

**OTOMOTİV BİLEŞENLERİNİN TİTREŞİM TESTLERİ
İÇİN FİKSTÜR TASARIMI VE ANALİZİ**

Kadir Yavuz YENİLMEZ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV BİLEŞENLERİNİN TİTREŞİM TESTLERİ İÇİN FİKSTÜR
TASARIMI VE ANALİZİ**

Kadir Yavuz YENİLMEZ
0000-0002-5938-0883

Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK
0000-0003-3292-8324
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

TEZ ONAYI

Kadir Yavuz YENİLMEZ tarafından hazırlanan “OTOMOTİV BİLEŞENLERİNİN TİTREŞİM TESTLERİ İÇİN FİKSTÜR TASARIMI ve ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK
0000-0003-3292-8324

Başkan :	Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK 0000-0003-3292-8324 Bursa Uludağ Üniversitesi, Müh Fakültesi, Taşıt Dinamiği ve Kontrol Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Dr. Öğr. Üyesi Erol SOLMAZ 0000-0001-9369-3552 Bursa Uludağ Üniversitesi, Müh Fakültesi, Taşıt Tasarım Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ 0000-0003-3350-1509 Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bil Mim ve Müh Fakültesi, Mekanik Anabilim Dalı	İmza
Üye :		İmza
Üye :		İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
.././.....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

03/01/2020

Kadir Yavuz YENİLMEZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV BİLEŞENLERİNİN TİTREŞİM TESTLERİ İÇİN FIKSTÜR TASARIMI VE ANALİZİ

Kadir Yavuz YENİLMEZ

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında “Otomotiv Bileşenlerinin Titreşim Testleri İçin Fikstür Tasarımı ve Analizi” konusu temel olarak ele alınmıştır. Konunun içeriğinde elektrodinamik sarsıcılar ve yardımcı ekipmanlarının neler olduğu, bu tür sarsıcılarda gerçekleştirilebilecek test profilleri ve genel olarak basit görülen ancak bir titreşim testi için en büyük öneme sahip titreşim fikstürünün tasarım aşamalarından bahsedilmiştir. Belirtilen tasarım aşamaları, otomobil yan dikiz aynası örnek alınarak titreşim fikstür tasarımı ve simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Titreşim, Ömür Testi, Elektrodinamik Sarsıcı

2020, x + 69 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

**FIXTURE DESIGN AND ANALYSIS FOR VIBRATION TEST OF AUTOMOTIVE
COMPONENTS**

Kadir Yavuz YENİLMEZ

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK

Within the scope of this master thesis, “Fixture Design and Analysis for Vibration Tests of Automotive Components” has been taken as the basis. Electrodynamic shakers and auxiliary equipment, test profiles that can be performed in such shakers, and generally seen as simple but the most important thing for a vibration test is mentioned in the design stages of the vibration fixture are included in the content. Vibration fixture design and simulation studies were carried out by taking the mentioned design stages as an example of automobile side view mirror.

Key words: Vibration, Life Test, Electrodynamic Shaker

2020, x + 69 pages.

TEŞEKKÜR

Gerçekleştirmiş olduğum tez alıŐması kapsamında desteklerini hibir zaman eksik etmeyen eŐim ve tım yaŐantım boyunca olduğu gibi yine yanımda olan aileme teŐekkürlerimi, bu süre zarfında canım kızırıma daha az vakit ayırabildiğim için kendisine özürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalıŐmamda paylaŐtıđım bilgileri edinmeme olanak sağlayan DTA Mühendislik ve çalışma arkadaşlarıma yardımlarından dolayı, danışmanın Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK hocama sabrı ve yardımları için teŐekkürlerimi sunarım.

Kadir Yavuz YENİLMEZ

03/01/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kaynak Araştırması.....	3
2.2. Kuramsal Temeller.....	6
2.2.1. Elektrodinamik Sarsıcılar.....	6
2.2.2. Elektrodinamik Sarsıcı Ekipmanları	11
2.3. Titreşim Profil Çeşitleri.....	24
2.3.1. Sinüs (Sine) Titreşim Profili	24
2.3.2. Rastgele (Random) Titreşim Profili	25
2.3.3. Şok (Shock) Test Profili.....	25
2.3.4. Sinüs – Rastgele (Sine on Random) Titreşim Profili.....	26
2.3.5. Rasgele – Rasgele (Random on Random) Titreşim Profili.....	27
2.4. Titreşim Fikstür Tasarımı ve Dinamik Özellikleri	28
2.4.1. İletilebilirlik.....	29
2.4.2. Çapraz Eksen Yanıtı	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1. Fikstür Tasarımı İçin Test İsterlerinin Belirlenmesi	31
3.2. Fikstür Tasarımı	34
4. BULGULAR	36
4.1. Simülasyon Sonuçları	38
4.1.1. Modal Analiz.....	38
4.1.2. Topoloji Optimizasyonu	53
4.1.3. Titreşim Fikstürü İletilebilirlik Analizi.....	60

4.2. Deneysel Sonuçlar.....	62
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	66
KAYNAKLAR	67
ŐZGEMİŐ	69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
f	Frekans (Hz)
g, a	İvme (m/s ²)
\vec{F}	Kuvvet (N, kN, kgf, lbf)
m	Kütle (kg, lb)

Kısaltmalar	Açıklama
PSD	Power Spectrum Density
RMS	Root Mean Square
ICP®	Integrated Circuit Piezoelectric

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Elektrodinamik Sarsıcı Şematik Gösterimi.....	7
Şekil 2.2. Deplasman – Hız ve İvme dönüşümü	9
Şekil 2.3. Frekans alanındaki bir sinyalin gösterimi	10
Şekil 2.4. Farklı boyutlarda armatür örnekleri	12
Şekil 2.5. Hizalama ve Destek Parçaları	13
Şekil 2.6. Kafa Genişletici Örnekleri (Head Expander).....	14
Şekil 2.7. Kayar Tabla (Slip Table)	15
Şekil 2.8. Örnek bir fikstür tasarımı.....	16
Şekil 2.9. Hava Soğutma Ünitesi	17
Şekil 2.10. Sarsıcılar için titreşim izolasyonu örneği.....	18
Şekil 2.11. Örnek bir sarsıcı sistemi kontrolcü odası.....	19
Şekil 2.12. Farklı kapasitelere sahip sarsıcılar için güç yükseltici örnekleri	20
Şekil 2.13. İvmeölçerler ve ayna üzerinde uygulama örneği	21
Şekil 2.14. İvmeölçer montaj şekilleri	22
Şekil 2.15. Farklı kanal sayılarında Siemens Simcenter Scadas kontrolcü sistemleri	23
Şekil 2.16. 20 Hz – 2000 Hz ve 1g – 3g genlik seviyesindeki Sinüs Titreşim Profili	24
Şekil 2.17. 5 Hz – 2000 Hz ve 0,1 g ² /Hz – 0,3 g ² /Hz genliğe sahip Rastgele Titreşim Profili Örneği	25
Şekil 2.18. 6 ms , 30 g ivme genlik değerine sahip Yarım Sinüs Şok Titreşim Profili ..	26
Şekil 2.19. 20Hz-100Hz-500Hz Sinüs, 5Hz-2000Hz Random.....	27
Şekil 3.1. Titreşimsiz - Titreşimli Araç İçi Dikiz Aynası Örneği	31
Şekil 3.2. Örnek Test Numunesi	32
Şekil 3.3. ISO 16750 – 3 sinüs titreşim profili.....	33
Şekil 4.1. Duvar plakası	36
Şekil 4.2. Fikstür – sarsıcı bağlantı taban plakası	37
Şekil 4.3. Test numunesi bağlantı parçası	37
Şekil 4.4. Titreşim fikstürü ilk tasarımı	38
Şekil 4.5. Titreşim fikstürü ilk tasarım simülasyon sonucu – 1	39
Şekil 4.6. Titreşim fikstürü ilk tasarım simülasyon sonucu – 2	39

Şekil 4.7. Titreşim Fikstürü ilk tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri	40
Şekil 4.8. İkinci fikstür tasarımı	41
Şekil 4.9. İkinci tasarım simülasyon sonucu – 1	41
Şekil 4.10. İkinci tasarım simülasyon sonucu – 2	42
Şekil 4.11. İkinci tasarım simülasyon sonucu – 3	42
Şekil 4.12. Titreşim Fikstürü ikinci tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri.....	43
Şekil 4.13. Üçüncü tasarım katı modeli	44
Şekil 4.14. Üçüncü tasarım simülasyon sonucu – 1	44
Şekil 4.15. Üçüncü tasarım simülasyon sonucu – 2	45
Şekil 4.16. Üçüncü tasarım simülasyon sonucu – 3	45
Şekil 4.17. Titreşim Fikstürü üçüncü tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri.....	46
Şekil 4.18. Dördüncü tasarım katı modeli.....	47
Şekil 4.19. Dördüncü tasarım simülasyon sonucu – 1	47
Şekil 4.20. Dördüncü tasarım simülasyon sonucu – 2	48
Şekil 4.21. Dördüncü tasarım simülasyon sonucu – 3	48
Şekil 4.22. Titreşim Fikstürü dördüncü tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri.....	49
Şekil 4.23. Beşinci tasarım katı modeli.....	50
Şekil 4.24. Beşinci tasarım simülasyon sonucu – 1	50
Şekil 4.25. Beşinci tasarım simülasyon sonucu – 2	51
Şekil 4.26. Beşinci tasarım simülasyon sonucu – 3	51
Şekil 4.27. Titreşim Fikstürü beşinci tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri.....	52
Şekil 4.28. Topoloji Optimizasyonu Tasarım Bölgesi (a) (b) (c)	53
Şekil 4.29. Topoloji Optimizasyon Yan Görünüş.....	54
Şekil 4.30. Topoloji Optimizasyon Üst Görünüş	55
Şekil 4.31. Topoloji Optimizasyon İzometrik Görünüş	55
Şekil 4.32. Topoloji Optimizasyon Arka Görünüş	56
Şekil 4.33. Topoloji Optimizasyon Alt Görünüş	56
Şekil 4.34. Topoloji optimizasyonu sonucuna göre oluşturulan tasarım	58

Şekil 4.35. Modal Analiz sonucu fikstür hareketi.....	58
Şekil 4.36. Modal Analiz sonucu fikstür hareketi.....	59
Şekil 4.37. Modal Analiz sonucu fikstür hareketi.....	59
Şekil 4.38. Modal Analiz sonucu ilk rezonans frekansı.....	60
Şekil 4.39. Fikstür tasarımı iletilebilirlik simülasyonu	61
Şekil 4.40. Titreşim fikstürünün sarsıcı üzerine montajı	61
Şekil 4.41. Test Parçası İvmeölçer Montajı	63
Şekil 4.42. Kontrol ivme ölçeri	64
Şekil 4.43. Titreşim fikstürü sinüs tarama iletilebilirlik testi.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. 5 veya daha az silindir olan araçlar (her eksen için 22 saat).....	33
Çizelge 3.2. 6 ve daha fazla silindir olan araçlar (her eksen için 22 saat)	33
Çizelge 4.1. Titreşim testi sırasında kullanılan ekipmanlar	62

1. GİRİŞ

Titreşim ömür testi, bir veya birden fazla bileşenin gerçek kullanım koşullarında maruz kalacağı titreşim seviyelerine fiziksel ve işlevsel olarak dayanıp dayanamayacağını belirlemek veya bu ürünlerin nakliye sırasında hasar görüp görmeyeceğinden emin olmak, üretimden kaynaklı hataların hat sonunda tespit edilerek kalite katsayısını artırmak için yapılmaktadır. Titreşim ömür testleri otomotiv bileşenleri, askeri donanım, aviyonik ekipmanlar, beyaz eşya ve tüketici elektroniği ve telekomünikasyon ekipmanlarının ömür tespiti ve kullanıcı tarafından güvenilirliğinin artırılması konularında büyük rol oynamaktadır.

Elektrodinamik titreşim sistemleri, sinüs(sine), rastgele(random), şok(shock), rastgele sinüs(sine on random), rastgele rastgele(random on random) ve diğer karmaşık dalga formlarını belirten ve gerçek dünya koşullarından toplanan verilerin aynısını üretecek şekilde birçok farklı test gerçekleştirebilir.

Bu tez çalışmasında titreşim ömür testlerinin yapılmasını sağlayan elektrodinamik sarsıcı sistemlere ait temel kavramlar ve bileşenler, sarsıcılarda uygulanan titreşim profil tiplerinin açıklanmasına yer verilmiştir. Titreşim ömür testlerinin en kritik görevini üstlenen bileşenlerden biri olan titreşim fikstüründe olması gereken özellikler ve titreşim fikstür tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar aktarılmıştır. Altair Inspire yazılımının Topoloji Optimizasyonu veya Modal Analiz araçları kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarına ait sonuçların nasıl yorumlanması gerektiği ve bu simülasyon sonuçlarına göre fikstür tasarımının güncellenmesinde izlenecek işlem adımları ele alınmıştır.

Araç sürücüleri tarafından çok büyük öneme sahip olan geri görüş aynası üzerine gelen titreşimlerden dolayı net bir görüş sağlamayabilir veya içerisinde yer alan elektronik parçalarda ve/veya aynanın dış muhafazasında titreşim kaynaklı hasar meydana gelebilir.

Tez çalışması kapsamında yan geri görüş aynasına ISO 16750-3 standardı kapsamında uygulanacak titreşim testleri için fiktür tasarımı ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen nihai tasarımın üretimi yapılarak simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI ve KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kaynak Araştırması

Elektrodinamik sarsıcılar ve sinüs, rastgele titreşim profilleri, titreşim test fikstürleri ile ilgili literatüre bakıldığında birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Örneğin;

Wong ve Schueneman (1997), elektrodinamik sarsıcı üzerine yerleştirdikleri farklı kütle – yay sistemlerinin sinüs ve random titreşim profilleri altındaki dinamik davranışlarını incelemişlerdir.

Pravin K. Aggarwal (?), imzası taşıyan çalışmada NASA bünyesinde yapılan havacılık ve uzay sistemlerinin titreşim testleri için fikstür tasarım – sertifikasyon konuları ele alınmıştır ve fikstür tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir.

Eric Sauther (2013), modal cevapların sinüs tarama testi ile bulunması, testlerin icrası sırasında gerekli olan parametrelerin tanımlanarak uygulanmasını içeren çalışma yapmıştır.

Buckley ve Chiang (2011), çevresel testler için gerekli olan fikstür tasarım kriterleri ve analiz çalışmalarının sonuçlarının karşılaştırılması gerçekleştiren bir çalışma yapmışlardır.

Sarafin, Doukas, Demchak ve Browning (2017) yaptıkları çalışma kapsamında küçük boyuttaki uydu ve ekipmanlarının standart bağlantı ara yüzüne sahip olmayan modelleri için kullanılabilir ve uçuş sırasındaki etkilerin oluşmasına olanak sağlayacak şekilde

esnekliğe sahip fikstür ara yüzlerinin tasarımı için dikkat edilmesi gereken noktaları ele almışlardır.

Poncelet, Marin, Fleury ve Golinval (2005), elektrodinamik sarsıcılarda titreşim testi uygulanan sokak aydınlatması için kullanılan fikstürün topoloji optimizasyonu uygulanarak iyileştirilmesi konusunda çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Per Falk (2015), büyük bir otomotiv üreticisi bünyesinde kullanılan birçok farklı bağlantı dizilimine sahip fikstürlerin bağlandığı ara plakanın standardize edilmesi ve modüler bir fikstür bağlantı aparatının tasarlanması ve uygulanması üzerine çalışma gerçekleştirmiş ve firma tarafından kullanıma alınmıştır.

Raut, Madgulkar, A.Sathe, Wadkar ve Sathe (2017) tarafından gerçekleştirilen Titreşim Fikstürleri isimli çalışmada, titreşim testlerinde fikstürün gerekliliği ve farklı fikstür tipleri ele alınmıştır. 5 farklı yapıdaki titreşim fikstürlerinin kullanım yerleri açıklanmıştır.

Barros ve Souto (2016), elektrodinamik bir sarsıcı için tasarlanan fikstür için kontrol ivme ölçerinin farklı yerlere konulduğu zaman karşılaşılabilecek durumları gösteren bir çalışma yapmıştır ve sensörün konumunun testler sırasında fark oluşturabileceği tespit edilmiştir.

Borhade, Parate ve Korade (?), avyonik uygulamalarda kullanılan güç besleme ünitelerinin elektrodinamik sarsıcılarda testi için tasarlanan fikstürün farklı malzemeler seçilerek analiz edilmesi ve sonuçların karşılaştırılmasını temel alan çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Sowjanya, Rao ve Dr. Kiran (2013), alüminyum ve magnezyum alaşımlı titreşim fikstürlerinin sonlu elemanlar analizi başlıklı çalışmalarında avyonik sistemlerin elektrodinamik sarsıcı ile titreşim testleri için 4 farklı fikstür tasarımının alüminyum ve magnezyum alaşımlarında analizlerini gerçekleştirmiş ve sonuçları karşılaştırmışlardır.

Nalluri ve Dhekane (2014), bilgisayar ana kartlarının titreşim testleri için alüminyum alaşımlı malzemeye sahip 5 farklı kübik titreşim fikstürü tasarlamış ve bu tasarımların sonlu elemanlar yöntemiyle modal analizleri yapılarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

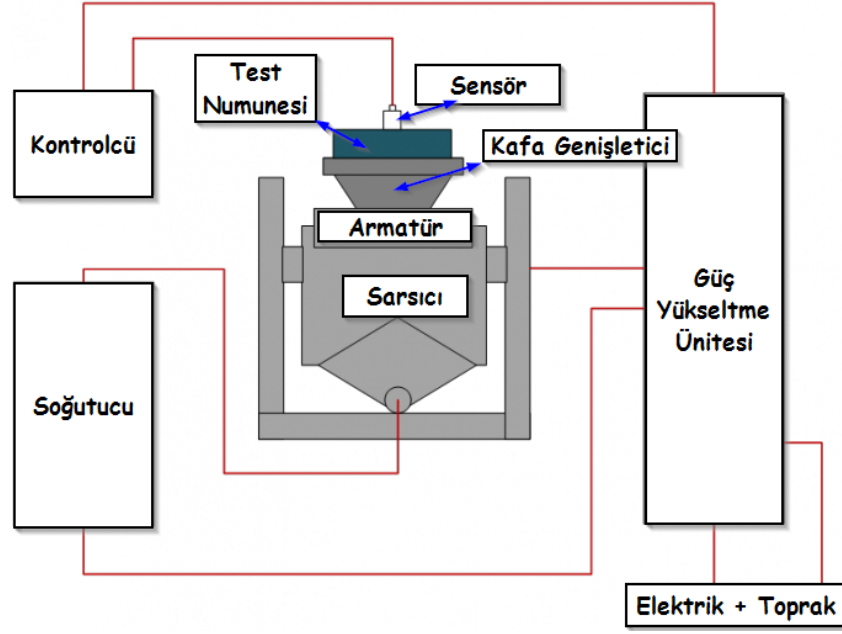
Yapılan kaynak araştırması çalışmalarında, titreşim fikstürünün tasarımdan sonra mutlaka sonlu elemanlar yöntemiyle ve/veya üretim sonrası rezonans tarama testi ile uygunluğu değerlendirilmesinin gerekliliği ortaya konmuştur. Bu bağlamda titreşim fikstür tasarım aşamalarını detaylı şekilde ele alan bir çalışmanın eksikliği fark edilmiş ve konuyla ilgili kişilere yol gösterici niteliğinde bir kaynak olması hedeflenmiştir.

2.2. Kuramsal Temeller

Bu çalışma kapsamında titreşim ömür testleri için fiğstür tasarımı ve analiz yöntemleri temel alınmıştır ancak titreşim ömür testi için kullanılacak sistemin detaylı olarak bilinmesi testin doğru yapılması açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda çalışma kapsamında kullanılan elektrodinamik sarsıcının genel özellikleri ve temel bileşenlerinin neler olduğu, titreşim ömür testlerinde uygulanan titreşim profillerine yer verilmiştir.

2.2.1. Elektrodinamik Sarsıcılar

Elektrodinamik sarsıcılar (Şekil 2.1), temel olarak büyük birer endüstriyel hoparlör olarak düşünülebilir ancak oldukça yüksek değerlerde kuvvet uygulayabilmektedirler. Oldukça küçük ve hafif elektronik komponentlerin testleri için kullanılan düşük kapasiteli sarsıcılardan tonlarca ağırlığındaki zırhlı bir aracın testini gerçekleştirecek devasa boyutlarda sarsıcılara kadar birçok farklı sistem bulunmaktadır. Elektrodinamik sarsıcılar, sabit gövde içerisinde bulunan sarımlardan elektrik akımının geçmesi sonucunda oluşan manyetik alanın hareketli yapı üzerine gelen akım oranında aşağı yukarı hareket etmektedir ve bu hareket titreşim olarak karşımıza çıkmaktadır. Kontrol edilebilir olan bu titreşim sayesinde birçok araç gereç ve ekipmanların titreşim ömür testleri ve dayanım testleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.1. Elektrodinamik Sarsıcı Şematik Gösterimi

Bir elektrodinamik sarsıcı seçimi yapılırken, öncelikle iki temel faktörün göz önünde bulundurulması gerekir; hareketli kütle ve ivme seviyesi. Hareketli kütle, sarsıcının titreşim sırasında hareket eden armatür, test edilecek olan parça ve test parçasının sarsıcıya montajı aşamasında kullanılan fikstür ve civatalara ait toplam kütleyi ifade etmektedir. İvme seviyesi ise hareketli kütle üzerine etki etmesi istenilen değeri belirtmektedir. Newton'un ikinci hareket kanuna göre bu iki faktörün çarpımı, test işlemini gerçekleştirmek için gereken kuvveti bulmamızı sağlar ($\vec{F} = m \cdot \vec{a}$). Kuvvet değeri, Metrik ölçü biriminde, kgf veya İngiliz ölçü birimlerinde, lbf cinsinden ifade edilebilir. Titreşim sistemi üreticileri, genel olarak sarsıcının kuvvetinin % 80 kapasitede kullanılmasını hem sarsıcının daha uzun ömürlü çalışmasını sağlamak hem de olası bir kullanım hatasının çok büyük hasara dönüşmesini engellemenin ilk adımı olarak tavsiye etmektedir.

Elektrodinamik sarsıcı performansına ilişkin üç fonksiyonel sınır vardır. Bunlar yer değiştirme (deplasman), ivme ve hızdır.

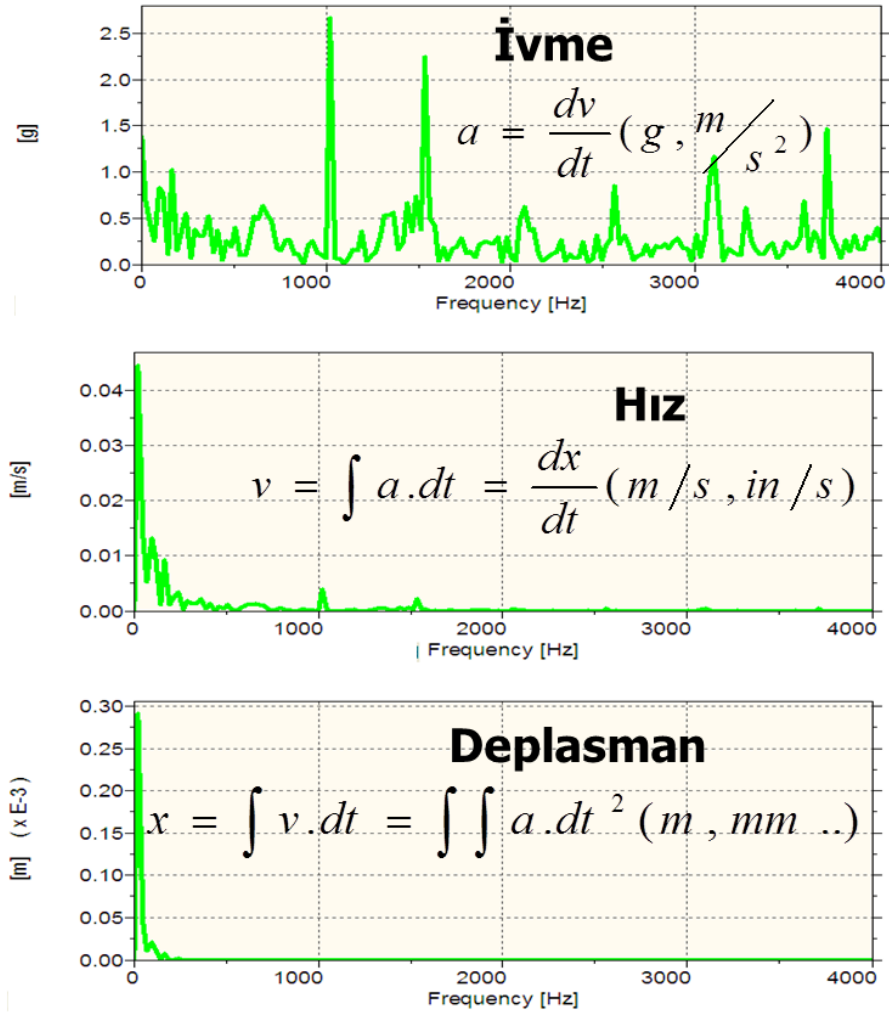
Yer deęiřtirme, sabit ivmede dūřuk frekanslarda yūksek iken frekansın artıřıyla ters orantılı olarak yūksek frekanslarda daha dūřuk deęer almaktadır. Elektrodinamik sarsıcılarda en yaygın yer deęiřtirme sınırı ~51mm (2 inç) olarak karřımıza çıkmaktadır. Bazı özel isterler doęrultusunda ~80mm (3inç) yer deęiřtirme kapasitesine sahip sarsıcılar űretilenmektedir.

İvme, elektrodinamik sarsıcılar için genel olarak sinűs titreşim profilinde 100 g'lik bir değerle sınırlıdır. Sarsıcı kuvvet kapasitesi ve test edilecek ağırlık değerine gōre uygulanabilecek ivme değeri değişiklik gōstermektedir. Bir titreşim testinin ivme değerleri, kullanıcı tarafından belirlenebileceği gibi standartlar tarafından da belirtilebilir.

Hız, deplasman ve ivme limitleri arasında sarsıcı performansını sınırlar ve sarsıcının hareketli kısmı olan armatűrűn hareket ettiği hızı ifade etmektedir, 2.5m/sn en yaygın hız limitidir. Bu sınırların her biri farklı frekans değerlerinde farklı sonuçlar vermektedir.

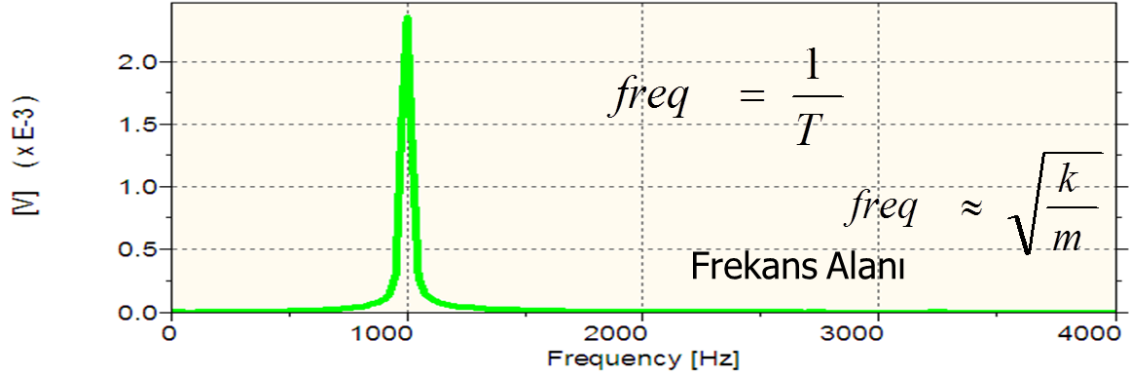
Bir elektrodinamik sarsıcının yer deęiřtirmesi, armatűrűn ne kadar yukarı ve ařaęı hareket edebildięinin bir fonksiyonudur. Sarsıcı sistemlerinin çoęu 2" (~51 mm) tepe-tepe hareketi ile sınırlı olmakla beraber ihtiyaçlar doęrultusunda 3" (~80mm) deplasman kapasitesine sahip sarsıcılarda űretilenmektedir. Bu, bir armatűrűn merkez konumundan 1" (~25 mm) yukarı ve 1" (~25 mm) ařaęı gidebileceęi anlamına gelir. Sarsıcının mekanik sınırları ařılmadan űnce sistemi kapatan deplasman sensōrleri kullanarak sarsıcının fazla deplasman yaparak sisteme zarar vermesini engellemek sarsıcı űreticileri tarafından uygulanan standart bir koruma yōntemidir.

Yer deęiřtirme, ivme ve hız birbirleri ile baęlantılı terimlerdir. Őekil 2.2. de gōrűldűęi űzere yer deęiřtirmenin zamana gōre tűrevi hız, hızın zamana gōre tűrevi ise ivmeyi vermektedir.



Şekil 2.2. Deplasman – Hız ve İvme dönüşümü

Frekans, belirli bir zaman içerisinde gerçekleşen olayın tekrarlanma sayısını gösteren bir kavramdır. Eğer bu belirli zaman 1 saniye olarak ele alınırsa ifade edilen frekans değerinin birimi Hz olmaktadır. Titreşim alanında kullanılan en yaygın terim frekanstır ve bundan sonraki bölümlerde sıkça kullanılacaktır. Zaman alanındaki verilerin anlamlandırılabilmesi için kullanılan yöntem ise frekans alanına dönüşüm işlemidir ve Şekil 2.3. de 1000 Hz de yaklaşık 2.5 mV genlik değerine sahip bir sinyal gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Frekans alanındaki bir sinyalin gösterimi

Elektrodinamik sarsıcılar, kataloglarında yer alan teorik verilere göre DC – 3000 Hz arasındaki geniş bir frekans aralığında çalışırlar ancak 0.5 Hz gibi çok düşük frekanslarda test yapılabilmesi için özel sismik zeminlere ihtiyaç duyulmaktadır. Otomotiv ve nakliye endüstrisindeki bir çok test isterleri 1000 Hz'nin altında test yapılmasını vurgularken, özellikle savunma ve havacılık sektörüne ait titreşim spesifikasyonları 2000 Hz üst limitlerinde test yapılmasını gerektirir ve hatta elektronik endüstrisinde bu değer 3000 Hz'e kadar çıkabilmektedir.

Her yapının kendine özgü doğal frekansları mevcuttur. Doğal frekans, dışarıdan etki eden kuvvete cevap olarak yapının yüksek genlik ve sürekli olarak titreşimin meydana gelmesidir. Doğal frekans, rezonans frekansı olarak da bilinmektedir ancak yapının doğal frekans noktasında etki eden kuvvete karşı sönüm oranı yüksek ise rezonansın etkisi görülmemektedir. Rezonans, genel olarak istenmeyen, hasar verici titreşim frekansı olarak bilinmesine karşılığ müzik enstrümanları gibi yerlerde arzu edilen bir niteliktedir. Rezonansa giren bir yapı uygulanandan çok daha yüksek bir cevaba sahip olduğu için titreşim testlerinde kullanılan titreşim fikstürlerinin test edileceği frekans aralığında rezonans frekansı olması istenmemektedir.

2.2.2. Elektrodinamik Sarsıcı Ekipmanları

Elektrodinamik sarsıcılar birçok dahili ve harici ekipmanlara sahiptir ve kullanıcılar tarafından bu ekipmanların ne işe yaradıkları ve çalışma prensipleri iyi bir şekilde bilinmesi titreşim testlerinin doğru yapılmasında büyük rol oynamaktadır.

Armatür

Armatür, elektrodinamik sarsıcı sistemlerinde manyetik alan içerisinde aşağı – yukarı hareket eden parça olarak isimlendirilmektedir. Şekil 2.4. de görüldüğü üzere farklı kapasitedeki sarsıcılar için farklı boyut ve ağırlıklarda armatürler bulunmaktadır. Armatür hareket eden bir sistem olduğu için de tasarımı ve üretimi için genel kurallar vardır. Bu kuralların bazıları:

- Hafif bir armatür daha kullanışlıdır ve daha yüksek g seviyelerinde test yapılmasına izin verir.
- Armatür, test numunesini taşıyacağı ve dinamik olarak çalışacağı için yüksek derecede sağlamlığa sahip olmalıdır.
- Yapı malzemesi olarak genellikle magnezyum veya alüminyum kullanılmaktadır.
- Magnezyum çok yüksek bir ağırlık-dayanım oranına sahiptir ve yüksek bir sönümlenmeye sahip olduğu için öncelikli tercih edilen bir malzemedir.

- Daha küçük armatürler daha küçük ürünlerin test edilmesi için uygun olabilirken, daha büyük armatürler, kafa genişletici(head expander) kullanımına gerek duymayabilir ve böylece sistem toplam kütleini azaltır. Kafa genişleticinin elimine edilmesi, iletilebilirliği (transmissibility) daha üst seviyelere taşımaktadır.



Şekil 2.4. Farklı boyutlarda armatür örnekleri

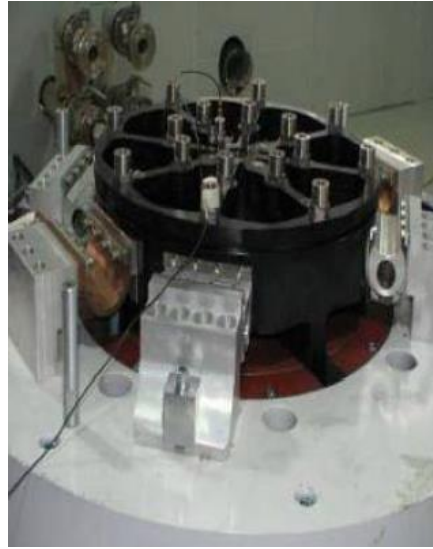
Hizalama ve Destek Parçaları

Armatür, titreşimin çıkış noktası olduğu için mutlak olarak merkezi şekilde hareket etmesi gerekmektedir. Bunun için armatür alt tarafından destek parçası ve üst taraftan hizalama parçaları ile merkez konumda tutulmaktadır. Şekil 2.5. de hizalama ve destek parçalarının armatür ile bağlantıları gösterilmiştir, bu parçalar ve bağlantı şekilleri marka ve modellere göre farklılıklar gösterebilmektedir.

Sarsıcıların deplasman limitleri olduğu için armatürün konumunun bilinmesi gerekmektedir. Bu konum armatürün eşit miktarda aşağı – yukarı hareketi yapması için test başlamadan önce orta nokta olarak ayarlanması gerekmektedir. Bunun için optik sensörler ve otomatik/manuel hava besleme/boşaltma ünitesi kullanılmaktadır. Böylece armatür, üzerinde yük varken veya yüksüz olarak, konumunu orta noktada sabit tutacaktır.

Armatürü yalnızca testin başında merkezlemek yeterli veya güvenli değildir. Gelişmiş sistemlerinde test devam ederken armatürün hareketi sürekli olarak sensörler ile kontrol edilir ve deplasman sınırlarını aşması durumunda mekanik veya elektronik anahtarlar ile sistemin zarar görmeden durması sağlanır.

Armatür üzerine konulacak parçaların sisteme zarar vermesini engellemek için mümkün mertebe ağırlık merkezinin armatür merkezine yakın olması istenmektedir. Eğer bu şekilde bir bağlantı mümkün değil ise armatür üzerine gelen yanal yükleri azaltacak şekilde yataklama sistemi eklenmelidir. Bu sistem genel olarak kafa genişletici (head expander) sistemlere uygulanmaktadır ve guided head expander olarak tanımlanmaktadır.

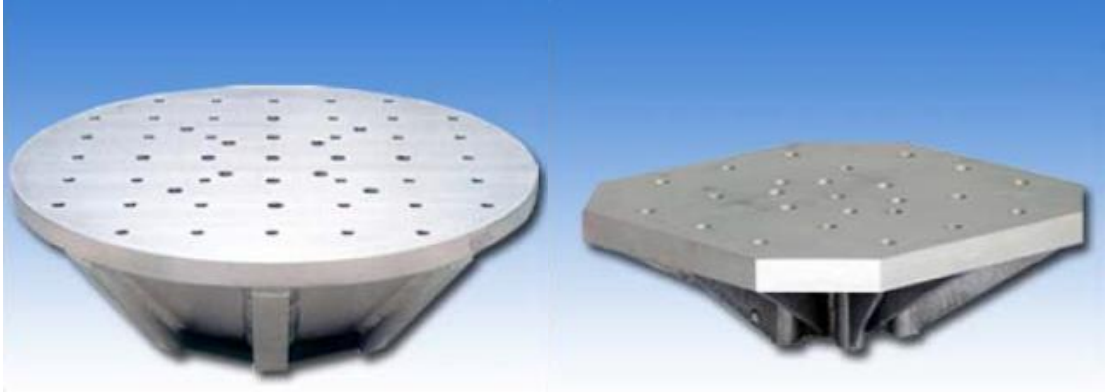


Şekil 2.5. Hizalama ve Destek Parçaları

Kafa Genişletici ve Plakalar (Head Expander & Head Extender)

Büyük veya birden fazla ürün test edileceği zaman, test numunesi armatürün merkezinden çok uzağa uzanırsa, ürün zarar görebilir veya titreşim iletimi farklı olacağı için test yanlış olarak gerçekleştirilebilir. Test numunesi montaj alanını arttırmak ve test numunesini düzgün şekilde bağlamak için bir kafa genişletici veya plaka kullanılması bu olası sorunu hafifletmektedir.

Kafa genişleticiler (Şekil 2.6.) ve plakalar titreşimi sönümlemeden iletebilecek rijitlikte tasarlanmalıdır (kaynak bağlantılı). Cıvata bağlantıları enerji aktarımını azalttığı için cıvata bağlantılı yapılar tercih edilmemelidir. Tercih edilen malzeme armatürde olduğu gibi öncelikli magnezyum veya alüminyumdur ancak maliyet, üretim kolaylığı gibi etmenler göz önünde bulundurularak çelik tercih edilebilir.



Şekil 2.6. Kafa Genişletici Örnekleri (Head Expander)

Kayar Tabla (Slip Table)

Yatay ekseninde titreşim gerektiğinde kayar tabla (Şekil 2.7.) bağlantısı kullanılır. Bu amaçla, sarsıcı, 90 ° döndürülmesine olanak sağlayan bir yataklama sistemine sahiptir.

Sağlam bir yataklama sayesinde sarsıcının hareketleri sınırlandırılmıştır ve böylece düşük frekans yüksek deplasman test performansları artırılmıştır. Sistemin yataklama sisteminin sağlam olması, kayar tabla bağlantı sırasında oluşabilecek olası bağlantı hatalarından kaynaklı problemleri sınırlandırmış olur. Standart yağ filmi sistemlerinin yanında, kılavuzlu takip ve hidrostatik rulmanlar gibi farklı yöntemler kullanılarak yatay eksendeki titreşim test performansı yüksek seviyelerde ve kontrol altında tutulur.

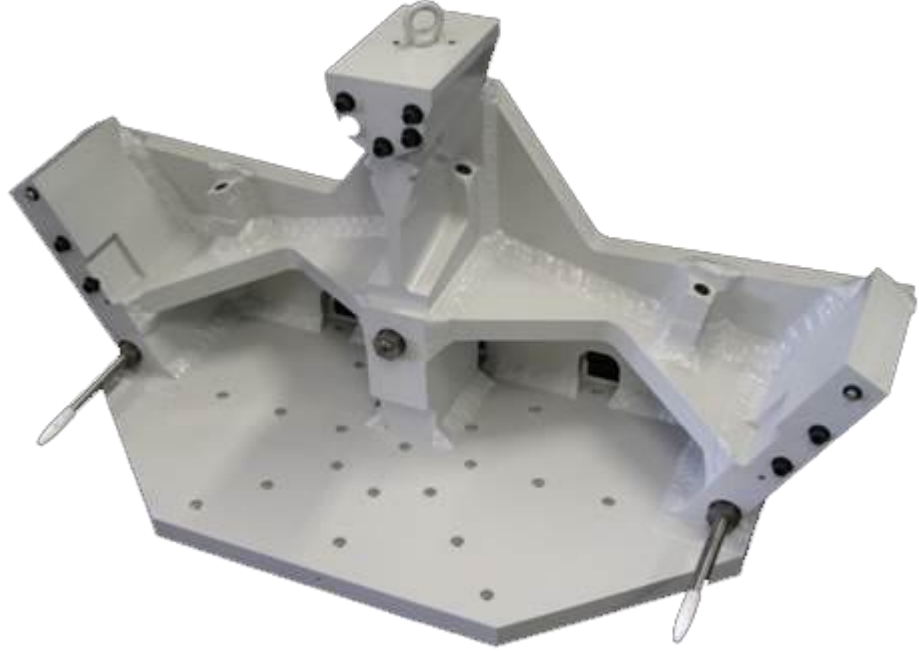


Şekil 2.7. Kayar Tabla (Slip Table)

Titreşim Fikstürü

Titreşim fikstürü, sarsıcı ile test edilecek ürün arasında bir montaj arayüzü görevi görmesinin yanı sıra mümkün olduğunca hafif yapıda olması gerekir (Şekil 2.8.). Titreşim fikstürleri ayrıca armatürden gelen enerjiyi test numunesine birebir şekilde iletmelidir. Fikstürün yüksek sönüme sahip olması titreşimin gerçek değerinden daha düşük, test sınırları içerisinde rezonansa sahip olması ise titreşimin olması gerekenden daha yüksek seviyede iletilmesine neden olmaktadır.

Birçok çalışmada titreşimin üç eksende uygulanması beklenmektedir. Özel titreşim fikstür tasarımları, fikstürün X, Y ve Z ekseninde test için döndürülmesine izin vermektedir. Bir fikstürün ağırlığının test edilecek ürünlerden iki – üç kat daha ağır olması genel bir durumdur. Bu durumun en temel sebebi test edilecek parçanın rezonansa girmesi durumunda fikstürün rezonans etkisine karşı sönüm katmasıdır. Fikstürler, kolayca armatür/kayar tabla üzerine ve ürünler de kolayca fikstür üzerine monte edilebilmelidir. Üründen ürüne ve eksenenden eksene yapılan hızlı değişiklikler, sarsıcı sistem kullanımını en üst düzeye çıkarmaya ve laboratuvar verimliliğini artırmaya yardımcı olur.



Şekil 2.8. Örnek bir fikstür tasarımı

Sarsıcı Soğutma Sistemi

Sarsıcılar, önemli miktarda elektrik tüketimine sahiptirler ve bu enerji yüksek oranda ısıya dönüşmektedir. Bu sebeple elektrodinamik titreşim sistemlerinde, alan bobinlerinin

ve armatür bobinlerinin soğutulması zorunludur. 70kN kapasiteye kadar olan sarsıcılar tipik olarak hava ile soğutulurken, yüksek kuvvet kapasiteli sarsıcılar (100kN ve üstü) sıvı ile soğutulur. Hava soğutmalı sarsıcıların çalışacakları ortamda temiz ve ideal şartlardaki hava dönüşümünün sürekliliği sarsıcının verimli çalışması bakımından çok büyük bir öneme sahiptir. Ortam sıcaklığı yeteri kadar soğuk değil ve soğutma sistemi soğutma işlevini tam manasıyla yerine getiremiyor ise sarsıcı üzerinde bulunan sıcaklık sensörleri aktif olacak ve sistemin çalışmasını durduracaktır.

Hava soğutmalı bir sarsıcı için kullanılan hava soğutma ünitesi (blower) (Şekil 2.9.), test odası dışına monte edilebilir veya ses yalıtımı yapılarak aynı oda içerisinde kalabilir. Ses yalıtımı yapılması zorunlu değildir ancak sarsıcı sistemin çalışması sırasında oluşacak gürültü seviyeleri iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından kulaklık kullanımı zorunlu kılacak seviyelerdedir. Ayrıca soğutucunun armatürden çektiği havayı aynı oda içerisine bırakması odanın daha kısa sürede ısınmasına neden olmaktadır. Gürültü ve sıcaklık etmenlerinden dolayı soğutucunun oda dışında bir yere konumlandırılması genel olarak tercih edilen bir yöntemdir.



Şekil 2.9. Hava Soğutma Ünitesi

Sarsıcı Sistemi Titreşim İzolasyonu

Elektrodinamik sarsıcılar geniş bir frekans aralığı boyunca yüksek kuvvetleri üretme yeteneğine sahiptir. Üretilen kuvvetin birçoğu test numunesini hareket ettirmek için harcanırken bir kısmı ise sarsıcı sistemin gövdesine aktarılmaktadır. Bu durumda titreşimin zemine iletilmesini sınırlamak için, sarsıcı ile zemin arasında hava yastıkları veya titreşim takozları yerleştirilir (Şekil 2.10.). Sarsıcılar genellikle birkaç ton ağırlığa sahip oldukları için binaların zemin katına kurulması ve mümkün ise ayrı zemine sahip olması tavsiye edilir.



Şekil 2.10.Sarsıcılar için titreşim izolasyonu örneği

Gürültü Seviyeleri

Tam kapasite rasgele(random) profil çalan bir elektrodinamik sarsıcı bir jet motoru kadar yüksek gürültü oluşturabilmektedir. Rezonans noktası bulmak için uygulanan sinüs tarama testleri sırasında, sarsıcının gürültüsü düşük seviyeli bir uğultu olarak başlayabilir ve kulak delici bir çığlığa yükselebilir. Bu sebeplerden dolayı, titreşim test odaları ses izolasyonlu olarak tasarlanmalıdır. Güvenlik ve konfor amacıyla kontrolcü sistemi ve güç yükseltici konsolunu titreşim test odasının dışına yerleştirmek genel bir tavsiyedir. Bu

amaçla test numunesinin de kolayca izlenebileceği bir kontrolcü odasının (Şekil 2.11.) bulunması önerilmektedir.



Şekil 2.11. Örnek bir sarsıcı sistemi kontrolcü odası

Güç Yükseltici (Amplifier)

Armatür üzerindeki sarımlardan geçecek olan akım, güç yükseltici (amplifier) (Şekil 2.12.) tarafından üretilmektedir. Amfi gündelik hayatta birçok ses sisteminde kullanılmaktadır. Sarsıcılar için kullanılanlar çok daha büyük sistemlerdir aslında. Örneğin 1 lbf kuvvet değeri için yaklaşık 10 W lık bir güç gerekmektedir. Bu kuvvet – güç hesabını dikkate aldığımızda 1000 W mertebelerinden başlayarak 500kW mertebelerine kadar güç ihtiyacı olan sarsıcılar bulunmaktadır. Ayrıca 1000 W altındaki amfiler 220V monofaz elektrik beslemesine ihtiyaç duyarken, daha yüksek kapasitedeki amfiler 380V trifaz elektrik ile beslenmektedir. Ayrıca yüksek kapasitedeki amfiler olası

arızlara karşın modüler yapıda üretilmektedir. Bu esneklik sayesinde arıza durumundaki modül devre dışı bırakılarak bir miktar güç kaybı ile sarsıcı sistemin çalışmasına devam edilebilmektedir.



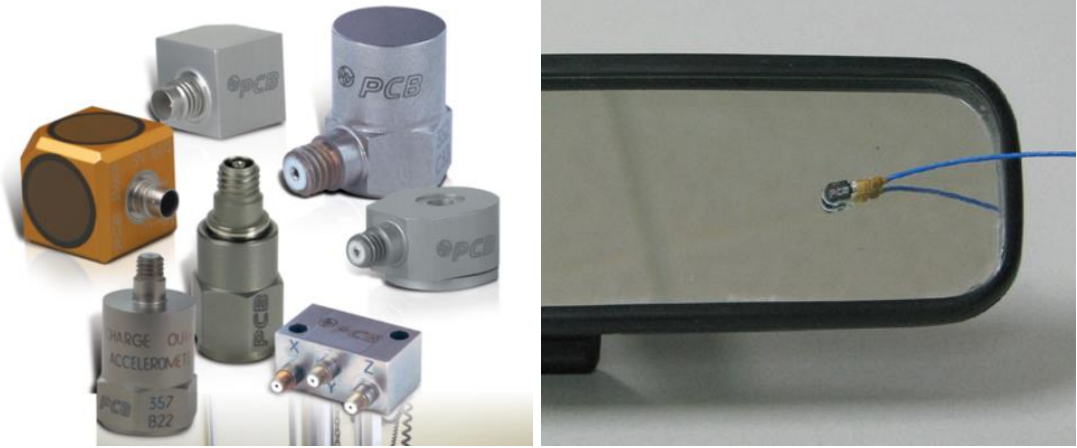
Şekil 2.12.Farklı kapasitelere sahip sarsıcılar için güç yükseltici örnekleri

İvmeölçer

Sarsıcı testleri genel olarak kuvvet kontrollü değil ivme kontrollü olarak yapılmaktadır ve bunun içinde ivmeölçerler (Şekil 2.13. (a)) kullanılmaktadır. İvme ölçerler yapısı itibariyle piezo elektrik kristal malzemelerin tek serbestlik dereceli sistem şeklinde oluşturulması ve üzerine gelen yüklerde pC mertebelerinde çıkış vermektedir. Okunacak pC değerleri çok küçük ve kablo dirençlerinden dolayı yok olacağı için sensörlerin içerisine güç yükseltme devreleri eklenmektedir en yaygın bilinen ismi ile ICP ivmeölçer şeklinde kullanılmaktadır. 0,2 gr gibi çok düşük ağırlıkta minyatür ivmeölçer (Şekil

2.13.(b)) modellerinin yanında 15-20 gr ağırlıklarında genel maksatlı kullanılan ICP ivmeölçerler mevcuttur.

ICP tip ivmeölçerler içerisinde mikro boyuttaki güç yükseltici devrelerden dolayı 163°C üstündeki sıcaklıklarda çalışmamaktadır. Bu şekilde sarsıcı – termal kabin kombine testlerde sıcaklıklara bağlı olarak Charge Type ivmeölçerler kullanılmaktadır. Bu sensörler pC mertebesinde çıkış verdiği için kablo boyları minimum ölçüde tutulmalı ve harici güç yükseltici kullanılmalıdır.



(a)

(b)

Şekil 2.13. İvmeölçerler ve ayna üzerinde uygulama örneği

İvmeölçerler, Şekil 2.14. de gösterildiği üzere farklı şekillerde montaj edilebilmektedirler. En yaygın kullanımları cıvata bağlantılı ve yapıştırma yöntemidir. Bazı sensör modelleri cıvata bağlantı özellikli olmasına karşın yapıştırarak kullanılabilmesi için özel tabanlıklara sahiptir.



Şekil 2.14. İvmeölçer montaj şekilleri

Titreşim Kontrol Sistemleri

Titreşim kontrol sistemleri, sarsıcı sistemin kapasitesi doğrultusunda istenilen test profillerinin oluşturulması ve ivme-deplasman değerlerine göre kontrollü bir şekilde titreşim testinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Kontrolcüler (Şekil 2.15.), genel olarak 4 adet analog veri girişine olanak sağlamaktadır ancak analog kanal sayısı isteğe bağlı olarak 100 lerce kanala çıkartılması mümkündür. Sistemin istenilen profil değerlerinde gitmesini sağlayan kontrol ivmeölçerinden gelen verilerdir. Kontrol ivmeölçeri birden fazla olabilir ve herhangi biri limitlerin dışında olması halinde titreşim testi kontrolcü tarafından durdurulmaktadır. Kontrol ivmeölçerlerinin dışında bir veya daha fazla noktadan ölçümler alınarak kaydedilebilmektedir.

Bazı kontrolcüler ICP – Charge ivmeölçer desteğini aynı anda sunarken bazı kontrolcü sistemler daha modüler yapıda farklı analog – dijital dönüşüm kartları ile bunu kullanıcı tercihine bırakmaktadır.

Kontrol metodolojisi, istenilen testin sinüs, random yada şok olmasına göre değişmektedir ancak ortak yanı amfiye gönderilen sinyal sıfırdan başlar yavaş yavaş artmaktadır. Gönderilen sinyale karşılık cevap alınmıyorsa açık döngü (open loop) hatası veya gönderilen sinyalin yetersiz olduğu kontrolcü tarafından anlaşılırsa düşük kazanç (low gain) hatası ile test durdurulur. Bunlar için bazı kontrol yöntemleri mevcuttur fakat sarsıcı – kontrolcü marka ve modellerine göre farklılıklar gösterebileceği için bu çalışmada yer almamaktadır.

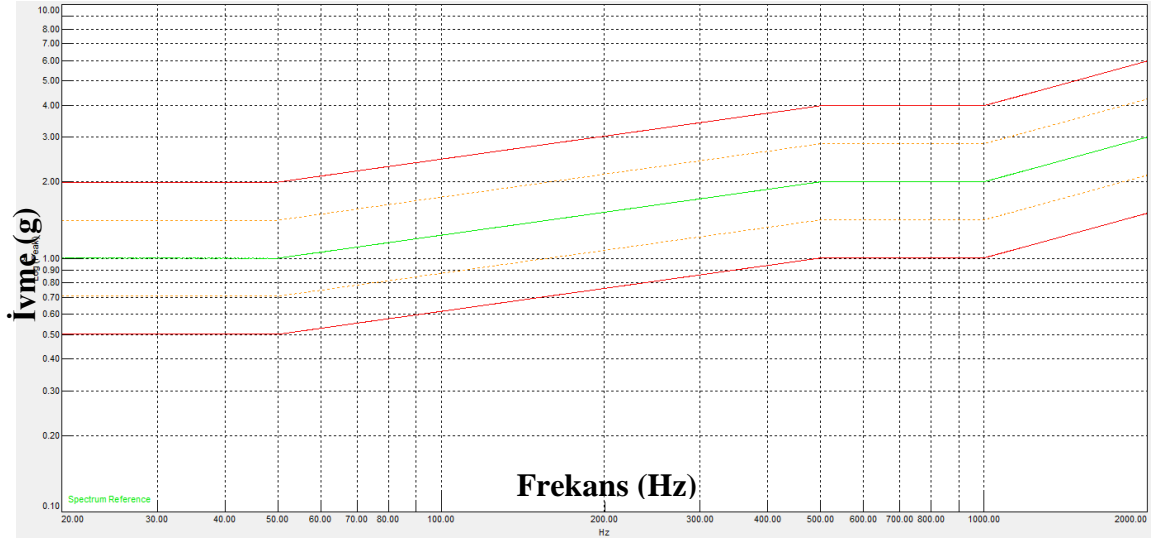


Şekil 2.15.Farklı kanal sayılarında Siemens Simcenter Scadas kontrolcü sistemleri

2.3. Titreşim Profil Çeşitleri

2.3.1. Sinüs (Sine) Titreşim Profili

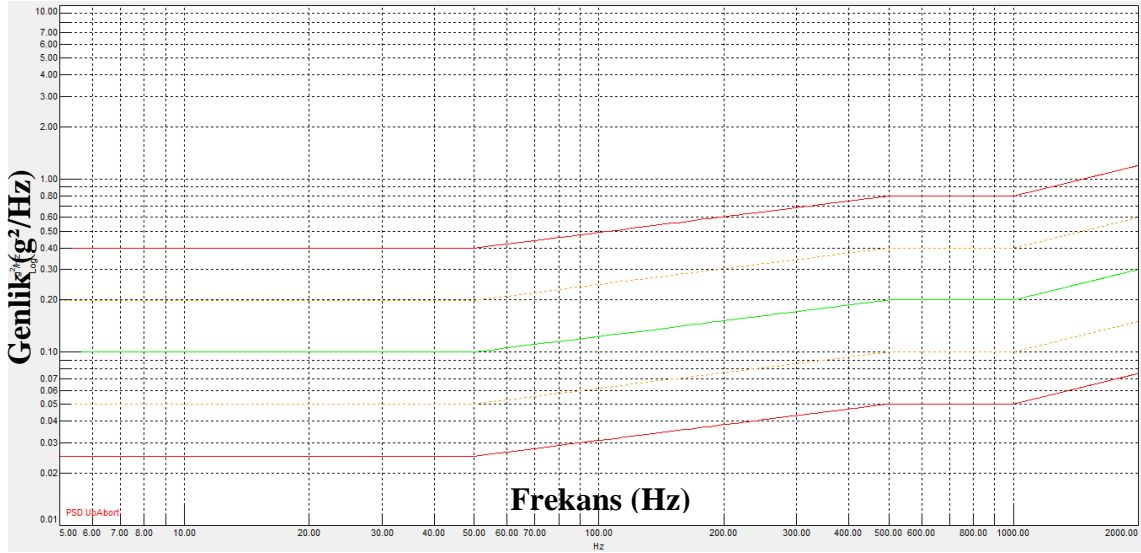
Sinüs tarama testi genel olarak test edilecek parçaların rezonans frekanslarının tespiti için kullanılmaktadır. İlgilenilen frekans aralığında en düşük frekanstan başlayarak belirli tarama hızlarıyla en yüksek frekans seviyesine kadar test edilir. Tarama hızı oktav/dakika (Oct/min) ve frekans/saniye (Hz/sec) cinsinden ifade edilmektedir. Sinüs tarama testinde elde edilen yapının rezonans frekanslarının en temel kullanım amacı yapı hasar görene kadar o frekanslarda titreşime maruz bırakmaktır. Bir diğer kullanım şekli ise rezonans frekansında belirlenen bir çevrim sayısı uygulanarak ve parçanın hasar görüp görmemesi incelenmektedir. Şekil 2.16 da frekans alanında örnek bir sinüs titreşim profili gösterilmektedir.



Şekil 2.16. 20 Hz – 2000 Hz ve 1g – 3g genlik seviyesindeki Sinüs Titreşim Profili

2.3.2. Rastgele (Random) Titreşim Profili

Özel şartlar dışında yapılara gelen titreşimler tek bir frekans da değil, geniş bir bant genişliğindedir. Bu bant genişliği kısıtlayan nokta ise hasar vericilik kısmıdır. Test edilecek yapının gerçek şartlarda kullanımında olduğu yerde üzerine gelen titreşim seviyeleri ölçülerek PSD (Power Spectrum Density) eğrileri çıkartılır. Bu eğriler genellikle kısa bir zaman içerisinde ki hasar vericiliği belirttiği için hasar – ömür tahmin yazılımları kullanılarak istenilen ömür süresine enterpolasyonlar gerçekleştirilir. Bu süreler çok uzun olabileceği için eş değer hasar vericilikte süreler kısaltılarak oluşturulan PSD eğrileri sarsıcılarda çalınarak testler gerçekleştirilir.

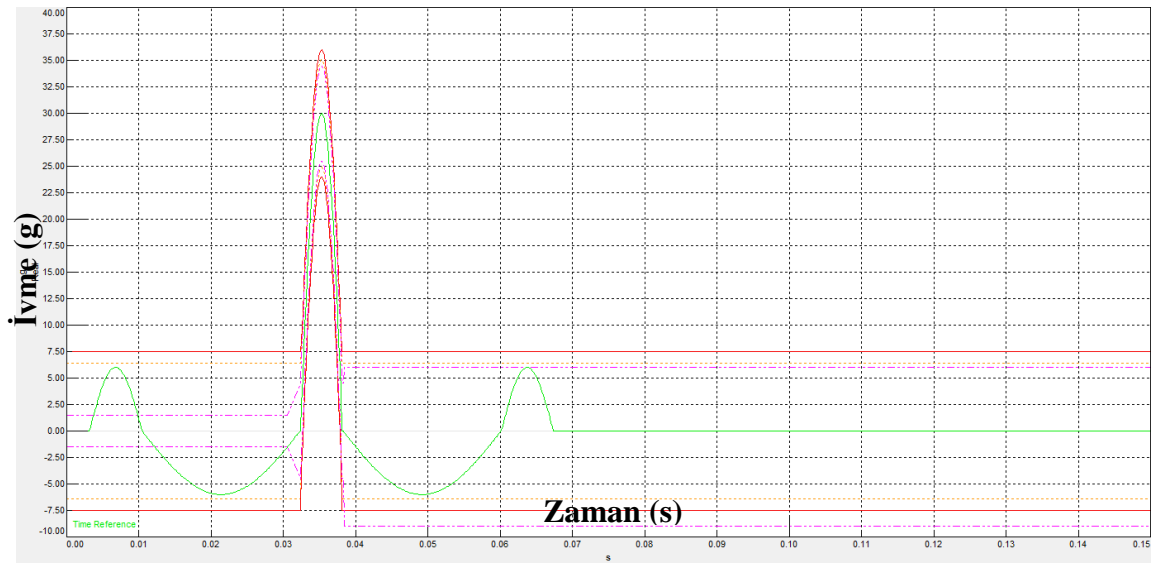


Şekil 2.17. 5 Hz – 2000 Hz ve 0,1 g²/Hz – 0,3 g²/Hz genliğe sahip Rastgele Titreşim Profili Örneği

2.3.3. Şok (Shock) Test Profili

Otomotiv ve savunma sanayi başta olmak üzere birçok sektörde kullanılan parçalar üzerine sadece sinüs ve/veya rastgele titreşimler gelmemektedir. Bu titreşimlerin yanında

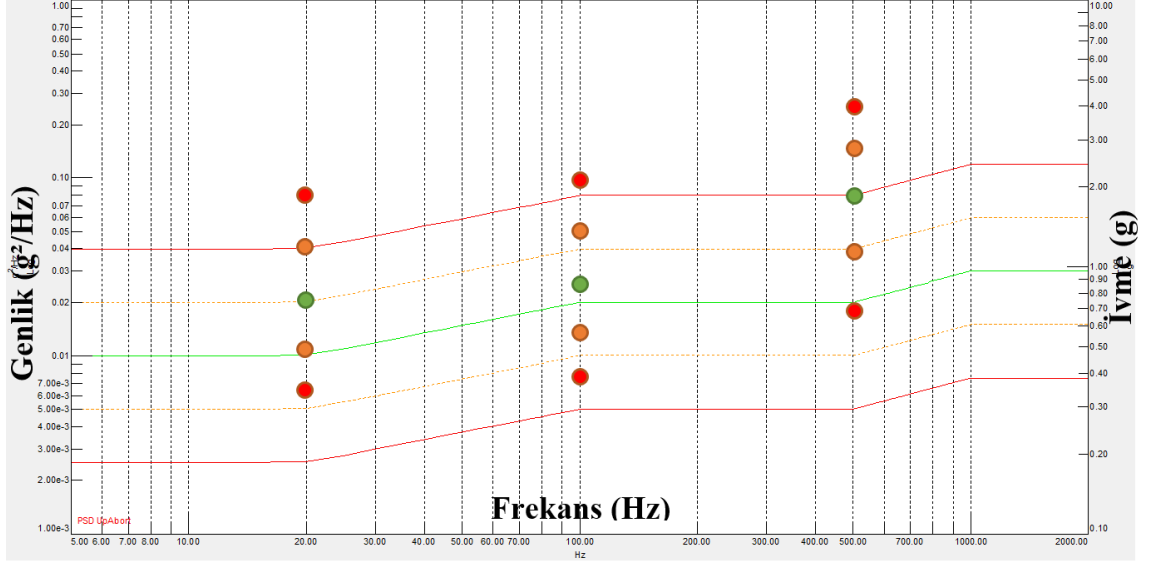
hasar vericiliği oldukça yüksek ani darbeler gelebilmektedir. En çok karşılaşılan örnekleri otomobilin çukura girmesi, cep telefonunun düşürülmesi, uçağın iniş sırasında piste çarpması vb. sıralayabiliriz. Şok testler milisaniyeler mertebelerinde gelen çok kısa süreli ancak yüksek genlikli testlerdir. Şok testleri süreleri, şekilleri ve genliklerine göre değişmektedir. Testere dişi, trapez, yarım sinüs, üçgen şok titreşim şekillerini ve 6ms – 11ms gibi süreler de şok darbesinin uygulanma süresini belirtmektedir. Şekil 2.18. yarım sinüs 6ms 30g ivme genlik değerini göstermektedir.



Şekil 2.18.6 ms , 30 g ivme genlik değerine sahip Yarım Sinüs Şok Titreşim Profili

2.3.4. Sinüs – Rastgele(Sine on Random) Titreşim Profili

Hareketli araçlarda dönen ekipman içeren otomobil, helikopter ve tren gibi genel titreşimlerin yanında sabit frekanslarda gelen baskın titreşimlerin yapı üzerindeki etkisini test etmek üzere kullanılan bir titreşim profilidir.



Şekil 2.19.20Hz-100Hz-500Hz Sinüs, 5Hz-2000Hz Random

2.3.5. Rasgele – Rasgele (Random on Random) Titreşim Profili

Arka planda birden fazla rastgele titreşim profillerinin üst üste bindiği paletli taşıtlar, türbinler veya pervaneli uçaklar gibi yapılara ait parçaların testleri için kullanılan bir titreşim profili şeklindedir.

2.4. Titreşim Fikstür Tasarımı ve Dinamik Özellikleri

Fikstür, genel anlamda bir parçanın veya yapının istenilen şekilde konumlandırılması için kullanılan aparat olarak nitelendirilir. Titreşim fikstürlerinde ise bu amacı icra eden fikstürün sahip olması gereken ilave özellikler yer almaktadır. Bir titreşim fikstürü tasarlamadan önce testi gerçekleştirecek sistem ve özellikleri, test isterleri gibi aşağıda belirtilen hususlarda bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

- Bağlantı deliklerinin deseni, civata ebadı ve dış ölçüleri gibi sarsıcı tablanın detayları
- Test numunesinin boyutu ve konumlandırılması
- Test numunesinin ağırlığı ve ağırlık merkezi
- Montaj ara yüzü gibi test numunesinin detayları, dinamik özellikleri
- Dinamik test isterlerinin detayları
- Fikstürün tasarlanacağı test eksenini
- Sarsıcı tablasına zarar vermeden takılabilmek
- Mevcut sarsıcı kapasitesi
- Sarsıcı tablası ve fikstür arasında gerekli ön yükleme
- Sarsıcı rezonanslarının olasılıkları hakkında farkındalık

Test numunesinin boyutu ve konumlandırılması, fikstürün boyutlandırılması ve yapılandırılması için gereken ön bilgilerdir. Test numunesi ağırlığı ve ağırlık merkezi, en azından bulunduğu yerin bir tahmini, test numunesinin birleşik ağırlık merkezinin sarsıcının armatür merkez hattına mümkün olduğunca yakın düşmesini sağlamak için gereklidir. X, Y veya Z gibi hareket eksenini, test isterlerine veya ürünün normal kullanımda bağlı olduğu düzeneğe göre tanımlanmalıdır.

2.4.1. İletilebilirlik

Fikstür, mümkün olduğu kadar rijit olmalı, böylece sarsıcı tarafından uygulanacak yük altında şekil değişikliğine uğramamalı ve kuvveti yüksek doğrulukla aktarmalıdır. Bu kalite parametresine, çıktının girdiye oranı olan iletilebilirlik denir. İletilebilirlik seviyesinin test edilecek frekans aralığında 1.00 olması amaçlanmaktadır. Eğer iletilebilirlik seviyesi 1.00 in altında ise fikstür aşırı sönümlü ve sarsıcı tarafından uygulanan kuvveti daha düşük seviyelerde iletiyor demektir. 1.00 dan yüksek iletilebilirlik seviyesi ise fikstürün rezonans etkisi altına girmiş olduğunu ve bu durum, uygulanmak istenilen ivme değerinin çok daha fazlasının test numunesine iletilmesine ve testin yanlış yapılmasına neden olmaktadır. İdeal olarak, dinamik bir test fikstürü, sarsıcı tabladan numuneye kadar olan hareketi tüm genlik ve frekanslarda sıfır bozulma ile iletmektedir. Bu ideal durum, test frekansı aralığı darsa veya test numunesi küçük ve hafif yapıda ise görülebilir. Pratik olarak, idealin yerine getirilememesi ve fikstürün sınırlandırılması gerektiği bilinmelidir. Temel fikstür yetersizliğinin nedeni ise bağlantıların simülasyon çalışmalarında uygulanan teorik değerlerden daha farklı sonuçlara sahip üretilmesidir.

Bu nedenle, fikstür tasarımında en önemli faktör, test yapılması istenilen frekans aralığının üzerinde ilk doğal frekansın olmasıdır. Ancak, ağırlık ve maliyet faktörleri bazen tasarım değişikliklerinin yapılmasını gerektirmektedir. Ağırlık, bir sarsıcının aynı kuvvete karşılık üretebileceği ivme kapasitesini etkileyeceği için test isterleri ve sarsı özelliklerine göre hesaplamalar yapılarak fikstür için ağırlık limitleri dikkate alınmalıdır. Malzeme değişikliği, üretim yöntemi gibi etmenler de maliyeti yükseltecek faktörlerdir ve göz ardı edilmemelidir. Ağırlık ve maliyet hususları dikkate alındığı zaman fikstür performansının ideal şartlardan daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

2.4.2. Çapraz Eksen Yanıtı

Armatür, bir yöne hareket edecek şekilde tasarlanmıştır ve bir süspansiyon sistemi tarafından merkezi olarak tutulur. Bu sistem, titreşim eksenine dik açılarda yüksek rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Armatür üzerine yüksek seviyede dönme momentleri uygulanırsa yataklama ve hizalama parçaları tehlikeye girer. Bu durum çapraz eksen yanıtı olarak tanımlanır. Titreşim sırasında uygulanan bu çapraz eksen kuvveti, rulmanlara ve armatürlere zarar vermeyecek şekilde düşük tutulmalıdır. Bunun için de fikstürlerin hafif ve rijit olarak tasarlanması, istenmeyen çapraz eksen kuvvetlerini önlemeye yardımcı olacaktır. Test edilecek numune ve fikstürün ağırlık merkezi tam olarak hesaplanmalı ve armatür veya kayar tablaya sağlam ve ağırlık merkezi, hareketli sistemin merkez noktasına denk gelecek şekilde bağlanmalıdır. Test numunesinin ağırlık merkezinin armatür ağırlık merkezine olan uzaklığı düşük tutulur veya armatür merkezi ile aynı hizada kalırsa çapraz aksenal stres en aza indirilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

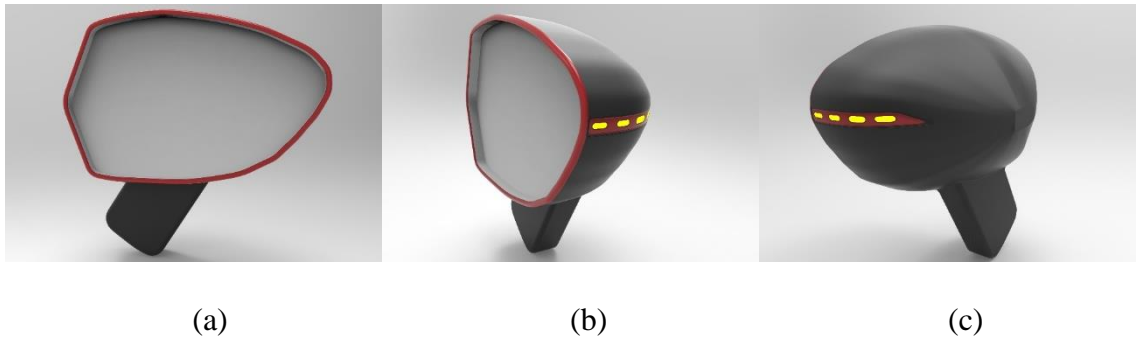
3.1. Fikstür Tasarımı İçin Test İsterlerinin Belirlenmesi

Test numunesine uygulanacak titreşim isterlerinin belirlenmesinde farklı yöntemler tercih edilebilir. Test edilecek parçanın gerçek kullanım şartlarında üzerine gelen titreşim seviyelerinin ölçülmesi ve bu değerler doğrultusunda titreşim profilinin oluşturulması veya test numunesine bağlı olarak değişebilen farklı standartlarda (ISO, MIL-STD vb) yer alan titreşim profillerinin uygulanmasıdır.



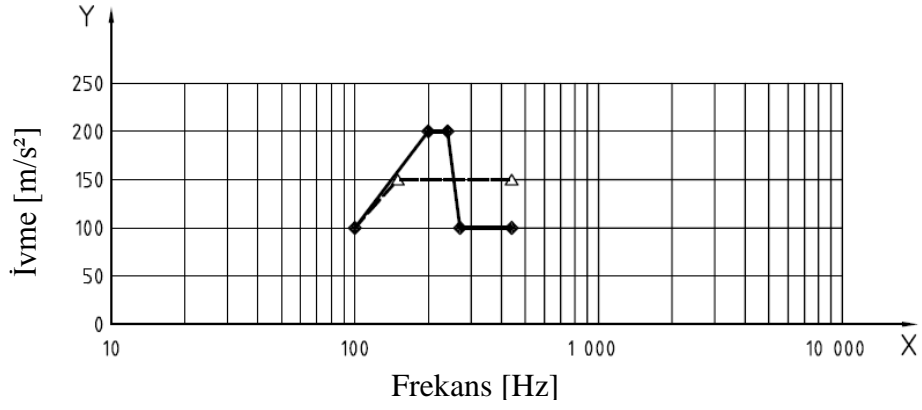
Şekil 3.1. Titreşimsiz – Titreşimli Araç İçi Dikiz Aynası

Araçların yan dikiz aynaları ve iç dikiz aynası üzerine gelen titreşimler, ayna yüzeyine yansıyan görüntünün net olarak görülmesine olanak sağlamamaktadır. (Şekil 3.1) Bu tez çalışması kapsamında test numunesi olarak bir otomobilin elektrikli yan geri görüş aynası belirlenmiştir. Yan dikiz aynası hem yoldan gelen titreşimlere hem de araç seyir halinde iken aerodinamik kuvvetler sonucu farklı titreşimlere maruz kalmaktadır. Bu titreşimler dikiz aynası üzerinde kalıcı hasarlar oluşturabilmektedir. Ayrıca ayna içerisinde bulunan elektronik bileşenlerin maruz kalınan titreşim seviyelerinde sorunsuz olarak çalışmaya devam etmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yan dikiz aynasının titreşim ömür testi için gerçekleştirilen fikstür tasarımı, dikkat edilmesi gereken hususlar ile detaylı olarak aktarılmış ve yapılan tasarım bilgisayar destekli mühendislik yazılımı kullanılarak modal analize tabii tutularak uygunluğu değerlendirilmiştir. Test numunesinin farklı açılardan görüntüleri Şekil 3.2 Örnek Test Numunesi (a) , (b) ve (c) de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Örnek Test Numunesi

Yapılan tez çalışması kapsamında, karayolu araçlarının elektrik ve elektronik ekipmanlarının titreşim testleri için oluşturulmuş ISO 16750 - 3 Standart isterlerini kullanılmıştır. ISO 16750 - 3 standardı ilgili bölümü olan 4.1.3.1 Equipment for Passenger Cars kısmında yer alan test profilleri temel alınmıştır. ISO 16750 - 3 standardına göre uygulanması gereken titreşim profilleri Şekil 3.3 de ki sinüs titreşim profili ve profile ait değerler Çizelge 3.1. 5 veya daha az silindir olan araçlar ve Çizelge 3.2. 6 ve daha fazla silindir olan araçlar başlıklarında yer almaktadır.



Şekil 3.3. ISO 16750 – 3 sinüs titreşim profil

—◆— Eğri 1 : 5 veya daha az silindir olan araçlar

—△— Eğri 2 : 6 ve daha fazla silindir olan araçlar

Çizelge 3.1. 5 veya daha az silindir olan araçlar (her eksen için 22 saat)

Eğri 1	
Frekans, Hz	İvme Değeri, m/s^2
100	100
200	200
240	200
270	100
440	100

Çizelge 3.2. 6 ve daha fazla silindir olan araçlar (her eksen için 22 saat)

Eğri 2	
Frekans, Hz	İvme Değeri, m/s^2
100	100
150	150
440	150

3.2. Fikstür Tasarımı

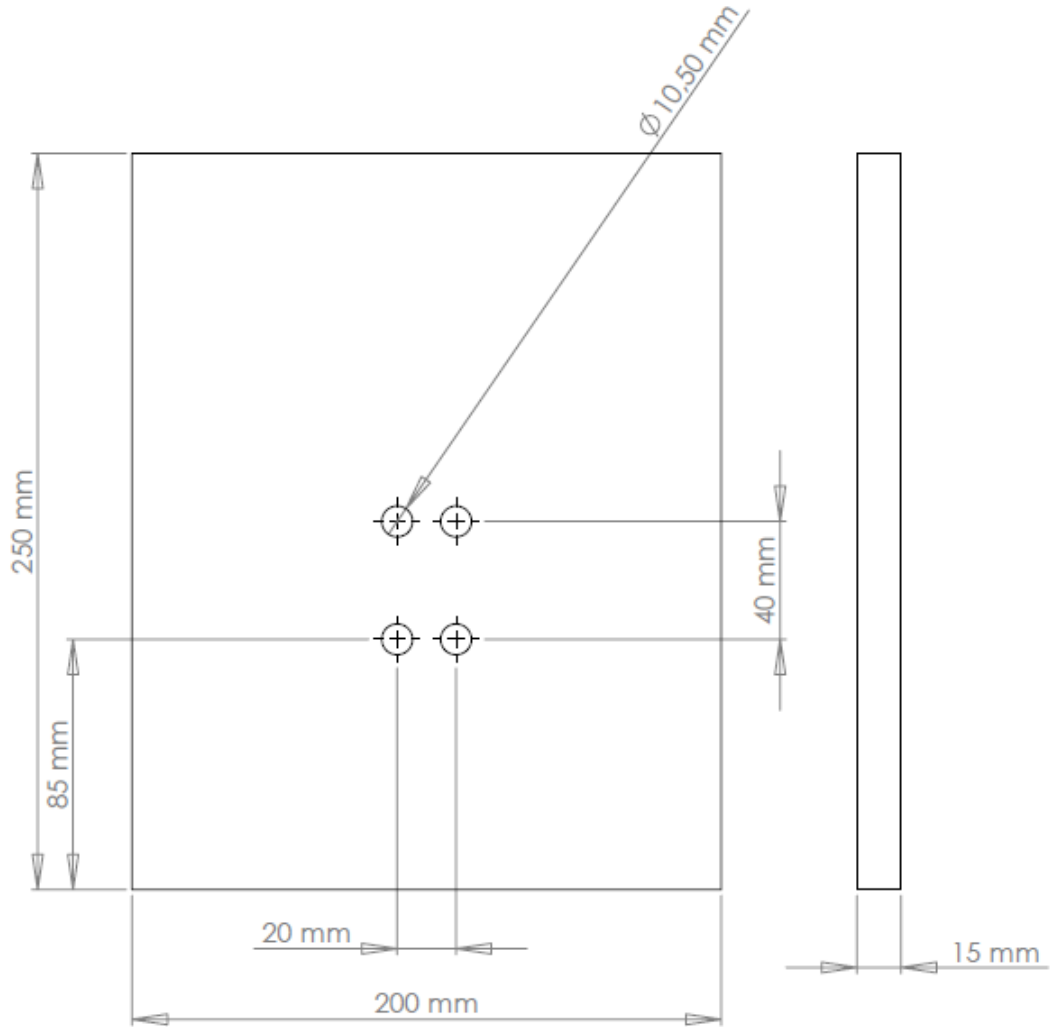
Aracın yan geri görüş aynasının fikstür tasarımı ve simülasyon yazılımı ile doğrulama çalışması sırasında gerçekleştirilen işlemler ve dikkat edilmesi gereken noktalar anlaşılması ve uygulanabilirliğin kolay olması amacıyla maddeler halinde açıklanmıştır.

- a. Çalışma kapsamında ele alınan aynanın araçtaki bağlantı konumu dikkate alınarak yön tayinleri yapılmıştır.
- b. Aynanın araca bağlantısı 2 adet civata vasıtasıyla yapılmıştır. Aynanın gerçek konumunu yansıtacak şekilde bağlantı noktaları ölçülmüştür. Bu ölçülere göre aynanın bağlanacağı yüzey oluşturulmuştur.
- c. Tasarlanacak olan fikstür ile test işleminin yapılacağı sarsıcı sistem arasındaki bağlantının yapılacağı bir taban tasarımı yapılmalıdır. Bu kısımda fikstür tabanının düz ve mümkün mertebe pürüzsüz (CNC ile işlenmiş bir yüzey ve kaynak, delik çapakları vs temizlenmiş) olması, test numunesine bağlı olarak geniş bir taban kullanılması ve sarsıcıya ait armatür, head expander ve/veya slip table delik diziliminin bilinmesi dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardır.
- d. Parça X, Y ve Z olmak üzere her 3 ekseninde de test edileceği için fikstür kolay sökülebilir, ve takılabilir olmalıdır.
- e. Testler sırasında parçaya etki edecek titreşimler parça üzerinde daha yüksek deplasman yapabilir. Bu yüksek deplasmanlı hareketler öngörülerek parça ile fikstür ve sarsıcı arasında yeterli mesafeler bırakılmalıdır.

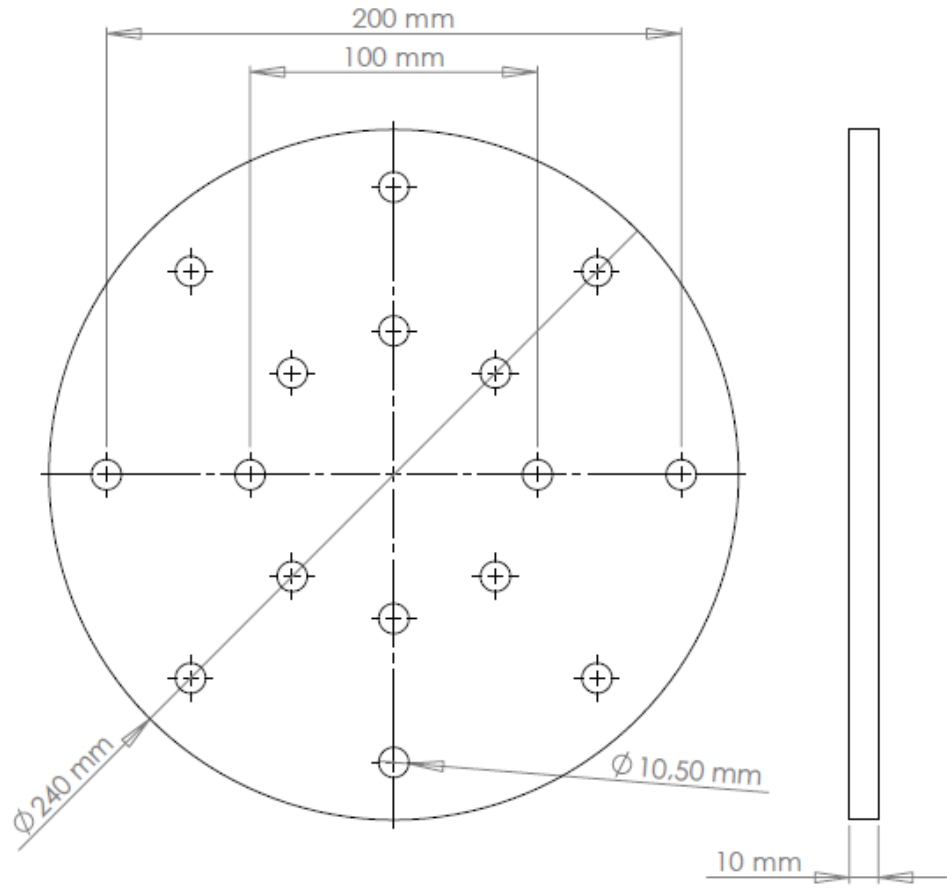
- f.** Fikstür plakaları, sarsıcı tarafından üretilen titreşimlerde herhangi bir şekil değişimine uğramadan istenilen ivme değerlerini test parçasına iletebilecek rijitlikte olmalıdır.
- g.** Tasarımı gerçekleştirilen fikstürün modal analiz simülasyon sonucunda ortaya çıkan ilk doğal frekansının, titreşim test profili frekans aralığında olmaması gerekmektedir.
- h.** Eğer ilk doğal frekansı yani ilk modu test profili frekans aralığında ise simülasyon sonucuna göre en çok hareket eden noktaların rijitliği arttırılarak doğal frekansı öteleme çalışmaları gerçekleştirilir. Bu işlem adımı birden fazla kez tekrarlanabilir.
- i.** Fikstürün ilk modunu ötelemek her zaman mümkün olmayabilir. Böyle bir durumda fikstür üretimi gerçekleştirildikten sonra fikstür üzerinde rezonans tarama testi gerçekleştirilerek yapının rezonans frekansları tespit edilir. Test profili oluşturulurken kontrolcü yazılımı tarafında bu frekanslardaki ivme genlik seviyeleri düşük tutulur veya geçiş hızları yükseltilerek rezonans frekanslarının hızlı geçilmesi sağlanır.

4. BULGULAR

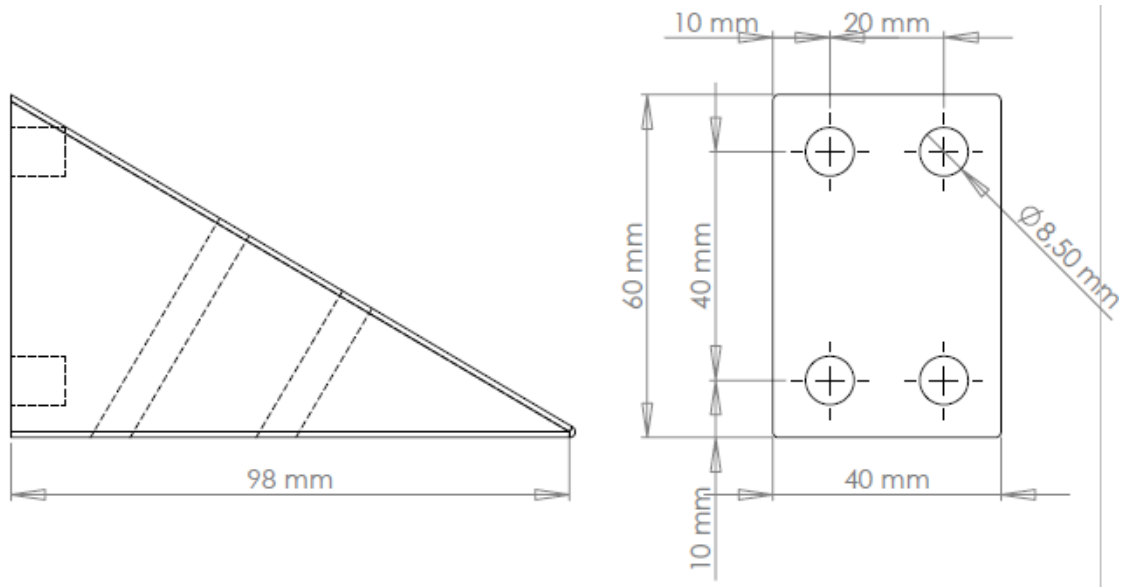
Tasarım aşamalarında belirtilen hususlar dikkate alınarak test edilecek yan geri görüş aynasının katı modeline göre Duvar Plakası (Şekil 4.1.), Fikstür – Sarsıcı Bağlantı Taban Plakası (Şekil 4.2.) ve Test Numunesi Bağlantı Parçası (Şekil 4.3.) isimlerinde temel bağlantı parçaları oluşturulmuştur. Taban plakası oluşturulurken çalışma kapsamında kullanılan ETS Solutions MPA403/M124M/GT600M model elektrodinamik sarsıcı armatür bağlantı arayüzü dikkate alınmıştır.



Şekil 4.1. Duvar plakası



Şekil 4.2. Fikstür – sarsıcı bağlantı taban plakası

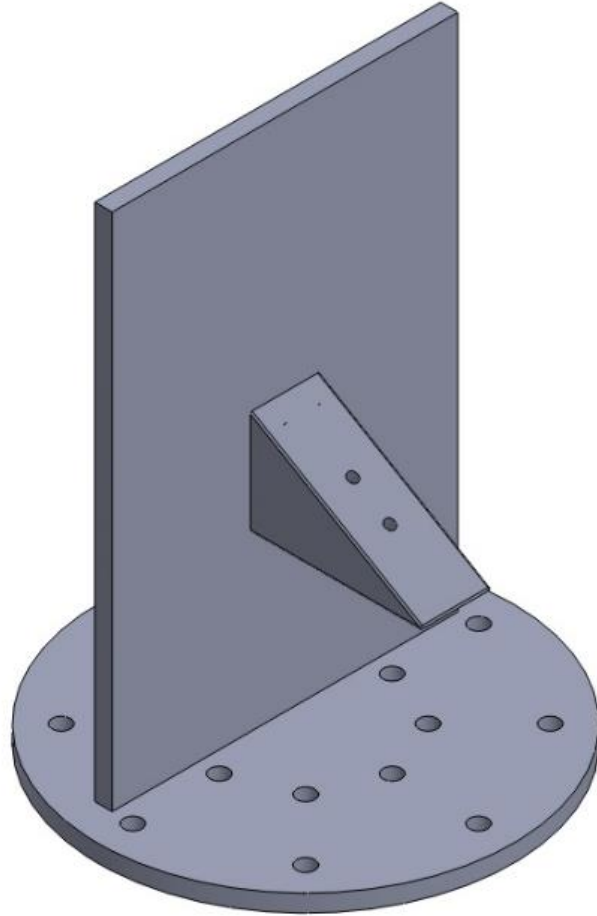


Şekil 4.3. Test numunesi bağlantı parçası

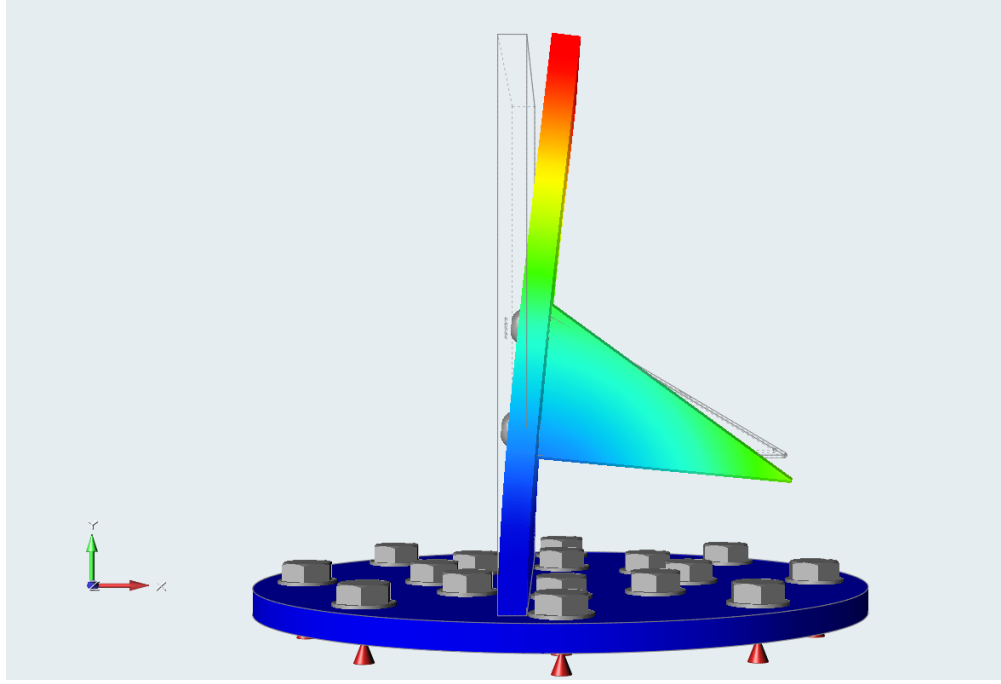
4.1. Simülasyon Sonuçları

4.1.1. Modal Analiz

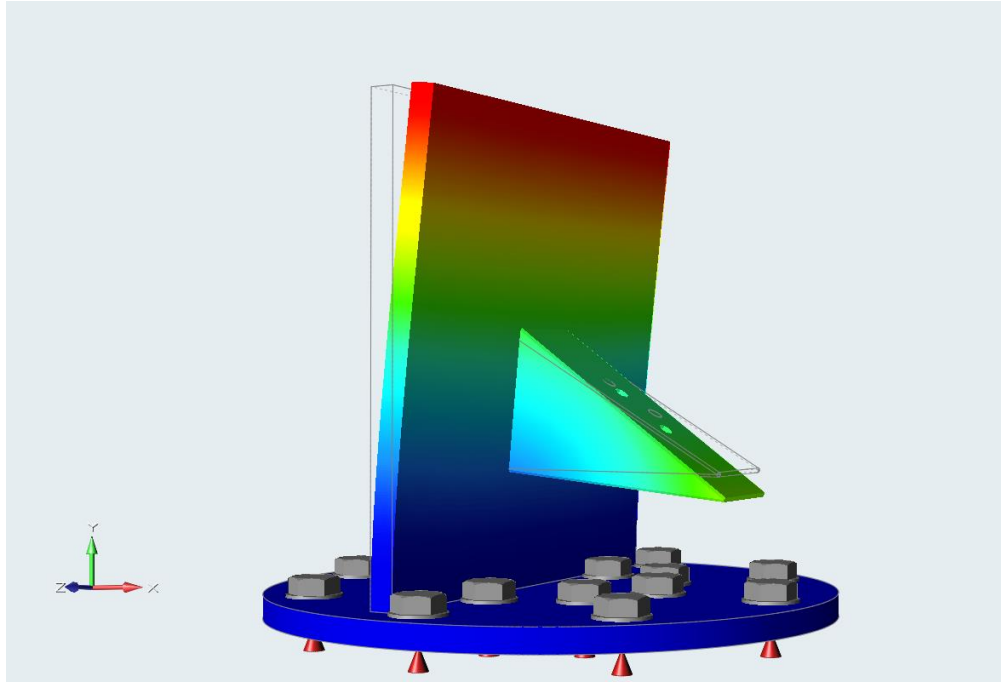
Yapılan parça tasarımları montajlanarak, titreşim fikstürü ilk tasarımı aynanın araç üzerindeki bağlantı şekli dikkate alınarak oluşturulmuş (Şekil 4.4.) ve Altair Inspire yazılımında modal analiz simülasyonu çalışması yapılarak yapının ilk iki doğal frekans değerleri ve en yüksek deplasman bölgeleri tespit edilmiştir. (Şekil 4.5. , Şekil 4.6. , Şekil 4.7.)



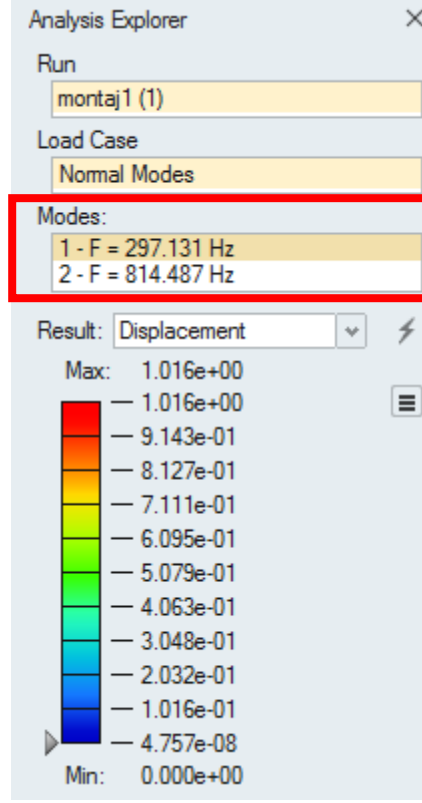
Şekil 4.4. Titreşim fikstürü ilk tasarımı



Şekil 4.5. Titreşim fikstürü ilk tasarım simülasyon sonucu – 1



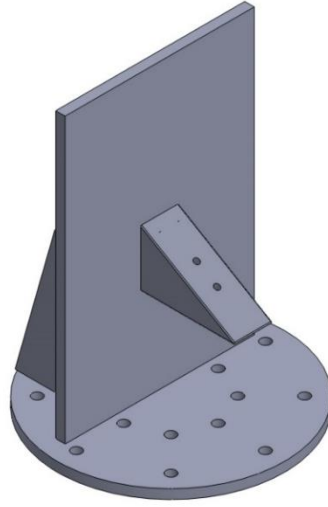
Şekil 4.6. Titreşim fikstürü ilk tasarım simülasyon sonucu – 2



Şekil 4.7. Titreşim Fikstürü ilk tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri

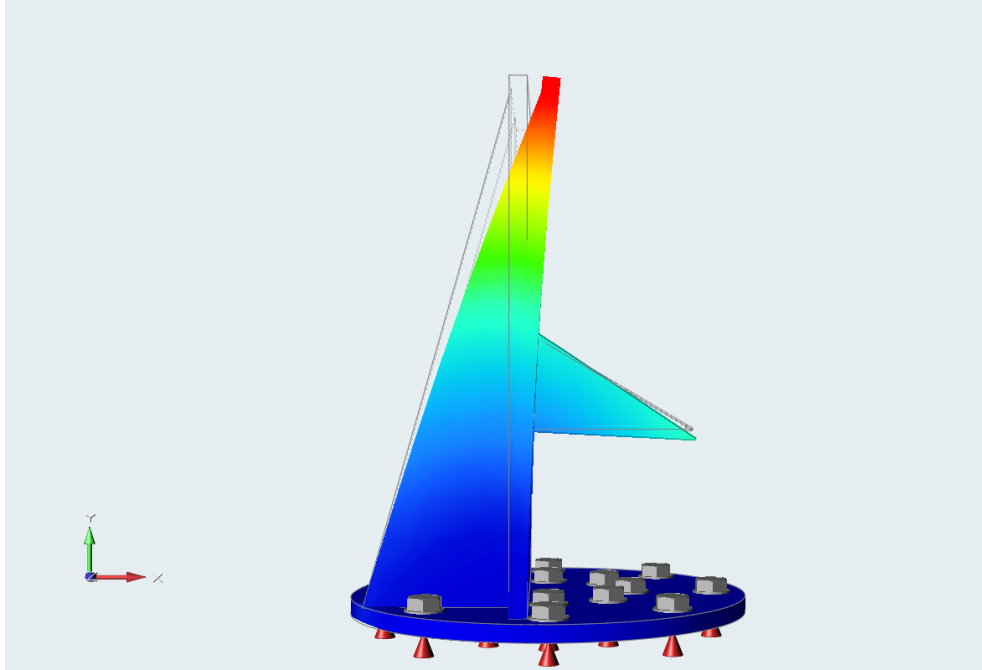
Titreşim fikstürü ilk tasarımına uygulanan simülasyon sonucunda fikstürün ilk rezonans frekansı 297 Hz olarak bulunmuştur. Yapının modal hareketi incelendiğinde X doğrultusundaki serbestliğin kısıtlanması ilk rezonans frekansının üst seviyelere ötelenebileceğini göstermektedir.

Bu bilgilere göre tasarım güncellemesi yapılarak Şekil 4.1. de gösterilen duvar plakası ile Şekil 4.2. Fikstür – sarsıcı bağlantı taban plakası arasına iki adet feder eklenerek ikinci fikstür tasarımı oluşturulmuştur (Şekil 4.8.).

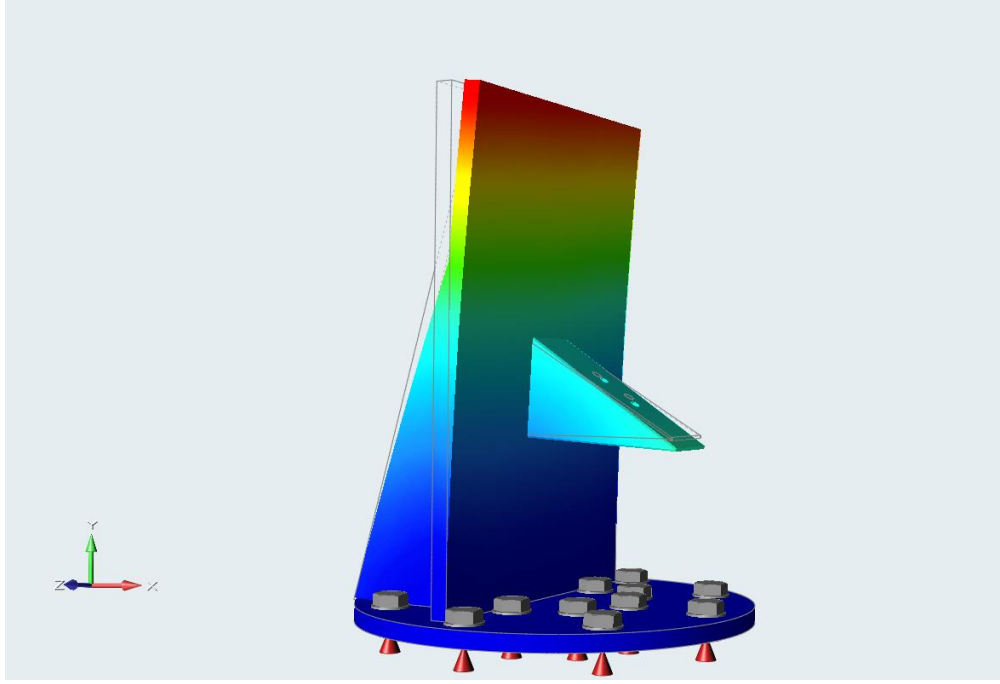


Şekil 4.8. İkinci fikstür tasarımı

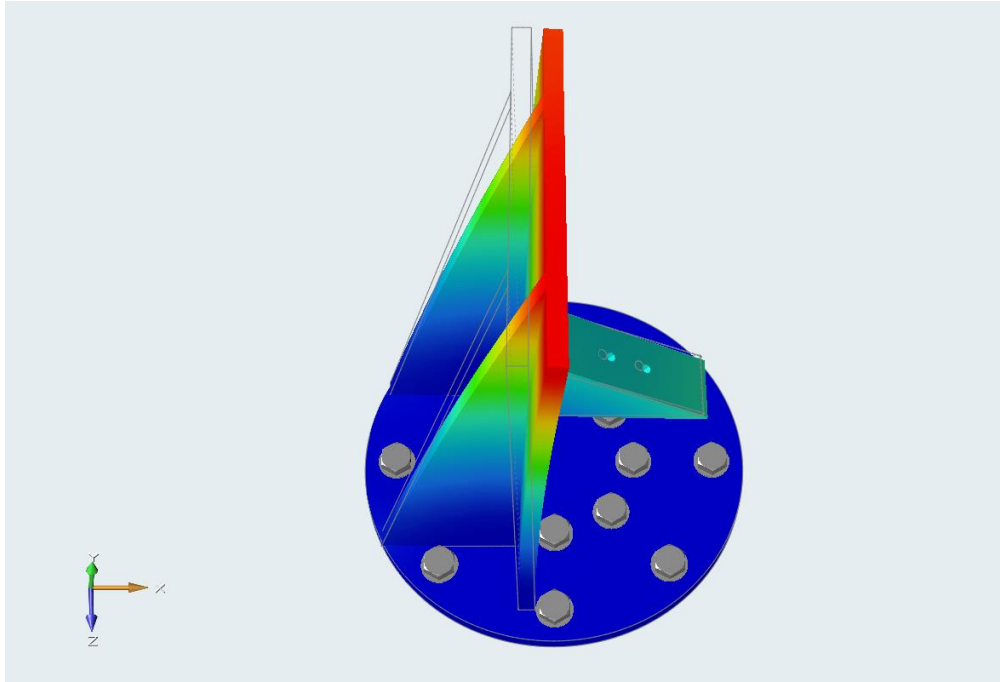
İkinci fikstür tasarımı, ilk tasarımda olduğu gibi işlem adımları tekrarlanarak Şekil 4.9. , Şekil 4.10. , Şekil 4.11. modal hareketi ve Şekil 4.12. doğal frekans ve deplasman değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.9. İkinci tasarım simülasyon sonucu – 1

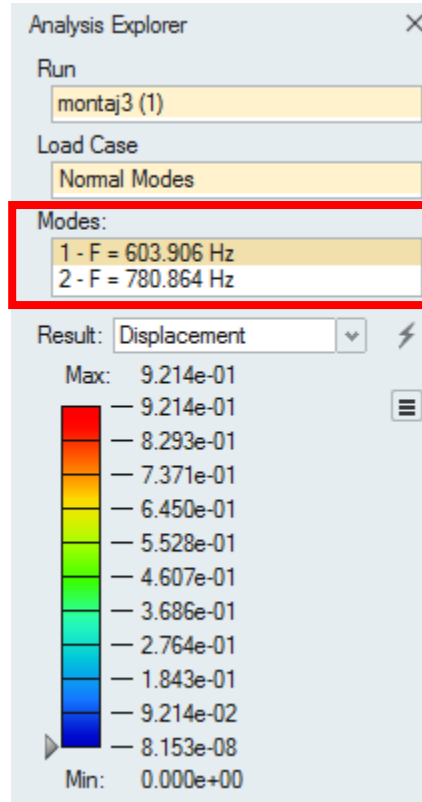


Şekil 4.10.İkinci tasarım simülasyon sonucu – 2



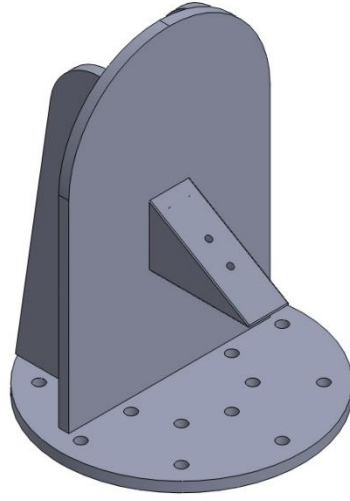
Şekil 4.11.İkinci tasarım simülasyon sonucu – 3

Yapılan tasarım güncellemesi ile yapının ilk doğal frekansı 603 Hz seviyelerine ötelenmiştir (Şekil 4.12.) ancak bu değer genel otomotiv titreşim testleri için istenilen üst frekansı 1000 Hz den yüksek olmadığı için tasarım güncellemesine devam edilmesi gerekmektedir.



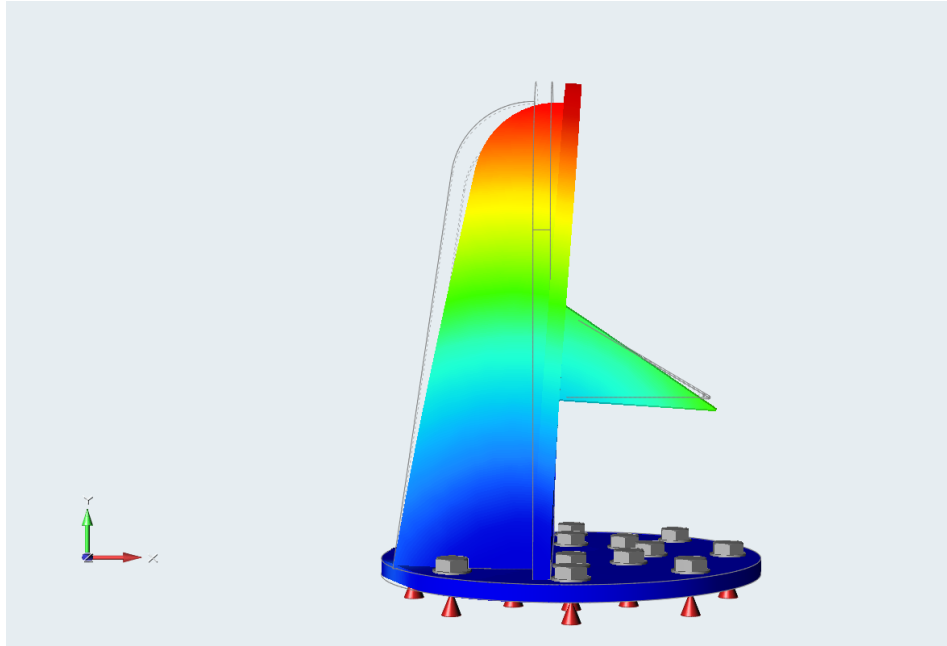
Şekil 4.12. Titreşim Fikstürü ikinci tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri

İkinci titreşim fikstürü tasarımına ait simülasyon çıktılarına göre en yüksek yer değiştirme bölgesi incelendiğinde yapının üst bölgesi olduğu görüldü ve bu bölgenin bağlantılarının güçlendirilmesi için federlere ve duvar plakasına yuvarlatma işlemi uygulanarak tasarım güncellenmiştir (Şekil 4.13.).

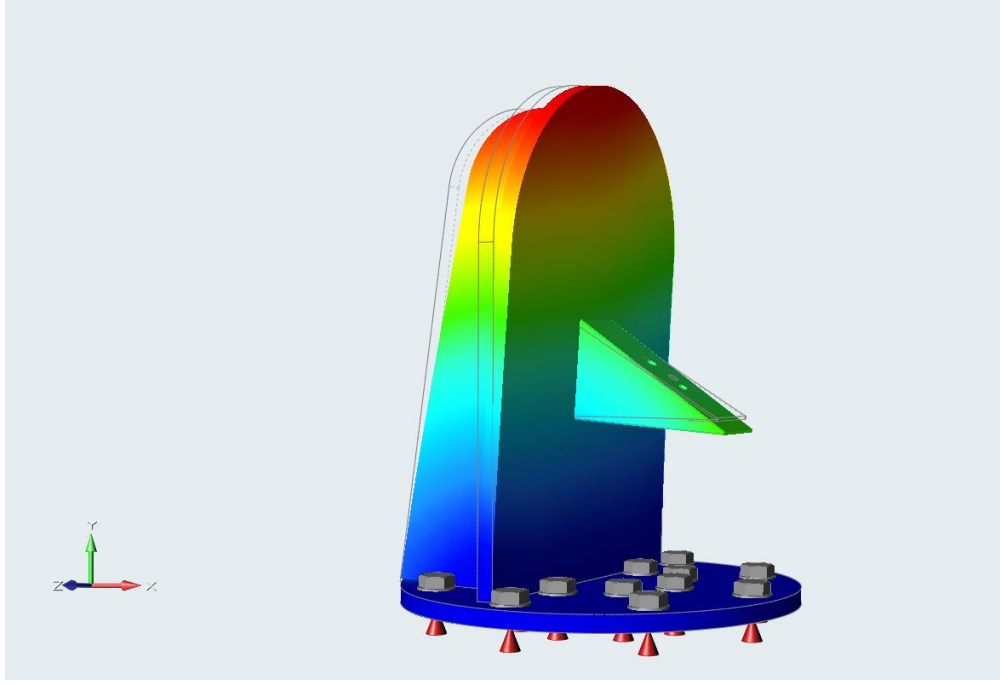


Şekil 4.13.Üçüncü tasarım katı modeli

Güncellenen titreşim fikstürü tasarımı için simülasyon işlem adımları tekrarlanarak Şekil 4.14. , Şekil 4.15. ve Şekil 4.16 modal hareket sonuçları ve Şekil 4.17. de gösterilen ilk doğal frekans değeri ve deplasman değerleri incelenmiştir.



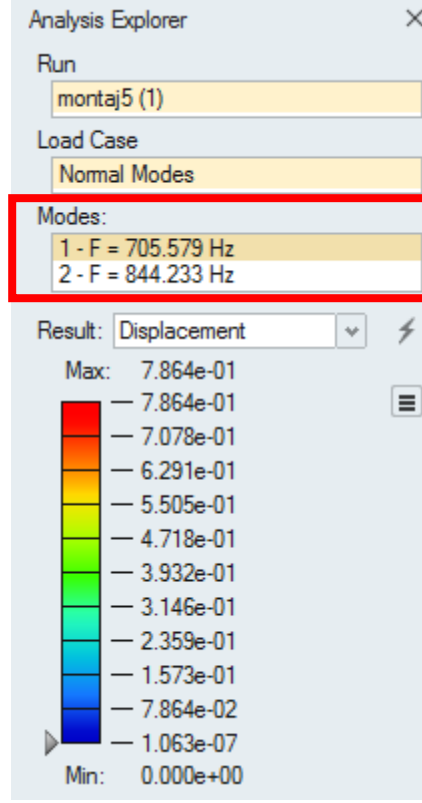
Şekil 4.14.Üçüncü tasarım simülasyon sonucu – 1



Şekil 4.15. Üçüncü tasarım simülasyon sonucu – 2

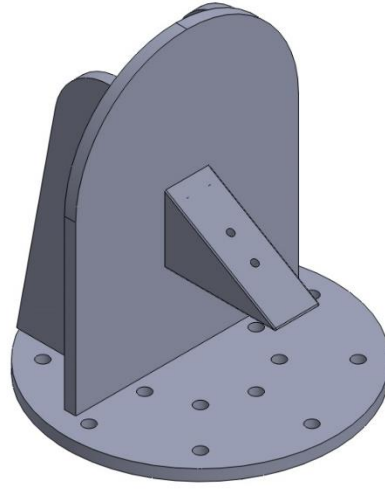


Şekil 4.16. Üçüncü tasarım simülasyon sonucu – 3



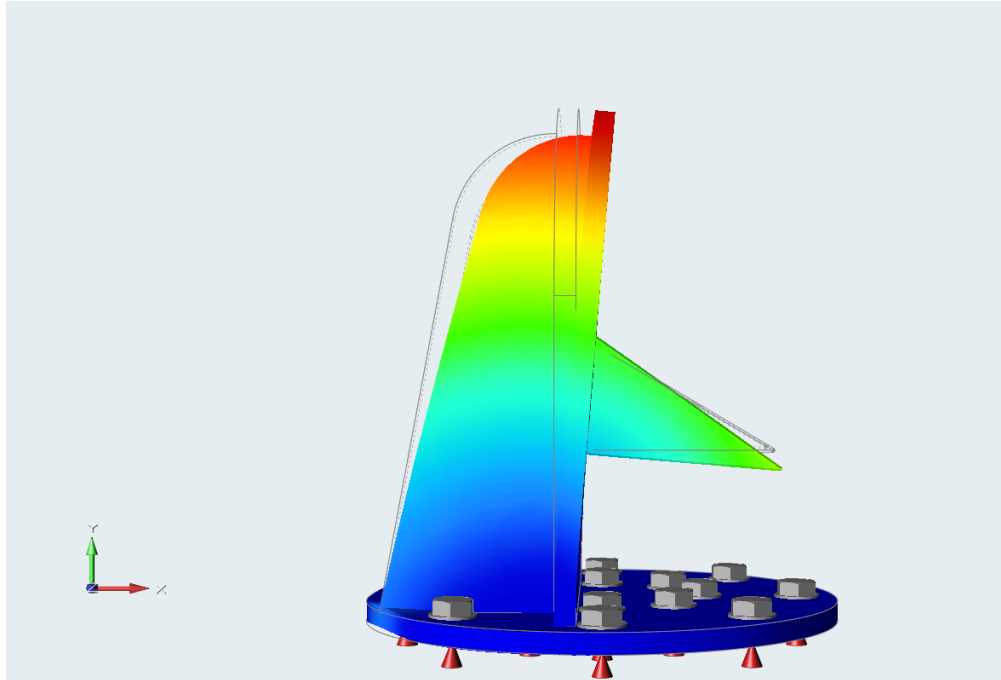
Şekil 4.17. Titreşim Fikstürü üçüncü tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri

Bu işlem sonrası ilk rezonans frekansı 705 Hz seviyesine çıkmıştır ama bu değer hala yeterli değildir. İlk tasarım boyutları incelendiğinde duvar plakasının bir miktar yüksek olduğu tespit edilmiş ve yaklaşık 10cm kısaltma işlemi uygulanarak dördüncü tasarım modeli oluşturulmuştur. (Şekil 4.18.)

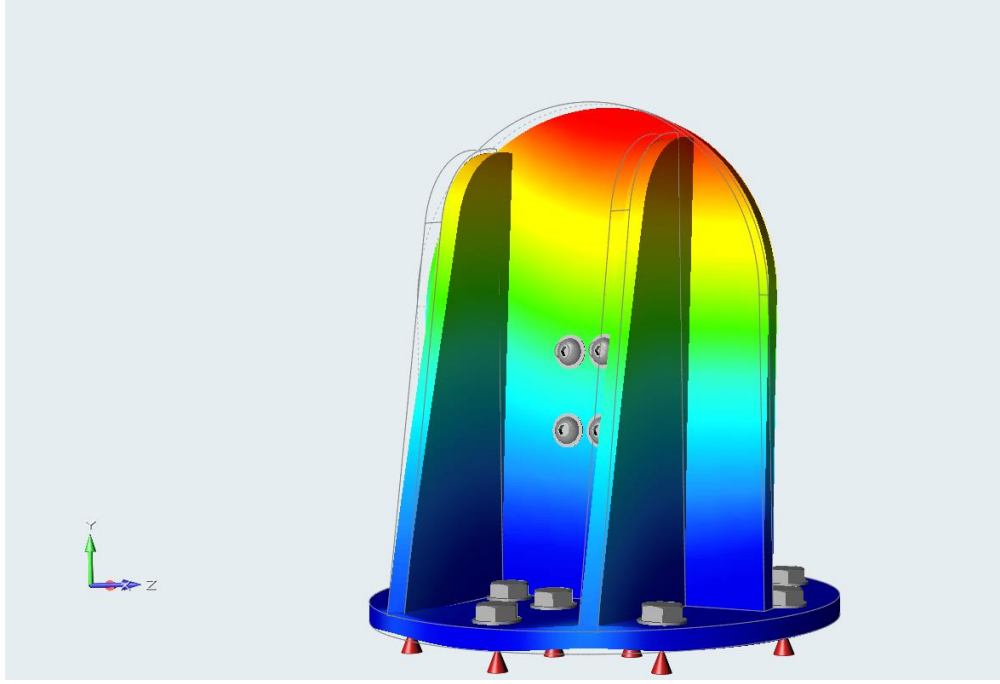


Şekil 4.18.Dördüncü tasarım katı modeli

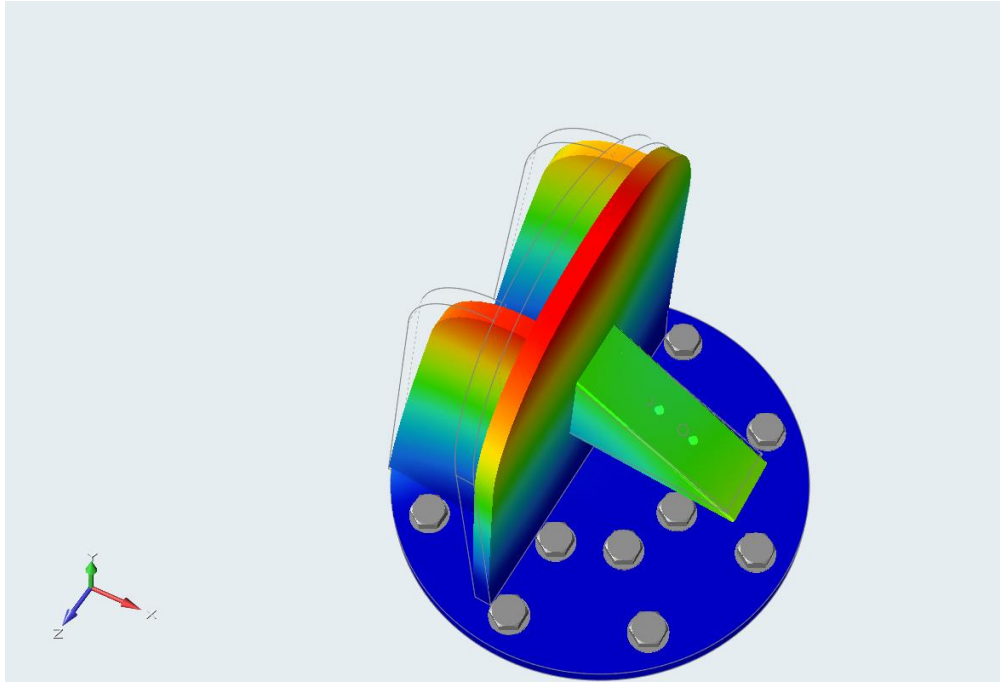
Güncellenen titreşim fikstürü tasarımı için simülasyon işlem adımları tekrarlanarak Şekil 4.19. , Şekil 4.20. ve Şekil 4.21. modal hareket sonuçları ve Şekil 4.22. de gösterilen ilk doğal frekans değeri ve deplasman değerleri incelenmiştir.



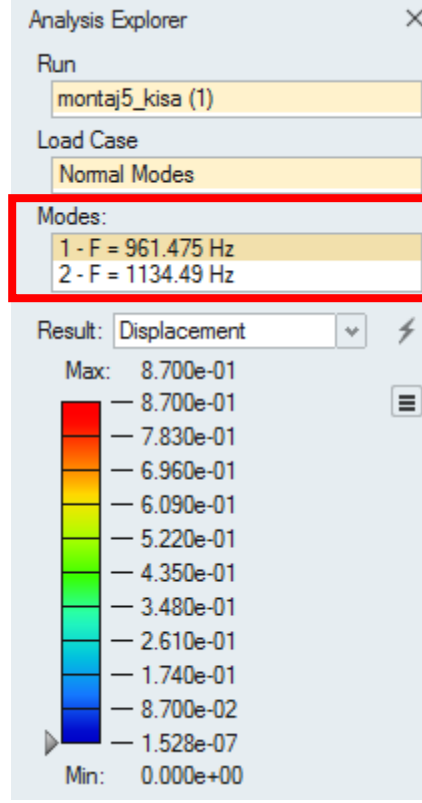
Şekil 4.19. Dördüncü tasarım simülasyon sonucu – 1



Şekil 4.20. Dördüncü tasarım simülasyon sonucu – 2

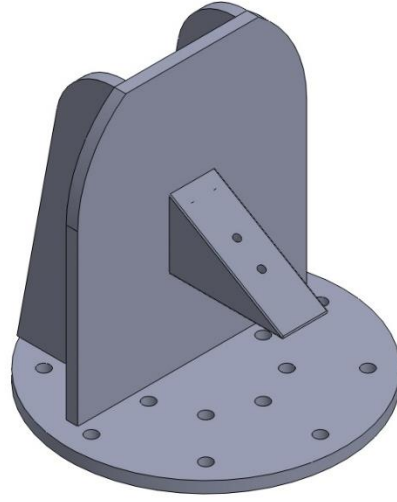


Şekil 4.21. Dördüncü tasarım simülasyon sonucu – 3



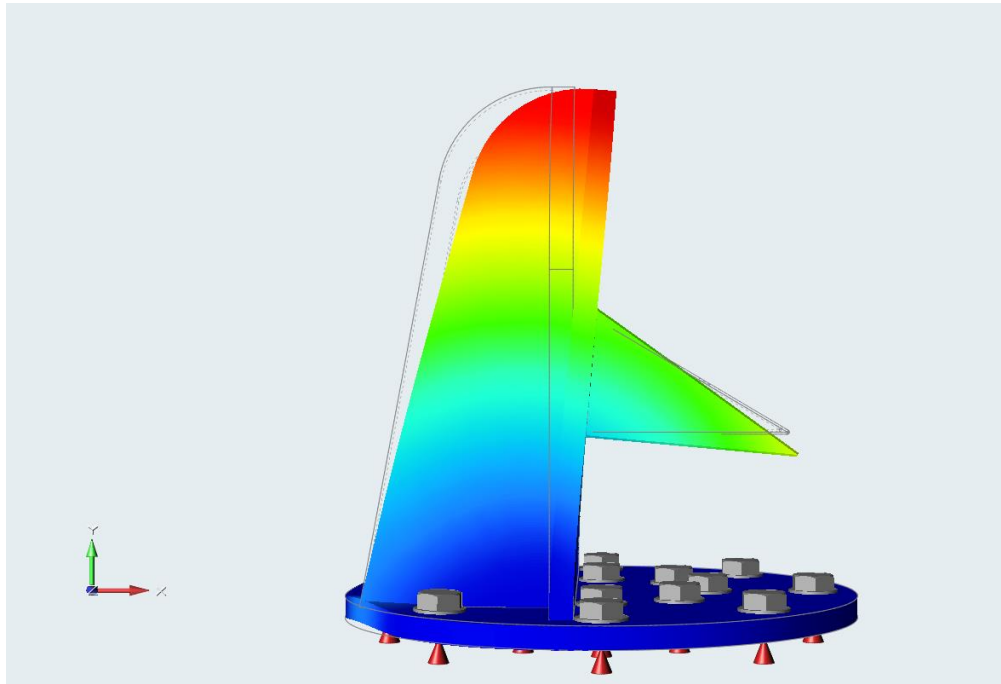
Şekil 4.22.Titreşim Fikstürü dördüncü tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri

Tekrarlanan tasarım güncelleme ve simülasyon işlemleri sonrasında ulaşılan ilk rezonans frekans değeri 961 Hz olmuştur. Simülasyon sonucuna göre en fazla hareket eden bölgenin fikstür kullanımına herhangi bir etkisi olmadığı anlaşılmış ve bu kısım kesilerek beşinci tasarım güncellemesi (Şekil 4.23.) yapılmıştır.

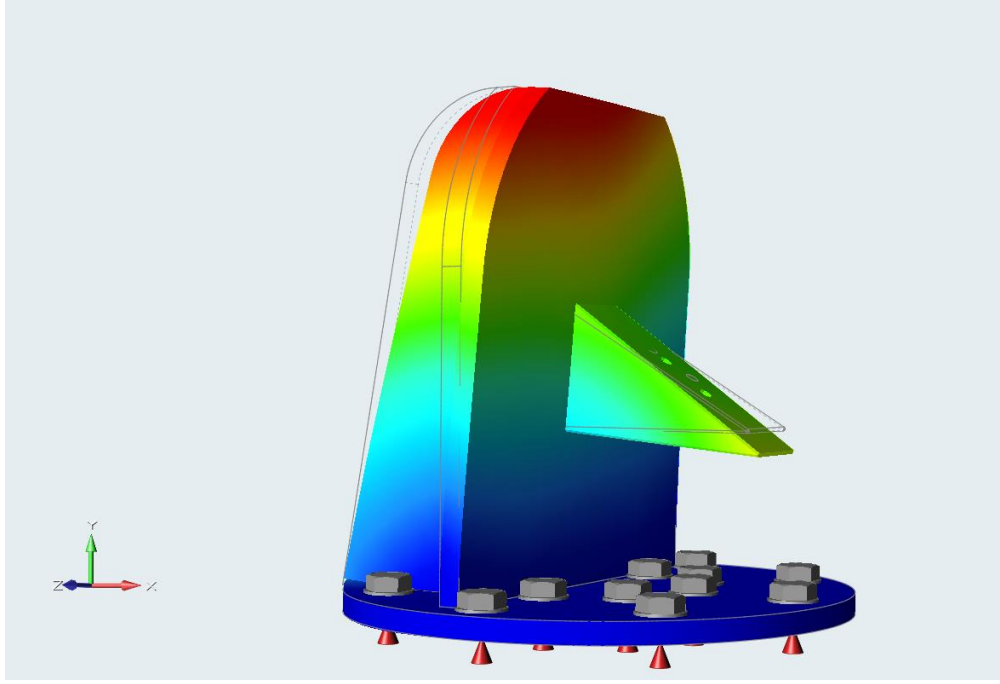


Şekil 4.23.Beşinci tasarım katı modeli

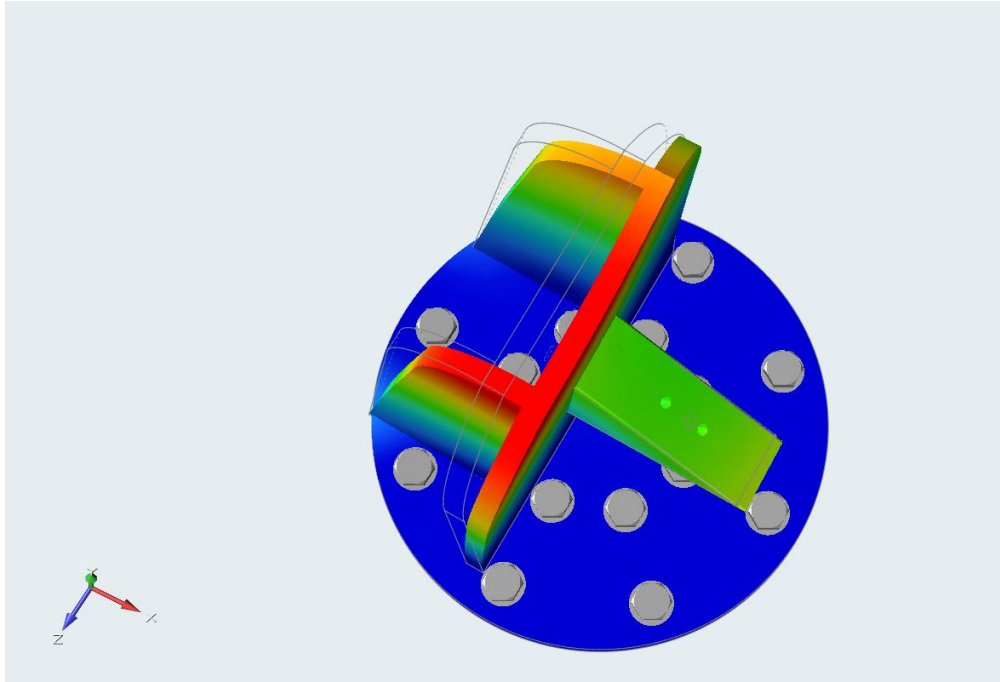
Güncellenen titreşim fikstürü tasarımı için simülasyon işlem adımları tekrarlanarak Şekil 4.24. , Şekil 4.25. ve Şekil 4.26. modal hareket sonuçları ve Şekil 4.27. de gösterilen ilk doğal frekans değeri ve deplasman değerleri incelenmiştir.



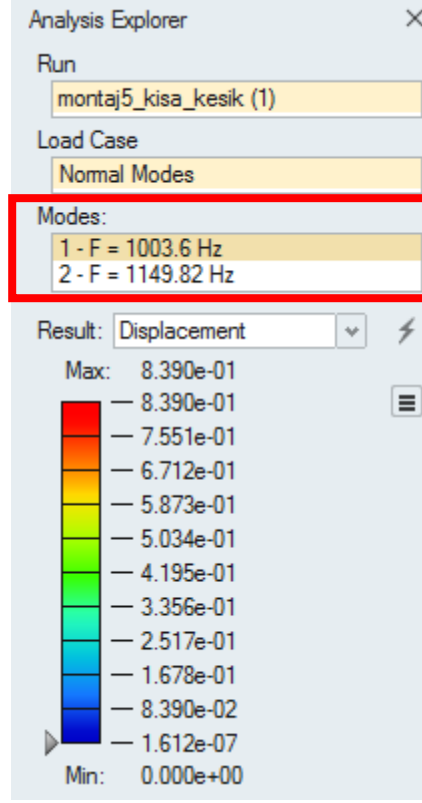
Şekil 4.24. Beşinci tasarım simülasyon sonucu – 1



Şekil 4.25. Beşinci tasarım simülasyon sonucu – 2



Şekil 4.26. Beşinci tasarım simülasyon sonucu – 3



Şekil 4.27. Titreşim Fikstürü dördüncü tasarım modal parametre sonuçları ve deplasman değerleri

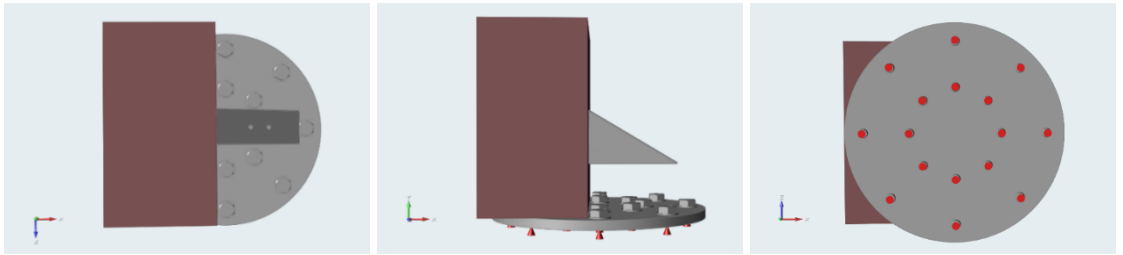
Yapılan son tasarım güncellemesi ile yapılan modal simülasyon sonuçlarına göre fikstürün ilk rezonans frekansı yaklaşık olarak 1004 Hz seviyesine ulaşmıştır. Bu değer birçok otomotiv titreşim test isteri üst frekans limiti 1000 Hz için yeterli olacağı için tasarım çalışması sonlandırılmıştır.

4.1.2. Topoloji Optimizasyonu

Oluşturulan tasarımın birden fazla iterasyon ile manuel modal analizlerinin yapılması ve çıkan sonuçların yorumlanarak tasarım üzerinde güncelleştirmeler ile nihai fikstür tasarımının elde edilmesini temel alan bu çalışmada, aynı isterler doğrultusunda topoloji optimizasyon sonucuyla doğrulaması yapılmıştır.

Topoloji Optimizasyonu, değişiklik yapılmasına izin verilen tasarım bölgelerinde kütle çıkarma işlemi sonrasında otomatik olarak modal analizler gerçekleştirilerek, yapının ilk rezonans frekansının mümkün merteye en üst seviyeye ötelenmesi için tasarımcıya fikir verecek bir konsept çıktı oluşturmaktadır.

Fikstür – sarsıcı bağlantı taban plakası ve test numunesi bağlantı parçası sarsıcı ve test parçasına göre değişkenlik gösterdiği için topoloji optimizasyonu sürecinde non-dizayn olarak seçilecektir. Duvar plakası olarak ilk tasarım aşamasında yer alan parça 250x110x200 mm ölçülerinde bütün bir blok şeklinde modellenmiş ve topoloji optimizasyonu için tasarım bölgesi olarak seçilmiştir, Şekil 4.28. yan (a) ve üst (b) ve alt görünüş (c) aşağıda gösterilmiştir.



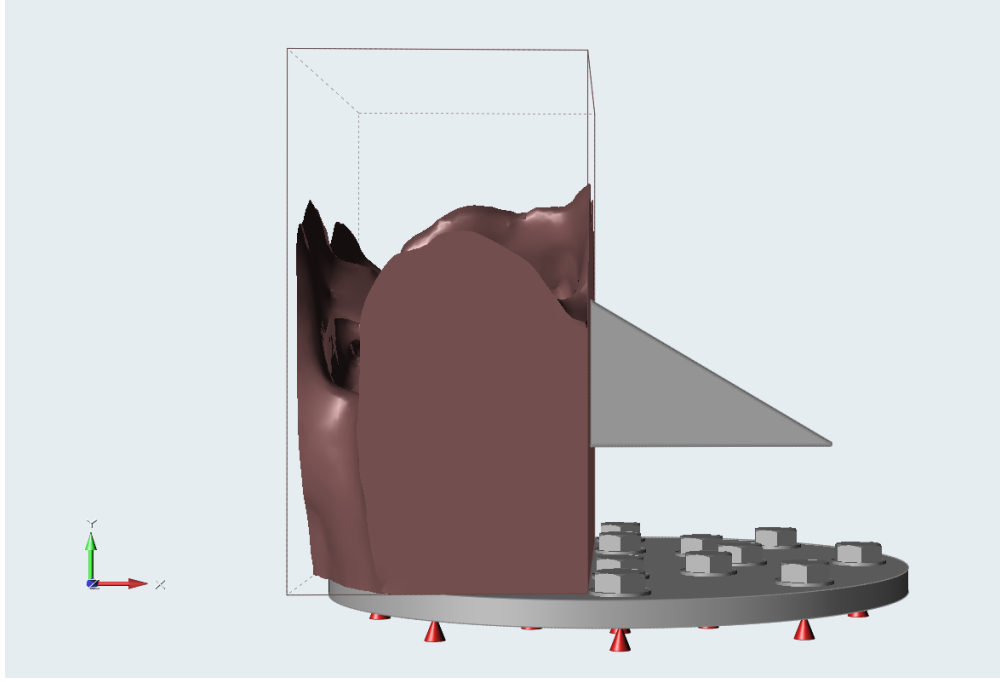
(a) Yan Görünüş

(b) Üst Görünüş

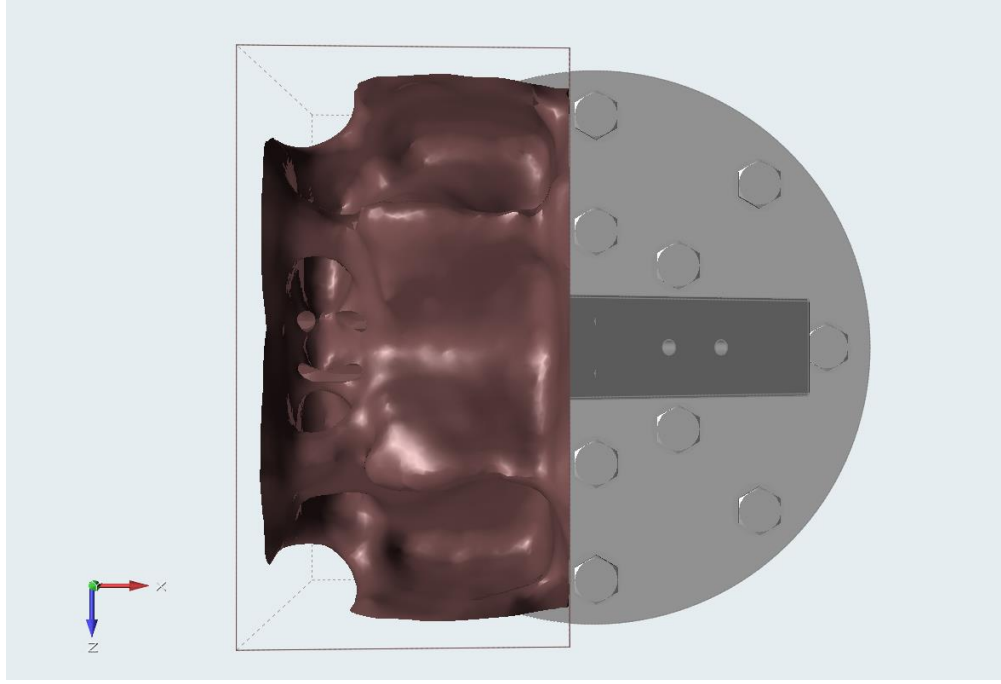
(c) Alt Görünüş

Şekil 4.28. Topoloji Optimizasyonu Tasarım Bölgesi (a) (b) (c)

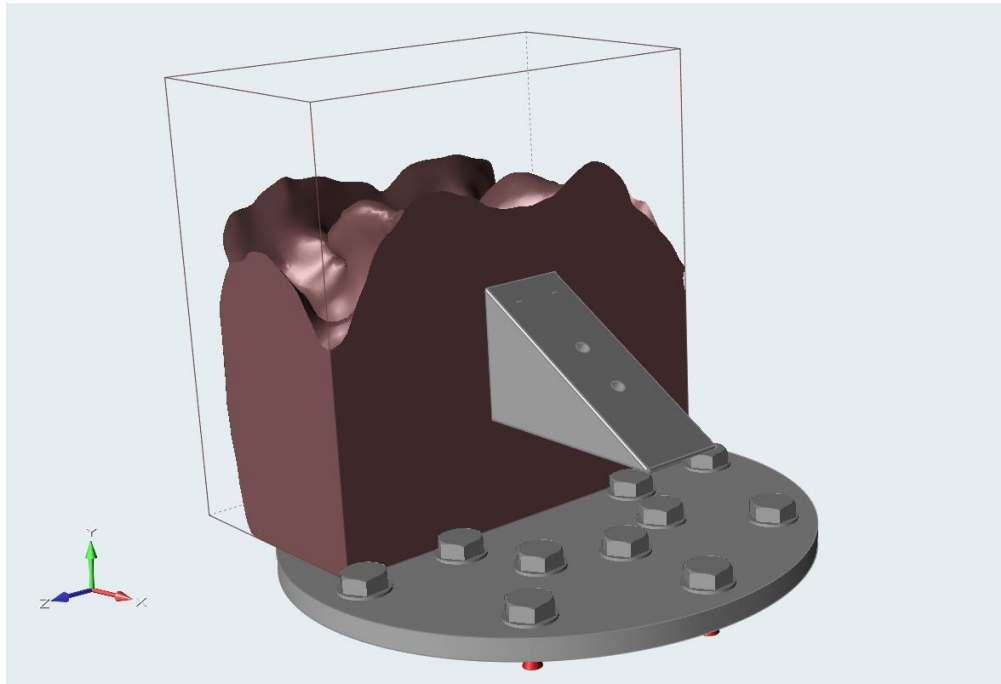
Altair Inspire yazılımı Topoloji Optimizasyonu arayüzü kullanılarak maksimum frekans olacak şekilde optimizasyon parametresi seçilmiştir. Şekil 4.29 – Şekil 4.33 de sırayla yan görünüş, üst görünüş, izometrik görünüş, arka görünüş ve alt görünüş sonuçları verilmiştir.



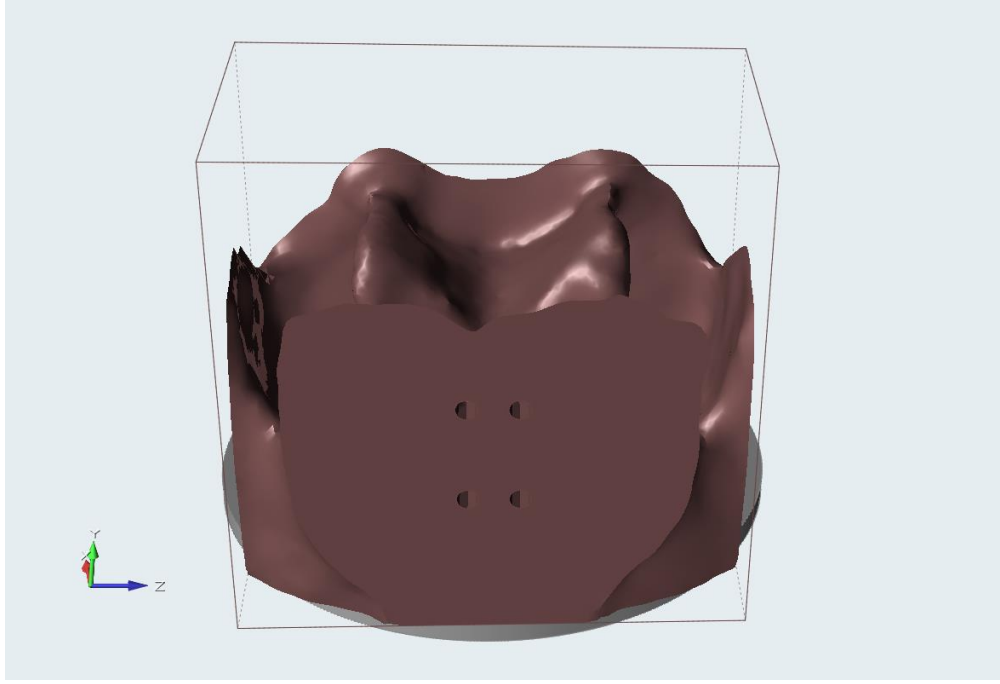
Şekil 4.29. Topoloji Optimizasyonu Yan Görünüş



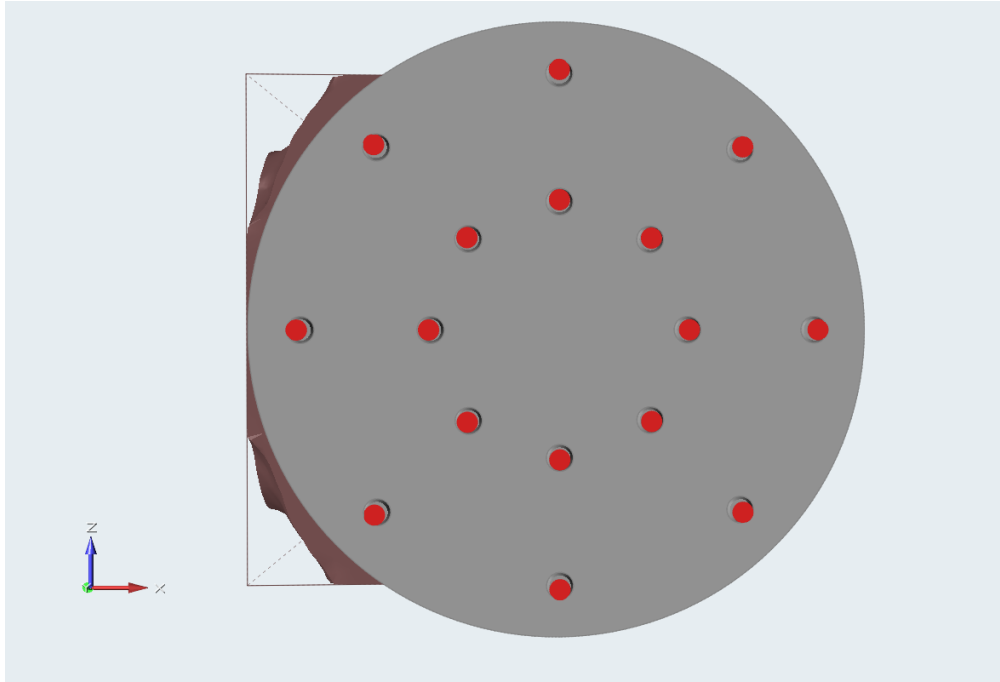
Şekil 4.30. Topoloji Optimizasyonu Üst Görünüş



Şekil 4.31. Topoloji Optimizasyonu İzometrik Görünüş



Şekil 4.32. Topoloji Optimizasyonu Arka Görünüş



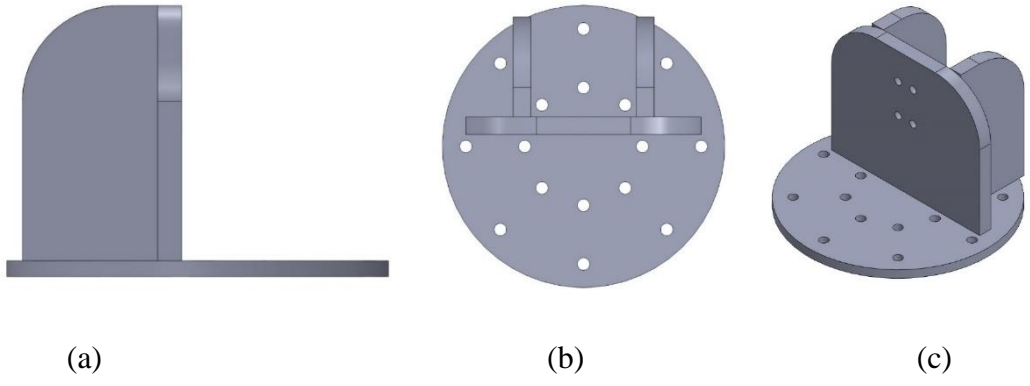
Şekil 4.33. Topoloji Optimizasyonu Alt Görünüş

Çıkan sonuçlar doğrultusunda tasarımın güncellenmesi için bazı dikkat edilmesi gereken noktalar yer almaktadır.

Topoloji optimizasyon çıktısı tasarımcıya fikir olması açısından konsept bir çalışmadır ve uygulanabilirliği tasarımcı tarafından değerlendirilmelidir. Çıkan sonuçlara ait yorumlar aşağıdaki gibidir:

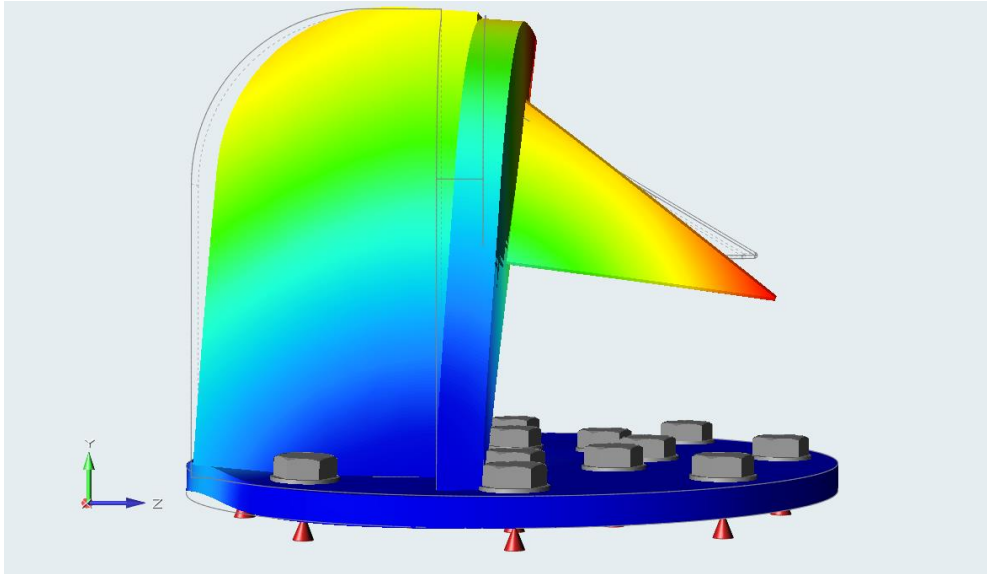
- Tasarım bölgesi olarak belirlenen yapının boyu kısaltılmalı
- Fikstürün sarsıcı taban bağlantı plakasından taşan kısımları olmamalı
- Taban bağlantı plakası üzerinde yer alan cıvata deliklerinin kapatılmamalı ve cıvata montajı kolay yapılabilmeli
- Arka duvar plakası olarak isimlendirilen parçanın köşelerine radius uygulanmalı
- Plakanın arka kısmı ile taban bağlantı plakası arasında direngenlik sağlayacak atkılar yer almalı

Bu yorumlara göre yapılan tasarım güncellemesi Şekil 4.34 yan görünüş (a), üst görünüş (b) ve izometrik görünüş (c) de gösterilmiştir. Tasarımda arka plaka ve atkı plakalarının kalınlıkları olabilecek en yüksek değer 15mm olarak alınmıştır. Sarsıcı taban bağlantı plakası kalınlığı ise 10mm olarak tasarlanmıştır. Tüm parçaların malzemesi AISI 1040 çelik olacak şekilde atanmıştır.

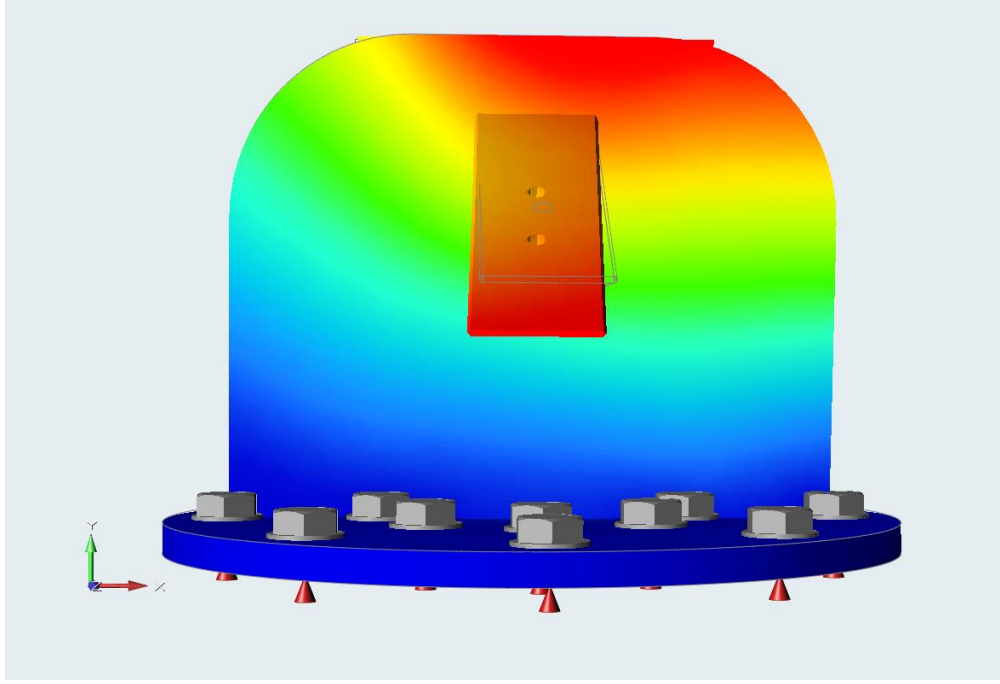


Şekil 4.34. Topoloji optimizasyonu sonucuna göre oluşturulan tasarım

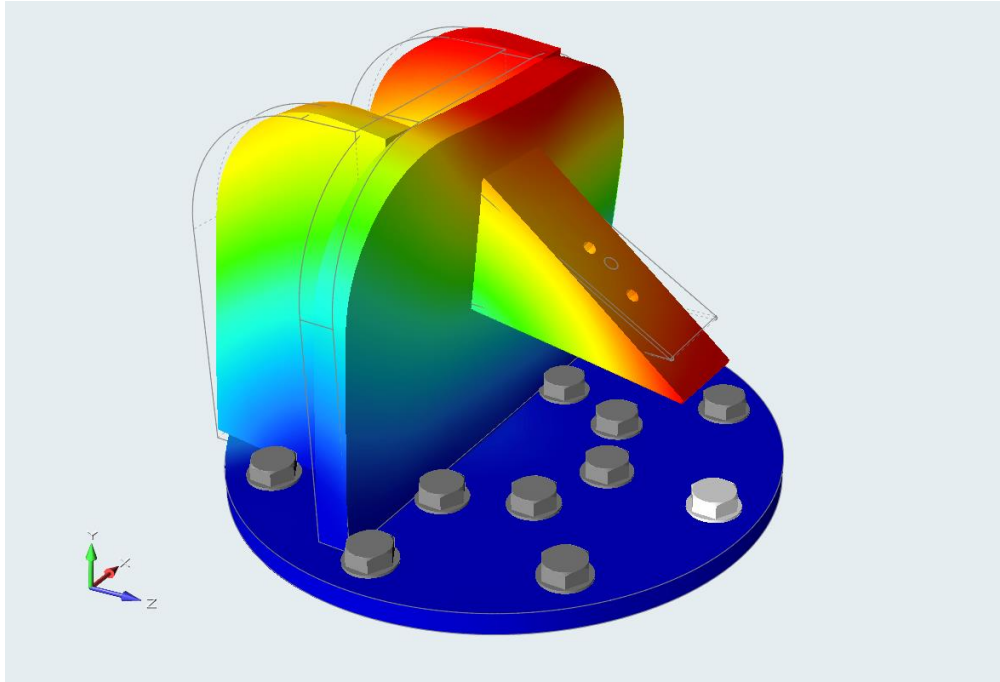
Topoloji optimizasyon sonuçları yorumlanarak yapılan yeni tasarımın ilk rezonans frekansının tespiti için modal analiz çalışması yapılmıştır. Hareketli bölgeler Şekil 4.35 , Şekil 4.36 ve Şekil 4.37. de gösterilmiştir.



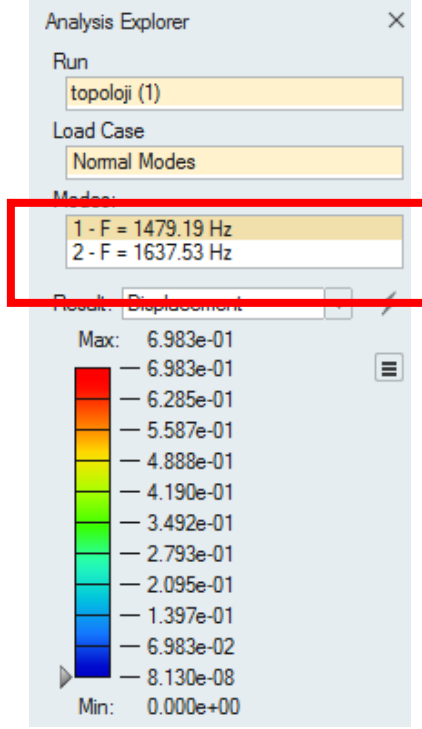
Şekil 4.35. Modal Analiz sonucu fikstür hareketi



Şekil 4.36. Modal Analiz sonucu fikstür hareketi



Şekil 4.37. Modal Analiz sonucu fikstür hareketi

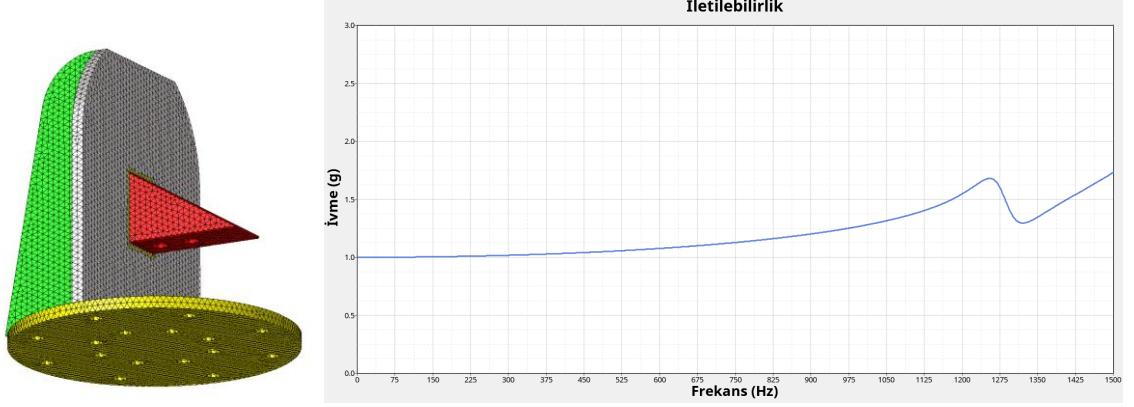


Şekil 4.38. Modal Analiz sonucu ilk rezonans frekansı

Modal analiz sonucuna göre (Şekil 4.38) ilk rezonans frekansı 1479 Hz bulunmuştur ve Bu frekans değeri, test isteri olan 1000 Hz in üstünde olduğu için yeterli bulunmuştur.

4.1.3. Titreşim Fikstürü İletilebilirlik Analizi

Modal Analiz yöntemine ile yapılan ilk çalışma sonucunda uygunluğuna karar verilen fikstür tasarımının (Şekil 4.34) iletilebilirlik seviyesinin tespiti için iletilebilirlik simülasyon çalışması yapılmıştır (Şekil 4.39). Bu çalışmada fikstürün tabanından 1 g seviyesinde 0 – 3000 Hz frekans aralığında ivme uygulanmış ve yan geri görüş aynasının bağlanacağı parça üzerinden ivme çıktısı okunmuştur.

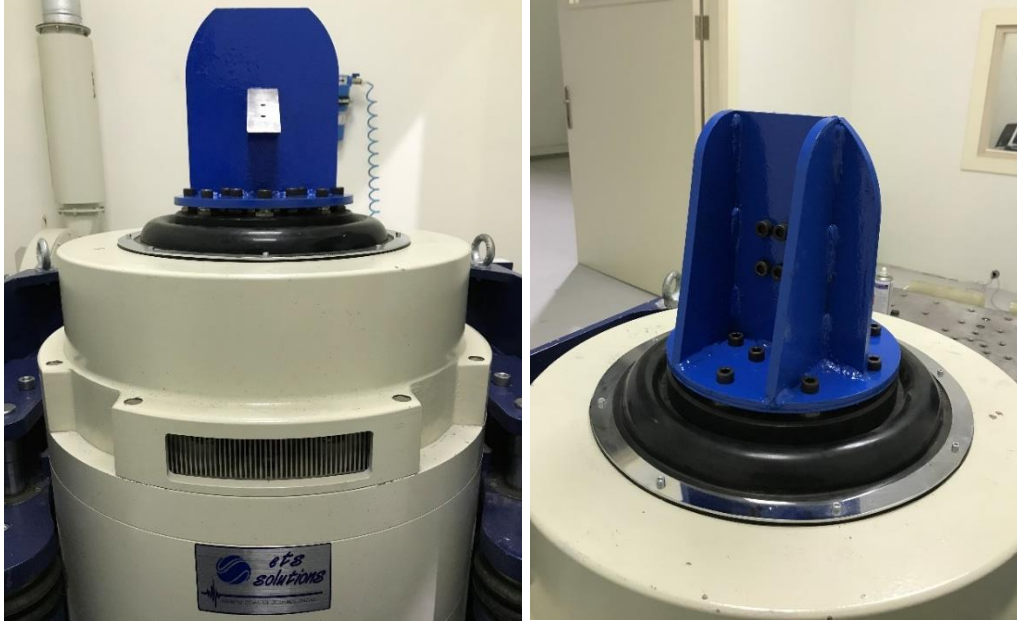


Şekil 4.39. Fikstür tasarımı iletebilirlik simülasyonu

Çıkan sonuca göre fikstürün 1004 Hz ilk rezonans frekansına yakın yaklaşık 750 Hz llerde rezonans etkileri görülmeye başlanmıştır. Bu etkiler iletebilirlik katsayısını teorik değer olan 1.0 ın üstüne taşımaktadır ancak genel bir kullanım önerisi olarak 1.2 değerine kadar iletebilirlik seviyesi kabul görmektedir ve simülasyon sonucu yaklaşık 1050 Hz frekans bandında 1.2 değerine ulaşmaktadır. Bu değerlere göre tasarlanan fikstürün sarsıcı testi için uygun olacağına karar verilmiştir.

4.2. Deneysel Sonuçlar

Tasarım ve simülasyon çıktılarına göre uygunluğuna karar verilen nihai fikstür tasarımı üretilerek sarsıcı üzerine 16 adet M10 cıvata ile montajı gerçekleştirilmiştir.(şekil 4.40.)



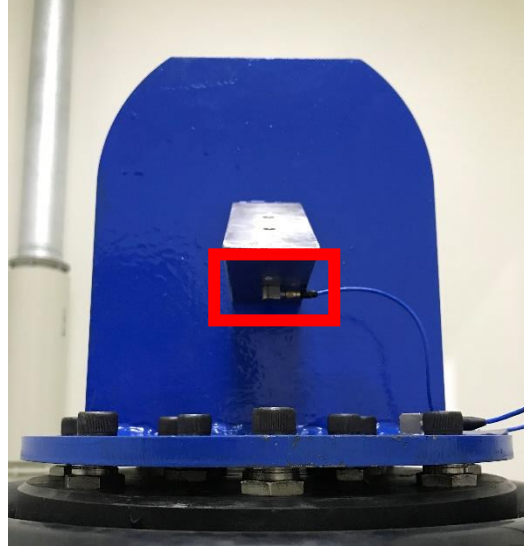
şekil 4.40. Titreşim fikstürünün sarsıcı üzerine montajı

Titreşim fikstürü, sarsıcı üzerine montajlandıktan sonra kullanılacak ivme ölçerler monte edilmiştir. İvmeölçer montajı yapıştırma yöntemiyle yapılmıştır. Titreşim testinde kullanılan ekipmanlar izelge 4.1. de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Titreşim testi sırasında kullanılan ekipmanlar

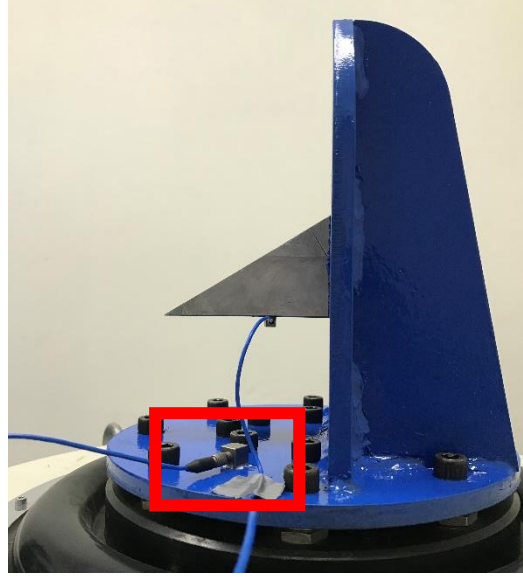
ETS Solutions MPA403/M124M/GT600M Elektrodinamik Sarsıcı
DTC Solutions VENZO880 Kontrolü ve Yazılımı
PCB Piezotronics 352A56 Tek Eksen Minyatür ICP İvmeölçer
PCB Piezotronics 333B32 Tek Eksen ICP İvmeölçer

Test edilecek araç yan geri görüş aynasının bağlantı noktasına ağırlık etkisini azaltmak adına minyatür ICP tipi ivmeölçer montajı gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4.41)



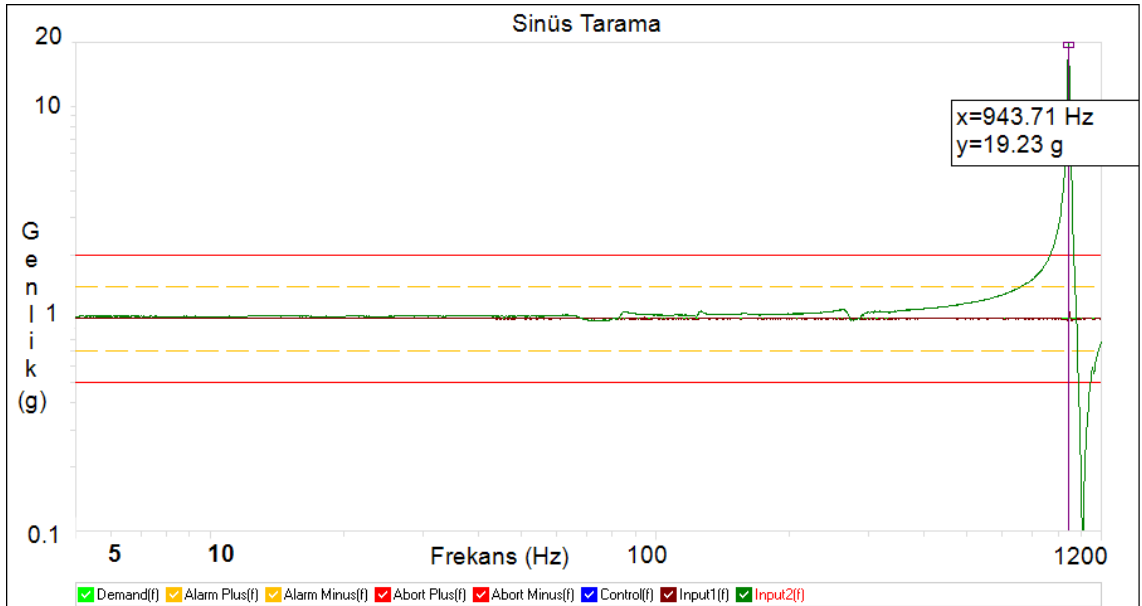
Şekil 4.41. Test Parçası İvmeölçer Montajı

Sarsıcı kontrolü için kullanılan PCB Piezotronics 333B32 model ICP ivme ölçerin montajı Şekil 4.42 de görüldüğü gibi fikstür tabanına yapılmıştır. Fikstür tabanı, sarsıcı armatürü üzerine tüm noktalardan bağlı olduğu için testin yapılışını etkilemeyecek şekilde herhangi bir noktaya yapıştırılması uygun görülmüştür.



Şekil 4.42. Kontrol ivme ölçeri

Sarsıcı kontrolcü sistemi Sine Test arayüzünde 5 Hz – 1200 Hz frekans aralığında 1 oktav/dakika süpürme hızı girilerek üretimi gerçekleştirilen titreşim fikstürünün iletilebilirlik değerleri test edilmiştir. (Şekil 4.43)



Şekil 4.43. Titreşim fikstürü sinüs tarama iletilebilirlik testi

Yapılan test sonucunda yaklaşık 943 Hz frekans bandında fikstürün iletilebilirlik seviyesinin pik noktaya ulaştığı tespit edilmiştir. Bu değer simülasyon sonucu elde edilen yaklaşık 1250 Hz ile karşılaştırıldığında yakın sonuç verdiği görülmüştür.

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen işlem adımları otomotiv ve/veya diğer sektörler için istenilen titreşim ömür testleri için gerekli olan fikstürlerin tasarımı ve analizleri konusunda yol gösterici niteliğindedir, test numunesi ve isterlerine göre işlem adımlarında farklılıklar olabilir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında titreşim ömür testlerinin yapılma sebepleri, testlerin gerçekleştirileceği elektrodinamik sarsıcıların genel özellikleri ve kullanılan yardımcı ekipmanlar açıklanmıştır.

Titreşim ömür testlerinin doğru yapılabilmesi için çok büyük öneme sahip olan titreşim fikstürlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar aktarılmış ve otomobil yan geri görüş aynası örnek olarak seçilerek Topoloji Optimizasyonu ve Modal Analiz simülasyon çalışmalarıyla titreşim fikstür tasarımı gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar sonucunda elde edilen tasarımın üretimi gerçekleştirilmiş ve elektrodinamik sarsıcı üzerinde rezonans tarama testine tabi tutulmuştur. Simülasyon ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, titreşim fikstürünün ilk rezonans frekansı oldukça yakın değerlerde belirlenmiştir.

Topoloji optimizasyonu sonucuna göre yapılan tasarımda belirtilen parçaların kalınlıkları en üst limitlerde belirlenmiştir ve istenilen frekans değerinden çok daha yüksek rezonans frekansı bulunmuştur. Hem malzeme maliyeti hem de üretim süreçleri göz önünde bulundurularak birden fazla optimizasyon çalışması yapılarak istenilen özellikleri sağlayan ve aynı zamanda daha hafif bir yapıda tasarım uygulanabilir.

Yapılan simülasyon ve test çalışması sonuçları arasında bir korelasyon oluşturularak ileride gerçekleştirilecek fikstür tasarım çalışmalarında bir birine çok daha yakın sonuçlar elde edilebileceği ve simülasyon sonuçlarının gerçek değerleri yansıtacağı ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

Aggarwal, P.K. Dynamic (Vibration) Testing: Design-Certification of Aerospace System. NASA-Marshall Space Flight Center, <https://ntrs.nasa.gov/>

Barbara, Santa. 1971. Vibration and Shock Test Fixture Design, Tustin Institute of Technology, California, USA

Barros, E., Souto, C. A. 2014. Evaluation of a Vibration Text Fixture, Institute of Aeronautics and Space, Brazil, *International Journal of Acoustics and Vibration*

Borhade, R.B., Parate, B.A., Korade, D.N. Structural Design Consideration and Performance Evaluation of Vibration Fixture for Power Cartridge Applications, Department of Mechanical Engineering, SITS, Narhe, Pune, Armament Research & Development Establishment, Pashan , Pune-21 *International Engineering Research Journal Page No 562-567*

Buckley, K., Chiang, L. 2011. Design Principles for Vibration Test Fixtures, MIT Lincoln Laboratory B.S. Mechanical Engineering

Falk, P. 2015. Test Fixtures for Vibration Testing of Components, KTH Royal Institute Of Technology, Degree Project, In Vehicle Engineering , Second Level Stockholm, Sweden

George M. Hieber. 1974. A Low-Class Fixture Can Spoil A High Class Vibration Test. *Machine Design*

MIL-STD Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests <http://www.dscc.dca.mil>

Nalluri, R.K., Dhekane, A.S. 2014. Finite Element Analysis of Different Cube Type Vibration Fixture Made of Aluminum Alloys, D.Y. Patil College of engineering, Akurdi, Pune, India. *International Journal of Engineering Research & Technology*

Poncelet, F., Marin, F., Fleury, C., Golinval, J.C. 2005. Optimal Design Of Fixtures For Vibration Testing Of Structures On Electro-Dynamic Shaker, University of Liège - Department of Aerospace, Mechanics and Materials, Belgium. *Twelfth International Congress on Sound and Vibration, Lisbon*

Raut, S.S., Madgulkar, N.A., Sathe, S.A., Wadkar, S.P., Sathe, T. 2017. Study of Vibration Fixtures, Department of Mechanical Engineering, MIT College of Engineering, Kothrud, Pune, Maharashtra 411038, India. *International Journal of Current Engineering and Technology*

Sarafin, T., Doukas, P., Demchak, L., Browning, M. 2017. Vibration Testing of Small Satellites, Test Configuration, Fixtures, and Instrumentation , Instar Engineering and Consulting, Inc. http://instarengineering.com/vibration_testing_of_small_satellites.html.

Sauther, E. 2013. Sine Sweep Vibration Testing for Modal Response Primer. Department of Optical Sciences, University of Arizona Opto-Mechanical Engineering

Scharton, D.T., Beranek, B., Impedance Simulation Vibration Test Fixtures for Spacecraft Tests, California, USA

Schmitt, H.W. 1965. Estimating Natural Frequencies, Machine Design Magazine

Siemens Simcenter Testing Community.

<https://community.sw.siemens.com/s/topic/0TO4O000000MikDWAS/simcenter-testing>

Sowjanya, G.P., Rao, P.D., Kiran, C.U. 2013. Finite Element Analysis of Vibration Fixture Made of Aluminum and Magnesium Alloys, JB Institute of Engineering and Technology (Autonomous), Hyderabad. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*

Thermotron Industries. 2006. Fundamentals of Electrodynamics Vibration Testing Handbook. *Thermotron Industries, Holland, MI*

Wong, C. L., Schueneman, H.H. 1997. Comparing Sine Vs. Random Vibration Excitation Of Different Spring-Mass Models, *WESTPAK, INC. www.westpak.com*

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kadir Yavuz YENİLMEZ

Doğum Yeri ve Tarihi : Kadıköy 1989

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Etimesgut Anadolu Lisesi / Ankara

Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği / Bursa

Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : DTA Mühendislik LTD ŞTİ

İletişim (e-posta) : kadiryenilmez@gmail.com

Yayımları :