

Y32 BOJİ GÖVDESİNİN STATİK VE DİNAMİK YÜKLEME ANALİZLERİ

İsmail ESEN* ve Cihan MIZRAK*

*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karabük

Özet

Son zamanlarda ülkemizde demiryollarına ve bileşenlerine verilen önem giderek artmaktadır. Yapılan çalışmada ilk olarak Türk Demiryolu vagonlarında kullanılan Y32 bojisinin Bilgisayar Destekli Modeli (BDT) oluşturularak statik yükler altındaki karakteristik davranışları incelenmiş ve paket program üzerinde bu yükler uygulanarak sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra boji gövdesinin dinamik analizi salınım modlarının hesaplanmasıyla tespit edilmiş ve gövdenin dayanabileceği maksimum gerilme aralıkları tayin edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Y32 boji, analiz, statik, dinamik

1. Giriş

Raylı Sistemler taşımacılığı dünyada en güvenli, en ucuz ve en çevreci taşımacılık sistemlerinden birisi durumundadır. Raylı sistemleri oluşturan yapılar genel olarak taşıyıcı ve hareket organları olarak ikiye ayrılmaktadır. Raylı araçların ray üzerinde hareket etmesini sağlayan tekerleklerden, süspansiyonlardan, fren ve cer mekanizmalarından oluşan yapılar boji (bogie) olarak adlandırılmaktadır. Bu yapıların hareketi esnasında rayla olan etkileşim neticesinde üzerinde düşey, yanal ve eksenel kuvvetler meydana gelmektedir. Ray ve tekerlek profilleri, yol kavisleri ve zeminden kaynaklanan ray düzensizlikleri raylı taşıt üzerinde oluşan kuvvetleri belirlemektedir.

Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda, genetik algoritma yöntemi kullanılarak boji ağırlığının optimizasyonu yapılmış ve yeni oluşan boji yapısının UIC (International Union of Railways) standartlarına göre yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda tahmin edilen modelin ağırlığından % 4.7 oranında kazanç sağlanırken yapılan analizler ile tahmin edilen modelin kısıtları arasında hata meydana gelmiştir [1].

Boji kaynaklarının TS EN 13749 standardına göre yorulma dayanma sınırı ve Goodman diyagramına göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler ANSYS yazılımında yapılmıştır. Literatürdeki kaynak yorulma metodları belirlenmiş bunlardan Normal gerilme, Sıcak nokta gerilme ve Etkili Çentik yöntemlerine göre ANSYS ortamında analizler yapılmış ve sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada boji kaynaklarının yorulma davranışının belirlenmesinde denenen yöntemlerin kesin bir sonuç vermediği anlaşılmıştır [2].

Şehir içi raylı araçlarının dinamik analizi geliştirilen bir yazılım aracılığı ile matematiksel modeli çıkartılarak incelenmiştir. Modal analiz, frekans ve spektral analiz, parametrik analiz, konfor tahmini gibi dinamik analizler bu yazılım kullanılarak incelenmiştir. Yazılım şehir içi düşük hızlarda ve kısa kurs boylu alanlar için uygun görülmüştür [3].

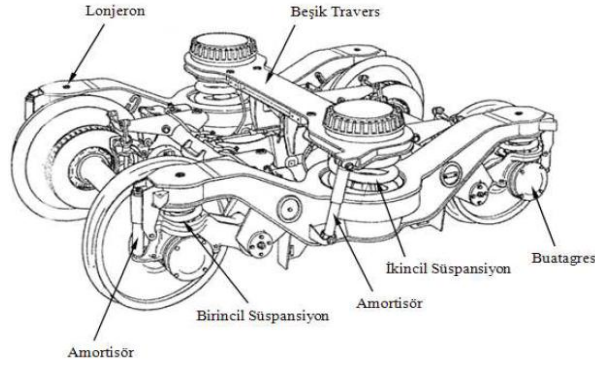
Çalışmada UIC standartlarına göre oluşturulan Hembotbojisinin EN 13749 standardına göre statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizde raylı taşıtın yorulma davranışları incelenmiştir. Gerçekleştirilen tasarımın standartlar dahilinde olduğu gösterilmiştir [4].

Yapılacak olan çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak Türk Demir Yolu taşımacılığında kullanılan M10

tipi Pulman Vagon ve Y32 bojisi ele alınarak, Y32 boji gövdesi bilgisayar ortamında modellenip statik ve dinamik davranışları TS EN 13749 standardına göre sonlu elemanlar programında analizi gerçekleştirilecektir.

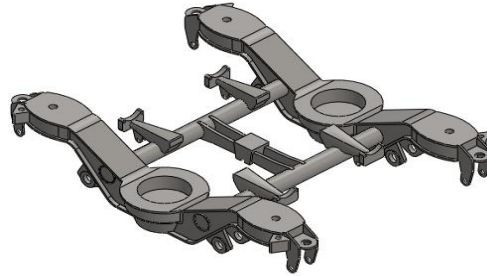
2. Y32 Boji Gövdesinin Modellenmesi ve Kuvvet Tayini

Raylı araçlarda bojiler, lokomotif bojileri ve yolcu vagon bojileri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yolcu bojilerinde birincil ve ikincil süspansiyon sistemleri, tekerlekler, akslar, fren mekanizmaları bulunurken lokomotif bojilerinde bunlara ek olarak cer motorları mevcuttur. (Şekil 1)



Şekil 1. Y32 Yolcu Vagon Bojisi [5].

Çalışmada Y32 yolcu vagon bojisinin gövde kısmı CAD ortamında Şekil 2’de görüldüğü gibi modellenmiştir. Y32 bojisinin taşıdığı M10 tipi pulmanlı vagonun özellikleri Çizelge 1’de anlatılmaktadır.



Şekil 2. Y32 Yolcu Vagon Boji Gövdesi.

Çizelge 1. M10 Pulman Vagon Teknik Özellikleri [6]

M10 Pulman Vagon Teknik Özellikler	
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	Pnömatik kayar kapı
Gabari	UIC 505-1
Koltuk Düzeni	2+1
Oturma Yer Sayısı	60
İklimlendirme Sistemleri	Isıtma: 40 KW, Soğutma: 35 KW, Taze hava: 1200 m ³ /h
Döşeme Yüksekliği	1250 mm
Hareketli Basamak Yüksekliği	565 mm
Araç Ağırlığı (boş / dolu)	43 / 48 ton
Alın Duvar Geçit Kapıları	Slidingpneumaticdoors
Tekerlek Çapı (Yeni / Aşınmış)	920 / 870 mm
Minimum Kurp Yarıçapı	150 m
Servis Freni	PneumaticShoeBrake
Maksimum Hız	140 km/h
Aydınlatma Düzeni	Fluorescent (indirect)

Y32 boji gövdesinin statik ve dinamik analizleri için TSEN 13749 standardındaki analiz formüllerini kullanılmıştır. Boji gövdesine etki eden dikey kuvvetler;

$$F_{z1} = F_{z2} = \frac{F_z}{2} = \frac{(M_v + 1.2m_y - 2M_b)g}{4} \quad (1)$$

yatay kuvvetler;

$$F_{y1} = F_{y2} = \frac{F_y}{2} = F_z + \frac{M_b g}{8} \quad (2)$$

eksenel kuvvetler;

$$F_{x1} = 0,05(F_z + M_b g) \quad (3)$$

bağıntılarıyla elde edilmektedir. Burada M_v vagonun boşa kütleini (43 ton), m_y yolcuların kütleini (5 ton), M_b boji kütleini (5.75 ton) ifade etmektedir. Raylardaki düzensizliklerden ve yoldaki eğrilerden kaynaklanan kuvvetteki değişimleri ifade etmek için katsayılar kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla yoldaki eğrilerden kaynaklanan katsayı α (0.1) ray ve yol düzensizliklerinden kaynaklanan katsayı β (0.2) olarak Avrupa standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. TS EN 13749 standardına göre oluşturulmuş kuvvet dağılımları Çizelge 3 ve Çizelge 4’de verilmiştir.

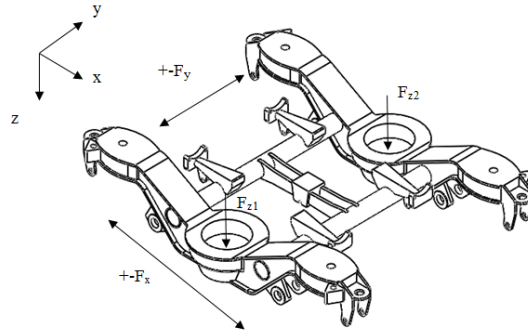
Çizelge 3. Düşey ve Eksenel Kuvvet Dağılımları [7].

Yükleme Durumu	F_{z1} (kN)	F_{z2} (kN)	F_{x1} (kN)
1	$F_z/2$	$F_z/2$	0
2	$F_z/2$	$F_z/2$	$+F_{x1}$
3	$F_z/2$	$F_z/2$	$-F_{x1}$

Çizelge 4. Düşey ve Yatay Kuvvet Dağılımları [7].

Yükleme Durumu	F_{z1} (kN)	F_{z2} (kN)	F_y (kN)
1	$F_z/2$	$F_z/2$	0
2	$(1+\alpha-\beta)F_z/2$	$(1-\alpha-\beta)F_z/2$	0
3	$(1+\alpha-\beta)F_z/2$	$(1-\alpha-\beta)F_z/2$	$+F_y$
4	$(1+\alpha+\beta)F_z/2$	$(1-\alpha+\beta)F_z/2$	0
5	$(1+\alpha+\beta)F_z/2$	$(1-\alpha+\beta)F_z/2$	$+F_y$
6	$(1-\alpha-\beta)F_z/2$	$(1+\alpha-\beta)F_z/2$	0
7	$(1-\alpha-\beta)F_z/2$	$(1+\alpha-\beta)F_z/2$	$-F_y$
8	$(1-\alpha+\beta)F_z/2$	$(1+\alpha+\beta)F_z/2$	0
9	$(1-\alpha+\beta)F_z/2$	$(1+\alpha+\beta)F_z/2$	$-F_y$

Kuvvetlerin Boji gövdesi üzerindeki dağılımı Şekil 3’ de gösterilmektedir. Sağ ve sol ikincil süspansiyonlar üzerin F_{z1} ve F_{z2} düşey kuvvetleri uygulanırken tekerleklerin bağlandığı yataklarda F_y yatay ve F_x eksenel kuvvetleri uygulanmaktadır.



Şekil 3. Boji Gövdesi üzerinde Kuvvet Dağılımı

3. Y32 Boji Gövdesinin Statik Analizi

BDT ortamında modellenen boji gövdesinin Çizelge 3 ve Çizelge 4’e göre hesaplanan kuvvet değerleri Çizelge 5 ve Çizelge 6’de gösterilmiştir.

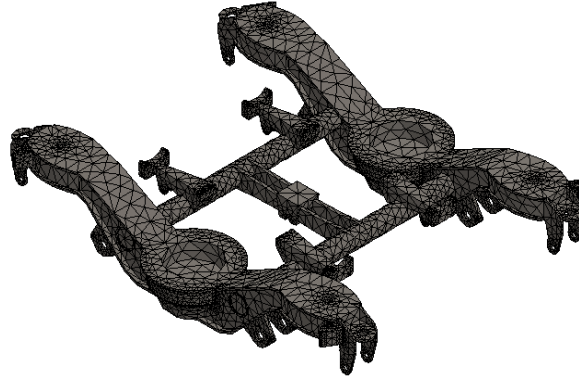
Çizelge 5. Düşey ve Eksenel Kuvvetler

Yükleme Durumu	F_{z1} (kN)	F_{z2} (kN)	F_{x1} (kN)
1	91.97	91.97	0
2	91.97	91.97	12.01
3	91.97	91.97	-12.01

Çizelge 6. Düşey ve Yatay Kuvvetler

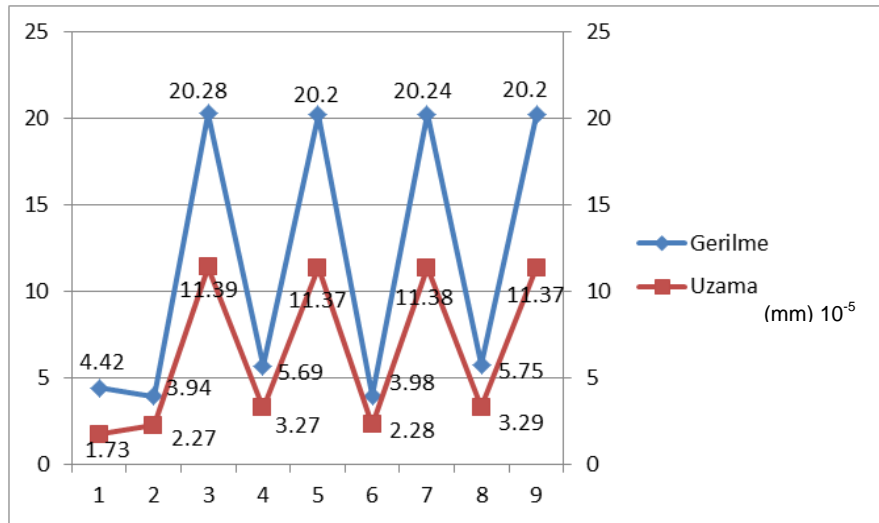
Yükleme Durumu	F_{z1} (kN)	F_{z2} (kN)	F_y (kN)
1	91.97	91.97	0
2	82.77	64.38	0
3	82.77	64.38	198.04
4	119.56	101.18	0
5	119.56	101.18	198.04
6	64.38	82.77	0
7	64.38	82.77	-198.04
8	101.18	119.56	0
9	101.18	119.56	-198.04

Oluşturulan BDT modelin Sonlu elemanlar programında analizinin gerçekleştirilmesi için Solidworks Cosmos Works programının 8 düğümlü eğrisel elemanı seçilmiştir. Kritik bölgelerin analizinin daha doğru sonuç verebilmesi için bu bölgelere yoğun ağ örgüsü uygulanmıştır (Şekil 4). Malzeme olarak St 42 kullanılmıştır. Ayrıca analizler Von Misess teorisine göre gerçekleştirilmiştir.



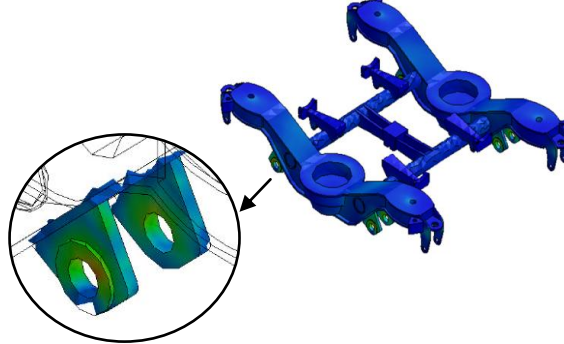
Şekil 4. Boji Gövdesinin Sonlu Elemanlar Ağ Yapısı

Statik analiz için delikler sabit mafsallık olarak belirlendikten sonra Çizelge 5 ve Çizelge 6'daki kuvvet değerleri modelin üzerine uygulanmıştır. Yapılan analizde eksenel kuvvetlerin etkisi çok düşük çıktığı görülmüş ve Çizelge 6'daki dikey ve yatay kuvvetlerin neden olduğu gerilmeler ve uzamalar Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Statik Analiz Sonuçları

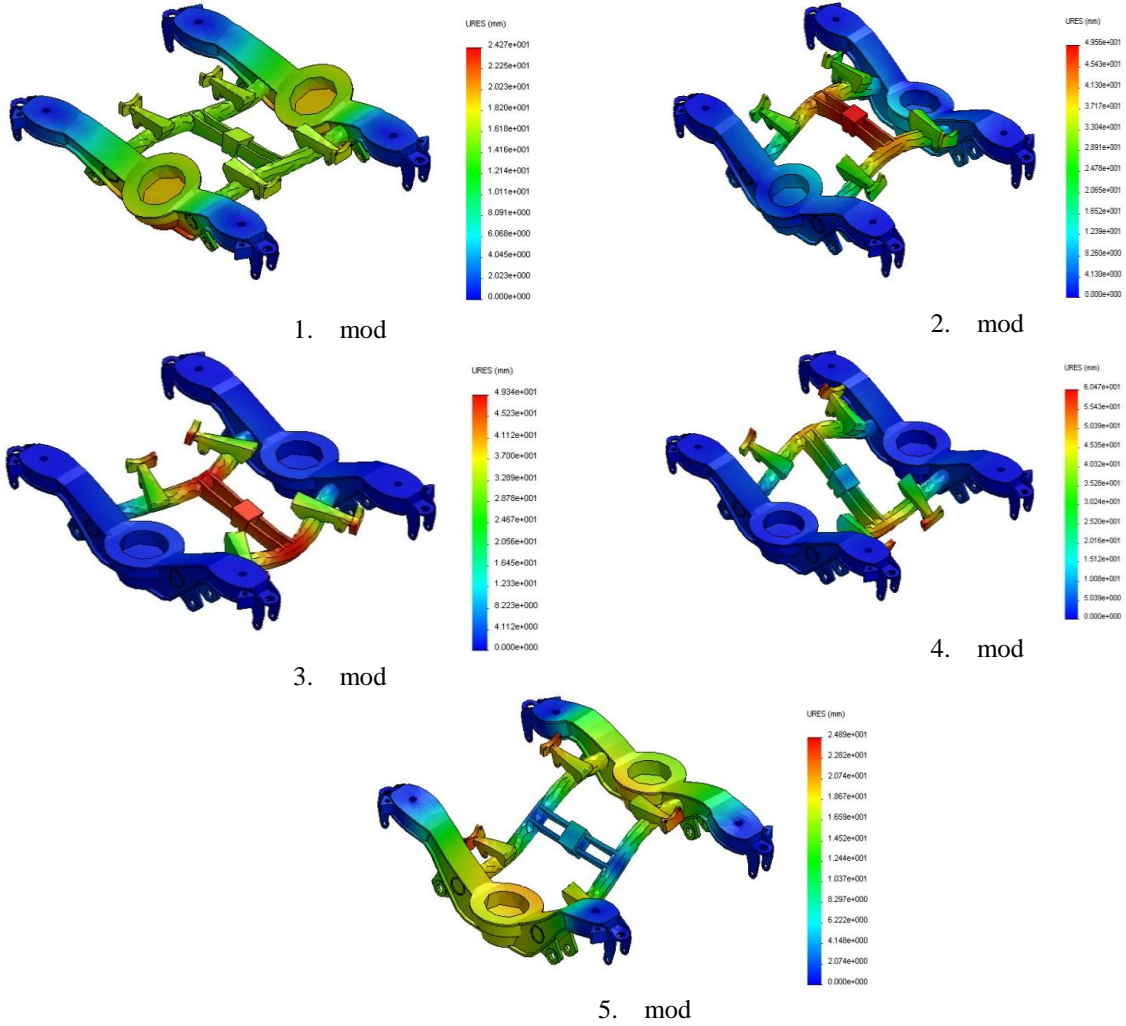
Statik analiz sonuçlarından Y32 boji gövdesinin emniyet katsayısının en yüksek yüklem şartında 18.39 olduğu gözükülmektedir. Gerilmenin daha çok tekerlek bağlantı yataklarında olduğu analizler sonucunda tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Statik Analiz Gerilme Dağılımı

4. Y32 Boji Gövdesinin Dinamik Analizi

Bojiler çalışma esnasında en çok dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Ray ve yol düzensizliğinden kaynaklanan titreşimler, eğrisel hareketlerden kaynaklanan yanal ve tersinir kuvvetler boji üzerinde yorucu etki oluşturmaktadır. Dinamik analizde ilk önce modellenmiş boji gövdesinin öz değerlerinin tespiti için modal analiz uygulanmıştır. Boji gövdesine ait ilk beş salınım modu Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Boji Gövdesinin Salınım Modları

Boji gövdesine ait dođal frekans değerleri izelge 7’de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Boji Gövdesinin Dođal Frekansları

FrekansNumara	Rad/sec	Hertz	Seconds
1	742.72	118.21	0.0084597
2	858.85	136.69	0.0073158
3	1050.30	167.15	0.0059826
4	1184.20	188.48	0.0053057
5	1511.20	240.52	0.0041576

5.Sonuç

Y32 boji gövdesinin TSEN 13749 standardına göre statik ve dinamik analizleri Solidworks Cosmos Works ortamında gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda; statik analizde boji gövdesinin emniyet katsayısının çok yüksek değerlerde olduğu ve yüksek gerilmelerin tekerlek bağlantı yataklarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Dinamik analizde boji gövdesinin ilk beş doğal frekans değerleri ve salınım modları hesaplanmıştır. Sonuç olarak eğrisel yollarda yanal kuvvetlerin boji gövdesi üzerine etkisinin oldukça yüksek olduğu analizler sonucunda tespit edilmiştir..

Kaynaklar

1. Park, B., H. and Lee, K., Y., BogiebFrame Design in Consideration of Fatigue Strength and Weight Reduction, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Railand Rapid Transit, 220, 201, 2006
2. Cera A.,Mancini G.,Leonardi V.,Bertini L., Analysis of Methodologies for Fatigue Calculation for Railway Bogie Frames, 8th World Congress on Railway Research, R.1.1.3.2, 2008,
3. Datoussaid S.,Verlinden O., Wenderloot L., Conti C., Computer-Aided Analysis of Urban Railway Vehicles, Vehicle System Dynamics, 30:3-4, 213-227, 1998
4. Mancini G.,Cera A., Design Of Railway Bogies in Compliance with New EN 13749 European Standard, 7th World Congress on Railway Research, T2.2.2.2, 2006
5. Özsoy, M., İ., Y32 Bojisinin Bilgisayar Destekli Statik Ve Dinamik Analizi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliđi A.B.D., 2008
6. http://www.tuvasas.com.tr/yeni/?sayfa=urunler&bolum=urun_detay&urun_no=22, 2011
7. TSEN 13749 Standardı