

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Y 32 BOJİSİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ STATİK
VE DİNAMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Müh. Mehmet İskender ÖZSOY

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Abdullah MİMAROĞLU

Ağustos 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Y 32 BOJİSİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ STATİK
VE DİNAMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

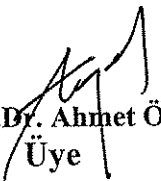
Makine Müh. Mehmet İskender ÖZSOY

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 06 / 08 / 2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Abdullah MİMAROĞLU
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Vahdet UÇAR
Üye


Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZEL
Üye

ÖNSÖZ

Gelişmiş ülkelerde yıllardır süregelen toplu taşıma alışkanlığını ülkemizde de yaygınlaştırmak için demiryollarına ve demiryolu araçlarına bir takım iyileştirmelerin yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle yolcu güvenliğini ve konforunu en üst düzeyde tutmak amacıyla gelişen bilgisayar yazılımlarının yardımıyla demiryolu araçlarına değişik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada basitleştirilmiş bir yolcu vagonu bojisine bilgisayar destekli hesaplama yöntemleri uygulanmıştır.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Abdullah MİMAROĞLU' na, gerekli teknik bilgileri elde etmemi sağlayan Tüvasaş A.Ş. boji sorumlusu Makine Müh. Sayın Orhan AYDEMİR' e, Tüvasaş A.Ş Arge dairesinden Makine Mühendisi Sayın Tacettin TURAN' a ve Makine Mühendisi Sayın Gökhan YILMAZ' a, ayrıca yükseköğretim dönemim boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat ÖZSOY' a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma SAÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN TANITILMASI.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. UIC Hakkında Bilgi.....	2
1.3. TÜVASAŞ Hakkında Bilgi.....	3
1.4. Yolcu Vagonunun Tanımı.....	4
1.4.1.Vagon gövdesi.....	4
1.5. Tüvasaşta üretilen Vagon Çeşitleri.....	5
1.5.1. TVS 2000 Serisi.....	5
1.5.1.1. Yemekli vagon.....	5
1.5.1.2. Pulman vagon.....	6
1.5.1.3. Kuşetli vagon.....	7
1.5.1.4. Yataklı vagon.....	8
1.5.1.5. Kompartımanlı vagon.....	9
1.5.2. M serisi.....	9
1.5.2.1. M 10 pulman vagon.....	9
1.5.2.2.M 70 yemekli vagon.....	10
1.5.2.3.M 80 bedensel engelliler için pulman vagon.....	11

1.5.3. Diğer ürünler.....	13
1.5.3.1. Sakarya ray otobüsü.....	13
1.5.3.2. Dizel tren set.....	13
1.5.3.3. Jeneratör vagon.....	14
1.5.3.4. Konferans vagon.....	15
1.5.3.5. Bursaray.....	16
1.6. Y 32 Bojisi.....	16
1.7. Literatür İncelemesi.....	17
BÖLÜM 2.	
BOJİNİN GENEL YAPISININ İNCELENMESİ.....	24
2.1. Bojinin Genel Tanımı.....	24
2.2. Bojiyi Oluşturan Elemanlar.....	25
2.2.1. Şasi.....	26
2.2.2. Birincil süspansiyon.....	27
2.2.3. İkincil süspansiyon.....	28
2.2.4. Boji ve vagon sandığı bağlantısı.....	29
2.2.5. Darbelerin absorpsiyonu.....	30
2.2.6. Boji hareketi.....	30
2.2.7. Yalpa önleme tertibatı.....	31
BÖLÜM 3.	
TESTLERİN TANIMLARI.....	32
3.1. Giriş.....	32
3.2. UIC 515-4 Statik Hesaplamaları.....	32
3.2.1. Yüklemelerin tanımı.....	32
3.3. Vagon Dinamiği.....	36
3.3.1. Modal analiz ve doğal frekansın kavramı.....	37
BÖLÜM 4.	
MODELLEME VE SONLU ELEMAN ANALİZLERİ.....	39
4.1. Giriş.....	39
4.2. Pro Engineer ve ANSYS Yazılımları.....	39

4.3. Bojinin Katı Modelinin Oluşturulması.....	40
4.4. Sonlu Elemanlar Metodu.....	42
4.5. Modelin Sonlu Elemanlar Yazılımına Aktarılması.....	45
4.5.1. Bağlantıların tanımlanması.....	46
4.5.2. ANSYS yazılımında modele eklenen yay ve amortisörlerin katsayıları.....	48
4.6. Statik Analizler.....	49
4.6.1. 1. No'lu analiz.....	50
4.6.2. 2. No'lu analiz.....	51
4.6.3. 3. No'lu analiz.....	53
4.6.4. 4. No'lu analiz.....	54
4.6.5. 5. No'lu analiz.....	56
4.6.6. 6. No'lu analiz.....	57
4.6.7. 7. No'lu analiz.....	59
4.6.8. 8. No'lu analiz.....	60
4.6.9. 9. No'lu analiz.....	62
4.7. Modal Analiz.....	64
4.7.1. Modlara göre bojinin hareketleri.....	65
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	79

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	:Yalpalama katsayısı
b	: Zıplama katsayısı
c	: Sönüm katsayısı
$[D]$: Büyüklük alan vektörü
E	: Elastisite modülü
f_n	: Doğal frekans
F_o	: Sabit kuvvet
$F(t)$: Zamana bağlı kuvvet
g	: Yerçekimi ivmesi
k	: Yay katsayısı
$k_{eş}$: Eşdeğer yay katsayısı
K	: Rijitlik matrisi
m	: Kütle
m^+	: Boji kütlesi
m_c	: Test yükü
m_{vom}	: Boş araç kütlesi
(P)	: Tümel kuvvet vektörü
T	: Periyot
x	: Yer değiştirme
\dot{x}	: Hız
\ddot{x}	: ivme
ν	: Poisson oranı
(δ)	: Düğüm noktasındaki yer değiştirme
ζ	: Sönüm oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	TVS 2000 yolcu vagonu.....	4
Şekil 1.2.	Parçalarına ayrılmış halde vagon gövdesi elemanları.....	4
Şekil 1.3.	Yemekli vagon.....	5
Şekil 1.4.	Pulman vagon.....	6
Şekil 1.5.	Kuşetli vagon	7
Şekil 1.6.	Yataklı vagon.....	8
Şekil 1.7.	Kompartımanlı vagon.....	9
Şekil 1.8.	M 10 Pulman vagon.....	10
Şekil 1.9.	M 70 Yemekli vagon.....	11
Şekil 1.10.	Dizel tren set.....	14
Şekil 1.11.	Jeneratör vagon.....	14
Şekil 1.12.	Y 32 bojisi.....	16
Şekil 2.1.	Y 32 bojisi.....	24
Şekil 2.2.	Y 32 bojisi ve elemanları.....	26
Şekil 2.3.	Şasi.....	27
Şekil 2.4.	Birincil süspansiyon.....	28
Şekil 2.5.	İkincil süspansiyon.....	29
Şekil 2.6.	Boji - vagon sandığı bağlantısı.....	30
Şekil 2.7.	Boji hareketi.....	31
Şekil 2.8.	Yalpa önleme tertibatı.....	31
Şekil 3.1.	Boji şasesine yük uygulanışı.....	33
Şekil 3.2.	Altı serbestlik dereceli vagon hareketi.....	36
Şekil 3.3.	Bir titreşim sistemi	37
Şekil 4.1	Boji montaj modeli.....	41
Şekil 4.2.	Sonlu elemanlar yönteminde düğümler.....	42
Şekil 4.3.	Ansysis workbench ortamında model.....	45

Şekil 4.4.	Ansys workbench ortamında mesh halindeki model.....	46
Şekil 4.5.	Buatagres-tekerlek takımı döner bağlantısı.....	46
Şekil 4.6.	Buatagres-gövde döner bağlantısı.....	47
Şekil 4.7.	Buatagres-gövde birincil süspansiyon.....	47
Şekil 4.8.	Buatagres-gövde amortisör bağlantısı.....	48
Şekil 4.9.	Sınır şartları.....	49
Şekil 4.10.	Yükler.....	50
Şekil 4.11.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	50
Şekil 4.12.	Toplam yer değiştirme.....	51
Şekil 4.13.	Yükler.....	51
Şekil 4.14.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	52
Şekil 4.15.	Toplam yer değiştirme.....	52
Şekil 4.16.	Yükler.....	53
Şekil 4.17.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	53
Şekil 4.18.	Toplam yer değiştirme.....	54
Şekil 4.19.	Yükler.....	54
Şekil 4.20.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	55
Şekil 4.21.	Toplam yer değiştirme.....	55
Şekil 4.22.	Yükler.....	56
Şekil 4.23.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	56
Şekil 4.24.	Toplam yer değiştirme.....	57
Şekil 4.25.	Yükler.....	57
Şekil 4.26.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	58
Şekil 4.27.	Toplam yer değiştirme.....	58
Şekil 4.28.	Yükler.....	59
Şekil 4.29.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	59
Şekil 4.30.	Toplam yer değiştirme.....	60
Şekil 4.31.	Yükler.....	60
Şekil 4.32.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	61
Şekil 4.33.	Toplam yer değiştirme.....	61
Şekil 4.34.	Yükler.....	62
Şekil 4.35.	Eşdeğer gerilme dağılımı.....	62

Şekil 4.36.	Toplam yer değiştirme.....	63
Şekil 4.37	Mod 4	65
Şekil 4.38	Mod 5	65
Şekil 4.39	Mod 6	66
Şekil 4.40	Mod 7	66
Şekil 4.41	Mod 8	67
Şekil 4.42	Mod 9	67
Şekil 4.43	Mod 10	68
Şekil 4.44	Mod 11	68
Şekil 4.45	Mod 12	69
Şekil 4.46	Mod 13	69
Şekil 4.47	Mod 14	70
Şekil 4.48	Mod 15	70
Şekil 4.49	Mod 16	71
Şekil 4.50	Mod 17	71
Şekil 4.51	Mod 18	72
Şekil 4.52	Mod 19	72
Şekil 4.53	Mod 20	73

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Yemekli vagon teknik özellikleri.....	5
Tablo 1.2.	Pulman vagon teknik özellikleri.....	6
Tablo 1.3.	Kuşetli vagon teknik özellikleri.....	7
Tablo 1.4.	Yataklı vagon teknik özellikleri.....	8
Tablo 1.5.	M 10 pulman vagon teknik özellikleri.....	10
Tablo 1.6.	M 70 yemekli vagon teknik özellikleri.....	11
Tablo 1.7.	M 80 bedensel engelliler için pulman vagon teknik özellikleri....	12
Tablo 1.8.	Sakarya ray otobüsü teknik özellikleri.....	13
Tablo 1.9.	Dizel tren seti teknik özellikleri.....	14
Tablo1.10.	Jeneratör vagon teknik özellikleri.....	14
Tablo1.11.	Konferans vagon teknik özellikleri.....	15
Tablo 2.1.	Y 32 bojsi boyutsal özellikleri.....	25
Tablo 3.1.	Uygulanan yüklemeler.....	34
Tablo 3.2.	Statik yükleme değerleri.....	35
Tablo 3.3.	Taşıt titreşim hareketleri.....	36
Tablo 4.1.	Boji elemanları	41
Tablo 4.2.	Yay katsayıları ve sönüm değerleri.....	48
Tablo 4.3.	St 42 malzeme özellikleri.....	49
Tablo 4.4.	Kauçuk malzeme özellikleri.....	49
Tablo 4.5.	Mod şekilleri ve frekanslar.....	64

ÖZET

Anahtar kelimeler: Demiryolu vagonu, boji, statik analiz, dinamik analiz, modal analiz

Artan rekabet koşulları ve teknolojik gelişmelere paralel olarak ulaşım sektörü çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Bu nedenle diğer ulaşım araçlarına göre ucuz ve güvenli seyahat aracı olarak kullanılan demiryolu araçları ve ekipmanlarında günün şartlarına göre bir takım iyileştirilmelere gidilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak demiryolu vagonu bojisine belirli şartlar altında statik testler uygulanmıştır. Daha sonra bojinin dinamik davranışını incelemek amacıyla serbest halde modal hesaplama yapılmıştır. Simülasyon çalışması için Tüvasaşta üretilen Y 32 bojisinin basitleştirilmiş bir modeli oluşturulmuştur. İlk olarak bojiyi oluşturan elemanların katı modeli CAD programında oluşturulup montaj haline getirilmiştir. Katı modeli oluşturulan boji analizler için, sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenmeler yapan programa aktarılmıştır. Statik testler Uluslararası Demiryolları Birliği UIC 515 - 4 teknik şartnamesine göre yapılmıştır. Bu şartname yolcu vagonu bojileri için statik ve yorulma dayanımı testlerini içermektedir. Bu şartnamede kabul edilebilir şartlar altındaki yüklemelerin tanımları, testlerin uygulanma şartları, uygulanan testlerden elde edilen sonuçlar ve bu test sonuçlarıyla ilgili değerlendirmeler ve alınması gereken önlemler yer almaktadır. Yapılan statik hesaplama sonucunda bojinin UIC 515-4 şartnamesinde belirtilen şartları sağladığı görülmüştür. Modal analiz sonucunda da bojiye ait doğal frekanslar ve mod şekilleri elde edilmiştir.

COMPUTER AIDED STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF A Y 32 BOGIE

SUMMARY

Key words: Railway wagon, bogie, static analysis, dynamic analysis, modal analysis

The transportation sector has been developing fast according to the increased conditions of competition and technological improvements. Therefore railway vehicles, which are cheaper and more reliable than the other vehicles and equipment, need to some technical improvements.

In this study, firstly static tests were applied to a railway bogie under some specific conditions. After these tests, modal calculations were applied to bogie to investigate the dynamic behaviour of bogie. For the simulation, a simplified model of Y 32 bogie were made which manufactured in the Tüvasaş factory. Firstly solid model of the elements of bogie were made in the CAD program then in the same program, these elements were constituted in a assembly model and transferred to a software which make finite element calculations to make analysis. Static tests were made according to the International Union of Railways UIC 515 - 4 technical description. This description contains static and fatigue strength tests for passenger railway car bogies. This description consists of definition of loads under allowable conditions, application conditions of tests, results which obtained from the tests, comments about results of tests and recommendations and precautions. As a result of static calculation, it has been seen that bogie confirmed the conditions in the UIC-515 description and natural frequencies and mode shapes of bogie were obtained from modal analysis.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN TANITILMASI

1.1. Giriş

Ulaşım alanındaki gelişmeler artan rekabet koşulları ve gelişen teknoloji ile birlikte çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Demiryolu sektörünün diğer ulaşım araçlarına göre daha ucuz olması, güvenilir olması ve çevre dostu olması demiryolu araçlarının kullanımını arttırmasına rağmen diğer ulaşım araçlarındaki konfor imkânlarının demiryolu araçlarındaki eksikliği ise bu araçlara olan talebi olumsuz yönde etkilemektedir. Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan toplu taşıma alışkanlığını ülkemizde de yaygınlaştırmak için demiryollarına ve demiryolu araçlarına bir takım iyileştirmelerin yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle gelişen bilgisayar yazılımlarının yardımıyla demiryolu araçlarına değişik çalışmalar yapılmaktadır. Bunlar başlıca olarak günümüzde yolcu konforunu en yüksek seviyede tutmak için gerekli olan titreşim ve gürültünün en alt seviyeye indirilmesi, yolcuların bulunduğu kabin içindeki iklim kontrolünün optimum seviyede tutulması, vagon elemanlarının güvenilirliğinin kontrol edilmesi şeklinde sayılabilir.

Boji, tekerlek takımı ve vagon arasında bağlantılı olduğundan, vagon ve tekerlekler arasındaki direkt etkilere maruz kalır. Hareket halindeki bir bojideki bu etkiler statik etkilere ilave olarak bir de dinamik etkiler olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bir demiryolu vagonu bojisi seyir halindeki yolcuların güvenli ve konforlu seyahat edebilmeleri için gereken en iyi şartları içermelidir.

Bu çalışmada demiryolu vagonunun bojisine belirli şartlar altında statik ve dinamik testler uygulanmıştır. Simülasyon çalışması için Tüvasaşta üretilen Y 32 bojisinin basitleştirilmiş bir modeli oluşturulmuştur. İlk olarak bojiyi oluşturan elemanların katı modeli CAD programında oluşturulmuştur daha sonra bu elemanlar aynı programın içinde montaj modeli haline getirilmiştir ve analizi yapılmak üzere sonlu

elemanlar yöntemi ile çözümlenmeler yapan yazılıma aktarılmıştır. Statik testler Uluslararası Demiryolları Birliği UIC 515 - 4 teknik şartnamesine göre yapılmıştır. Bu şartname yolcu vagonu bojileri için statik ve yorulma dayanımı testlerini içermektedir. Bu şartnamede kabul edilebilir şartlar altındaki yüklemelerin tanımları, testlerin uygulanma şartları, uygulanan testlerden elde edilen sonuçlar ve bu test sonuçlarıyla ilgili değerlendirmeler ve alınması gereken önlemler yer almaktadır.

1.2. UIC Hakkında Bilgi

UIC (International Union of Railways) Uluslararası Demiryolları Birliği demiryolları ve raylı taşımacılıktaki gelişmeler arasındaki uluslararası işbirliği için 1922 yılında kurulmuş dünya çapındaki bir organizasyondur. UIC' nin ilk kuruluş amacı özellikle uluslar arası trafik şartları altındaki demiryolu yapısını ve operasyonlarını standartlaştırmak ve koşullarını geliştirmektir.

2005 yılında UIC özellikle demiryollarının liberalleşmesi ile diğer alternatiflerden dolayı artan rekabet, demiryolları üzerindeki büyüyen ekonomik kısıtlamalar ile birlikte demiryolları için yeni fırsatlar üreten ulaşım pazarının globalleşmesinin getirdiği rekabet gibi yeni koşullarla başa çıkmak için yeni bir form halini almıştır. 2006 yılından itibaren UIC' nin görevi sürdürülebilir gelişme ve ulaşım rekabetini karşılamak için raylı taşımacılığın dünya seviyesinde gelişmesini içermektedir.

Bu amaçla UIC; yapıları standartlaştırmak için şartnameler ve standartlar sunmak, demiryolu birliklerinin çalışmasını desteklemek için teknik bir platform olarak görev yapmak, temel teknik görevlerle uyumlu uluslararası demiryolu işbirliği projelerine öncülük etmek, üyeleri için ayrılmış genel maddeleri ve tavsiyeleri belirtmek, hükümetler arası organizasyonlar ile ve demiryollarıyla işbirliği içerisinde olan veya ulaşım konularında sorumlu diğer dış organizasyonlar ile sonuçlayıcı anlaşmalar yapmak gibi görevlerle sorumludur.

UIC' nin genel merkezi Fransa, Paris'te olmak üzere demiryolları, ray operatörleri, altyapı yöneticileri, demiryolu servis tedarikçileri, toplu taşıma şirketleri gibi gruplardan oluşan 201 üyeye sahiptir [1].

1.3. TÜVASAŞ Hakkında Bilgi

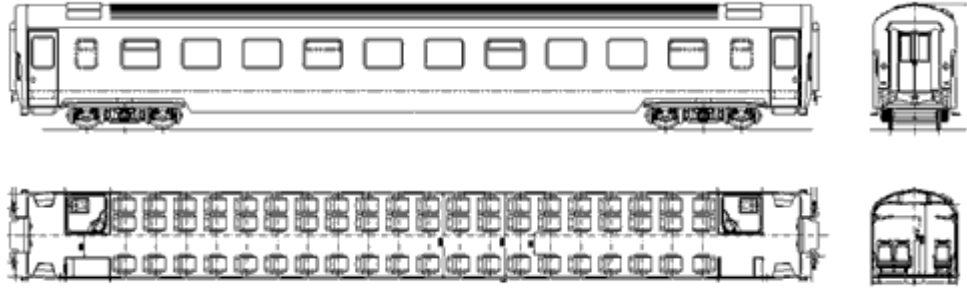
TCDD, yük ve yolcu vagonlarının tamirlerinin yapılması amacı ile 1951 yılında işletmeye açılan bugünkü TÜVASAŞ tesislerinin ilk atölyelerini “Vagon Tamir Atölyesi” adı altında Adapazarı’nda kurmuştur. Vagon Tamir Atölyesi kuruluş amacına uygun olarak 10 yıl boyunca hizmet vermiştir. 1961 yılından itibaren Adapazarı Demiryolu Fabrikası olarak hizmete devam eden tesislerde, PTT Genel Müdürlüğü’nün siparişi üzerine 1962 yılında ilk defa vagon üretimi yapılmıştır. 1975 yılından itibaren “Adapazarı Vagon Sanayii Müessesesi” (ADVAS) olarak faaliyetlerine devam etmiştir. 233 Sayılı Kanun Hükmü’nde Kararname gereğince bugünkü statüsüne 1986 yılında ulaşan Türkiye Vagon Sanayii Anonim Şirketi (TÜVASAŞ) yolcu vagonları ve elektrikli dizi imalatlarının yanı sıra, araştırma geliştirme faaliyetleri ve mühendislik hizmetleri konularında da ileri atılımlar yaparak yeni projeler üretmeye başlamıştır.

TÜVASAŞ bugün 80.371 m² si kapalı alan olmak üzere toplam 360.000 m² alanda faaliyetlerini sürdüren son teknolojileri kullanan dinamik bir kuruluştur. Yıllık 100 vagon imalat ve 700 vagon onarım kapasitesine sahip bulunmaktadır. Hem sermayedarı, hem de tek müşterisi konumunda olan TCDD için, şimdiye kadar 1901 yolcu vagonu imalatı ile 33500’ün üzerinde yolcu vagonu bakım, onarım, yenileme ve modernizasyon çalışması yapmıştır [2].

1.4. Yolcu Vagonunun Tanımı

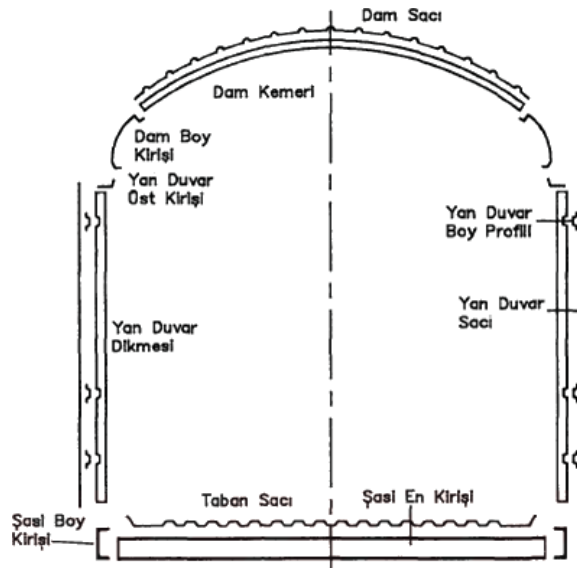
Bir yolcu vagonu demiryolu rayları üzerinde hareket eden, araç gövdesi ve bojiler olmak üzere iki ana gruptan meydana gelen bir yapıdır.

1.4.1. Vagon gövdesi



Şekil 1.1. TVS 2000 Yolcu Vagonu [2]

Vagon gövdesi yolcuların taşındığı bölümdür. İki adet boji üzerine oturtulur. Vagon gövdesi korozyona karşı dayanıklı malzeme kullanılarak hafif yapıda kaynaklı çelik konstrüksiyon olarak üretilmiştir. Sac plakaların kiriş elemanlarının üzerine kaynatılması sonucu vagon gövdesi elde edilir. Kaynak işleminden sonra araç gövdesi kumlama tekniği ile temizlenerek epoksi perimer boya ile boyanıp iç yüzeyler ve taban sacı özel izolasyon malzemeleri ile kaplanır [3].



Şekil 1.2. Parçalarına Ayrılmış Halde Vagon Gövdesi Elemanları [4]

1.5. Tüvasaşta Üretilen Vagon Çeşitleri

1.5.1. TVS 2000 serisi

1.5.1.1. Yemekli vagon

TÜVASAŞ tarafından tasarlanan TVS 2000 yemekli vagon, TVS 2000 serisi yolcu vagon ailesinin bir üyesidir. Yolcu bölmesine ergonomik olarak tasarlanmış 14 adet yemek masası ve 55 yolcu kapasitesi vardır. Korozyon, ısı ve ses yalıtımı yapılmıştır. Vagon tam otomatik iklimlendirme sistemi ile donatılmıştır. Mutfak bölümü aspiratörler vasıtasıyla etkin bir şekilde havalandırılmaktadır. Mutfak teçhizatının imalatında hijyenik şartları sağlamak amacıyla paslanmaz çelik kullanılmıştır. Mutfak bölümündeki ekipmanların rahat kullanımını sağlamak amacıyla ergonomik bir yerleştirme yapılmıştır. 160 km/h hıza uygun imal edilmiş çift kademeli düşey süspansiyon sistemine sahip Y 32 bojileri kullanılmıştır [2].



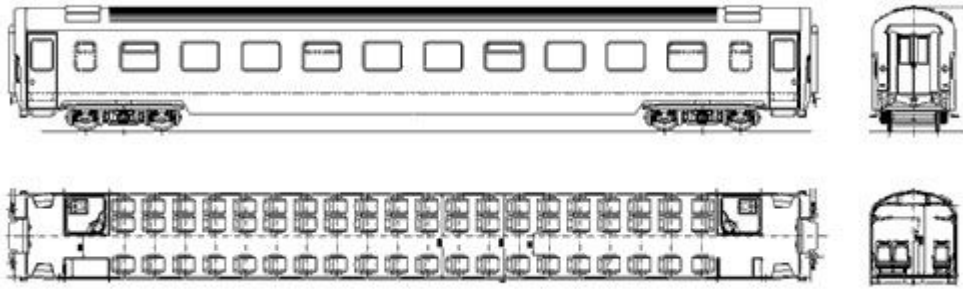
Şekil 1.3. Yemekli Vagon [2]

Tablo 1.1. Yemekli vagon teknik özellikleri [2]

Ray açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona vagon boyu	26400 mm
Boji göbek eksenleri arası mesafe	19000 mm
Vagon genişliği	2825 mm
Vagon yüksekliği	4050 mm
Dış Kapılar	Pnematik kayar kapı
Boji	Y 32
Oturma Yer Sayısı	55
İklimlendirme Sistemleri	Isıtma: 40 KW, Soğutma: 35 KW, Taze hava: 1200 m ³ /h

1.5.1.2. Pulman vagon

TÜVASAŞ tarafından tasarlanan TVS 2000 pulman vagon, serisinin ilk örneğidir. Hafif yapıda kaynaklı çelik konstrüksiyon olarak üretilmiştir. Korozyon, ısı ve ses izolasyonu yapılmıştır. İç dekorasyonda modüler tasarım anlayışı ile üretilmiş SMC kaplama panelleri kullanılmıştır. Koltuklar uzun yolculuklarda yolcu konforunu sağlayacak şekilde ergonomik olarak tasarlanmıştır. Yolculuk sırasında bilgi vermek ve müzik dinletmek amacıyla müzik yayın sistemi mevcuttur. Vagon tam otomatik iklimlendirme sistemi ile donatılmıştır. 160 km/h hıza uygun imal edilmiş çift kademeli dikey süspansiyon sistemine sahip Y 32 bojileri kullanılmıştır [2].



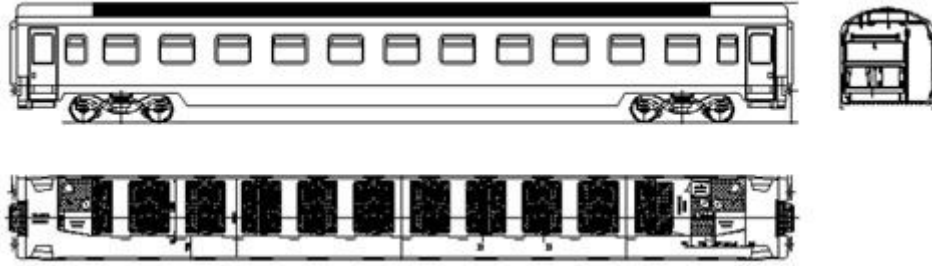
Şekil 1.4. Pulman Vagon [2]

Tablo 1.2. Pulman vagon teknik özellikleri [2]

Ray açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona vagon boyu	26400 mm
Boji göbek eksenleri arası mesafe	19000 mm
Vagon genişliği	2825 mm
Vagon yüksekliği	4050 mm
Dış Kapılar	Pnematik kayar kapı
Boji	Y 32
Oturma Düzeni	2+1
Oturma Yer Sayısı	60
İklimlendirme Sistemleri	Isıtma: 40 KW, Soğutma: 35 KW, Taze hava: 1200 m ³ /h

1.5.1.3. Kuşetli vagon

TÜVASAŞ tarafından tasarlanan TVS 2000 kuşetli vagon, TVS 2000 serisi yolcu vagon ailesinin bir üyesidir. Hafif yapıda kaynaklı çelik konstrüksiyon olarak üretilmiştir. Korozyon, ses izolasyonu yapılmıştır. İç dekorasyonda modüler tasarım anlayışı ile üretilmiş SMC kaplama panelleri kullanılmıştır. Vagon 10 yolcu kompartımanı ve 1 personel kompartımanından oluşmaktadır. Her yolcu kompartımanı 4 yolcu kapasitelidir. Ergonomik olarak tasarlanmış yataklar, uzun yolculuklarda rahat bir yolculuk sağlamak amacıyla gece yatak, gündüz koltuk haline gelebilecek özelliindedir. Maksimum yolcu konforunu sağlamak amacıyla, vagon tam otomatik iklimlendirme sistemi ile donatılmıştır. 160 km/h hıza uygun imal edilmiş çift kademeli düşey süspansiyon sistemine sahip Y 32 bojileri kullanılmıştır [2].



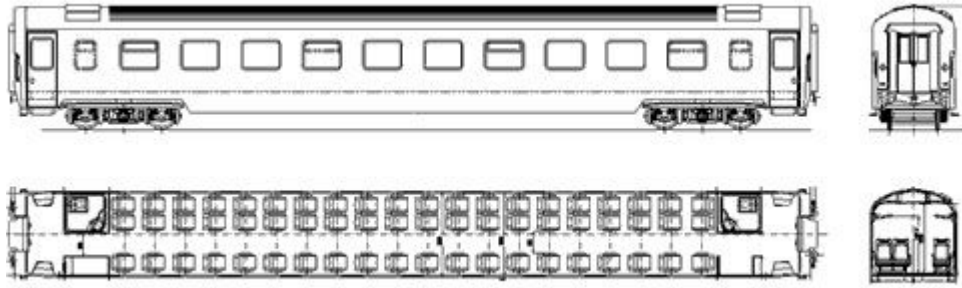
Şekil 1.5. Kuşetli Vagon [2]

Tablo 1.3. Kuşetli vagon teknik özellikleri [2]

Ray açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona vagon boyu	26400 mm
Boji göbek eksenleri arası mesafe	19000 mm
Vagon genişliği	2825 mm
Vagon yüksekliği	4050 mm
Dış Kapılar	Pnomatik kayar kapı
Boji	Y 32
Kompartıman Sayısı	10
Oturma/Kuşet Sayısı	40/40
İklimlendirme Sistemleri	Isıtma: 40 KW, Soğutma: 35 KW, Taze hava: 1200 m ³ /h

1.5.1.4. Yataklı vagon

TÜVASAŞ tarafından tasarlanan TVS 2000 yataklı vagon, TVS 2000 serisi yolcu vagonlarının bir üyesidir. Hafif yapıda kaynaklı çelik konstrüksiyon olarak üretilmiştir. Korozyon, ısı ve ses izolasyonu yapılmıştır. İç dekorasyonda modüler tasarım anlayışı ile üretilmiş, SMC kaplama panelleri kullanılmıştır. Yataklı vagonlar her kompartımanda 2 adet yolcu olmak üzere 10 yolcu ve 1 personel kompartımanından oluşmuştur. Yataklar uzun yolculuklarda rahat bir yolculuk sağlamak amacıyla gece yatak, gündüz koltuk haline gelebilecek özelliktedir ve maksimum yolcu konforunu sağlamak şekilde ergonomik olarak tasarlanmıştır. 160km/h hıza uygun çift kademeli dişey süspansiyon sistemine sahip Y-32 bojileri kullanılmıştır [2].



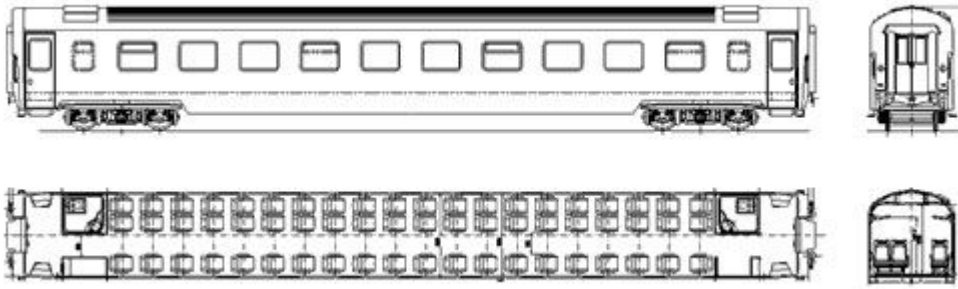
Şekil 1.6. Yataklı Vagon [2]

Tablo 1.4. Yataklı vagon teknik özellikleri [2]

Ray açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona vagon boyu	26400 mm
Boji göbek eksenleri arası mesafe	19000 mm
Vagon genişliği	2825 mm
Vagon yüksekliği	4050 mm
Dış Kapılar	Pnomatik kayar kapı
Boji	Y 32
Kompartıman Düzeni	10
Yatak Sayısı	20
İklimlendirme Sistemleri	Isıtma: 40 KW, Soğutma: 35 KW, Taze hava: 1200 m ³ /h

1.5.1.5. Kompartımanlı vagon

TÜVASAŞ tarafından tasarlanan TVS 2000 kompartımanlı vagon TVS 2000 serisi yolcu vagonlarının bir üyesidir. Hafif yapıda kaynaklı çelik konstrüksiyon olarak üretilmiştir. Korozyon, ısı ve ses izolasyonu yapılmıştır. İç dekorasyonda modüler tasarım anlayışı ile üretilmiş SMC kaplama panelleri kullanılmıştır. Toplam 66 adet yolcu kapasiteli 11 adet kompartıman vardır. Yolculuk sırasında bilgi vermek ve müzik dinletmek amacıyla müzik yayın sistemi mevcuttur. Maksimum yolcu konforunu sağlamak amacıyla, vagon tam otomatik iklimlendirme sistemi ile donatılmıştır. 160 km/h hıza uygun imal edilmiş çift kademeli düşey süspansiyon sistemine sahip Y 32 bojileri kullanılmıştır [2].

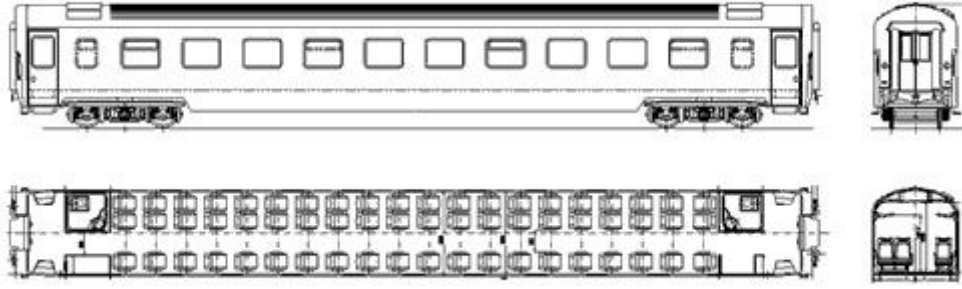


Şekil 1.7. Kompartımanlı Vagon [2]

1.5.2. M serisi

1.5.2.1. M 10 pulman vagon

Modernizasyon projesi yenilenme ihtiyacı olan eski vagonlar için TÜVASAŞ tarafından yürütülmektedir, M10 pulman vagon bu projenin bir üyesidir. Hafif yapıda çelik konstrüksiyon olarak üretilmiştir. Etkin bir korozyon, ısı ve ses izolasyonu yapılmıştır. İç dekorasyonda modüler tasarım anlayışı ile üretilmiş SMC kaplama panelleri kullanılmıştır. Vagon yolcu konforunu sağlayacak şekilde ergonomik olarak tasarlanmış 60 adet koltuklarla donatılmıştır. Yolculuk sırasında bilgilendirmek ve müzik dinletmek amacıyla müzik yayın sistemi vardır. Maksimum yolcu konforunu sağlamak amacıyla, vagon tam otomatik iklimlendirme sistemi ile donatılmıştır. 140 km/h hıza uygun imal edilmiş Schlieren bojileri kullanılmıştır [2].



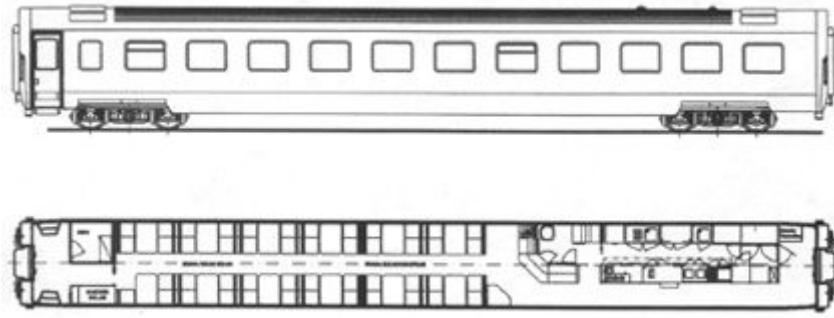
Şekil 1.8. M 10 Pulman Vagon [2]

Tablo 1.5. M 10 pulman vagon teknik özellikleri [2]

Ray açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona vagon boyu	26400 mm
Boji göbek eksenleri arası mesafe	19000 mm
Vagon genişliği	2825 mm
Vagon yüksekliği	4050 mm
Dış Kapılar	Pnomatik kayar kapı
Koltuk Düzeni	2+1
Oturma Yer Sayısı	60
İklimlendirme Sistemleri	Isıtma: 40 KW, Soğutma: 35 KW, Taze hava: 1200 m ³ /h

1.5.2.2. M 70 yemekli vagon

Yolcu bölmesine ergonomik olarak tasarlanmış 14 adet yemek masası ve 55 yolcu kapasitesi vardır. Korozyon, ısı ve ses yalıtımı yapılmıştır. Vagon tam otomatik iklimlendirme sistemi ile donatılmıştır. Mutfak bölümü aspiratörler vasıtası ile etkin bir şekilde havalandırılmaktadır. Mutfak teçhizatının imalatında hijyenik şartları sağlamak amacıyla paslanmaz çelik kullanılmıştır. Mutfak bölümündeki ekipmanların rahat kullanımı sağlamak amacıyla ergonomik bir yerleştirme yapılmıştır. 160 km/h hıza uygun imal edilmiş çift kademeli düşey süspansiyon sistemine sahip Y 32 bojileri kullanılmıştır [2].



Şekil 1.9. M 70 Yemekli Vagon [2]

Tablo 1.6. M 70 yemekli vagon teknik özellikleri [2]

Ray açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona vagon boyu	26400 mm
Boji göbek eksenleri arası mesafe	19000 mm
Vagon genişliği	2825 mm
Vagon yüksekliği	4050 mm
Dış Kapılar	Pnomatik kayar kapı
Boji	Y 32
Oturma Yer Sayısı	47
İklîlendirme Sistemleri	Isıtma: 40 kW, Soğutma: 35 kW, Taze hava: 1200 m ³ /h

1.5.2.3. M 80 bedensel engelliler için pulman vagon

Yan duvarlarda ve damda kullanılan kaplama panelleri; tamir olayını kolaylaştırıcı şekilde modüler tasarım anlayışı ile SMC malzemedен imal edilmiştir. Uzun yolculuklarda, maksimum yolcu konforunu sağlayacak şekilde ergonomik olarak tasarlanmış koltuklar, lastik titreşim yutucular ile tabana bağlanmıştır. Salon bölümünde, (2+1) oturma düzeninde 39 adet koltuk vardır. Vagonun bir başına hijyenik şartlarda alaturka tuvalet mevcuttur. Salon bölümünde ayrıca engelli kullanımı için araba ile durabileceği alan mevcuttur. Engelli yolcu kullanımı için ayrılan bölümde 1 adet özel tasarım WC, engelli yolcunun inip binmesi amacıyla 2 adet otomatik kapı ve iniş biniş rampası mevcuttur. Bu bölümde engelli yolcu refakatçilerinin ve personelin kullanımı için 4 katlanır koltuk mevcuttur. Yolcunun vagona inişini sağlayan rampa operatör tarafından kumanda edilebilmekte, otomatik ve manuel olarak çalıştırılabilmektedir.

Isıtma, havalandırma ve soğutma işlemleri kombine bir iklimlendirme sistemi ile yüksek bir konfor sağlanmaktadır. Seyahat sırasında yolculara bilgi vermek ve müzik dinletmek amacıyla, vagonlar anons ve bir kanallı devre müzik yayın sistemi ile tanıtılmıştır. Elektro-pnömatik giriş kapıları ve alın duvar kapıları kısa ve uzun mesafede tam emniyet sağlamaktadır. Kapı kanatları yüksek mukavemetli alüminyum malzeme ve petek kağıttan hafif yapıda imal edilmiştir. Vagonlar 5 km/hıza ulaştığında yan giriş kapıları içeriden otomatik olarak kilitlemektedir [2].

Tablo 1.7. M 80 bedensel engelliler için pulman vagon teknik özellikleri [2]

Ray Açıklığı	1435 mm
Tapmandan Tampona Vagon Boyu	26400 mm
Boji Göbek Eksenleri Arası Mesafe	19000 mm
Vagon Genişliği	2825 mm
Vagon Yüksekliği	4050 mm
Döşeme Yüksekliği	1250 mm
Hareketli Basamak Yüksekliği	565 mm
Araç Ağırlığı(boş/dolu)	43/48 tons
Dış kapılar	Yan giriş kapısı
Alın Duvar Geçit Kapıları	kapı
Boji	Schlieren
Tekerlek Çapı(Yeni/Aşınmış)	920/870 mm
Minimum Kurp Yarı Çapı	150 m
Servis Freni	Servis Freni
Maksimum Hız	140 kmph
Koltuk Düzeni	2+1
Oturma Yeri Sayısı	39
Aydınlatma Düzeni	Fluorescent(indirect)
İklimlendirme Sistemi	Isıtma: 40 kW, Soğutma: 35kW, Taze hava: 1200m ³ /h
Engelli insanlar için yan giriş kapıları	Pnömatik kayar kapı

1.5.3. Diğer ürünler

1.5.3.1. Sakarya ray otobüsü

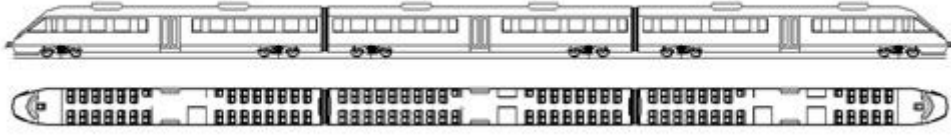
Sakarya ray otobüsü; seyir emniyeti, yolcu konforu, iç dekorasyon ve renk seçiminde elemanlar arasında uyumu esas alan özgün bir anlayışla tasarlanmış ve üretilmiştir [2].

Tablo 1.8. Sakarya ray otobüsü teknik özellikleri [2]

Ray açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona vagon boyu	25190 mm
Boji göbek eksenleri arası mesafe	16400 mm
Vagon genişliği	2850 mm
Vagon yüksekliği	3925 mm
Dış Kapılar	Pnomatik kayar kapı
Motor	6 silindirli, turbo şarjlı. Cummins KTA19R, 2000 rpm, 410 KW (550PS)
İklimlendirme Sistemleri	Tam otomatik iklimlendirme sistemi, Sıcak su; Motor atık ısı ile ısıtılmalı
Toplam Yolcu Kapasitesi	64 adet yolcu koltuğu + 40 adet Ayakta

1.5.3.2. Dizel Tren Set

Dizel Tren Setinin süspansiyon sistemi 1 tahrikli, 1 tahriksiz, ikinci süspansiyon hava yastığı ve birinci süspansiyon metal lastik elemandan oluşmaktadır. 1 tork konverter, 2 akis kaplini, 1 retarder ve geri vites mekanizmasından oluşan transmisyon sistemi vardır. Her iki başta tam otomatik kavramalar, vagonlar arasında yarı otomatik kavramalar vardır. Motor atık ısını kullanarak konvektörler ile ısıtma, ön ısıtma ünitesi yolcu bölmesi iklimlendirme sistemi, sürücü kabini iklimlendirme sisteminden oluşan bir ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemi mevcuttur. Intercooler, üçlü değişken deplasmanlı pompa, alternatörden oluşan bir soğutma sistemi mevcuttur [2]. Diğer teknik özellikleri ise tablo 1.9' da verilmektedir.



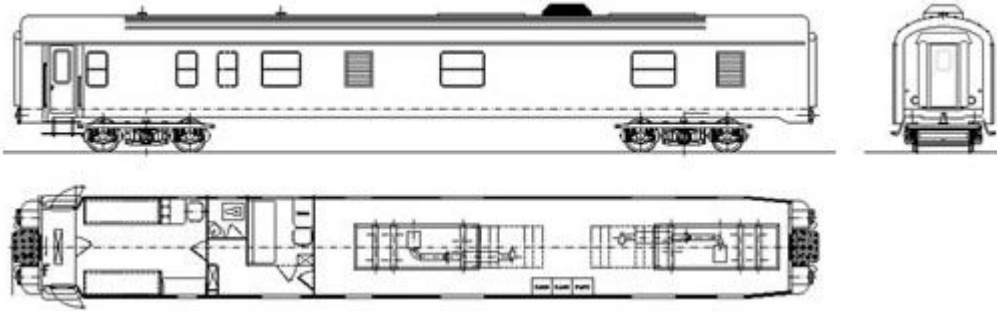
Şekil 1.10. Dizel Tren Set [2]

Tablo 1.9. Dizel tren seti teknik özellikleri [2]

Aks eksenleri mesafesi	2600 mm
Boji eksenleri mesafesi	17500 mm
Aks yükü	16 ton
Tekerlek çapı	920 / 840 (yeni/eski)
Motor gücü	550 kW, 2100 d/d
Emisyon sınıfı	EURO-2
Yakıt tankı kapasitesi	1000 litre

1.5.3.3. Jeneratör vagon

Elektrik hattı olmayan demiryollarında, yolcu vagonlarının enerji ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış ve üretilmiştir. İşletme kolaylığı sağlamaktadır [2].



Şekil 1.11. Jeneratör Vagon [2]

Tablo 1.10. Jeneratör vagon teknik özellikleri [2]

Ray Açıklığı	1435 mm
Tampondan Tampona Vagon Boyu	23000 mm
Boji Göbek Eksenleri Arası Mesafe	1600 mm
Vagon Genişliği	2825 mm
Vagon Yüksekliği	4050 mm
Boji	Y 32 veya Schlieren
Alternatör	SGB 607-4/H, Isbir - Turkey
Çıkış Gücü	2x350 kVA
Çıkış Gerilimi	1000 V, 1phase, 50 Hz

1.5.3.4. Konferans vagon

Seyahat esnasında iş toplantıları düzenlenmesi amacıyla tasarlanmış bu vagon LCD TV, DVD oynatıcı gibi imkânlarla sahiptir. Konferans Vagonun teknik özellikleri tablo 1.11 de verilmiştir.

Tablo 1.11. Konferans vagon teknik özellikleri [2]

Ray Açıklığı	1435mm
Tampondan Tampona Vagon Boyu	26400 mm
Sandık Boyu	26100 mm
Boji Göbek Eksenler Arası	19 000 mm
Vagon Genişliği	2825 mm
Vagon Yüksekliği	4050 mm
Döşeme Yüksekliği	1250 mm
Hareketli Basamak Yüksekliği	565 mm
Dış Kapılar	Elektro-Pronmatik Döner Kayar Kapılar
Dış Kapı Serbest Giriş Açıklığı	800 mm
Alın Duvar Geçit Kapıları	Elektro-Pronmatik Döner Kapılar
Alın Duvar Geçit Kapıları Serbest Giriş Açıklığı	730 mm
Boji	Y-32
Tekerlek Çapı (Yeni/Aşınmış)	920/870 mm
Tekerlik Tipi	Monoblok
Minimum Kurp Yarı Çapı	150 m
Akuplesiz Ve Yüksüz Kurp Yarı Çapı	80 m
Fren	Disk Fren
Fren Ağırlığı	P=74 t.G=56 t.
El fren Ağırlığı	30 t.
Koşum Takımı	CER 02.072.00
Maksimum Hız	160 km/h
Toplantı Salonu Koltuk Sayısı	21
Toplantı Salonu Masa Koltuk Sayısı	26
Konferans Sistemi	Başkan + 13 Üye
Aydınlatma Düzeni	İki Sıra Floresant (Gizli)
WC Sayısı	Alafranga/2 Orient Type
TV-Video Tesisatı	DVD Player +42" Plazma Tv +19" LCD TV
Su Deposu Hacmi	2x285+1x171 Litre
İklimlendirme Sistemi	40 Kw Isıtma- 35 KW Soğutma 1200 m ³ /hTaze Hava

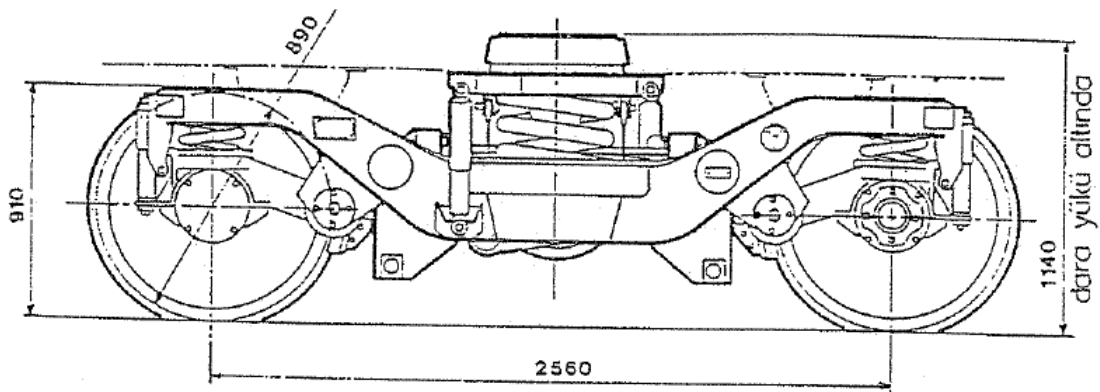
1.5.3.5. Bursaray

Siemens ile ortak üretim çerçevesinde Bursa Büyükşehir Belediyesi için hafif raylı sistem metro aracı imal edilmiştir [2].

1.6. Y 32 Bojisi

Boji, bir vagona hareket kabiliyeti kazandırarak şasi, tekerlek takımları, yay sistemleri, amortisörler ve fren mekanizmaları gibi alt parçalardan oluşan bir yapıdır. Vagon gövdesi boji üzerindeki beşik travers adı verilen yapının üzerine oturtulur.

Y 32 bojisi ara hat (uzun mesafe) vagonlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. TVS 2000 yolcu vagonlarında kullanılan Y 32 bojisi esas olarak Dietrich firması tarafından SNCF firmasının Corail tipi denilen VU ve VTU vagonlarında kullanılması amacıyla 1975 yılında imal edilmeye başlanmıştır. Günümüzde İspanya, Hollanda, Fas, Portekiz, Türkiye gibi birçok ülkede kullanılmaktadır [3].



Şekil 1.12. Y 32 Bojisi [3]

1.7. Literatür İncelemesi

Aba [4], yaptığı çalışmada aracın düşey titreşimlerini inceleyebilmek için bir dinamik eşdeğer sistem modeli geliştirilerek, toplu kütleli ve sürekli elastik çubuk sistem modellerini sönümlü ve sönümsüz haller için incelemiştir. Sürekli elastik çubuk sistem modellemesinde, vagon gövdesini eşit boyda sonlu elemanlara bölerek, düğüm noktalarının yer değişimlerini ve kesit dönmelerini hesaplamıştır. Yaptığı hesaplamalar sonucunda, vagon gövdesinin birinci eğilme modu doğal frekansı, incelediği kaynaklar neticesinde titreşim konforu açısından belirtilen $f_1 \geq 10$ Hz şartını sağlamıştır.

Çakır, Güney ve Dağsöz [5], raylı taşımacılıkta sürüş konforu ve yolcu konforu hesaplama teknikleri ile ilgili bilgiler vermiştir. Termal, titreşim, gürültü gibi konforu birinci dereceden etkileyen faktörlerin sınır değerleri ve bunu sağlayacak tasarım aşamasında alınması gerekli tedbirleri detaylı olarak inceleyerek uygun çözümler önermişlerdir.

Çak [6], vagon bojisi kullanarak yolcu vagonlarının onarım alanına taşıyan transport sistemlerini incelemiş ve yeni bir transport sistemi hesaplaması yapmıştır. Tasarım ve hesaplamaları TCDD'de kullanılan en uzun ve en ağır vagona göre yapmıştır. Transport sisteminin tasarlanması için taşıma güçleri için verilen teknik özelliklere göre transport sistemine koyulacak bojinin Y 32 bojisi olması uygun görülmüştür. Yaptığı çalışmanın sonucunda transport sistemine adaptasyonu için geliştirilen Y 32 bojisini kullanarak yolcu vagonlarının transport sistemi ile onarım alanına taşınmasının maliyet açısından ve zaman tasarrufu açısından uygun olduğunu ortaya koymuştur.

Kırışik [7], demiryolu vagonunun titreşim modelini çıkarmak ve analizini yapabilmek için sistemin diferansiyel denklem takımları şeklindeki hareket denklemlerini çıkarmıştır ve Matlab bilgisayar programında belirli bir 't' anı için çözmüştür. Yaptığı çalışmada ray, elastik zemin ve vagonu üç aşamada ele almıştır. İlk aşamada, ray ve elastik zemin birlikte düşünülüp, literatürden elde edilen sayısal değerler kullanılarak çözülmüştür. İkinci aşamada, vagon plaka olarak modellenmiş

ve analitik çözüm yoluna gidilmiştir. Üçüncü aşamada, vagon ile ray arasındaki tekerlek sistemi, yay ve sönümleyici olarak düşünülüp vagon ve ray üzerine etkisi yardımıyla her iki model beraberce ele alınıp çözülmüştür. Elde edilen sonuçları kaynaklarda verilen sonuçlarla karşılaştırdığında değerlerin gerçek fiziksel değerlere daha yakın olduğunu ortaya koymuştur.

Karayel ve Erel [8], sistem dinamik davranışının modifikasyonu ile seyahat kalitesinin artırılmasını amaçlayarak, raylı araç süspansiyon sisteminin optimum tasarımı ve aktif süspansiyon sisteminin mevcut sisteme adaptasyonu üzerine yaptıkları çalışmalarında ilk önce raylı taşıtlarda oluşabilecek titreşimler ve bunlara sebep olan faktörleri incelemişlerdir. Daha sonra taşıt titreşimlerinin incelenmesinde titreşim konforu bakımından göz önünde bulundurulması gereken kriterleri belirtmişlerdir ve taşıt titreşimlerinin kontrolü için ve dinamik simülasyonun yapılabilmesi için süspansiyon sistemlerini incelemişlerdir. Titreşim konforunun iyileştirilmesinin gelişmiş süspansiyon sistemlerine sahip bojilerin kullanılması ile mümkün olacağı sonucuna varmışlardır. Bunun için de uygun süspansiyon sistemi kullanılmasının gerekli olduğunu ve dinamik kuvvetlerin taşıta geçmesinin önlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Ferguson [9], Tombereau tipli bir vagona monte edilmiş Y25 tipi bojinin düşük frekans aralığındaki dinamik davranışını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemiştir. Modelin sonlu eleman analizinin sonuçları, deneysel ölçüm sonuçlarının birim kuvvet ve moment tahriği için uyumlu olduğunu göstermiştir.

Kim [10], yatık Kore trenleri için yatık boji iskeletinin analizini yapmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle statik analiz ve dinamik analiz çalışması yapmıştır. Bu analizlerden boji iskeletindeki gerilme dağılım alanlarını incelemiştir.

Oyan [11], Taipei hızlı tren sistemleri ile ilgili yaptığı çalışmada MSC/NASTRAN genel amaçlı sonlu eleman metodu programını kullanarak bir bojinin sonlu eleman analizini çalışmıştır. Aşırı yükleme tasarım faktörü katsayısını göz önüne alarak yapılan hesaplamalar sonucunda boji iskeletinin statik analiz ve yorulma analizi için emniyet şartlarını sağladığını belirtmiştir.

Park ve arkadaşları [12], UIC standardındaki yükleme durumunu kullanarak gerilme dağılımını elde etmek için ve yorulma dayanımını hesaplamak için sonlu eleman analizini kullanmışlardır.

Özsoy [13], Tüvasaşta üretilen TVS 2000 yolcu vagonları ile ilgili yaptığı çalışmada vagon gövdesi, boji gibi sistem alt parçalarının doğal frekans hesaplamasını yaparak titreşim şekillerini ve frekanslarını hesaplamıştır ve deneysel olarak araç seyir halindeyken ivme ölçümlerini yapmıştır. Yaptığı çalışmanın sonucunda deneysel verileri sayısal verilerle karşılaştırarak yolcu vagonlarında oluşan titreşim konforu etkisini incelemiştir.

Roman ve arkadaşları [14], sonlu elemanlar yöntemini kullanarak demiryolu bojilerinin ve vagonlarının yapısal geçerliliğini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada sanal zorlanma ölçüsü isimli yeni bir sonlu eleman aracı geliştirmişlerdir ve bu geliştirilen araç gerçek bir zorlanma ölçeğine benzemesini sağlayan koşulların ortaya çıkarılması için tasarlanmıştır. Bu geliştirmenin sonucunda simülasyondan elde edilen gerilme ve zorlanma sonuçlarının deneysel sonuçlar gibi davranabileceği sonucunu ortaya koymuşlardır.

Claus ve Schiehlen [15], demiryolu vagonu bojisinin karakteristik simülasyonlarını çalışmışlardır. Sonlu eleman programı (ANSYS) ile vagon bojisinin statik analizini ve modal analizini çalışmışlardır. Boji iskeletinin elastik deformasyonlarını ve güç spektral yoğunluklarını hesaplamışlardır. Boji iskeletindeki quasi-statik gerilim dağılımlarını hesaplamışlardır ve çıkan analiz sonuçlarından gerilimin yüksek olduğu dağılım bölgelerini incelemiştir.

Golasch ve arkadaşları [16], Hareket halindeki demiryolu bojisindeki sönümleyicilerin etkilerini incelemiştir. Bunun için bojinin matematiksel modelini çıkarmışlardır. Sistemin durum uzay denklemi çıkarılarak bir bilgisayar programı yardımıyla (WUORT) Root-Locus analizi yapılmıştır. Root- Locus diyagramının sonuçlarından sönümleme ayarlarına bağlı olarak düz ve kıvrımlı hat üzerindeki bojinin yüksek hızlardaki sürüş dengesini incelemiştir. Yaptıkları simülasyon çalışmasının sonucunda sönümleyici eklenmiş bojinin sönümleyici olmayan bojiye

göre yüksek hızlarda daha iyi bir hareket dengesi elde ettiğini belirtmişlerdir ve sönümleyicilerin monte edilmesiyle birlikte kritik hızın üç katına kadar çıkarılabileceği sonucuna varmışlardır.

Jong [17], Almanya demiryolları için yaptığı çalışmada lokomotif bojisini ve Y 32 yolcu vagonu bojisini ADAMS simülasyon programını kullanarak incelemiştir. Yaptığı analizlerde ilk olarak modelin parçalarını ayrı ayrı olarak ele almış ve deneysel olarak ölçülen doğal frekans değerleriyle simülasyonda hesaplanan değerleri karşılaştırmıştır. İkinci olarak ise modelin tümünü ele almış ve ölçülen değerler ile hesaplanan değerleri karşılaştırmıştır. Yaptığı simülasyon çalışmasının sonucunda hesaplanan doğal frekans değerleriyle deneysel verilerin birbirine çok yakın değerlerde olduğunu belirtmiştir.

Shou ve Min [18] , farklı yükleme koşulları ve uygulama modları altındaki boji iskeletinin önce doğal frekanslarını ortaya çıkarıp daha sonra emniyet sınırları içinde farklı statik yüklemeler sonucu oluşan yapısal tepkilerini incelemiştir. Analizi uygularken Tayvan'da bulunan Taipei hızlı taşıma sistemleri için bir örneği geliştirmişlerdir. Müsaade edilebilir gerilmeleri kullanarak ve analitik yöntem olarak bilgisayar destekli sonlu elemanlar yönteminin kullanımı ile kritik bölümler arasındaki gerilmeleri ve gerilme - yorulma ilişkilerini ortaya çıkarmak için tasarımın güvenlik sınırları içinde olup olmadığı çalışılmıştır. Yaptıkları hesaplamalar bütün boji iskeletinin, uygulanan statik yüklemeler için emniyeti karşıladığını göstermiştir.

Wenzhang ve arkadaşları [19], Çin Demiryollarının yüksek hızlı vagonları için tasarlanan SW 160 modeli bojisinin dinamik analizini çalışmışlardır. Bojinin düşey konfor kalitesi iyi olmasına rağmen yatay konfor kalitesinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Yaptıkları çalışma üç adımdan oluşmaktadır: Birinci adımda bojinin ADAMS/Rail dinamik modelini oluşturmuşlardır ve boji, araç modeli ve süspansiyon parametrelerini doğrulamak için araç konfor kalitesini değerlendirmişlerdir. İkinci adımda ölçüm sonuçlarını baz alan bir Magic Formula (Prof. Pacejka tarafından ortaya koyulmuştur) damper modeli geliştirmişlerdir ve damper modeli tarafından damperin statik ve dinamik karakteristikleri tanımlanmıştır. Üçüncü adımda ise Magic Formula teorisini uygulayarak geliştirilen

damper ikincil yanal damperler ile değiştirilmiştir. Sonuç olarak geliştirilmiş damper eklenmemiş bojiyi, yapılan iyileştirmelerden sonra yol testine tabi tutulan geliştirilmiş damperli boji ile karşılaştırdıklarında ikinci durumda daha iyi konfor şartları elde etmişlerdir.

Fraczeks [20], Y 25 tipi yük bojisi kullanan esnek tankerler ve rijit araç gövdesinden oluşan çok yapılı bir raylı taşıtı ADAMS yazılımını kullanarak modellemiştir ve dinamik analizini çalışmıştır. Simülasyon sırasında aracı tam yüklü ve yüksüz olarak göz önüne alarak farklı yol parametreleri ve sürtünme tiplerini kullanmıştır. Dinamik simülasyonlardan boji üstündeki yapıların enine ve yanal tepki kuvvetlerini ve gerilme dağılımlarını incelemiştir.

Huang ve Wang [21], Demiryolu bojilerinin ve boji alt aksamalarının dönme halindeki davranışını incelemiştir. Hareket esnasında araç gövdesine bağlı olan boji dönme halindeyken bir dönme direnç faktörü katsayısı geliştirmişlerdir. Boji tasarımında dönme direnci faktörünü ve burkulmayı incelemek için MEDYNA simülasyon programını kullanarak demiryolu bojilerine dinamik analizi uygulamışlardır. Ayrıca boji dönme direnci davranışının tekerlek ve ray ilişkisi, araç karakteristikleri, yaylar, damperler ve dönmeyi önleyici barları içeren süspansiyon sistemini birlikte ilgilendirdiğini belirtmişlerdir ve sonuç olarak yaptıkları simülasyon çalışmasını farklı yükleme koşulları altında test ederek bilgisayar ortamındaki çalışmanın gerçek şartlarla uyumluluğunu ortaya koymuşlardır.

Arvind ve arkadaşları [22], ADAMS/RAIL programını kullanarak Hindistan demiryollarında kullanılan IR20 bojisinin ikincil süspansiyonlarını FIAT bojisinin ikincil süspansiyonları ile değiştirerek bir çalışma yapmışlardır. Çalışma için iki araç modeli hazırlanmıştır. Dinamik analiz için her iki model için diğer tüm parametreler aynı olmak üzere birinci modelde IR20 ikincil süspansiyon yayları değerinde de FIAT bojisindeki ikincil süspansiyon yayları kullanılmıştır. Çalışmada öz değer ve denge analizinden önce süspansiyon elemanlarına ön yüklemeler uygulanmıştır. Her iki modelde kullanılan ikincil süspansiyon karakteristikleri birbirlerinden çok farklı olmadıkları için modellere aynı önyüklemeye değerleri uygulanmıştır. Sistemin doğal frekansını ve farklı mod şekillerini bulmak için öz değer analizi yapılmıştır. Lineer

kontakt modeli (level II) kullanılarak sistemin denge analizi ve sürüş konfor analizi yapılmıştır. Ve her iki model için sistemin yatay ve düşey ivmelerini hesaplamak için UIC 60 ray özelliklerini ve S1002 tekerlek profili özelliklerini baz alarak 250 m uzunluğundaki bir ray üzerinde konfor analizi yapılmıştır. Elde edilen frekans değerleri izin verilebilir sınırlar içinde çıkmıştır. Sonuç olarak vagon bojisi için her iki model süspansiyon sistemi kıyaslandığında FIAT bojisinin süspansiyon sistemleri kullanıldığında yatay sürüş değerlerinin iyileştiği düşey sürüş değerlerinin ise gerilediği görülmüştür.

Evans, ve Rogers [23], sadece sürtünme yüzeylerinden gelen sönümleme yapan tipteki süspansiyonlardan oluşan Y 25 bojisinden oluşan bir yük vagonunu VAMPIRE raylı araç dinamik modelleme yazılımını kullanarak yaptıkları simülasyon çalışmasının sonuçlarını daha önceden bir araç gövdesinin yatay ve düşey ivmelenmelerini kaydettikleri gerçek yol testi sonuçlarına göre karşılaştırmışlardır. Bunun için gerçek yol şartlarındaki tüm hızlarda mevcut araç verilerinin sınırlamaları içinde yatay ve düşey sürüş konforunu gerçek verilere uygun şekilde simüle etmişlerdir. Süspansiyonlara gelen kuvvetlerin sürtünme kuvvetlerini yenmesi yetersiz olduğunda yatay titreşimlerin düşük hızlarda sınırlı olduğunu ve bunun sönümsüz titreşim olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca düşey sürüş konforunun birincil süspansiyona önemli ölçüde bağlı olduğunu ve ikincil yalpalama süspansiyonunun da yatay sürüş simülasyonu için özellikle önemli olduğunu belirtmişlerdir. Süspansiyonlara yapılan yüksek ön yüklemelerden dolayı boji düşük hızlarda rijit davranış göstermiştir.

Molatefi ve arkadaşları [24], BA652 ve BA661bojilerini kullanan bir yük vagonunun dinamik etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada tekerlekler ve ray arasında dönme momenti ile lineer olmayan sürtünme kuvvetlerini kullanmışlardır ve sürtünme kuvvetlerini modellemişlerdir. BA652 ve BA661 bojileri için birincil süspansiyon özellikleri testlerle belirlenmiştir. Lineer olmayan hareket denklemleri ve kinematik sınırlamaları zaman alanı ve limit çevrimleri içinde çözülmüştür. Bu iki tip parametrelerin simülasyonu sonucu birincil süspansiyon sisteminin iyileştirilmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır. Hesaplamalar sonucunda BA652 bojisi için lineer ve lineer olmayan kritik hızlar ve yükleme düğümleri vardır ve BA661bojisi için

durum kritiktir, sistem çok düşük hızlarda titreşim yapabilmektedir. Y 25 yük bojisi için aynı analiz yapıldığında ise birincil süspansiyona ek olarak Y25 bojisinin yan gövdelerine hareket dengesine yardımcı olması için sürtünme yastıklı yaylar ön yüklenmiştir. Birincil süspansiyon sistemleri için BA652 bojisinin yanal ve boylamasına rijitliği Y 25 bojisinden daha düşük değerlerde çıkmıştır.

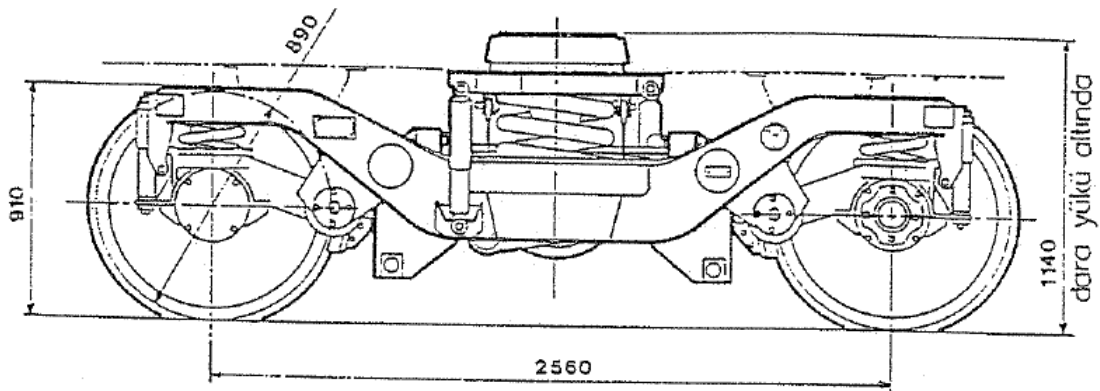
Polach [25], Demiryolu bojilerinin denge değerlendirme için endüstriyel uygulamalarda kullanılan lineer olmayan denge analizi metodlarını tanıtmıştır ve yüksek eşdeğer koniklikli tekerlek takımı ray kontak geometrisi örneklerini karşılaştırmıştır. Karşılaştırmalar dört araçtan oluşan ve tüm bojilerinde yalpalama damperi olan bir sisteme ve yalpalama dampersiz iki akslı bojiden oluşan bir demiryolu vagonuna uygulanmıştır. Denge analizi için; yatay tahrik tarafından sönümleme davranışını, UIC 518 standardına göre boji iskeleti üzerindeki ivme değerlerini ve uygulanan kuvvetlerin toplam değerini, UIC 515 standardına göre boji iskeleti üzerindeki ivmenin maksimum değerini karşılaştırmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda tekerlek takımı ray kontak geometrisinin lineerleştirilmesinin lineer olmayan denge analizi için daha iyi bir değerlendirme sunabildiğini belirtmiştir.

BÖLÜM 2. BOJİNİN GENEL YAPISININ İNCELENMESİ

2.1. Bojinin Genel Tanımı

Boji, bir vagona hareket kabiliyeti kazandırarak şasi, tekerlek takımları, yay sistemleri, amortisörler ve fren mekanizmaları gibi alt parçalardan oluşan bir yapıdır. Üzerindeki yaylar ve amortisörler sayesinde tekerlek ray teması sonucu ortaya çıkan titreşimlerin etkisini azaltır ve hareket halindeyken oluşan diğer dinamik etkilere karşı vagon gövdesinin uygun denge şartlarını yerine getirmesini sağlar.

Bir bojinin tasarımı yapılırken hareket organlarından gelebilecek en ağır dinamik şartlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bojinin kendisinden beklenen görevi tam olarak yerine getirebilmesi; konfor şartlarını sağlaması, yüksek hızlara karşı denge şartlarını sağlaması ve bakım gereksinimlerinin az olması ile mümkün olmaktadır [3].



Şekil 2.1. Y 32 Bojisi [3]

2.2. Bojiyi Oluşturan Elemanlar

Y 32 boji esas itibariyle aşağıdaki elemanlardan oluşan çift süspansiyon katlı bir bojidir:

a) Hareket dizisi:

- Şasi
- Amortisman tertibatı ve tamponlarıyla birlikte birincil süspansiyon,
- Buata gresler (yataklar)
- Kapalı dingiller,

b) Aşağıdaki parçalardan oluşmuş ikincil süspansiyon:

- Yaylar,
- Dikey ve yanal amortisörleri ve sınırlayıcıları,
- Yalpalamayı önleyici tertibat,

c) Aşağıdaki elemanları içeren karoseri / boji bağlantı tertibatı:

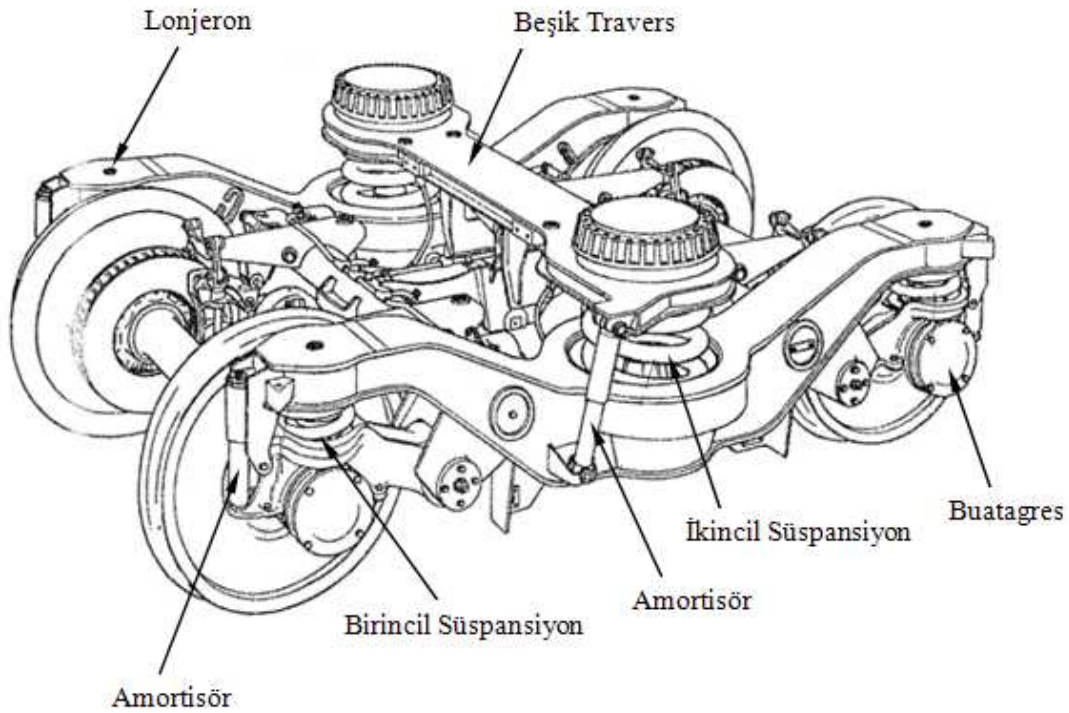
- Bağlantı traversi,
- Çeki düzeni

d) Fren donanımı

Y 32 bojisinin temel boyutsal özellikleri tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Y 32 Bojisi Boyutsal Özellikleri [3]

İki dingil arası mesafe	2560 mm
Şasi açıklığı	2000 mm
Birincil süspansiyon açıklığı	2000 mm
İkincil süspansiyon açıklığı	2000 mm
Tekerlek çapı (yeni/eski)	890-920 /840 mm
Ağırlık	5980 kg

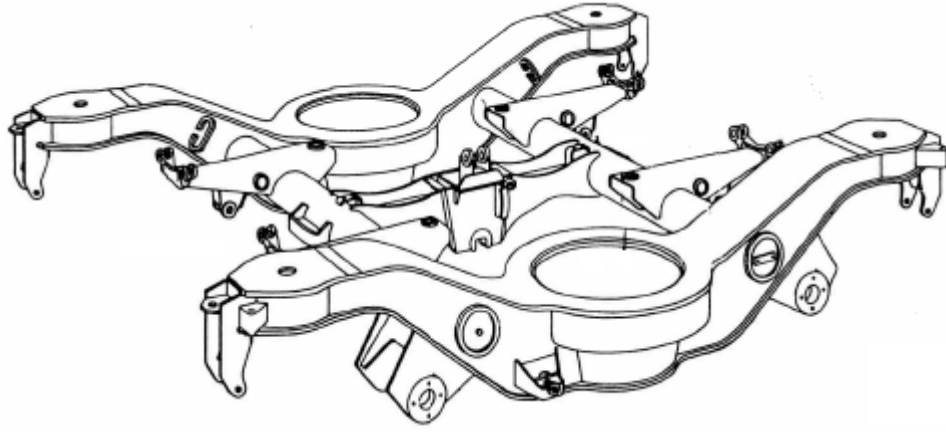


Şekil 2.2. Y 32 Bojisi ve Elemanları [3]

2.2.1. Şasi

Y 32 bojisinin şasisi fonksiyonel olarak üç şarta cevap vermektedir: Birinci olarak iki adet ikincil süspansiyona mesnet teşkil etmek. Bu amaçla yan elemanlar üzerinde özel yuvalar teşkil edilmiş olup yuvaların boyutları dönüş hareketi esnasındaki yan sapmaları ve şasi yalpa hareketlerini sönmölemektedir. İkinci olarak süspansiyon elemanları için bağlantı sağlamak. Üçüncü olarak fren elemanlarını taşımaktır [3].

Bu kapsam içinde monoblok şasi merdiven biçiminde geliştirilmiş olup simetrik iki yan elemanı (lonjeron), diskli fren bloğu süspansiyonunu da taşıyacak şekilde yerleştirilmiş iki boru şekilli travers ile birleştirilmiştir. Şasinin ekseni istikametindeki bir parça iki boru traversi birleştirmekte, dingil seviyesinde gerekli kablo bağlantılarını ve yanal sınırlama tamponlarını içermektedir [3].

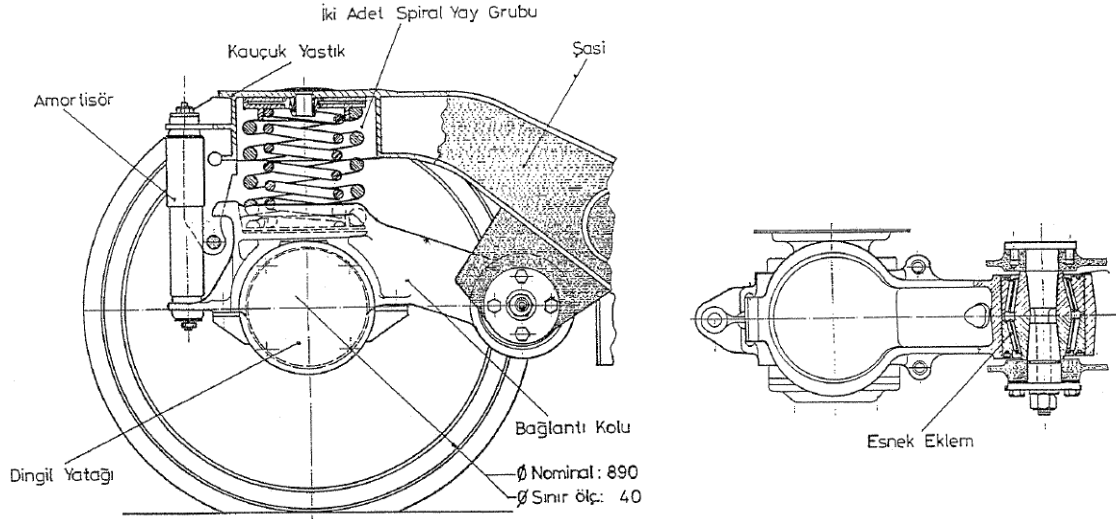


Şekil 2.3. Şasi [3]

2.2.2. Birincil süspansiyon

Birincil süspansiyon, çelikten imal edilmiş iki spiral yaydan oluşan sistem olup yay elemanı ucundaki yükü bir kauçuk yastık vasıtası ile almaktadır. Bu yastıklar dingil muhafazasının üzerinde, uygun biçimde boyutlandırılmış bir biyel yuvasında bulunmaktadır. Bojinin dingil ve şasi arasındaki bağlantı kolu bir ucunda dingil muhafazasına dikey yükü iletmekte ve öbür ucunda da konik şekilli iki kauçuk elemandan oluşan boji/şasi bağlantısını temin etmektedir. Bağlantı kolu üzerindeki bir çıkıntıya bağlanmış olarak boji şasesine tespit edilen dikey bir hidrolik amortisör hızlanma sırasında oluşan gövde dönmesini önler [3].

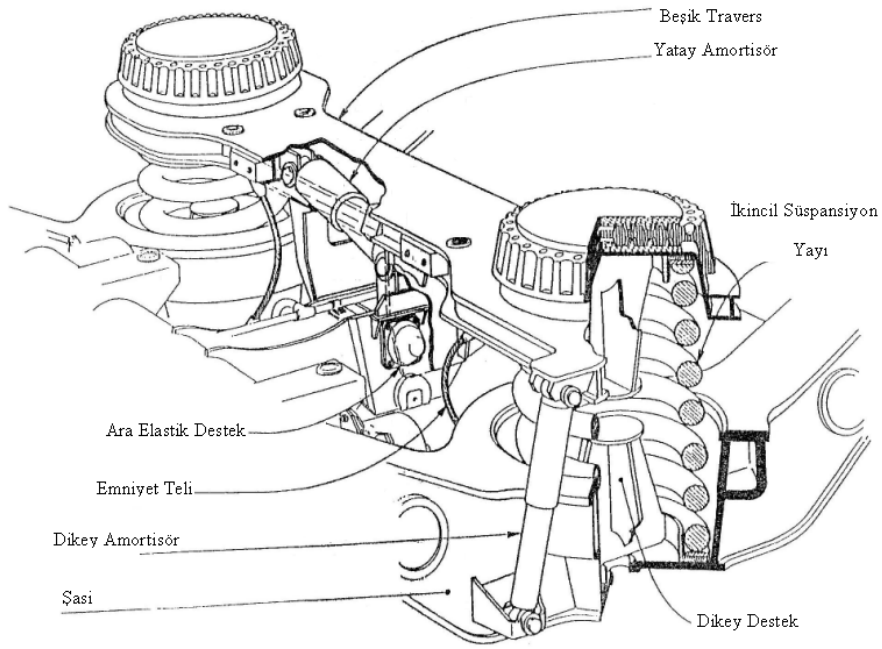
Her bojide 2 dingil mevcut olup, 1 dingil 16 tonluk dingil basıncına havi olup, disk yatakları merkezleri arası 2000 mm, disk yatağı çapı 130 mm, disk yatağı uzunluğu 217 mm' dir. Her bir dingilde 2 adet R7 kalitesindeki çelikten yapılmış monoblok tekerlek gövdesi, 2 adet disk fren ve 2 adet konik rulmanlarla donatılmış buata gres ve dingillerin başlarında hız ile ilgili bir jeneratör vardır [3].



Şekil 2.4. Birincil Süspansiyon [3]

2.2.3. İkincil süspansiyon

İkincil süspansiyon, iki adet çelik helisel yay ve lastik takozlardan oluşur. Yayların çapı 60,4 mm, ortalama sarmal uzunluğu 380 mm, serbest haldeki sarmal adedi 6, dara altındaki yüksekliği 712 mm ve alacağı maksimum baskı 60 Hbar' dır. İkincil yayların yanıl esneklikleri 50-60 mm/ton' dur. Bu yanıl esneklik bir kauçuk lastik yerleştirilmesi sureti ile 1400 mm/tona yükseltilmiştir [3].

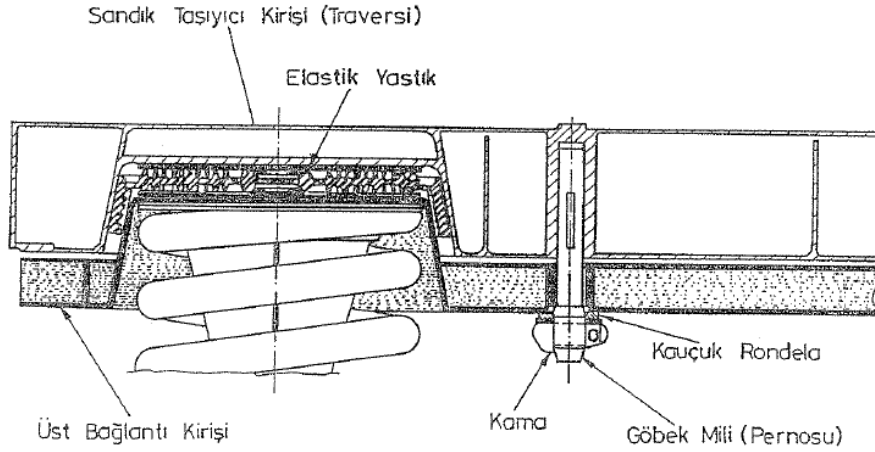


Şekil 2.5. İkincil Süspansiyon [3]

Dikey süspansiyon hareketlerinin sehim, yayların iç kısmında bulunan dayama parçaları sayesinde sınırlandırılmıştır. Ara (yanal) süspansiyonların sehim ise üst bağlantı kirişi ile boji şasisinin beşik travers arasında bulunan elastik kauçuk dayama parçalarıyla sınırlandırılmıştır. Bu elastik dayamalar sayesinde vagon sandığı boji bağlantı düzeni seviyesinde ± 82 mm' lik yalpa hareketleri karşılanabilmektedir [3].

2.2.4. Boji ve vagon sandığı bağlantısı

İkincil süspansiyon üstündeki iki adet elastik yastık özel bir yay çanağı içine oturtulmuşlardır. Bu sandığı taşıyan kiriş olup boji ile şasi arasındaki bağlantıyı sağlar. Sandık boji bağlantısı, kauçuk rondelalı ve kamalı iki adet göbek mili tarafından sağlanmaktadır ve ayrıca dört adet tel halat ile şasi - boji bağlantısı emniyete alınmıştır [3].



Şekil 2.6. Boji - Vagon Sandığı Bağlantısı [3]

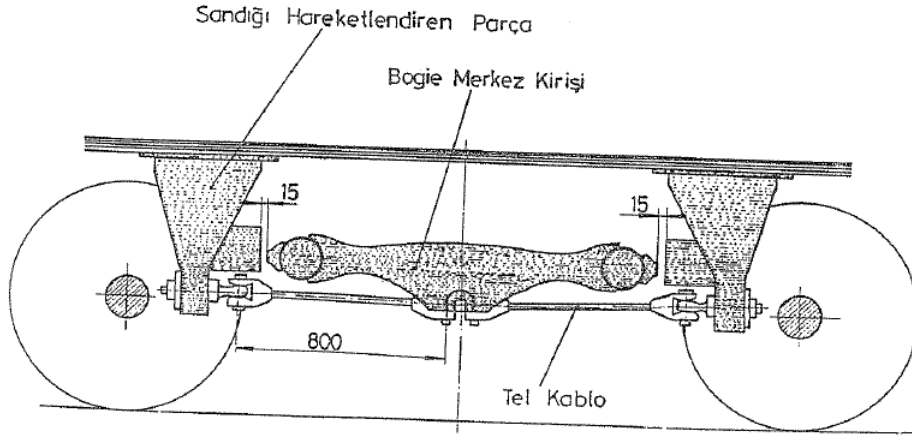
2.2.5. Darbelerin absorpsiyonu

Dikey absorpsiyon, üst bağlantı kirişi ile boji şasisini birbirine bağlayan ve bojinin her iki tarafına monte edilmiş hidrolik amortisörlerle yapılır. Ara (yanal) hareketlerin, darbelerin absorpsiyonu, üst bağlantı kirişi ile boji şasisinin ortasındaki beşik travers arasına bağlanmış ara (yanal) hidrolik amortisör ile sağlanır [3].

Y 32 boji süspansiyonunun tasarımında boji hareketlerinin şasiye göre sınırlandırılması ilkelerine şasinin dikey ve yanal hareketlerinin vagon sandığına intikal ettirilmemesi ve bojinin ve dikmelerinin titreşim ve salıntı hareketlerinin şasiye intikal etmeden absorbe edilmesi şeklinde bağlı kalmıştır [3].

2.2.6. Boji hareketi

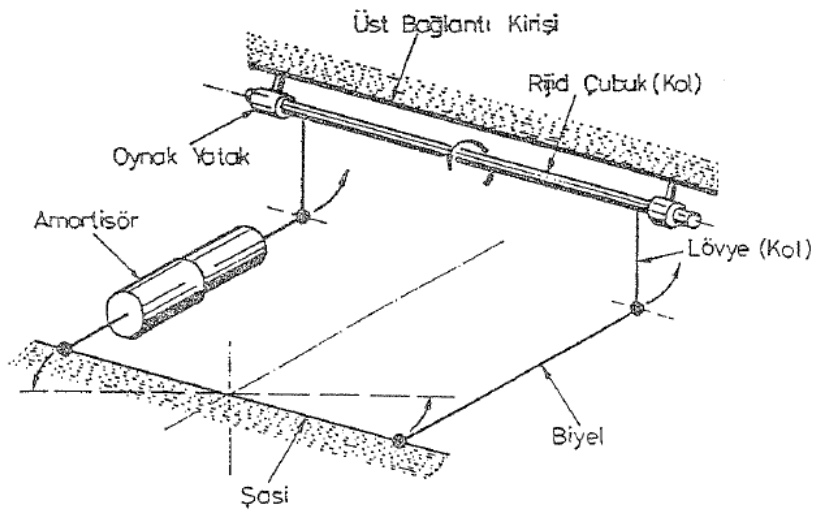
Bojinin hareketi, şekil 2.7 de görülen elastik bir kutu ve tel kablo sistemi yardımıyla, dingillerden gelen hareketin iletilmesiyle olmaktadır. Sandığa hareketi veren elemanlar iki adet özel destek sayesinde olmaktadır. Bir helisel yay, tekerlek ve bojiden gelen yüksek frekanslı titreşimleri absorbe etmektedir. Bir germe yayı ve yaylı rondela sistemi, ilk hareket, frenleme ve tamponlamalardan gelebilecek kuvvetleri ve hareketleri absorbe eder [3].



Şekil 2.7. Boji Hareketi [3]

2.2.7. Yalpa önleme tertibatı

Yalpa önleyici tertibat boji şasisi üzerine saplamalarla tespit edilmiş iki yatak içinde serbestçe dönen çelik bir tork milinden oluşur. Milin her iki ucuna dövme çelikten birer saplama geçirilmiştir. Bu saplamaların uçları bağlantı traversine kendi kendini yağlayan rotüllü eklemler taşıyan birer biyeye irtibatlı olup şasi ile bağlantı traversi arasındaki yanıl ve açılal oynamaları absorbe ederler [3].



Şekil 2.8. Yalpa Önleme Tertibatı [3]

BÖLÜM 3. TESTLERİN TANIMLARI

3.1. Giriş

Bojinin statik dayanım şartlarını incelemek amacıyla düşey ve yanal test yüklemeleri uygulandı. Bu yüklemeler uluslar arası demiryolları birliğinin 515-4 nolu standardına göre yapıldı. Bojinin dinamik davranışını incelemek amacıyla da modal analiz uygulandı.

3.2. UIC 515-4 Statik Hesaplamaları

Statik hesaplamalar uluslararası demiryolları birliğinin 515-4 teknik şartnamesine göre yapıldı. Bu şartname yolcu vagonu bojileri için statik ve yorulma dayanımı testlerini içermektedir. Bu şartnamede kabul edilebilir şartlar altındaki yüklemelerin tanımları, testlerin uygulanma şartları, uygulanan testlerden elde edilen sonuçlar ve bu test sonuçlarıyla ilgili değerlendirmeler ve alınması gereken önlemler yer almaktadır. Statik testler ile boji elemanlarında oluşan istenmeyen dayanım şartları incelenebilir.

3.2.1. Yüklemelerin tanımı

UIC 515-4 teknik şartnamesine göre vagon bojisine uygulanacak düşey kuvvet

$$F_z(N) = \left(\frac{m_{vom} - 2m^+ + 1.2mc}{4} \right) \cdot g \quad (3.1)$$

denklemleri ile ifade edilir [26].

Bu denklemde;

m^+ (kg) : Boji kütlesi

m_{vom} (kg) : Çalışma anındaki boş araç kütlesi

mc (kg) : Koltuk başına 1 yolcu, servis kompartımanları ve vagonlar arasındaki geçitlere ve koridorlarda m^2 ' ye 4 yolcu, bagaj bölmesinde m^2 ' ye 300 kg olarak hesaplanan test yükünü belirtmektedir. Yolcu ağırlığı (el çantası ile) 80 kg olarak alınmıştır.

Her bir yan gövde üzerine uygulanan düşey kuvvetler

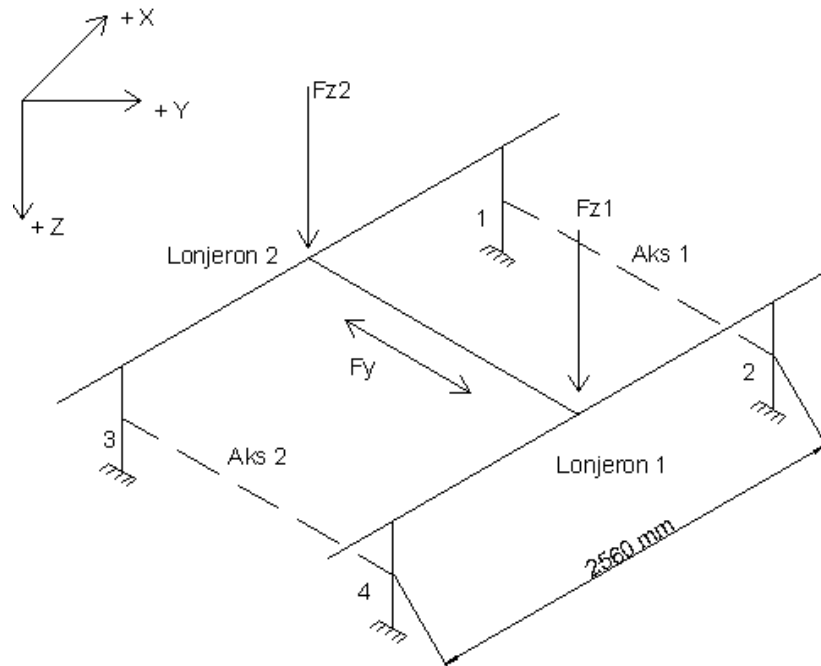
$$F_{z1} = (1 +/ - a +/ - b)F_z \quad (3.2)$$

$$F_{z2} = (1 -/+ a +/ - b)F_z \quad (3.3)$$

Yanal kuvvet

$$F_y = 0.5(F_z + (0.5 \cdot m^+ \cdot g)) \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.



Şekil 3.1 Boji Şasisine Yük Uygulanışı [26]

Testler boji iskeletine düz ray, kıvrımlar, zıplama ve yalpalamadan dolayı oluşan dinamik kuvvetlerdeki değişimler ve ray burkulması şeklinde uygulanabilir. Eğrilerin etkisi yanal kuvvet tarafından doğan yalpalama ($\alpha = 0.1$) ve kuvvetlerdeki dinamik değişkenlikler, düşey kuvvetlerin etkisiyle oluşan zıplama ($\beta = 0.2$) olarak tanımlanır. α ve β katsayıları (0.3'lük toplam ile) Avrupa demiryollarında karşılaşılan uygulama şartlarına global olarak uyumludur [26]. Uygulanan farklı yükleme çeşitleri tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Uygulanan yüklemeler

	DÜŞEY KUVVETLER		YATAY Fy
	Fz ₂	Fz ₁	
UYGULANAN KUVVETLER			
1	Fz	Fz	0
SOL MERKEZLİ EĞİM			
2	(1-a-b)Fz	(1+a-b)Fz	0
3	(1-a-b)Fz	(1+a-b)Fz	Fy
4	(1-a+b)Fz	(1+a+b)Fz	0
5	(1-a+b)Fz	(1+a+b)Fz	Fy
SAĞ MERKEZLİ EĞİM			
6	(1+a-b)Fz	(1-a-b)Fz	0
7	(1+a-b)Fz	(1-a-b)Fz	-Fy
8	(1+a+b)Fz	(1-a+b)Fz	0
9	(1+a+b)Fz	(1-a+b)Fz	-Fy

Sayısal değerlerinin elde edilmesi

m^+ (kg) : 5750 kg (UIC standardında alınan boji kütlesi)

m_{vom} (kg) : 41500 kg

mc (kg) : 6620 kg

Düşey yük değeri

F_z : 93,05766 KN

Yanal kuvvet

F_y : 60,63071 KN

a: 0.1

b: 0.2

Yolcu sayısı: 60

Bu değerler elde edildikten sonra statik yüklemeler sayısal değerler halinde tablo 3.2 de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Statik yükleme değerleri

	DÜŞEY KUVVETLER		YATAY Fy
	Fz ₂	Fz ₁	
UYGULANAN KUVVETLER			
1	93,05766 KN	93,05766 KN	0
SOL MERKEZLİ EĞİM			
2	65,14036 KN	83,75189 KN	0
3	65,14036 KN	83,75189 KN	60,63071KN
4	102,3634 KN	120,975 KN	0
5	102,3634 KN	120,975 KN	60,63071KN
SAĞ MERKEZLİ EĞİM			
6	83,75189 KN	65,14036 KN	0
7	83,75189 KN	65,14036 KN	-60,6307KN
8	120,975 KN	102,3634 KN	0
9	120,975 KN	102,3634 KN	-60,6307 KN

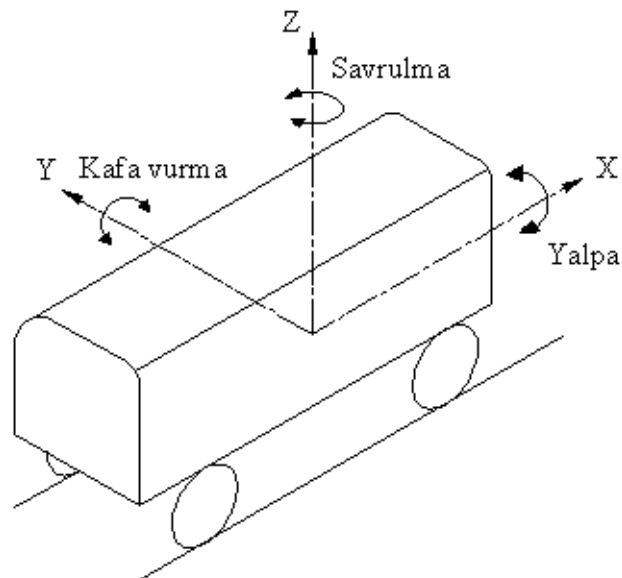
3.3. Vagon Dinamiği

Dinamik kelimesinin anlamı zaman içinde değişebilen, dinamik yükün anlamı ise büyüklüğü, yönü ve uygulama noktasının zamana bağlı olarak değişebilmesi demektir [27]. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere hareketli sistemler dinamik yani değişken yüklerin etkisi altındadırlar.

Vagonun hareketi esnasında tekerleklerin ray ile teması sonucunda araçta titreşimler meydana gelir. Raylar üzerinde, hareket halindeki bir taşıttaki titreşim tipleri üçü doğrusal, üçü açısal hareket olarak sınıflandırılırlar [8]. Bu titreşim hareketleri tablo 3.3'te görülmektedir. Raylı araç dinamiği açısından titreşimler kontrol altına alınarak sistemi rezonansa götürmeyecek bir tasarım yapılmalıdır.

Tablo 3.3 Taşıttı titreşim hareketleri [8]

Eksen	Öteleme Hareketi	Dönme Hareketi
X	Boyuna Titreşim	Yalpa (Rolling)
Y	Yanal Titreşim	Kafa vurma (Pitching)
Z	Düşey Titreşim	Savrulma (Yawning)

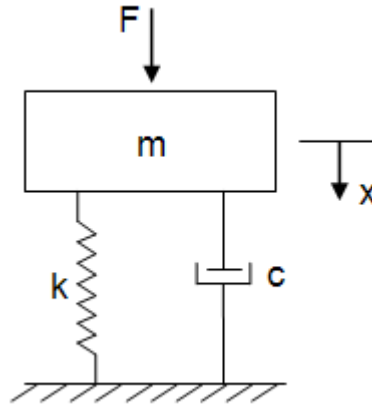


Şekil 3.2 Altı serbestlik Dereceli Vagon Hareketi

3.3.1. Modal analiz ve doğal frekans kavramı

Modal analiz, dinamik yük altındaki bir yapının doğal frekanslarını ve bu frekans değerlerine karşılık gelen mod biçimlerinin ortaya çıkarılması için kullanılır. Böylece bir yapının tasarımı yapılırken elde edilen sonuçlara göre sistemi rezonansa götürmeyecek bir yola başvurulur.

Dış kuvvet ve sönüm elemanından oluşan bir kütle yay sistemi ele alınsın.



Şekil 3.3 Bir Titreşim Sistemi

Burada sisteme etkiyen F kuvveti $F(t) = F_0 \cos \omega t$ ile ifade edilen harmonik kuvvetten kaynaklanan tahrik kuvvetidir. Kütleye uygulanan kuvvetin etkisiyle yaydaki yer değiştirme x ile ifade edilirse yay tarafından uygulanan kuvvet

$$F = -kx \quad (3.5)$$

ile ifade edilir. Sönümleyici tarafından üretilen sönüm kuvveti

$$F_D = -cv = -c \frac{dx}{dt} = -c\dot{x} \quad (3.6)$$

olarak ifade edilir. Newton'un ikinci kanununa göre;

$$F = m.a = m \frac{dv}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (3.7)$$

olduğundan sistemin hareket denklemi

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= F(t) - kx - c\dot{x} \\ m\ddot{x} + c\dot{x} + kx &= F(t) \end{aligned} \quad (3.8)$$

ile ifade edilir. Sistemin sönümsüz doğal frekansı

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.9)$$

veya

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [1/s] \quad (3.10)$$

sistemin sönüm oranı

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (3.11)$$

periyodu ise;

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad [s] \quad (3.12)$$

olarak bulunur [28].

BÖLÜM 4. BOJİNİN MODELLENMESİ VE SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

4.1. Giriş

Boji modellenirken Y 32 bojisi esas alındı ve bu modeli basitleştirme yoluna gidilerek Pro/Engineer programında katı modeli oluşturuldu. Daha sonra bu model sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çözümlenmeler yapan ANSYS programına aktarıldı ve statik ve dinamik hesaplamaları yapıldı.

4.2. Pro Engineer ve ANSYS Yazılımları

Bu çalışmada katı modelleme programı olarak Pro/Engineer yazılımı seçilmiştir. Bu yazılımın en önemli özelliği parametrik tabanlı olmasıdır yani program, oluşturulan bir model üzerinde istenildiği zaman herhangi bir değişiklik yapmaya olanak verir. Bu program kullanıcılara iki boyutlu çizim, üç boyutlu katı modelleme, katı modelleri montaj haline getirme, oluşturulan model üzerinden teknik resim alma imalat modülü, analiz modülü gibi olanaklar sunar.

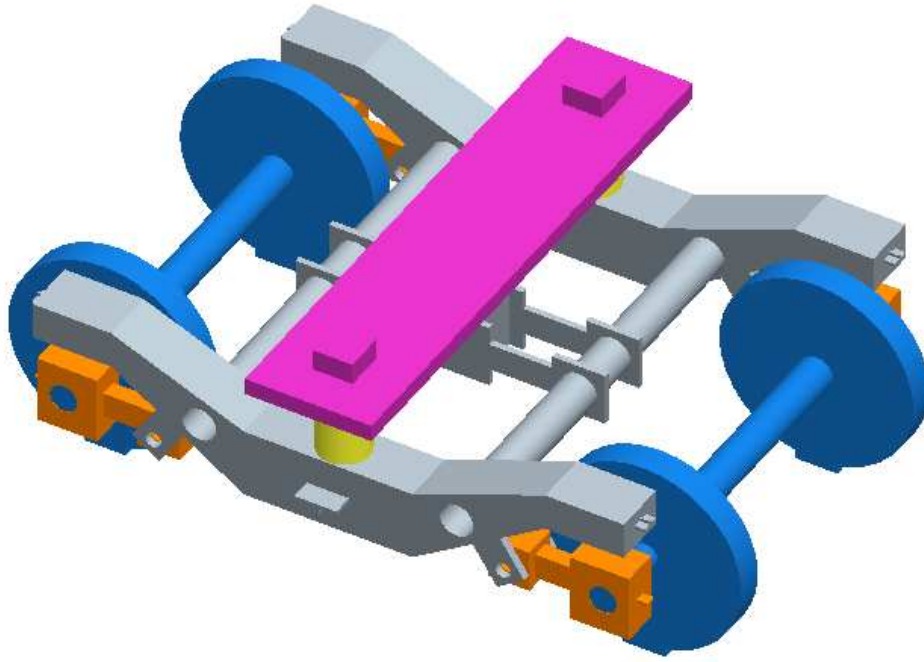
Bu çalışmada sonlu eleman yazılımı olarak ANSYS paket programı seçilmiştir. Bu yazılım sayesinde statik analiz, dinamik analiz, ısı transferi analizi, akışkanlar mekaniği analizi, elektromanyetik analiz yapılabilir. ANSYS yazılımı temel olarak modelleme, analiz ve sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere üç ana aşamadan oluşur.

Sistemin katı modeli sonlu elemanlar yöntemiyle çözümlenmeler yapan yazılım içerisinde veya bir CAD ortamında oluşturulabilir. Modelin başka CAD ortamında oluşturulması durumunda IGES, SAT, VDA gibi dönüştürücü uzantılar kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle çözümlenmeler yapan yazılıma aktarılır [29].

4.3. Bojinin Katı Modelinin Oluşturulması

Model elemanları Pro/Engineer programının Part Modeling bölümünde oluşturulmuştur. Sistemin katı modeli iki adet yan gövde (lonjeron), yan gövdeleri birbirine bağlayan bağlantı çubukları ve bağlantı çubuklarını birbirine bağlayan orta bağlantı, iki adet tekerlek takımı, beşik travers, buatagresler ve kauçuk takozlardan oluşmaktadır. Yan gövdeler, bağlantı çubukları ve ara bağlantı şasiyi oluşturmaktadır. Oluşturulan bu parçalar aynı program içerisinde Assembly bölümünde montaj modeli haline getirilmiştir.

Bojinin Pro/Engineer programındaki katı modelinde kaynaklı bağlantılar, cıvatalı birleştirmeler, yaylar ve amortisörler ihmal edilmiştir. Bunlarla ilgili işlemler Ansys'te yapılmıştır. Montaj işlemi tamamlandıktan sonra oluşturulan model, sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenme yapan ANSYS yazılımına aktarılmıştır.



Şekil 4.1. Boji Montaj Modeli

Tablo 4.1. Boji elemanları

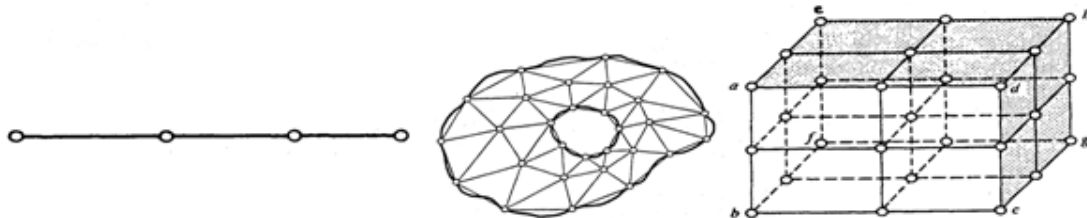
Parça Adı	Adet	Birim Ağırlık (kg)	Toplam Ağırlık (kg)
Şasi	1	2200	2200
Tekerlek Takımı	2	1200	2400
Buatagres	4	200	800
Beşik	1	350	350
Lastik Takoz	2	50	100

4.4. Sonlu Elemanlar Metodu

Bilim adamları ve mühendisler alışılmış analitik metotlarla çözümü çok zor hatta imkânsız fiziksel problemlerle sık sık karşılaşır. Örneğin bir dış kuvvet takımı etkisinde üç boyutlu bir elastik cisim düşünelim. Bu kuvvetlere cismin kesin tepkisini hesaplamak için deformasyonlar cinsinden yazılmış denklemlerin bir kapalı form çözümünü aramak zorundayız. Bununla birlikte genellikle kompleks geometrik şekilli uygulama problemlerinin böyle bir çözümünü elde etmek aşırı ölçüde zor ve çoğunlukla imkansızdır. Bu tip problemler mühendislik ve diğer bilim dallarında çok sık ortaya çıkmaktadır. Böyle bir problemle karşılaşan çözümleyici doğal olarak sayısal adı verilen çözüme başvuracaktır. Başka metotlarla çözülemeyen problemlerin çözümünde kullanılabilen çok sayıda sayısal yol vardır. Sonlu eleman metodu bunlardan biridir. Sonlu eleman metodu yeni bir çözüm yöntemi olup kendisini diğerlerine üstün kılan seçkin özelliklere sahiptir. (Nath 1974)

Bu metotta cismin sonlu sayıda elemana ayrıldığı düşünülür. Metodun adı da buradan gelmektedir. Cisim uzayda n (1, 2, 3) boyuta sahip, n -boyutlu sonlu elemanlar sistemine ayrılır [30].

Bir boyutlu cisimler düğümlerle, iki boyutlu cisimler çizgilerle, üç boyutlu cisimler düzlemlerle sonlu elemanlara ayrılır. Bir boyutlu cisimlerde sonlu elemanlar farklı uzunlukta olabilirler. Ancak iki veya üç boyutlularda elemanlar, eşit olmayan boyutlarda olabileceği gibi farklı şekillerde de olabilirler. Bununla birlikte, bütün durumlarda cisimi temsil eden sonlu elemanlar düğümlerle bağlanacaktır. Sonuçta cisim, sonlu elemanlar ve onları birbirine bağlayan düğümlerden oluşan bir sistemle yer değiştirmiş olacaktır.



Şekil 4. 2. Sonlu Elemanlar Yönteminde Düğümler [30]

Metodun çözümlenmesinde bundan sonraki adım, cismi temsil eden elemanların her birinin eleman direngenlik matrisini tanımlamaktır. Daha sonra eleman direngenlik matrisleri, parçalara ayrılmış cismin tamamına ait tümel direngenlik matrisini oluşturmak üzere toplanır. Bu toplamada, cismin sonlu eleman modelindeki bütün düğümlerde kuvvetlerin dengesi ve yer değiştirmelerinin sürekliliği sağlanır. Buradan şu matris denkleminde ulaşılır.

$$[K] \{\delta\} = \{P\} \quad (4.1)$$

$[K]$, cismin tümel direngenlik matrisini tanımlar. Tümel kuvvet vektörü $\{P\}$, bütün düğümlere uygulanan dış kuvvetleri; $\{\delta\}$ ise, bütün düğümlerin yer değiştirmelerini göstermektedir. $[]$ işareti kare (veya dikdörtgen) matrisleri, $\{ \}$ İşareti vektörünü gösterir.

Denklem 4.1 incelenirse, $[K]$ nitelik bakımından, parçalara ayrılmış cisimde birim yer değiştirme oluşturacak kuvveti ifade eder. Buradan cismin sonlu eleman modelini bir yaya eşdeğer olarak düşünürsek cismin direngenliği $[K]$ 'nin yay sabitine karşılık olacağı açıktır. Dolayısıyla sonlu eleman metodu, esas itibarıyla, cismin direngenlik açısından analizinin yapıldığı bir metottur.

Cisme etkiyen belirli bir dış kuvvetler ve belirli bir sınır şartları takımı için, denklem 4.1' den yegâne çözüm olarak düğüm yer değiştirmeleri $\{\delta\}$ bulunur. Yer değiştirmelerden de, gerilmeler ve zorlanmalar hesaplanabilir.

Verilen bir problemin sonlu eleman metodu ile çözmek için sırası ile aşağıdaki işlemlerin uygulanması gerekir:

- (1) Cismi bir sonlu elemanlar sistemi halinde bölme
- (2) Cismi temsil eden elemanların her birinin eleman direngenlik matrisi ve diğer özelliklerinin çıkarılması.
- (3) Tümel direngenlik matrisi $[K]$ ve tümel kuvvet vektörü $\{P\}$ nin toplama işlemi.

(4) $\{\delta\}$ yi tayin etmek için, belirlenmiş sınır şartlarıyla denklem 4.1' in çözümü.

(5) Hesaplanan düğüm yer değiştirmeleri $\{\delta\}$ 'dan elemanların zorlanmalarının ve gerilmelerinin hesaplanması.

Uygulamada bilimsel ve mühendislik problemlerinde, genellikle, büyük $[K]$ matrisleri doğar. Bu yüzden, Denklem 4.1' i çözmek için bilgisayar kullanılması kaçınılmaz hale gelir. Belirtilen işlem adımlarını otomatik hale getirmek için basit programlar yazılabilir. Gerçekten sonlu eleman metodu, otomatik hesaplama ile birleştirilmekle, çözümü çok zor hatta olanaksız karmaşık fiziksel problemleri hassas olarak çözmekte çok etkin ve zarif bir araç oluşturur (Nath 1974).

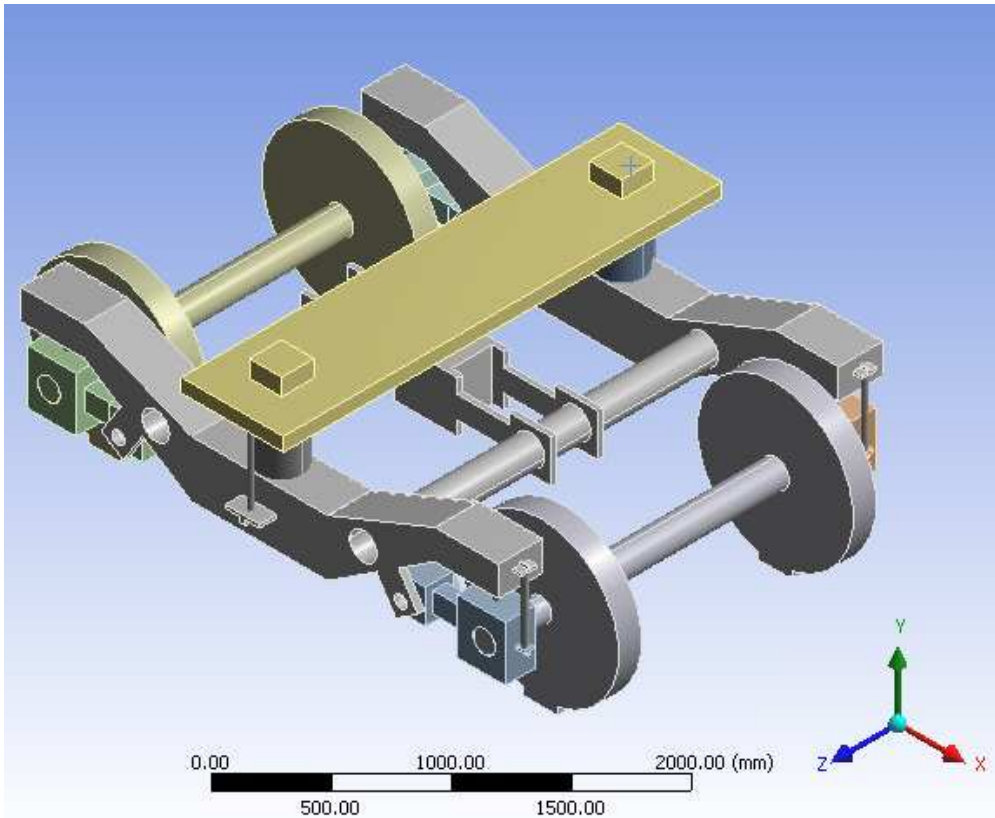
Sonlu elemanlar metodunu diğer sayısal yöntemlerden ayıran özellikleri kısaca özetleyecek olursak:

- Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerin esnekliği nedeni ile verilen bir cisim eksiksiz temsil edebilir, çok bağlantılı bölgeler veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir.
- Değişik malzeme veya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometrik ve malzeme non-lineeriteleri, kalıtsal olsa bile malzeme özellikleri kolaylıkla göz önüne alınabilir.
- Sebep sonuç bağıntılarına ait problemler tümel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler veya yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu eleman metodunun bu özelliği problemin anlaşılabilmesini ve çözülebilmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- Sınır şartları kolayca uygulanır.
- Sonlu elemanlar metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplayabilmek için çok etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Analitik ve deneysel incelemelerde daha hassas sonuçlar verir [30].

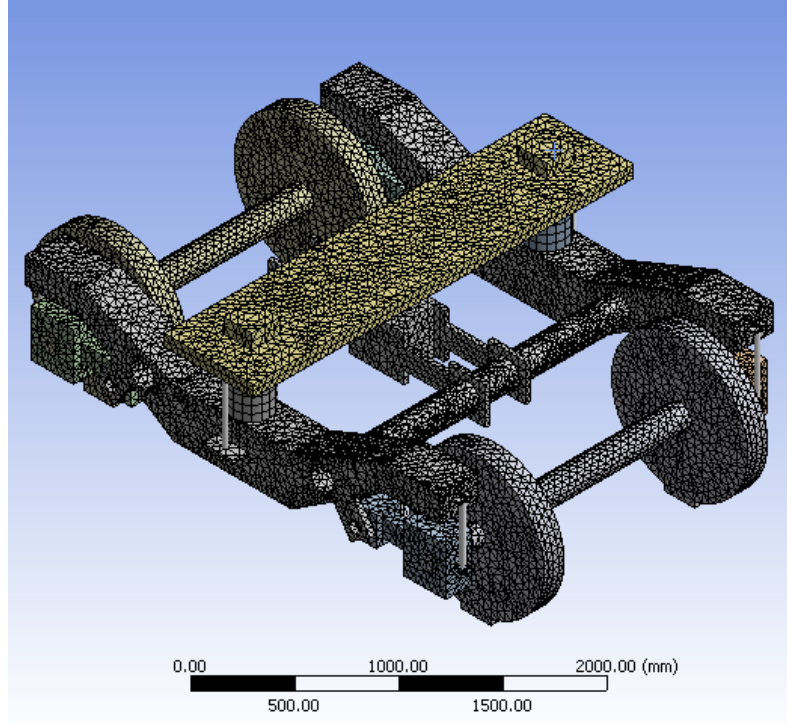
4.5. Modelin Sonlu Elemanlar Yazılımına Aktarılması

Modelin gerçek fiziksel özelliklerini yakalayabilmek için ANSYS programında her bir eleman için yoğunluk değerleri tanımlanmıştır. Katı modeller solid 187 (altı serbestlik dereceli eleman), yay ve sönüm elemanları combi 14 olarak tanımlanmıştır. Ayrıca bağlantı yerleri kontak eleman conta 174 ve target 170 olarak tanımlanmıştır. Model toplam 107977 eleman ve 171207 düğüm noktasından oluşmaktadır.

Pro/Engineer yazılımında oluşturulan model aktif halde iken Workbench yazılımı açılır. Geometry araç çubuğunda aktif olan çalışma seçilir. Yazılım otomatik olarak modeli ANSYS WORKBENCH ortamına aktarır.



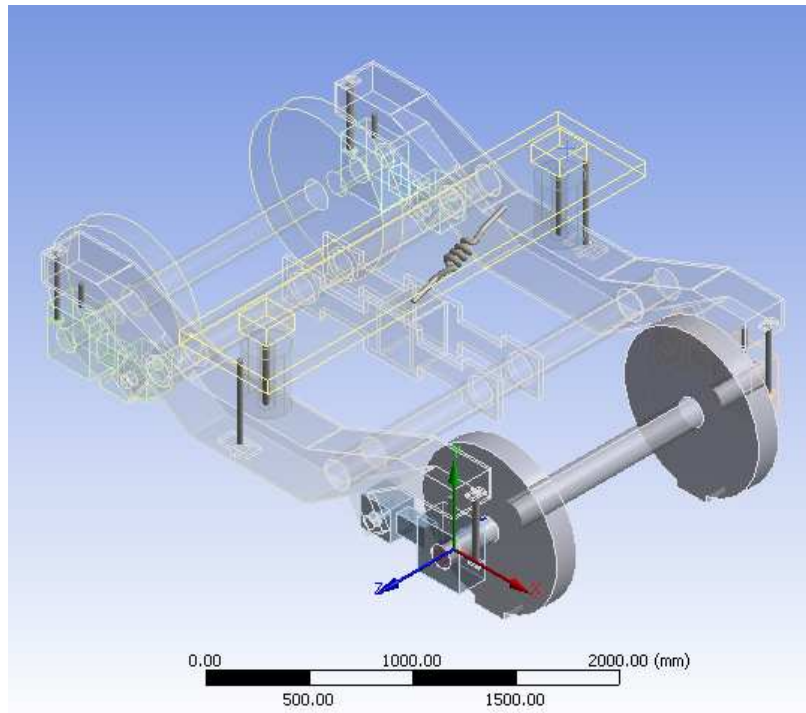
Şekil 4.3. Ansys Workbench Ortamında Model



Şekil 4.4. Ansys Workbench Ortamında Mesh Halindeki Model

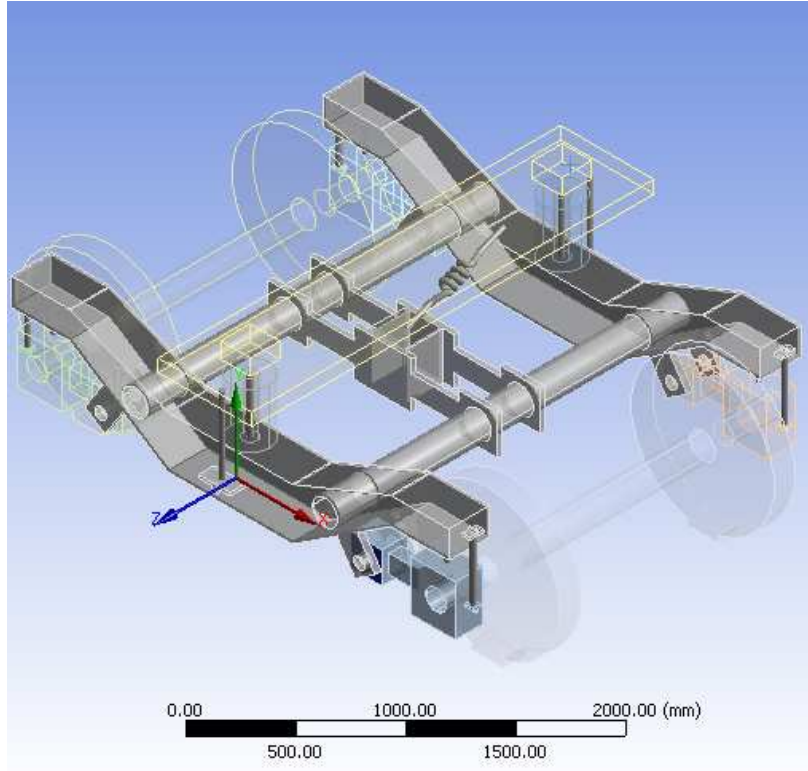
4.5.1. Bağlantıların tanımlanması

Buatagres-Tekerlek arasındaki bağlantılar sabit bağlantı (fixed joint) olarak tanımlandı.



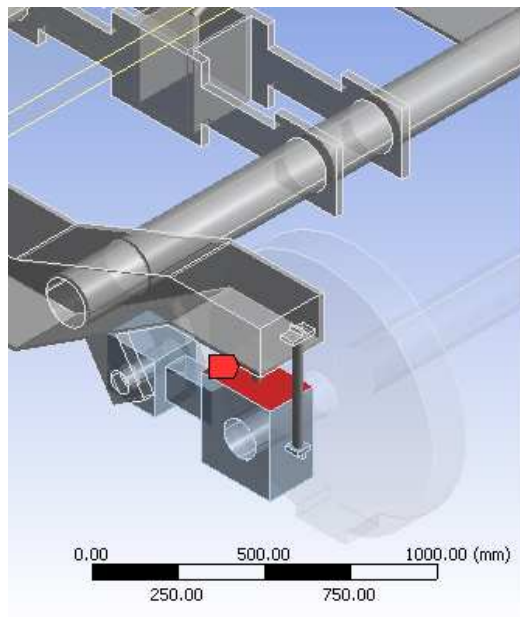
Şekil 4.5. Buatagres-Tekerlek Takımı Döner Bağlantısı

Buatagres gövde arasındaki bağlantılar döner bağlantı olarak tanımlandı.



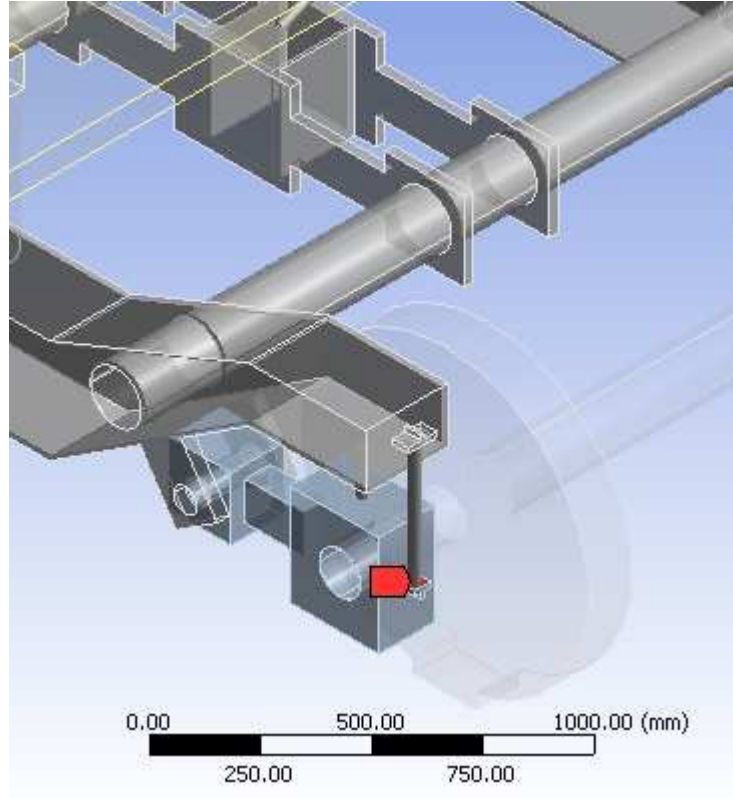
Şekil 4. 6. Buatagres-Gövde Döner Bağlantısı

Birincil ve İkincil süspansiyon sisteminde bulunan yaylar aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi tanımlandı. Tanımlama için yayların bağlı olduğu yüzeyler kullanıldı. Yay katsayıları (k) girilerek işlem tamamlandı.



Şekil 4.7. Buatagres-Gövde Birincil Süspansiyon

Birincil ve İkincil amortisörler de aynı şekilde amortisörlerin bağlı olduğu yüzeyler kullanılarak tanımlandı. Amortisör sönümleme katsayısı (c) girilerek işlem tamamlandı.



Şekil 4.8. Buatagres-Gövde Amortisör Bağlantısı

4.5.2. ANSYS yazılımında modele eklenen yaylar ve amortisörlerin katsayıları

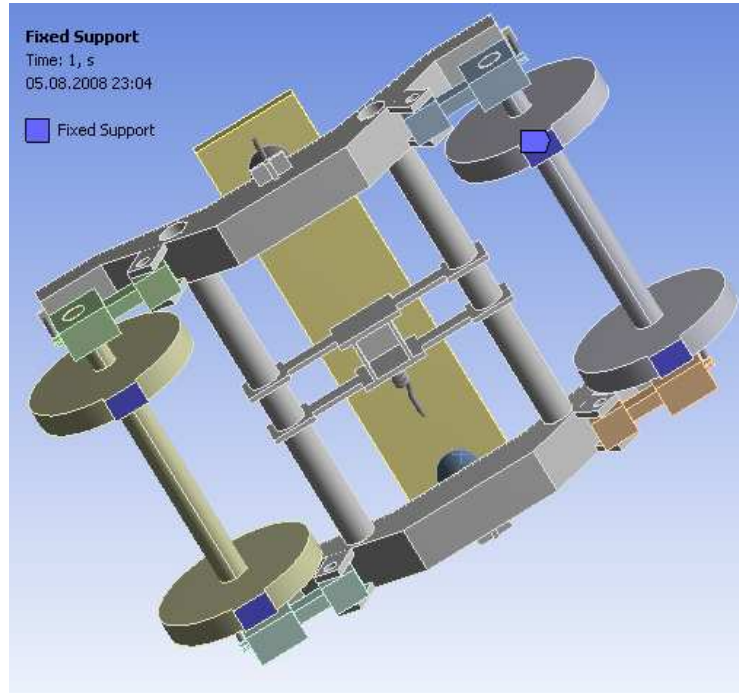
Süspansiyon sistemleri için kullanılan yay katsayısı ve sönüm değerleri tabloda verilmiştir.

Tablo 4.2. Yay katsayıları ve sönüm değerleri

Adı	Yay katsayısı - sönüm
Birincil süspansiyon yay grubu	$k_{eş1} = 800 \text{ N/mm}$
İkincil süspansiyon yay grubu	$k_{eş2} = 400 \text{ N/mm}$
Birincil süspansiyona bağlı dikey amortisörü	$c_1 = 4 \text{ Ns/mm}$
İkincil süspansiyona bağlı dikey amortisör	$c_2 = 16 \text{ Ns/mm}$
Yatay amortisör	$c_{yatay} = 30 \text{ Ns/mm}$

4.6. Statik Analizler

Statik hesaplamalar bölüm 3'te belirtildiği üzere 9 ayrı uygulama adımından oluşmaktadır. Modelin sınır şartları olarak tekerleklerin raya temas eden yüzeyleri x, y ve z eksenlerinden sabitlenmiştir. Aşağıdaki şekilde statik analizler için uygulanan sınır şartları görülmektedir.



Şekil 4.9 Sınır Şartları

Malzeme tipi olarak Ansys'te St 42 çelik malzemesi özellikleri girilmiştir.

Tablo 4.3. St 42 malzeme özellikleri

Akma gerilmesi	250 N/mm ²
Kopma gerilmesi	410-490 N/mm ²
Elastisite modülü	210000 N/mm ²
Poisson oranı	0,3

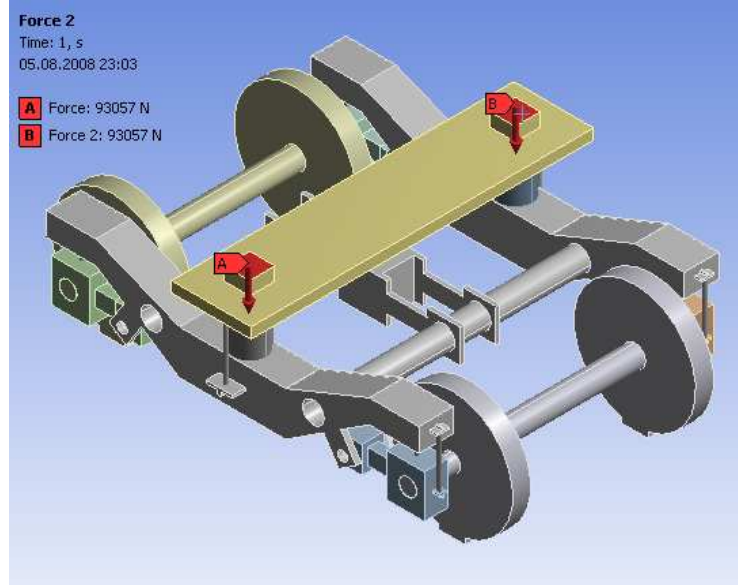
Lastik takozlar için kauçuk malzeme özellikleri girilmiştir.

Tablo 4.4. Kauçuk malzeme özellikleri

Elastisite modülü	4 N/mm ²
Poisson oranı	0,5

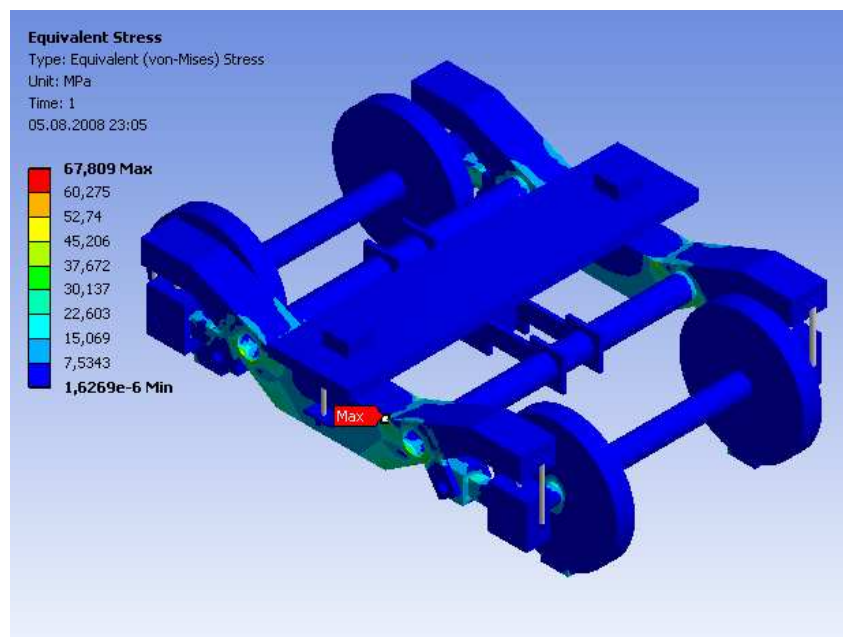
4.6.1. 1 No'lu analiz

1. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A ve B yüzeylerine 93057 N'luk düşey yüklemeler uygulanmıştır.



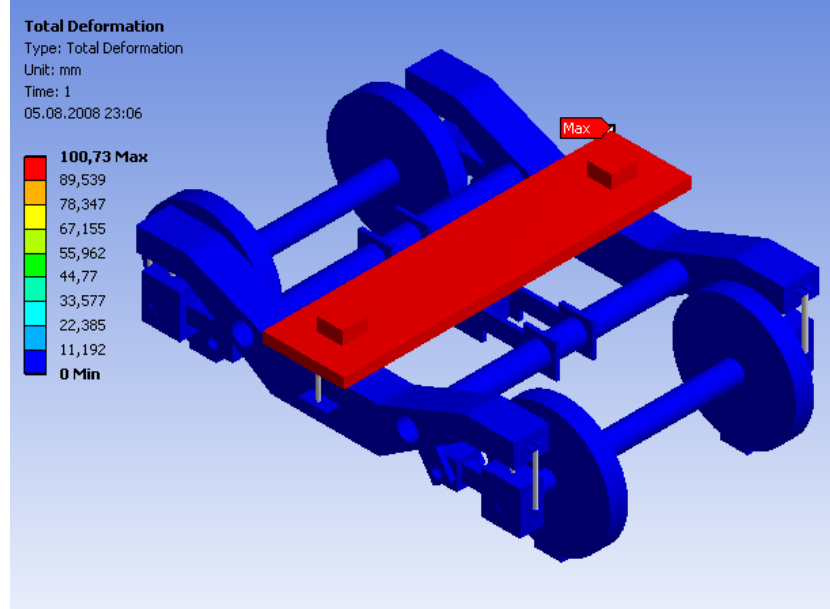
Şekil 4.10. Yükler

Bu yüklemeler sonucunda oluşan en yüksek eşdeğer gerilme dağılımları bojinin yan gövdeleri üzerinde 67,809 MPa 'dır.



Şekil 4.11 Eşdeğer Gerilme Dağılımı

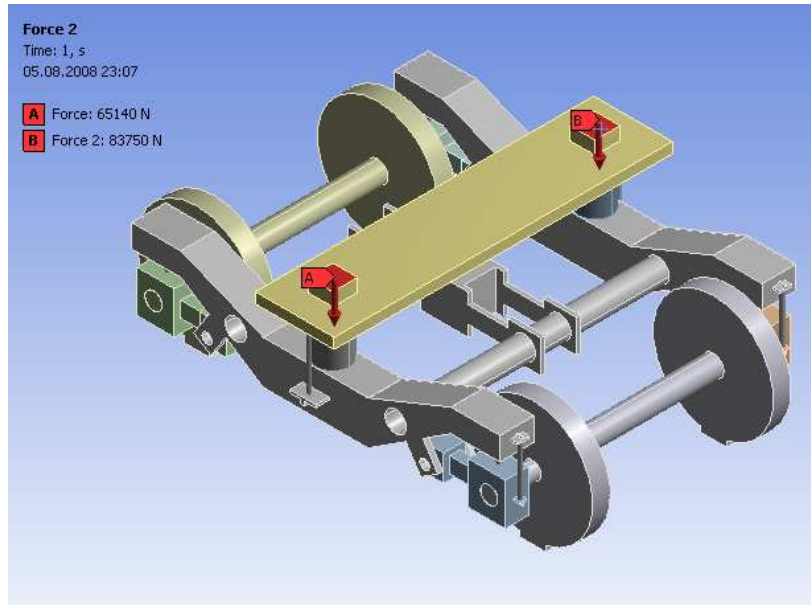
Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde 100,763 mm'dir.



şekil 4.12. Toplam Yer Değiştirme

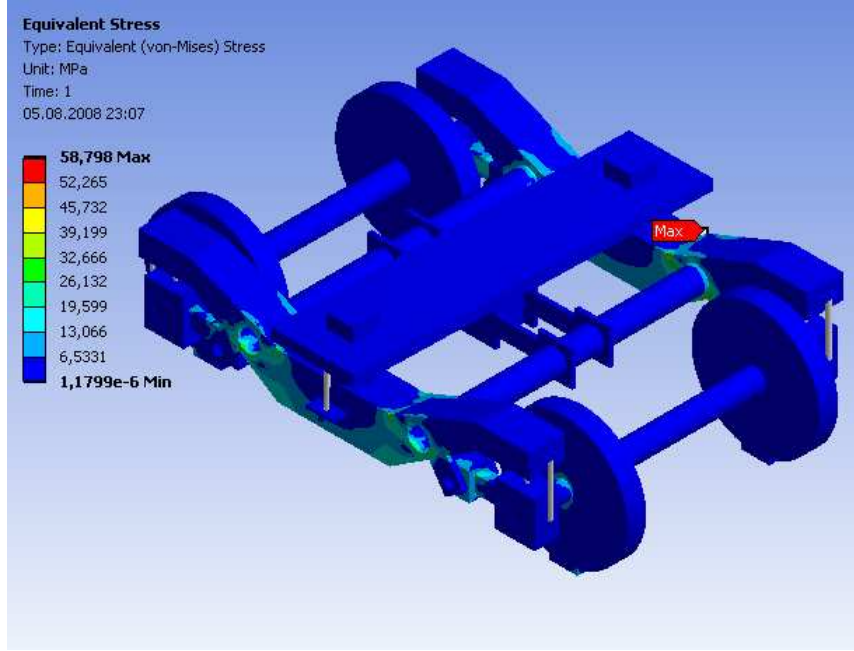
4.6.2. 2 No' lu analiz

2. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A yüzeyine 65140 N ve B yüzeyine 83750 N'luk düşey yüklemeler uygulanmıştır.



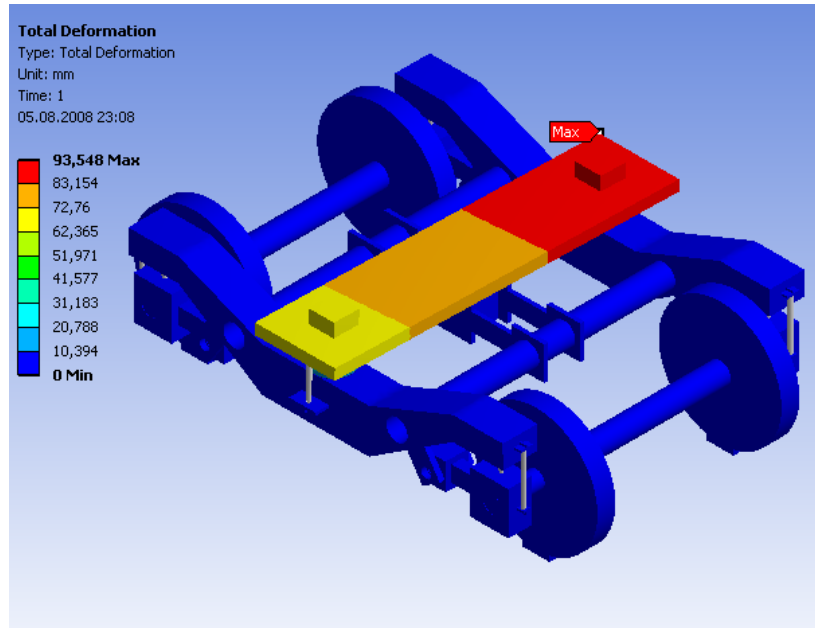
şekil 4.13. Yükler

Bu yüklemeler sonucunda oluşan en yüksek eşdeğer gerilme dağılımları bojinin B yüklemesinin uygulandığı yan gövde üzerinde 58,798 MPa 'dır.



Şekil 4.14. Eşdeğer Gerilme Dağılımı

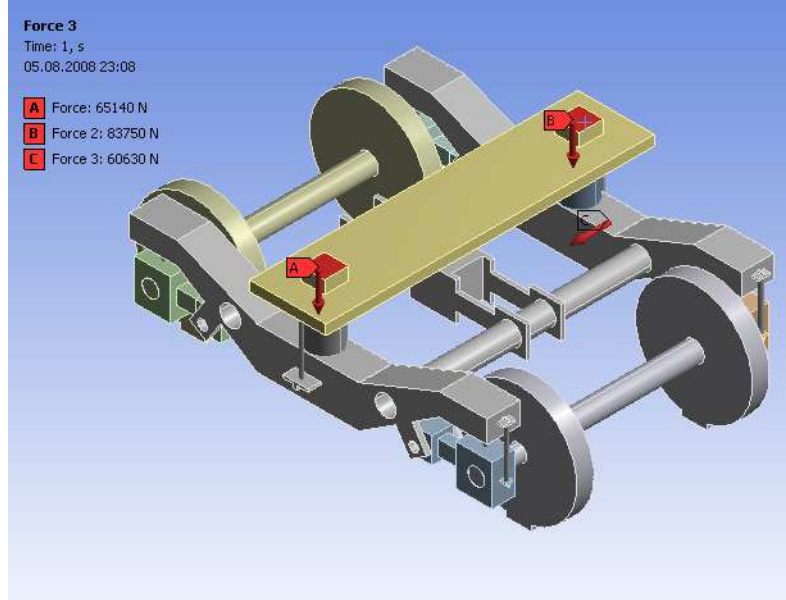
Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde B yüklemesinin uygulandığı tarafta maksimum 93,548 mm' dir.



Şekil 4.15. Toplam Yer Değiştirme

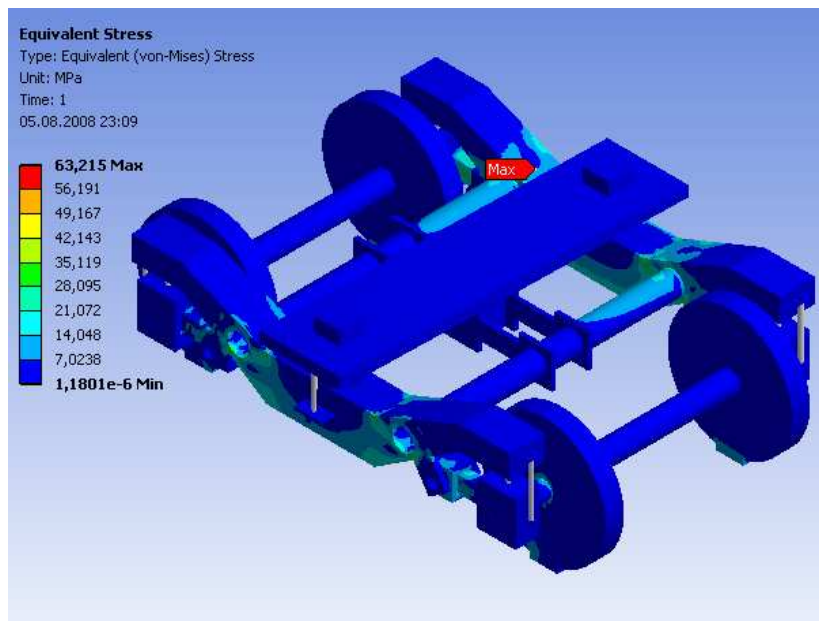
4.6.3. 3 No' lu analiz

3. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A yüzeyine 65140 N ve B yüzeyine 83750 N'luk düşey yükleme ayrıca B yükünün uygulandığı yöndeki yan gövdeye 60630 N'luk bir yanal yükleme uygulanmıştır.



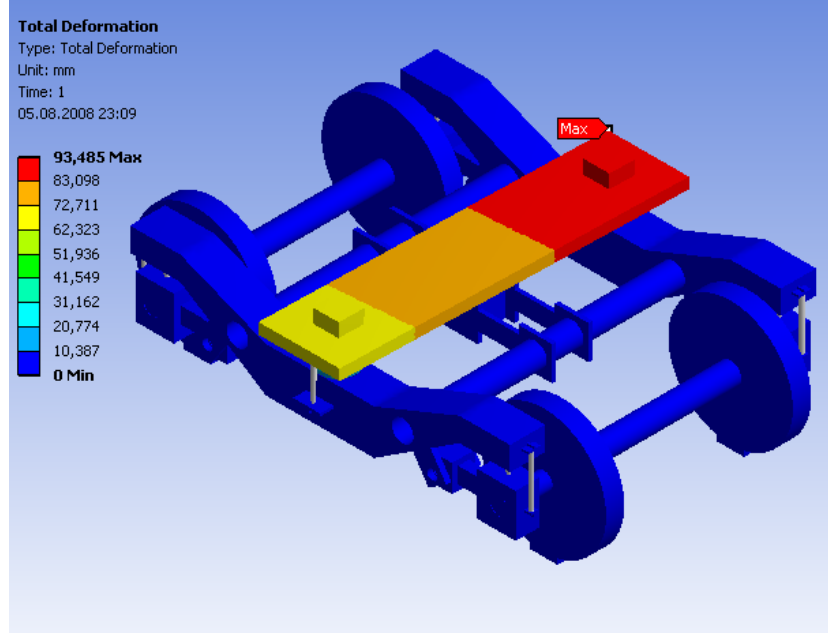
Şekil 4.16. Yükleme

Bu yüklemeler sonucunda oluşan eşdeğer gerilme dağılımları bojinin B yönündeki yüklemenin uygulandığı yan gövde üzerinde 63,215 MPa 'dır.



Şekil 4.17. Eşdeğer Gerilme Dağılımı

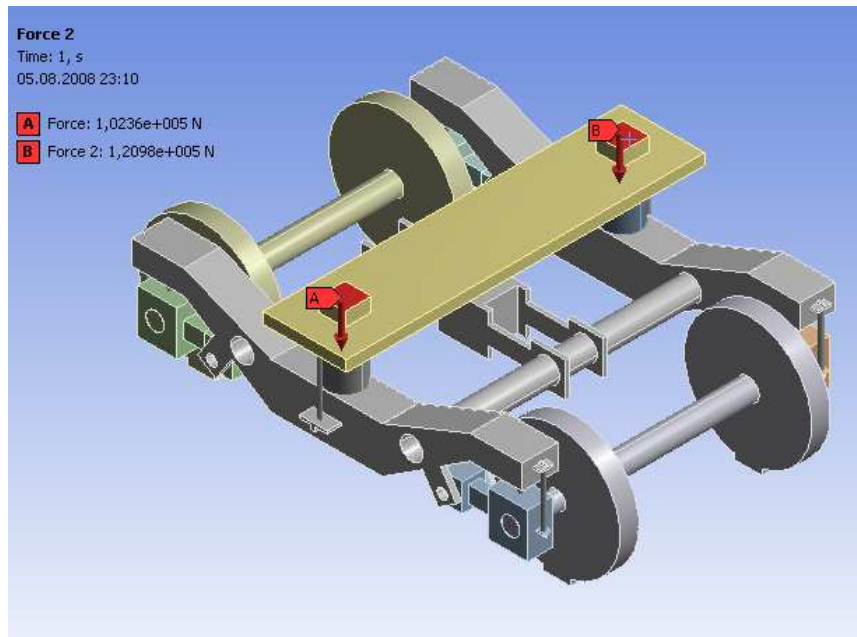
Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde B yüklemesinin uygulandığı tarafta maksimum 93,485 mm' dir.



şekil 4.18. Toplam Yer Değiştirme

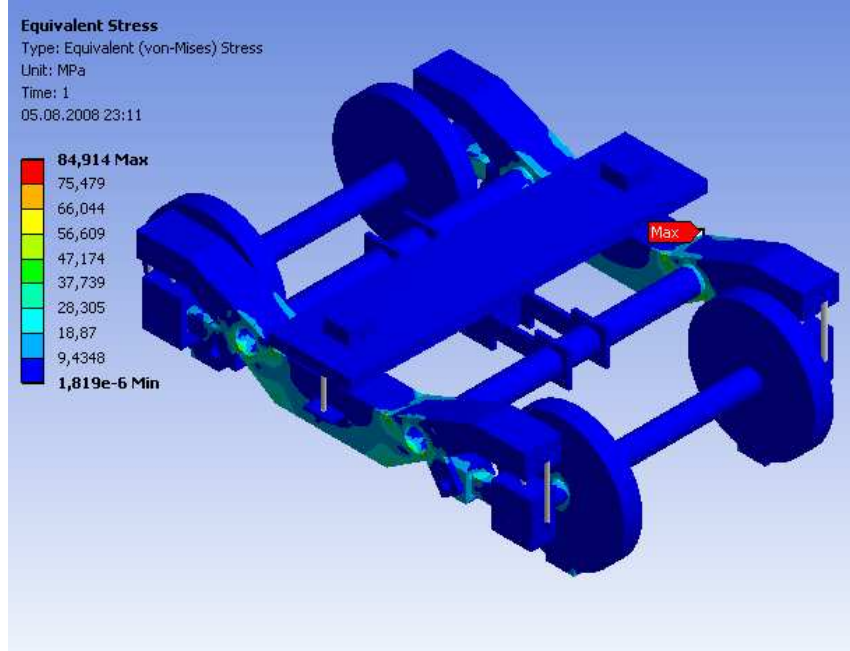
4.6.4. 4 No' lu analiz

4. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A yüzeyine 10236 N ve B yüzeyine 12098 N'luk düşey yüklemeye uygulanmıştır.



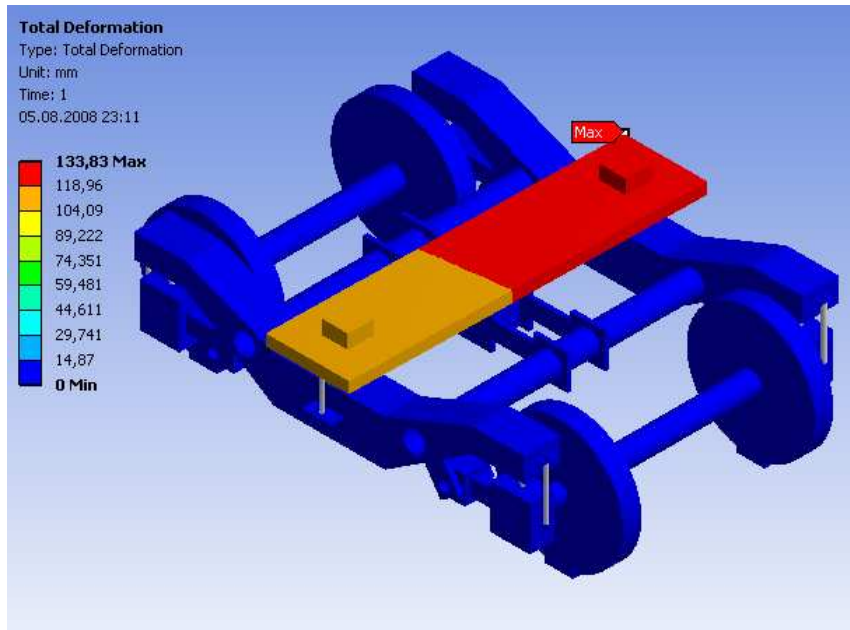
şekil 4.19. Yükler

Bu yüklemeler sonucunda oluşan eşdeğer gerime dağılımları bojinin B yönündeki yüklemenin uygulandığı yan gövde üzerinde 84,914 MPa 'dır.



Şekil 4.20. Eşdeğer Gerilme Dağılımı

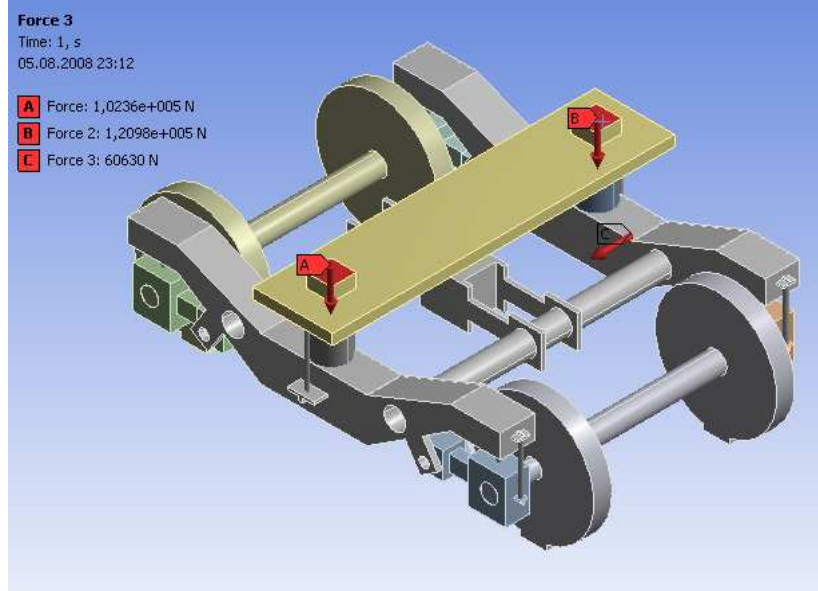
Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde B yüklemesinin uygulandığı tarafta 133,83 mm' dir.



Şekil 4.21. Toplam Yer Değiştirme

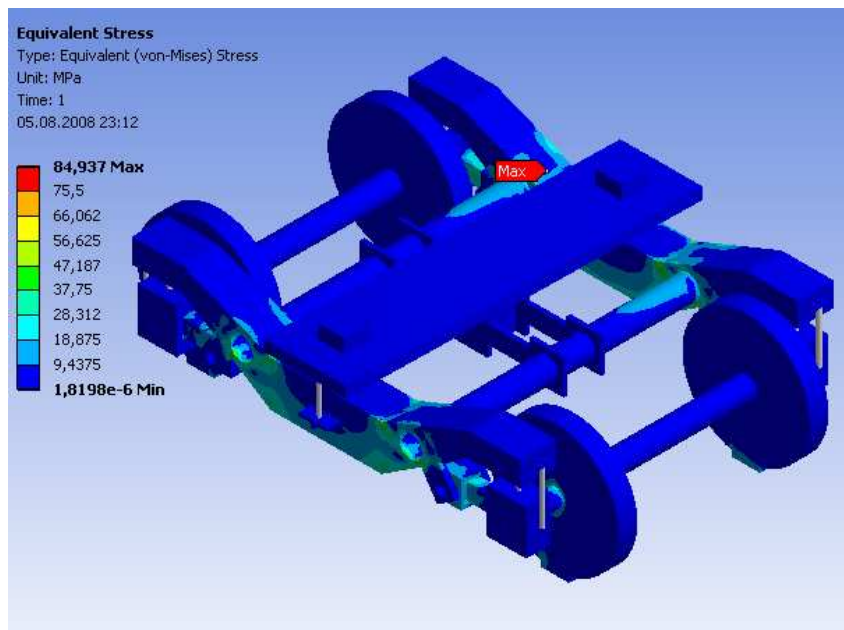
4.6.5. 5 No' lu analiz

5. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A yüzeyine 10236 N ve B yüzeyine 12098 N'luk düşey yüklemeye ayrıca B yükünün uygulandığı yöndeki yan gövdeye 60630 N'luk bir yanal yüklemeye uygulanmıştır.



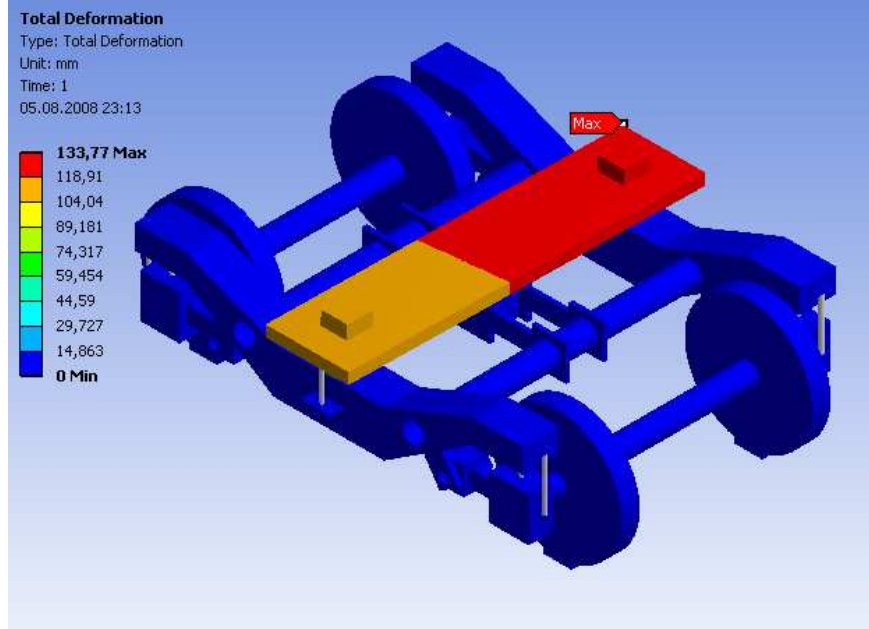
Şekil 4.22. Yükler

Bu yüklemeler sonucunda oluşan eşdeğer gerime dağılımları bojinin B yönündeki yüklemenin uygulandığı yan gövde üzerinde 84,937 MPa 'dır.



Şekil 4.23. Eşdeğer Gerilme Dağılımı

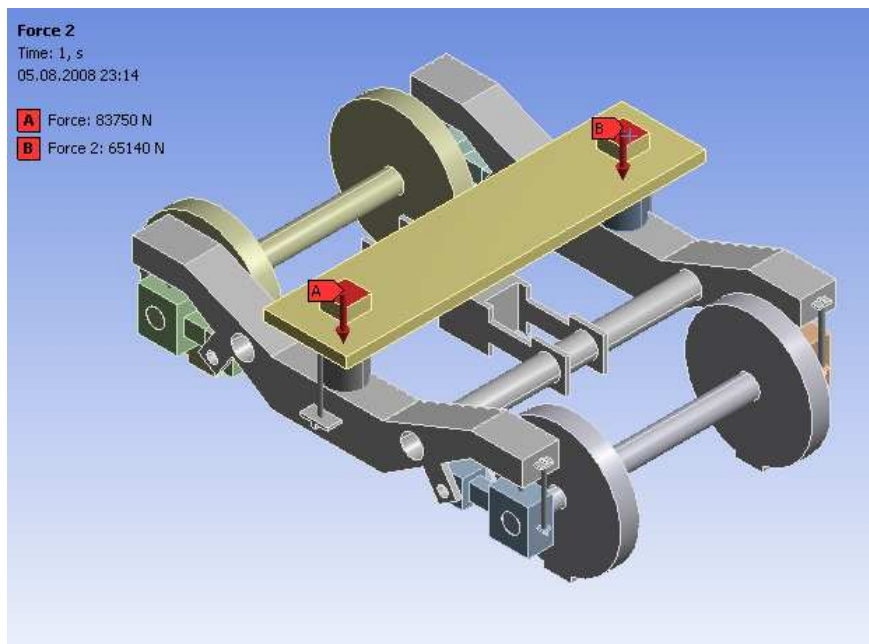
Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde B yüklemesinin uygulandığı tarafta maksimum 133,77 mm' dir.



şekil 4.24. Toplam Yer Değiştirme

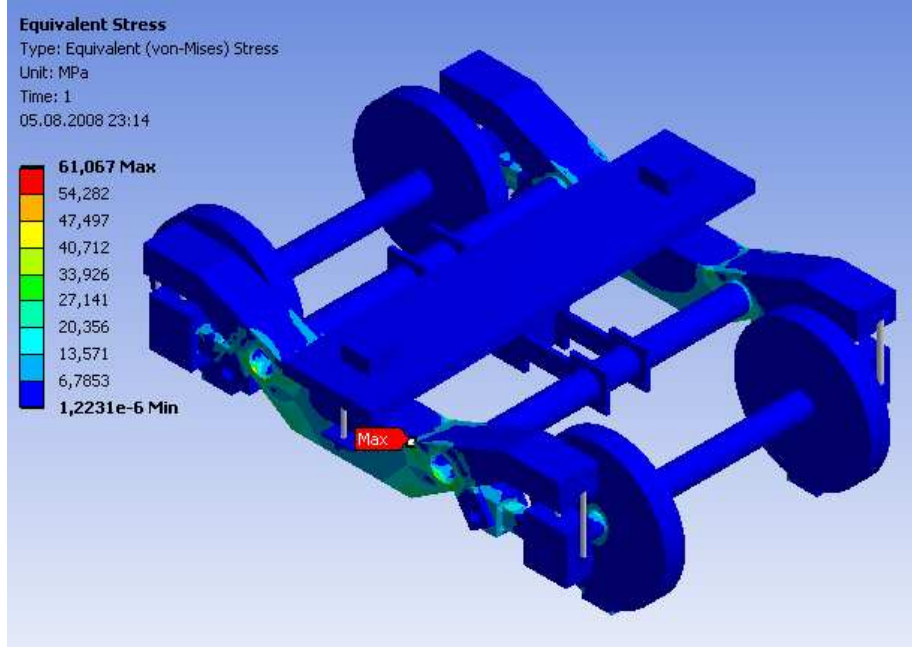
4.6.6. 6 No' lu analiz

6. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A yüzeyine 83750 N ve B yüzeyine 65140 N'luk düşey yüklemeye uygulanmıştır.



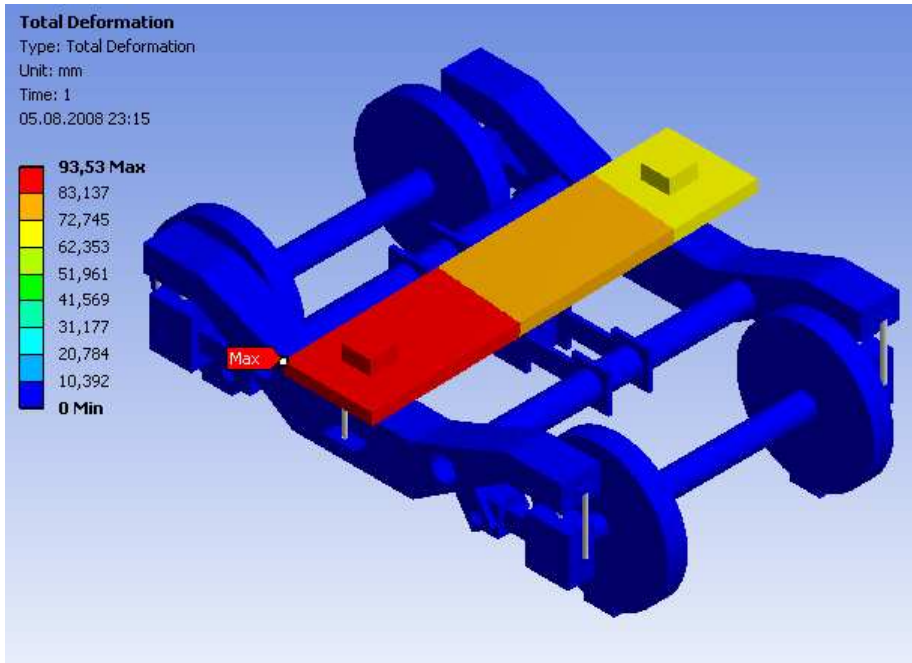
şekil 4.25. Yükler

Bu yüklemeler sonucunda oluşan eşdeğer gerilme dağılımları bojinin A yönündeki yüklemenin uygulandığı yan gövde üzerinde 61,067 MPa 'dır.



Şekil 4.26. Eşdeğer Gerilme Dağılımı

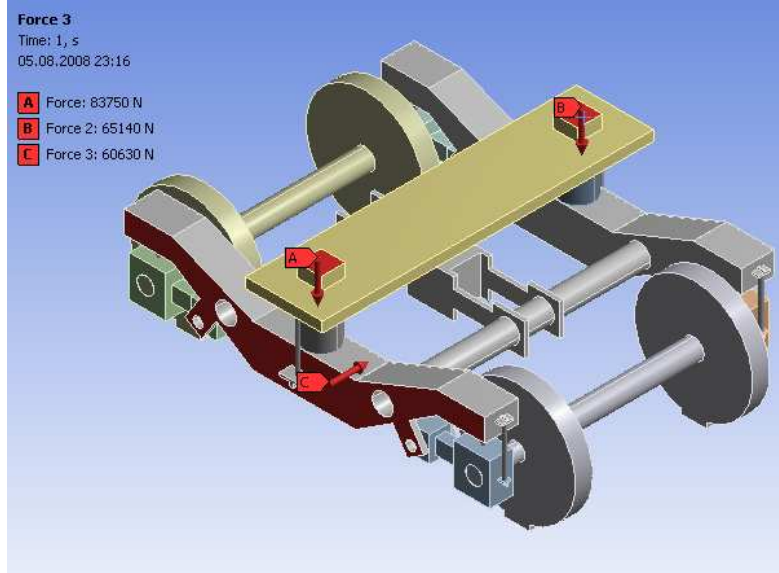
Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde A yüklemesinin uygulandığı tarafta maksimum 93,53 mm' dir.



Şekil 4.27. Toplam Yer Değiştirme

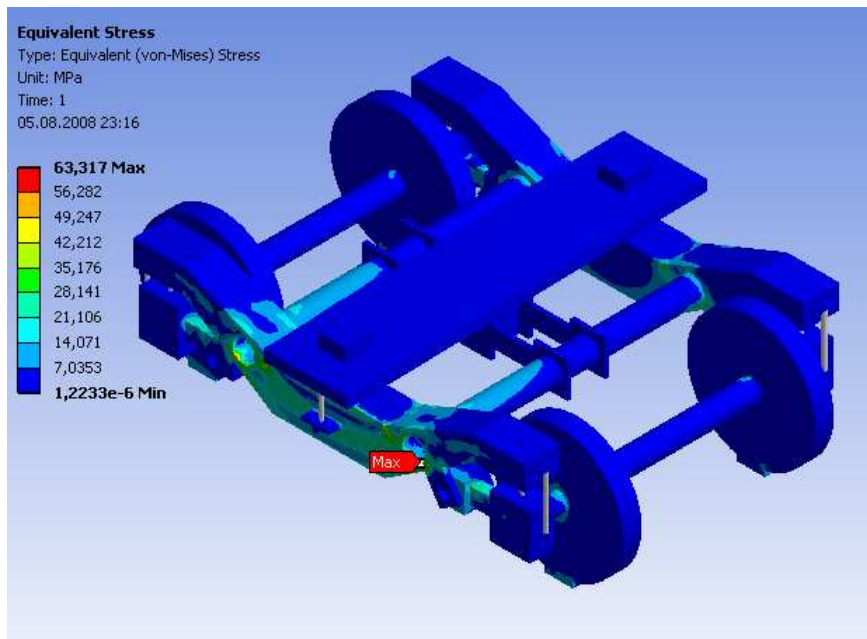
4.6.7. 7 No' lu analiz

7. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A yüzeyine 83750 N ve B yüzeyine 65140 N'luk düşey yükleme uygulanmıştır.



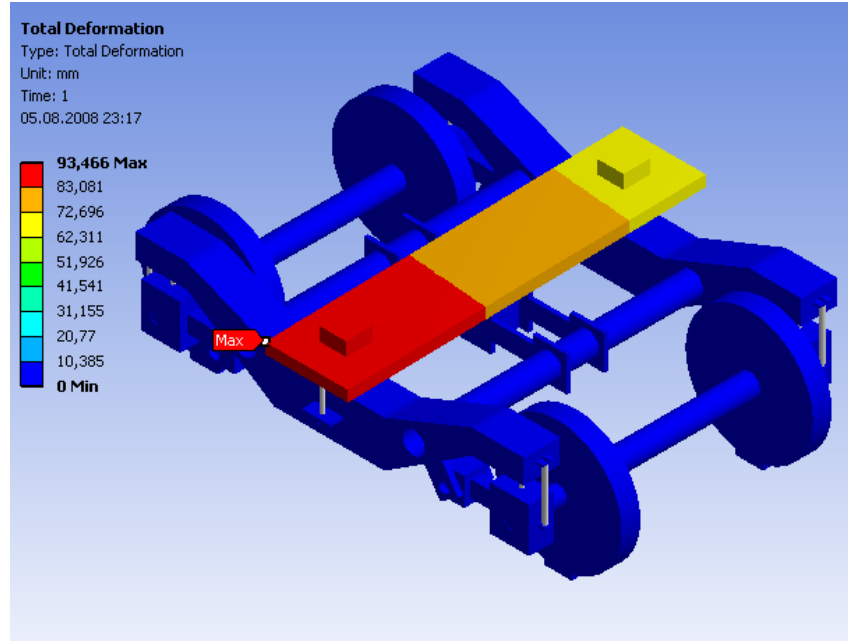
Şekil 4.28. Yükleme

Bu yüklemeler sonucunda oluşan eşdeğer gerime dağılımları bojinin A yönündeki yüklemenin uygulandığı yan gövdede 63,317 MPa 'dır.



Şekil 4.29. Eşdeğer Gerilme Dağılımı

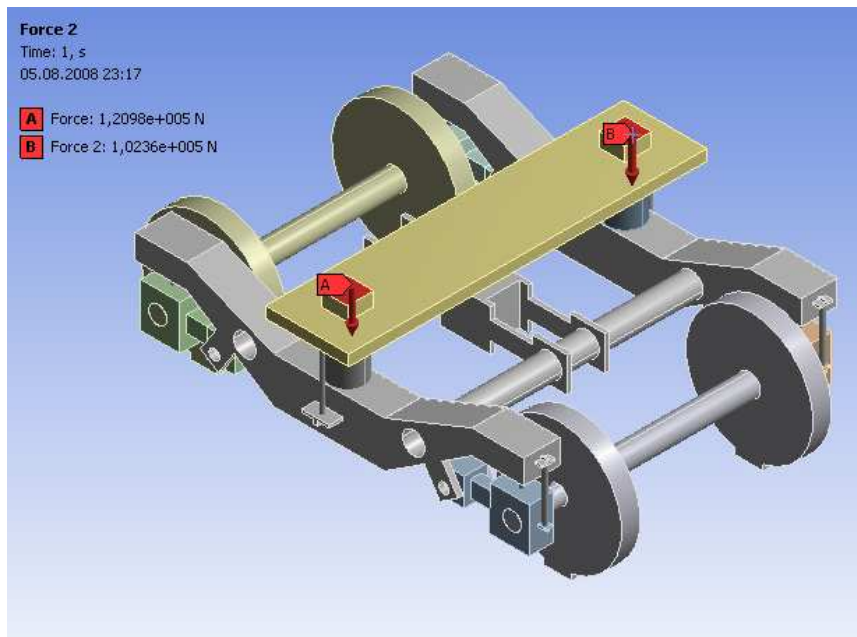
Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde A yüklemesinin uygulandığı tarafta 93,466 mm' dir.



şekil 4.30. Toplam Yer Değiştirme

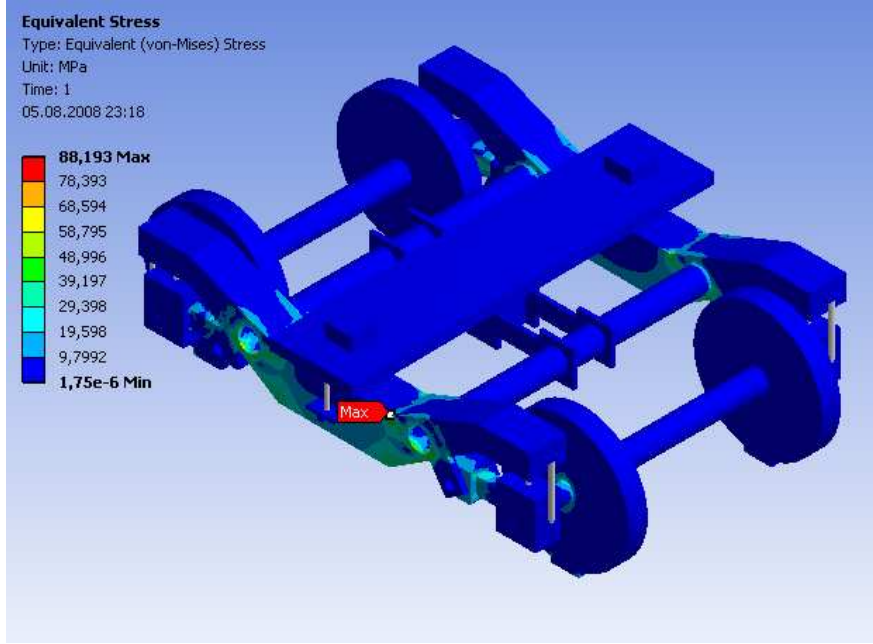
4.6.8. 8 No' lu analiz

8. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A yüzeyine 12098 N ve B yüzeyine 10236 N'luk düşey yüklemeler uygulanmıştır.



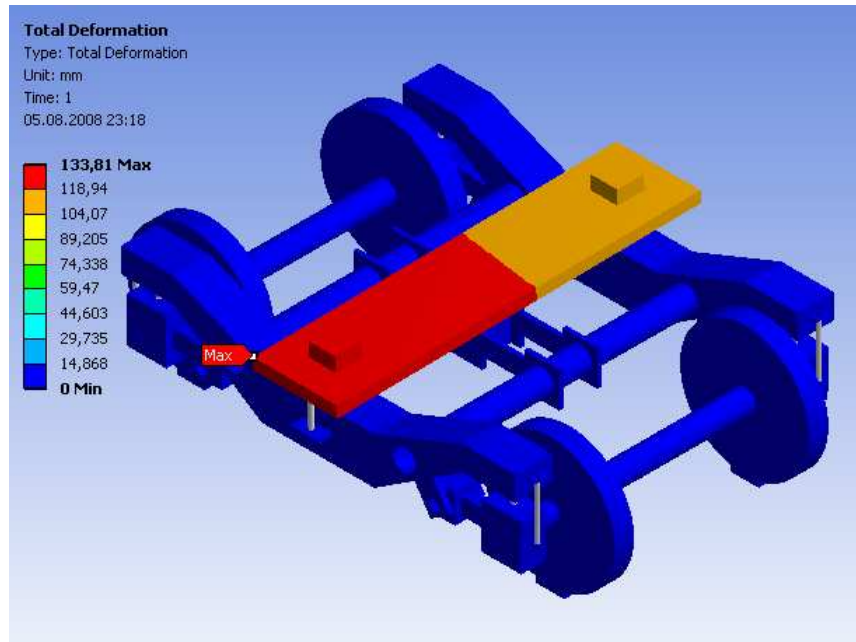
şekil 4.31. Yükler

Bu yüklemeler sonucunda oluşan eşdeğer gerime dağılımları bojinin A yönündeki yüklemenin uygulandığı yan gövdede 88,193 MPa 'dır.



Şekil 4.32. Eşdeğer Gerilme Dağılımı

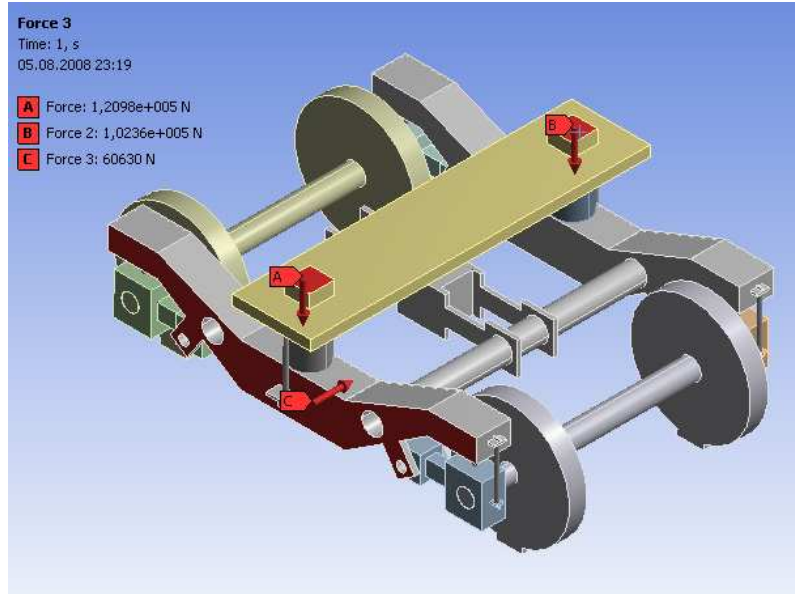
Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde A yüklemesinin uygulandığı tarafta 133,81 mm' dir.



Şekil 4.33. Toplam Yer Değiştirme

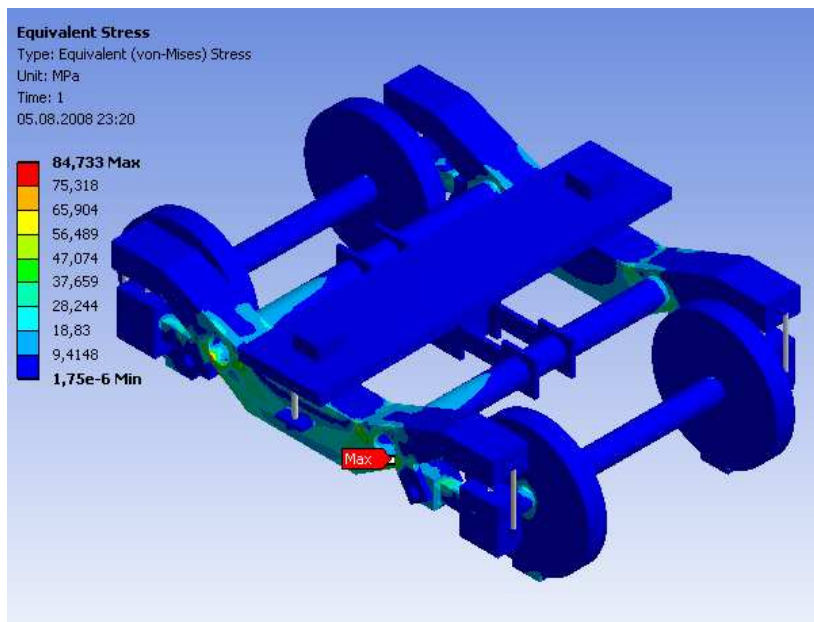
4.6.9. 9 No' lu analiz

9. analiz için boji üzerinde vagonun beşik travers ile temas eden A yüzeyine 12098 N ve B yüzeyine 10236 N'luk düşey yüklemeye ayrıca A yükünün uygulandığı yöndeki yan gövdeye 60630 N'luk bir yanal yüklemeye uygulanmıştır.



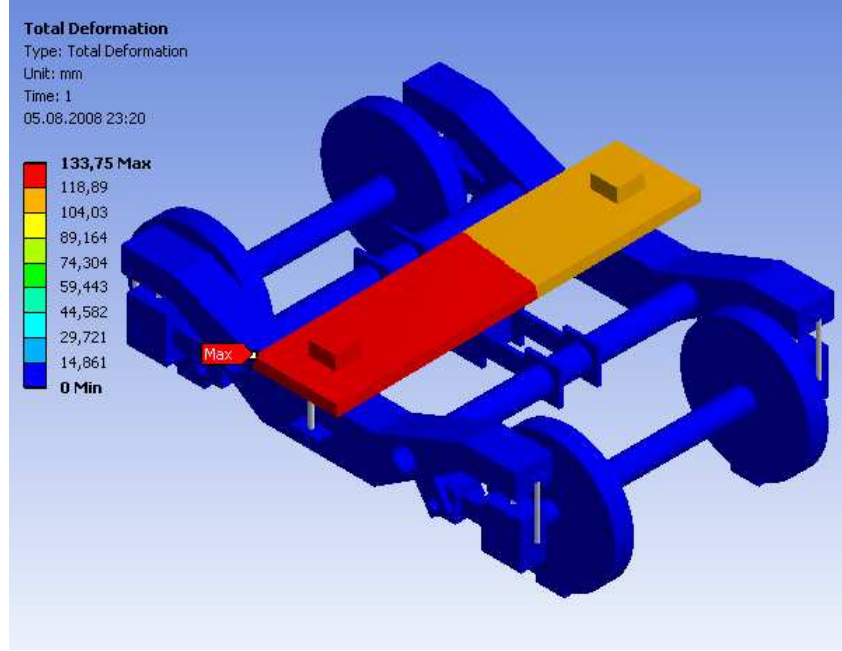
Şekil 4.34. Yükler

Bu yüklemeler sonucunda oluşan eşdeğer gerime dağılımları bojinin A yönündeki yüklemenin uygulandığı yan gövdede 84,733 MPa 'dır.



Şekil 4.35. Eşdeğer Gerilme Dağılımı

Bu yüklemeler sonucunda oluşan toplam yer değiştirme beşik travers üzerinde A yüklemesinin uygulandığı tarafta 133,75 mm' dir.



şekil 4.36. Toplam Yer Değiştirme

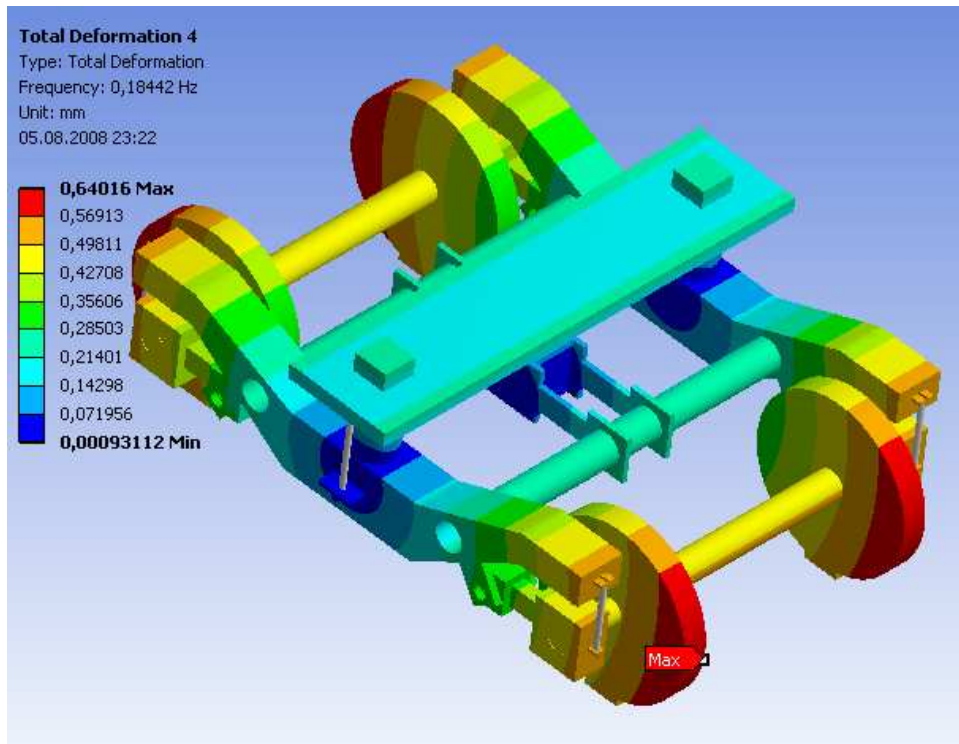
4.7. Modal Analiz

Bojinin dinamik davranışını incelemek için serbest halde ilk 20 mod hareketi için modal analiz uygulanmıştır. 20 tane sönümsüz doğal frekans ve bu frekanslara karşılık 20 tane mod şekli elde edilmiştir. İlk 3 mod hareketi tüm kütlenin hareketi şeklindedir. Sistem 12. modda burulma davranışı, 18. modda eğilme davranışı, 19. modda yanal davranış göstermektedir. Tasarım yapılırken dışarıdan gelen kuvvetlerin frekanslarının hesaplanan sönümsüz doğal frekanslarla çakışmaması gerekmektedir. Aksi takdirde sistem rezonansa girerek bozulur veya parçalanabilir.

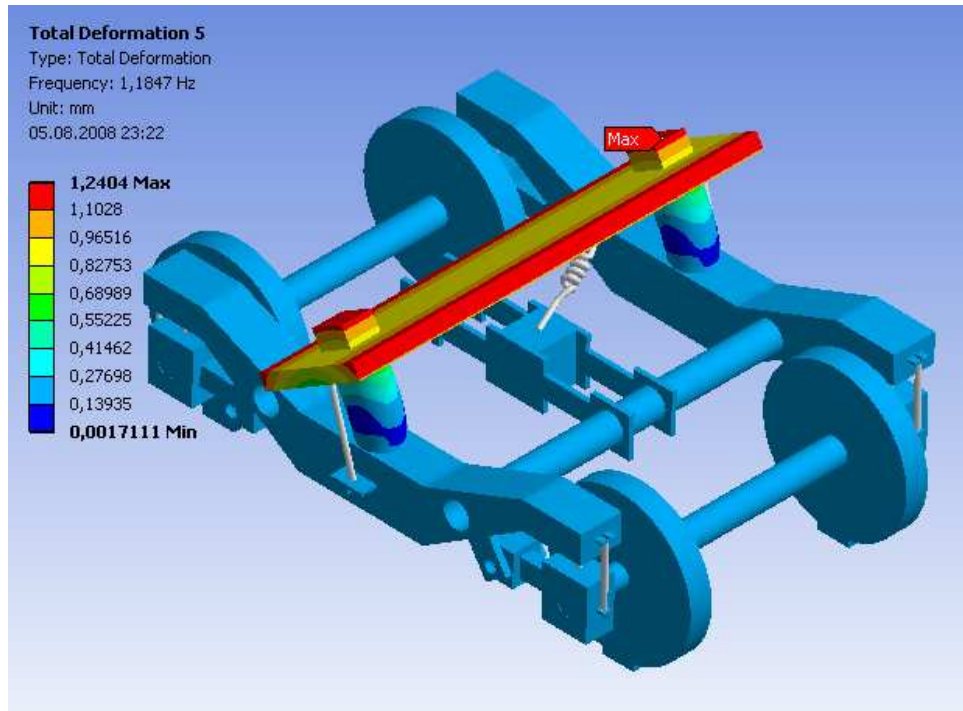
Tablo 4.3. Mod şekilleri ve frekanslar

Mod	Frekans [Hz]
1	0
2	3,9359e-004
3	8,6685e-004
4	0,18442
5	1,1847
6	2,2133
7	2,6041
8	3,7742
9	5,5513
10	7,4109
11	10,199
12	19,242
13	21,441
14	45,78
15	45,899
16	46,047
17	46,063
18	48,072
19	52,72
20	54,031

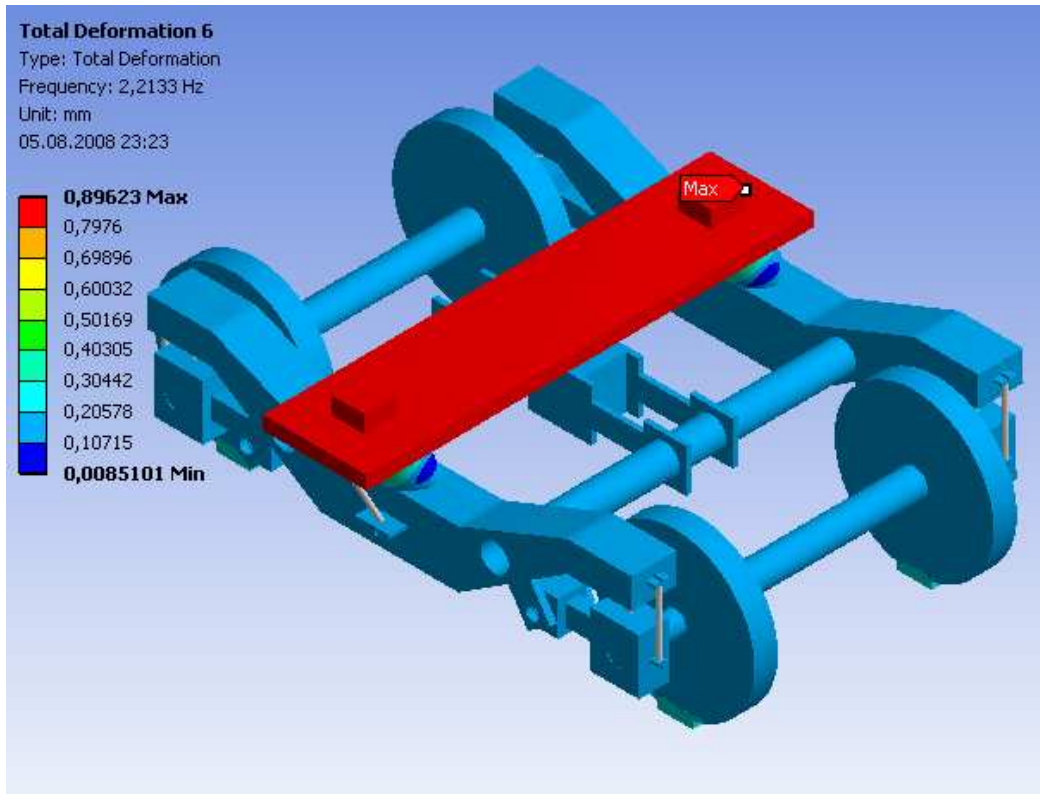
4.7.1. Modlara göre bojinin hareketleri



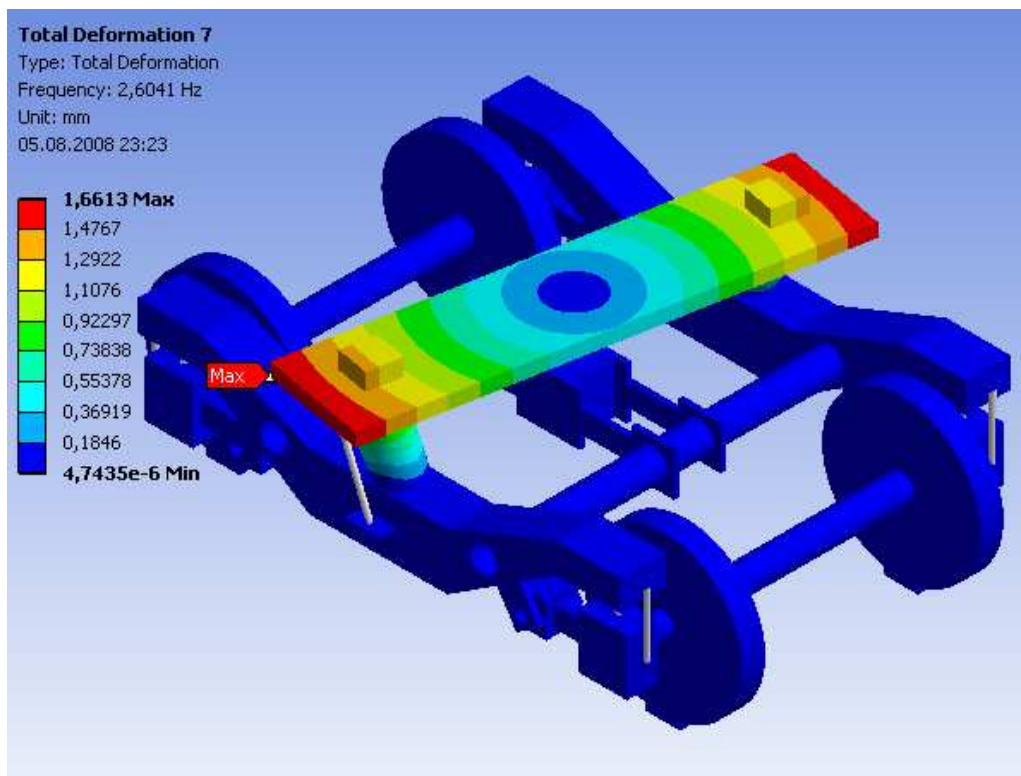
Şekil 4.37. Mod 4



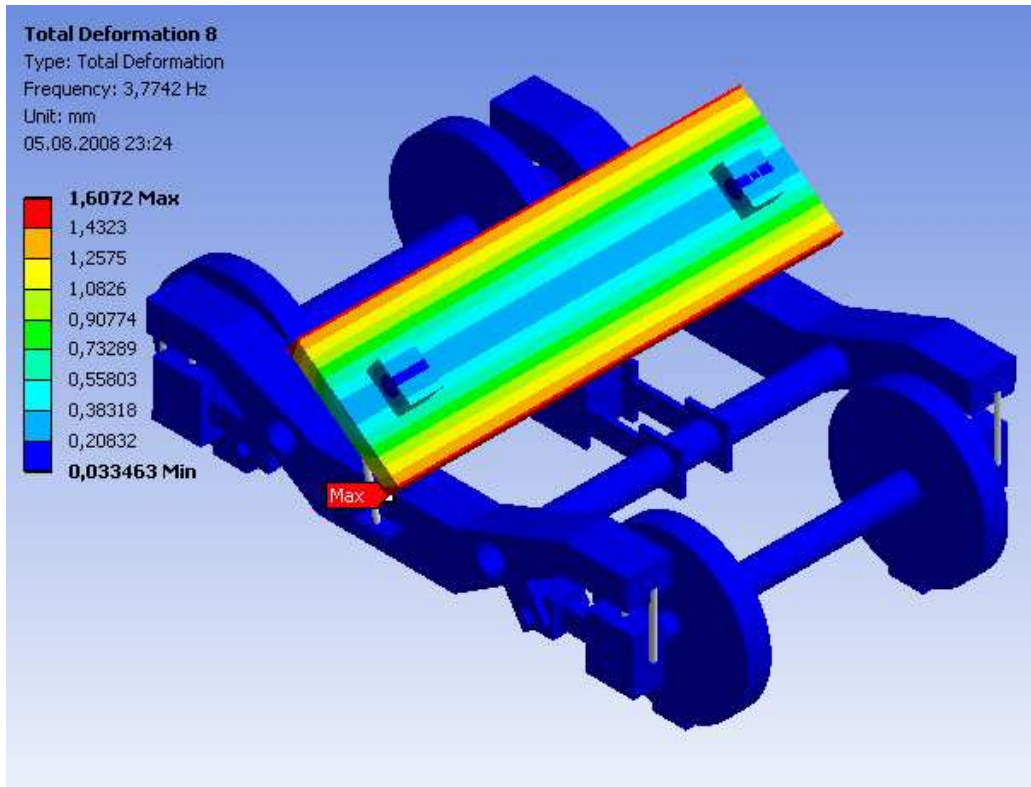
Şekil 4.38. Mod 5



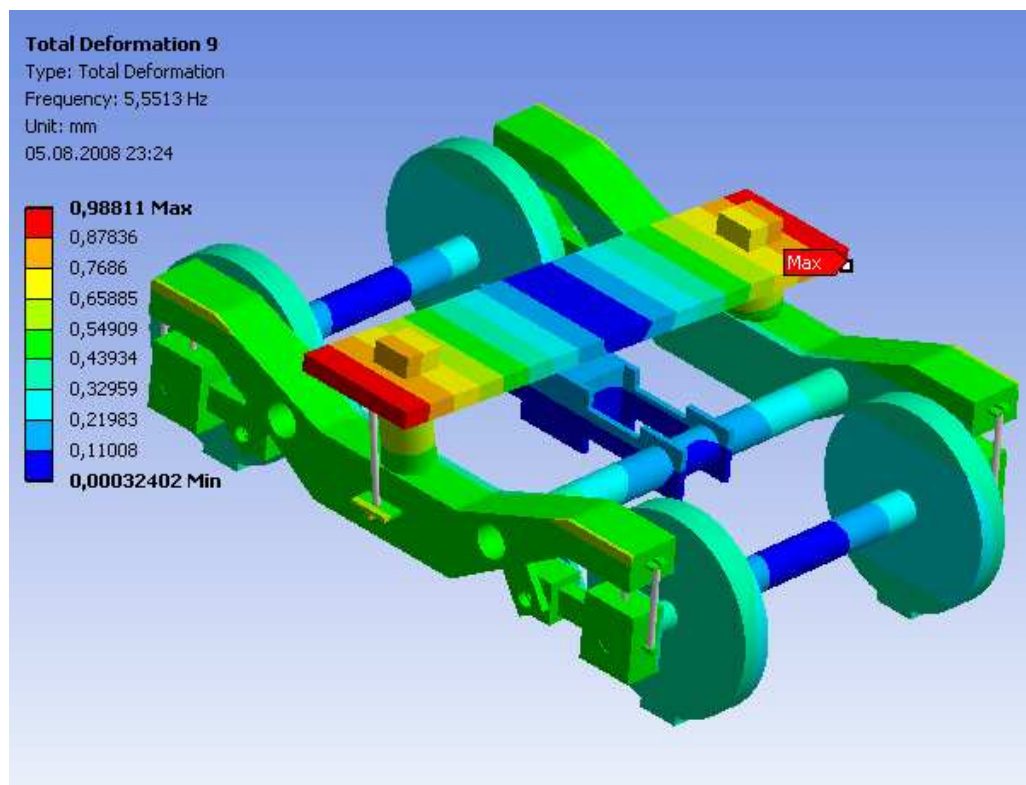
Şekil 4.39. Mod 6



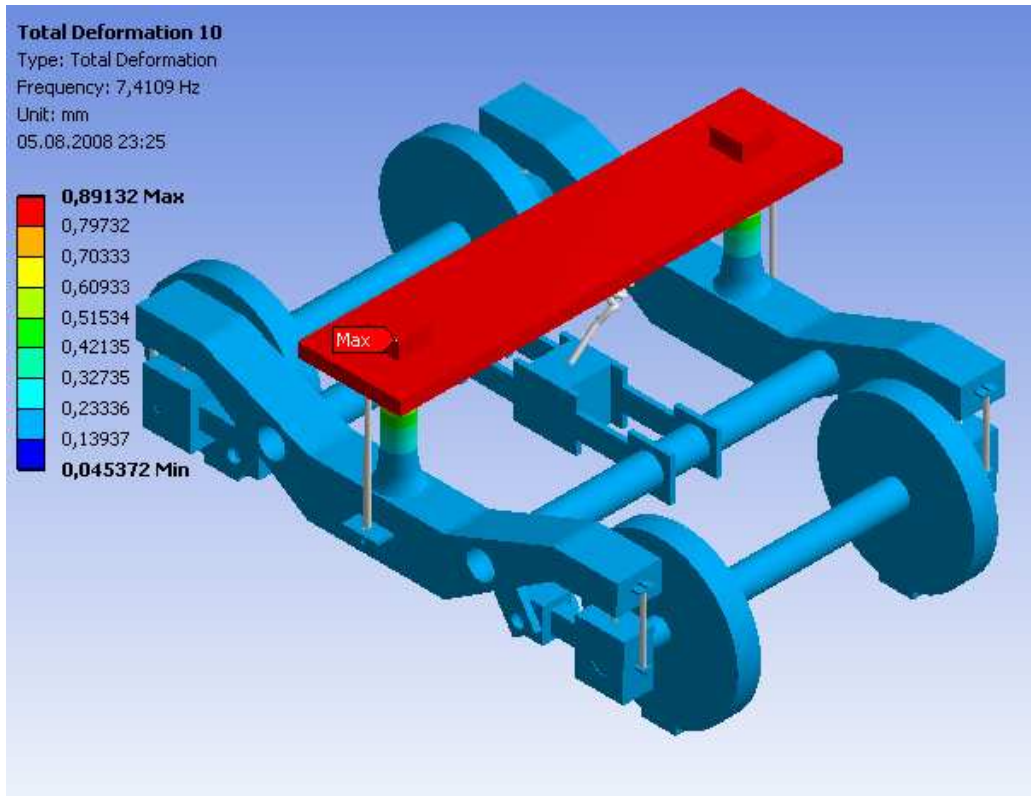
Şekil 4.40. Mod 7



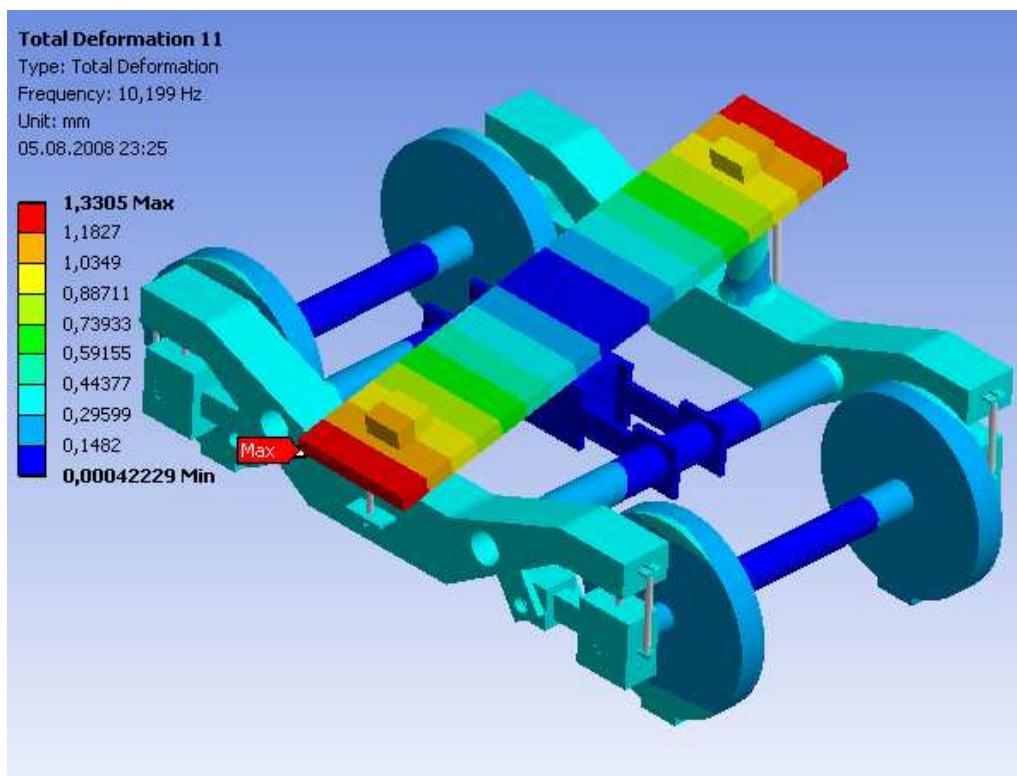
Şekil 4.41. Mod 8



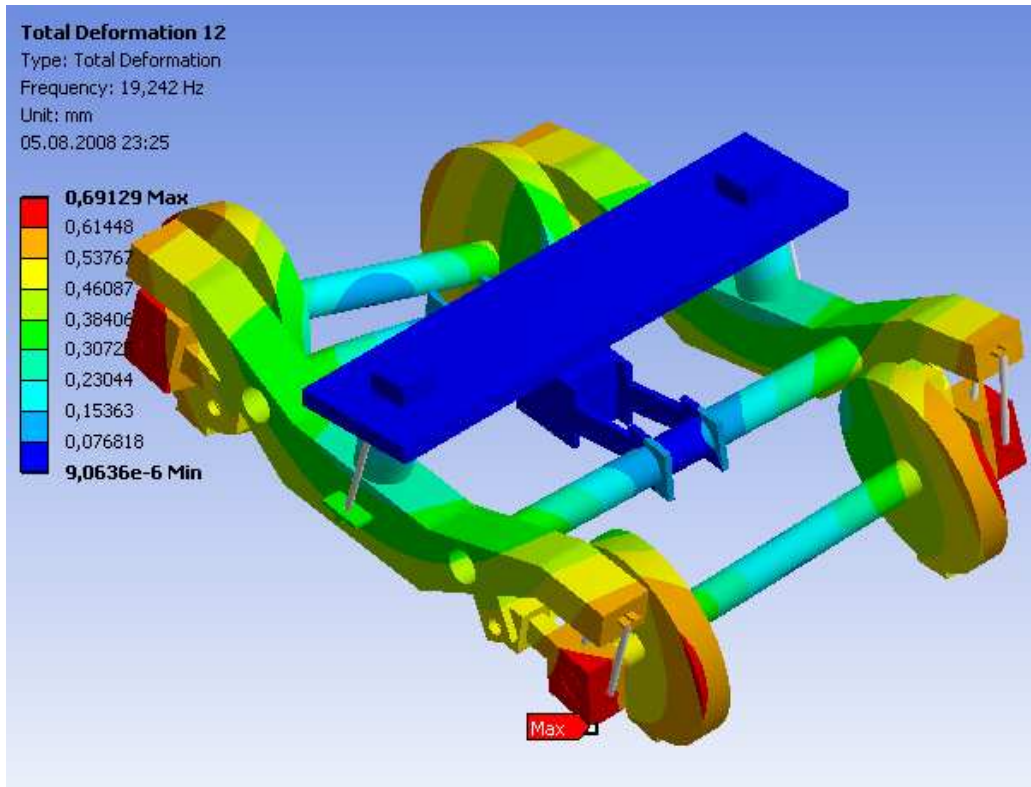
Şekil 4.42. Mod 9



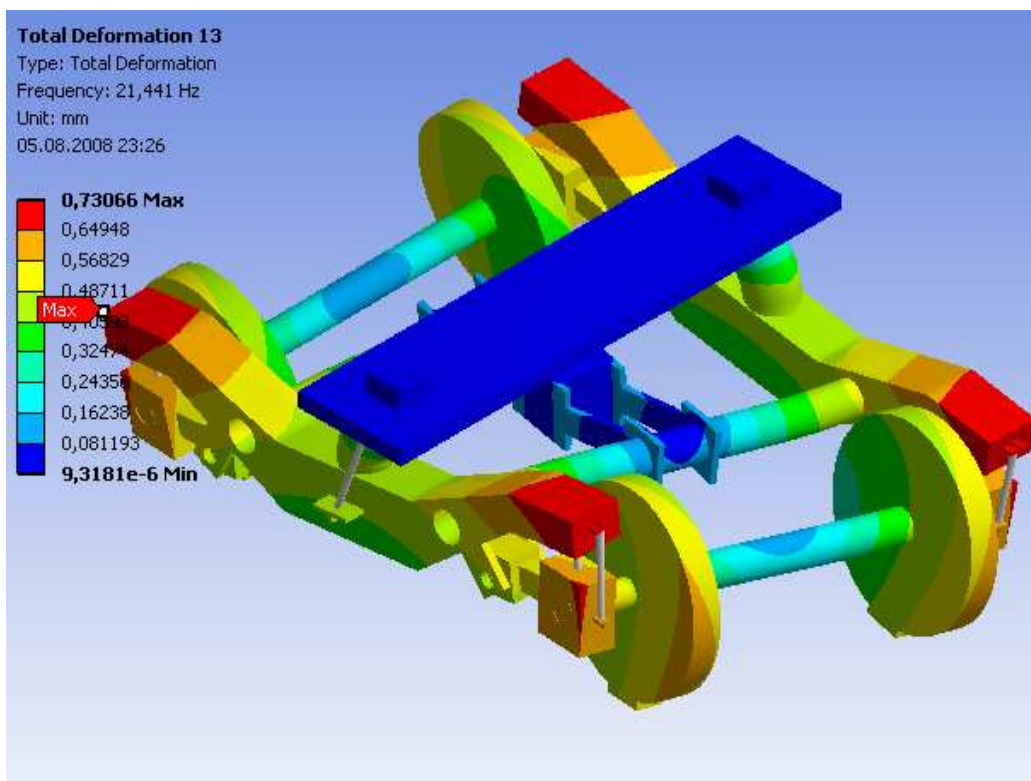
Şekil 4.43. Mod 10



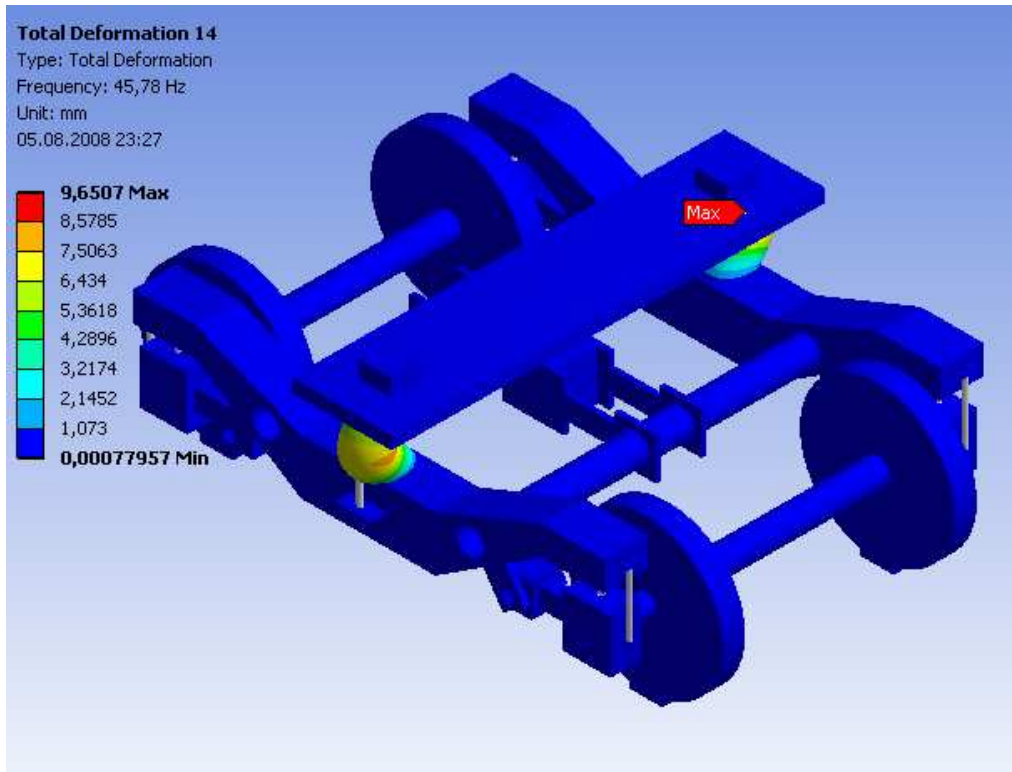
Şekil 4.44. Mod 11



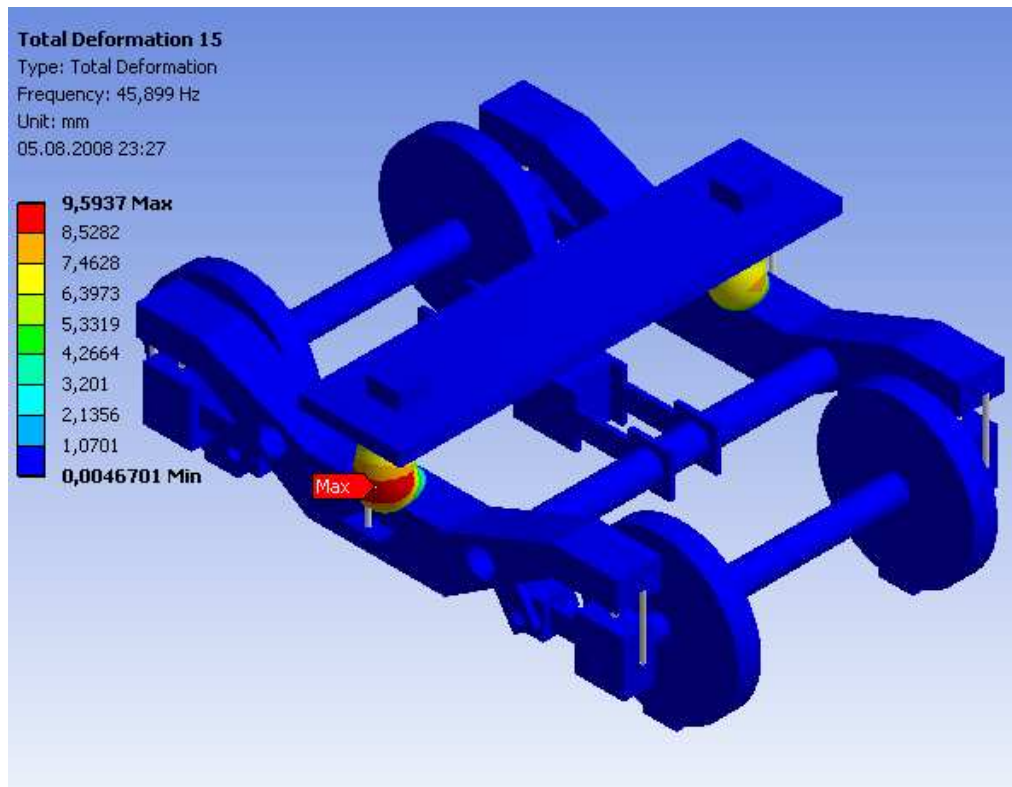
Şekil 4.45. Mod 12



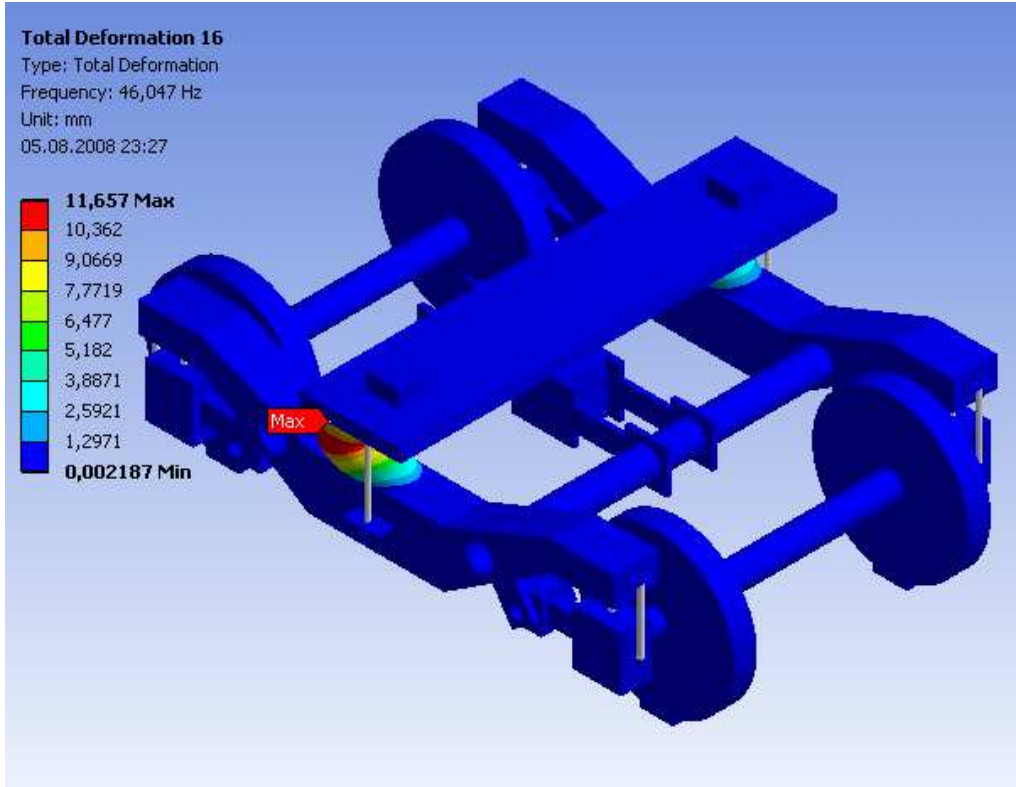
Şekil 4.46. Mod 13



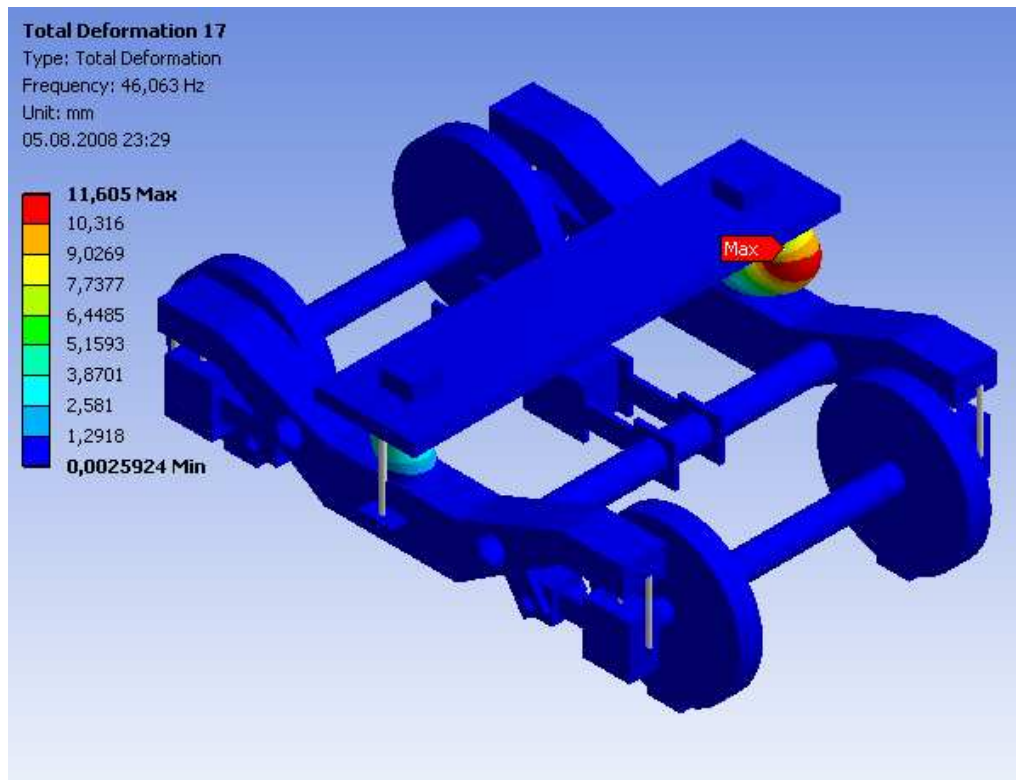
Şekil 4.47. Mod 14



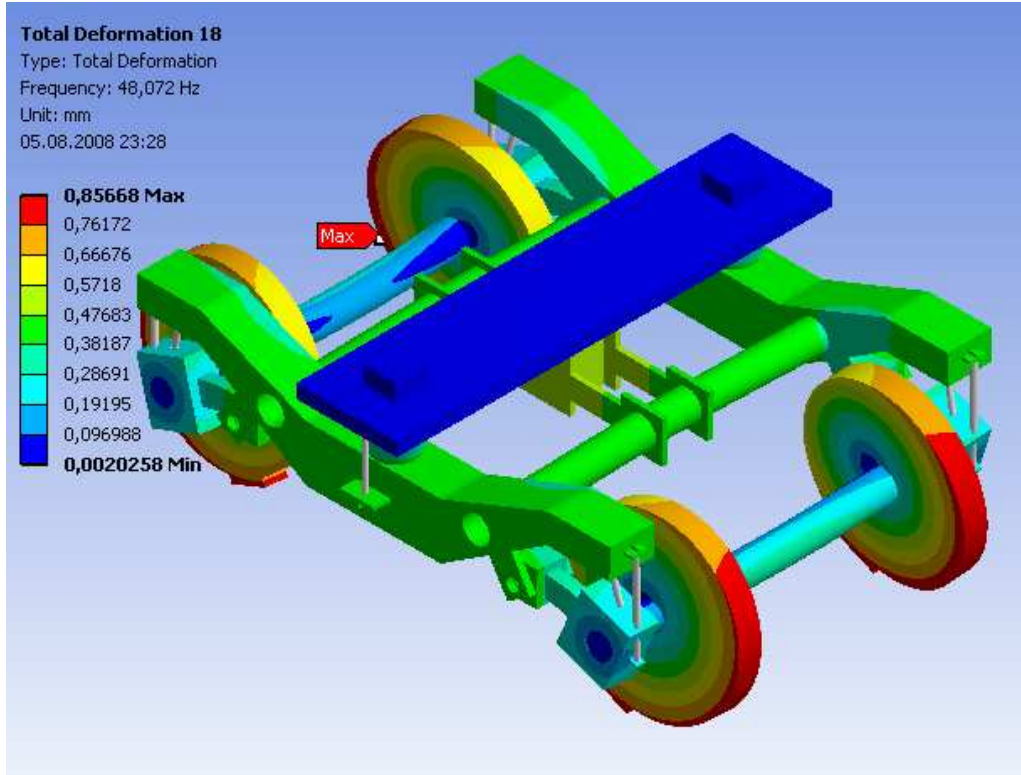
Şekil 4.48. Mod 15



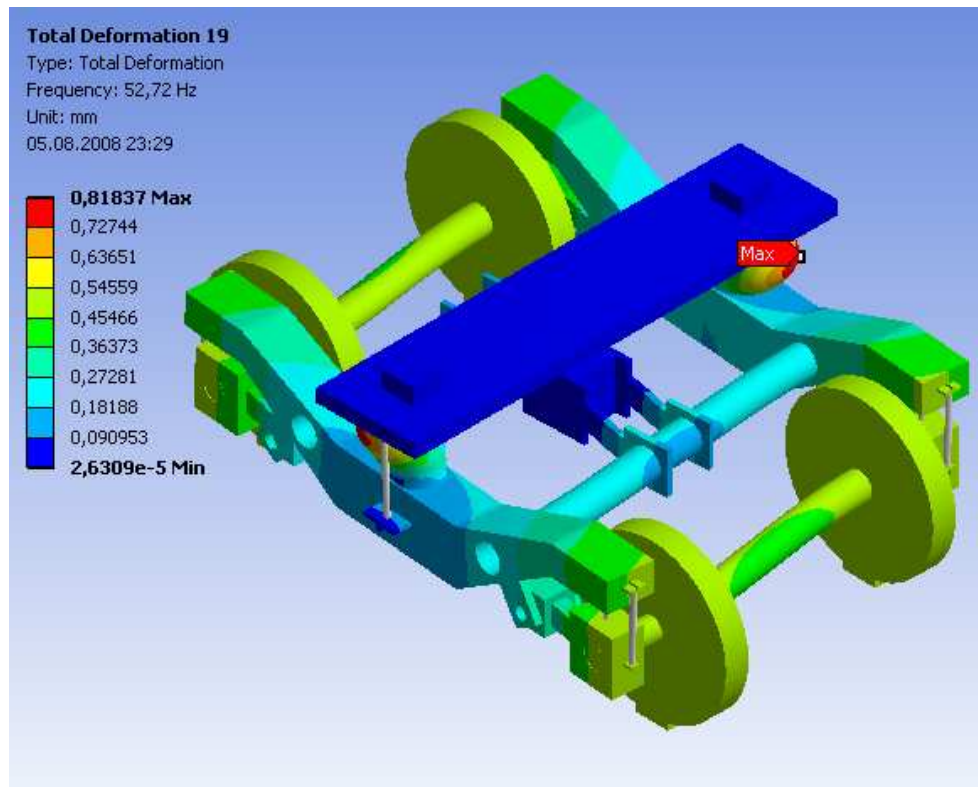
Şekil 4.49. Mod 16



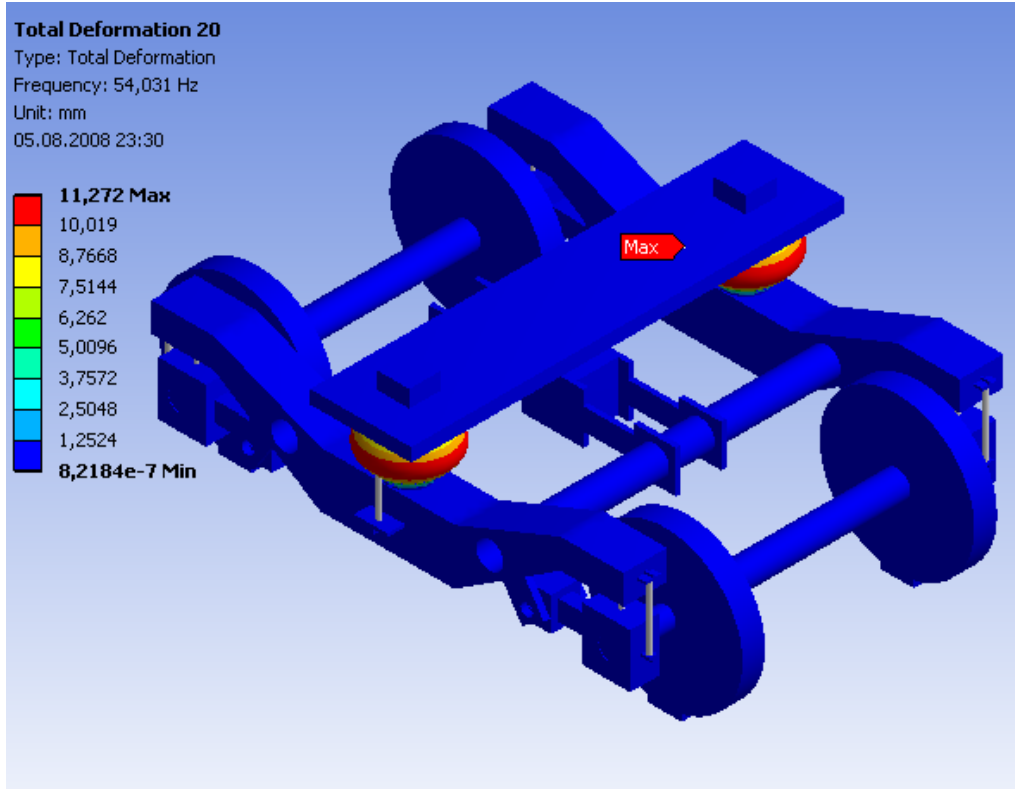
Şekil 4.50. Mod 17



Şekil 4.51. Mod 18



Şekil 4.52. Mod 19



Şekil 4.53. Mod 20

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada demiryolu vagonunun bojisine belirli şartlar altında statik ve dinamik testler uygulanmıştır. Simülasyon çalışması için Tüvasaşta üretilen Y 32 bojisinin basitleştirilmiş bir modeli oluşturulmuştur. İlk olarak bojiyi oluşturan elemanların katı modeli CAD programında oluşturulmuştur daha sonra bu elemanlar aynı programın içinde montaj modeli haline getirilmiştir ve analizi yapılmak üzere sonlu elemanlar yöntemiyle çözümlenmeler yapan programa aktarılmıştır. Statik testler Uluslararası Demiryolları Birliği UIC 515 - 4 teknik şartnamesine göre yapılmıştır. Bu şartname yolcu vagonu bojileri için statik ve yorulma dayanımı testlerini içermektedir. Bu şartnamede kabul edilebilir şartlar altındaki yüklemelerin tanımları, testlerin uygulanma şartları, uygulanan testlerden elde edilen sonuçlar ve bu test sonuçlarıyla ilgili değerlendirmeler ve alınması gereken önlemler yer almaktadır.

Bir bojinin tasarımı yapılırken hareket organlarından gelebilecek en ağır dinamik şartlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bojinin kendisinden beklenen görevi tam olarak yerine getirebilmesi; konfor şartlarını sağlaması, yüksek hızlara karşı denge şartlarını sağlaması ve bakım gereksinimlerinin az olması ile mümkün olmaktadır.

Yapılan statik hesaplamalar sonucunda oluşan gerilmeler akma sınırlarının altında kaldığından Y 32 bojisinin UIC 515-4 standardına göre uygun olduğu görülmektedir. Elde edilen eşdeğer gerilme dağılımlarının akma sınırlarının oldukça altında değerlerde çıkması insan faktörünün olduğu yapılarda emniyet faktörünün yüksek olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yapılan bu testlerin ileride kurulacak bir test standında deneysel olarak uygulanması da yapılan çalışmayı destekleyebilir.

Bojinin dinamik davranışını incelemek amacıyla serbest halde modal analiz yapılmıştır. Modal Hesaplama sonucunda ilk 20 mod hareketi incelenmiştir. Bunun sonucu olarak 20 tane doğal frekans ve bu frekanslara karşılık 20 tane mod şekli elde

edilmiştir. Bir tasarım yapılırken dışarıdan gelen kuvvetlerin frekanslarının hesaplanan sönümsüz doğal frekanslarla çakışmaması gerekmektedir. Aksi takdirde sistem rezonansa girerek bozulur veya parçalanabilir.

Yapılan çalışma aynı zamanda mühendislik hesaplamalarında bilgisayarın önemini ortaya koymaktadır. Bilgisayar destekli hesaplama yöntemleri ile deney ve teçhizat masrafı ortadan kalkar, zaman tasarrufu kazanılabilir ve konstrüktif çalışmalar neticesinde ortaya çıkan problemlere direk müdahale imkânı olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] www.uic.asso.fr, Haziran, 2008.
- [2] www.tuvasas.com.tr, Haziran, 2008.
- [3] Y 32 Boji Kitapçığı, Tüvasaş, Adapazarı, 1998.
- [4] ABA, E., “Bir Yolcu Vagonunun Dinamik Tasarımı ve Titreşim Konforunun Analizi Üzerine Bir Yaklaşım”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
- [5] ÇAKIR, K., GÜNEY, B., DAĞSÖZ, A., Raylı Taşımacılıkta Konfor, Mühendis ve Makine, Sayı 408, sy. 23-34, 1994.
- [6] ÇAK, R., “Yolcu Vagonu Transport Sistemlerinin Bilgisayar Teknolojisi İle Tasarımı ve Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [7] KIRIŞIK, R., “Demiryolu Vagonunun Titreşim Modeli ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [8] KARAYEL, D., EREL, G., Raylı Taşıtlarda Süspansiyon Sistemlerinin Performans Analizi, 2. Ulusal Demiryolu Kongresi, sy. 399-411, İstanbul, 1997.
- [9] FERGUSON, N. S., Modelling the Vibrational Characteristics and Radiated Sound Power For A Y25-Type Bogie and Wagon, Journal of Sound and Vibration, Volume 231, pp. 791-803, 2000.
- [10] KIM, J. S., Fatigue Assessment of Tilting Bogie Frame for Korean Tilting Train: Analysis and Static Tests, Journal of Engineering Failure Analysis, Volume 13, pp. 1326-1337, 2006.
- [11] OYAN, C., Structural Strength Analysis of the Bogie Frame in Taipei Rapid Transit Systems, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Proquest Science Journals, Volume 222, Part F, pp. 253-262, 1998.
- [12] PARK, B. H., KIM, N. P., KIM, J. S., LEE, K. Y., Optimum Design of Tilting Bogie Frame in Consideration of Fatigue Strength and Weight, Vehicle System Dynamics, Volume 44:12, pp. 887-901, 2006.

- [13] ÖZSOY, M., “TVS 2000 Yolcu Vagonlarında Ray Düzgünsüzlüğünün Titreşim Konforuna Etkisi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [14] ROMAN, J. L., CALDAS, C. A., QUESADA, A., Structural Validation of Railway Bogies and Wagons Using Finite Elements Tools, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Rail and Rapid Transit, Volume 219, Part F, pp. 139-150, 2005.
- [15] CLAUS, H., SCHIEHLEN, W., Modeling and Simulation of Railway Bogie Structural Vibrations, Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, pp. 1-15, 1997.
- [16] GOLASCH, G., GUNGOR, G., MEISINGER, R., GONG, C. W., WEI, S. G., Simulation of A Railway-Bogie, Schriftenreihe Der Georg-Simon-Ohm-Facchhochschule Nürnberg Nr.3, pp: 22-26, 2001.
- [17] JONG, D.D., Running Dynamics of Long Passenger Trains in Push / Pull Operation, The 1st MSC.ADAMS European User Conference London, 2002.
- [18] SHOU, W. T., MIN, H. Y., Finite Element Method Analysis of Bogie Static Strength Calculation, System - wide E&M Project Office, Taipei.
- [19] WENZHANG, Z., CHENGGUO, W., LIXIN, Q., Kasteel, R. V., SW160 Bogie Dynamics Analysis with Magic Formula Damper Model at CARS, The 1st MSC.ADAMS European User Conference, London, 2002.
- [20] FRACZEKS, J., Modeling and Dynamical Analysis of Flexible Vehicle Using FEM and MS Approach, 16th European ADAMS User Conference, Berchtesgaden, 2001.
- [21] HUANG, Y. M., WANG, T. S., Rotational Resistance Behavior and Field Testing of Two-Axle Bogie Design, Vehicle System Dynamics, Volume 31, Sy. 47-63, 1999.
- [22] ARVIND, K., SANJEEV, S., AJIT, S., MAHESH, R., Improvement in Secondary Suspension of “IRY – IR 20” Coach Using Adams Rail, ADAMS/Rail User’s Conference, 2000.
- [23] EVANS, J. R., ROGERS, P. J., Validation of Dynamic Simulations of Rail Vehicles with Friction Damped Y25 Bogies, Vehicle System Dynamics, Volume 28, pp. 219-233, 1998.
- [24] MOLATEFI, H., HECHT, M., KADIVAR, M. H., Effect of Suspension System in the Lateral Stability of Railway Freight Trucks, Journal of Rail and Rapid Transit, Volume 221, Part F, pp. 399-407, 2007.

- [25] POLACH, O., On Non-Linear Methods of Bogie Stability Assessment Using Computer Simulations, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Rail and Rapid Transit, Volume 220, Part F, pp. 13-27, 2006.
- [26] UIC 515-4 leaflet, Passenger rolling stock - Trailer bogies - Running gear - Bogie frame structure strength tests, 1st edition, 1993.
- [27] CRAIG, R. R., Structural Dynamics, John Wiley & Sons Inc., 1981.
- [28] PASİN, F., “Mekanik Titreşimler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [29] FIRAT, M., “Mekanik Tasarımda Dayanım ve Güvenilirlik”, Sakarya Üniversitesi, 2005.
- [30] GÜNAY, D., “Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri”, Sakarya Üniversitesi Yayınları, Adapazarı, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

24.01.1984 de Adapazarı'nda doğdu. 2002 yılında Sakarya Figen SAKALLIOĞLU Anadolu Lisesinden mezun oldu aynı yıl Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2006 yılında mezun oldu. Aynı yıl Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra Mayıs 2007'de Sakarya Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak işe başladı. Halen aynı görevini sürdürmektedir.