



T.C.  
Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

HAFİF TİCARİ ARAÇLARDA  
DIŞ DİKİZ AYNALARININ  
MEKANİK TİTREŞİM  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Selma YILDIRIM ARAS

Yüksek Lisans Tezi

HAFIF TİCARİ ARAÇLARDA  
DIŞ DİKİZ AYNALARININ  
MEKANİK TİTREŞİM  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Selma YILDIRIM ARAS



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAFİF TİCARİ ARAÇLARDA  
DIŞ DİKİZ AYNALARININ  
MEKANİK TİTREŞİM  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**Selma YILDIRIM ARAS**

Yrd. Doç. Dr. Sevda TELLİ ÇETİN

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2014

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Selma YILDIRIM ARAS tarafından hazırlanan ‘‘HAFİF TİCARİ ARAÇLARDA DIŞ DİKİZ AYNALARININ MEKANİK TİTREŞİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Sevda TELLİ ÇETİN

**Başkan** : Yrd. Doç. Dr. Sevda TELLİ ÇETİN İmza  
U.Ü. Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Prof. Dr. Osman KOPMAZ İmza  
U.Ü. Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ İmza  
U.Ü. Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali Osman DEMİR**  
**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.**

**29/09/2014**

**Selma Yıldırım Aras**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### HAFIF TİCARİ ARAÇLARDA DIŞ DİKİZ AYNALARININ MEKANİK TİTREŞİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**Selma YILDIRIM ARAS**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Sevda TELLİ ÇETİN

Hafif ticari araçlarda kullanılan dikiz aynalar dinamik ve aerodinamik yüklere maruz kalmaktadır. Bu yüklerden ötürü görüş performansını olumsuz etkileyen titreşimler doğar. Titreşimler ayna camında oluşan görüntünün net olarak algılanmamasına sebep olur ve sürüş güvenliğini tehlikeye atabilir. Bu çalışmada otomobil üreticilerinin belirlediği dış dikiz aynasının taşınması gereken mekanik titreşim kriterleri esas alınarak aynanın mekanik titreşim özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Aynanın sonlu elemanlar ortamında bir modeli kurulup modal analiz uygulanarak doğal frekansları tespit edilmiştir. Bunun yanında modal çekiç testleri, sarsıcı testleri, lazer testleri ile aynanın doğal frekansı ölçülerek sonlu elemanlar analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve böylece kurulan modelin doğruluğu kontrol edilmiştir. Kütle, elastisite modülü, yoğunluk gibi faktörlerin doğal frekanslarda nasıl bir etki oluşturduğunu anlamak üzere sonlu elemanlar programında parametrik çalışmalar yapılmıştır. Bu verilere dayanarak muhtelif ayna prototipleri imal edilmiş ve bunlar gerek deney düzeneğinde, gerekse araç üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Dış dikiz aynası, sonlu elemanlar yöntemi, doğal frekanslar, modal analiz, çekiç testleri, sarsıcı testleri, lazer testleri.

**2014, ix + 62 sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

**INVESTIGATION OF THE MECHANICAL VIBRATION PROPERTIES OF  
EXTERNAL REAR VIEW MIRRORS ON THE LIGHT COMMERCIAL VEHICLES**

**Selma YILDIRIM ARAS**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Sevda TELLİ ÇETİN

The external mirrors which are used in light commercial vehicles are subjected to dynamic and aerodynamic loads. Due to these loads there will be certain vibrations which affect the mirrors' visual performance in an adverse manner. Vibrations cause objects in the mirror not to be seen clearly so put at risk on driving safety. This study aims to investigate mechanical characteristics of an external mirror based on the vibration standards specified by the automotive OEMs. A finite element model is developed and modal analysis is used to determine the natural frequency of an external mirror is determined. Hammer test, shaker test, laser test and road test have been performed to measure the natural frequency of the mirror and the results have been compared with the results obtained from the finite elements model analysis. Parametric studies in finite elements program have been performed to understand the effect of changes of the parameters such as mass, modulus of elasticity, density on the natural frequencies. The prototypes which have been manufactured based on the studies, have been tested both on vehicle and on test benches. The results of the tests compared and assessed.

**Key words:** external mirror, finite element, natural frequency, modal analysis, hammer test, shaker test, laser test.

**2014, ix + 62 pages**

## TEŞEKKÜR

“HAFİF TİCARİ ARAÇLARDA DIŞ DİKİZ AYNALARININ MEKANİK TİTREŞİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” isimli tez çalışmasını öneren ve çalışmamın başından itibaren her aşamasında bilgisi ve tecrübesi ile yol gösteren ve her türlü desteğini esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Sevda Telli Çetin’e içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı başından beri takip eden, inceleyen ve değerli görüş ve bilgilerini benimle paylaşan değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Osman Kopmaz’a çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarını ve titizlik ile yürüten, Ficosa Otomotiv firması çalışanı Sayın Hüseyin Karabulut’a çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen 01412.STZ.2012-1 numaralı San-Tez projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmamın sağlıklı bir şekilde yürütülmesinde çalışmalar için maddi destek sağlayan Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’na teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında, özellikle sonlu elemanlar modelinin oluşturulması kısmında, değerli zamanını ve emeğini benim için harcamaktan kaçınmayan arkadaşlarım Sayın Sedat Horozoğlu’na, Sayın Didem Baykal’a, çok teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım süresince bana en büyük desteği veren aileme müteşekkir olduğumu belirtmek isterim. Çalışmada emeği geçen ve adını burada sayamadığım herkese teşekkür eder; bu çalışmanın, yeni çalışmalara ışık tutmasını ve ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Selma Yıldırım Aras  
29.09.2014

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. Dış Dikiz Aynası ve Titreşim .....	10
3.1.1. Dış dikiz aynası tasarımı ve alt parçaları.....	13
3.1.2. Titreşim.....	17
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modal Analiz ve Testler .....	18
3.2.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile modal analiz .....	19
3.2.2. Testler .....	24
3.2.2.1. Modal çekiç testi .....	24
3.2.2.2. Sarsıcı testi.....	36
3.2.2.3. Lazer testi.....	38
3.2.2.4. Yol testi.....	40
4. BULGULAR .....	41
4.1. Sonlu Elemanlar Analizi Bulguları.....	46
4.2. Modal Çekiç Testi Bulguları .....	49
4.3. Sarsıcı Testi Bulguları .....	51

4.4. Lazer Testi Bulguları.....	53
4.5. Yol Testi Bulguları.....	53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	56
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
FFT	Fast Fourier Transform
g	metre/saniye <sup>2</sup> (İvme birimi)
Hz	Hertz (Frekans birimi)
KHz	KiloHertz (Frekans birimi)
Mpa	Megapascal (Elastisite modülü birimi)
mV/g	miliVolt/G (Hassasiyet birimi)
mV/Lb Force	miliVolt/pound (Hassasiyet birimi)
PA	Poliamit
RBE2	SimXpert komutu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Dış dikiz ayna .....	10
Şekil 3.2. Sürücü görüş alanı .....	11
Şekil 3.3. Ayna homologasyon numarası.....	11
Şekil 3.4. Amerika ülkeleri için üretilen düz camlı ayna.....	12
Şekil 3.5. Avrupa ülkeleri için üretilen konveks camlı ayna .....	12
Şekil 3.6. Ayna kabuk yüzey modeli .....	13
Şekil 3.7. Mekanizma.....	14
Şekil 3.8. Ayna Şasesi.....	14
Şekil 3.9. Braket .....	15
Şekil 3.10. Dış kapak .....	15
Şekil 3.11. Ayna gövdesi .....	16
Şekil 3.12. Cam tutucu.....	16
Şekil 3.13. Araç bağlantı noktaları .....	20
Şekil 3.14. Sınır şartı uygulaması komut ekranı.....	20
Şekil 3.15. Vida bağlantı noktaları .....	21
Şekil 3.16. RBE2 komut ekranı .....	21
Şekil 3.17. Braket ve mekanizma bağlantısı .....	22
Şekil 3.18. Kontak çizelgesi komut ekranı.....	22
Şekil 3.19. Ağ örülen edilen taşıyıcı yapılar .....	23
Şekil 3.20. Aynanın sonlu elemanlar modeli .....	24
Şekil 3.21. Deneysel modal analizde ölçüm düzeneği.....	25
Şekil 3.22. Darbe çekici .....	26
Şekil 3.23. İvmeölçer ( kaynak www.pcb.com).....	26
Şekil 3.24. SignalCalc sistemi .....	27
Şekil 3.25. Veri toplama cihazı .....	27
Şekil 3.26. İvmeölçer eksenleri .....	28
Şekil 3.27. Modal çekici ile vuruş .....	28
Şekil 3.28. Modal çekiç farklı uçlar ile test (konveks ayna üzerinde ortaya vuruş).....	29
Şekil 3.29. Vuruş yeri: ivmeölçer uzağına ve camın ortasına .....	30
Şekil 3.30. Vuruş yeri: ivmeölçer yakınına ve camın kenarına.....	31
Şekil 3.31. Modal çekiç vuruş yeri karşılaştırma (konveks ayna plastik uç) .....	31
Şekil 3.32. Farklı ivmeölçer konumları .....	32
Şekil 3.33. Farklı kanallardan toplananan veri karşılaştırma grafiği .....	33
Şekil 3.34. Ayna kapağına vuruş.....	33
Şekil 3.35. Mafsal bölgesine vuruş.....	34
Şekil 3.36. Modal çekiç vuruş yeri karşılaştırma (konveks ayna plastik uç) .....	34
Şekil 3.37. Doğru vuruş sonucu.....	35
Şekil 3.38. Hatalı vuruş sonucu .....	35



Şekil 3.39. Sarsıcı .....	37
Şekil 3.40. Sarsıcı aparatı .....	37
Şekil 3.41. Sarsıcı test düzeneği .....	38
Şekil 3.42. Lazer kaynağı cihazı .....	39
Şekil 3.43. Lazer test düzeneği .....	40
Şekil 3.44. Yol testi .....	40
Şekil 4.1. Ağırlık eklenmesi .....	45
Şekil 4.2. Birinci doğal frekans: 52 Hz .....	47
Şekil 4.3. İkinci doğal frekans: 62 Hz .....	48
Şekil 4.4. Üçüncü doğal frekans: 71 Hz .....	48
Şekil 4.5. Düz ayna için mevcut durum ve prototip grafiği .....	49
Şekil 4.6. Konveks ayna için mevcut durum ve prototip grafiği .....	50
Şekil 4.7. Doğal frekansın grafik üzerinden tespit edilmesi .....	51
Şekil 4.8. Konveks camlı ayna grafikleri .....	52
Şekil 4.9. Düz camlı ayna grafikleri .....	52
Şekil 4.10. Düz camlı ayna için yol testi sonuçları .....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Prototipler .....	42
Çizelge 4.2. Mevcut durum (A).....	42
Çizelge 4.3. Kapak malzemesi (B) .....	43
Çizelge 4.4. Gövde malzemesi (C) .....	43
Çizelge 4.5. Kapak ve gövde malzemesi (D) .....	44
Çizelge 4.6. Şase malzemesi (E).....	44
Çizelge 4.7. Ağırlık ilavesi (F) .....	45
Çizelge 4.8. Sonlu elemanlar analizi ile hesaplanan doğal frekansları.....	46
Çizelge 4.9. Modal çekiç analizi ile bulunan doğal frekansları .....	49
Çizelge 4.10. Sarsıcı testi analizi ile bulunan doğal frekansları .....	53
Çizelge 4.11. Yol testi.....	54
Çizelge 5.1. Analiz ve test sonuçlarının karşılaştırılması .....	57

## 1. GİRİŞ

Karayollarında sürücüler için görüş hâkimiyeti sağlayan önemli araçlardan birisi dış dikiz aynalarıdır. Dikiz aynaları yol şartları, rüzgâr gibi dış etkenler ve motor çalışması nedeniyle çoğunlukla titreşime meyilli parçalardır. Dikiz aynalarında oluşan titreşimler insan gözünün tolere edebileceği seviyenin üzerinde bir bulanıklığa neden olmakta ve bu da hem sürücünün görüş kalitesini bozmakta hem de sürüş güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Aynalarda gözlemlenen titreşim hareketi araç gövdesinden ve aynanın kendi bağlantılarından ayna camına iletilen titreşimdir. Titreşim, araçtan ayna braketine, braketten aynayı hareket ettirmeyi sağlayan ve ayna camının orta noktasına yerleştirilmiş olan ayar motoruna, oradan da ayna camına iletilmektedir. Camda ölçülen titreşim iki önemli sebepten kaynaklanmaktadır. Birincisi ayna camının yüzeyi etrafındaki ve kendi eksenine bağlı hareketinden, diğeri ise tüm aynanın yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır (Hwang, Lee ve Park 2001).

Otomotiv sektöründe yeni araç tasarımları geliştikçe her yeni araç modeline uygun bir dış dikiz aynası tasarlama gereği de ortaya çıkmaktadır. Buna bağlı olarak ayna tasarımları geçmişten gelen standart tek tip modelden uzaklaşmış, estetik unsurların da önem taşıdığı bir seviyeye gelmiştir. Bu gelişmeler yaşanırken ve beklentiler hızla artarken ayna tasarımcıları, görüş kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri olan ayna titreşim karakteristiklerini belirli sınırlar içerisinde tutarak aynayı tasarlamak zorunda kalmışlardır.

Aynalar, araç tipi ve kullanım yerine göre uluslararası düzeyde sınıflandırılmıştır. Binek araçlarda aynaların tamamı aynı seviyede öneme sahipken ticari araçlarda özellikle dış dikiz aynaları sürücü için iç dikiz aynasından çok daha fazla öneme sahiptir. Ayrıca ticari araçlarda ayna camının daha büyük olması sebebiyle dış dikiz aynaları diğer araçlara oranla titreşime daha fazla meyillidirler (Hwang, Lee ve Park 2001).

Bu çalışmada bir hafif ticari araçta kullanılmakta olan dış dikiz aynasının titreşim özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında aynanın doğal frekansları sonlu elemanlar yöntemiyle bilgisayar destekli modal analiz yapılarak belirlenmiş, ikinci aşamada bu sonuçların deneysel olarak doğrulanması yapılmış ve son olarak da malzeme değerleri ile kütle miktarları değiştirilerek by değişikliklerin doğal frekanslara etkisi incelenmiştir. Elde edilen bütün veriler izelge oluşturularak karşılaştırılmış ve bu değerlere uygun prototip uygulaması yapılarak bunların titreşim özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ticari araçlarda kullanılan dikiz aynaları boyutları, rüzgâr gibi dış etkenler ve yol yüzeyindeki bozukluklar nedeniyle çoğunlukla titreşime meyilli parçalardır. Aynalarda gözlemlenen titreşim hareketi araç gövdesinden ve aynanın kendi bağlantılarından ayna camına iletilen titreşimdir. Dikiz aynalarında oluşan bu titreşimler zaman zaman insan gözünün tolere edebileceği seviyenin üzerinde bir bulanıklık ve titremeye sebep olmakta bu da hem sürücünün görüş kalitesini bozulmakta hem de sürücü üzerinde oldukça rahatsız bir etki oluşturmaktadır. Ayrıca aynalardaki titreşim araçtaki yolcuların güvenliğini de doğrudan etkilemekte olduğundan bu konuda yapılan çalışmaların en önemli hedefi aynalarda meydana gelen bu titreşimin minimum seviyeye indirgenmesidir.

Dikiz aynalarının şeklinin karmaşık olması, aynayı oluşturan bileşenlerin malzemelerinin birbirinden farklı olması, bağlantı şekilleri ve belirli titreşim şartnamelerine uyma zorunlulukları nedeniyle tasarım ve analizlerinde çoğunlukla sonlu eleman modelini kullanan hesaplamalı yöntemleri kullanmak kaçınılmaz olmaktadır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; Türkçe literatürde genellikle dikiz aynası ile doğrudan ilgili olmayan ancak genel taşıt titreşimlerini ve bu titreşimlerin araç üzerindeki diğer sistemleri nasıl etkilediğinin inceleyen çalışmalar mevcuttur. Bunun yanında gemi titreşimi ve baraj titreşimi gibi çok çeşitli alanlarda da çalışmalar yapılmıştır.

Aşağıda kısaca yer verilen çalışmalarda sonlu elemanlar modeli kurularak modal analiz yapılmış, doğal frekanslar bulunmuş, analitik veya modal çekiç testi ve titreşim testi gibi deneysel çalışmalar ile bulunan sonlu elemanlar analizi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Edis ve Tahralı (2006), 4x4 bir silah aracının çeşitli tümseklerden geçtiği durum için şasi ve karoseride sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerilme ve titreşim analizleri gerçekleştirmişlerdir. Tam taşıtın bir sonlu elemanlar modeli hazırlamış ve doğal frekanslarını bulmuşlardır. Yazılım olarak ABAQUS programını kullanmışlardır.

Yücel ve Arpacı (2009), yaptıkları çalışmada gemilerde ortaya çıkan titreşim problemlerini incelemişlerdir. Katı modelleme yazılımıyla tüm geminin üç boyutlu katı modelini oluşturularak sonlu eleman analizi ile doğal frekans ve doğal frekanslarda aldığı şekillerin tespitini gerçekleştirmişlerdir. Bu şekilde geminin hangi frekanslarda rezonansa gireceği ve nasıl davranışlar sergileyeceği incelenmiştir. Titreşim açısından geminin en kritik bölgelerinden birini oluşturan köprü üstü uzantılarını incelemişler ve bu uzantıları modelleyerek sonlu eleman analizi ile doğal frekanslarını ve doğal frekanslarda aldığı şekilleri belirlemişlerdir. Aynı modeli analitik yöntemle de çözerek doğal frekans değerlerini hesaplamışlardır. Sonlu eleman analizi ve analitik yöntemlerle elde edilen sonuçları deneysel modal analiz yöntemiyle de doğrulamışlardır. Ayrıca farklı tasarımlar için elde edilen sonuçları karşılaştırarak tasarım özelliklerinin sonuçlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Erdoğan ve Yüksel (2007), katmanlı kompozit yapıdaki üç boyutlu karmaşık dış lastik geometrisini ABAQUS programı kullanılarak modellemişlerdir. Serbest titreşim analizi ile sistemin doğal frekanslarını ve doğal frekanslarda aldığı şekilleri bulmuşlar ve sonuçları literatürde bulunan deneysel değerler ile karşılaştırmışlardır.

Sevim ve Bayraktar (2010), kemer barajların dinamik davranışlarını sonlu eleman ve deneysel modal analiz yöntemleri kullanarak incelemişlerdir. Bu amaçla, laboratuvar ortamında inşa edilen küçük ölçekli kemer baraj modeli ve mevcut bir baraj olan Berke Barajı üzerinde analitik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmişler ve sonuçları karşılaştırarak önerilerde bulunmuşlardır.

Şimşek ve Morgül (2010), bir araç kabininin titreşim analizini bilgisayar destekli olarak yapmışlardır. Araç kabinini belirtilen ölçülerde modelledikten sonra Ansys Workbench programı ile modal analizini yapmış ve tasarlanan kabinin doğal frekanslarını elde etmişlerdir. Kabinin doğal frekanslarını istenen frekans değerleri sınırlarında tutmaya yönelik konstrüktif detayları ele almışlardır.

Dikiz aynaları üzerine yapılan çalışmalara çoğunlukla yabancı literatürde rastlanmış ve aşağıda sıralanan çalışmalarda da görüldüğü gibi bunların bir kısmı dikiz aynalarının

mekanik yapılarını bilgisayar destekli tasarım araçları yardımıyla optimize etmek üzere yapılmışlardır. Titreşimi azaltmak amacıyla katılık ve geometri parametreleri en iyileştirilmiş, bunun için sonlu elemanlar analiz yöntemlerine başvurulmuştur.

O'Grady ve ark. (1996), titreşim cevabını tahmin etmek üzere bir iç dikiz aynasının sonlu elemanlar modelini Ansys programında hazırlayıp aynanın doğal frekanslarını belirlemişlerdir. Model geliştirirken sistematik bir yaklaşım izleyip hem braket hem de tüm ayna için ayrı ayrı analizler yapmışlardır. Tüm belirlenen doğal frekans değerlerini titreşim testi sonuçları ile karşılaştırmışlar ve analiz sonuçları ile ölçülen doğal frekansları karşılaştırarak kurmuş oldukları sonlu elemanlar modelini doğrulamışlardır.

Sonlu elemanlar modelini hazırlarken gerçeğe en yakın olmasını sağlamak için “ağ örme” özelliklerini kullanmışlar ve bağlantı detaylarının modellenmesinde çeşitli bağlantı metotlarını deneyip kontak metodu ile bağlantı parçalarını modellemeyi önermişlerdir. Yazarlar, aynanın ön cama bağlanmasını sağlayan klipsinin titreşim davranışına olan etkileri üzerinde de detaylı çalışmışlardır. Yaptıkları testlerde ayna braketinin ve kabuk malzemesinin sönüm özelliğinin aynanın titreşim genliğinin tahmin edilebilmesini sağladığını görmüşlerdir. Rezonans frekanslarını belirlemek amacıyla aynanın üzerine lazer ışığı yansıtılarak sabit ivme ile aynayı enine, boyuna ve dik olarak titreştirmişler ve lazer perdesi üzerine yansıyan ışık hüzmesinin yer değiştirme miktarlarını ölçmüşlerdir. Yer değiştirmelerin pik yaptığı değerleri frekansları olarak tespit etmişlerdir. Bunun yanında sonlu elemanlar analizinde görülebilen dönme modu, eğilme modu gibi her türlü doğal frekansdeğerine karşılık, lazer ışığı ile yapılan ölçümlerde bu modların gözlem yoluyla görülmesinin mümkün olmadığından analiz sonuçları ile karşılaştırılamayan bazı değerler de olmuştur.

Song ve Ayorinde (2005), oluşturdukları sonlu elemanlar modeli üzerinde dikiz aynalarında kullanılacak farklı malzemelerin ayna titreşimleri üzerine etkisini incelemişlerdir.

Titreşim performansına etki eden endüstriyel malzemelerin yoğunluk, elastisite modülü gibi özellikleri üzerinde çalışan yazarlar, ayna gövdesi ve braket parçalarının sonlu

eleman modellerini hem ayrı ayrı hem de bir arada hazırlayarak modal analizini yapmışlardır. Tüm opsiyonlar için en düşük üç doğal frekansın kayıt edildiği çalışmada çıkan sonuçlar test sonuçları ile karşılaştırılmış ve birinci doğal frekansın test değerleri ile uyumlu olduğu ancak ikinci ve üçüncü modlarda yüksek sapmalar gösterdiğini belirtmişlerdir. Modelin test sonuçları ile sağlamasının yapılmasından sonra braket ve gövde parçaların malzeme özelliklerini değiştirerek 20'den fazla malzeme çeşidi ile analiz yapmışlardır. Bunun yanında ayna braketi üzerine eklenen 5 farklı kiriş yapısı ile analizler yapmışlar, etkisini incelemişlerdir. Kapının doğal frekansı 30 Hz civarında olduğu için aynanın doğal frekans değerinin 30 Hz den daha yüksek değerlere çıkartan malzemeleri başarılı görmüşlerdir. Çünkü aynanın tasarımının dayanıklılığını gösteren ilk sinyallerin birinci doğal frekansta anlaşılmağa olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde ayna sağlamlığını artırmak amaçlı uygulanmış en iyileştirme süreçleri ve istatistiksel yöntemler mevcuttur. Maliyet, tasarım ve müşteri beklentileri gibi unsurlar ile aynaların özellikleri zamanla iyileştirilerek yüksek standarda bir ulaşmıştır.

Hwang ve ark. (2001), ise yaptıkları çalışmada otomobil dış dikiz aynasındaki titreşimleri azaltmak amacıyla bir sonlu eleman modeli tasarlamış ve analizini yapmışlardır. Kurdukları modeli, titreşim testleri yaparak doğrulamışlardır. Doğal frekansların hesabı için ansys programında modal analiz yapmışlar, dinamik yükler altındaki cam yüzeyinde oluşan deplasmanları ise harmonik analiz yardımıyla hesaplamışlardır. Maksimum titreşimin birinci doğal frekansta görüldüğünü tespit etmişler ve birinci doğal frekansta ayna camında oluşan titreşimleri düşürmeyi amaçlamışlardır. Maksimum titreşimin birinci doğal frekansta görülme sebebinin, camın dönme hareketi ve ilerleme hareketinden kaynaklanmakta olduğunu tespit etmişlerdir. Motorun bağlandığı kısmın ve aynanın araca bağlandığı kısmın en önemli bileşenler olduğunu tespit etmişlerdir. Çünkü bu bölgelerin birinci doğal frekansta negatif bir etki yaptığını görmüşlerdir. Titreşim genliklerini minimize ederken aynanın sağlamlığını artırmayı hedef alarak Taguchi metoduyla ayna tasarımını optimize etmişlerdir. Öncelikle olası tasarım çeşitlerini belirlemişler, sonra istenen özelliğe katkı dereceleri arasından uygun tasarımı seçmişlerdir. En iyileştirme çalışmasında tüm



parçaları çalışmaya dahil etmek verimli olmadığı için dönme mekanizması, şase, gövde, ayar motoru ve cam parçaları dahil edilmiştir.

Dinamik cevabın yer değiştirmeleri katılık ve kütle etkisi altında olduğu için, modal analiz sonuçlarından sonra tasarımı yönlendirirken yapının şekli, bağlantılar, tüm parçaların katılığı ve yoğunluğu incelenmiştir. Modeli doğrulamak için çekiç testi yapmışlardır. Elektromanyetik uyarıcı ile harmonik bir titreşim uygulanmış ve harmonik titreşim cevabı ölçülmüştür. Sonlu elemanlar analizi ve deney sonuçlarının uyumu için sonlu elemanlar modelinde düzeltmeler yapmışlardır.

Nyhof ve O'Farrell (1996), tarafından iç ve dış dikiz aynalarda aynanın ayarlanabilir cam grubuna monte edilebilen titreşim sönümleyicisi tasarlamışlar ve patent çalışmaları yapmışlardır.

Kaynaklarda ayna titreşimlerinin incelenmesi konusunda diğer bir çalışma ise bilgisayar destekli akışkanlar dinamiği analizidir. Bu çalışmalarda ayna etrafında oluşan basınç dağılımları ve akış şemaları incelenmiştir. Otomobil dış dikiz aynasındaki akış alanını inceleyen ve bu maksatla rüzgar tüneli üzerinde çalışmalar yapan araştırmacılar da mevcuttur.

Jaitlee ve ark. (2004, 2005), ayna yüzeyinde çeşitli hızlarda oluşan aerodinamik basınçların, ayna titreşimine etkilerinin belirlenmesi için çalışmalar yapmışlardır. Endüstriyel rüzgar tüneli kullanarak ve 1/4 oranda bir araç üzerinde, cam yüzeyindeki basınçları farklı hızlarda ölçmüşlerdir. Test esnasında oluşan titreşimlerin video ve fotoğraf olarak kaydedilmiştir. Aynaya gelen basınçlar, veri toplama yöntemi ile toplanmış ve grafikler oluşturularak titreşim seviyelerini ve etkilerini belirlemişlerdir.

Watkins ve Oswald (1999), ayna camında görüntüyü bozan titreşimin sebebini öğrenmek amacıyla, titreşimi ölçmüşlerdir ve akış alanını izlemişlerdir. Yol testi ve rüzgar tüneli testlerini yapmışlar ve 20 Hz üzerindeki doğal frekans bulgularının iki testte de aynı olduğunu görmüşlerdir. Burdan da 20 Hz üzerindeki frekanslarda oluşan

titreşimlerin sebebinin yol ve rotasyonel dengesizlik gibi diğer mekanik kaynaklı etkilerden ziyade aerodinamik kuvvetlerin etkisiyle olduğu sonucuna varmışlardır.

Kim ve Han (2011), aynanın araç üzerindeki konumu itibari ile istenmeyen aerodinamik etkilere maruz kaldığını belirtmişlerdir. Özellikle büyük aynaların gövde yapılarının, akış alanını uyaran bir model oluşturduğu bunun sonucu olarak cam yüzeyinde titreşim ve ses gibi problemlere sebep olduğunu belirtmişlerdir ve ayna etrafında oluşan uyarıcı etkilerin deneysel araştırmasını yapmışlardır.

Tomac ve ark. (2011), birisi sinyal lambalı, diğeri sinyal lambasız olan iki farklı aynada oluşan titreşime sebebiyet veren akış alanını incelemişlerdir. İki aynada oluşan akış alanını karşılaştırmışlardır. İki aynanın doğal frekanslarının aynı, fakat genliklerinin farklı olduğunu belirlemişlerdir. Sinyal lambalı aynanın daha büyük titreşim genliğine sahip olduğunu ve yüksek hızlarda aradaki bu farkın daha da açılmış olduğunu görmüşlerdir. Aynaların doğal frekanslarını lazerli titreşim cihazı ile test etmişlerdir. Ayna gövdesinin ve camının aynı modal özellikte titreştiklerini anlayabilmek için ayna gövdesi üzerine ve cam üzerine iki farklı ivme ölçer yerleştirilerek ölçümler yapılmış ve sonuç olarak her ikisinin de aynı modlarda titreştiği tespit edilmiştir. En güçlü hissedilen oluşan titreşimler aynanın doğal frekansında oluşan titreşim olarak gözlemlenmiştir. Yaklaşık 45 Hz civarında çıktığını belirlemişlerdir.

Larchez ve Naghdy (2005), ise yaptıkları çalışmada farklı sürüş şartları için aynada oluşan titreşimleri bertaraf edecek bir kestirimci sistem tasarımı yapmışlar ve aynanın kendi bileşenlerinden kaynaklanan titreşimler için başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Ticari araçlarda ayna camının daha büyük olması sebebiyle titreşime meyilin diğer araçlara oranla daha çok olduğunu belirtmişler. Titreşimin araçtan ayna braketine ve braketten de aynayı hareket ettirmeyi sağlayan ayna camının tam merkez noktasından yerleştirilmiş “ayar motoru” isimli parçadan ayna camına iletildiğini belirtmişlerdir. Ayna yüzeyinde ölçülen titreşimin iki önemli sebepten kaynaklandığına değinmişlerdir. Bu sebeplerden birisi ayna camının kendi eksenleri etrafında dönme ve öteleme hareketi ve eksenine göre bağıl hareketidir. Diğeri ise tüm aynanın yer değiştirmesidir. Matematiksel olarak titreşim dalgasını, dış etkenlere bağlı olarak oluşan çeşitli frekans

ve genliğin kombinasyonu olarak tanımlamışlardır. Ford F250 araç ile pozitif, negatif ivmelerde veya sabit hızda otoban, çamurlu yol, hız kesicilerin bulunduğu yol gibi farklı yol koşullarında sürüş yapmış ve ayna camına konumlandıkları üç adet ivme ölçer ile veri toplamışlardır. Toplanan veriler ile oluşturulan grafiklerde yol şartlarına bağlı olarak 20 ve 100 Hz aralığında değişen bir çok frekans pik değerı görülmüştür.

Kaynaklarda dikiz aynalarında oluşan titreşimi sebepleri ile birlikte ele alarak azaltmaya yönelik çözümlerin üretildiği yukardaki çalışmalardan farklı olarak, oluşan titreşimin sürücü üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalara da rastlanmıştır.

Hahnel ve Hecht (2012), yaptıkları çalışmada ayna mesafesi (aynanın merkezi ile sürücü gözü arasındaki mesafe) ve cam yüzeyi eğriliğinin sürüş güvenliğinde sürücünün ani karar verme yetisine etkisini incelemişler ve bu mesafe ve eğrilik değerleri değiştirildiğinde bunun sürücünün görüş kalitesinde olumsuz etkiler doğurabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

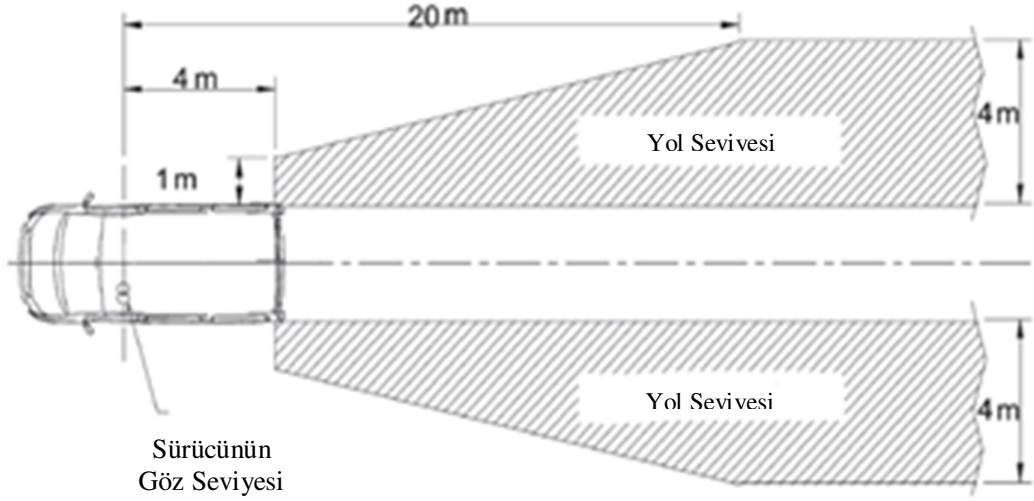
#### 3.1. Dış Dikiz Aynası ve Titreşim

Dikiz aynaları çeşitli fiziksel yapılarıdaki araç sürücülerinin doğru sürüş pozisyonunda oturduklarında aracın yanında, arkasında oluşan trafik alanını gösteren ürünler olarak tanımlanmaktadır. Sürücü dikiz aynası ile araç kullanırken başını çevirme gereği duymadan arka ve yan taraftaki nesnelere görebilmektedir. Görüş kontrolü sayesinde sürücü hızlanması veya yavaşlaması gerektiğine karar verebilmektedir ya da uygun gördüğü durumlarda şerit değiştirebilmektedir.



Şekil 3.1. Dış dikiz ayna

Sürüş güvenliği için sürücünün ayna camına baktığında görmesi gereken “görüş alanı” olarak tanımlanmaktadır ve uluslararası düzeyde trafik yasaları tarafından belirlenmiştir. Şekil 3.2’de bu çalışmada kullanılan aynanın Avrupa Birliği Parlamentosu ve Konsili Yönergesine (Anonim 2003) göre olması gereken görüş alanı gösterilmiştir. Buna göre sürücü aynadan baktığında şekildeki taralı alan içerisinde kalan her cismi görebilmesi yasal zorunluluktur. Araç piyasaya çıkmadan önce aynanın bu kriterleri sağladığına dair homologasyon onayı alınması gerekmektedir.



Şekil 3.2. Sürücü görüş alanı

Homologasyon onayı alındıktan sonra aynaya bir homologasyon numarası verilmektedir ve bu numara aynanın üzerinde bakıldığında kolay görülebilir bir yerde olmalıdır. Örnek olarak bu çalışmada kullanılan aynanın homologasyon numarası Şekil 3.3'.de verilmiştir.



Şekil 3.3. Ayna homologasyon numarası

Dikiz aynaları, araçtaki konumuna göre iç ve dış dikiz aynası olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanır. İç dikiz aynası, aracın yolcu bölümüne, dış dikiz aynalar ise aracın dış yüzeyi üzerine montaj edilmektedir. Aynalar I, II, III, IV, V ve VI gibi Roma

rakamları kullanılarak sınıflara ayrılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ayna hafif bir ticari araçta kullanılan dış dikiz aynasıdır ve sınıfı III' tür.

Ayna camı geometrisi aracın kullanıldığı ülkedeki trafik yasalarına göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin; bu çalışmada incelenen dış dikiz aynasının camı Kuzey Amerika ve Avrupa ülkeleri için farklı olarak üretilmektedir. Kuzey Amerika'da düz camlar (Şekil 3.4), Avrupa'da ise konveks camlar (Şekil 3.5) kullanılmaktadır. Çalışmada incelenen aynaların cam geometrileri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Amerika ülkeleri için üretilen düz camlı ayna

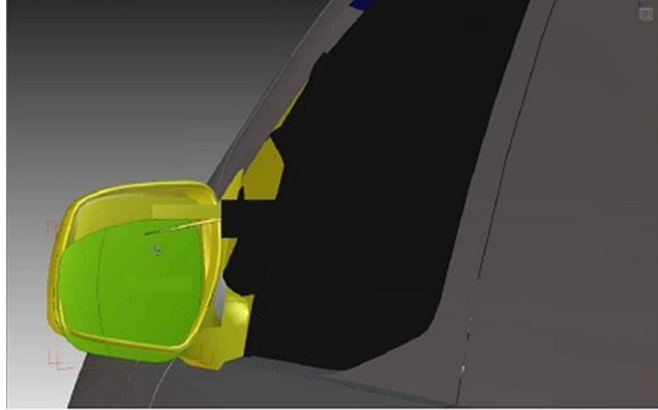


Şekil 3.5. Avrupa ülkeleri için üretilen konveks camlı ayna

Dikiz aynaları, hem trafik kuralları gereği görüş alanını sağlaması gerekirken hem de araç iç ve dış sistemine uyum sağlayacak bir tasarıma sahip olması gerekmektedir. Sonraki bölümde ayna tasarım sürecine değinilmiş ve aynayı oluşturan alt ürün grupları açıklanmıştır.

### 3.1.1. Dış dikiz aynası tasarımı ve alt parçaları

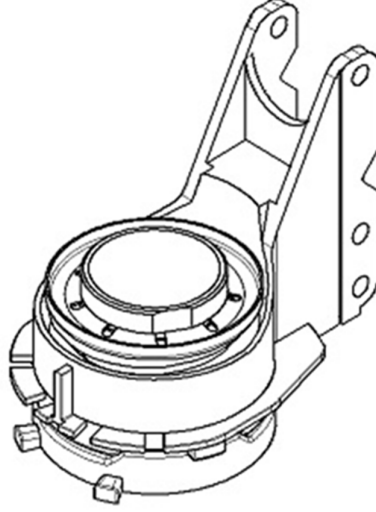
Tasarımcı, ayna tasarımına başlamadan önce otomobil üreticisinden aynanın araç koordinat düzlemindeki yerini ve aynanın nasıl bir dış görünüşte olacağını belirten bir kabuk yüzeyi model dosyasını almaktadır (Şekil 3.6). İkinci aşamada bu kabuk yüzeyi içerisinde kalacak şekilde cam seçimini yapmaktadır. Bunun için görüş alanı analizleri yapmaktadır.



Şekil 3.6. Ayna kabuk yüzey modeli

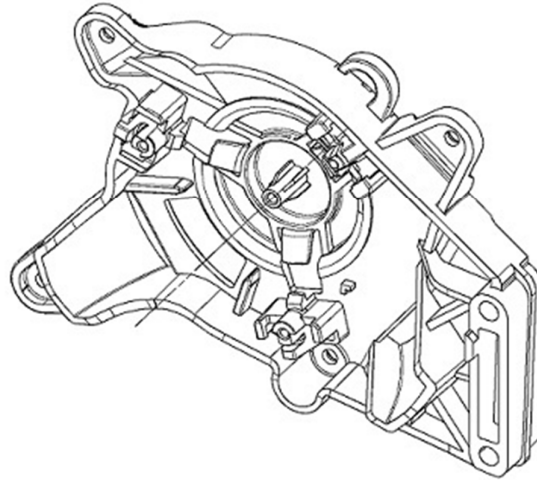
Cam seçiminden sonra alt ürünler, aynadan beklenen fonksiyonları ve dayanımı sağlayabilecek şekilde tasarlanır. Alt ürünler mekanizma, şase, braket, kapak, gövde, cam tablası olarak isimlendirilen parçalardan oluşmaktadır.

Mekanizma olarak adlandırılan alt parça, aynanın ileri ve geri park hareketini sağlamaktadır. Bu donüş hareketini sağlayan sistem birbirlerine yay kuvveti ile bağlanmış iki alt elemanda oluşmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Mekanizma

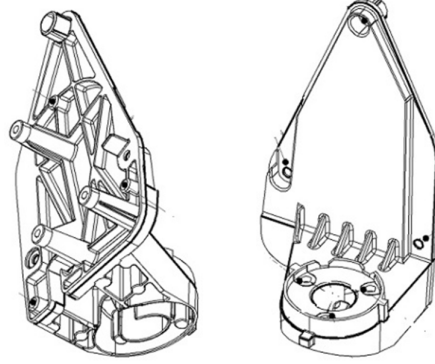
Ayna şasesi, ayna camının bağlandığı parçadır. Şekil 3.8’de görülebilir.



Şekil 3.8. Ayna Şasesi

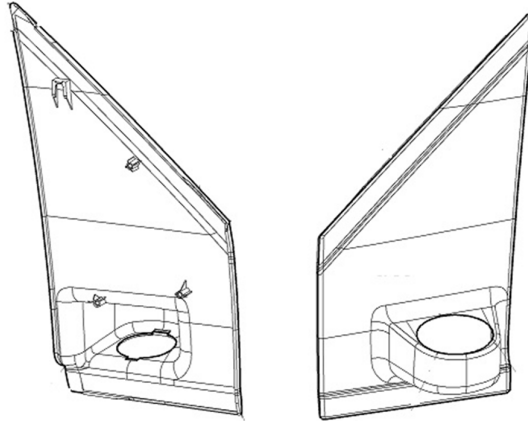


Braket aynanın araç bağlantısını sağlayan parçadır. Üzerinde bulunan üç adet montaj deliği ile araç kapı bölgesine bağlantıyı sağlamaktadır. Şekil 3.9’da braket parçasının ön ve arka görünüş resimleri gösterilmiştir.



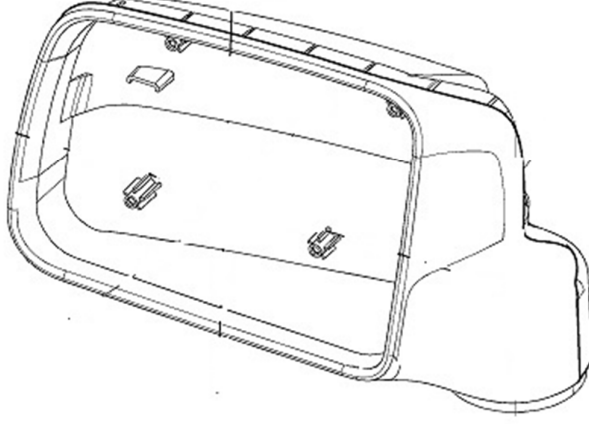
Şekil 3.9. Braket

Dış kapak; araca dışarıdan bakıldığında görülebilmektedir. Araç üzerinde kalan estetik görüntü sağlayan görsel bir üründür. Kapağın braket parçası ile ve kapı ile bağlantısı vardır. Şekil 3.10’da dış kapak ön ve arka görünüş resimleri gösterilmiştir.



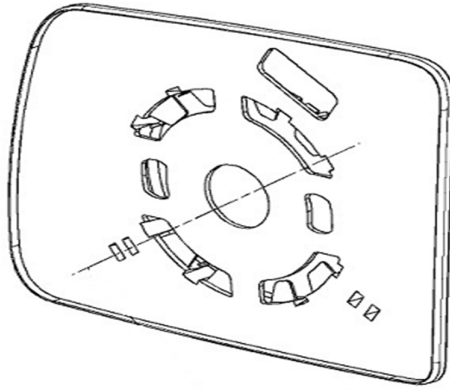
Şekil 3.10. Dış kapak

Ayna gövdesi kabuk ismi verilen aynanın en dış kısmını oluşturan bir parçadır. Ayna gövdesi Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Ayna gövdesi

Cam tutucu ayna camının yapıştırıldığı ve ayna motorundan gelen hareketi ileten kısımdır. Şekil 3.12’de cam tutucu resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Cam tutucu

### 3.1.2. Titreşim

Kütle ve elastisite şartlarına sahip mühendislik sistemleri, izafi hareket yapabilirler. Eğer sistem hareketi, verilen zaman aralığından sonra tekrarlanırsa böyle bir hareket titreşim olarak ifade edilir. Birçok titreşim problemlerinde, istenenlerden biri, karşı tesirleri ortadan kaldıracak şekilde, hareketin denklemini çözmektir. Sistem önce, varlığını, elastikiyetini ve sürtünmesini ifade eden kütle, yay ve sönüm elemanları cinsinden basitleştirilir. Sonra hareketin denklemi, zamanın fonksiyonu olan deplasman cinsinden veya hareketin herhangi bir anında kütle nin denge pozisyonuna olan mesafesini verecek şekilde ifade edilir. Daha sonra, titreşen sistemlerin en önemli özelliği olan doğal frekans, hareket denkleminde elde edilir (Seto, 2003).

Titreşim hareketi genlik ve frekans ile gösterilir. Genlik titreşen sistemin denge konumundan olan maksimum uzaklığı, frekans ise saniyede meydana gelen salınım sayısıdır. Doğal frekans, bir cismin sadece esnekliğine ve kütesine bağlı olan ve cismin o frekansta uyarılırsa yüksek genlikle ve sürekli olarak titreşeceği frekansa denir. Diğer bir deyişle doğal frekans cisme ait öyle bir frekanstır ki cisim o frekansta bir kere uyarıldıktan sonra uyarı kesilse bile titreşmeye devam eder (Çağlayan, İ.H. 2009).

Uygulanan dış kuvvetin frekansı, sistemin doğal frekansına eşit olduğu zaman, titreşim meydana gelir. Rezonans olduğu zaman, sistemin amplitüdü sınırsız olarak artacak ve bu olay ancak, sistemde sönüm olması halinde kontrol edilebilecektir. Böyle bir durumda titreşim sisteminin amplitüdünün çok artması ve meydana gelecek istenmeyen olaylardan sakınmak için, sistemin doğal frekansı bilinmeli ve ona göre kontrol edilmelidir (Seto, W. W., Toprak, T. 2003).

Araçta meydana gelen titreşim frekanslarının, aynanın doğal frekanslarına eşit veya yakın olması durumunda ayna camında titreşimler meydana gelmektedir. Bu nedenle tasarlanan aynanın doğal frekanslarının, dış etkenler ile oluşan titreşimlerin frekans aralığının dışında olması hedeflenmiştir. Otomobil üreticilerinin kullandıkları standartlarda sürüş güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilecek titreşim seviyeleri belirtilmiştir. Titreşim performansı titreşim uzmanları tarafından sürüş testleri ile de test

edilmektedir. Ayna camında yoldan, rüzgardan veya motor tahriklerinden kaynaklanabilecek sürücü görüşünde bozulmaya sebep olan bir değişim olup olmadığına bakılmaktadır.

### **3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modal Analiz ve Testler**

Bu çalışmada bir dış dikiz aynasının sonlu elemanlar programı ile titreşim analizi yapılmış ve doğal frekansları elde edilmiştir. Sonlu eleman yöntemiyle titreşim analizi için SimXpert ve Hypermesh programları tercih edilmiştir. SimXpert programında model kurulmuş ve hypermesh programında analizler yapılmıştır. Dış dikiz aynası birden çok parçadan oluştuğu için analitik yöntem ile modal analizi yapılması ve doğru sonuçlar elde edilmesi oldukça zordur. Bu nedenle titreşim analizi için yaygın olarak kullanılan sonlu eleman yöntemi tercih edilmiştir.

Sonlu elemanlar metodu, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir sayısal metottur. İlk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu metodun, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de başarı ile kullanılabilceği anlaşılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise sonlu elemanlar metodu ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde birçok pratik problemin çözümü için kullanılan en iyi metotlardan birisi olmuştur. Metodun değişik mühendislik alanları için bu kadar popüler olmasının ana nedenlerinden birisi genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kullanılabilmesidir.

Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir problemde problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harcayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır. Elde bulunan konvansiyonel matematiksel araçların kesin sonucu, hatta yaklaşık bir sonucu dahi

bulmakta yetersiz kalması durumunda ise sonlu elemanlar metodu kullanılabilir tek metot olmaktadır.

Özel problemlerin çözümü için genel bir programın kullanılabilir olması, sonlu elemanlar metodunun güçlü ve çok amaçlı bir araç olmasına neden olmuştur ve çok sayıda genel amaçlı sonlu elemanlar program paketi geliştirilmiştir (Arıkan, M.A.S.).

### **3.2.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile modal analiz**

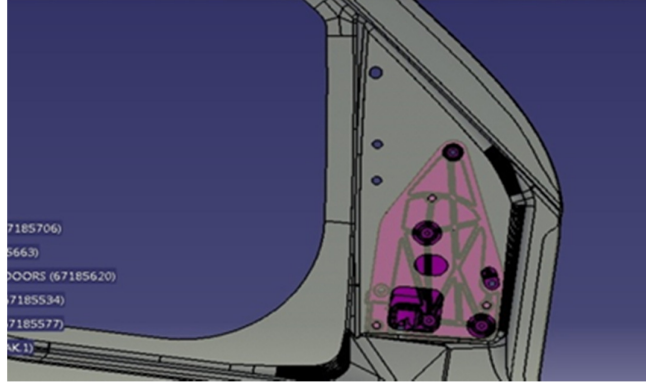
Bu bölümde sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analiz aşamaları açıklanmıştır. Aşamalar, sırasıyla

- 1) Parçanın modelinin çizilmesi
- 2) Sınır şartlarının belirlenmesi ve diğer etkilerin belirtilmesi
- 3) Eleman tipi ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi
- 4) Modele ağ örme uygulanmasıdır.

İlk aşamada, analiz edilecek parçanın modeli oluşturulmuştur. Aynanın geometrik şeklini içeren veri, Catia V5 tasarım programıyla düzenlenmiş, kayıt edildikten sonra Simxpert program içine aktarılmıştır.

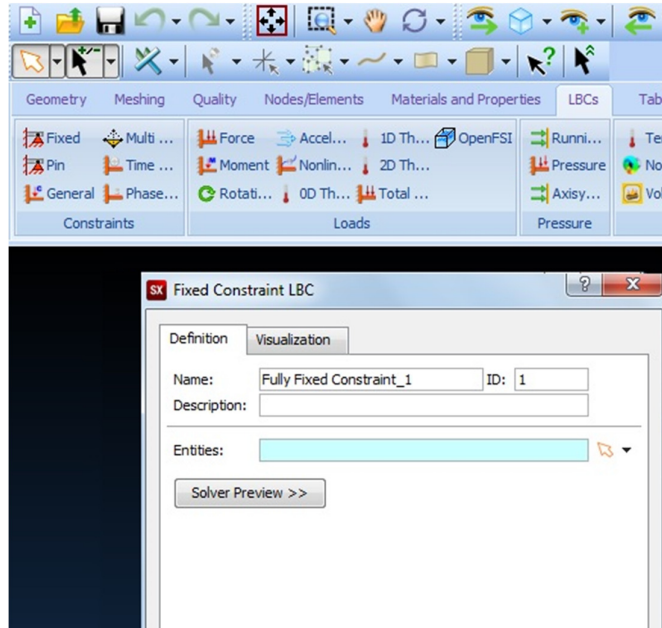
İkinci aşamada, sınır şartları belirlenmiştir. Gerçek durumda dikiz aynasının araç üzerinde kapı bölgesine bağlantısı braket üzerindeki üç noktadan yapılmaktadır. Bu üç bağlantı noktası sonlu elemanlar modeline de sınır şartı olarak yansıtılmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla dikiz aynasının bağlantı noktalarında üç eksende dönme ve ötelenme hareketleri kısıtlanmıştır. Şekil 3.13’de kapı bölgesi bağlantı noktaları gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Araç bağlantı noktaları

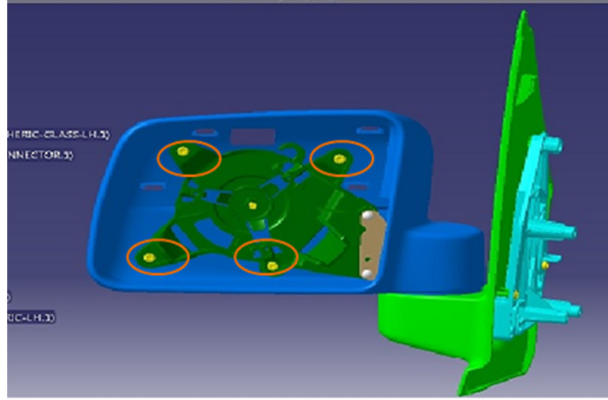
Programda bu sınır şartı uygulama işlemi için şekil 3.14’de görüldüğü gibi “fix” komutu kullanılmıştır.



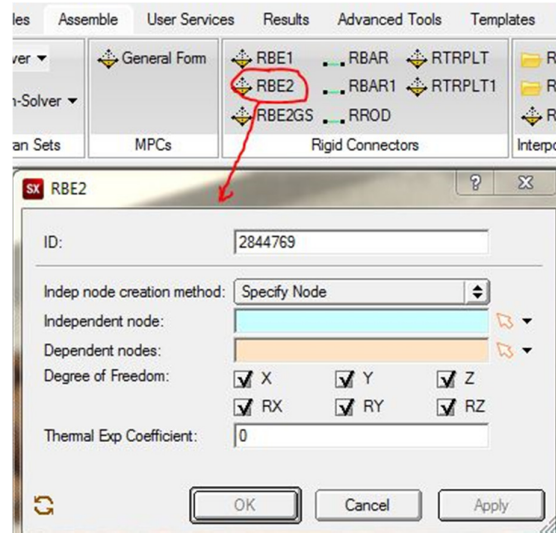
Şekil 3.14. Sınır şartı uygulaması komut ekranı

Üçüncü aşamada, eleman tipi seçimi yapılmış ve malzeme özellikleri belirlenmiştir. Ayna içerisinde bağlantı sağlayan vida, perçin, vb bağlantı elemanları analize dahil edilmemiştir. Bu bağlantı elemanları yerine sonlu elemanlar modeli oluşturulurken eleman tipleri arasından “sabit kiriş” eleman tipi (RBE2) seçilmiştir.

Programda bu bağlantının modelini oluşturmak amacı ile Şekil 3.16’da komut ekranı gösterilen RBE2 komutu kullanılmıştır. Bu işlem Şekil 3.15’de kırmızı yuvarlak ile belirlenen tüm bağlantı noktalarında uygulanmıştır.

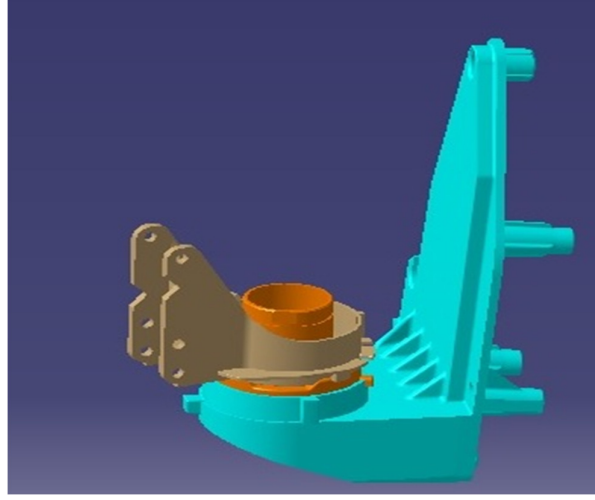


Şekil 3.15. Vida bağlantı noktaları



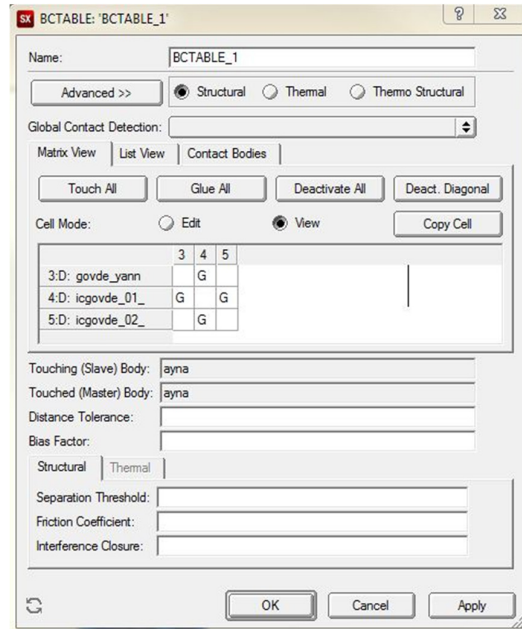
Şekil 3.16. RBE2 komut ekranı

Birbirlerine yay kuvveti montaj edilmiş olan mekanizma ve braket parçalarının bağlantısı (Şekil 3.17), sonlu elemanlar modeline yansıtırken kontak eleman tanımlaması ile yapılmıştır.



Şekil 3.17. Braket ve mekanizma bağlantısı

Programda bunun için şekil 3.18’de komut ekranı gösterilen “contacttable” komutu ile kontak çizelgesi oluşturulmuştur.



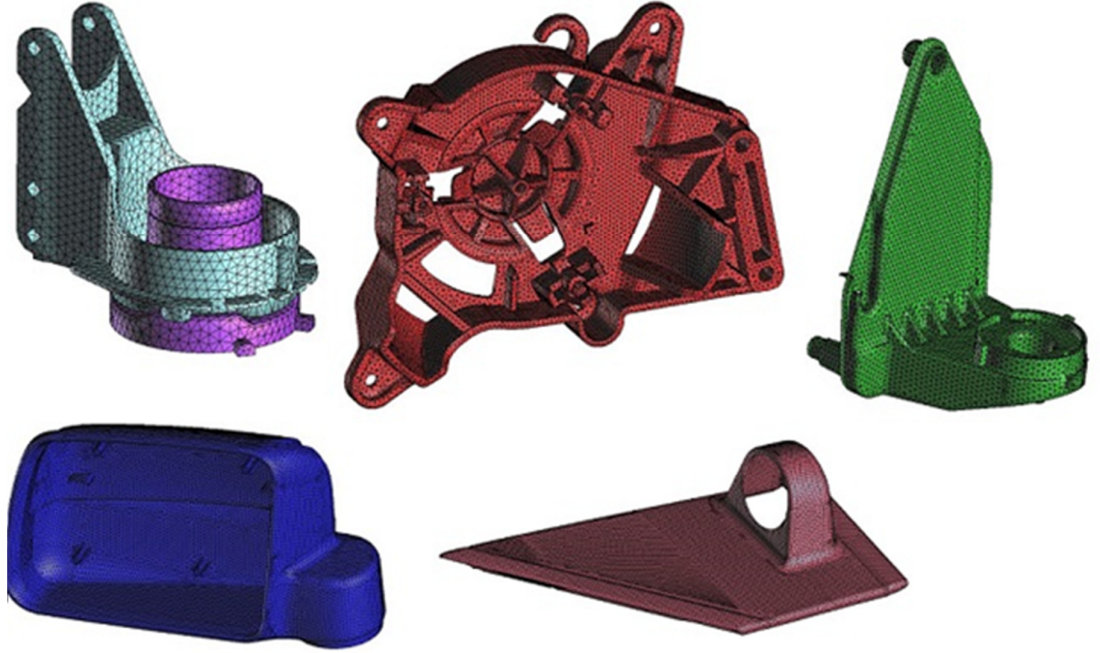
Şekil 3.18. Kontak çizelgesi komut ekranı



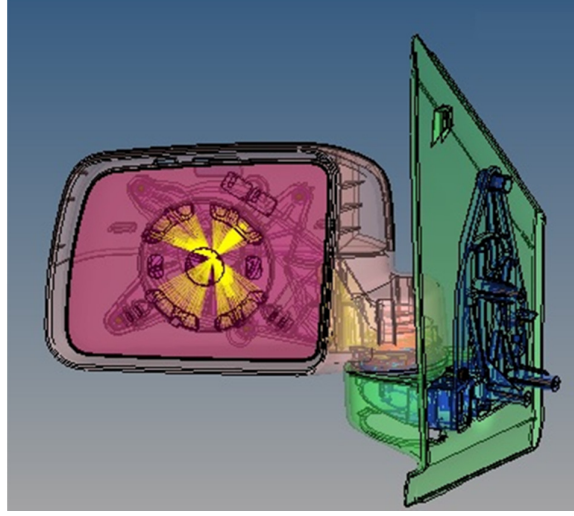
Eleman tipi seçimi bittikten sonra modelde malzeme özellikleri tanımlaması yapılarak elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunluk gibi özellikler girilmiştir.

Son aşamada, örülme işlemi yapılmıştır. Örülmenin düzgün bir şekilde ilerlemesini engelleyici unsurlar ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Örneğin iç parçaların bazı bölgelerinde vida deliklerinden kaynaklanan veya kalıp çıkma açılarından kaynaklanan düzgün geometriye sahip olmayan alanlar düzeltilip modeldeki elemanların hepsinin düzgün bir şekilde olması sağlanmıştır.

Daha sonra, program içerisindeki “ağ örme” komutu ile tek tek ağ örme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.19’da ağ örülen aynanın bazı elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Ağ örülen taşıyıcı yapılar



Şekil 3.20. Aynanın sonlu elemanlar modeli

Kurulan sonlu elemanlar modeli Şekil 3.20'deki gibidir. Tüm bu işlemlerden sonra çözüm aşamasına geçilmiştir. Analiz programı çalıştırılarak çözdürülmüş ve sonuçlar grafikler ile çizdirilmiştir.

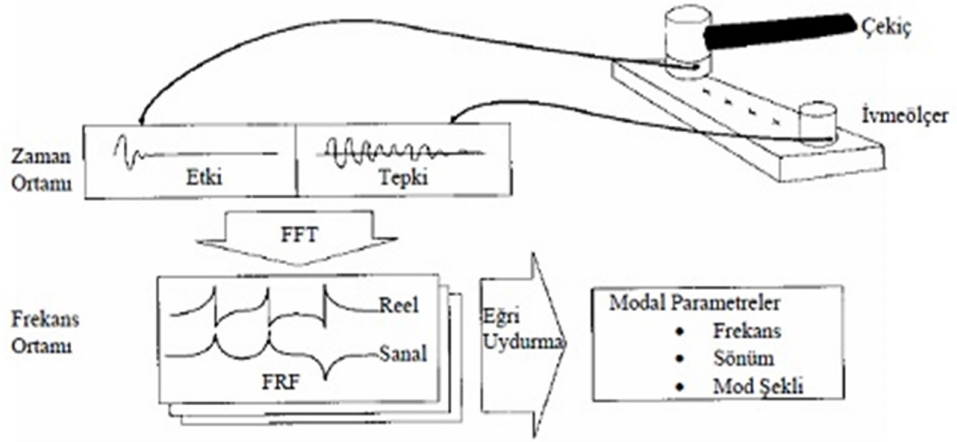
### 3.2.2. Testler

Deneyisel çalışma olarak modal çekiç testi ve sarsıcı testi olmak üzere iki farklı test yöntemi kullanılmıştır.

#### 3.2.2.1. Modal çekiç testi

Çalışmanın bu bölümünde aynanın doğal frekansları deneysel modal analiz ile tespit edilmiştir.

Deneyisel modal analizde, yapıya bir kuvvet verilerek kuvvetin yapıya etkisi ve yapının bu kuvvete tepkisi ölçülmektedir. Bu işlemde yapıya kuvvet uygulamak için çekiç, yapının tepkisini ölçmek için ivmeölçer ve verileri değerlendirmek için bir sinyal analizörü kullanılmaktadır.



Şekil 3.21. Deneysel modal analiz ölçüm düzeneği

Şekil 3.21'den de görülebileceği gibi yapıya uygulanan etki çekicinin başlığına yerleştirilen bir kuvvetölçerle zaman ortamında ölçülür. Uygulanan bu kuvvet altında, yapı sınır koşullarına ve malzeme özelliklerine bağlı olarak bir titreşim hareketi yapar. Yapının bu etkiye gösterdiği tepki ise yapıya bağlanan ivmeölçerle yine zaman ortamında ölçülür (Schwarz, B. J., Richardson, M. H. 1999).

Çalışmada deneysel modal analiz testlerinde üç eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçerlerden elde edilen sinyaller, veri toplama ünitesinde birleştirilip SignalCalc isimli yazılım programına aktarılmıştır. Burada sinyaller işlenerek doğal frekanslar elde edilmiştir. Aşağıda kullanılan test düzeneği, test düzeneğinde kullanılan ekipmanların özellikleri ve testin yapılışı açıklanmıştır.

Aynanın modal analizinin gerçekleştirilmesinde kullanılan test düzeneği ve ekipmanları;

- 1) İncelenecek ayna
- 2) Modal çekiç
- 3) Deney standı
- 4) İvme ölçer
- 5) FFT Analizörü

olarak belirtilen bileşenlerden oluşmaktadır.

Bilindiği üzere dikiz aynası araç üzerinde, araç kapı bölgesine bağlıdır. Çalışmada araç kapı aksamı deney standı olarak kullanılmıştır. İncelenecek olan ayna, bu kapı aksamı üzerine araç konumunda bağlanmıştır.

Boyutsal kontrolleri yapılmış, test için uygun aynalar kullanılmıştır. İncelenecek ayna tipleri düz camlı ve konveks camlı olarak seçilmiştir.

Dikiz aynalarının uyarılması ve darbe kuvvetinin ölçülmesi için PCB firması tarafından üretilen 086C01 kodlu darbe çekici kullanılmıştır (Şekil 3.22). Cihaz 50 mV/Lb Force hassasiyetindedir. Çekiç üzerinde veri aktarım kablosu bulunmakta olup bu şekilde FFT analizörüne kolayca bağlanabilmektedir.



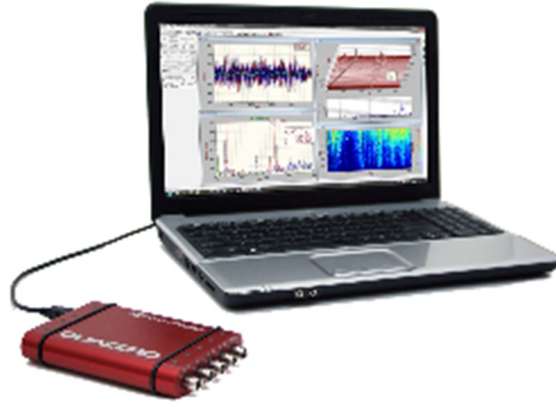
Şekil 3.22. Darbe çekici

Deney yapılarının cevabının ölçülebilmesi için PCB Electronics firması tarafından üretilen 356A32 kodlu, 100 mV/g hassasiyetinde üç eksenli ivmeölçer kullanılmıştır (Şekil 3.23). Frekans aralığı 1 Hz-10 kHz aralığındadır. Yapıştırırmalı veya vidalı olarak kullanılabilir.



Şekil 3.23. İvmeölçer ( kaynak [www.pcb.com](http://www.pcb.com))

Veri toplama sistemi ve analiz yazılımı olarak SignalCalc sistemi tercih edilmiştir (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25). SignalCalc Analizörleri, zaman, frekans, genlik ve mertebeye düzlemlerinde hassas ölçümler yapılmasını sağlamaktadır. SignalCalc birlikte kullanıldığı herhangi bir dizüstü bilgisayarı yüksek hassasiyetli bir dinamik sinyal analizörüne dönüştürmektedir. Verilerin aktarılmasından sonra yazılım içerisindeki modal analiz fonksiyonları kullanılarak, frekans cevabı fonksiyonları üzerinden doğal frekans tespiti gerçekleştirilmektedir.



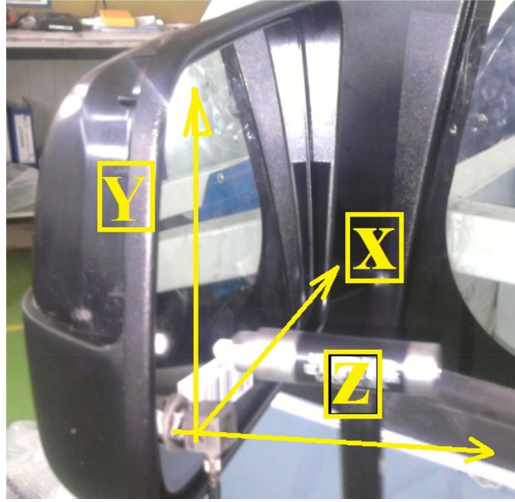
Şekil 3.24. SignalCalc sistemi



Şekil 3.25. Veri toplama cihazı

Modal çekiç testinin adımları aşağıda izah edilmiştir:

Doğal frekansları ölçülmek istenilen ayna araç kapı aksamına bağlanmıştır. İvmeölçer ayna camının üzerine silikon yardımıyla yapıştırılmıştır. İvmeölçerin x, y, z eksenleri Şekil 3.26'daki gibi konumlandırılmıştır. Test sonuçları hazırlanırken bu x, y, z eksen tanımlamaları aynen kullanılmaktadır. Çekiç ile ayna üzerine Şekil 3.27'deki gibi üç kez vurulur. Program bu üç vuruş sonucu oluşan ivme cevaplarını kaydeder. Böylece frekans cevabı fonksiyonlarından oluşan bir dosya elde edilmiş olur.



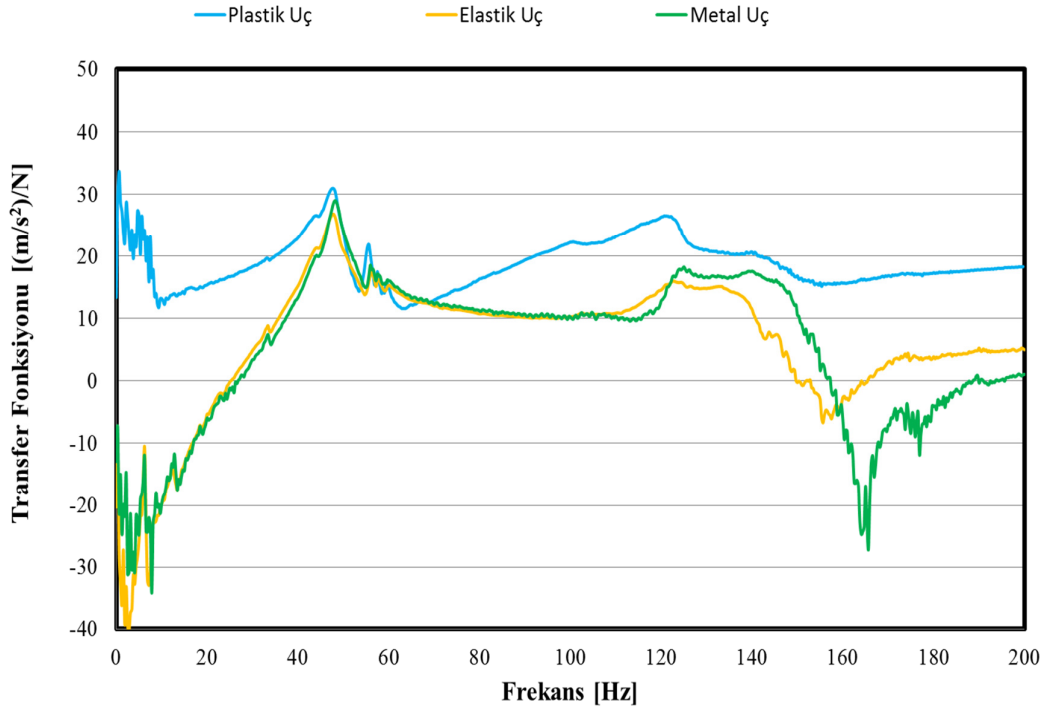
Şekil 3.26. İvmeölçer eksenleri



Şekil 3.27. Modal çekiç ile vuruş

Çekiç testinden güvenilir veriler elde edilebilmesi, vuruşun tam bir darbe sinyali oluşturacak tarzda yapılması, çekiçde doğru ucun kullanılması ve ayna üzerinde doğru noktaya vurulup doğru noktadan titreşim verisi alınması gibi etkenlere bağlıdır. Bu nedenle öncelikle ayna üzerinde farklı noktalara vurularak ve farklı çekiç uçları kullanılarak bu değişikliklerin, sonucu nasıl etkilediği konusunda çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile en uygun ölçüm yöntemi belirlenmiş ve belirlenen yöntem bu tez çalışması için bir standart kabul edilerek tüm testler bu yöntemle yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu doğrultuda yapılan testlerden birincisi modal çekiçte kullanılan uçların karşılaştırılmasıdır. Plastik uç, elastik uç ve metal uç olmak üzere üç farklı uç ile vuruş yapılmıştır. Şekil 3.28'deki grafikte üç farklı uç için elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



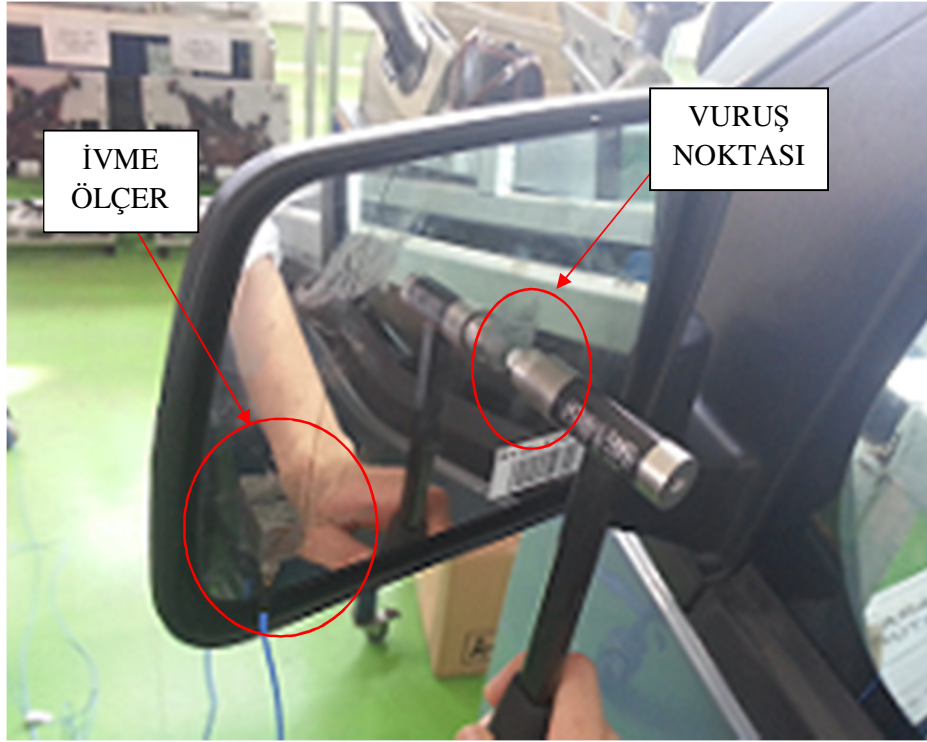
Şekil 3.28. Modal çekiç farklı uçlar ile test (konveks ayna üzerinde ortaya vuruş)

Yapılan testlerde elastik uç ile beklenen kuvvet dağılımı sağlanamamış, metal uçta ise kuvvet belirsiz şekilde küçük zaman aralıkları ile artıp azalma eğilimi göstermiştir.



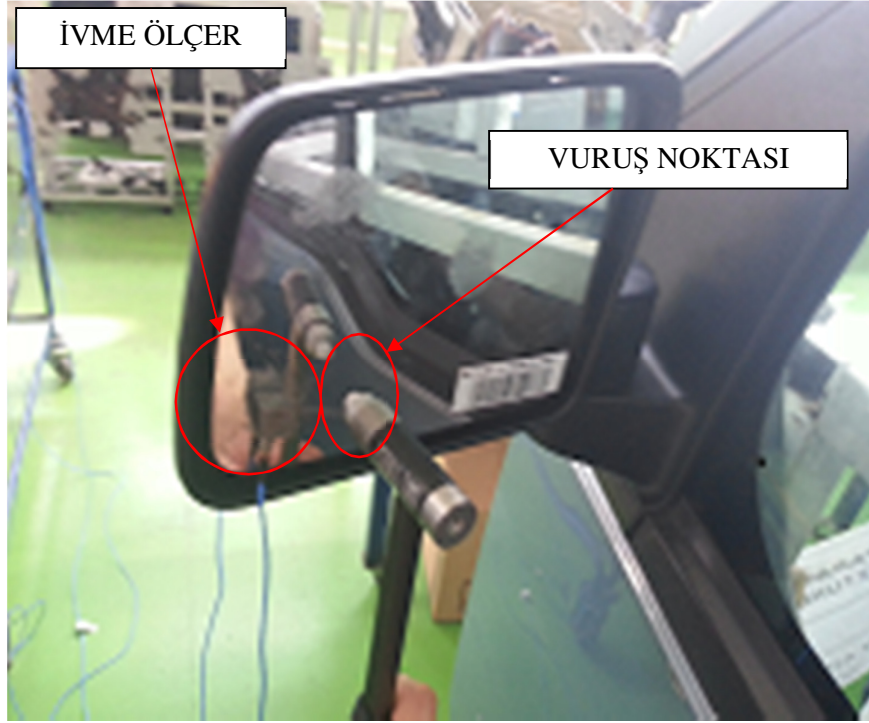
Test sonuçlarından alınan veriler plastik uç ile vuruş yapıldığında kuvvetin daha iyi dağıldığını göstermektedir. Bu sebeple vuruş yönteminde plastik uç tercih edilmiştir.

Ayna yüzeyi üzerinde bulunan ivmeölçerin yakınına ve uzağına vurularak vuruş yeri için belirli bir nokta seçilmiştir. Şekil 3.29'da ivmeölçerin uzağına yani camın merkezine vurulmuştur. Şekil 3.30'da ivmeölçerin yakınına vurulmuştur. Her iki ölçüm sonucu oluşan transfer fonksiyonu–frekans grafiği Şekil 3.31'de gösterilmiştir. Sonuç olarak ivmeölçerin yakınına vuruş ile uzağına vuruştan elde edilen verilerin çok farklı olmadığı belirlendiğinden vuruş yeri olarak camın ortası seçilerek testlere devam edilmiştir.

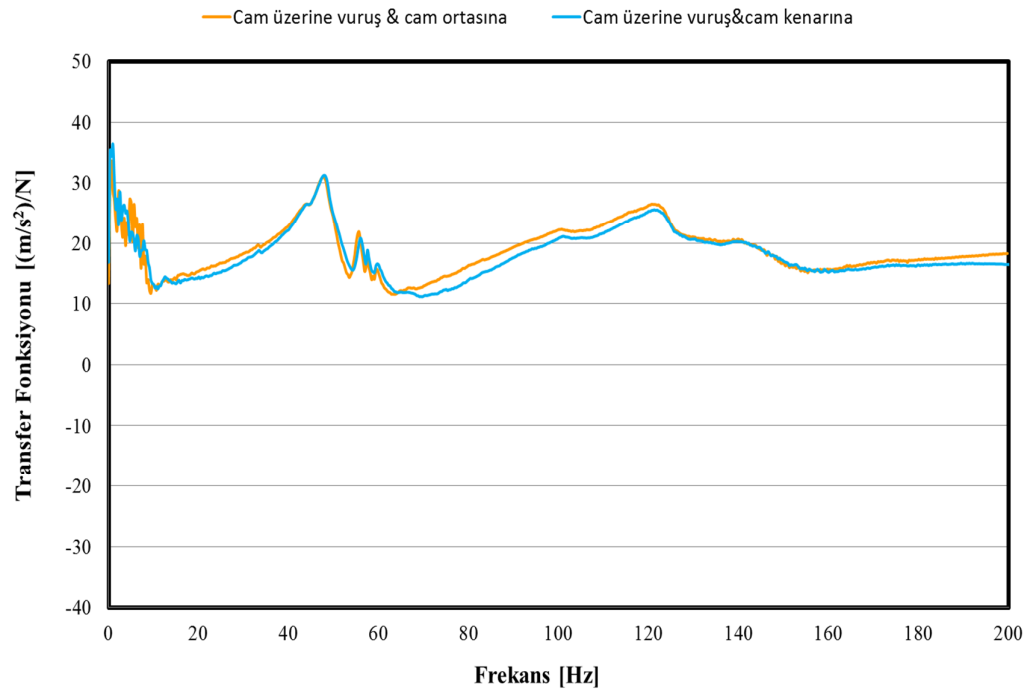


Şekil 3.29. Vuruş yeri: ivmeölçer uzağına ve camın ortasına



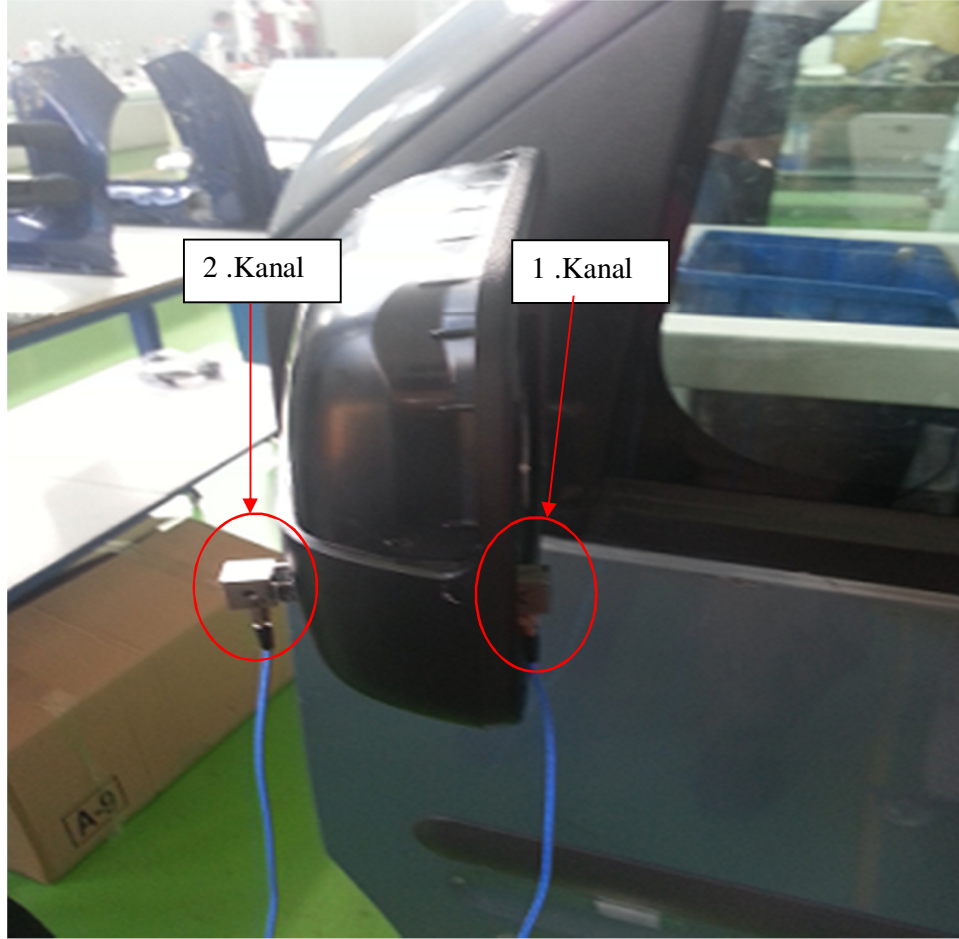


Şekil 3.30. Vuruş yeri: ivmeölçer yakınına ve camın kenarına

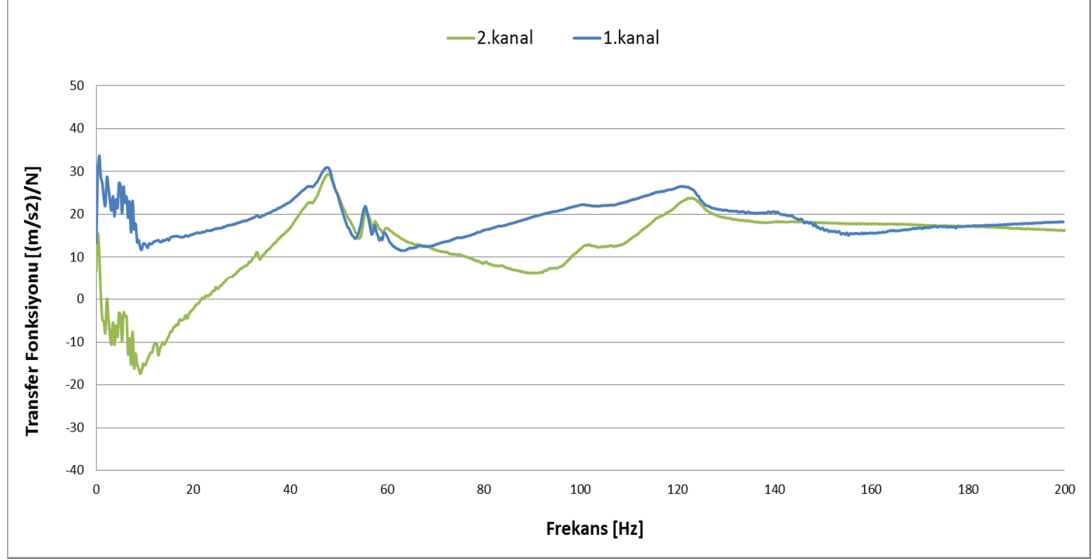


Şekil 3.31. Modal çekiç vuruş yeri karşılaştırma (konveks ayna plastik uç)

Bunun dışında dış kabuk arkasına da bir ivmeölçer bağlanmıştır ve cam üzerine vurularak vuruş denemeleri yapılmıştır. Ayna yüzeyindeki ivmeölçer 1. kanal'dan ve kabuk üzerindeki ivmeölçer ise 2. kanal'dan veri toplamıştır. 1. ve 2. kanallara bağlı ivmeölçerlerin fotoğrafı Şekil 3.32'de verilmiştir. Bu sonuca göre Şekil 3.33'deki grafikte görüleceği üzere ivme ölçerin cam üzerinde olması ile kabuk üzerinde olması arasında bir fark gözlenmemiştir.



Şekil 3.32. Farklı ivmeölçer konumları



Şekil 3.33. Farklı kanallardan toplananan veri karşılaştırma grafiği

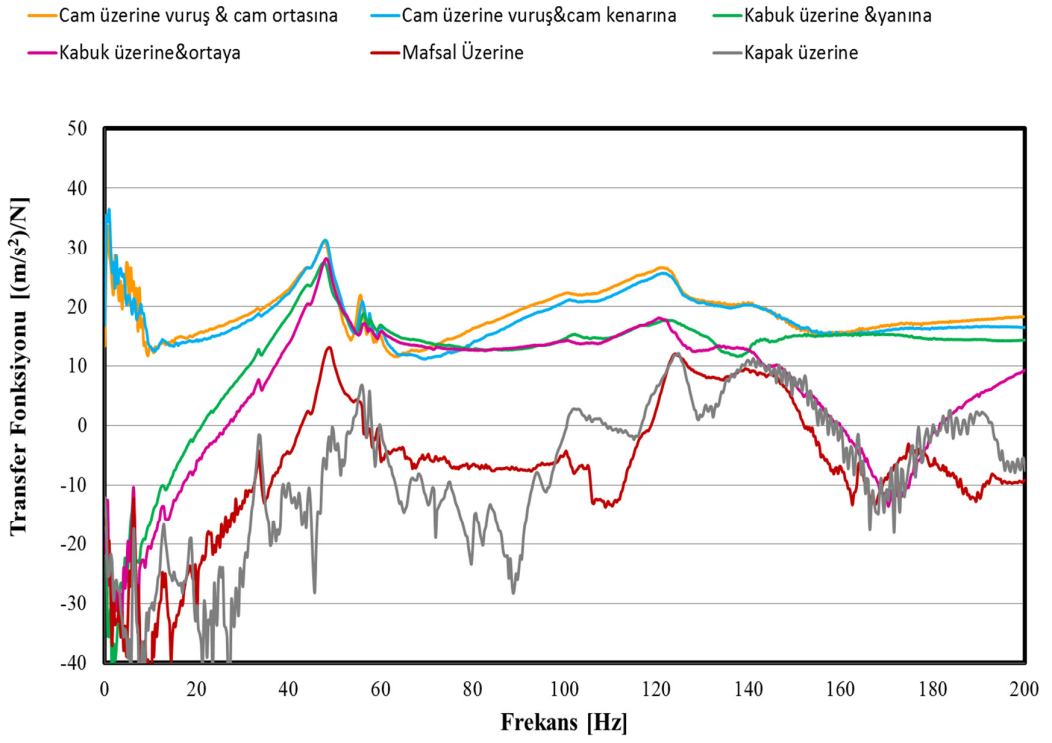
Son olarak sistemdeki diğer parçaların üzerine çekiç ile vurularak ayna yüzeyindeki ivmeölçer ile veri toplanmıştır (Şekil 3.34 ve Şekil 3.35). Bu vuruş noktalarının karşılaştırma grafiği Şekil 3.36’da verilmiştir. Ayna yüzeyine vurulduğunda oluşan transfer fonksiyonu-frekans grafiği ile diğer bölgelere vurulduğunda oluşan transfer fonksiyonu-frekans grafiğinin farklı olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.34. Ayna kapağına vuruş



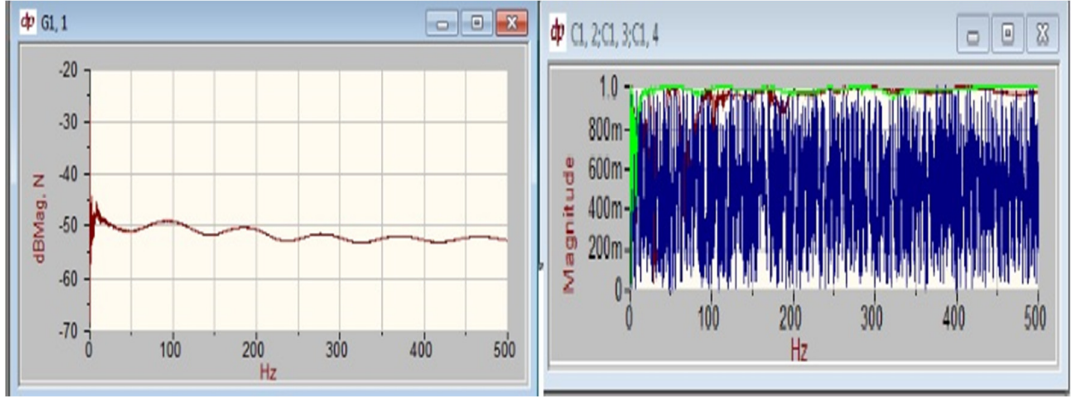
Şekil 3.35. Mafsal bölgesine vuruş



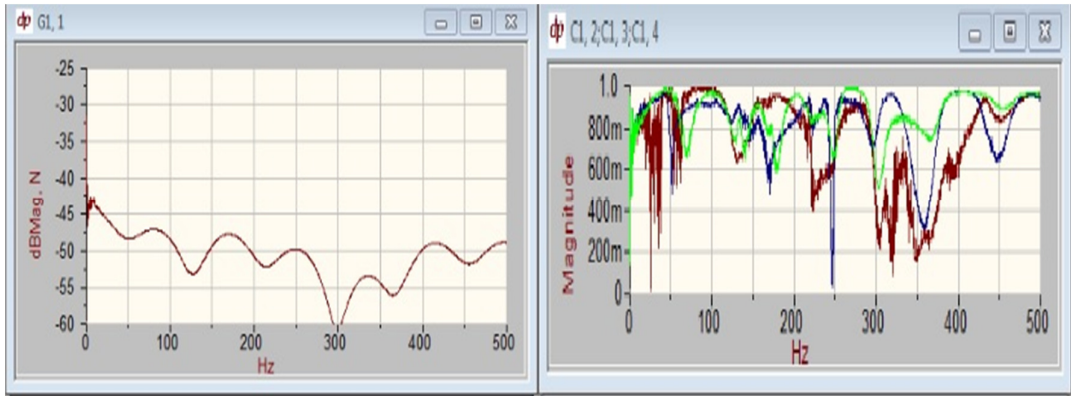
Şekil 3.36. Modal çekiç vuruş yeri karşılaştırma (konveks ayna plastik uç)

Vuruşun kabul edilir sayılması için genlik değerin 1 civarında olması gerekmektedir. Bu konuda yapılan testlerde doğru ve yanlış olan iki farklı vuruş ve frekans-genlik sonuçları arasındaki fark aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Genliği 1 civarında çıkmayan vuruşlar değerlendirilmeye alınmamıştır.

Örnek olarak aşağıda Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'deki grafiklerden görüldüğü üzere kuvvet dağılımı inişli çıkışlı yani çok değişken çıkmıştır ve buna karşılık oluşan genlik 1 aralığında sınırlı kalmamıştır. Dolayısı ile ölçüm geçersiz kabul edilip doğru vuruş yöntemi ile vuruş yapılana kadar ölçümler tekrarlanmıştır.



Şekil 3.37. Doğru vuruş sonucu



Şekil 3.38. Hatalı vuruş sonucu

### 3.2.2.2. Sarsıcı testi

Çalışmanın bu bölümünde, sarsıcı kullanılarak aynaya belirli frekans aralığında titreşim uygulanmış ve aynanın birinci doğal frekansı tespit edilmiştir. Test sırasında uygulanan titreşimin farklı olmasından kaynaklı çeşitli test yöntemleri vardır. Bu çalışmada sinüs tarama yöntemi uygulanmıştır. Sinüs tarama yönteminde, numuneye uygulanan titreşimin sinyal seviyesi sabittir, frekansı ise test şartlarında belirlenen süre içerisinde değişir. Bu tarama sadece alt frekanstan üst frekansa doğru tek yönlü değişim şeklinde veya iki yönlü değişim şeklinde olabilmektedir. Özel durumlar haricinde tarama için frekans bölgesi 5-200Hz olarak tavsiye edilir (Sadıkhoev ve ark., 1999).

Bu çalışmada kullanılan test düzeneği ve testin yapılışı aşağıda açıklanmıştır.

Aynanın sarsıcı testi için kullanılan test düzeneği,

- 1) Sarsıcı
  - 2) Sarsıcı bağlantı aparatı
  - 3) İncelenecek aynalar
  - 4) İvme ölçerler
- olarak belirtilen bileşenlerden oluşmaktadır.

Deney yapılarının cevabının ölçülebilmesi için LDS firması tarafından üretilen V650 kodlu sarsıcı kullanılmıştır (Şekil 3.39).

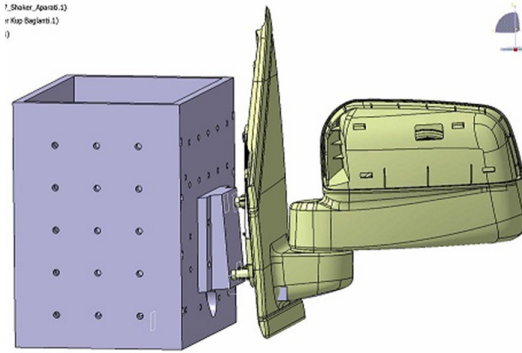
V650 geniş bir frekans aralığı kullanarak ve çeşitli doğa koşulları simule edilerek otomotiv, uçak, elektronik montaj ürünlerinin testlerini yapabilmektedir. Düşük ağırlığı olan ve yüksek performanslı yapısı sayesinde güçlü ivme ve hız performansı gösterebilmektedir. Yazılım sayesinde bilgisayar tarafından kontrol edilebilme imkanı sunmaktadır.





Şekil 3.39. Sarsıcı

Ayna, sarsıcı üzerine araçtaki konumunda bağlanabilmesi için bir bağlantı aparatı gerekmektedir. Bunun için alt tarafından sarsıcıya bağlantıları olan ve yan tarafından da aynanın montaj edilmesini sağlayan aparat yaptırılmıştır. Sarsıcı aparatı Şekil 3.40'da görülmektedir.



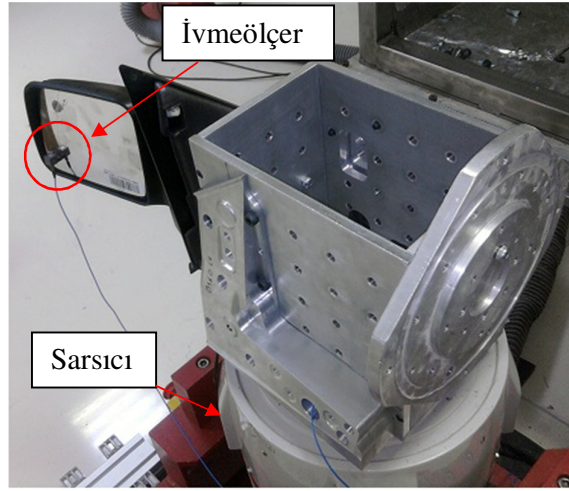
Şekil 3.40. Sarsıcı aparatı

Modal testlerde kullanılan aynı marka ivmeölçerler burada da kullanılmıştır. Kontrolleri yapılmış ve hiç kullanılmamış olan test aynaları seçilerek montaj yapılmıştır.

Sarsıcı üzerinde yapılan testlerin aşamaları aşağıda izah edilmiştir:

Öncelikle, incelenecek aynanın sarsıcı aparatına bağlantısı yapılmıştır. Daha sonra bu aparat sarsıcı üzerine yerleştirilerek aynanın araçtaki konumu ile aynı konumda durması sağlanmıştır. İvmeölçer silikon yardımı ile ayna yüzeyine modal çekiç testinde belirlenen eksen doğrultuları aynı kalacak şekilde sabitlenmiştir.

Sarsıcıya kullanılan yazılım aracılığıyla 1 g'lik ivme ve 10Hz - 200 Hz aralığında sinus sinyali taraması tanımlanarak çalıştırılmış ve test yapılmıştır. Testler esnasındaki görüntüler Şekil 3.41'de gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Sarsıcı test düzeneği

### 3.2.2.3. Lazer testi

Kaynaklarda aynanın doğal frekansının tespitinde kullanılan yöntemlerden birisi de lazer testi olarak geçmektedir. Lazer testinde lazer ışığı ayna camına tutularak yansıyan ışık hüzmesinin levha üzerinde oluşturduğu çemberin ölçülmesiyle yapılmaktadır. Sarsıcının çalışma frekansı ayna rezonans frekanslarına geldiği takdirde levha üzerine yansıyan ışık hüzmesinin şeklinde belirli şekil değişiklikleri olmaktadır.



Bu çalışmada kullanılan test düzeneği ve testin yapılışı aşağıda açıklanmıştır.

Aynanın lazer testi için kullanılan test düzeneği,

- 1) Sarsıcı
- 2) Sarsıcı bağlantı aparatı
- 3) İncelenecek aynalar
- 4) Silindirik Helyum lazer kaynağı cihazı (Şekil 3.42)
- 5) Levha

olarak belirtilen bileşenlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.42. Lazer kaynağı cihazı

Lazer testinin yapılışı aşağıda izah edilmiştir:

İlk olarak ayna titreşim testi gibi sarsıcıya bağlanmıştır. Ayna camı üzerine lazer kaynağından çıkan ışık hüzmesi gönderilmiştir. Sarsıcı  $1 \text{ m/s}^2$  lik ivme ile 0-200 Hz aralığında çalıştırılmıştır. Belirli frekans aralıkları ile durulup ekrana yansıyan ışık hüzmesinin gezdiği yön ve uzaklık ölçülmüştür.

Test esnasında laboratuvar ortamında çekilmiş fotoğraflar Şekil 3.43'de verilmiştir.



Şekil 3.43. Lazer test düzeneği

#### 3.2.2.4. Yol testi

Prototiplerin tamamı üretildikten sonra yol testleri yapılmıştır. Yol testi uygun trafik alanlarında ve uygun hava koşullarında yapılmıştır. Araç çeşitli hız ve devirde kullanılarak aynada meydana gelen titreşimler değerlendirilmiştir.



Şekil 3.44. Yol testi

#### 4. BULGULAR

Bu bölümde, mevcut ve prototip aynaların titreşim testlerinden elde edilen bulgular ve sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmış bilgisayar destekli (Hypermesh programı) modal analiz sonuçları verilmiştir. Doğal frekanslar, hem sonlu elemanlar programı kullanılarak hem de deneysel çalışmalar sonucunda bulunmuştur.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar üç başlık altında ele alınmıştır. Bunlar:

- 1) Sonlu elemanlar programıyla modal analiz sonuçları
- 2) Modal çekiş testi sonuçları
- 3) Sarsıcı testi sonuçları

Testlerde aynı cam geometrisi için toplam 6 farklı ayna kullanılmıştır. Bunlardan birisi mevcut ayna iken diğer beşi bu tez çalışması için hazırlanan prototip aynalardır. Prototipler hazırlanırken öncelikle malzeme yani elastisite modülü ve yoğunluk değerleri değiştirilerek sistemin katılığı ile oynanmış ve bu değişimin doğal frekanslar üzerindeki etkilerine bakılmıştır. İkinci alternatif olarak da ayna yapısının kütlesi değiştirilmiş ve bu değişimin frekanslara etkisine bakılmıştır.

Bu çalışmalar kapsamında 5 farklı prototip üretilmiş ve bu prototipler “A” , “B” , “C” , “D” , “E” , “F” harfleri ile tanımlanmıştır. “A” mevcut aynayı, “B” kapak malzemesinin değiştirildiği aynayı , “C” gövde malzemesinin değiştirildiği aynayı, “D” kapak ve gövde malzemesinin değiştirildiği aynayı, “E” şase malzemesinin değiştirildiği ve “F” de kütle ilave edilmiş aynayı temsil etmektedir.

Çizelge 4.1. Prototipler

<b>Prototip</b>	<b>Açıklaması</b>
<b>A</b>	Mevcut Durum (Aracın kendi aynası)
<b>B</b>	Mevcut Duruma Göre Yalnızca Kapak Malzemesi Değişen Ayna
<b>C</b>	Mevcut Duruma Göre Yalnızca Gövde Malzemesi Değişen Ayna
<b>D</b>	Mevcut Duruma Göre Kapak ve Gövde Malzemesi Birlikte Değişen Ayna
<b>E</b>	Mevcut Duruma Göre Yalnızca Şase Malzemesi Değişen Ayna
<b>F</b>	Mevcut Duruma Göre Yalnızca Ağırlık İlavesi

Mevcut ayna ve hazırlanan 5 farklı prototip aynaya ait malzeme özellikleri Çizelge 4.2-4.7’de aynaları oluşturan temel parçalara göre verilmiştir.

Çizelge 4.2. Mevcut durum (A)

<b>Alt Parça</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Elastisite Modülü (Mpa)</b>	<b>Poisson Oranı</b>
Braket	Aluminyum	2,65	72000	0,35
Gövde	ABS	1,06	2300	0,35
Şase	PA6.6, 30%	1,36	8000	0,35
Kapak	ABS	1,06	2300	0,35
Mekanizma	Zamak	6,6	96000	0,27
Cam	Cam	2,4	61000	0,2
Cam Tutucu	ABS	1,06	2300	0,35

Çizelge 4.3. Kapak malzemesi (B)

<b>Alt Parça</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Elastisite Modülü (Mpa)</b>	<b>Poisson Oranı</b>
Braket	Aluminyum	2,65	72000	0,35
Gövde	ABS	1,06	2300	0,35
Şase	PA6.6, 30%	1,36	8000	0,35
Kapak	PA6.6, 30%	1,36	8000	0,35
Mekanizma	Zamak	6,6	96000	0,27
Cam	Cam	2,4	61000	0,2
Cam Tutucu	ABS	1,06	2300	0,35

Çizelge 4.4. Gövde malzemesi (C)

<b>Alt Parça</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Elastisite Modülü (Mpa)</b>	<b>Poisson Oranı</b>
Braket	Aluminyum	2,65	72000	0,35
Gövde	PA6.6, 30%	1,36	8000	0,35
Şase	PA6.6, 30%	1,36	8000	0,35
Kapak	ABS	1,06	2300	0,35
Mekanizma	Zamak	6,6	96000	0,27
Cam	Cam	2,4	61000	0,2
Cam Tutucu	ABS	1,06	2300	0,35

Çizelge 4.5. Kapak ve gövde malzemesi (D)

Alt Parça	Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (Mpa)	Poisson Oranı
Braket	Aluminyum	2,65	72000	0,35
Gövde	PA6.6, 30%	1,36	8000	0,35
Şase	PA6.6, 30%	1,36	8000	0,35
Kapak	PA6.6, 30%	1,36	8000	0,35
Mekanizma	Zamak	6,6	96000	0,27
Cam	Cam	2,4	61000	0,2
Cam Tutucu	ABS	1,06	2300	0,35

Çizelge 4.6. Şase malzemesi (E)

Alt Parça	Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (Mpa)	Poisson Oranı
Braket	Aluminyum	2,65	72000	0,35
Gövde	ABS	1,06	2300	0,35
Şase	PA6.6, 50%	1,56	16500	0,35
Kapak	ABS	1,06	2300	0,35
Mekanizma	Zamak	6,6	96000	0,27
Cam	Cam	2,4	61000	0,2
Cam Tutucu	ABS	1,06	2300	0,35



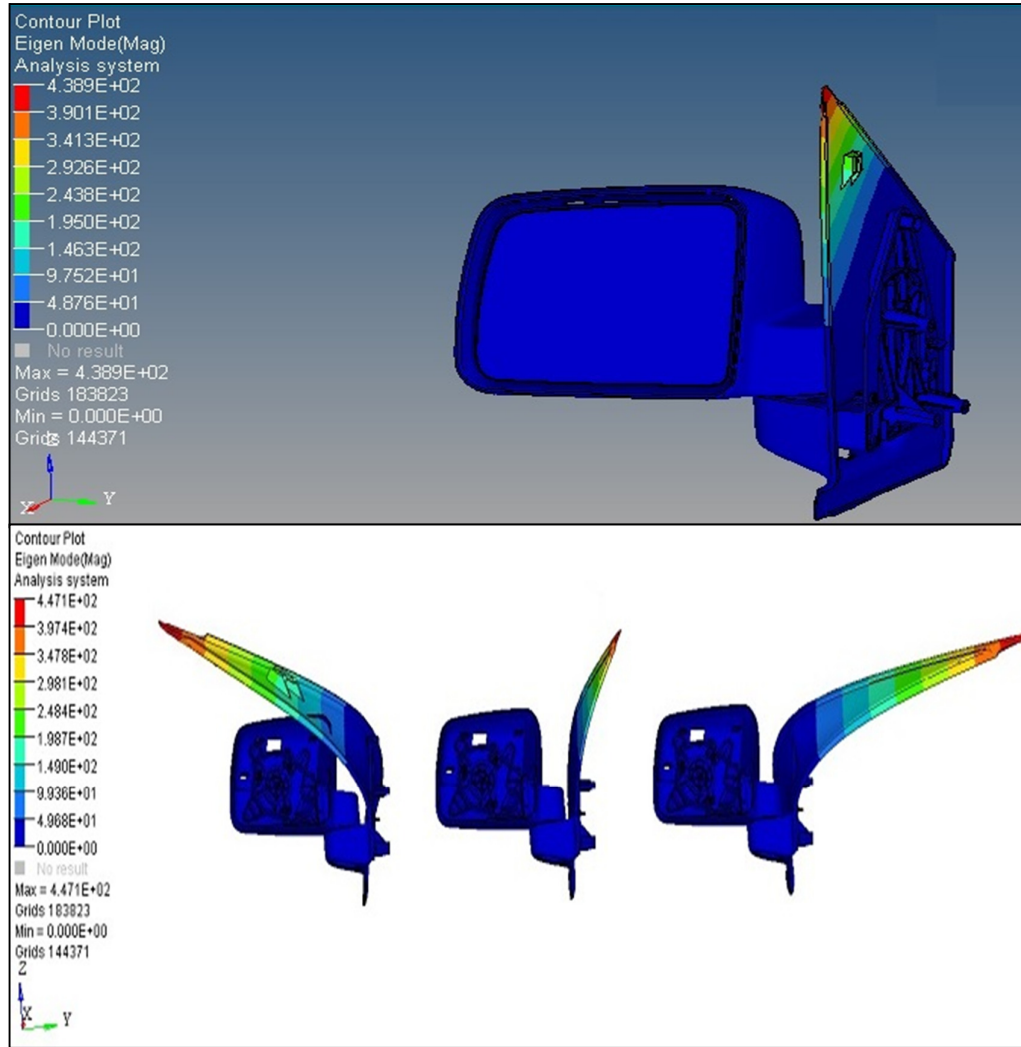
#### 4.1. Sonlu Elemanlar Analizi Bulguları

Dış dikiz aynanın modal analizi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 3.2.1.Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modal Analiz başlığı altında belirtilen sınır koşulları ile yapılmıştır. Hesaplanan ilk üç doğal frekans aşağıdaki çizelgede sunulmuştur. Kurulan modelin malzeme bilgileri Çizelge 4.8’de gösterilmektedir. Bu analiz mevcut durumu ifade etmektedir ve sonraki bölümde karşılaştırma çizelgelerinde 1 numaralı analiz olarak tanımlanmıştır.

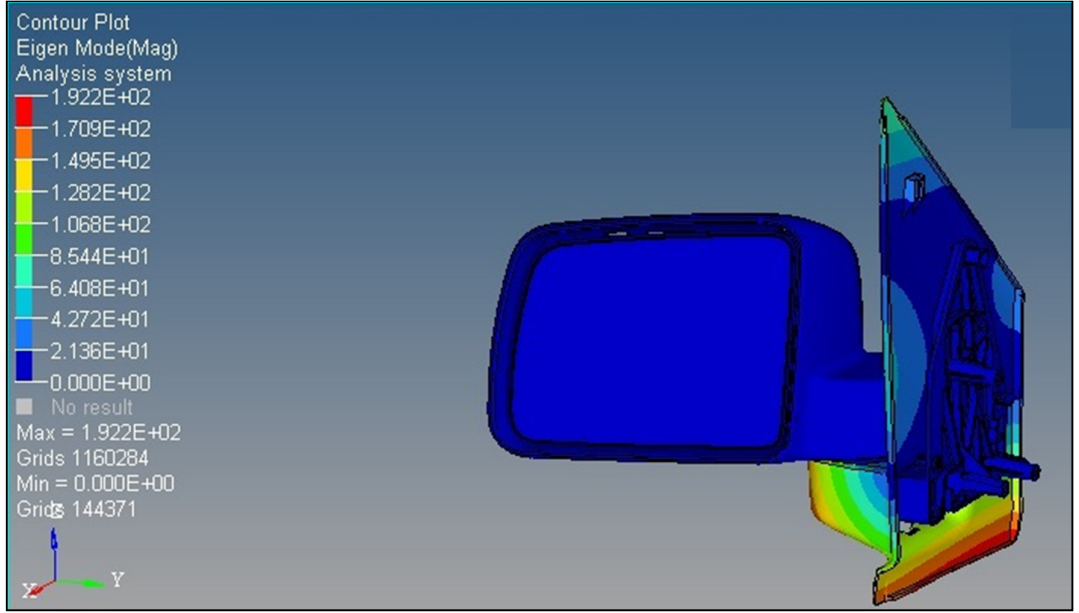
Çizelge 4.8. Sonlu elemanlar analizi ile hesaplanan doğal frekanslar

Analiz/Test Türü	Ayna Camı Türü	Doğal Frekans	Prototip Aynalar				
			A	B	C	D	E
Sonlu Elemanlar Analizi	Düz	1. (Hz)	52	71	51	72	52
	Konveks		52	71	51	72	52
	Düz	2. (Hz)	62	83	60	83	62
	Konveks		62	83	60	83	62
	Düz	3. (Hz)	71	88	72	99	73
	Konveks		71	88	72	99	73

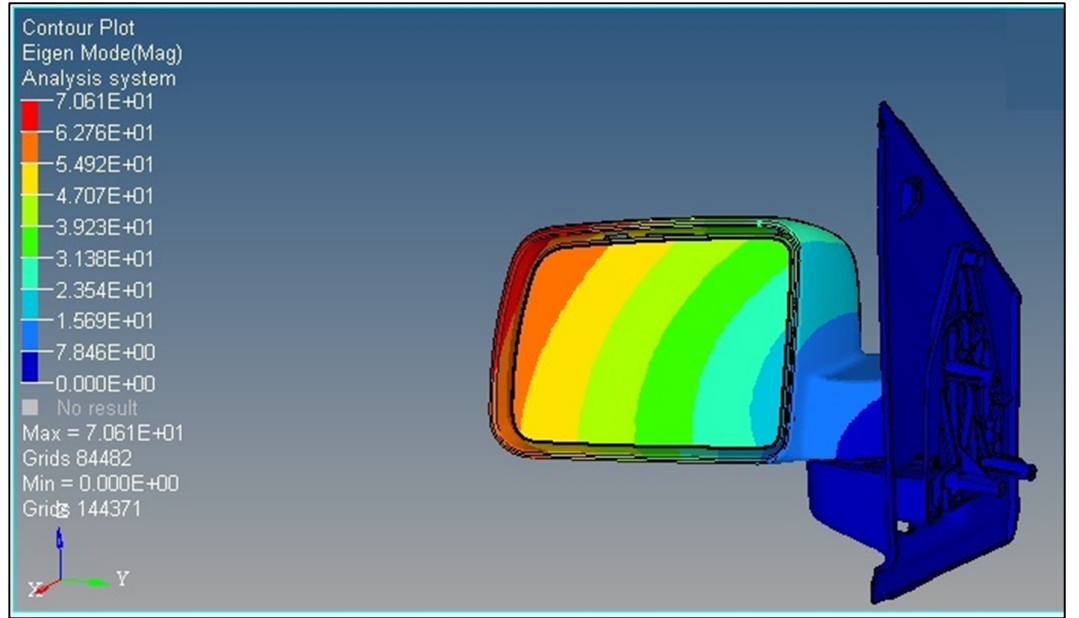




Şekil 4.2. Birinci doğal frekans: 52 Hz



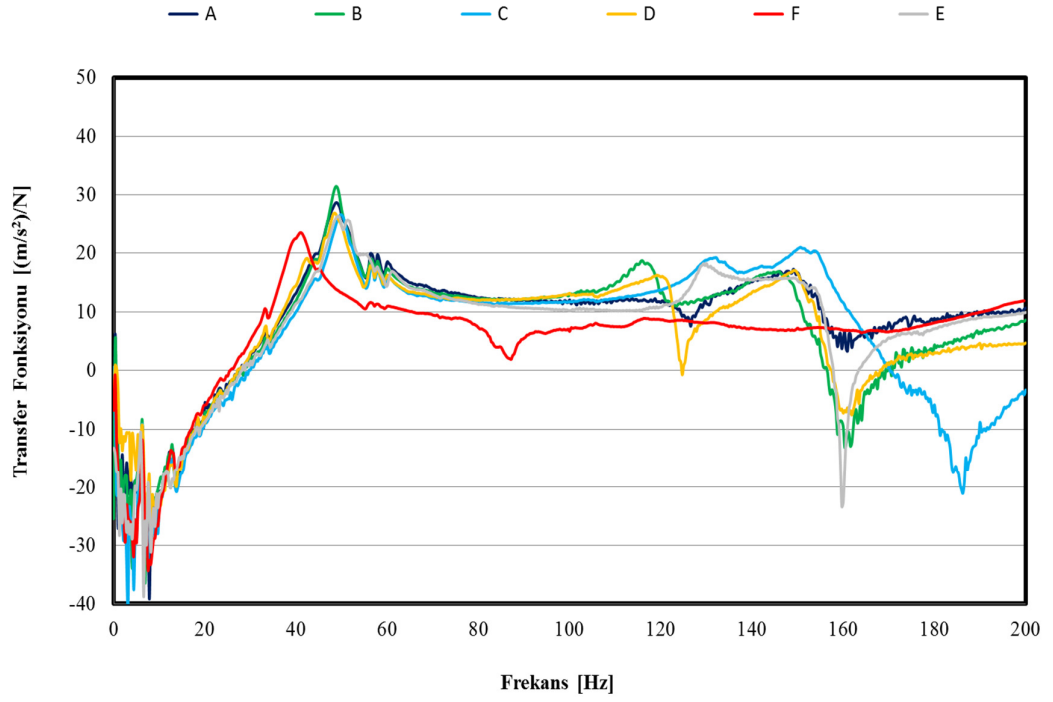
Şekil 4.3. İkinci doğal frekans: 62 Hz



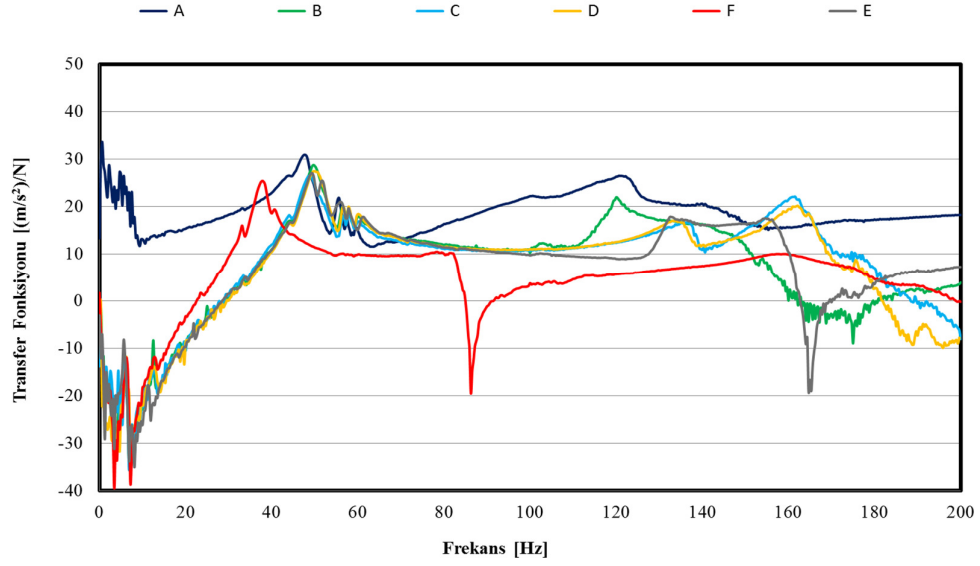
Şekil 4.4. Üçüncü doğal frekans: 71 Hz

## 4.2. Modal Çekiç Testi Bulguları

Modal çekiç testlerinin sonucunda elde edilen grafikler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu grafiklerden okunan frekans değerleri ise Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Yapılan modal çekiç testlerinde 0-200 Hz aralığında sadece birinci doğal frekans tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Düz ayna için mevcut durum ve prototip grafiği

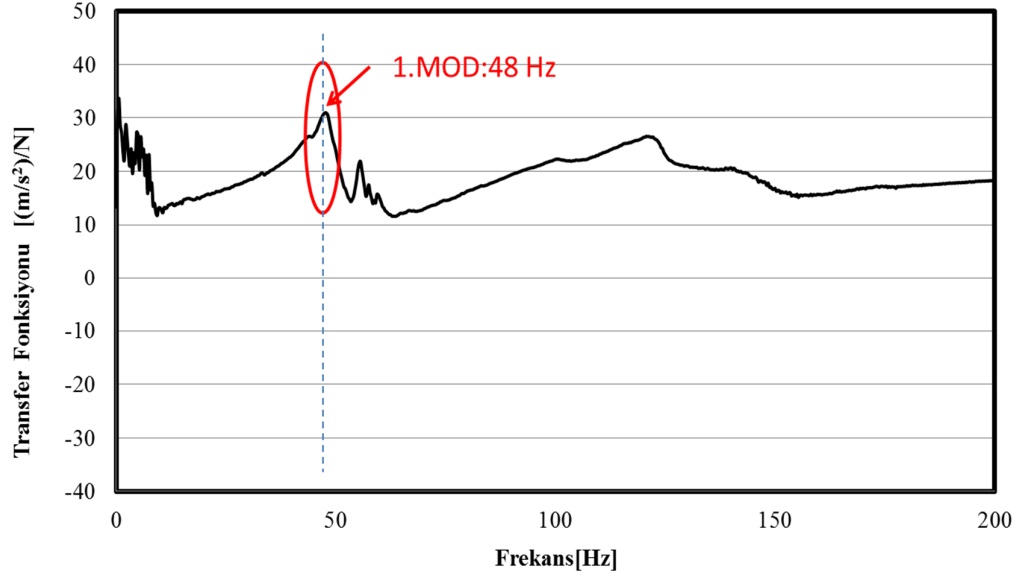


Şekil 4.6. Konveks ayna için mevcut durum ve prototip grafiği

Çizelge 4.9. Modal çekiç analizi ile bulunan doğal frekansları

Analiz/Test Türü	Ayna Camı Türü	Doğal Frekans	Prototip Aynalar					
			A	B	C	D	E	F
Modal Çekiç Testi	Düz	1. (Hz)	49	48	49	47	49	40
	Konveks		48	50	49	49	49	38

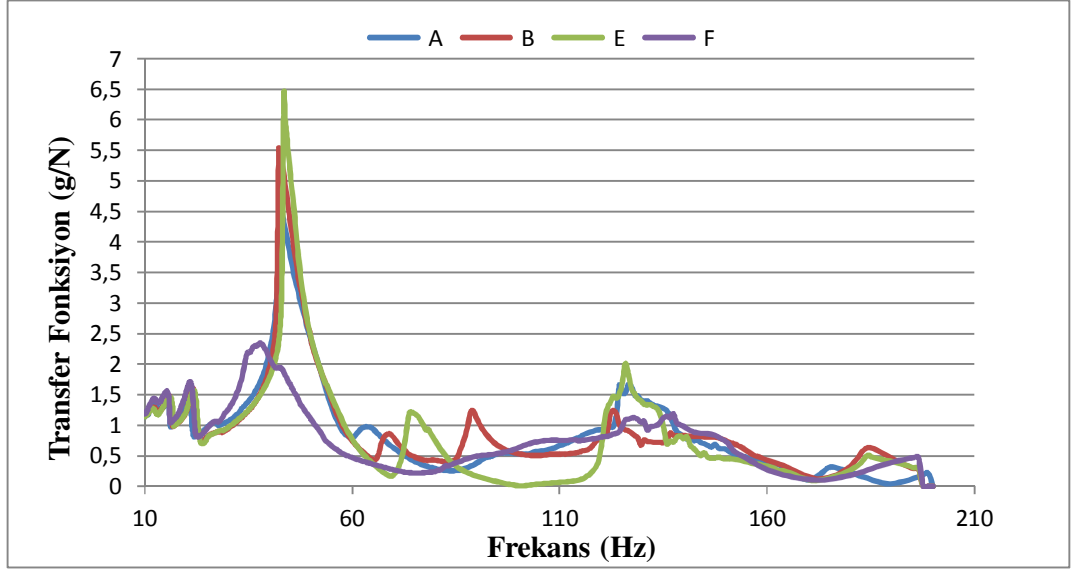
Şekil 4.7.'deki grafikte doğal frekansın grafik üzerinden okunmasına dair açıklayıcı gösterim yer almaktadır. Grafikten de görüldüğü üzere eğrinin tepe yaptığı ilk noktaya karşılık gelen frekans değeri birinci doğal frekans değeri olarak okunmuştur. Modal çekiç testinde 0-200 Hz arasında yalnızca birinci doğal frekans tespit edilmiştir.



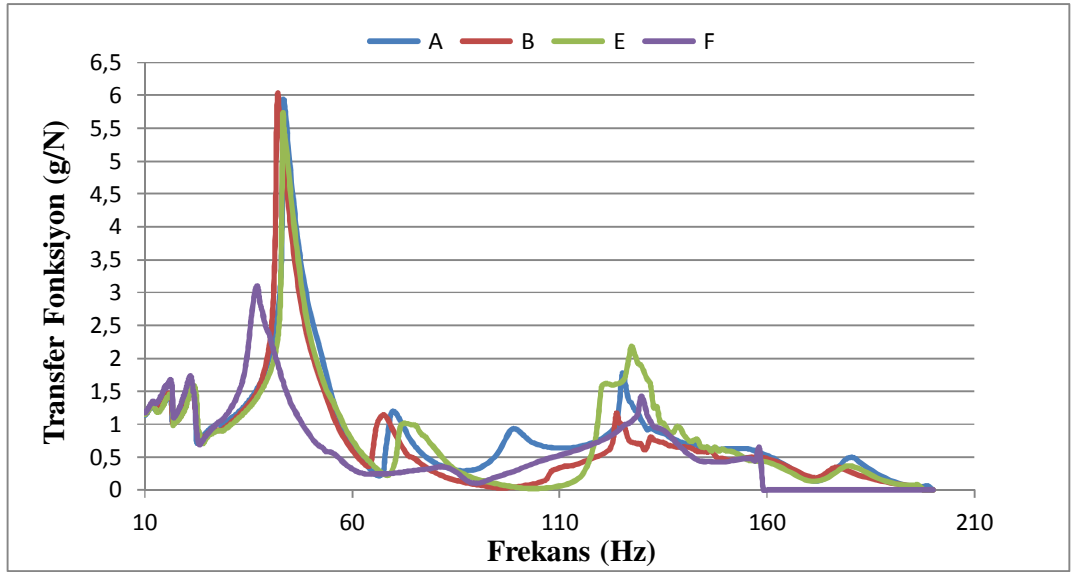
Şekil 4.7. Birinci doğal frekansın grafik üzerinden tespit edilmesi

### 4.3. Sarsıcı Testi Bulguları

Önceki bölümde anlatıldığı şekilde, hem düz cam hem de konveks cam aynalar için sarsıcı testi yapılmıştır. Kullanılan yazılım sayesinde test sonuçları grafikler ile oluşturulmuştur. Bu grafikler üzerinde tepe noktaları işaretlenerek ilk üç doğal frekans değerleri okunabilmiştir. Şekil 4.8'deki grafiklerde önce konveks cam için grafikler üzerinde ilk üç doğal frekans gösterilmiştir. Daha sonra Şekil 4.9'da düz cam için doğal frekans değerleri gösterilmiştir. Test sırasında ekran görüntüsü olarak kayıtlı edilen bir grafik örneği şekilde verilmiştir.



Şekil 4.8. Konveks camlı ayna grafikleri



Şekil 4.9. Düz camlı ayna grafikleri

Bu grafiklerden okunan doğal frekans değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Sarsıcı testi analizi ile bulunan doğal frekansları

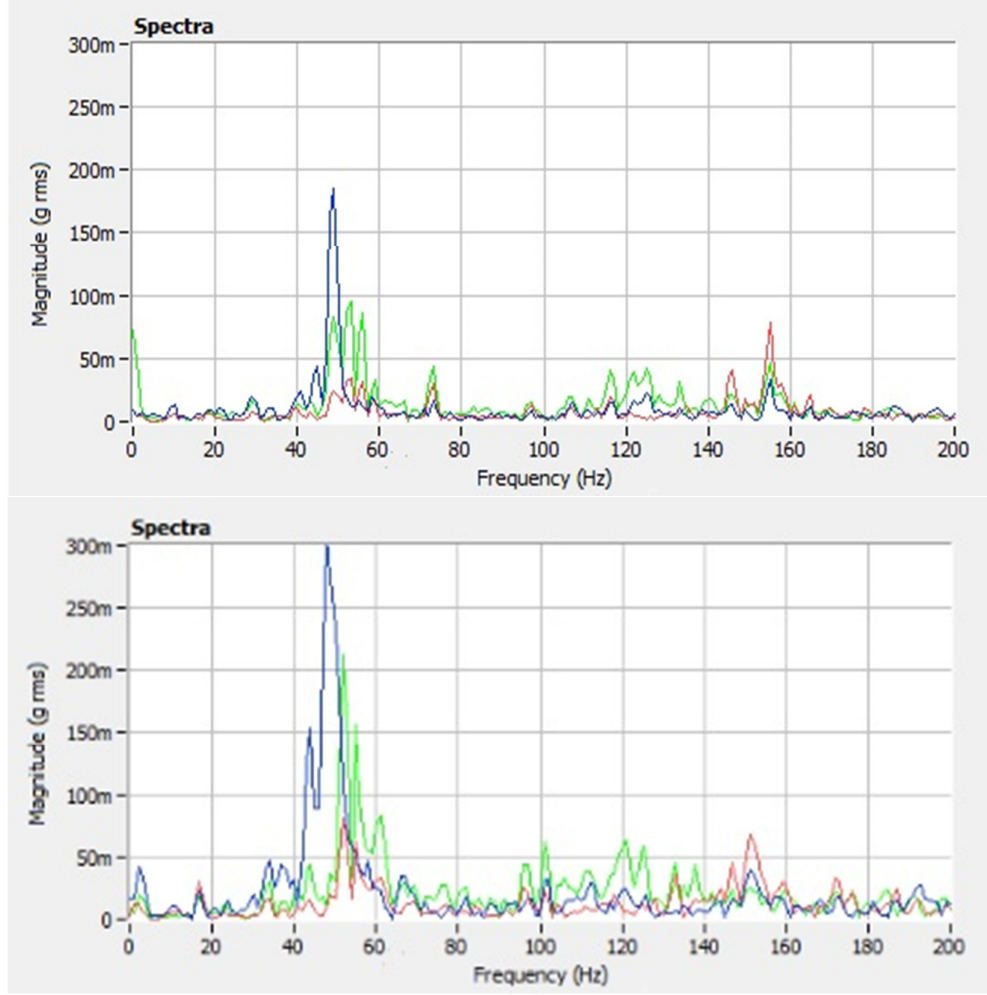
Analiz/Test Türü	Ayna Camı Türü	Doğal Frekans	Prototip Aynalar					
			A	B	C	D	E	F
Sarsıcı Testi	Düz	1. (Hz)	44	37	-	42	43	-
	Konveks		43	38	-	43	44	-

#### 4.4. Lazer Testi Bulguları

Lazer testinde aynalar sarsıcı üzerinde 0-200 Hz aralığında titreştirilmiştir. Sarsıcının çalışma frekansı aynanın doğal frekansı ile aynı olduğu durumda ışık levha üzerinde olağan yansımından saparak düzensiz bir şekil almaktadır. Aynanın doğal frekansı dışındaki frekanslarda ışığın aldığı şeklin düzgün olduğu gözlemlenmiştir. Işığın levha üzerinde düzensiz bir şekil oluşturmasından o frekansın aynanın doğal frekansı olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.5. Yol Testi Bulguları

Yol testleri belirlenen test aracı ile, 1 şoför, 1 test mühendisi ve 3 gözlemci eşliğinde yapılmıştır. Test mühendisi belirli hız ve devirlerde ayna camlarının üzerine yerleştirilen ivme ölçerler ile yol şartlarında veriler toplamıştır. Düz camlı ayna için elde edilen veriler aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklerden birincisi (üstte) araç 2100 d/dk ve 70 km/h hızla giderken, ikincisi ise (altta) 2800d/dk ve 120 km/h lik hızla giderken toplanan verilerden oluşturulmuştur.



Şekil 4.10. Düz camlı ayna için yol testi sonuçları

Yol testleri esnasında araçta bulunan gözlemciler ilk hareket anından itibaren 130 km/hızlara kadar sübjektif olarak titreşim büyüklüğü konusunda yorumlar yapmışlardır. Gözlemcilerin bu yorumları birleştirilerek titreşim büyüklüğü hakkında görsel sonuçlara varılmış ve bunlar kayıt altına alınmıştır. Testler tüm gün süren bir çalışma sonrası tamamlanmıştır. Test sürüşleri sırasında elde edilen gözlem sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir:



Çizelge 4.11. Yol testi

Araç Kullanım Şartları	Hız (km/h)	70	80	90	100	110	120
	Vites	4	4	4	4	5	5
	Devir (d/dak)	2100	2400	2625	3000	2500	2800
Test Edilen Ayna	Konveks E	yok	yok	yok	yok	yok	yok
	Düz E	yok	yok	yok	yok	yok	yok
	Konveks F	yok	yok	yok	yok	yok	yok
	Konveks A	yok	yok	yok	yok	yok	yok
	Düz F	yok	yok	hafif titreşim	hafif titreşim	hafif titreşim	hafif titreşim
	Düz A	yok	yok	hafif titreşim	hafif titreşim	hafif titreşim	hafif titreşim
	Düz D	yok	yok	yok	hafif titreşim	hafif titreşim	hafif titreşim
	Konveks D	yok	yok	yok	yok	yok	yok

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmayla hafif ticari araçlarda dış dikiz aynasının mekanik titreşim özellikleri incelenmiştir. Çalışmalar, sonlu elemanlar programı ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki bölüm üzerinden yürütülmüştür. Sonlu elemanlar analiz sonuçlarıyla deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar ile bilgisayar analizleri karşılaştırıldığında mevcut ayna (A) için birinci doğal frekans değerlerinin birbirleri ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Yapılan testlerde aynanın birinci doğal frekansı 0-200 Hz aralığında belirgin şekilde ortaya çıktığı halde ikinci ve üçüncü doğal frekanslar modal çekiç ve sarsıcı testlerinde tespit edilememiştir. Song ve Ayorinde (2005)'de yaptıkları çalışmada, aynanın analiz ve test sonuçlarını karşılaştırdıklarında birinci doğal frekansın test değerleri ile uyumlu olduğunu fakat ikinci ve üçüncü modlarda yüksek sapmalar gösterdiğini belirtmişlerdir. Bunun sebebini bilgisayar ortamında yapılan modal analizin lineer şartlarda olmasına rağmen aynanın gerçek titreşim hareketinin nonlinear karakteristikte olmasına bağlamışlardır.

Bu çalışma kapsamında yapılan sonlu eleman analizleri de lineer modellerle çözülmüştür. Oysa ki; sarsıcı testinde aynaya farklı ivme (1g ve 1 m/s<sup>2</sup>) girişleri uygulandığında farklı doğal frekans değerleriyle karşılaşmış olması ayna titreşiminin uyarıcı girişle bağlılığını diğer bir ifadeyle lineer olmayan bir karakteristiğe sahip olduğunu doğrulamaktadır. Bu nedenle lineer modellerle çözüm yapılan sonlu eleman yazılımından elde edilen doğal frekans değerleri ile testlerden bulunan sonuçlar arasında farklılıklar çıkmış, bunun giderilebilmesi için bir nonlinear analize ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır.

B, C, D, E ve F prototip aynalarının test ve analiz sonuçlarının mevcut durum ile karşılaştırılması Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Analiz ve test sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz/Test Türü	Ayna Camı Türü	Doğal Frekans	Prototip Aynalar					
			A	B	C	D	E	F
Sonlu Elemanlar Analizi	Düz	1. (Hz)	52	71	51	72	52	-
	Konveks		52	71	51	72	52	-
	Düz	2. (Hz)	62	83	60	83	62	-
	Konveks		62	83	60	83	62	-
	Düz	3. (Hz)	71	88	72	99	73	-
	Konveks		71	88	72	99	73	-
Modal Çekiç Testi	Düz	1. (Hz)	49	48	49	47	49	40
	Konveks		48	50	49	49	49	38
Sarsıcı Testi	Düz	1. (Hz)	44	-	-	42	43	37
	Konveks		43	-	-	43	44	38

Sonlu elemanlar analizi sonuçları incelendiğinde, B ve D aynalarında birinci doğal frekans değerinin mevcut duruma göre hayli yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu prototiplerin her ikisinde de kapak malzemesi değiştirilmiş ve elastisite modülü mevcut aynaya göre daha yüksek olan malzemeler kullanılmıştır. Elastisite modülünün artması sistemin rijitliğini arttıracığından doğal frekansların yükselmesi teorik olarak beklenebilir bir durumdur. Ancak aynı etkinin modal çekiç test sonuçlarına yansımamış olması dikkat çekicidir. Öte yandan C ve E prototiplerinde de gövde ve şasede mevcut aynaya göre daha yüksek elastisite modülüne sahip malzemeler kullanılmış ancak bu durumda doğal frekanslarda B ve D'deki gibi yükseliş olmamış hemen hemen aynı değerde kalmıştır. Gövde ve şasenin katılığı arttırıldığında analiz sonuçları ile test sonuçları birbiri ile uyumlu iken kapak malzemesinin katılığının arttırılması halinde analizde testlere göre çok daha yüksek frekans değerlerinin elde edilmiş olması analizde kapak ile ilgili tanımlamaların bir kez daha gözden geçirilmesi gerekliliğine işaret etmiştir. Sonlu eleman yöntemi ile yapılan modal analiz için hazırlanan ayna modelinde kapak ile gövde arasındaki bağlantı rijit olarak tanımlanmış, bu parçaların birbirlerine

göre yapabilecekleri bütün bağıl hareketler kısıtlanmıştır. Oysa ki gerçekte gövdede mms mekanizması diye isimlendirilen kısım ile kapak arasında bir yay bağlantısı bulunmaktadır. Bu yayın rijitliği oldukça yüksek olduğundan modelde bu bağlantı yüzey yüzeye temas olarak tanımlanmış ve parçalar birbirlerine sabitlemiştir. Kapağın araç ile olan bağlantısında ise modelde sadece 3 noktadan sabitleme yapılmış kapağın araç ile temas eden diğer kısımları serbest bırakılmıştır. Bu şekilde yapılan analizlerde kapağın üst kısmının serbest olması nedeniyle araçtan ayrılarak serbestçe titreştiği görülmesine rağmen gerçekte böyle bir durum söz konusu değildir ve kapak ile araç yüzeyinin teması sürekli sağlanmaktadır. Sonlu eleman modelinde kapak ile ilgili tanımlanan bu sınır şartlarının gerçeği tam olarak yansıtmaması kapak malzemesine yönelik yapılan değişikliklere ait analiz sonuçları ile test sonuçlarının birbirlerinden farklı çıkmasına sebep olmuştur.

C prototipinde aynanın gövde kısmında elastisite modülü mevcut aynadakine göre daha yüksek olan bir malzeme kullanılmıştır. Analiz sonucunda bu değişikliğin mevcut duruma göre aynanın birinci doğal frekans değerinde ciddi bir farklılık yaratmadığı gözlemlenmiştir. Aynı sonuç modal çekiç testlerinde de ortaya çıkmış, gerek düz camlı ayna gerekse konveks camlı ayna için doğal frekans değeri sadece 2Hz civarında artmıştır.

E olarak tanımlanan prototip aynada, aynanın şase isimli parçasında elastisite modülü daha yüksek olan bir malzeme kullanılmış ancak yapılan analiz ve test sonuçlarına göre bu değişikliğin birinci doğal frekans üzerinde pek etkisinin olmadığı görülmüştür.

F prototipinde ise diğerlerinden farklı olarak malzeme değişikliği yerine ayna üzerinde kütle değişikliğine gidilmiş ve aynada cam tutucu parçanın üzerine 210gr'lık bir kütle eklenmiştir. Sistemin kütledeki artışın doğal frekansları aşağı çekmesi teorik olarak beklenen bir durumdur ve burada da teoriyle uygun bir şekilde aynanın birinci doğal frekansında 10Hz'e kadar düşüşler meydana gelmiştir.

Genel olarak sonuç tablosuna bakıldığında bütün prototipler için sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan modal analiz sonuçlarının testlerden bulunanlara göre yüksek

olduğu görülmektedir. Bu durum, sonlu eleman yöntemi için hazırlanan modelin gerçek sisteme göre daha rijit olduğu Şeklinde yorumlanabilir. Sistemin CAE modeli hazırlanırken her ne kadar malzeme ve kütle değerleri olabildiğince gerçek değerlere uygun verilmiş olsa da aynayı oluşturan çok sayıdaki parçanın birbirleri ile olan temaslarını ve araç ile olan bağlantılarını tanımlarken gerçek Őartlar tam olarak modele yansıtılamamıştır. Öte yandan sonlu eleman modelinde ayna camı bir noktasal kütle olarak cam tutucusu üzerine yerleştirilmiş cam ile tutucu arasındaki esneklik ihmal edilmiştir. Bütün bu sebeplerden dolayı hazırlanan model gerçek aynaya süre daha katı bir yapıya sahip olmuş ve doğal frekanslar testlerde elde edilen değerlerden bir miktar yüksek çıkmıştır. Yine de doğal frekansların eldesinde ortaya çıkan 3-4 Hz’lık bu farklılık kabul edilebilir bir hata olup hazırlanan modelin eksiklerine rağmen kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Yol testlerine ait grafikler ve gözlem tablosu incelendiğinde aynanın doğal frekansının 50Hz civarında olduğu ve yüksek hızlarda aynada gözle farkedilebilen hafif bir titreşim hareketinin oluştuğu söylenebilir. Bu titreşimin sebebinin literatürde bulunan benzer çalışmalarda da belirtildiği gibi aerodinamik etkiler olduğu düşünülmektedir. Watkins ve Oswald (1999) yaptıkları çalışmada, 20 Hz zerindeki frekanslarda oluşan titreşimlerin mekanik kaynaklı etkilerden ziyade aerodinamik kuvvetlerin etkisiyle oluştuğunu belirtmişlerdir.

## KAYNAKLAR

**Anonim, 2003.** Type-approval of devices for indirect vision and of vehicles equipped with these devices, amending Directive 70/156/EEC and repealing Directive 71/127/EEC. Directive 2003/97/EC of the European Parliament and the council of November 2003, Bruxelles.

**Arkan, M.A.S.** Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları, ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü, Türkiye.

**Çağlayan, İ.H. 2009.** Rezonans: Makinaların ve yapıların gizli düşmanı. *Mühendis ve Makine*,50(598): 55-60.

**Edis, K., Tahralı, N. 2006.** 4x4 Arazi taşıtlarının şasi ve karoserlerinde gerilme ve titreşim analizleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Erdoğan, A., Yüksel, Ş. 2007.** Radyal dış lastiğin serbest titreşim analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

**Hahnel, U.J.J., Hecht, H. 2012.** The impact of rear-view mirror distance and curvature on judgements relevant to road safety. *Ergonomics*, 55(1): 23-36.

**Hwang, K.H., Lee, K. W., Park, G. J. 2001.** Robust optimization of an automobile rearview mirror for vibration reduction. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 21(4): 300–308.

**Jaitlee, R., Alam, F., Watkins, S. 2004.** Pressure measurements on an automobile side rear view mirror. 15th Australasian Fluid Mechanics Conference, The University of Sydney, 13-17 December Sydney, Australia.

**Jaitlee, R., Alam, F., Watkins, S. 2005.** Vibration of automobile side view mirror due to aerodynamic inputs. Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering 2005, 28 - 30 December 2005, Dhaka, Bangladesh.

**Kim, J. H., Han, Y.O. 2011.** Experimental investigation of wake structure around an external rear view mirror of a passenger car. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(12): 1197-1206.

**Larchez, A., Naghdy, F. 2005.** Adaptive modeling of vehicle mirror vibrations by predictive compensation. International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, 28-30 November, 2005, Vienna.

**Nyhof, E.J., O'Farrell, D.J. 1996.** Vibration Stabilized Rearview Mirror for Vehicles, Patent No: US5818650 A.

**O'Grady, M., McCarthy, B., Donellan, I., McHugh, P.E., Heslin, P. 1996.** Vibration in an automobile internal rear-view mirror. *Key Engineering Materials*, 118-119: 35-42.

**Sadikhov, E., Karaböce, B., Bilgiç, E., Kırbaş, C. 1999.** Endüstriyel ürünlerde titreşim testleri. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi III.Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, 7-8 Ekim 1999, Eskişehir.

**Schwarz, B. J., Richardson, M. H. 1999.** Experimental Modal Analysis. CSI's 1999 Reliability Week, 4-7 October, 1999 Orlando, FL.

**Seto, W. W., Toprak, T. 2003.** Mekanik Titreşimler. Birsen Yayınevi, İstanbul, 319 s.

**Sevim, B., Bayraktar, A. 2010.** Kemer barajların dinamik davranışlarının sonlu eleman ve deneysel modal analizi yöntemleriyle belirlenmesi. *Doktora Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

**Şimşek, A., Morgül, Ö.K. 2010.** Bir iş makinesi kabininin modal analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

**Song, F., Ayorinde, E.O., 2005.** Influence of material property on vibration characteristics of the automotive rearview mirror. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 18(4): 291-305.

**Tomac, M., Yugulis, K.L., Gregory, J. W., Loftus, J., Ferrito, T. 2011.** Investigation of side view mirror flow induced vibration phenomena. *ASME Journal of Fluids Engineering*, 133,121102.

**Watkins, S., Oswald, G. 1999.** The flow field of automobile add-ons — with particular reference to the vibration of external mirrors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 83: 541-554.

**Yücel, A., 2009.** Gemilerde ortaya çıkan yerel titreşim problemlerinin teorik ve deneysel analizi. *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selma YILDIRIM ARAS

Doğum Yeri ve Tarihi : Tunceli 01.10.1986

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi 2000-2004

Lisans : Uludağ Üniversitesi 2005-2009

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi 2011-2014

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Ficosa Otomotiv A.Ş. Bursa 2010-2013

İletişim (e-posta) : slmayldrm@yahoo.com

Yayımları : Yıldırım, S., Telli, S., Karabulut, H. 2014. Bir hafif ticari araçta dış dikiz aynası titreşimlerinin incelenmesi. Otekon'14 7.Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 26-27 Mayıs, 2014, Bursa