Gazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi
PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

Gazi University
Journal of Science
PART C: DESIGN AND TECHNOLOGY

GU J Sci, Part C, 13(4): 1670-1679 (2025)

3 Farklı Malzeme Tanımlanmış Bir Bisiklet Gövdesinin FEA ile Statik Modal ve Harmonik Analizlerinin Değerlendirilmesi

Arif Şenol ŞENER[1*]

[1]*Nişantaşı University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Mechatronic, İstanbul, Turkey*

Article Info

Research article
Received: 05/11/2024
Revision: 14/01/2025
Accepted: 26/02/2025

Keywords

Bicycle frame
Static Analysis
Modal Analysis
Harmonic Analysis

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 05/11/2024
Düzeltme: 14/01/2025
Kabul: 26/02/2025

Anahtar Kelimeler

Bisiklet gövdesi,
Statik analiz,
Modal analiz,
Harmonik analiz

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada şehiriçi kullanım için satılan bir bisikletin geometric modeli Solidworks program yardımıyla üç boyutlu olarak modellenmiştir. ANSYS programında çelik 1020, AL 1024 ve yapısl çelik malzemelerinin mukavemet özellikleri referans alınarak satik, modal ve harmonic analizler yapıldı. Statik ve modal analiz bakımından bisiklet için en uygun malzemenin tayini yapılmıştır. / In this study, the geometric model of a bicycle sold for urban use was modeled in three dimensions with the help of the Solidworks program. Static, modal and harmonic analyze were performed in the ANSYS program by taking the strength properties of steel 1020, AL 1024 and structural steel materials as reference. The most suitable material for the bicycle was determined in terms of static and modal analysis.

Önemli noktalar (Highlights)

- *Solid ile şehir içi kullanım bisikletinin gövde tasarımı. / Design of urban bicycle body with Solid.*
- *ANSYS ile statik analiz. / Static analysis with ANSYS.*
- *ANSYS ile modal analiz. / Modal analysis with ANSYS.*
- *ANSYS ile harmonic analiz. / Harmonic analysis with ANSYS.*

Amaç (Aim): *Bu makalede, şehir içi kullanımı için üretilmiş olan bir bisikletin şehir içinde farklı yol tiplerinde kullanılması nedeniyle ANSYS programı vasıtasıyla tanımlanmış olan 3 değişik malzemede statik, harmonik ve modal analizlerinin yapılarak dayanım ve sürüş güvenirliği açısından hangi malzemenin daha uygun olduğu sonuçlarını literatüre kazandırmaktır. / In this article, it is aimed to present the results to the literature regarding which material is more suitable in terms of durability and driving reliability by performing static, harmonic and modal analyses on 3 different materials defined with the ANSYS program due to the use of a bicycle produced for urban use on different road types within the city.*

Özgünlük (Originality): *Bu makale şehir içi kullanımı olan bir bisiklet gövdesinin ANSYS yardımıyla 3 farklı malzeme kullanılarak bisiklet gövdesinin dayanım, modal ve harmonic analizlerinin nin mukaysesesinin daha önce yapılmamış olmasıdır. / This article is a comparison of the strength, modal and harmonic analysis of a bicycle frame used in urban use using 3 different materials with the help of ANSYS, which has not been done before.*

Bulgular (Results): *Bisiklet gövdesinde statik dayanımı en yüksek malzeme çelik 1020 olarak bulunurken, modal analizde en kötüsü Al 1024, harmonik analizde en iyisi ise 1020 karbon çeliği olarak belirlendi. Bunu yapısal çelik ve Al 1024 izledi. / While the material with the highest static strength in the bicycle frame was found to be steel 1020, Al 1024 was the worst in modal analysis, 1020 carbon steel was found to be the best in harmonic analysis, followed by structural steel and Al 1024.*

Sonuç (Conclusion): *Statik, modal ve harmonik analiz sonucunda elde edilen veriler her üç malzeme için kıyaslandığında çelik 1020 diğer malzemelere göre statik dayanımı en yüksek ve harmonik analizde en düşük genlik değeri verdiği için bisiklet gövdesi için en uygun malzeme olduğu görülmüştür**. /** *When the data obtained from the static, modal and harmonic analysis results were compared for all three materials, it was found that steel 1020 was the most suitable material for the bicycle frame because it had the highest statically and the lowest amplitude value in harmonic analysis compared to other properties***.***

*Corresponding author, e-mail: arif.sener@nisantasi.edu.tr
DOI: 10.29109/gujsc.1580011

GU J Sci, Part C, 13(4): 1670-1679 (2025)

Gazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi
PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

Gazi University
Journal of Science
PART C: DESIGN AND TECHNOLOGY

http://dergipark.gov.tr/gujsc

3 Farklı Malzeme Tanımlanmış Bir Bisiklet Gövdesinin FEA ile Statik Modal ve Harmonik Analizlerinin Değerlendirilmesi

Arif Şenol ŞENER[1*]

[1]*Nişantaşı University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Mechatronic, İstanbul, Turkey*

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 05/11/2024
Düzeltme: 14/01/2025
Kabul: 26/02/2025

Anahtar Kelimeler

Bisiklet gövdesi,
Statik analiz,
Modal analiz,
Harmonik analiz

Öz

Herhangi bir bisikletin gövdesi o bisikletin temel yapısal elemanı olup diğer tüm bileşenlerin bu gövdeye monte edilmesiyle bisikletin tamamını oluşur. Gövde, bazen bisikletin çerçevesi olarak da adlandırılır ve bisikletin sağlamlığını, dayanıklılığını ve sürüş konforunu belirler. Bisiklet gövdesinin tasarımı, bisikletin kullanım amacına ve sürüş konforuna göre değişebilir. Bu nedenle, şehir içi kullanım ve **dağ *bisikleti*** için statik analiz ve harmonik analizler önem kazanırken ***yarış bisikletlerinde*** ise modal analiz ve statik analiz konuları öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, normal şehirci farklı yol tiplerinde kullanılan ve Solidworks programında 3boyutlu tasarımı yapılan normal bir bisiklet gövdesi .xlt formatında ANSYS programına transfer edilmiştir. Transfer edilen bisiklet gövdesinde 3 farklı malzeme Al 2024, çelik 1020 ve yapısal çelik malzemeleri tanımlanmıştır. Bu kapsamda, 2250 N yükleme altında sırasıyla statik, modal ve harmonik analizler bisiklet gövdesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu makalenin amacı 3 faklı malzeme uygulandığında dayanım, sürüş güvenilirliği ve uzun km de ömür cinsinden en uygun malzemenin hangisinin olduğunu analiz ederek literatüre sunmaktır. Statik, modal ve harmonik analiz sonucunda elde edilen veriler her üç malzeme için kıyaslandığında çelik 1020 diğer malzemelere göre daha yüksek emniyet katsayısı ve harmonik genlik değeri en daha düşük verdiği için en uygun malzeme olduğu görülmüştür.

Evaluation of Static Modal and Harmonic Analysis of a Bicycle Frame Defined with 3 Different Materials with FEA

Article Info

Research article
Received: 05/11/2024
Revision: 14/01/2025
Accepted: 26/02/2025

Keywords

Bicycle frame
Static Analysis
Modal Analysis
Harmonic Analysis

Abstract

The body of any bicycle is the basic structural element of that bike, and the entire bike is formed by assembling all other components to this body. The frame is sometimes called the frame of the bicycle and determines the strength, durability and ride comfort of the bicycle. The design of the bicycle frame may vary depending on the intended use of the bicycle and riding comfort. For this reason, while static analysis and harmonic analysis gain importance for urban use and mountain bikes, modal analysis and static analysis topics come to the fore in racing bikes. In this study, a normal bicycle frame, which is used on different urban road types and whose 3D design was made in the SolidWorks program, was transferred to the ANSYS program in .xlt format. Three different materials, Al 2024, steel 1020 and structural steel, were defined in the transferred bicycle body. In this study, static, modal and harmonic analyses were performed on the bicycle frame, respectively, under 2250 N loading. The aim of this article is to analyses which material is the most suitable in terms of strength, driving reliability and long-km life when 3 different materials are applied and to present it to the literature. All data obtained from static, modal and harmonic analysis were compared for all three materials, it was seen that steel 1020 was the most suitable material as it gave a higher safety coefficient, and the lowest harmonic amplitude value compared to other materials.

1. GİRİŞ(INTRODUCTION)

Bisiklet, temel olarak insan gücüyle hareket eden, iki tekerlekli bir taşıttır. Dünya nüfusunun artmasıyla sonucu içten yanmalı fosil yakıtlı araçlarında armasına dolaysıyla hava kirliliği seviyesinin de beraberinde artırmasına yol açmıştır [1]. Hava kirliliği seviyesindeki artış öyle ki kutuplardaki buzulların erimesine ve hatta Dünya Sağlık Örgütü WHO (World Heath Organisaion) 'nun yaptığı araştırmada PM 2,5 mikrometre partikülünün kanser hastalığına yol açtığı

*Corresponding author, e-mail: arif.sener@nisantasi.edu.tr
DOI: 10.29109/gujsc.1580011

ispatlanmıştır [2]. Bu nedenle günümüzde devletler küresel ısınmaya ve birçok hastalığa neden olan içten yanmalı motorların ürettikleri zararlı emisyonları azaltmak için doğaya zararı olmayan yeni enerji kaynakları arayışına geçmiş bulunmaktadır. Aynı zamanda doğaya zararı bulunmayan insanlar da fiziksel ve zihinsel yararı olan bisiklet aracının kullanımını artırıcı bilinçlendirmeler ve farkındalıklar arttırılmıştır [3]. Bisikletler, pedal çevirme mekanizması sayesinde, tekerleklerin hareketiyle ilerlerler. Bisikletler genellikle taşıma, spor veya eğlence amaçlı kullanılır. Bir bisiklet tasarımında en önemli eleman, mekanik bileşenler ve teker setleri ile donatılmış olan gövdedir. Modern bisiklet tasarım teknolojisinde, gövde geometrileri daha çok sağlamlık ve aerodinamik kriterler ışığında yaratılmaktadır [4].

Bisiklet tarihi incelendiğinde, 18. yüzyılın sonlarına kadar dayandığı görülmüştür. Ancak, modern bisikletin gelişimi 19. yüzyılın ortalarına kadar uzanır. 1817 yılında, Alman baronu Karl von Drais, "laufmaschine" olarak bilinen ilk bisiklet benzeri aracı icat etti [5]. Bu araç, bir ahşap çerçeve, iki tekerlek ve bir direksiyon çubuğundan oluşuyordu ve kullanıcının ayaklarıyla zemine iterek hareket ediyordu. 1860'larda, bisikletlerin modern versiyonları ortaya çıktı. Bu versiyonlar, pedal çevirme mekanizması, zincir aktarıcı ve lastikli tekerlekler gibi yenilikler içeriyordu. Bunların arasında, Fransız mühendis Pierre Lallement tarafından tasarlanan bir bisiklet, pedal çevirme mekanizması olan ilk modern bisiklet olarak kabul edilir [6].

Bir bisikletin gövdesi, bisikletin temel yapısal elemanıdır ve diğer tüm bileşenlerin bu gövdeye monte edilmesiyle oluşur [7]. Gövde, bisikletin çerçevesi olarak da adlandırılır ve bisikletin sağlamlığını, dayanıklılığını ve sürüş konforunu belirler [8]. 1890'larda, bisiklet gövdesi tasarımları, bisikletlerin kullanım amaçlarına göre değişmeye başladı. Yol bisikletleri, hızlı ve uzun mesafeli sürüşler için tasarlanmış daha hafif ve daha ince gövdelerle donatıldı [9]. Diğer taraftan, dağ bisikletleri, daha dayanıklı ve sağlam gövdelerle donatıldı ve arka süspansiyon sistemleri eklenerek daha rahat bir sürüş sağlandı [10]. Şekil 1 de tipik bir bisiklet gövde resmi verilmiştir.



Şekil 1. Tipik bir Bisiklet Gövdesi (A typical bicycle frame) [11].

İlk bisikletlerin gövdeleri, üçgen şeklinde bir yapıya sahipti ve ön tekerlek daha küçük, arka tekerlek daha büyük boyutlara sahipti. Daha sonra, 1860'ların sonlarında ve 1870'lerin başlarında, bisiklet gövdesi tasarımları değişmeye başladı ve gövdeler daha hafif ve daha dayanıklı malzemelerden yapılmaya başlandı. Bisiklet gövdeleri için kullanılan malzemeler arasında çelik, döküm demir, alüminyum ve titanyum yer almaktadır. Bisiklet gövdesinin tasarımı, bisikletin kullanım amacına ve sürüş konforuna göre değişebilir. Ayrıca, bisikletlerin geometrisi de gövdenin tasarımında önemli bir rol oynar. Örneğin, uzun mesafe yol bisikletleri için daha dik bir geometri tercih edilirken, dağ bisikletleri için daha rahat bir geometri tercih edilir [5,6].

2014 yılında Uluslararası Spor Mühendisliği Kongresinde Derek Covilla, Steven Begg ve diğerleri çalışmalarında bisikleti temsil etmeleri adına kirişlerden oluşan bir yol bisikleti modellediler. Bisiklet şasisinin dikey uyumluluk ve yanal sertlik özelliklerini anlamak için iki standart yükleme koşulunu simüle eden bu çalışma, bu özellikleri belirlenen koşullarda optimize edilmiş bir çözümle karşılaştırır. Farklı ölçülerde modellenen şasilerin simülasyon sonucunda ortaya çıkan displacement verileri değerlendirilerek çeşitli tasarım optimizasyonlarına gidilmiştir [12].

2016 yılında Gupta ve Rao nun yaptığı bir çalışmada dağ bisikletleri için farklı yüksek performanslı malzemelerin karşılaştırmasını yapmış ve FEA sonuçlarını deneysel verilerle doğrulamıştır. Çelik 1020 ve Al 2024'ün performansları arasında önemli farklılıklar bulunmuştur [13].

2017 yılında yapılan bir diğer çalışmada Lin & Huang bisikletlerde yapısal optimizasyon çalışmaları, çerçeve tasarımında yeni geometrik

yaklaşımlar ve malzeme seçiminin performans üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çelik ve Al 2024 arasında mekanik dayanıklılık farkları açıkça vurgulanmıştır [14].

Bisiklet şasisi üzerinde oluşan gerilmeleri ve simülasyon verilerine göre yapılacak optimizasyonları konu eden bir diğer makalede ise bisiklet şasisi pro engineer CAD programı kullanılarak modellenmiştir. 980N kuvvet altına oluşacak gerilmeleri ve yer değiştirmeleri analiz etmeyi hedefleyen bu çalışma, AZ60/Al2O3p, Magnezyum Metal Matris Nanokompozitleri ve Al6061 malzemelerini tanımlayarak FEA gerçekleştirilmiştir. AZ60/Al2O3p'nin mekanik özellikleri değerlendirildiğinde eşit kanallı açısal ekstrüzyon ile magnezyum metal matris nanokompozitlerin neredeyse Al6061 seviyesine ulaştığı görülmüştür [15].

2021 yılında gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise Catia V521 ve Fusion 360 CAD programları kullanılarak bir bisiklet gövdesi üç boyutlu olarak modellenmiştir. Çalışma, bisiklet şasisinin malzemesinin değiştirilmesinin ve montajının nasıl yapıldığını belirlemeyi amaçlamaktadır. FEA yönteminin kullanımı ile 76 Kg yük altında şasiye gelen titreşimler incelenmiş ve bu çalışmada Alüminyum kullanılmıştır. Sistemdeki titreşimin azaltılması adına süspansiyon sistemini tasarıma monte ederek yeniden FEA çözdüren bu çalışmadan sisteme gelen titreşimlerin azaltılması ana hedeftir. Statik ve modal analizler sonucunda elde edilen veriler ışığında bisiklet şasisine uyarlanmış bir süspansiyon sisteminin, titreşimleri azaltmada etkili bir yöntem olduğu ortaya konmuştur [16].

2021 yılında gerçekleştirilen başka bir çalışmada Ugo & Kwofie bisiklet çerçevelerinde kullanılan üç farklı malzeme ve üretim sürecini karşılaştırmak için sonlu elemanlar analizi (FEA) yöntemini kullanmıştır. Ugo ve Kwofie'nin çalışması, sürdürülebilirlik analizlerini tasarıma entegre ederek bisiklet çerçevesi örneğinde çevresel etkilerin azaltılabileceğini ve kaynak verimliliğinin artırılabileceğini göstermektedir. Bu amaçla bisiklet çerçevesinde 3 farklı malzeme kullanılmıştır. Bunlar; Bambu, Alüminyum ve Karbon elyaf epoksi kullanılmıştır. Analizlerde koltuk borusu üzerinde 250 lb (114 Kg) yük iken, Kafa borusunun, zincir desteklerinin ve koltuk desteklerinin sabitlenmiştir. Sonuç olarak sürdürülebilirlik ve dayanıklılık açısından bisiklet gövdesinde Al 6061'in diğer malzemelere göre daha iyi bir performans sunduğunu göstermektedir [17].

Bu makalede, şehir içinde farklı yol tiplerinde kullanılan normal bir sürüş bisikleti gövdesinin 3 faklı malzeme tanımlandığında hangi malzemenin bu tür kullanıma uygun olduğunu ANSYS programı yardımıyla hesaplayarak bulmaktır. Bu çalışmada öncelikle şehir içi kullanımı için satılan bir bisikletin Solidworks programında 3 boyutlu tasarımı yapıldı. Üç boyutlu tasarlanan gövde .xlt formatında ANSYS programına transfer edildikten sonra bu programda tanımlanan 3 faklı malzeme ile Al 2024, çelik 1020 ve yapısal çelik malzemeleri üzerinde bisiklet şasesine 2250 N yük uygulandığında sırasıyla statik, modal ve harmonik analizleri bisiklet gövdesi üzerinde gerçekleştirilerek 3 faklı malzeme uygulandığında dayanım, sürüş güvenilirliği, uzun km de ömür cinsinden ve en uygun malzemenin ekonomik olarak hangisi malzemenin kullanılmasının analiz ve sentez yoluyla ortaya koyan işlemleri ve hesaplamalar için gereken prosedürleri içermektedir.

2. METOD VE UYGULAMA (METHOD AND APPLICATION)

Bu çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu (FEM), karmaşık sistemleri daha küçük, daha basit parçalara veya "öğelere" ayırarak karmaşık mühendislik problemlerini bölerek çözme metodudur [18]. Bu çalışmada Solidworks ile tasarlanan bisiklet gövdesine ANSYS yazılımına transfer edilerek statik, harmonik ve modal analizler 3 farklı malzeme için uygulanmıştır. Bisiklet tasarımında statik, modal ve harmonik analizlerin uygulanması yapılmıştır. Bu analizlerin her biri önemli olsa da statik analiz temel güvenlik ve dayanıklılık sağladığı için birincil önceliğe sahiptir. Modal analiz, rezonans kontrolü ve sürüş konforu için ikinci sırada gelirken, harmonik analiz, yorulma ömrü ve titreşim kontrolü için üçüncü önceliğe sahiptir. Bu sıralama, tasarımın hangi aşamada olduğuna ve bisikletin kullanım amacına göre yeniden değerlendirilebilir. Bu manada;

- Dağ Bisikletlerinde: Statik analiz ve harmonik analiz öne çıkar.
- Yarış Bisikletlerinde: Modal analiz ve statik analiz daha önceliklidir.
- Şehir Bisikletlerinde: Statik analiz ve harmonik analiz önemlidir.

2.1. Bisiklet Çerçevesinin 3 Boyutlu Tasarımı
(3D Design of Bicycle Frame)

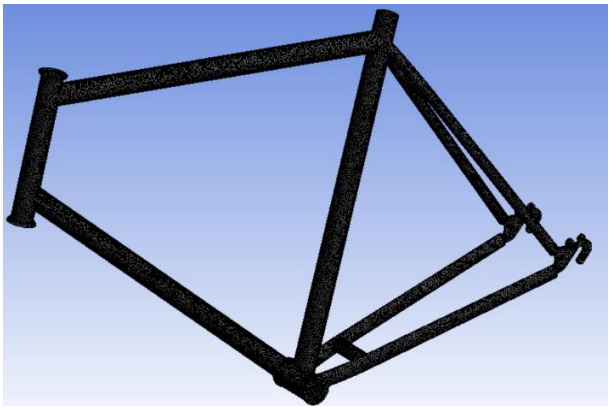
Bisiklette birleştirici olan, yüksek dayanım ve düşük ağırlık gözetilerek tasarlanan bisiklet gövdesi Solidworks programı aracılığı ile 3 boyutlu ortamda modellenmiştir. Şekil 2 de CAD ortamında 3 boyutlu katı modeli oluşturulan bisiklet gövdesi verilmiştir. Bisikletin CAD modeli .x-t parosolid uzantısıyla ANSYS programına aktarılmıştır [19,20].



Şekil 2. 3 boyutlu bisiklet gövdesi tasarımı (3D bicycle frame design) [19]

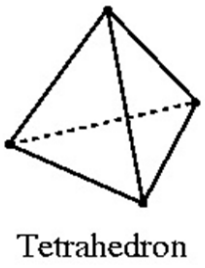
2.2. Analiz (Analysis)
2.2.1. Meshleme (Meshing)

SolidWorks ile modellenmesi sağlanan bisiklet gövdesi tasarımın hemen ardından ANSYS programına transfer edilerek 3 mm lik tetragon ve hegzagon elemanlar kullanılarak bisiklet gövde tasarımının meshlenmesinde 423678 düğüm noktası ve 213086 eleman kullanılmıştır. Mesh ağ görünümü şekil 3'te belirtilmiştir [20].

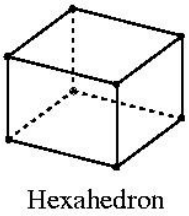


Şekil 3. Bisiklet gövdesi mesh ağ görüntüsü (bicycle frame mesh image) [20]

Bu makalede bisiklet yapısı üzerindeki mesh ağlarında sırasıyla şekil 4 ve 5 de görüldüğü üzere özellikle yuvarlakların ve girinti çıkıntıların olduğu yerlerde üçgen tetrahedron (4 yüzlü -4 düğümlü) ve 6 yüzlü hexahedron ,8 düğümlü (nodlu) hacimsel elemanlar kullanılmıştır.

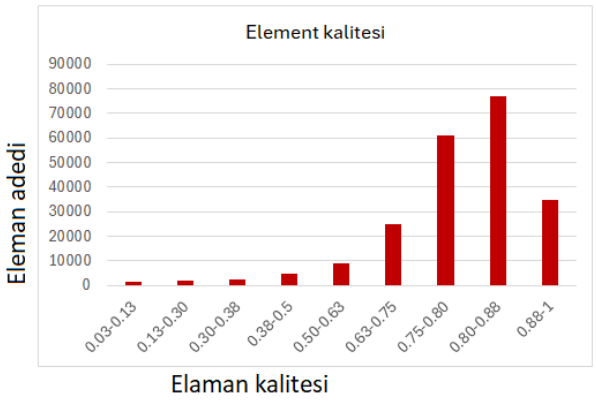


Şekil 4. Bisiklet gövdesi mesh tetrahedron eleman (Bicycle frame mesh tetrahedron element) [21]

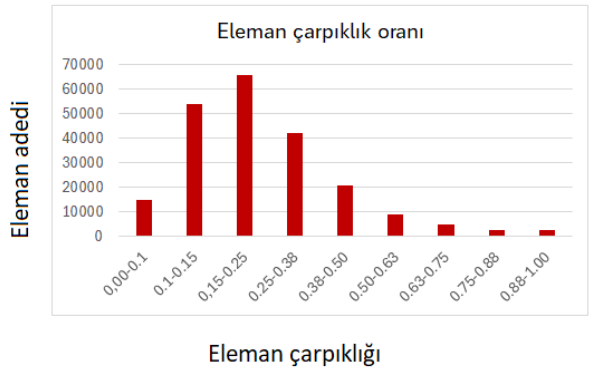


Şekil 5. Bisiklet gövdesi mesh hexahedron eleman (Bicycle frame mesh hexahedron element) [21]

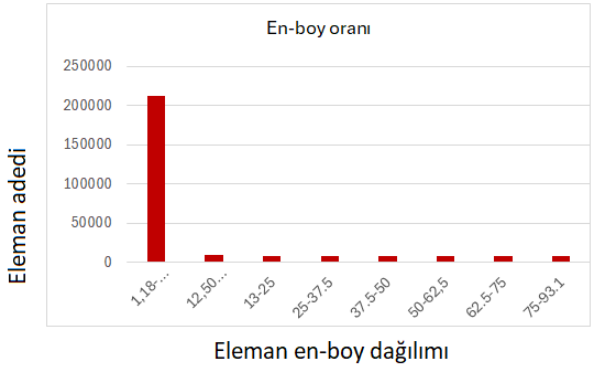
Sonlu elemanlar analizlerinde sonuçların gerçeğe yakınsaması adına mesh ağlarının mümkün olduğunca yüksek kalitede olması gerekmektedir. Eleman kalitesi, çarpıklık oranı ve en-boy oran faktörlerinin kalitesi mesh (ağ) kalitesini etkilemektedir. Şekil 6,7, ve 8'de bu değerler verilmiştir [20].



Şekil 6. Bisiklet gövdesine uygulanan mesh işleminin eleman kalitesi (Element quality of the mesh process applied to the bicycle frame)



Şekil 7. Bisiklet gövdesine uygulanan mesh işleminin eleman çarpıklık oranı (Element warpage ratio of mesh applied to bicycle frame).



Şekil 8. Bisiklet gövdesine uygulanan mesh işleminin elemanlar arası en-boy çarpıklık oranı. (The aspect ratio of the mesh applied to the bicycle frame between elements)

2.3. Malzemeler (Materials)

Bisiklet gövdesine ANSYS programı içerisinde uygulanacak olan statik, modal ve harmonik analizler tablo 1'de belirtildiği üzere 1020 Karbon çeliği, Alüminyum 2024 ve yapı çeliği tanımlanarak çözdürülmüştür. Çalışmalar esnasında kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri tablo 1'de verilmiştir [20].

Tablo 1. Malzeme mekanik özellikleri (Material mechanical properties) [14]

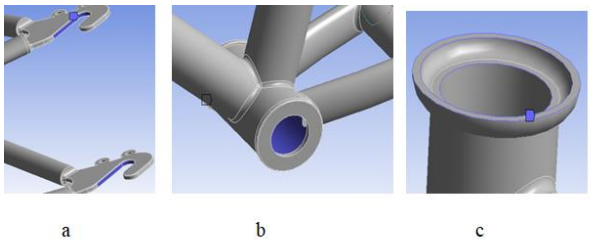
Mekanik Özellikler	Yapısal Çelik	Çelik 1020	Alüminyum 2024
Yoğunluk (Density) [Kg/m^3]	7850	7870	2770
Elastisite modülü (Young's Modulus) [Pa]	2E+11	2.05E+11	7.31E+10
Poisson Oranı (Possion's Ratio)	0.3	0.29	0.28
Hacim Modülü (Bulk Modulus) [Pa]	1.67+11	1.63E+11	5.54E+10
Kayma Modülü (Shear Modulus) [Pa]	7.7E+10	7.95E+10	2.86E+10
Akma Dayanımı (Tensile Yield Strength) [MPa]	250	350	324
Kompama Mukavemeti (Tensile Ultimate Strength) [MPa]	460	448	469

2.4. Statik Analiz(Static Analysis)

FEA'nın statik analiz kısmı, bir sistemin hareketsiz durumunu inceler. Bu çalışmada statik analiz olarak ANSYS kullanarak bisiklet gövdesine 2250 N kuvvet tanımlanarak malzeme gerilimleri Von-Misses, yer değiştirmeleri ve enerji dağılımı gibi çeşitli özellikler belirlenmiştir [20].

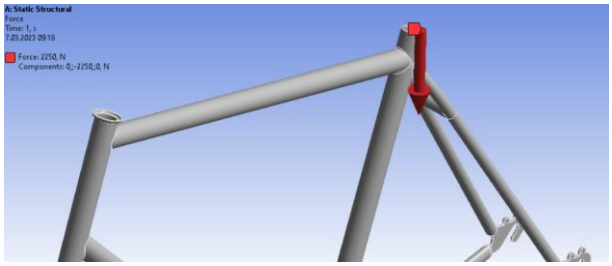
2.4.1.Statik Analiz Sınır Koşulları (Static Analysis Boundary Conditions)

Solidworks yazılımı kullanılarak modellenen bisiklet gövdesi tasarımı ANSYS içerisinde statik analize tabi tutulmadan önce şekil 9'de belirtilen a, b, c yüzeylerinden ve kenarlardan sabitlenmiştir [20].



Şekil 9. Statik analizde şasinin sabitlendiği yüzeyler ve kenarlar a) teker mili bağlantı noktası b) pedal mili yatağı c) direksiyon gidon bağlantı noktası (In static analysis, the surfaces and edges to which the chassis is fixed are: a) wheel shaft connection point b) pedal shaft bearing c) steering handlebar connection point)

Sabitlemenin ardından şekil 10'da belirtilen yüzeyden -Y yönünde malzemeler arası kıyas yapılabilecek büyüklükte 2250N kuvvet uygulanmıştır [22]. Parça gövdesinin ölçüleri ve malzemelerin mukavemet değerleri göz önüne alındığında 2250 N kuvvetin malzemeler arası deformasyon ve Von-Misses (eşdeğer elastik gerilme) sonuçlarının karşılaştırılması ve sağlıklı verilerin elde edilmesi adına uygun görülmüştür.



Şekil 10. 2250N kuvvetin yüzeyi ve doğrultusu. (Surface and direction of 2250N force)

2.5. Modal Analiz (Modal Analysis)

Modal analiz, bir yapı veya sistemdeki titreşimleri, doğal frekansları, mod şekilleri ve mod katkılarını belirlemek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemi, bir yapıyı oluşturan elemanların matematiksel modellerinin çıkarılması ve bu modellerin matematiksel olarak çözülmesi yoluyla gerçekleştirilir. Modal analiz, yapısal mukavemet analizi, dinamik yük analizi, deprem etkileri gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu yöntem, yapının titreşim davranışlarının anlaşılması için önemlidir. Örneğin, bir bina deprem veya rüzgâr gibi doğal afetlerde nasıl davranacaksa, modal analiz ile bu davranışlar belirlenebilir. Modal analiz ayrıca, bir yapının titreşimlerini azaltmak veya kontrol altına almak için tasarım değişiklikleri yapmak için de kullanılabilir. Bu nedenle, inşaat, havacılık, otomotiv ve diğer birçok endüstride kullanılmaktadır [23].

2.5.1. Modal Analiz Sınır Koşulları (Modal Analysis Boundary Conditions)

ANSYS içerisinde bisiklet gövdesine uygulanan statik analiz sonrasında her bir malzeme için kümülatif kütle kesrinin 1.00 olduğu frekansa kadar modal analiz gerçekleştirilir. Modal analiz sırasında, yapısal modların katkılarına göre ağırlıklarını belirlemek için "cumulative mass fraction" kullanılır [24]. Bu terim, her yapısal modun sadece kendisine değil, ayrıca daha düşük frekanslı modlara da katkıda bulunarak toplam kütleye katkısını ifade eder.

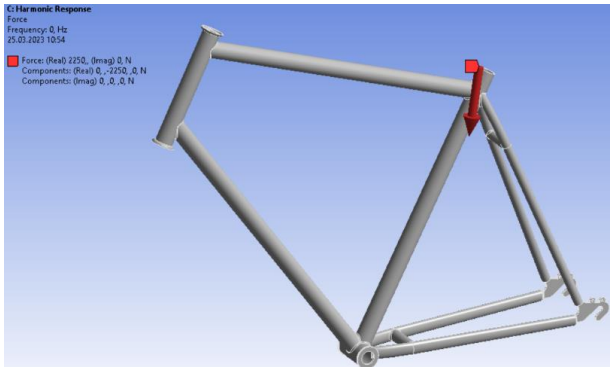
Modal analiz neticesinde malzemelere göre bisiklet gövdesinin doğal frekansları tespit edilmiştir. Statik analiz sınır koşullarından 2250N kuvvetin çıkartılması ile aynı noktalardan sabitlenerek analiz koşturulur.

2.6. Harmonik Analiz (Harmonic Analysis)

Harmonik analiz, bir sistemin belirli bir frekansta nasıl titreştiğini analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir. FEA harmonik analizi, bir yapı veya sistemin belirli bir frekans veya frekans aralığında nasıl titreştiğini belirlemek için FEA yöntemlerini kullanır. Bu analiz, bir sistemin doğal frekanslarına ve harmonik titreşimlerinin davranışlarına bakarak, sistemin titreşim özelliklerini belirler. FEA harmonik analizinde, yapısal sistemin geometrisi, malzeme özellikleri, sınır koşulları, yükler ve diğer faktörlerin yanı sıra, belirli bir frekans veya frekans aralığı seçilir. FEA yazılımı, yapısal sistemin doğal frekanslarını ve harmonik titreşimlerinin davranışlarını hesaplar. Bu hesaplamalar sonucunda, sistemin titreşim davranışları hakkında çeşitli sonuçlar elde edilebilir, örneğin, en yüksek titreşim düzeyleri, titreşim modları ve katkıları, vb. [25].

2.6.1 Harmonik Analiz Sınır Koşulları (Harmonic Analysis Boundary Conditions)

Mekanik ve modal analizlerinin tamamlanmasının ardından, statik analizdeki sınır koşullardan sabitlenen yüzey ve kenarlar korunarak harmonik analize de eklenir. Dikey -Y yönünde 2250 N kuvvet şekil 11'da belirtildiği gibi uygulanmıştır. Bisiklet gövdesi statik analiz sınır koşullarında şekil 9'de belirtilen yüzey ve kenarlardan sabitlenir. Harmonik analize göre farklı malzemelerden üretilen bisiklet gövdesinin frekans -genlik grafiklerinin oluşturulabilmesi adına her bir malzeme için çözdürülen modal analizlerde kümülatif kütle kesir değerini 1.00 yapan ilk doğal frekans değeri harmonik analiz sınır koşullarına eklenmiştir. Böylece her bir malzeme için doğal frekanslar gözetilerek bir frekans-genlik grafiği oluşturulmuştur [20].

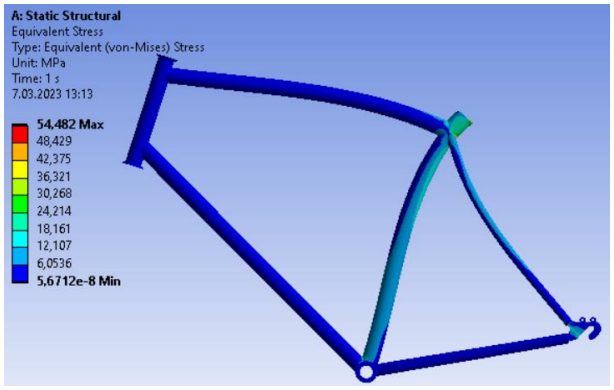


Şekil 11. Harmonik analiz için 2250N kuvvetin yüzeyi ve doğrultusu (Surface and direction of 2250N force for harmonic analysis)

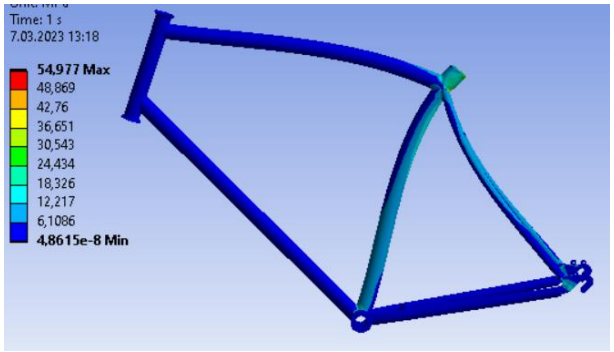
3. SONUÇLAR (RESULTS)

3.1. Statik Analiz Sonuçları (Static Analysis Results)

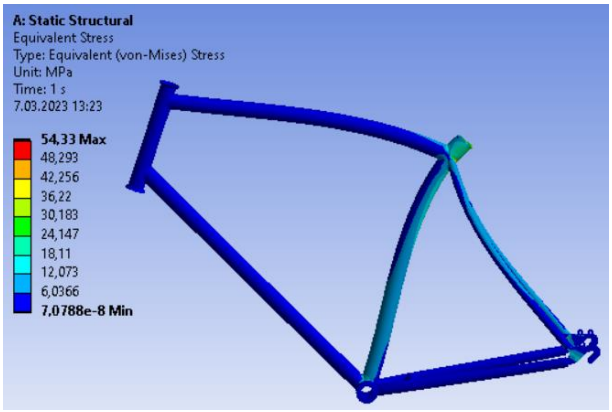
Şekil 12, 13 ve 14'te sırasıyla 1020 Karbon çeliği, Al 2024 ve yapı çeliği tanımlanarak çözdürülen statik analiz eşdeğer elastik gerilme(von-Misses) sonuçları verilmiştir.



Şekil 12. Bisiklet gövdesinin 1020 Karbon çeliği Von-Misses eşdeğer gerilme sonucu. (1020 Carbon steel Von-Misses equivalent stress result of bicycle frame)



Şekil 13. Bisiklet gövdesinin Al 2024 Von-Misses eşdeğer gerilme sonucu (Al 2024 Von-Misses equivalent stress result of bicycle frame)



Şekil 14. Bisiklet gövdesinin yapı çeliği Von-Misses eşdeğer gerilme sonucu. (Von-Misses equivalent stress result of structural steel of bicycle frame)

3.2. Modal Analiz Sonuçları (Modal Analysis Results)

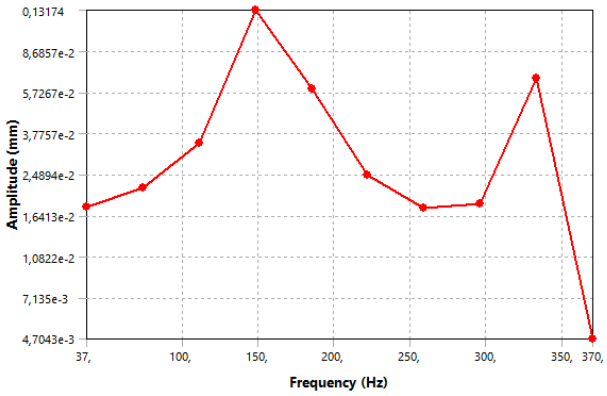
Tablo 2'de her bir malzeme için ölçülen mode sayılarına göre doğal frekans değerleri verişmiştir.

Tablo 2. Mode-Frekans Değerleri (Mode-Frequency Values)

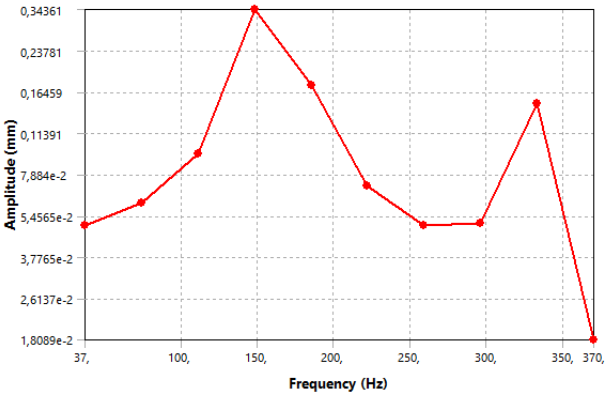
Mode- Frekans [Hz]						
Malzeme	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Çelik 1020	52.361	125.45	159.75	223.16	340.35	361.09
Al 2024	52.715	126.3	160.74	224.91	342.53	363.5
Yapısal Çelik	51.773	124.04	158.05	220.43	336.64	357.06

3.3 Harmonik Analiz (Harmonic Analysis)

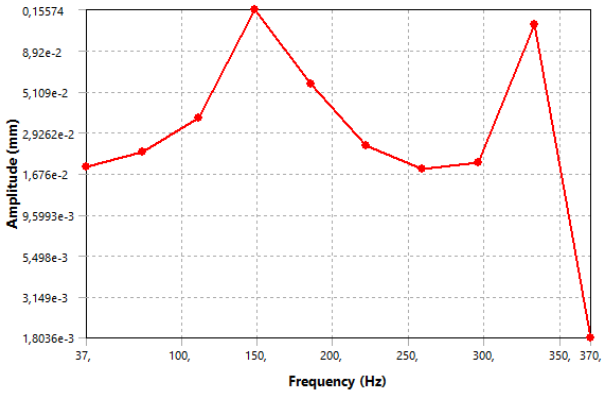
ANSYS içerisinde gerçekleştirilen harmonik analiz neticesinde her bir malzeme için bisiklet gövdesi analizine göre ortaya çıkan frekans-genlik değerleri incelenmiş ve sırasıyla şekil 15, 16 ve 17'de belirtilmiştir.



Şekil 15. 1020 karbon çeliği tanımlanan gövdenin frekans-genlik grafiği (Frequency-amplitude graph of the body defined in 1020 carbon steel)



Şekil 16. Alüminyum 2024 tanımlanan gövdenin frekans-genlik grafiği (Frequency-amplitude graph of aluminum 2024 defined body)



Şekil 17. Yapı çeliği tanımlanan gövdenin frekans-genlik grafiği (Frequency-amplitude graph of the body defined by structural steel).

Harmonik analize göre 3 farklı malzeme için elde edilen frekans-genlik grafikleri incelendiğinde alüminyum 2024'ün maksimum genliğinin 0,34361 olduğu ve diğer iki malzemenin maksimum genliklerine göre yaklaşık 3 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.

4. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER (EVALUATION AND SUGGESTIONS)

Tablo 3'te verilen von-Misses gerilme sonuçlarına bakıldığında her üç malzeme için de birbirine çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmüş olup, en yüksek değer alüminyum 2024 için 54.977 MPa'dır.

Bunun yanı sıra emniyet katsayısı hesaplandığında en yüksek değerin çelik 1020 için 5.3871 olduğu, en düşük değerin ise 4.6015 ile yapısal çeliğe ait olduğu görülmüştür.

Modal analiz sonucunda elde edilen doğal frekanslar incelendiğinde en yüksek doğal frekansın 363.5 Hz. ile al 2024'e ait olduğu. En düşük doğal frekansın ise 357.06 ile yapısal çeliğe ait olduğu görülmüştür.

Harmonik analize göre 3 farklı malzeme için elde edilen frekans-genlik grafikleri incelendiğinde alüminyum 2024'ün maksimum genliğinin 0,34361 mm olduğu görülmüştür.

Kütlesel olarak kıyas yapıldığında alüminyum 2024'ün 1,5 kg ile en hafif tasarım olduğu görülmüştür.

Statik, modal ve harmonik analiz sonucunda elde edilen veriler her üç malzeme için kıyaslandığında çelik 1020 diğer malzemelere göre daha statik analizde daha yüksek emniyet katsayısı ve harmonik analizde en düşük genlik değeri verdiği için en uygun malzeme olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Üç farklı malzeme için çözümlenen statik, modal ve harmonik analiz sonuçları (Static, modal and harmonic analysis results analyzed for three different materials)

	Von-Misses (MPa)	Emniyet Katsayısı	Doğal Frekans (Max) [Hz]	Harmonik Analiz Genlik [mm]
Al 2024	54.98	5.1706	363.5	0.34361
Çelik 1020	54.5	5.3871	361.09	0.13174
Yapısal Çelik	54.3	4.6015	357.06	0.15574

Tablo 4. Gövde analizinde kullanılan malzemelerin kütleleri

Kütle [Kg]		
Çelik 1020	**Alüminyum 2024**	**Yapısal Çelik**
4,4	1,5	4,3

TEŞEKKÜR (THANKS)

ETİK STANDARTLARIN BEYANI
(DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declare that the materials and methods they used in their work do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

YAZARLARIN KATKILARI (*CONTRIBUTIONS* OF THE AUTHORS)

***Arif Şenol ŞENER*:** Tasarımı ve simülasyonları yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve maklenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKÇA(REFERENCES)

[1] Aunan, K., & Pan, X. (2021). The Role of Transportation in Urban Air Pollution: A Global Perspective. Environmental Pollution, 268, 115881. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115881

[2] World Health Organization. (2021). Air quality and health. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/air-quality-and-health

[3] Pucher, J., & Buehler, R. (2010). Walking and cycling in Western Europe and the United States: trends, policies, and future implications. American Journal of Public Health, 100(2), 261-270. https://doi.org/10.2105/AJPH.2008.157293

[4] Tan, W. H., Ashraf, M., Ooi, L. E., & Niresh, J. (2021, October). Static and Dynamics Analysis of Bicycle Frame. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2051, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.

[5] Karl Drais Invents the Two-Wheeled Bicycle-the First Personalized Mechanical Transport : History of Information"

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle Erişim Tarihi: 01.04.2023

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_frame Erişim Tarihi: 01.04.2023

[8] Brown, Sheldon. "Glossary: Diamond Frame". Erişim Tarihi: 01.04.2023

[9] Bicycling; A way of life; Faster in town than going by car, bus, tube or on foot".

[10] Leitner, Horst. "Rear suspension for bicycles US5678837"

[11] https://www.sismanbisiklet.com/urun/29-aluminyum-ham-bisiklet-kadrosu Erişim Tarihi: 02.04.2023

[12] Covill, D., Begg, S., Elton, E., Milne, M., Morris, R., & Katz, T. (2014). Parametric finite element analysis of bicycle frame geometries. Procedia Engineering, 72, 441-446.

[13] Gupta, R., & Rao, G. V. R. S. (2016). Analysis of mountain bike frame by FEM. IOSR Journal Of Mechanical And Civil Engineering (IOSR-JMCE), 13(2), 1-12.

[14] Lin, C. C., Huang, S. J., & Liu, C. C. (2017). Structural analysis and optimization of bicycle frame designs. Advances in Mechanical Engineering, 9(12), 1687814017739513.

[15] Lin, C. C., Huang, S. J., & Liu, C. C. (2017). Structural analysis and optimization of bicycle frame designs. Advances in Mechanical Engineering, 9(12), 1687814017739513.].

[16] Tan, W. H., Ashraf, M., Ooi, L. E., & Niresh, J. (2021, October). Static and Dynamics Analysis of Bicycle Frame. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2051 No. 1, p. 012032). IOP Publishing.

[17] Ugo, E. E., & Kwofie, S. (2021, June). Integrating Sustainability Analysis with Design: Case Study of Bicycle Frame. In 2011 North Midwest Section.

[18] Özcan, F. (2021). 3D Datasının Sonlu Elemanlar Metodu Uygulanarak Çarpma Testinin Gerçekleştirilmesi, Iyileştirme Yapılması ve Farklılıkların Gözlemlenmesi (Master's thesis, Marmara Universitesi (Turkey)).

[19] https://www.3ds.com/products-services/solidworks/

[20] https://www.ansys.com/

[21] The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals Yayıncı : Butterworth-Heinemann; 7. basım (2 Ekim 2013)Dil : İngilizce Ciltli Kapak : 756 sayfa ISBN-10 : 1856176339 ISBN-13 : 978-1856176330

[22] Sarath, P., Deepak, A., Hrishikesh, H., & Jinuchandran, N. S. D. (2021). Stress analysis of bicycle frame using different materials by FEA. *GRD JS Glob Res Dev J Eng*, *6*(7), 14-20.

[23] Fu, Z. F., & He, J. (2001). Modal analysis. Elsevier

[24] Ontaç, S. (2008). Finite element analysis of a micro satellite structure under vibration induced loads during launch (Master's thesis, Middle East Technical University).

[25] Katznelson, Y. (2004). *An introduction to harmonic analysis*. Cambridge University Press

[26] Bochner, S. (2005). *Harmonic analysis and the theory of probability*. Courier Corporation