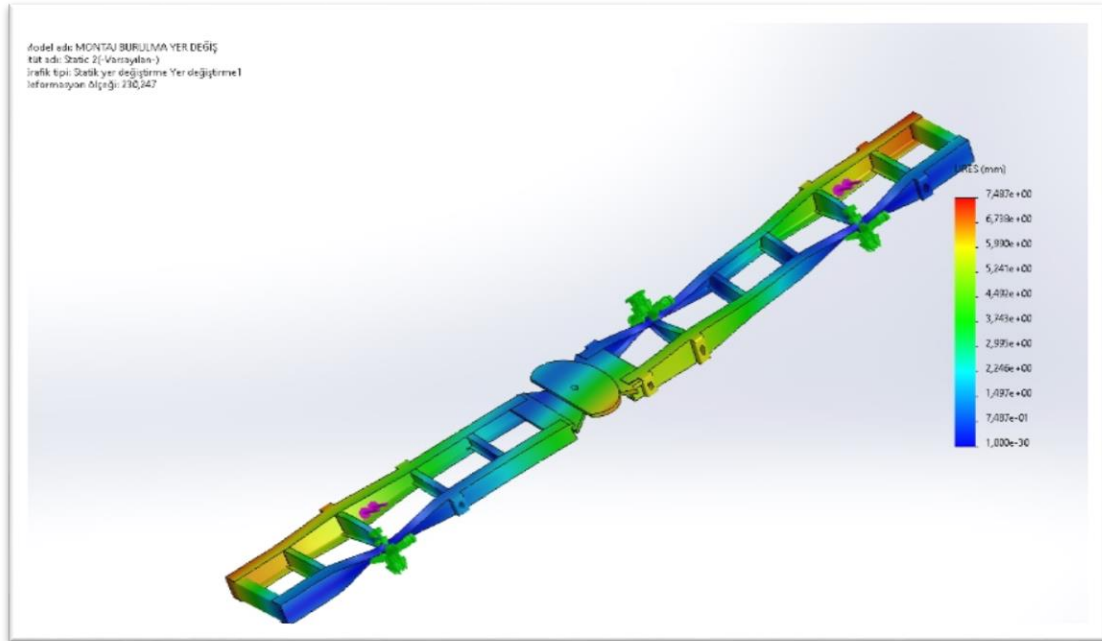


Şekil 4.11 Arka Şasi Burulma Maksimum Yer Değiştirme Miktarı Gerçekçi Görünüm

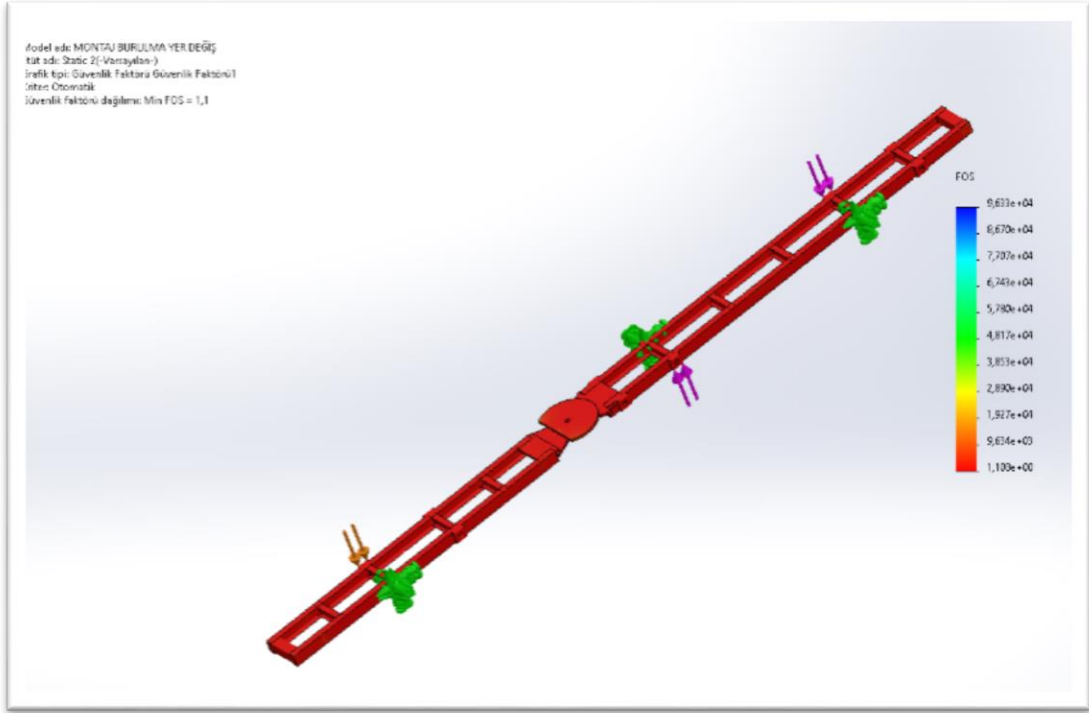
Şasinin tam halinde yapılan burulma analizi sonucunda da Maksimum gerilme 641,1 MPa olup maksimum yer değıştirme miktarı ise 7,5 mm'dir. Şekil 4.12'de Burulma analizinin şaside oluşturduğu Von Mises gerilmesi görölmektedir. Uygulanan kuvvet sonucunda oluşan yer değıştirme miktarı ise Şekil 4.13'te gösterilmektedir. En son da şasinin emniyet katsayısı da 1,11 olarak hesaplanmış ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Şaside Burulma Analizi Sonucu Oluşan Von Mises Gerilmesi



Şekil 4.13 Burulma Analizi Sonucu Oluşan Maksimum Yer Değıştirme Miktarı



Şekil 4.14 Burulma Analizleri Sonucu Hesaplanan Emniyet Katsayısı

## 5-SONUÇLAR:

Araca gelen kuvvetler doğrultusunda aerodinamik direnç katsayısı  $C_D=0.652$  olarak bulunmuştur. Bu değer, 0.6 ile 0.7 arasında olduğundan tasarım aerodinamik direnç katsayısı ( $C_d$ ) cinsinden uygundur. Yapılan analiz sonucunda şasinin üstünde 206 MPa gerilme oluşmuş olup, 3.721 mm yer değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu değer düşük olmasının sebeplerinden birisi seçilen şasi malzemesinin akma mukavemetinin yüksek olmasıdır. Bundan dolayı da şasi beklenilenden fazla dayanıklı çıkmıştır. Oluşan gerilme malzemenin akma gerilme olan 710 MPa değerini geçmediği için güvenli olduğu belirlenmiştir. Burulma analizinde ön orta ve arka kısımlardaki dingillerin bir tarafı sabit tutulmuş olup karşılarına zıt yönlü kuvvetler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda maksimum gerilmenin 641.1 MPa, maksimum yer değiştirmenin ise 7.5 mm olduğu gözlemlenmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161026-3.htm>
- [2] <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=24299&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>
- [3] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/08/20140814-8.pdf>
- [4] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/08/20140814-8.pdf>
- [5] Hüseyin Serdar, Y. ve Hamit, S. (2023). Gövde Tasarımı ve İmalatı Ders Notu. Ankara: Gazi Üniversitesi
- [6] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161026-3.htm>
- [7] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/08/20140814-8.pdf>
- [8] <https://tr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/CATIA>
- [10] Hasan Serdar, Y. ve Hamit, S. (2023). Gövde Tasarımı ve İmalatı Ders Notu. Ankara: Gazi Üniversitesi
- [11] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu\\_elemanlar\\_y%C3%B6ntemi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_y%C3%B6ntemi)
- [12] <https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/trafik/hizsinirlari.aspx>
- [13] <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaet/issue/7973/104626>
- [14] [https://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12462/1579/Tayfur\\_Kerem\\_Demircio%C4%9Flu.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12462/1579/Tayfur_Kerem_Demircio%C4%9Flu.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [15] <https://www.saglammetal.com/tr/celik/diger-celikler/16582-34crnimo6-islah-celigi#:~:text=4340%20Islah%20%C3%A7eli%C4%9Fi%2C%20nikel%2C%20krom,%C3%A7ok%20y%C3%B6nl%C3%BC%20bir%20%C4%B1slah%20%C3%A7eli%C4%9Fidir.>
- [16] Atıl, D. (1999). Bir Kamyon Şasisinin Burulma Analizi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi
- [17] <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaet/issue/7973/104626>