



Tek Sarsıcı ile Tahrik Edilen Çift Sarsıcı Sistemi Kullanan Titreşim Fikstür Tasarımı ve Analizi

Özgür DENİZ^{a,*}, Veysel ÖZDEMİR^b

^{a,b} Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

* Sorumlu yazar e-mail adresi: ozgur.deniz2@gazi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, titreşim testlerinde daha büyük boyutlu ve ağır yapıların test edilmesine olanak sağlayan bir titreşim fikstürü tasarlanmıştır. Özellikle çift sarsıcı sisteminde sarsıcıların senkron çalışmadığı durumlarda, tek bir sarsıcıdan tahrik verilerek titreşim testlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Tasarımda kullanılan fikstürün braketleri ve bağlantı plakaları, Al 6061 serisi alüminyum malzemeden üretilmiştir. Lineer hareket sistemi için ise THK firmasına ait SRG 65 LC modeli tercih edilmiştir. Fikstürün tasarımı, CATIA yazılımı ile yapılmış, modal ve dinamik analizleri ise ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler, 5-100 Hz frekans aralığında ve 0.25g büyüklüğündeki bir titreşim profili üzerinden yapılmıştır. Modal analiz sonuçlarına göre, fikstürün X eksenindeki doğal frekansı %28,41 artırılarak 100 Hz'in üzerine çıkarılmış ve böylece titreşim profili frekans aralığından daha yüksek bir değere ulaşılmıştır. Bu iyileştirme ile rezonans etkili bir şekilde önlenmiş ve titreşim kaynaklı enerji başarılı bir şekilde aktarılmıştır. Analiz sonuçlarının ardından fikstür üretilmiş ve X ekseninde sarsıcıya monte edilerek deneysel testler gerçekleştirilmiştir. İvme ölçerlerden alınan verilerin arasındaki uyumluluk %100'e yakın bir değerde seyretmiş olup enerjinin aktarımını başarıyla sağlamıştır.

Anahtar kelimeler: Titreşim, Sarsıcı, Doğal Frekans, Mod Şekilleri

Design and Analysis of a Vibration Fixture Utilizing a Dual Shaker System Driven by a Single Shaker

Abstract

In this study, a vibration fixture was designed to enable testing of larger and heavier structures in vibration tests. Specifically, in cases where the shakers in a dual-shaker system could not operate synchronously, the aim was to conduct vibration tests by driving only a single shaker. The brackets and connection plates of the designed fixture were manufactured from Al 6061 series aluminum material. For the linear motion system, the SRG 65 LC model from THK was selected. The fixture design was carried out using CATIA software, while modal and dynamic analyses were performed using ANSYS software. The analyses were conducted in the frequency range of 5-100 Hz with a vibration profile of 0.25g magnitude. According to the results of the modal analysis, the natural frequency of the fixture in the X-axis was increased by 28.41%, exceeding 100 Hz, thus achieving a frequency higher than the vibration profile range. This improvement effectively prevented resonance and ensured successful transfer of vibration energy. Following the analysis results, the fixture was manufactured and mounted on the shaker in the X-axis, where experimental tests were conducted. The compatibility of the data obtained from the accelerometers was observed to be close to 100%, confirming the successful transfer of energy.

Keywords: Vibration, Shaker, Natural Frequency, Mod Shapes

Citation: Ö. Deniz & V. Özdemir "Design and Analysis of a Vibration Fixture Utilizing a Dual Shaker System Driven by a Single Shaker", AJEAS. (2024) 2(3): 29-42. <http://dx.doi.org/10.70988/ajeas.1600783>

1. Giriş (Introduction)

Titreşim testleri, modern mühendislik uygulamalarında, yapıların dayanıklılık, güvenilirlik ve performans kriterlerinin değerlendirilmesinde vazgeçilmez bir yöntemdir. Bu testler, hem malzeme bilimi hem de mekanik tasarımın kritik kesişim noktalarından birini temsil eder. Özellikle havacılık, otomotiv, savunma sanayii ve enerji sektörü gibi yüksek hassasiyet ve güvenlik gerektiren alanlarda, titreşim testlerinin önemi daha da artmaktadır [1, 2]. Günümüzde bu sektörlerde üretilen ürünlerin, hem statik hem de dinamik yükler altında nasıl davrandığının detaylı bir şekilde anlaşılması, güvenilir tasarımlar oluşturulmasında temel bir gereklilik haline gelmiştir.

Titreşim testleri, yalnızca ürünlerin mevcut çalışma koşullarında dayanıklılığını analiz etmekle kalmaz, aynı zamanda tasarım ve üretim süreçlerindeki olası kusurların önceden tespit edilmesine de olanak tanır. Bu testler, prototiplerin geliştirilmesi aşamasında kullanıldığında, maliyetlerin azaltılmasına ve ürünlerin pazara sürülme sürecinin hızlandırılmasına yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, titreşim testlerinin sağlıklı sonuçlar verebilmesi, test sırasında kullanılan ekipmanların kalitesi ve doğruluğu ile doğrudan ilişkilidir [3, 4]. Bu bağlamda, test fikstürlerinin tasarımı ve performansı, titreşim testlerinin başarısını doğrudan etkileyen faktörlerden biridir.

Fikstürler, titreşim testlerinin doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini sağlamak için özel olarak tasarlanmış mühendislik yapılarıdır. Bu yapılar, test edilen ürün ile test cihazı arasında enerji iletimini optimize etmek, dışsal titreşim etkilerini izole etmek ve sistemde rezonansı önlemek amacıyla geliştirilir. Titreşim enerjisinin doğru bir şekilde iletilmesi hem yapısal testlerin hassasiyetini artırır hem de yanlış pozitif veya negatif sonuçların önünü geçer. Ancak, fikstür tasarımındaki en büyük zorluklardan biri, fikstürün kendi dinamik özelliklerinin test edilen yapının performansını etkileyip etkilemeyeceğinin analiz edilmesidir [5, 6].

Özellikle büyük boyutlu ve ağır yapıların test edilmesi söz konusu olduğunda, geleneksel fikstür tasarımları genellikle yetersiz kalmaktadır. Bu gibi durumlar, mühendislik yaklaşımlarında daha ileri seviye tasarım ve analiz yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Literatürde, büyük boyutlu yapıların titreşim testlerine uygun fikstürlerin tasarımı ve optimizasyonuna yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, genellikle modal analiz tekniklerine ve rezonansın önlenmesine odaklanmıştır. Modal analiz, fikstürlerin doğal frekanslarının test sırasında kullanılan frekans aralığından uzak tutulmasını sağlayarak, testlerin daha doğru sonuçlar vermesini mümkün kılar [7, 8].

Sonlu elemanlar analizi (FEA), titreşim fikstürlerinin tasarımı ve analizi için güçlü bir araçtır. Bu yöntem hem malzeme seçimi hem de yapısal tasarım aşamalarında, fikstürlerin performansını optimize etmek için kullanılmaktadır [9]. FEA ile malzeme yoğunluğu, titreşim aktarımı ve rezonans koşulları detaylı bir şekilde analiz edilebilmekte, tasarımlar daha verimli hale getirilebilmektedir [10]. Goud ve Jena [11], FEA kullanarak farklı malzeme türlerinin titreşim davranışları üzerindeki etkilerini analiz etmiş ve alüminyum alaşımlarının yüksek frekanslı titreşim testlerinde ideal bir malzeme olduğunu göstermiştir. Zhang ve arkadaşları [12], büyük boyutlu yapılar için FEA tabanlı modal analiz yöntemleri kullanarak optimize edilmiş fikstür tasarımları geliştirmiştir.

Malzeme seçimi, fikstür tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Çelik ve alüminyum gibi yaygın kullanılan malzemeler, yoğunluk, mukavemet ve dinamik davranış özellikleri açısından farklı avantajlar sunar. Çelik, yüksek mukavemeti ve düşük frekanslardaki titreşimlere karşı dayanıklılığı nedeniyle tercih edilirken, alüminyum alaşımlar düşük yoğunlukları ve yüksek frekanslardaki üstün performanslarıyla dikkat çekmektedir [13, 14]. Reddy ve Kamsini [15], çelik malzemelerin düşük frekanslarda rezonans etkisini minimize ettiğini, alüminyum alaşımların ise yüksek frekans

aralıklarında avantaj sağladığını göstermiştir. Bu bulgular, malzeme seçiminin fikstür tasarımındaki kritik etkisini ortaya koymaktadır.

Fikstür tasarımında karşılaşılan diğer bir önemli zorluk, çift sarsıcı sistemlerinde senkronizasyon problemleridir. Çift sarsıcı sistemler, özellikle büyük boyutlu yapıların test edilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Ancak, bu sistemlerde senkronizasyon hataları, test sonuçlarının güvenilirliğini olumsuz etkileyebilir [16]. Literatürde, bu sorunları ele almak için yenilikçi mekanik ve elektronik çözümler geliştirilmiştir. Örneğin, tek bir sarsıcı ile çift sarsıcı sistemlerinin çalışmasını sağlayan sistemler, bu tür problemlerin üstesinden gelmek için etkili bir alternatif sunmaktadır [17].

Bu çalışma, literatürdeki mevcut bilgi birikimini temel alarak, tek sarsıcı ile tahrik edilen bir çift sarsıcı sistemi kullanan yenilikçi bir titreşim fikstürü tasarlamayı ve analiz etmeyi hedeflemektedir. Tasarım sürecinde hem modal analiz hem de sonlu elemanlar analizine dayalı yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler arasında, hafifliği ve mukavemeti ile öne çıkan Al 6061 serisi alüminyum tercih edilmiştir [18]. Ayrıca, THK firmasına ait SRG 65 LC lineer hareket sistemi, düşük sürtünme katsayısına sahip olmasından dolayı fikstürün enerji iletimini sağlamak için tercih edilmiştir [19]. Tasarım, deneysel sonuçlarla desteklenmiş ve analitik modelleme ile uyumluluk sağlanmıştır [20].

Ayrıca, bu çalışmanın önemli bir katkısı, fikstür tasarımında maliyet etkin yaklaşımların ele alınmasıdır. Büyük boyutlu yapıların titreşim testleri için uygun maliyetli ve verimli çözümler sunmak, sanayi uygulamalarında geniş bir kabul görmektedir. Al 6061 alüminyum alaşımı, yalnızca hafifliği ve mukavemeti ile değil, aynı zamanda üretim maliyetlerini düşürme potansiyeliyle de ön plana çıkmaktadır. Bunun yanında, kullanılan SRG 65 LC lineer hareket sistemi, testlerin hassasiyetini artıran yenilikçi bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, bu unsurları bir araya getirerek, yüksek güvenilirlikte test sonuçları sunmayı başarmıştır.

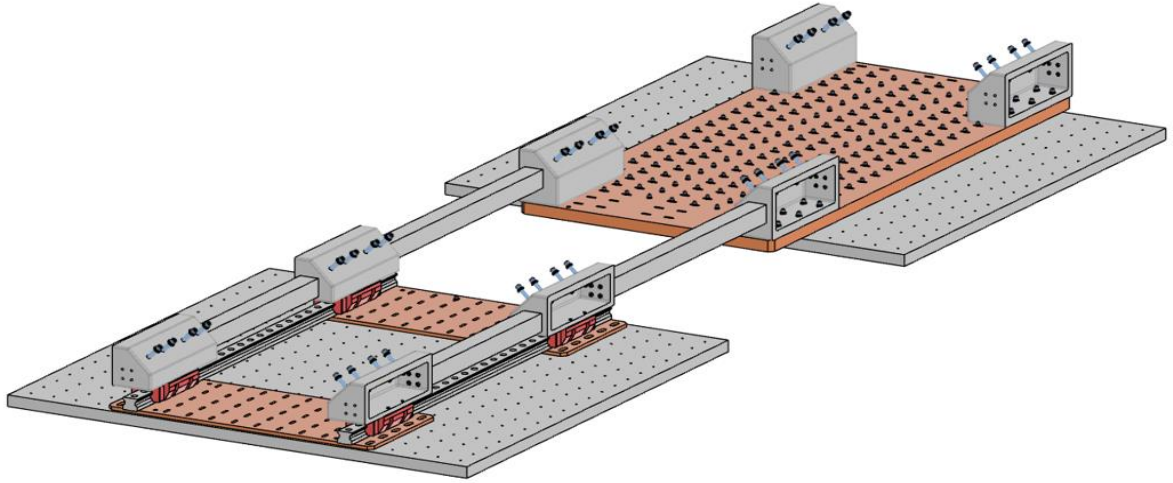
Modal analiz sonuçları, önerilen fikstür tasarımının test edilen yapı üzerindeki etkisini minimize ettiğini ve çift sarsıcı senkronizasyon problemlerinin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Bu bağlamda, çalışma, hem teorik hem de pratik açıdan önemli katkılar sunmaktadır. Sonuçlar, büyük boyutlu yapıların testlerinde kullanılan geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını aşmayı hedefleyen yenilikçi bir yaklaşımı ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu yöntemlerin geniş bir frekans aralığında yüksek hassasiyetli testler yapmayı mümkün kıldığı görülmüştür.

Bu bağlamda, bu çalışma, yalnızca büyük boyutlu yapıların titreşim testlerinde güvenilir bir yöntem sunmakla kalmayıp, aynı zamanda çift sarsıcı sistemlerinde karşılaşılan senkronizasyon problemlerine de yenilikçi çözümler önererek literatüre katkı sağlamaktadır.

2. Materyal ve Metot (*Materials and Method*)

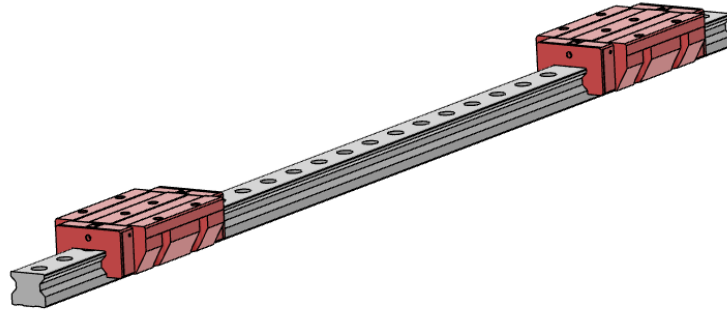
2.1. Tasarım modeli (*Design Model*)

Fikstürün tasarımına ilişkin detaylı bir değerlendirme yapıldığında, sistemin temel bileşenlerinin oldukça dikkatli bir şekilde seçildiği görülmektedir. Şekil 1'de yer alan fikstür, enerji aktarımını optimize etmek ve yapısal bütünlüğü sağlamak amacıyla, 8 adet bağlantı braketinden, enerji iletimini etkin bir şekilde gerçekleştirmek için kullanılan 4 adet kare profil elemanından, hareket doğruluğunu artırmak amacıyla yerleştirilen Şekil 2'deki gibi 2 adet lineer hareket sistemi ünitesinden ve titreşim enerjisinin sarsıcıdan fikstüre aktarımını sağlayan toplam 3 adet sarsıcı bağlantı plakasından oluşmaktadır.

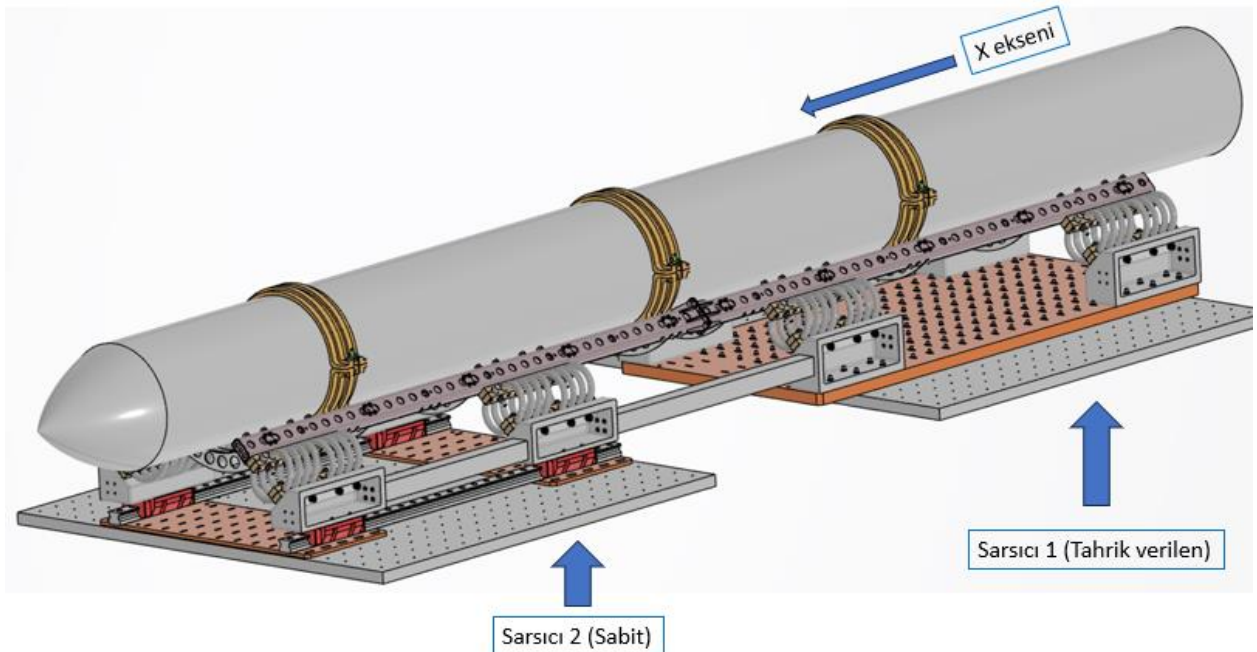


Şekil 1. Fikstür Tasarım Modeli (Fixture Design Model)

Fikstür ile gerçekleştirilecek testlerde, test nesnesi olarak Şekil 3’de yer alan temsili bir deniz torpidosu (dummy) kullanılmıştır. Bu seçim, hem fikstürün tasarımının büyük ve ağır yapıların testine uygunluğunu değerlendirmek hem de titreşim iletim performansını gerçek dünya koşullarına benzer bir senaryoda test etmek amacıyla yapılmıştır.



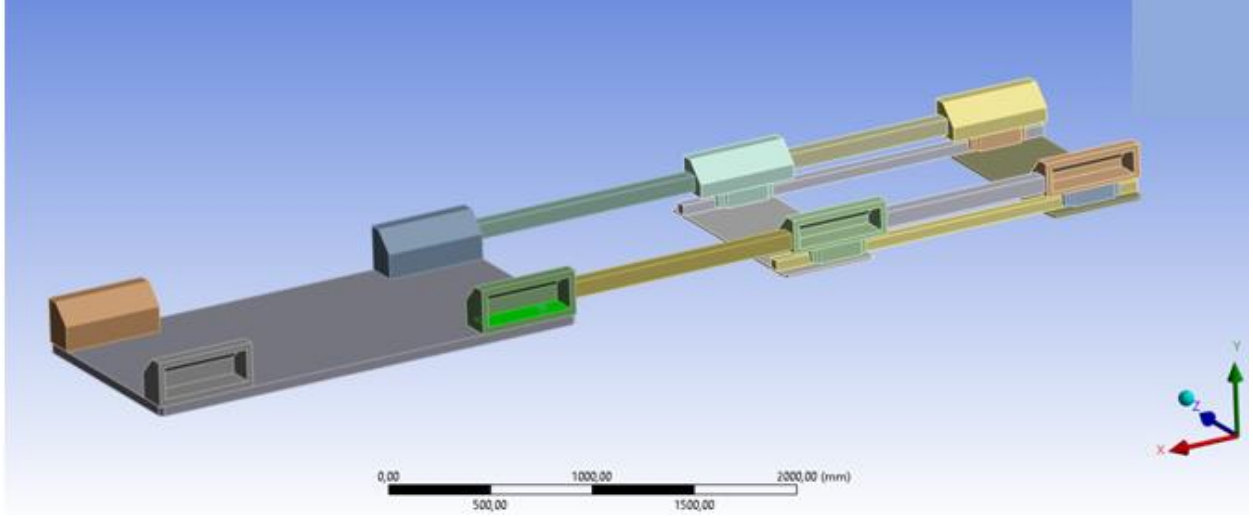
Şekil 2. THK SRG 65 LC Lineer Hareket Sistemi (THK SRG 65 LC Linear Motion System)



Şekil 3. Test Modeli: “Taşıma Beşikli Temsili Deniz Torpidosu” (Test Model: “Transport Cradle with a Dummy Naval Torpedo”)

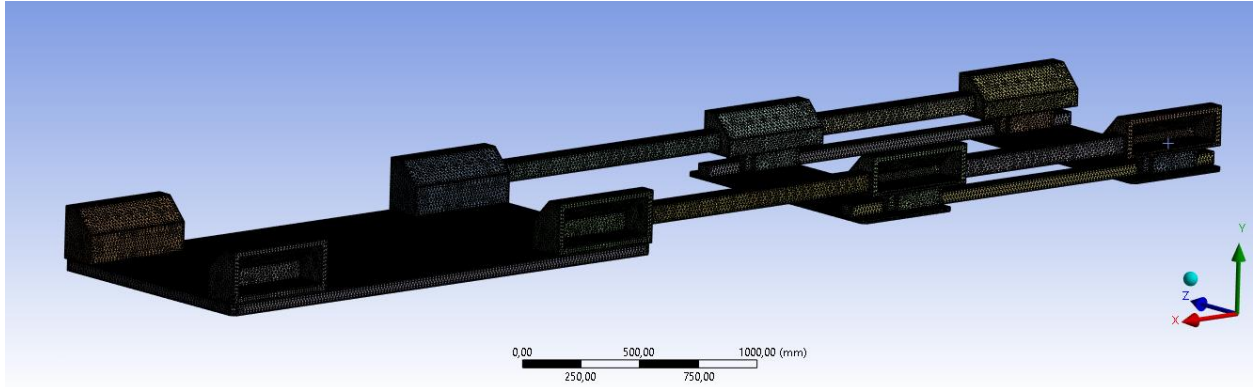
2.2. Analiz (Analysis)

X ekseninde kullanılacak modal ve dinamik analiz için koordinat sistemi Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Referans Koordinat Düzlem (Reference Coordinate Space)

Temsili Deniz torpidosunun bağlantı beşiği ile beraber boyu 7500mm ve ağırlığı 2150 kg alınmıştır. Analizde model kullanılmamış olup ağırlık yayılmış kütle (distributed mass) olarak tanımlanmıştır. Ağırlık braketin açılı yüzeylerinden tanımlanmıştır.



Şekil 5. Genel Ağ Yapısı (Mesh Structure)

Şekil 5’de ağ yapısı (Mesh) yöntemi olarak patch conforming tercih edilmiş ve yapı tetrahedron elemanlar ile tanımlanmıştır. Ağ yapı boyutları ise optimum olarak 8 mm olarak belirlenmiştir. Fikstür modelinin ağ yapısı tanımlandıktan sonra, analizde toplam 796241 düğüm noktası ve 554235 eleman oluşturulmuştur. Sönüm oranı ise analizlerde 0,05 alınmıştır.

Fikstürde kullanılan malzemeler ve özellikleri Tablo 1’te verilmiştir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri (Material properties)

Malzeme	Özkütle (kg/m ³)	Elastisite Modülü (GPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)
Al 6061	2700	68	275	295

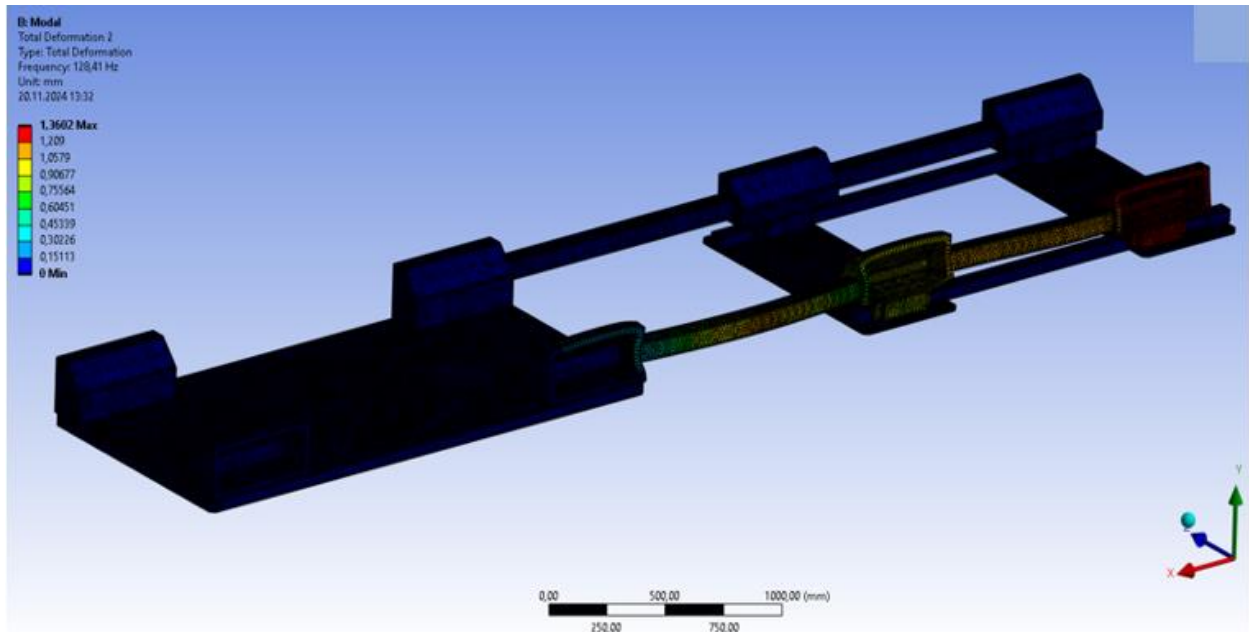
Yapılan modal analiz aşamasında cıvatalı bağlantılar kaynaklı (bonded) kontak olarak alınmıştır. Bunun sebebi yapının büyük ve kompleks olmasından dolayı analiz çıktılarında ihmal edilebilecek seviyede sistemin modlarını etkilemiştir. Lineer hareket sistemini sağlayan THK SRG 65 LC kayar rulmanının analizde kantağı sürtünmeli (frictional) olarak alınmış olup, ürün 0,002 değerinde bir sürtünme katsayısına sahiptir.

3. Bulgular (Findings)

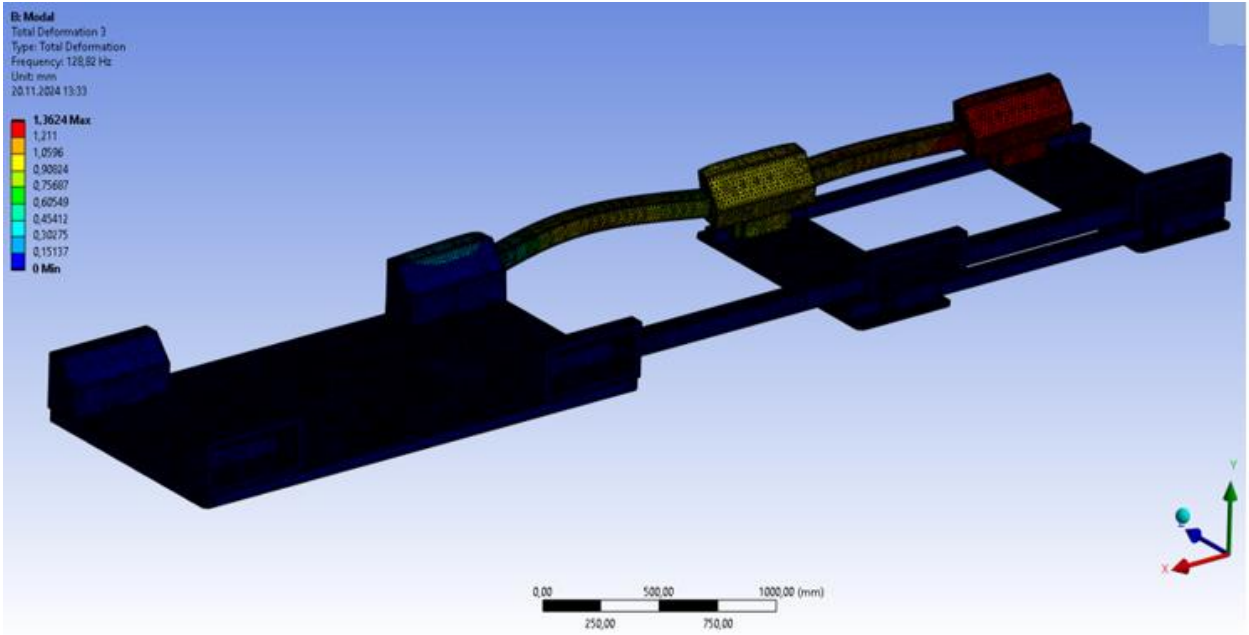
Tüm eksenler için Tablo 2’de yer alan modal analizler yapılmış olup, fikstürün 6 modu incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda test frekans aralığı olan 10-100 Hz aralığından daha yüksek bir doğal frekans modu elde edilmiştir. Özellikle Şekil 6’da 128,41 Hz’de elde edilen mod fikstürün X eksenindeki doğal frekansı olup, bu değer test aralığının üstünde olması özellikle önemlidir. Şekil 8’de ise 171,57 Hz değerinde fikstürün Y ve Z eksenlerindeki doğal frekansları elde edilmiştir. Şekil 11’de 181,71 Hz değerinde kümülatif kütle oranı 1 olup yani %100 değerine ulaşmış olup sistemin başka modlarının incelenmesine gerek kalmamıştır.

Tablo 2. Fikstür modları (*Fixture modes*)

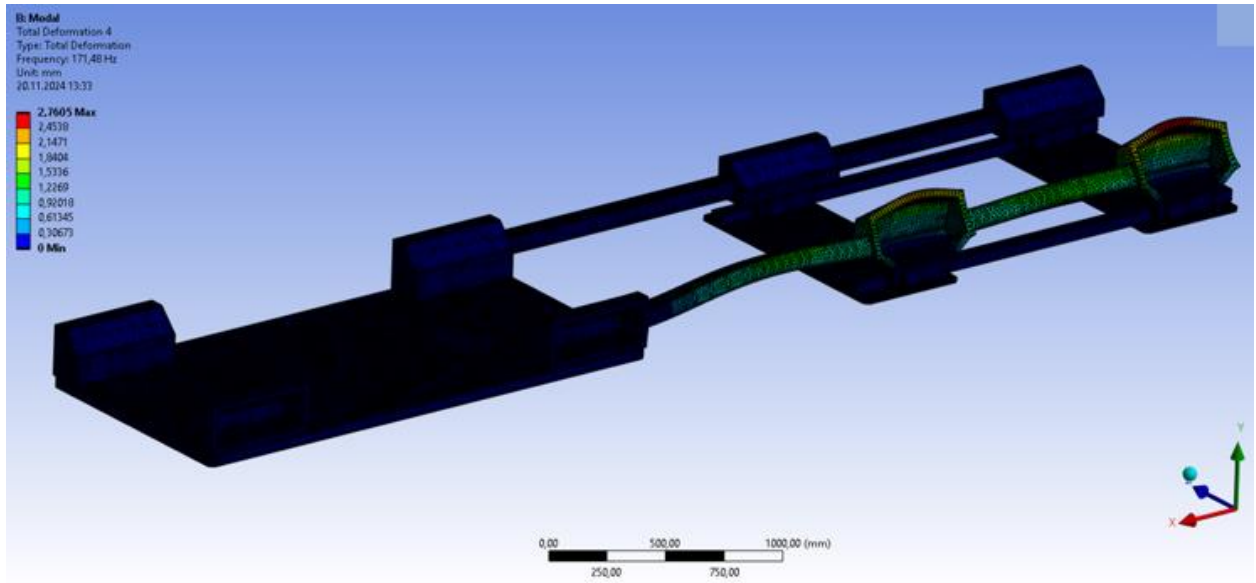
MOD	FREKANS (Hz)
1	128,41
2	128,82
3	171,48
4	171,57
5	181,59
6	181,71



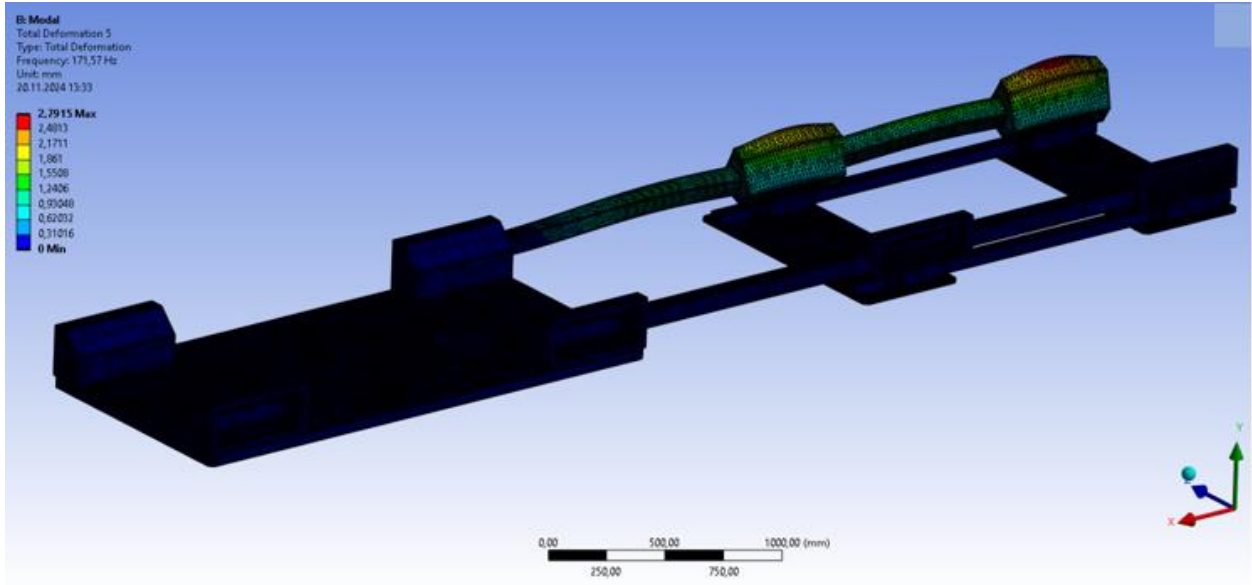
Şekil 6. Mod 1 (128,41 Hz) (*Mode 1*)



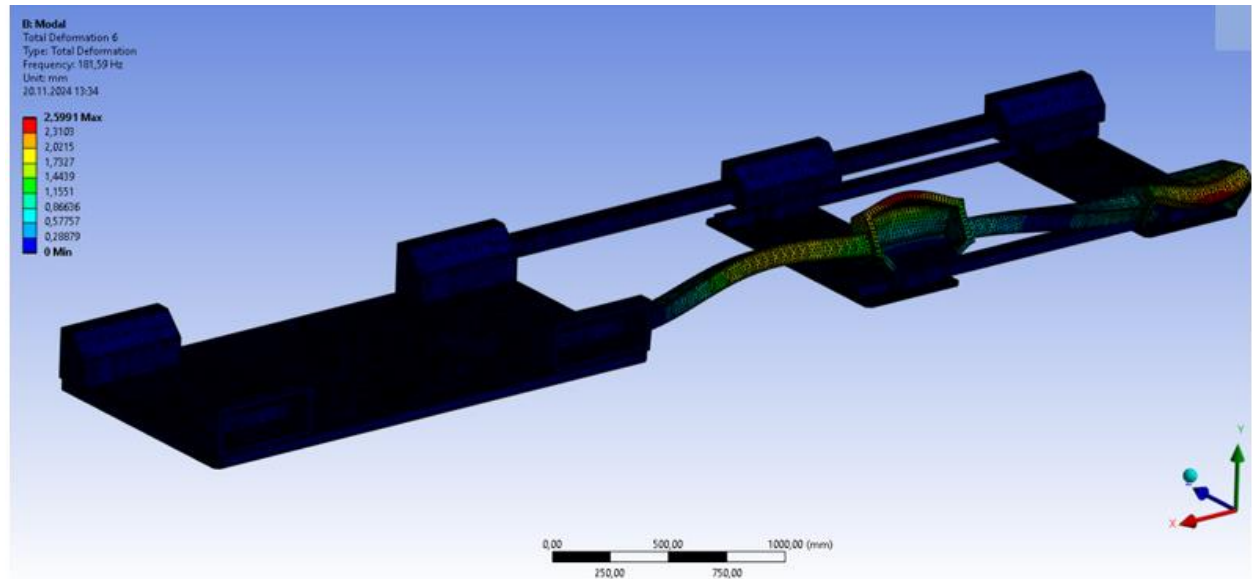
Şekil 7. Mod 2 (128,82 Hz) (Mode 2)



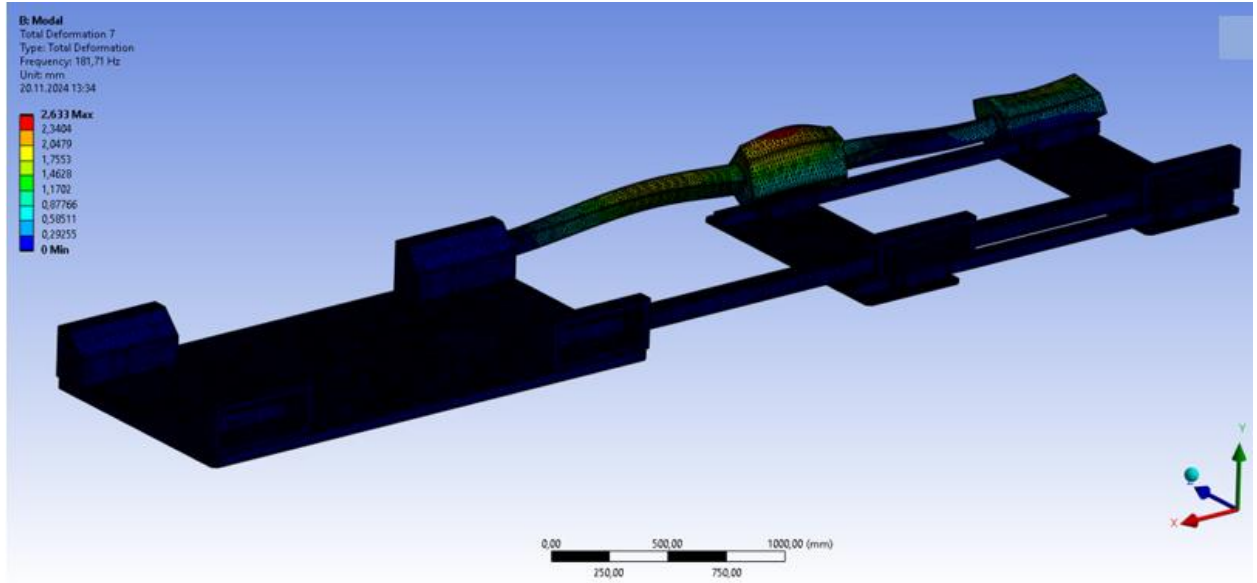
Şekil 8. Mod 3 (171,48Hz) (Mode 3)



Şekil 9. Mod 4 (171,57Hz) (Mode 4)

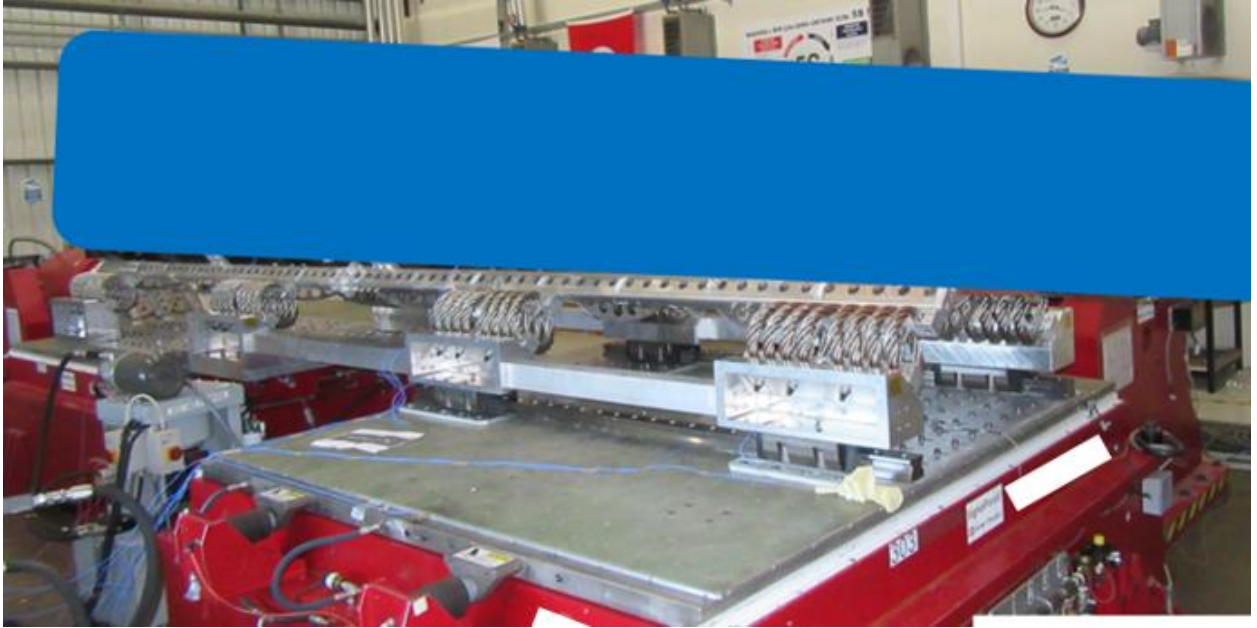


Şekil 10. Mod 5 (181,59Hz) (Mode 5)

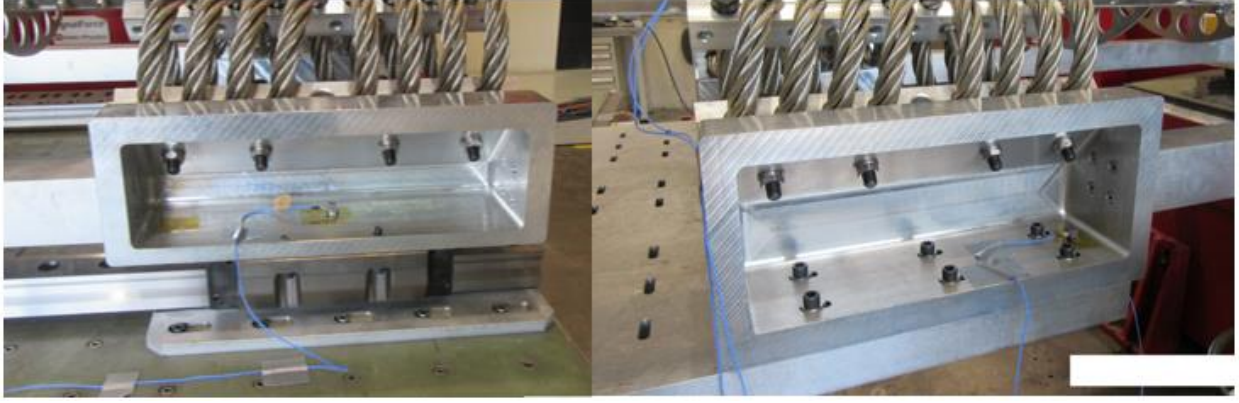


Şekil 11. Mod 6 (181,71Hz) (Mode 6)

Yapılan modal analiz sonrasında fikstürün en düşük doğal frekansının yani modunun 128,41 Hz olduğu sonu çıkarılmıştır. Bu aşamadan sonra fikstür Şekil 12’deki gibi üretilmiştir.



Şekil 12. Fikstür üretim modeline ait titreşim testi (Vibration test of the fixture production model)

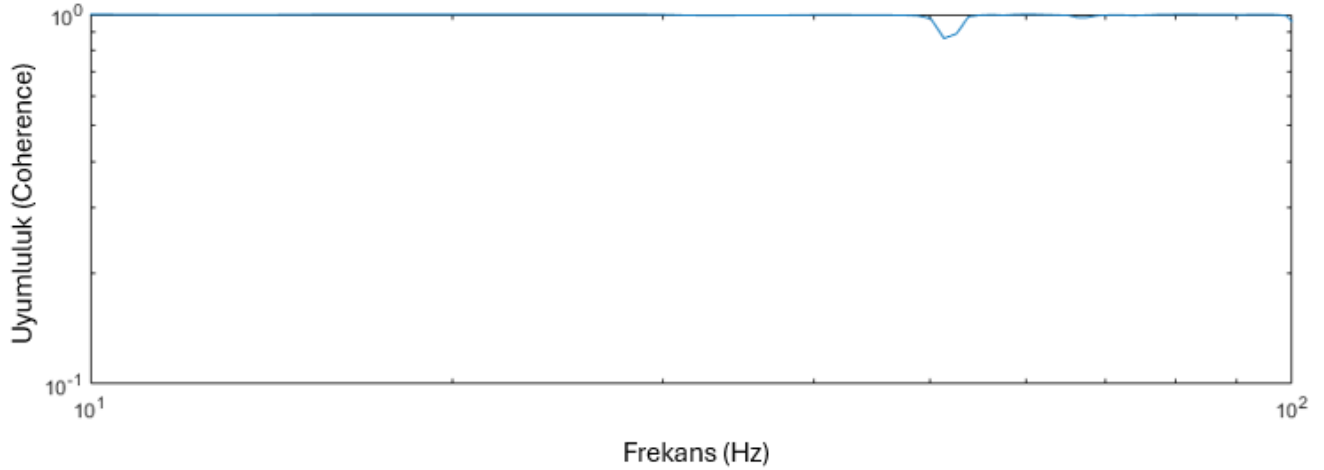


Şekil 13. İvme ölçerlerin yerleşimi (*Placement of accelerometers*)

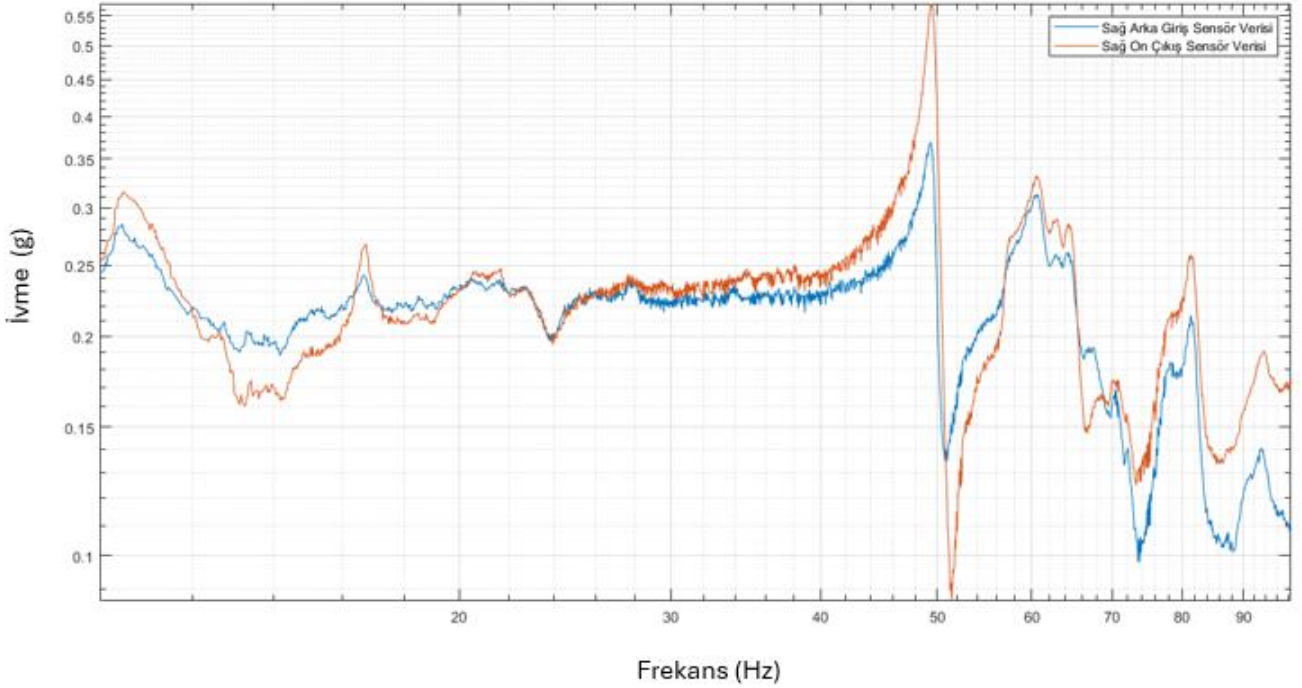
İvme ölçerler titreşim enerjisinin iletilmesinin sağlıklı şekilde anlaşılması açısından sarsıcıların üzerinde yer alan farklı braketlerden (Şekil 13) alınmıştır. Şekil 12’de görselin sol tarafındaki braket fikstürün sağ ön kısmından sağ tarafındaki ise sağ arka kısmından alınmıştır.

3.1. Sinüs tarama titreşim testi (*Sinusoidal sweep vibration test*)

Titreşim testinde sarsıcıdan 10-100 Hz arası 0.25g’lik bir titreşim profili uygulanmıştır. Fikstüre giriş (sağ arka braket ivme ölçer verisi) ve çıkış (sağ ön braket ivme ölçer verisi) sinyalleri arasındaki uyumluluk Şekil 14’de verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere uyumluluk 1 civarında olup mükemmel yakın bir doğrusal iletim gözlenmiştir. 50-55 Hz arasında 0,9 değerlerine düşen uyumluluk gürültü vb. etkilerden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 14. Giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki uyumluluk grafiği (*Coherence graph between input and output signals*)



Şekil 15. İvme ölçerler üzerinden alınan veriler (*Data collected from accelerometers*)

4. Sonuçlar (*Conclusions*)

Bu çalışma, çift sarsıcı sistemlerinde X eksenini senkronizasyon problemlerini çözmek ve büyük boyutlu, ağır yapıların titreşim testlerini güvenilir şekilde gerçekleştirmek amacıyla yenilikçi bir fikstür tasarımı sunmaktadır. Tasarım sürecinde uygulanan modal analizler, fikstürün doğal frekanslarının test frekans aralığı olan 5-100 Hz'in üzerinde konumlandırılmasını sağlamış ve böylece rezonans etkileri başarılı bir şekilde önlenmiştir. Özellikle modal analizlerde elde edilen en düşük doğal frekansın 128,41 Hz'e çıkarılması, tasarımın optimizasyon başarısını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, sistemin stabilitesini artırmış ve titreşim enerjisinin güvenilir bir şekilde iletilmesini desteklemiştir.

Deneysel test sonuçları, teorik analizlerle uyumlu şekilde, fikstürün titreşim enerjisini başarıyla ilettiğini ve giriş ile çıkış sinyalleri arasında yüksek doğrusal iletim sağlandığını göstermektedir. Grafik verilerine göre, giriş ve çıkış sinyalleri arasında genel bir uyum gözlemlenmiş, 0,25g büyüklüğündeki titreşim profili sistem boyunca büyük ölçüde korunmuştur. Özellikle, düşük ve orta frekans aralıklarında (0-40 Hz), giriş ve çıkış sensör verileri oldukça tutarlı bir eğilim sergilemiştir. Şekil 15'te 49 Hz civarındaki tepe noktası, fikstüre bağlanan beşiğin doğal frekansını işaret etmektedir ve bu rezonans bölgesi olarak tespit edilmiştir. Rezonans sonrasında ise (50 Hz ve üzeri), genel bir sönümlenme etkisi görülmüş, giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki fark minimum düzeyde kalmıştır.

Şekil 14 ve Şekil 15'te sunulan grafik verileri, ivme ölçerlerden alınan verilerin giriş ve çıkış sinyalleri arasında yüksek doğrusal uyum sağladığını doğrulamaktadır. Bu sonuçlar, titreşim enerjisinin sistem boyunca başarılı bir şekilde aktarıldığını ve fikstürün titreşim iletiminde etkin bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen fikstür, titreşim testlerinde doğruluk ve tekrarlanabilirliği artırdığı gibi ağır ve büyük boyutlu yapıların test süreçlerinde operasyonel esneklik sağlamıştır. Ayrıca, sistemin MIL-T-18404 Torpido çevresel gereksinimler standardına uygun titreşim testlerinin gerçekleştirilmesi için büyük bir kolaylık sunduğu görülmüştür. Grafik verileri de bu standartlara uygun testlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini desteklemektedir. Bu tasarımın, endüstride geniş bir uygulama alanı bulabileceği ve titreşim testlerinde kalite standartlarını yükseltebileceği

düşünülmektedir. Gelecekteki çalışmalar kapsamında, farklı malzeme kombinasyonları ve sarsıcı düzenleri üzerindeki etkiler analiz edilerek bu tasarımın daha da optimize edilmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür (*Acknowledgments*)

Bu çalışmanın her aşamasında değerli rehberliği ve kıymetli görüşleriyle katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Veysel ÖZDEMİR'e, iş yerindeki yöneticim ve akıl hocam Sayın Okan CELEP'e ve ekip arkadaşım Sayın Mehmet Efe ÖZKAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deklarasyon ve Etik Standartlar (*Declarations and Ethical Standards*)

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

Yazar Katkısı (*Author Contributions*)

Bu çalışmada Yazar 1 fikri tasarlayıp, analizlerle teorisini geliştirdi. Yazar 2 yapılan çalışmanın bulgularını denetlemiş olup tecrübesi ile tasarımın fikrinin gelişmesinde öncü olmuştur.

Kaynaklar (*References*)

- [1] T. S. Reddy and K. V. K. Reddy, "Design and analysis of vibration test bed fixtures for space launch vehicles," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 5, pp. 592–595, 2010, Doi: 10.17485/ijst/2010/v3i5.15.
- [2] K. Y. Yenilmez and Z. K. Kocabağak, "Otomobil Yan Geri Görüş Aynası İçin Titreşim Fikstürü Tasarımı ve Analizi," *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 12–23, 2022, Doi: 10.31202/ecjse.910478.
- [3] E. D. Barros and C. D. Souto, "Evaluation of a Vibration Text Fixture," *The International Journal of Acoustics and Vibration*, vol. 22, no. 3, 2017, Doi: 10.20855/ijav.2017.22.3480.
- [4] J. Y. Kim, W. B. Jeong, S. B. Lee, and B. H. Lee, "An Experimental Approach for Structural Dynamic Modification of Fixture in Vibration Test Control," *JSME International Journal Series C*, vol. 44, no. 2, pp. 334–340, 2001, Doi: 10.1299/jsmec.44.334.
- [5] H. Luo, C. Yu, T. Wu, and H. Wang, "Structure Design and Dynamic Characteristic Analysis of Vibration Fixture," 2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Changchun, China, pp. 1515-1519, 2018, doi: 10.1109/ICMA.2018.8484271.
- [6] N. Kusnandar, H. Firdaus, I. Kasiyanto, et al., "Performance evaluation of test fixtures for vibration testing of electric vehicle batteries," *AIP Conference Proceedings*, vol. 3069, 020074, 2024, Doi: 10.1063/5.0205748.
- [7] M. Żółtowski and K. Napieraj, "Experimental modal analysis in research," *Civil Engineering and Architecture*, vol. 16, no. 3, pp. 5–12, 2017, Doi: 10.24358/Bud-Arch_17_163_01.
- [8] A. Yücel, "Bir dizel gemi jeneratörünün operasyonel modal analizi," *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 23, no. 1, pp. 224–233, 2021, Doi: 10.25092/baunfbed.848854.
- [9] Y. Han, Y. Zhang, X. Li, J. Wang, and Z. Liu, "Design and Dynamic Analysis of Random Vibration Test Fixture for Aerospace Valve," in *Proceedings of the 2021 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Nanjing)*, pp. 1-6, 2021, Doi: 10.1109/PHM-Nanjing52125.2021.9612798.

- [10] J. Wu, J. D. Van Den Avyle, and S. W. Banovic, "Vibration analysis of medical devices with a calibrated FEA model," *Computers and Structures*, vol. 80, no. 12, pp. 1081–1086, 2002, Doi: 10.1016/S0045-7949(02)00067-6.
- [11] K. S. Goud and S. P. Jena, "Modeling and analysis of vibrating fixtures," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2648, no. 1, p. 020028, 2022, Doi: 10.1063/5.0114500.
- [12] W. X. Shen, W. S. Ma, and L. W. Zhang, "Research on the design of fixture for motor vibration test," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 324, 012067, 2017, Doi: 10.1088/1757-899X/324/1/012067.
- [13] D. F. Kaya and M. Nalbant, "Titreşim Fikstürlerinde Vibrasyon Ölçümleriyle Sonlu Elemanlar Model Sonuçlarının Karşılaştırılması," *Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 2, no. 1, pp. 1–17, 2021.
- [14] A. Sharma, S. K. Yadav, A. Yadav, V. Kumar, and A. Kumar, "Comparison of Static and Harmonic Response of Structural Steel and Aluminium Alloy Automotive Shock Absorbers," in *Advances in Materials Processing and Manufacturing Applications*, pp. 241–249, 2021, Doi: 10.1007/978-981-16-0909-1_24.
- [15] A. Reddy and H. Kamsini, "Design and Development of Vibration Testing Fixtures," *International Journal of Students' Research In Technology & Management*, vol. 4, no. 1, pp. 8–11, 2016, Doi: 10.18510/ijstrtm.2016.413.
- [16] M. Zou, Y. Zhang, S. Wang, X. Li, and J. Yang, "Investigation on multiple-frequency synchronization experiment of vibration system with dual-rotor actuation," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 164, 108261, 2022, Doi: 10.1016/j.ymsp.2021.108261.
- [17] X. Li, T. Yang, W. Li, M. J. Brennan, M. Zhu, and L. Wu, "On the adaptive synchronous control of a large-scale dual-shaker platform system," *Journal of Vibration and Control*, vol. 29, no. 7–8, pp. 1644–1655 2022, Doi: 10.1177/10775463211068905.
- [18] İ. Yıldırım, R. Meral, C. Güven et al., "Aviyonik Ürün Doğrulamasında Titreşim Fikstürü Tasarımı," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 28, no. 3, pp. 905–914, 2023, Doi: 10.17482/uumfd.1245479.
- [19] R. Toniolo, "THK: CLB Crossed Linear Bearing Seismic Isolators," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1020, pp. 1483–1492, 2008, Doi: 10.1063/1.2963774.
- [20] X. Chen, X. Peng, and Z. Gu, "Optimal Design of Vibration Fixture and Analysis of its Vibration Characteristics," in *Proceedings of the 2021 4th World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing (WCMEIM)*, 2021, Doi: 10.1109/WCMEIM54377.2021.00092.

Yazar Biyografileri (Author Biographies)

 <p>Özgür Deniz</p>	<p>Özgür Deniz, 2017 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Kariyerine Arıtes Metal firmasında başlayan Deniz, 2018 yılında FNSS Savunma Sistemleri'nde Mekanik Tasarım ve Silah Sistemleri Tasarım Mühendisi olarak görev almıştır. FNSS'teki 5,5 yıllık çalışma süresince savunma sanayisinde ileri mühendislik uygulamalarına odaklanarak yenilikçi mekanik tasarımlar ve çözümler geliştirmiştir. Son 1,5 yıldır ROKETSAN'da Test Mühendisi olarak görev yapan Deniz, mekanik titreşim alanında fikstür tasarımı ve analizi üzerine çalışmakta ve dinamik sistemlerin test süreçlerini optimize etmeye yönelik projeler yürütmektedir. Ayrıca, akademik bilgi birikimini artırmak amacıyla Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği alanında yüksek lisans yapmaktadır.</p>
 <p>Veysel Özdemir</p>	<p>Prof. Dr. Veysel Özdemir, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmakta olup, makine mühendisliği ve mühendislik teknolojileri alanında uzmanlaşmıştır. 1988 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olan Özdemir, yüksek lisans ve doktora çalışmalarını aynı üniversitede tamamlamıştır. Akademik kariyerine Gazi Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak başlayan Özdemir, çeşitli ulusal ve uluslararası üniversitelerde öğretim üyesi ve idari görevlerde bulunmuştur. Araştırma alanları arasında mekanik tasarım, enerji sistemleri ve biyomimetik yaklaşımlar yer alan Özdemir, birçok uluslararası hakemli dergide makaleler yayımlamış ve bilimsel projelerde liderlik yapmıştır. Ayrıca, mühendislikte yenilikçi uygulamalara katkı sağlayarak lisans, yüksek lisans ve doktora düzeyinde çeşitli dersler vermektedir.</p>