



**ARAÇLARDA MOTOR SESLERİNİN KABİN İÇİNDEKİ  
ETKİLERİNİN AZALTILMASI**

**Ümit ARDA**



T. C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARAÇLARDA MOTOR SESLERİNİN KABİN İÇİNDEKİ ETKİLERİNİN  
AZALTILMASI**

**Ümit ARDA**  
<https://orcid.org/0000-0002-6875-5253>

Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIĞ KOCABIÇAK  
(Danışman)  
<https://orcid.org/0000-0003-3292-8324>

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bursa- 2019  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Ümit ARDA tarafından hazırlanan "Araçlarda motor seslerinin kabin içindeki etkilerinin azaltılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

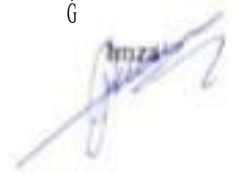
**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Eray Solmaz  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Taşıt Tasarımı Anabilim Dalı

İmza  


Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erdem UZUNŞİŞLİ  
Bursa Teknik Ünj., Müh. ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Otomotiv Anabilim Dalı

İmza  


Yukarıdaki Sonuç Onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN



**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, iğitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- bağıkalarının 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.**



01/08/2019

**Ümit ARDA**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ARAÇLARDA MOTOR SESLERİNİN KABİN İÇİNDEKİ ETKİLERİNİN AZALTILMASI

Ümit ARDA

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIĞ KOCABIÇAK

Gelişen teknoloji ve müşteri beklentileri ile otomotiv üreticileri araç kalitesini ve performansını arttırmak için yeni fırsatların arayışı içine girdiler. Otomobil üreticilerinin araştırma ve geliştirme departmanları yakıt tüketimi, sürüş performansı, multimedya sistemlerinin yaygınlaştırılması, sürücü destek sistemleri ve sürüş konforu gibi konularda çalışmalar yapmaktadırlar. Son yıllarda müşteriler tarafından sürüş konforu beklentisi araç satın alırken önemli bir ölçüte dönüşmüştür. Sürüş konforuna etki eden en önemli parametrelerden bir tanesi de NVH performansıdır.

Otomobil üreticileri gelişen sektörde daha rekabetçi olabilmek için daha sessiz kabine sahip araçlar üretmeye çalışmaktadırlar. Kabin bölgesinde müşteriler tarafından şikayet edilen en belirgin sesler; yol sesleri, rüzgar sesleri, tekerlek yuvarlanma sesleri, trim sesleri ve motor sesleridir.

Bu tezde, motor seslerinin kök nedenleri belirlenmiştir ve bu kök nedenlerin ortadan kaldırılması için bazı düzeltici faaliyetler yapılmıştır. Ayrıca motor seslerinin diğer seslerden nasıl ayrılacağı ve daha sessiz kabin bölgesine sahip bir aracın nasıl geliştirileceği tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** NVH Performansı, Kabin Sesleri, Motor Sesleri  
**2019, vii + 53 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **REDUCING ENGINE NOISE EFFECTS IN VEHICLE CABIN**

**Ümit ARDA**

Uludağ University  
Graduate School Of Natural And Applied Sciences  
Department Of Automotive Engineering

**Supervisor:** Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAMIĞ KOCABIÇAK

Due to developing technology and customer expectations, car manufacturers are looking for new opportunities to increase vehicle quality and performance. Research and development departments of car manufacturers are working on issues such as high fuel consumption, driving performance, dissemination of multimedia systems, driver assistance technologies and driving comfort. In recent years, the expectation of driving comfort by customers has become an important criterion for buying a car. One of the most important parameters affecting driving comfort is NVH performance.

Car manufacturers work to produce vehicles with more quieter cabinet in order to become more competitive in the growing sector. The most obvious voices complained by customers in cabin area; road noise, wind noise, tyre rolling noise, trim noise and engine noise.

In this thesis, root causes of engine noise were determined and some corrective actions were taken in order to eliminate these root causes. In addition, how engine noise can be distinguished from other noise and how more quieter cabinet could be developed were discussed.

**Key Words:** NVH Performance, Cabin Noises, Engine Noises  
**2019, vii + 53 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu alışmanın yrtlmesi sırasında desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. ğr. yesi Zeliha Kamığ Kocabıçak'a, yoğun çalışmalarım sırasında gösterdikleri sabır ve anlayıştan dolayı eğim Beyza Arda'ya, annem ęefiye Arda'ya, Tofağ Türk Otomobil Fabrikası A.ę.'ye, Tofağ NVH departmanına ve NVH mühendisi Halil Ateğ'e, Arę. Gr. Emre İsa Albak'a ve çalışmam sırasında küçük veya büyük yardımını esirgemeyen herkese teğekkr ederim.

Ümit ARDA

01/08/2019





## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
SÖZGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	6
3.1. Giriş.....	6
3.2. Duyum İndisi (Articulation Index – AI) .....	6
3.3. Desibel (dB) .....	10
3.4. Testler ve Ekipmanlar .....	12
3.4.1. Yankısız oda.....	12
3.4.2. Motor sesi testi .....	13
3.4.3. Yol testleri .....	17
3.4.4. Gövde titreşim testi .....	20
3.4.5. Jüri testleri.....	25
4. BULGULAR.....	27
4.1. Yol Testlerinin Değerlendirilmesi.....	27
4.1.1. Aynı gövde üzerinde farklı motorizasyonların karşılaştırılması.....	27
4.1.2. Farklı gövde tipine sahip araçlarda aynı motorla yapılan ölçümler.....	29
4.1.3. İzolasyon anlamında geliştirilmiş araç ölçümü.....	32
4.1.4. Jant etkisinin ölçümü. ....	38
4.1.5. Motor takozlarının gerginlik etkisinin ölçümü. ....	40
4.1.6. Motor takozlarının farklı shore değerlerinde ölçümü. ....	42
4.2. Yankısız Oda Gövde Titreşim Testi Değerlendirilmesi.....	44
4.3. Jüri Testlerinin Değerlendirilmesi.....	46
4.3.1. İzolasyon anlamında geliştirilmiş araç için jüri değerlendirmesi. ....	46
4.3.2. Farklı motor takozlarına sahip araçlar için jüri değerlendirmesi .....	48
5. SONUÇLAR .....	49
KAYNAKLAR .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklamalar

$P1$	1 Numaralı güç değeri
$P2$	2 Numaralı güç değeri
$\beta$	Adjacent-band correction
$dB$	Desibel
$W$	Duyum indisi düzeltme oranı
$a', b', c', d'$	Duyum indisi hesap katsayıları
$f$	Frekans
$Hz$	Heartz
$k$	Kilo
$S$	Konuşma anlaşılabilirlik skoru
$a,b,c,d$	Konuşma anlaşılabilirlik skoru hesap katsayıları
$\alpha_a$	Octave weighting factor for STI
$r$	Ses emme katsayısı
	Yansımaya faktörü

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

AI	Duyum İndisi (Articulation Index)
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer
MTI	Modulation Transfer Index
NVH	Noise, Vibration and Harshness
PU	Poly Urethane
SAE	Society of Automotive Engineers
STI	Speech Transmission Index
SUV	Sport Utility Vehicle
VINS	Vehicle Interior Noise Simulation

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

şekil 3.1. Hece duyum indisi .....	7
şekil 3.2. Duyum indisi.....	9
şekil 3.3. Genel ses seviyesi.....	11
şekil 3.4. Örnek bir yankısız oda.....	13
şekil 3.5. Mikrofon ve ekipman 1.....	15
şekil 3.6. Mikrofon ve ekipman 2.....	16
şekil 3.7. Örnek bir roller test bankosu.....	17
şekil 3.8. Araç içi mikrofon yerleşimi 1.....	19
şekil 3.9. Araç içi mikrofon yerleşimi 2 .....	19
şekil 3.10. Titreşim seviyesi ölçümü için hazırlanmış araç.....	21
şekil 3.11. Motor ve Çanzıman gövde bağlantı bölgesine takılacak titreşim motorları...22	
şekil 3.12. Ölçme ölçer yerleşimi.....	22
şekil 3.13. Ölçme ölçer yerleşimi 2.....	23
şekil 3.13. Ölçme ölçer haritası.....	24
şekil 4.1. Motorizasyon bazlı genel ses seviyesi ölçümü.....	28
şekil 4.2. Motorizasyon bazlı duyum indisi ölçümü.....	29
şekil 4.3. Sedan ve HB 1,6 dizel araçlar için genel ses seviyesi ölçümü.....	30
şekil 4.4. Sedan ve HB 1,6 dizel araçlar için duyum indisi ölçümü.....	31
şekil 4.5. Ön göğüs izolatörü.....	33
şekil 4.6. Torpido izolatörü.....	34
şekil 4.7. Gövde padleri.....	35
şekil 4.8. Motor muhafaza.....	36
şekil 4.9. Mevcut seviye ile izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın genel ses seviyesi karşılaştırılması.....	37
şekil 4.10. Mevcut seviye ile izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın duyum indisi karşılaştırılması.....	38
şekil 4.11.Farklı malzemede jantların genel ses seviyesi karşılaştırılması...39	
şekil 4.12.Farklı malzemede jantların duyum indislerinin karşılaştırılması .40	
şekil 4.13. Takoz gerginliğinin genel ses seviyesine etkisi .....	41
şekil 4.14. Takoz gerginliğinin duyum indisine etkisi .....	42
şekil 4.15. Farklı shore değerlerine sahip motor takozlarının genel ses seviyelerinin karşılaştırılması.....	43
şekil 4.16. Farklı shore değerlerine sahip motor takozlarının duyum indislerinin karşılaştırılması.....	43
şekil 4.17. Titreşim testi araç hazırlığı.....	44
şekil 4.18. Titreşim testi araç hazırlığı 2.....	45
şekil 4.19. Gövde titreşim testi görsel sonuçları.....	45

## ÇİZELGE DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Konuşma tipleri anlaşılabilirlik skoru sabit katsayıları.....	8
Çizelge 3.2. Konuşma tipleri duyum indisi sabit katsayıları.....	8
Çizelge 3.3. Jüri değerlendirme formu.....	26
Çizelge 4.1. Akustik paket içerikleri.....	32
Çizelge 4.2. İzolasyon anlamında iyileştirilmiş aracın jüri değerlendirmesi.....	47
Çizelge 4.3. Farklı motor takozlarına sahip araçlar için jüri değerlendirmesi.....	48



## 1. GİRİŞ

Günümüzde otomobil üreticileri geliştirmekte olan teknolojiye ayak uydurabilmek ve müşterilerine yeni teknolojiler sunabilmek için yarışmaktadırlar. Ar-Ge bölümlerinin önemi artmakta, sanayi üniversite işbirlikleri kurularak müşterilerin gözünde fark yaratacak ürünler ortaya çıkartılmaya çalışılmaktadır. Müşteriler ise alacakları araçların konfor ve donanım seviyesinin yüksek olmasını talep etmektedirler.

Müşteri gözünde konforu oluşturan etmenlere örnek vermek gerekirse, kullanılan iç ve dış malzeme kalitesi, ısıtma ve soğutma performansları, kabin bölgesinin genişliği, asistan özellikleri (yağmur sensörlü, far sensörlü, park sensörlü vb.), ergonomik koltuklar, insan ve eşya taşıma kapasitesi, sürüş konforu gibi parametrelerden bahsedilebilir. Otomotiv mühendisliği bakış açısından sürüş konforu terimi, genellikle bir taşıtın yolcularına etki eden tüm salınım olaylarını kapsar. NVH (Noise, Vibration, Harshness) kavramı ise taşıtlardaki mekanik ve akustik salınımların insanlar tarafından algılanması için kullanılır. Çeşitli salınımlar ve kaynaklarının ölçülmesi ve analiz edilmesine ek olarak, bu salınımların yolcular üzerindeki etkileri de ayrıca değerlendirilmelidir. İnsan vücuduna etki eden titreşimlerin ve gürültünün, kişiye bağlı olarak farklı hissedilmesi ve yorumlanması değerlendirme açısından zorluk yaratmaktadır (Heißing ve Ersoy 2011).

Tekerlek ile yol arasındaki ilişki, en önemli ses ve titreşim kaynaklarından bir tanesidir. Tekerlekler doğrudan yol tipografisini takip ettikleri için, yol üzerindeki herhangi bir bozukluk araç gövdesine titreşim olarak yansır. Sürüş konforunu etkileyebilecek bir diğer önemli ses ve titreşim kaynağı da aktarma organlarıdır. Motor, Çan zıman ve egzoz gibi ana elemanlar kauçuk yapılı burçlarla araç gövdesine montajlanırlar. Bu elastik montaj elemanları sadece güç aktarma organlarını taşımak için değil, aynı zamanda titreşim ve salınım kaynaklı yapısal seslerin araç yolcu kabine ulaşmasını engellemek için de çalışırlar. Üçten yanmalı motorlar gaz basıncı ve yanma etkisiyle kuvvet oluşturlar. Bu kuvvetler aktarma organları, araç gövdesi ve şasisi üzerinde bazı salınımlara sebep olur. Bu sistemlerin kendi içerilerindeki sürtünmeleri ile birlikte araç kabininde istenmeyen sesler meydana gelebilir.

Otomobil üreticileri günümüzde kendi araçlarına özgü akustik karakter yaratmaya çalışmaktadırlar. Bunun yanında markalarının kalite algısını yükseltmek için, araç kabin bölgesinde ve araç dışarısında akustik optimizasyon çalışmaları yürütmektedirler. Her ne kadar akustik optimizasyon denildiğinde aracın gürültü seviyesinin düşürülmesi akla gelse de, markanın kendisine özel, karakterize edilmiş gürültü seviyesi de bahsedilmiş olabilir. Bir diğer deyişle akustik optimizasyon sadece gürültü seviyesinin azaltılması değil, aynı zamanda yükseltilmesi de olabilir.

Bu tez çalışmasında ise araç kabin bölgesinde motor kaynaklı ses ve titreşimlerin kullanıcı üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Farklı araç ve motor tipleri için kabin bölgelerinde akustik ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler kullanılarak, olası iyileştirme faaliyetleri belirlenmiştir. Çalışmanın bir bölümünde ise araç kabin bölgesi akustik performansları farklı iki araç ele alınarak, bu araçların ses seviyelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Objektif ve subjektif olarak kötü seviyede olan araca bazı iyileştirme faaliyetleri uygulanarak ölçümler alınmıştır. Ayrıca jüri testleri ile araçların akustik konfor seviyeleri değerlendirilip, iyileştirmelerin yolcuların algılayabilecekleri seviyelerde olup olmadığı tartışılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışması kapsamında yapılan kaynak araştırmasında, araç kabin bölgesindeki gürültü seviyesi ölçüm yöntemleri, gürültüye etki eden unsurlar, yapılan iyileştirmeler, kullanıcı beklentileri gibi araç akustik performansı üzerine yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Aşağıda bu çalışmaların bazıları kısaca özetlenmiştir.

Cerrato (2009) otomobillerde ses kalitesi ve müşteri üzerindeki etkileri hakkında çalışmalar yapmıştır. Müşterilerin kabin bölgesindeki ses seviyesine göre araçlarını konforlu veya sportif olarak adlandırabileceğini belirtmiştir. Benzinli, dizel ve hibrid motorlarla üretilmiş araçlarda kabin bölgesi ses seviyesi ölçümleri yapmıştır. Bunun yanında egzoz sisteminin kabin bölgesindeki ses seviyesine etkisini de değerlendirmiştir. Çalışmanın bir kısmında ise aktarma organlarının, yol sesinin, tekerlek yuvarlanma sesinin ve rüzgar sesinin araç içerisindeki etkilerine değinmiştir. Bu etkilerin müşteri gözündeki değeri ölçülerek, aracın gücüne, kullanım amacına ve sınıfına göre müşteri beklentilerinin farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Genuit (2004) araç kabin bölgesi ses kalitesinin değerlendirilebilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Ölçüsel olarak insan vücuduna uyumlu bir yapay insan bağımlı sürücü konumuna getirerek, insan kulaklarının olduğu bölgelerde bulunan mikrofonlar ile veri toplamıştır. Elde edilen verilerin kullanılabilmesi için geliştirilen simülasyon, çalışmada detaylıca anlatılmıştır. Sonuç olarak oluşturulan model ve simülasyon metodu ile araç kabin bölgesindeki NVH sorunlarının çözümü için etkili bir yöntem oluşturulmuştur. Ayrıca NVH performansı ve sürüş konforu arasındaki ilişki açıkça ortaya konmuştur.

Swart ve Bekker (2014) elektrikli bir aracın kabin bölgesinden toplanan verileri, geliştirdikleri bilgisayar yazılımı ile yorumlamayı başarmışlardır. Geliştirdikleri yazılımı kullanarak, farklı markalardaki elektrikli araçların kabin bölgelerindeki ve araç dışındaki akustik performanslarını ölçmüş ve araçları birbirleri ile kıyaslamışlardır. Ölçüm alınan araçlar müşterilere de kullanılmıştır. Müşteri değerlendirmelerinden araçların gürültüsüz fakat yüksek performanslı bir izlenim bıraktığı belirlenmiştir. Ayrıca elektrikli araçların kabin bölgelerinin gürültüsüz olmasının, genel sürüş performansına negatif etki yaratmadığı sonucuna varılmıştır.

Jennings ve ark. (2010) otomobil ses kalitesinin ölçümünde kullanılan ekipmanlar ve teknikler ile ilgili detaylı bir çalışma yapmışlardır. Lüks otomobil markaları ile yapılmış jüri testi ile motor sesinin araç içerisindeki etkisi değerlendirilmiştir. Aynı zamanda geliştirilen bir simülatör ile ölçümler alarak sınıflandırma yapmışlardır. Sonuç olarak müşterilerin memnuniyetinin elde edilmesi için her bir markanın, kendi modellerine has iç ve dış ses karakteristiği çalışması gerektiğini vurgulamışlardır.

Geniut (2009) araç kabin bölgesindeki ses ve titreşimin sürüş konforuna etkisini değerlendirmiştir. Farklı senaryolar kurgularak denemeler yapmış ve elde ettiği ölçüm sonuçları yorumlamıştır. Çalışma sonucunda yüksek ses ve titreşim seviyesinin her zaman olumsuz değerlendirilmemesi gerektiğini vurgulamıştır. Bazı durumlarda yüksek ses ve titreşim seviyesinin yüksek ürün kalitesi izlenimi yarattığını belirtmiştir. Bu durum, spor bir aracın kabin bölgesindeki ses seviyesinin yüksek olmasının beklenen bir durum olduğu sonucunu çıkarmıştır.

Sadananda (2016) araç kabin bölgesinde akustik kalite üzerine çalışmalar yapmıştır. Ağırlıklı olarak rüzgar sesinin kabin bölgesindeki etkisinin ölçülerek yorumlanması çalışılmıştır. Bu tez çalışmasında da kullanılan ölçüm yöntemine benzer bir metot ile araç içi mikrofonlardan veriler toplanmıştır. Ayrıca araç parçalarının kabin bölgesindeki sese etkisinin belirlenebilmesi için ses iletim katsayısından bahsedilmiştir. Çalışmanın bir bölümünde ise bagaj kapağının üzerinden sanal ve fiziksel ölçümler alarak değerlendirmelerde bulunmuştur.

Eisele ve ark. (2005) araç kabin bölgesindeki ortalama ses seviyesinin ölçümü için simülasyon metodu geliştirerek, araç üzerinde denemeler yapmışlardır. Ayrıca simülasyon ile elde ettikleri değerleri, yaptıkları ölçümlerin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Bu yöntem sayesinde bir minibüs kabinindeki istenmeyen seslerin kök nedenleri belirlenebilmiştir.

Jain ve ark. (2013) araç kabin bölgesinde ses seviyesine etkisi bulunan koltukların, ses yutma oranları ile ilgili çalışmışlardır. Ayrıca koltuk kumaşı, koltuk süngeri ve yapısal elemanlarının ses yutma seviyesine etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeleri yapabilmek için hem simülasyon sonuçlarından hem de araç kabin bölgesi ses seviyesi ölçümlerinden faydalanmışlardır.



Batmaz ve Aydın (2012) yalıtım malzemelerinin ses yutma katsayıları üzerine çalışmışlardır. Araç kabin bölgesinde kullanılan izolatörlerinde değerlendirildiği çalışmada, farklı numuneler üzerinden ölçümler alınmıştır. Motor sesleri, yol sesleri ve rüzgar sesi gibi kabin bölgesinde negatif etkisi olan tüm ses kaynaklarının sönümlenmesi için kullanılan bu izolatörlerin, iç yapılarına göre belirlenen ses yutma katsayılarını karşılaştırmışlardır. Test aracı için nedenleri ile beraber en iyi sonuç veren izolatör numunesini belirlemiştir.

Ju ve ark. (2013) araç kabin bölgesindeki ses kalitesinin değerlendirilebilmesi için çalışmışlardır. Araç hareket halindeyken kabin bölgesinden, hem sürücü hem de yolcular için objektif ölçümler almışlardır. Bu ölçümlerle gürültü, netlik, pürüzlülük gibi psikoakustik indislerin hesaplanabilmesi sağlanmıştır. Bunun sonucunda iyileştirilebilecek noktalar belirlenerek, daha iyi bir akustik performans tanımlanmıştır.

Paulraj ve ark. (2010) araç kabin bölgesindeki akustik performansın müşteriler için bir ihtiyaç olduğundan bahsetmişlerdir. Çalışmada objektif ve subjektif olmak üzere iki tip araştırma yapılmıştır. Bir model üzerinde insan kulağının pozisyonuna mikrofonlar yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. Ayrıca jüri testleri yapılarak, duran ve hareketli araçların akustik performansı için karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda iyi bir akustik performansın nasıl olması gerektiği belirtilmiştir.

Liu (2016) araç kabin bölgesinde kullanılan yalıtım malzemelerinin akustik performansa etkilerini değerlendirmiştir. Yalıtım malzemelerinin kimyasal özellikleri irdelenmiş ve simülasyonlar ile desteklenmiştir. Test edilen malzemelerden özellikle 500 Hz üzerinde iyi sonuçlar alınmıştır.

Accordo ve ark. (2015) araç kabine benzeyen bir akustik model yaratılması ve analiz edilmesi üzerine çalışmışlardır. CAE analizleri ile geliştirdikleri otomobil akustik modelini farklı koşullar altında denemiştirler. Sınır şartlarının ve ölçüm noktalarının doğru belirlenmesi için hesaplamalar yapmışlardır. Akustik performansın değerlendirilmesi için yaratılan modeli kullanarak olumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Giriş

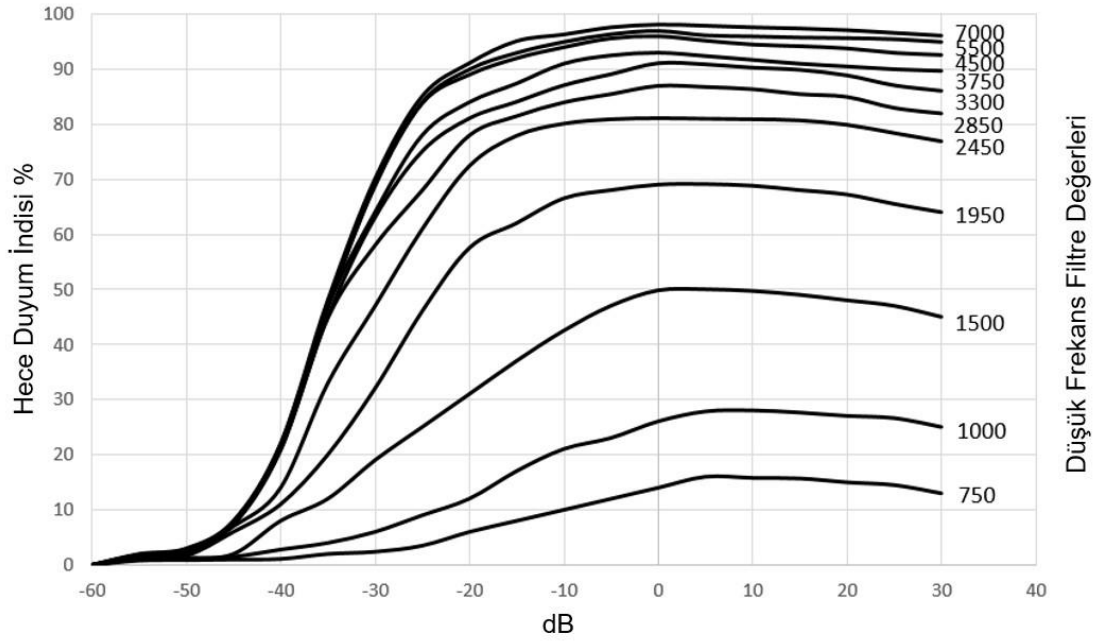
Bu bölümde araçlarda motor seslerinin kabin içerisindeki etkilerinin ölçülebilmesi için kullanılacak yöntemler, ekipmanlar, test koşulları ve ortam şartlarının nasıl olması gerektiği anlatılmıştır. Ayrıca ölçümlerin anlamlandırılabilmesi için bazı ses parametrelerinden bahsedilmiştir.

#### 3.2. Duyum İndisi (Articulation Index - AI)

Odyoloji biliminin ortaya çıkması ile beraber işitme kaybı yaşıyan insanların ne seviyede işitme kaybına sahip olduklarının ölçülmesi de bir ihtiyaç haline gelmiştir. Çeşitli deneysel metotlar uygulansa da standart bir ölçüm ve değerlendirme ihtiyacının karşılanması için bazı çalışmalar yapılmıştır. N.R.French ve J.C. Steinberg tarafından 22 Kasım 1946'da yapılan bir çalışmada duyum indisi kavramından ilk kez bahsedilmiştir. Sonraki yıllarda, bu çalışmadan yararlanılarak yeni ölçüm metodları geliştirilmiştir fakat hemen hemen hepsi aynı temele dayanmaktadır. Bazı ufak farkları olsa da aynı durumlar karşısındaki farklı metodların ölçüm sonuçları neredeyse aynı olmuştur.

Bir konuşmanın anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesi için tüm dış etkenlerden arındırılmış temel bir indise ihtiyaç vardır ve bu indise duyum indisi (Articulation Index) adı verilir. Duyum indisi nümerik olarak 0 ile 1 arasında olabilir. 0 (sıfır) konuşmanın dinleyiciler tarafından tamamen anlaşılmaz olduğunu ifade ederken, 1 (bir) ise tam anlaşılma durumunu ifade eder (French ve Steinberg 1946).

Şekil 3.1'de farklı frekans değerleri için desibele karşılık hece duyum indisi değişimi verilmiştir. Eğrinin sağ kısmında belirtilen her bir frekans değeri için düşük frekans filtresi kullanılmıştır. Örneğin 750 Hz için alınan ölçümlerde, sadece 750 Hz altındaki frekanslara karşılık gelen hece duyum indisi değerinden bahsedilmiştir (French ve Steinberg 1946).



**Şekil 3.1.** Hece duyum indisi (French ve Steinberg 1946)

Her bir konuşma frekans bandı arasındaki duyum yüzdesi değişimlerinin toplamı, duyum indisi  $AI$  ya eşittir.

$$AI = \sum \quad (3.1)$$

Maksimum duyum indisi değişimi ve düzeltme oranı  $W$ 'nin eşitliğe girmesi ile son durumda duyum indisi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$AI = \sum \quad (3.2)$$

Daha sonraki yıllarda ise yapılan bazı geliştirmeler ile duyum indisi en yaygın kullanım alanına ulaşmış ve Amerikan Standardı olarak kayıt altına alınmıştır.

ANSI S3.5 1990 standardına göre, “ $S$ ” olarak ifade edilen konuşma anlaşılabilirlik skoru, duyum indisinin de kullanımı ile aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$S = [a / (1 + 10^{(bAI-c)}) - d]^2 \quad (3.3)$$

Bu tanımlamaya göre duyum indisi;

$$AI = b' \log_{10} [a' / (S^{0.5} + d') - 1] + c' \quad (3.4)$$

olarak ifade edilir.

Yukarıdaki eğitliklerde kullanılan katsayılar deneysel yöntemler ile hesaplanmış katsayılardır. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de bu katsayılara bazı örnekler verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Konuşma tipleri anlaşılabilirlik skoru sabit katsayı değerleri

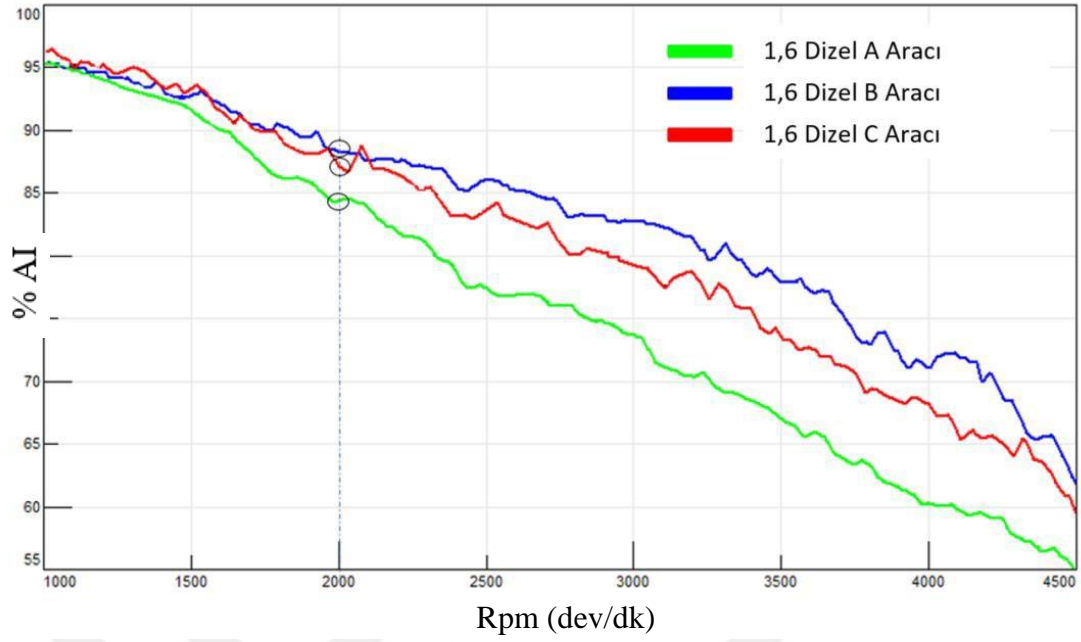
Konuşma Tipi	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>D</i>
32 Kelime/dk	1.1472	7.8232	0.4591	0.9996
256 Kelime/dk	1.9860	4.0711	-0.0515	0.9947
Bilinen Cümleler	1.0473	5.0355	0.6000	0.9965
Bilinmeyen Cümleler	1.2587	6.5373	0.3581	0.9924

**Çizelge 3.2.** Konuşma tipleri duyum indisi sabit katsayı değerleri

Konuşma Tipi	<i>a'</i>	<i>b'</i>	<i>c'</i>	<i>d'</i>
32 Kelime/dk	1.0342	-0.1183	0.0686	0.0420
256 Kelime/dk	1.7078	-0.2321	0.0103	0.7225
Bilinen Cümleler	1.1170	-0.2064	0.1080	0.1170
Bilinmeyen Cümleler	1.0531	-0.1348	0.0752	0.0717

Duyum indisi değeri yüzdesel olarak da ifade edilebilir ve %5 ile %95 arasında değişebilir. Bu aralığın altında ve üzerindeki değerlerde yapılacak hesaplamalar hataya açık olabilmektedir (Sherbecoe ve Studebaker 1990).

Otomotiv üreticileri tarafından araç ses seviyesinin ölçülebilmesi ve rakip firmalar ile karşılaştırılmalarının yapılabilmesi için duyum indisi önemli bir kıstastır. Özellikle araç kabin bölgesinde müşteri beklentilerinin karşılanabilmesi için duyum indisi değeri olabildiğince yüksek araç üretilmeye çalışılmaktadır. Sürüş konforuna doğrudan etki eden duyum indisinin hesaplanabilmesi için çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Farklı algoritmalara sahip olsalar da tüm yazılımlar aynı doğrultuda sonuçlar vermektedir. Bu tez çalışmasında da araç kabin bölgesinde yapılan iyileştirme faaliyetlerinin değerlendirilebilmesi için duyum indisinden sıkça bahsedilmiştir. Duyum indisinin hesaplanabilmesi için ise Siemens LMS Tab Acoustic programından faydalanılmıştır.



**Şekil 3.2.** Duyum indisi

Şekil 3.2.'de 1,6 dizel A aracı, 1,6 dizel B aracı ve 1,6 dizel C aracının, hareket halindeyken kabin bölgelerinden toplanan veriler ile oluşturulmuş duyum indisi eğrileri paylaşılmıştır.

Şekil 3.2'de duyum indisi ölçüm sonuçları paylaşılmış olan araçların 2000 dev/dk'da ki verilerinden, 1,6 dizel A aracının ~%84 duyum indisi değerine ulaştığı, 1,6 dizel C aracının ~%87 duyum indisi değerine ulaştığı ve son olarak 1,6 dizel B aracının ~%88 duyum indisi değerine ulaştığı görülmektedir. Bu durum, 2000 dev/dk'da 1,6 dizel B aracının, 1,6 dizel C aracından, 1,6 dizel C aracının ise 1,6 dizel A aracından duyum indisi anlamında daha iyi olduğunu gösterir.

Şekil 3.2'deki eğrilerin genel seyri değerlendirilecek olursa, yaklaşık 2200 dev/dk'ya kadar 1,6 dizel C aracı ile 1,6 dizel B aracı duyum indisi anlamında benzer performans göstermişlerdir. 2200 dev/dk sonrasında ise 1,6 dizel B aracının, 1,6 dizel C aracından daha iyi duyum indisi performansına sahip olduğu görülmektedir. 1,6 dizel A aracı ise tüm devir aralıklarında diğer araçlardan kötü duyum indisi performansı göstermiştir.

### 3.3. Desibel (dB)

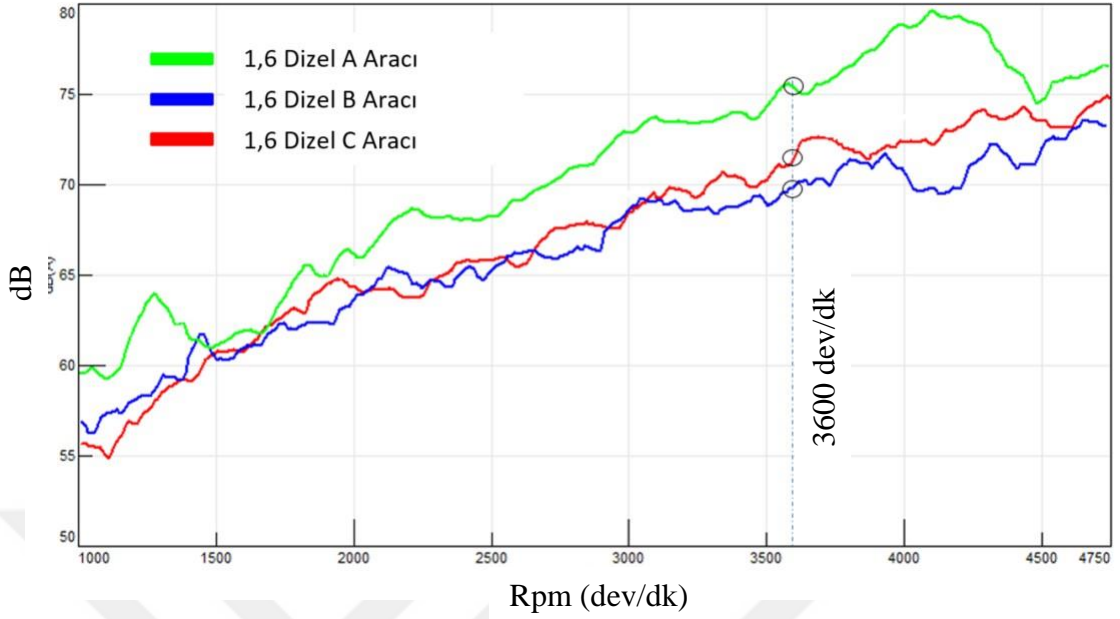
Desibel, belirli bir referans güç ya da seviyeye olan oranı belirten, genelde ses Çiddeti için kullanılan logaritmik ve boyutsuz bir birim olarak tanımlanmıştır (Everest 2011).

$$dB = 10\log_{10}(P1/P2) \quad (3.5)$$

Desibel değeri logaritmik olarak artar veya azalır. Bu Çu anlama gelmektedir, 20 dB, 10 dB'den 10 kat daha Çiddetlidir. 0 dB insan kulağının iÇitilebileceği en düğük ses seviyesi olarak kabul görmüğtür. 10 dB yaprak hıÇırtısı, 20 dB çok sessiz bir mekan, 30 dB alÇak ses ile konuÇma, 40 dB sessiz bir ofis, 50 dB normal konuÇma düzeyi, 60 dB yoğun bir ofis, 70 dB gürültülü radyo veya TV, 80 dB yoğun bir cadde, 90 dB yakından geÇen ağır vasıta, 100 dB yol matkabı, 110 dB motorlu zincir testere, 120 dB perÇinleme makinesi ve 140 dB yakından havalanan bir jet gürültü seviyesi olarak örneklendirilmiştir (Yazıcı 2007).

Bir aracın kabin bölgesindeki genel ses seviyesinin değeriendirilmesinde dB seviyesi de önemli bir ölçüttür. Otomotiv sektöründe kabin bölgesinde daha sessiz koÇullar yaratılmaya çalıÇılmaktadır. Bu durumda kabin bölgesinde dB seviyesinin yükselmesi olumsuz olarak karÇılanan bir sonuç yaratmaktadır.

Bu tez çalıÇmasında yapılan iyileÇirme faaliyetlerinin değeriendirilebilmesi için genel ses seviyesi dB olarak ölçülerek, karÇılaÇtırmalar yapılmıştır. Ölçümlerin alınmasında ve grafik olarak ifade edilmesinde Siemens LMS Tab Acoustic programından faydalanılmıştır.



**Şekil 3.3.** Genel ses seviyesi

Şekil 3.3.'te 1,6 dizel A aracı, 1,6 dizel B aracı ve 1,6 dizel C aracının, hareket halindeyken kabin bölgelerinden toplanan veriler ile oluşturulmuş genel ses seviyesi eğrileri paylaşılmıştır.

Şekil 3.3'te desibel eğrileri paylaşılmış olan araçların 3600 dev/dk'daki verilerinden 1,6 dizel A aracının en kötü durumda olduğu görülmektedir. 1,6 dizel B aracının ise 3600 dev/dk'da en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. Bu üç aracın genel ses seviyesi hakkında belirli bir devir aralığından bağımsız yorum yapılırsa, hemen hemen tüm devir aralıklarında 1,6 dizel A aracının en kötü kabin bölgesi genel ses seviyesi performansına sahip araç olduğu söylenebilir. 1,6 dizel C aracı ile 1,6 dizel B aracı ise 3200 dev/dk'ya kadar yakın genel ses seviyesi performansı sergilemişlerdir. Bazı devir aralıklarında 1,6 dizel C aracının daha iyi olduğu söylenebileceği gibi, bazı devir aralıklarında da 1,6 dizel B aracının daha iyi olduğu söylenebilir. 3200 dev/dk sonrasında ise 1,6 dizel B aracının daha iyi kabin bölgesi genel ses seviyesi performansı sergilediği görülmüştür.

### **3.4. Testler ve Ekipmanlar**

Tez çalışmasında Siemens LMS Tab Acoustic programı ile ses verileri işlenmiştir. Bu program yardımı ile farklı model ve markalarda araçlardan ölçümler alınmıştır. Elde edilen bilgiler, hem model bazlı karşılaştırmaya tabi tutulmuş hem de seçilen bir aracın kabin bölgesi ses performansının artırılmasında kullanılmıştır.

Ürün ses kalitesinin iyileştirilmesi demek sadece gürültü azaltmak değildir. Siemens LMS Tab Acoustic ile genel ses seviyesi, keskinliği, pürüzlülüğü, duyum indisi, ses parazitleri gibi psiko-akustik değer ölçümleri yapılabilir. Ürün geliştirme süreçlerinde akustik mühendislerinin marka imajına uygun istenilen ses karakterlerini oluşturabilmeleri için Siemens LMS Tab Acoustic programı kullanılabilir. Bu sayede akustik mühendislerinin sadece öznel ölçümlere bağlı kalmadan psiko-akustik değerleri de kullanması sağlanabilir. (Anonim 2019)

#### **3.4.1. Yankısız oda**

En bilindik hali ile yankısız odalar, belirli frekans aralığında hemen hemen tüm akustik enerjiyi soğurarak serbest alan etkisi yaratan, duvarların içe bakan sivri keçe piramitlerle, köpük plastik veya fiberglas ile astarlanması yoluyla ses yansımalarını düşüren test odalarıdır.





**Şekil 3.4.** Örnek bir yankısız oda

Bu çalışmada bahsi geçen sessiz oda testleri Bursa Tofaş NVH laboratuvarlarında yapılmıştır. Akustik testler, şekil 3.4'te görülen ve 50 Hz üzerinde tam güvenilir sonuçlar verebilen yarı-yankısız odada yapılmıştır.

Yankısız odalarda sadece akustik ölçümler değil, ayrıca titreşim testleri yapılarak sonuçları gözlenmektedir. Bu sayede motordan kabin bölgesine iletilen titreşimlerin etkisi en doğru şekilde ölçülebilir. Yeni model geliştirilirken sadece izolasyon malzemeleri değil hemen hemen tüm parçaların akustik etkisi yankısız odalarda ölçülmektedir. Bu sayede projelerin erken safhalarında, oluşabilecek kalite hatalarının önüne geçilmektedir.

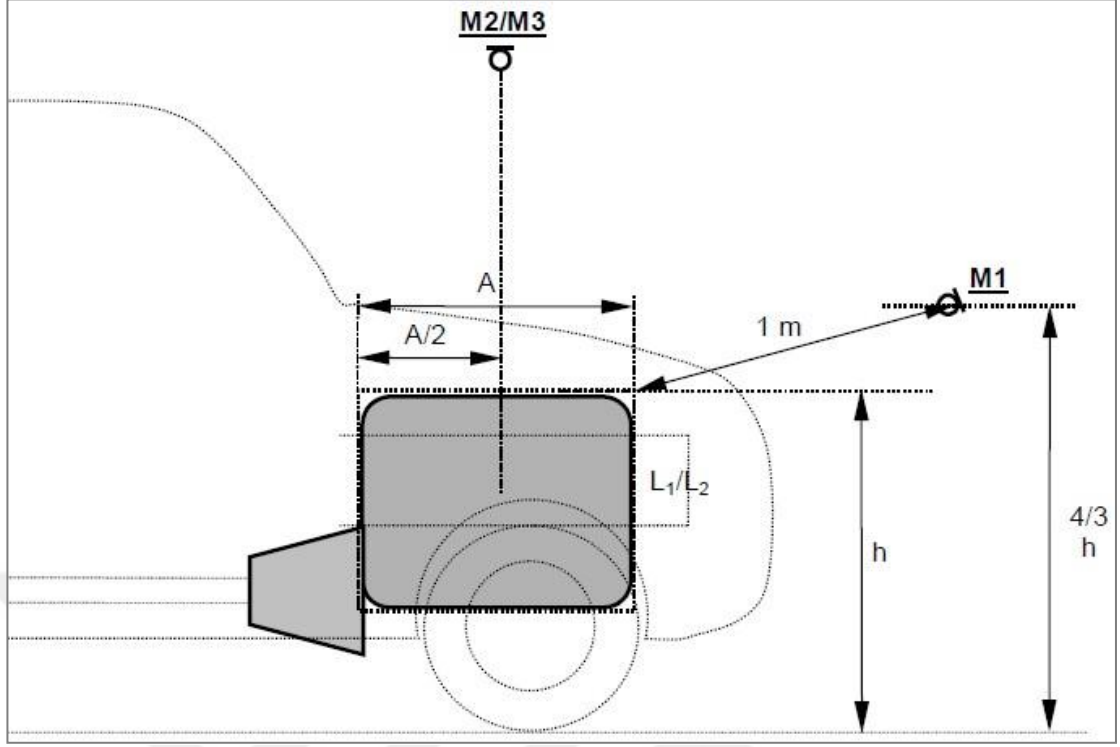
### **3.4.2 Motor sesi testi**

Motor sesinin tespit yöntemlerinden bir tanesi yankısız odalarda yapılan ve hareket halindeki aracı temsil eden bir ölçüm yöntemidir.

Testlerden anlamlı sonuçlar elde edebilmek için araç hazırlığı çok önemlidir ve atlanmaması gereken noktalar vardır. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

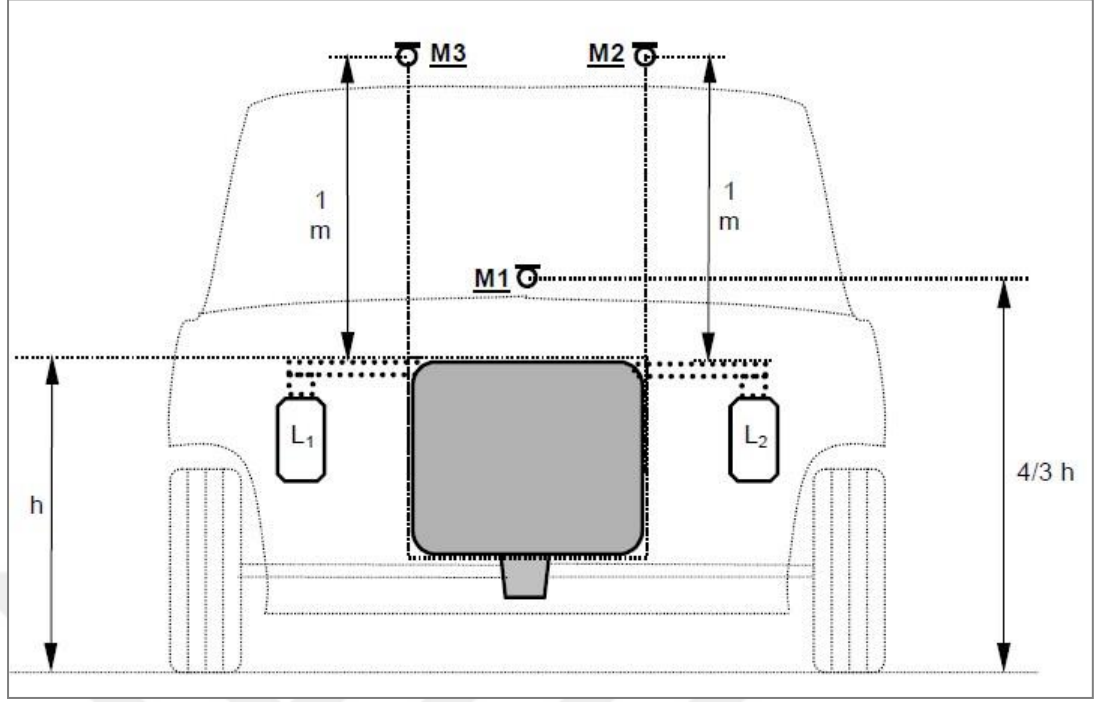
- Motor takozlarındaki ve denge kolundaki gerginlikler alınmalı ve montaj hataları kaynaklı motor pozisyon hataları ortadan kaldırılmalıdır.
- Aktarma organları kalibrasyonu kontrol edilmelidir.
- Egzoz sistemi kontrol edilmeli ve herhangi bir tıkanıklık olmadığı teyit edilmelidir.
- Araç yakıt deposu tam dolu olmalıdır. Ayrıca kullanılan yakıtların oktan seviyesi aynı olmalıdır.
- Araç kliması kapalı konumda olmalıdır.
- Lastik basınçları katalog değerlerinde olmalıdır.
- Araç üzerinde ses kaynağı olabilecek tüm unsurlar kapalı konumda olmalıdır. Örnek vermek gerekirse koltuk fanı, radyo, silecekler vs.
- Araç havalandırma sistemi kapalı olmalıdır.
- Herhangi bir sürüş modu açık olmamalıdır.
- Test başlamadan önce araç minimum 10 dk boş viteste çalıştırılmalıdır.

Test sırasında mikrofon yerleşimi büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada çekil 3.5. ve çekil 3.6.'da görülebileceği gibi 3 adet mikrofon belirtilen konumlara yerleştirilmiştir. Çalışma boyunca olabildiğince güvenilir veri alınabilmesi için mikrofon konumları her zaman aynı tutulmuştur. Bu testte dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ölçüm esnasında test yapacak kişilerin ses oluşturmamaları ve mümkün olduğu kadar sessiz kalmalarıdır. Yankısız odada oluşturulabilecek en ufak sesin bile test üzerinde etkisi olacaktır.



**Şekil 3.5.** Mikrofon ve Ekipman 1

Şekil 3.5.'te de görüleceği gibi motor üst kapağının üst kısmı  $h$  yüksekliği ile ifade edilmiştir. Bu yükseklik değeri üzerinden referans alınarak,  $M1$  mikrofonu  $4/3h$  yüksekliğine ve motor üst kapağından  $1\text{ m}$  uzakta olacak şekilde konumlandırılır.  $M2$  ve  $M3$  mikrofonları ise motor üst kapağının genişliği  $A$  olarak düşünüldüğünde,  $A/2$  olacak şekilde, yani motor üst kapağının tam orta noktasında konumlandırılırlar.



**Şekil 3.6.** Mikrofon ve Ekipman 2

Şekil 3.6’da görülebileceği gibi M2 ve M3 mikrofonları, bir tanesi motor bloğunun sağ tarafına, diğeri ise sol tarafına olacak şekilde yine motor üst kapağında bir metre uzağa konumlandırılır. Üretici firmaların sahip oldukları normlara göre bu konumlandırma farklılık gösterebilir. Bu çalışmada yapılan tüm ilgili testlerde yukarıda belirtilen konumlandırma yapılmıştır.

Mikrofonlar yerleştirildikten sonra teste geçilebilir. İlk olarak araç yankısız oda içerisinde bulunan roller test bankosuna bağlanır. 10 dk çalıştırılmış aracın 3. Vitese gelmesi ile birlikte araca 4500-4700 devir/dk değerine ulaşana kadar gaz verilir. Bu işlem sırasında olabildiğince objektif veriler elde edebilmek için gaz pedalına yerleştirilecek bir ekipman ile her testte aynı hızlanma sağlanabilir. Bu çalışmada test aynı sürücüye altı kez yaptırılarak ortalama değerler alınmıştır. Bu sayede kullanımdan kaynaklanan farklılıklar ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.



**Şekil 3.7.** Örnek bir roller test bankosu

### **3.4.3. Yol testleri**

Çeşitli gürültüyü oluşturan farklı ses ve titreşim kaynakları olsa da motor seslerini ayırt edebilmek için tüm üretici firmalar benzer yol testlerini yaparlar. Öncelikli olarak test için aracın hazırlanması gerekmektedir.

Araç hazırlığında önemli olan ve atlanmaması gereken durumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Motor takozlarındaki ve denge kolundaki gerginlikler alınmalı ve montaj hataları kaynaklı motor pozisyon hataları ortadan kaldırılmalıdır.
- Aktarma organları kalibrasyonu kontrol edilmelidir.
- Egzoz sistemi kontrol edilmeli ve herhangi bir tıkanıklık olmadığı teyit edilmelidir.
- Araç yakıt deposu tam dolu olmalıdır. Ayrıca kullanılan yakıtların oktan seviyesi aynı olmalıdır.
- Araç kliması kapalı konumda olmalıdır.

- Lastik basınçları katalog değerlerinde olmalıdır.
- Araç üzerinde ses kaynağı olabilecek tüm unsurlar kapalı konumda olmalıdır. Örnek vermek gerekirse koltuk fanı, radyo, silecekler vs.
- Araç havalandırma sistemi kapalı olmalıdır.
- Herhangi bir sürüş modu açık olmamalıdır.
- Test başlamadan önce araç minimum 10 dk boş viteste çalıştırılmalıdır.

Yol testinde pist ve hava şartları da belirli özelliklerde olmalıdır. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

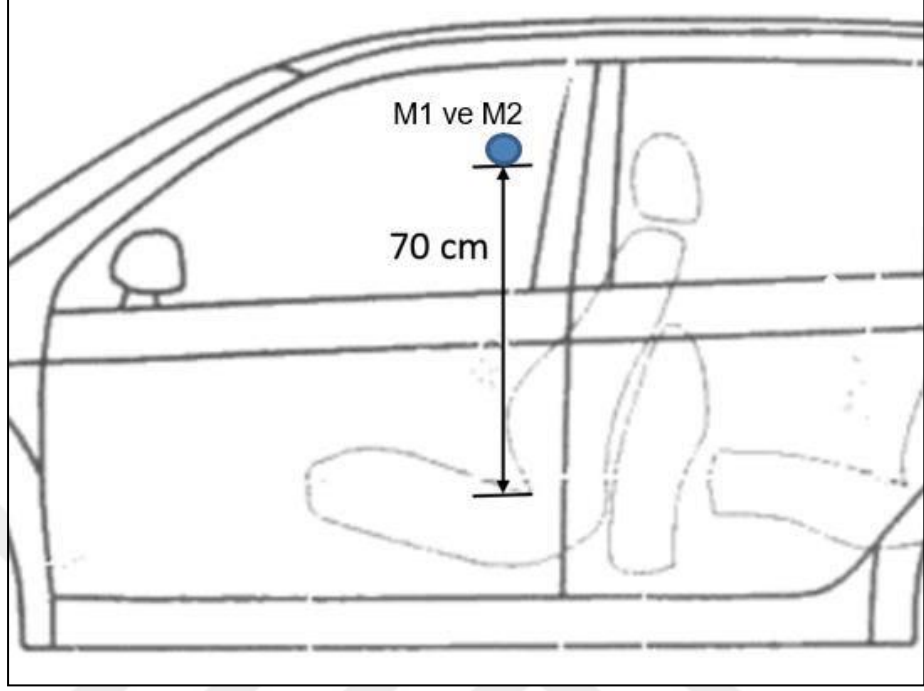
- Rüzgâr hızı 2,5 km/h değerinden fazla olmamalıdır.
- Sıcaklık ortalama seviyede olmalıdır. Çok sıcak veya soğuk havalarda motor kararlı çalışması için uygun şartlar oluşmamaktadır. 15-30 °C uygun aralık olarak tanımlanabilir.
- Test yapılacak zemin asfalt ve kuru olmalıdır.
- Yol yeterli miktarda düz olmalıdır. Mikrofonlardan bilgi toplanacak kısım yaklaşık 300-400 m civarında olduğundan dolayı yeterli hızlanma ve yavaşlama mesafesini de hesaba katarak yaklaşık 1,5 km düzlüğe sahip bir test pisti olması gerekmektedir.
- Hava şartları yağmurlu ve karlı olmamalıdır.

Test sırasında güvenlik şartları da yerine getirilmelidir. Bu şartlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

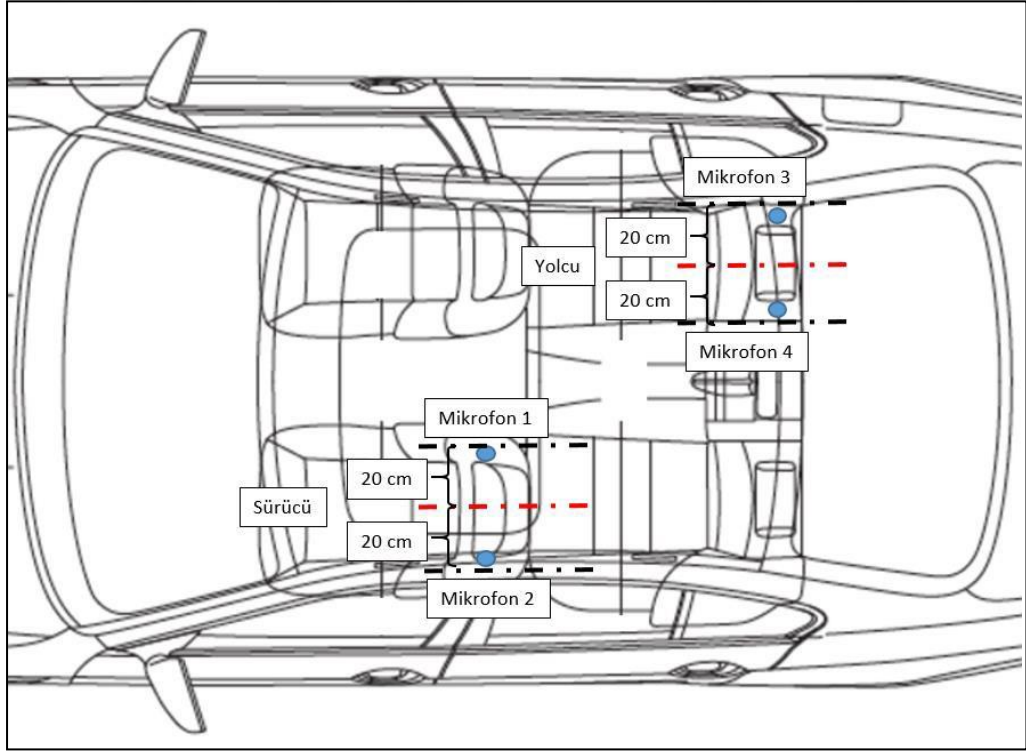
- Test mutlaka en az iki kişi ile yapılmalıdır. Sürücü haricinde bir kişi program ve ekipman kullanımı için araç içinde bulunmalıdır.
- Sürücü ve yolcu güvenlik ekipmanları tam olmalı ve emniyet kemerleri takılı olmalıdır.
- Test pistinde görüş açısı net olmalıdır. Eğer test güneşe karşı yapılıyor ise aracın güneşliği mutlaka açık konumda olmalıdır.
- Lastikler yeni ve aşınmamış olmalıdır.

Test sırasında mikrofon yerleşimi de büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada şekil 3.8. ve şekil 3.9.'da görülebileceği gibi 4 adet mikrofon belirtilen konumlara

yerleştirilmiştir. Çalışma boyunca olabildiğince güvenilir veri alınabilmesi için mikrofon konumları her zaman aynı olmalıdır.



Şekil 3.8. Araç içi mikrofon yerleşimi 1



Şekil 3.9. Araç içi mikrofon yerleşimi 2

Test sırasında mikrofonlara ilave olarak devir sensörü kullanılmalıdır. Eğer test yapılacak aracın donanımında devir sensörü bulunmuyorsa ses verilerinin hangi devir aralıklarında olduğunun LMS programına aktarılabilmesi için bir adet devir ölçer kullanılmalıdır. Bu çalışma kapsamında yapılan test araçlarının tamamında devir bilgileri aracın BCM ünitesinden alınmıştır. Ayrıca “PCB ½” ICP Free Field” mikrofonlar kullanılmıştır.

Tüm hazırlıkları yapılmış ve 10dk minimum süre boğta çalıştırılmış araç ile test pistinde araç hareket ettirilir ve 3. vitese geçirildiği noktaya kadar veri alınmaz. Sürücü 3. vitese geldiğinde minimum devirden belirlenen üst devir değerine (4500 – 4700 dev/dk) kadar araca vites değiştirilmeden gaz verir. Bu sırada araca takılı mikrofonlardan ses verileri toplanır. Test birden fazla kez yapılarak ortalama değerler alınır. Bu çalışmada her bir ölçüm altı kez yapılmış ve eğrilerde ortalama değerler kullanılmıştır.

#### **3.4.4. Gövde titreşim testi**

Araç ses performansına etki edecek bir diğer unsurda gövde rijitliğidir. Aracın gövde rijitliği ne kadar yüksek ise, ses performansının da o seviyede iyi olması beklenir. Bu testin asıl amacı, titreşimlerin gövdenin hangi kısmında biriktiğini belirleyerek, bu bölgelere müdahale etmektir.

Titreşim testi için test edilecek aracın gövdesinde sadece yapısal parçalar bulunmalıdır. Bir başka deyişle aracın sadece iskelet kısmı olmalıdır. Belirli bir simetrik yapıya sahip olacak şekilde 100 adet ivme ölçer araç üzerine yerleştirilmiştir. Aracın motor ve çanzıman gövde bağlantı noktalarına, titreşim vermesi amacıyla motorlar bağlanmıştır. Motorların tahrik edilmesi ile titreşimler gövde üzerinden ivme ölçerlere kadar taşınmıştır.

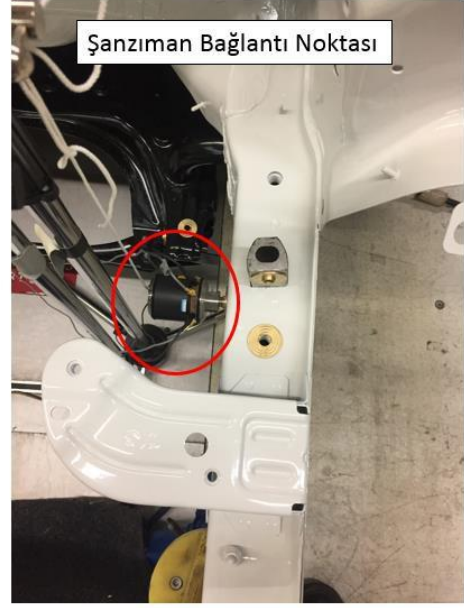
İvme ölçerler araç gövdesine olabildiğince simetrik ve sık yerleştirilmelidir. Aracın kabin bölgesi akustik performansı ölçülmek istendiği için ön göğüs kısmı, tavan ve taban kısımlarına ayrıca özen gösterilmesi gerekmektedir (Bkz. şekil 3.10.). Daha sonra şekil 3.11.’de gösterildiği gibi aracın motor ve çanzıman bağlantı noktalarına birer titreşim motoru bağlanarak, 200-600 Hz titreşim verilir. İvme ölçerlerden alınan veriler Siemens LMS Tab yazılımı sayesinde anlamlandırılarak rapor haline



getirilmiştir. Bu raporda görsel olarak, yer değitirme yoğunlukları belirtilerek, araç gövdesinde titreşime karşı dayanıksız bölgeler tespit edilmiştir.

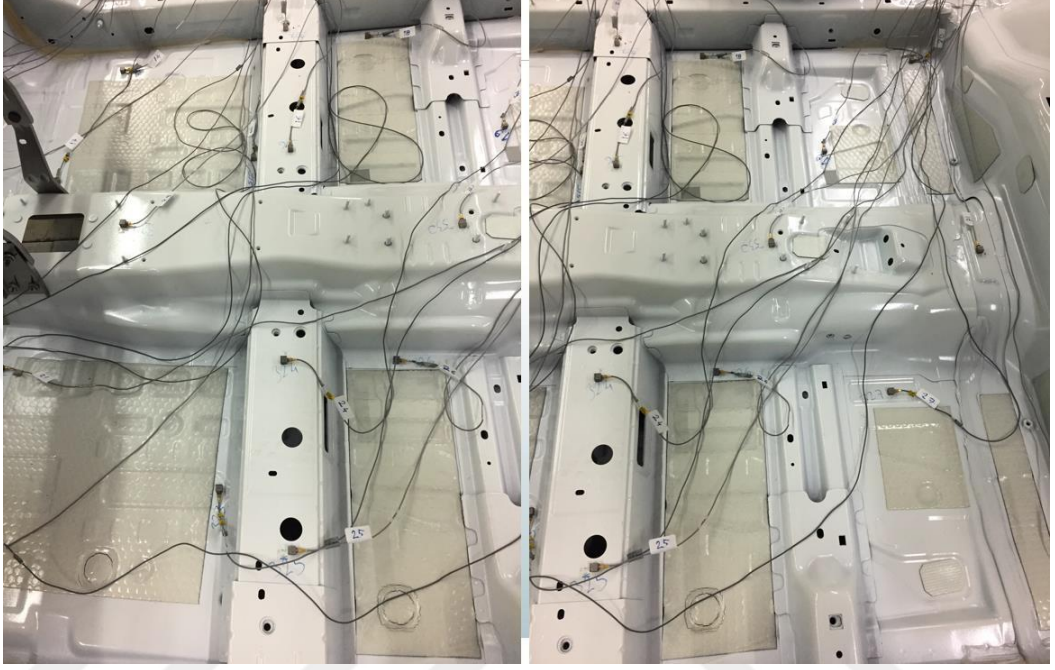


Şekil 3.10. Titreşim seviyesi ölçümü için hazırlanmış araç

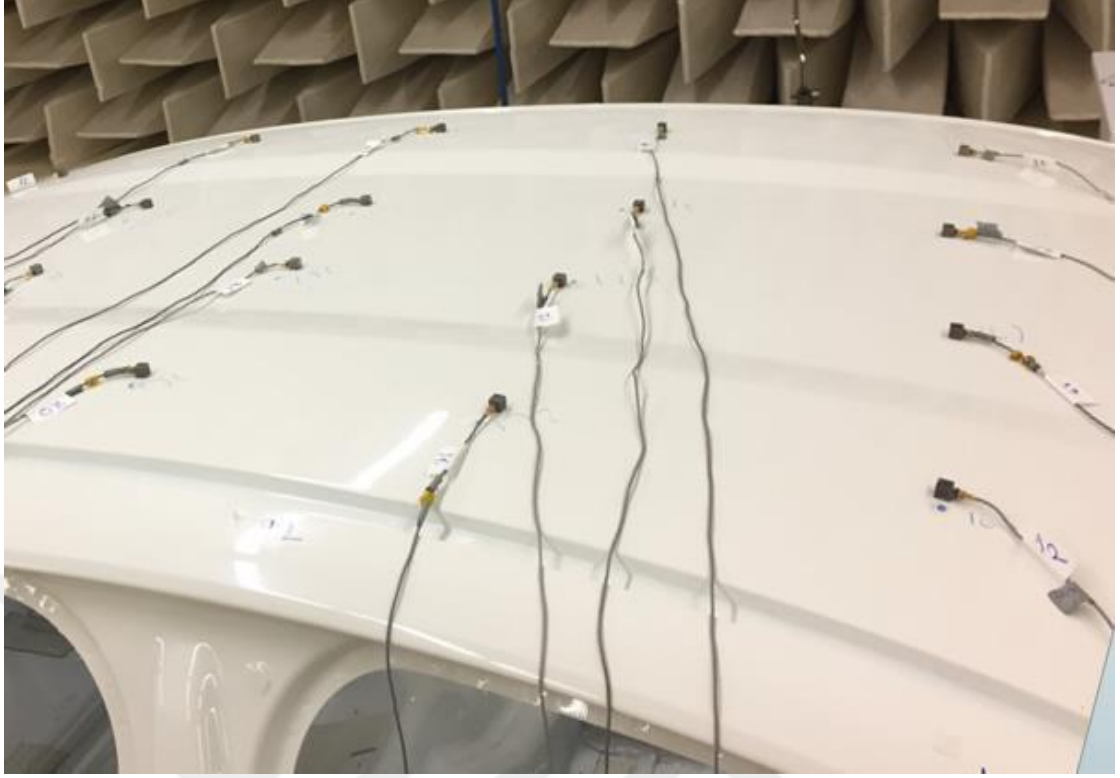


Şekil 3.11. Motor ve Şanzıman gövde bağlantı bölgesine takılacak titreşim motorları

Araç kabin bölgesi taban kısmına şekil 3.12. ve şekil 3.13.'te görüldüğü gibi ivme ölçerler olabildiğince simetrik şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca kritik olduğu düşünülen emniyet kemer braketi bağlantı noktaları, büyük parçaların birleştirildiği kaynak bölgeleri ve yoğun deliklerin olduğu bölgelere dikkat edilmelidir.



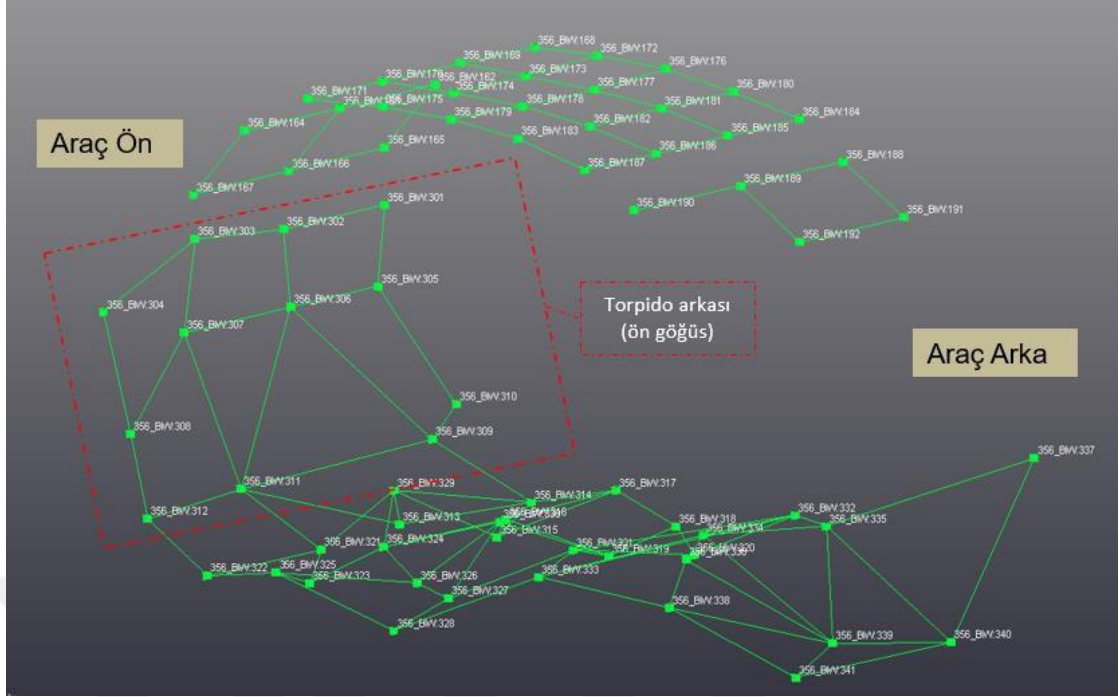
**Şekil 3.12.** İvme ölçer yerleşimi



**Şekil 3.13.** İvme ölçer yerleşimi 2

Ölçüm aldığımız araçlarda tavan sacı tek bir parçadan oluşmaktadır. Bu sebeple ivme ölçerler olabildiğince simetrik pozisyonlandırılmalıdır. Şekil 3.13.'te örnek bir yerleşim görülmektedir.

Tüm ivme ölçerlerin yerleşim haritası ise Şekil 3.14.'te gösterilmiştir. Her bir nokta ivme ölçerleri temsil etmektedir. Araç taban bölgesinde güçlendirme saclarının yoğunluğundan dolayı ivme ölçerler simetrik bir şekilde konumlandırılmamıştır. Fakat ön göğüs kısmı ve tavan bölgesinde olabildiğince simetrik bir yapı kurulmuştur.



**Şekil 3.14.** Ölçme ölçer haritası

### 3.4.5. Jüri testleri

Jüri testleri, objektif olarak araç üzerinde yapılan testlerin, konusunda uzman kişiler tarafından araç kullanılarak doğrulanmasıdır. Bu çalışma kapsamında yapılacak bazı değişikliklerin objektif testlerle ölçümünden sonra, jüri testleri ile doğrulanması yapılmıştır. Bu değerlendirmeler için farklı yapılarda konusunda uzman kişiler seçilmiştir. Katılımcıların otomotiv sektörünün farklı alanlarda uzmanlık sahibi olmasına da dikkat edilmiştir.

Bu test yapılırken araçlar hakkında kullanıcılara bilgi verilmemiştir. Kör test olarak adlandırılan bu değerlendirme tipinde, karşılaştırması yapılan araçlar farklı motorizasyonlarda seçilmiştir. Aynı zamanda değişikliği içeren ve içermeyen araçlar olarak sürücülere ve yolculara bilgi verilmeden araçlar kullanılmıştır. Testler herhangi bir araç sıralaması olmadan sürücülere verilmiştir. Bu sayede sürücüler araçlar ile ilgili değerlendirmelerini herhangi bir önyargıları sahip olmadan yapmışlardır.

Araçların değerlendirmesinde kullanılmak üzere araçlara kodlar verilmiştir. Bu sayede sürücüler kendilerine dağıtılan değerlendirme tablolarında hangi kod aracı kullanıyorlarsa, o kodu puanlamışlardır.

Test sırasında sürücülerden aracı farklı şartlarda kullanmaları istenmiştir. Hızlanma hissi, hızlanma sırasında motor sesi, boğta motor sesi, yol sesi ve rüzgâr sesi açısından araçların puanlandırılması istenilmiştir. Çizelge 3.3.'de örnek bir jüri değerlendirme formu verilmektedir. Bu forma, değerlendirilmek istenilen konuya özel maddelerde eklenebilir.

Konu motor sesi olduğu zaman 2,3,4 ve 5 numaralı maddelerin ortalaması alınarak aracın ortalama motor sesi SAE puanı belirlenmiş olur. Otomobil üreticileri, ürettikleri aracın sınıfı ve fiyatına göre hedef belirlerler. Bu yüzden bu değerlendirmede tüm üreticiler tarafından kabul gören ortak bir hedef değeri bulunmamaktadır. Çalışmanın ileriki aşamalarında değerlendirmeleri paylaşılmış olan araç için kabul edilebilir en düşük değer 6 SAE'dir.

**Çizelge 3.3. Jüri değerlendirme formu**

Jüri Değerlendirmesi			
Değerlendiren :			
Değerlendirme		Araç 1	Araç 2
Dinamik Değerlendirme	1	Hızlanma hissi	
	2	Hızlanmada motor sesi	
	3	Hızlanmada motor sesi (şehir Kullanımı)	
	4	Hızlanmada motor sesi (Agresif Sürüş)	
	5	Boşta motor sesi (AC/OFF)	
	6	Yol Sesi (Tekerlek yuvarlanma sesi)	
	7	Rüzgar Sesi	

Not: Test ettiğiniz araç ile ilgili olarak 0-10 arası bir puan veriniz. Araçların model onayı için minimum gereklilik 7 puandır.

## 4. BULGULAR

Bu kısımda “Sedan 1,6 dizel test aracı” olarak isimlendirilen araç üzerinden farklı koşullarda duyum indisi, genel ses seviyesi ölçümleri alınarak mevcut durumu ortaya çıkarılmıştır. Farklı motorizasyonlar ve yakıt türleriyle, iyileştirilmiş izolasyon seviyesiyle, iyileştirilmiş seviye montajla, rakip araçlarla ve bazı araç parçalarındaki malzeme iyileştirmeleri ile üretilmiş araçlar ile mevcut durum kıyaslanmıştır. Bu şekilde hangi faaliyetin pozitif etkileri olduğu değerlendirilmiştir.

Ayrıca yol şartlarında yapılan testlerin yanında sessiz oda testleri ve titreşim test sonuçları bu bölümde paylaşılmıştır.

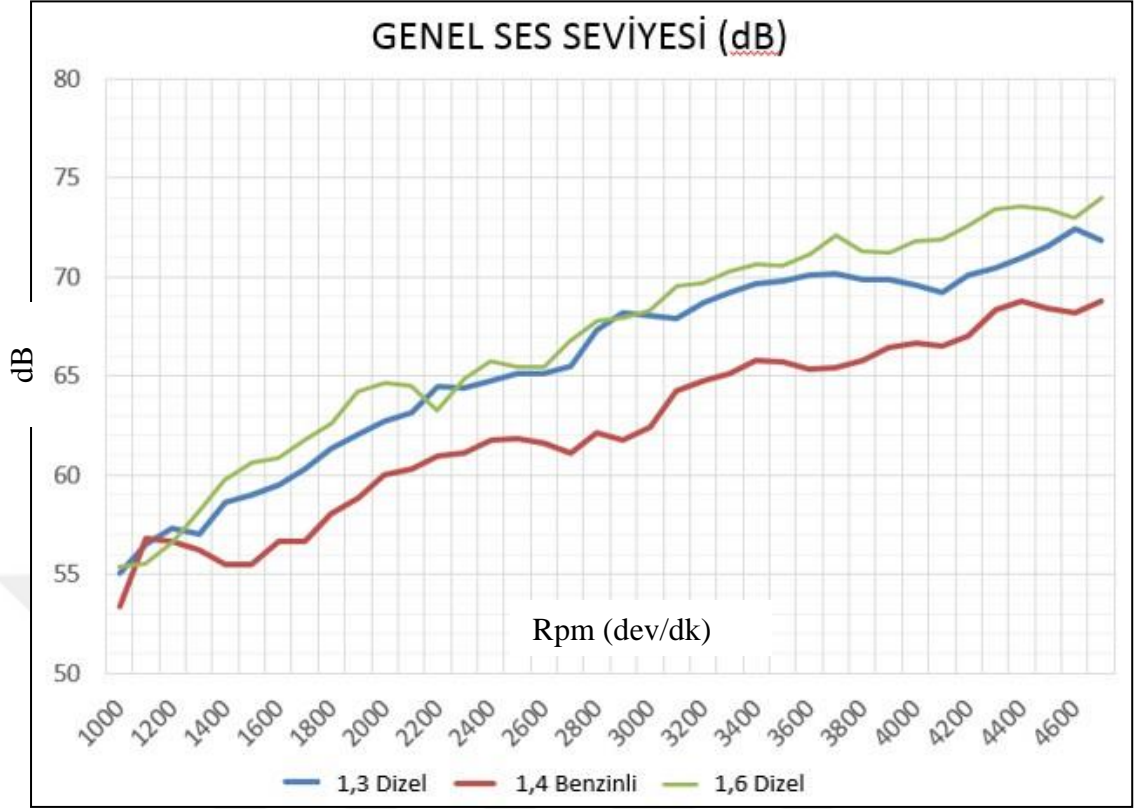
### 4.1. Yol Testlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde 3.4.3 kısmında anlatılan test metodu kullanılarak, Siemens LMS Tab Acoustic programı ile ölçümler alınmış ve değerlendirmeler paylaşılmıştır. Ölçümler 6 araç üzerinden alınarak, daha önce anlatıldığı gibi ortalama değerler paylaşılmıştır.

#### 4.1.1. Aynı gövde üzerinde farklı motorizasyonların karşılaştırılması

Bu bölümde Sedan tipte bir araca 1,3 dizel, 1,4 benzinli ve 1,6 dizel motorlar takılarak 3.4.3. kısmında belirtilen yol testleri uygulanmıştır. Motorlar hacimsel olarak farklı oldukları gibi araç gövdesine montaj edilebilmeleri için bazı yapısal parçaları da farklıdır. Motor ve yakıt tipine göre kabin bölgesindeki gürültü ölçümleri alınırken bu değişiklikler bir bütün olarak değerlendirilecektir. Örneğin 1,6 dizel motorun kabin bölgesi akustik performansı denildiğinde, sadece motorun kendisi değil, bağlantı elemanları, elektrik tesisat farklılıkları, yakıt sistemlerinin farklılıkları, bu motora özel filtreleri gibi tüm değişkenlerin dahil olduğu performanstan bahsedilecektir.

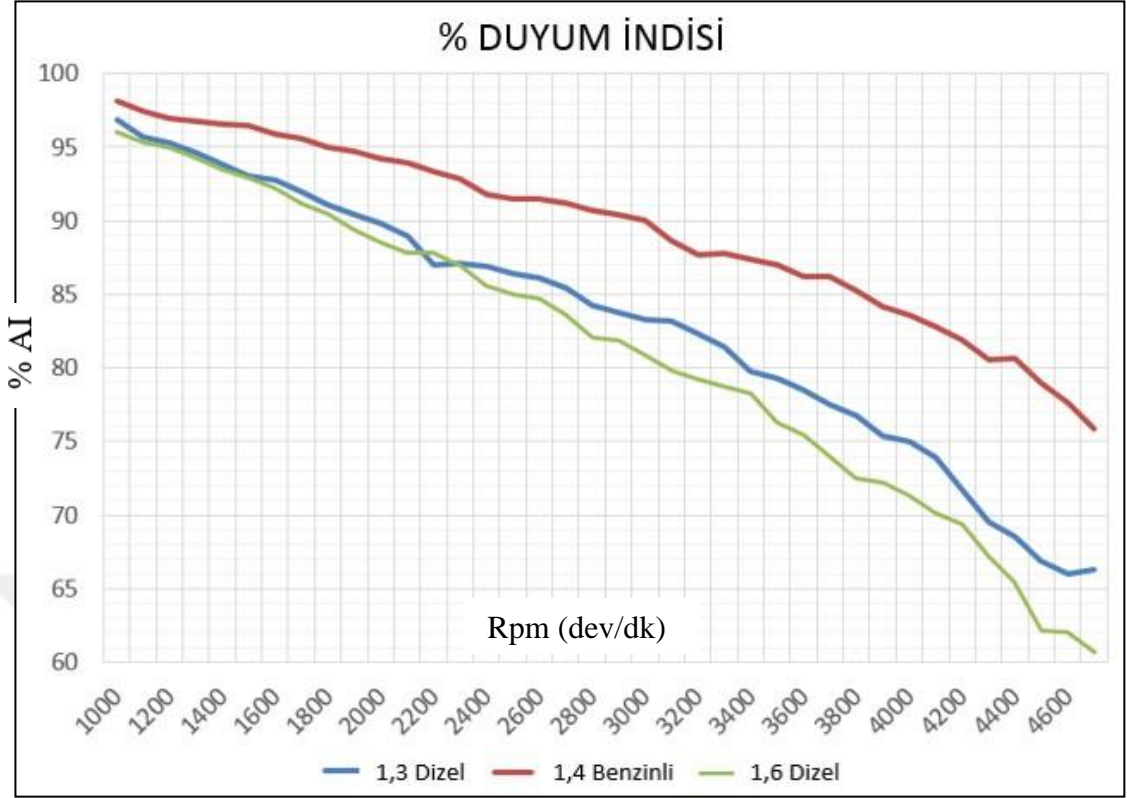
1,3 dizel, 1,4 benzinli ve 1,6 dizel motorun yol testleri sırasındaki genel ses seviyesi ölçümlerini şekil 4.1.’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** Motorizasyon bazlı genel ses seviyesi ölçümü

Şekil 4.1.'deki ölçüm sonucundan anlaşılabileceği gibi bazı devir aralıklarında (2200 – 2400 dev/dk ve 2900 – 3100 dev/dk) 1,6 dizel ile 1,3 dizel motor genel ses seviyeleri yakınlık göstermiştir. Bazı kısa aralıklarda 1,6 dizel motor daha iyi performansa sahip olsa da genel anlamda ise 1,3 motor 1,6 motora göre daha iyi durumdadır. Bu noktada vurgulanması gereken bir diğer hususta dizel motorlarda en sık kullanılan aralık olan 2000-3000 dev/dk'da 1,3 dizel ve 1,6 dizel motor eğrileri çok yakın seyretmiştir. Yani 1,3 dizel motor ile 1,6 dizel motor arasında ivmelenme ve yüksek devir bölgelerinde bariz farklılık mevcuttur.

1,4 benzinli motor ise genel ses seviyesi olarak diğer motorların çok altında kalmıştır. Burada benzinli araç teknolojisinin dizel araç teknolojisine göre daha sessiz olduğu gerçeği eğrilere de yansımış durumdadır.



**Şekil 4.2.** Motorizasyon bazlı duyum indisi ölçümü

Şekil 4.2.'de ise aynı araçlar için duyum indisleri karşılaştırılmış olup, genel ses seviyesindeki farklılıklar bu eğrilere de yansımıştır. 1,4 benzinli motor dizel motorlara göre çok daha iyi seviyede konumlanmıştır.

1,3 dizel motor ile 1,6 dizel motor arasında ise genel ses seviyesi eğrilerindeki fark tekrar korunmuştur fakat genel ses seviyesine göre iki motorun benzer ses seviyesine sahip olduğu 2000-3000 dev/dk aralığı daralarak 2100-2300 dev/dk düşmüştür. Bu durumda 1,3 dizel motora sahip aracın 2200 devir/dk bölgesinde maruz kaldığı bir ses kaynağının yok edilmesi durumunda aracın duyum indisi, 1,6 dizel motordan her bir devir aralığı için daha iyi seviyeye gelecektir.

#### 4.1.2. Farklı gövde tipine sahip araçlarda aynı motorla yapılan ölçümler

Çalışmanın bu kısmında, Sedan 1,6 dizel test aracı, HB 1,6 dizel bir araç ile 3.4.3. bölümünde anlatılan test metodu kullanılarak karşılaştırılmıştır. HB 1,6 dizel araçlar standart donanımda Sedan 1,6 dizel test aracından bir üst sınıfta konumlandırılmıştır.

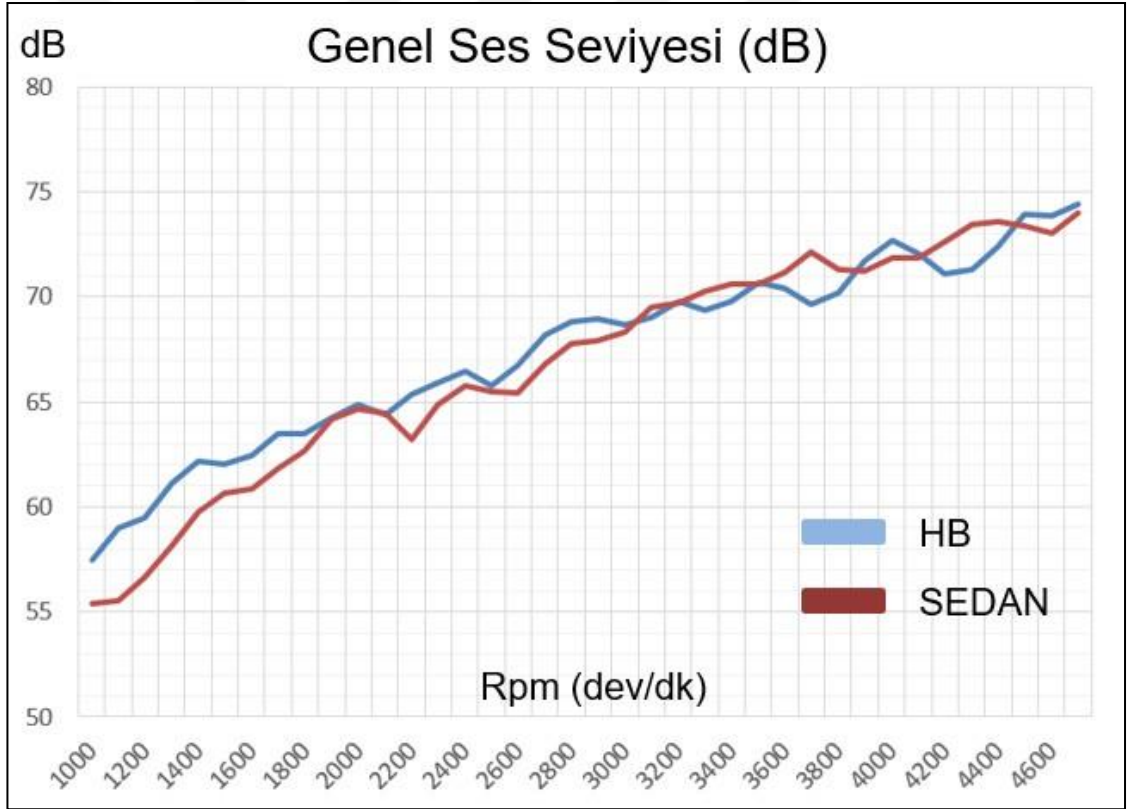


Buna bağı olarak güvenlik, dayanıklılık, sürüş konforu anlamında Sedan 1,6 dizel test aracına göre daha iyi seviyelerdedir.

Test edilen araçlar arasında doğru bir kıyaslama yapabilmek için araçların aynı donanım seviyesinde ve aynı motor tipinde olması sağlanmıştır.

4.1.1. kısmında farklı motorizasyonların karşılaştırmaları yapılmış ve 1,6 dizel motorun daha kötü seviyede olduğu, duyum indisi ve genel ses seviyesi eğrilerinden görülmüştü. Bu sebeple yapılacak testlerde, tüm araçlarda 1,6 dizel motor kullanılmıştır.

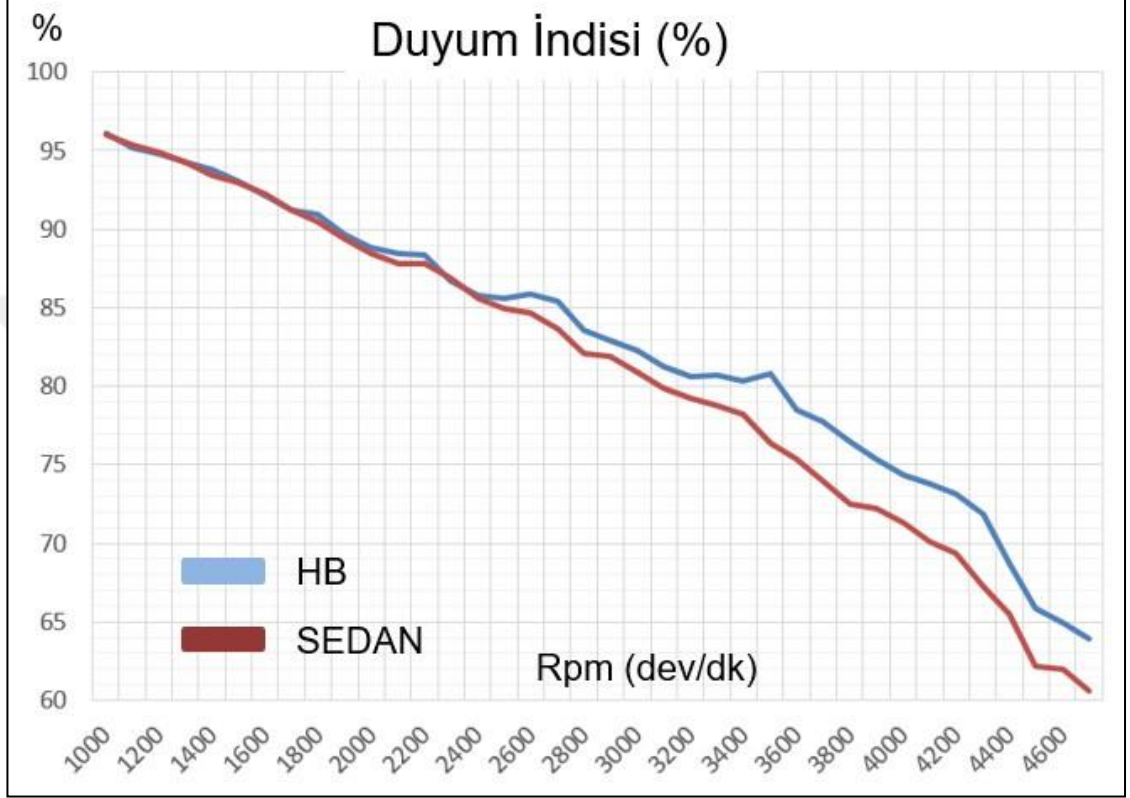
Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te Sedan 1,6 dizel test aracı ile HB 1,6 dizel aracın ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



**Şekil 4.3.** Sedan ve HB 1,6 dizel araçlar için genel ses seviyesi ölçümü

Şekil 4.3.'te verilen eğrilerden görüldüğü üzere iki araç için kabin bölgesinde genel ses seviyesi anlamında büyük farklılıklar yoktur. Bazı devir aralıklarında Sedan 1,6 dizel test aracının daha iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. Bu durum

bağlantıda Sedan 1,6 dizel test aracının düşük devirlerde daha iyi kabin bölgesi akustik performansa sahip olduğu ve yüksek devirlerde performans farklılığı olmadığı anlamını doğursa da daha sonraki bölümlerde müşteri değerlendirmelerinde HB 1,6 dizel aracının daha iyi bir performansa sahip olduğu belirtilmiştir.



**Şekil 4.4.** Sedan ve HB 1,6 dizel araçlar için genel ses seviyesi ölçümü

Şekil 4.4. te HB 1,6 dizel ve Sedan 1,6 dizel test araçlarının duyum indisi ölçüm sonuçları gösterilmiştir. 2000 dev/dk'ya kadar HB ve Sedan araçlar arasında ufak farklılıklar olsa da 2400 dev/dk sonrasında HB aracın duyum indisi değerlerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Özellikle 3000 dev/dk sonrasında duyum indisindeki farklılık artmıştır.

Genel ses seviyesinde bariz bir farklılık olmaması ve duyum indisinde HB aracın daha iyi seviyede olması beklenen bir durum değildir. Fakat bu sonuçlar üzerinden bir kanıya varabilmek için jüri testi yapılarak, kullanıcıların araçları nasıl sınıflandırdığı incelenmelidir. Daha sonraki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi HB aracın Jüri

değerlendirmesi daha iyi seviyededir. Bu bilgiler ışığında yapılabilecek değerlendirme ise duyum indisi ölçümlerinin müşteri beklentilerini daha iyi yansıttığıdır.

#### 4.1.3. İzolasyon anlamında geliştirilmiş araç ölçümü

4.1.1. ve 4.1.2. bölümlerinde farklı motorizasyon ve gövde tiplerinde yapılan genel ses seviyesi ve duyum indisi ölçümleri ışığında, kabin bölgesi akustik performansının diğerlerinden daha kötü durumda olduğu kanaatine varılan Sedan 1,6 dizel test aracı üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Kabin bölgesindeki akustik performansın iyileştirilmesi için iki temel yol izlenebilir. Bunlardan ilki ses kaynağı olan motorun titreşimlerini azaltarak, kabin bölgesindeki etkisini azaltmaya çalışmak, ikincisi ise ses ve titreşim oluştuktan sonra araç kabin bölgesine ulaşmasının önüne geçmeye çalışmaktır. Bu bölümde Çizelge 4.1. de belirtilen elemanlarda yapılacak değişiklikler ile Sedan 1,6 dizel test aracında akustik performansın iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.1.'de belirtilen elemanların mevcut durumları ve iyileştirilmiş özelliklerini görebilirsiniz.

**Çizelge 4.1.** Akustik paket içerikleri

	Mevcut Durum	Yeni Durum
Ön Camlar	Kalınlık: 4,5 mm	Kalınlık: 5,1 mm
Ön Kapı Camları	Kalınlık: 3,5 mm	Kalınlık: 4 mm
Ön Göğüs İzolatörü	4 kg/m <sup>2</sup>	6 kg/m <sup>2</sup>
Torpedo İzolatörü	Kalınlık: 21 mm	Kalınlık: 27 mm
Gövde Padleri	Yok	Var
Motor Muhafazası	Yok	Var

Şekil 4.5.'te ön göğüs izolasyonunun konumu gösterilmiştir. Motor boşluğunda gövde sacı üzerine sabitlenen ön göğüs izolasyonunun görevi motor tarafından ortaya çıkan seslerin kabin bölgesine geçişini engellemektir.



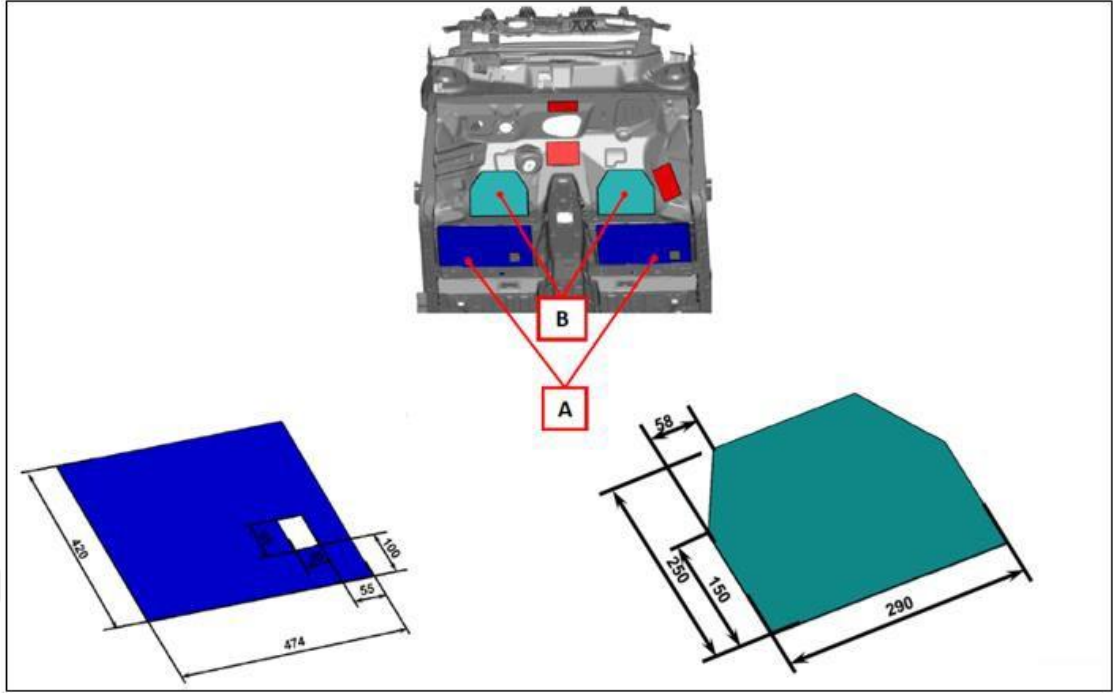
**Şekil 4.5.** Ön göğüs izolasyonu



**Şekil 4.6.** Torpido izolatörü

Şekil 4.6.'da torpido izolatörünün araç üzerindeki konumu gösterilmiştir. Torpido izolatörü, araç kabin bölgesinde, torpido grubunun arkasındaki saca sabitlenmektedirler. Bu sac, Şekil 4.5.'te gösterilen ön göğüs izolatörünün de sabitlendiği gövde sacıdır. Torpido izolatörlerinin de temel görevi motor kaynaklı seslerin kabin bölgesine ulaşmasını engellemektir. Bu durumda motor kaynaklı sesler, kabin bölgesine ulaşmadan önce ilk olarak ön göğüs izolatörü tarafından filtrelenir. İkinci aşamada ise torpido izolatörü tarafından filtrelenerek kabin bölgesine ulaşırlar.

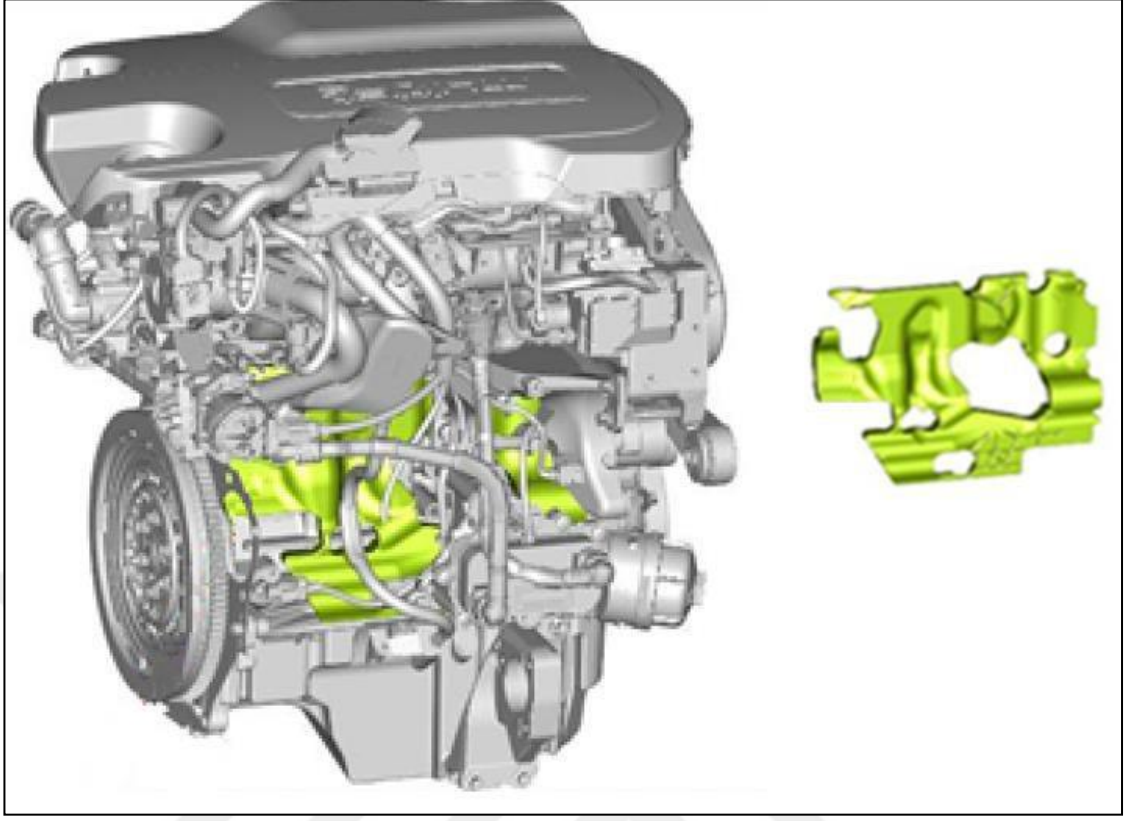
Çizelge 4.1.'de bahsedilen padler aracın gövdesine takılan, titreşime karşı olan dayanımı arttıran sönümleyici parçalardır.



**Şekil 4.7.** Gövde padleri

Şekil 4.7.'de test araçlarına uygulanan padlerin konumlarını görebilirsiniz. Bu padler kabin bölgesinde, koltukların alt kısmında ve ayak basma bölgesinde taban sacı üzerine takılırlar.

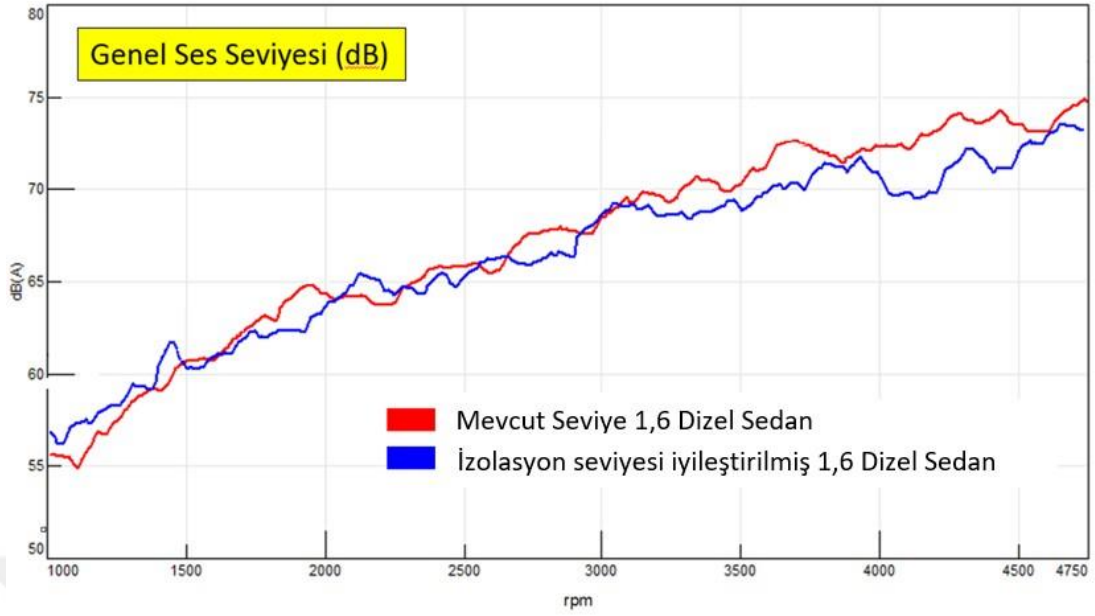
Akustik performansa doğrudan etki eden bir diğer parçada Çizelge 4.1.'de bahsedilen motor muhafazasıdır. Şekil 4.8.'de verilen motor muhafazası, doğrudan motor bloğunun üzerine takılan izolatörlerdir. Motor muhafazasının temel görevi belirli frekanstaki titreşimler daha gövdeye iletilmeden sönmektir. Şekil 4.8.'de örnek bir uygulama gösterilmektedir.



**Şekil 4.8.** Motor muhafaza

Çalışmanın bu kısmında Çizelge 4.1.'de gösterilmiş olan tüm değişikliklere sahip 6 adet Sedan 1,6 dizel test aracı ve mevcut seviye parçalarla üretilen 6 adet Sedan 1,6 dizel test aracının akustik performansları ölçülmüştür.

Şekil 4.9.'da mevcut seviye parçalar ile üretilen araçların genel ses seviyesi ve izolasyon seviyesi iyileştirilmiş parçalar ile üretilen araçların genel ses seviyeleri gösterilmiştir.



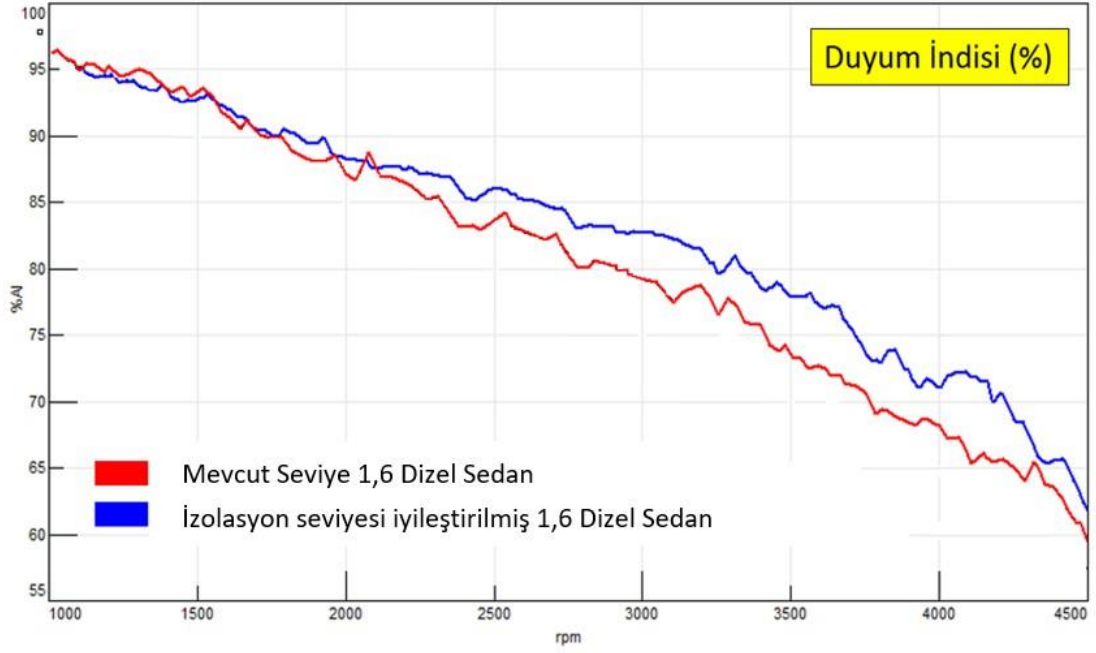
**Şekil 4.9.** Mevcut seviye ile izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın genel ses seviyesi karşılaştırılması

Şekil 4.9.'da görülebileceği gibi iki eğri arasında belirli devir aralıklarında birbirlerine karşı daha iyi oldukları yerler olsa da, 3000 dev/dk'ya kadar genel seyirde bir farklılık bulunmamaktadır. Fakat 3000 dev/dk sonrası izolasyon seviyesi iyileştirilmiş test aracında belirgin bir üstünlük mevcuttur.

Bu durum, izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın yüksek devirlerde daha gürültüsüz bir kabin bölgesine sahip olduğu yorumunu doğurur. Bu iyileşmenin müşteri gözündeki etkileri ilerleyen bölümlerde incelenmiştir.

Şekil 4.10.'da mevcut seviyede üretilmiş Sedan 1,6 dizel aracı ile izolasyon seviyesi iyileştirilmiş Sedan 1,6 dizel test aracı kıyaslanmıştır. Şekil 4.10.'dan görülebileceği gibi 1800 dev /dk'ya kadar iki eğri arasında belirgin bir farklılık yoktur. Yani düşük devirlerde iki aracında kabin bölgesinin akustik performansları yakındır. 1800 dev/dk dan sonra izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın akustik performansı farklılaşmaya başlamış ve diğer tüm devir aralıklarından daha iyi bir performansa sahip olmuştur.





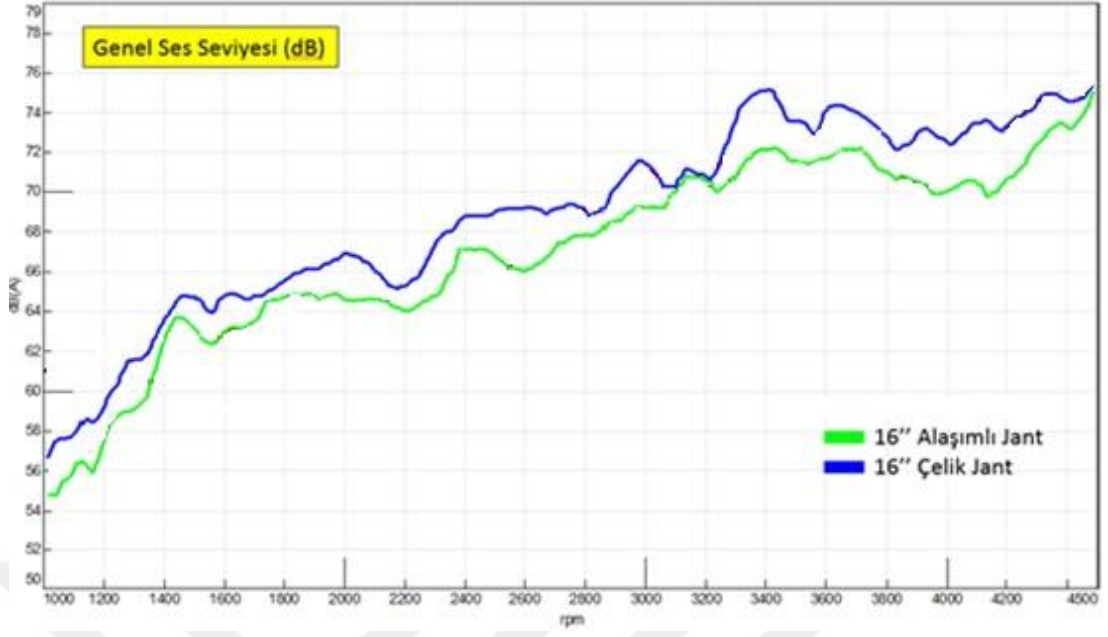
**Şekil 4.10.** Mevcut seviye ile izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın duyum indisi karşılaştırılması

Bu durum 4.1.1. kısmında karşılaştırılan durumun benzeridir. Genel ses seviyesinde büyük farklılıklar olmamasına rağmen duyum indisinde bir ayrışma olmuştur. Yapılan jüri testi ile müşterilerin gözünden araçlar incelenmiş ve duyum indisi eğrisinde olduğu gibi izolasyon seviyesindeki iyileşmeyi doğrulayacak verilere ulaşılmıştır. Daha sonraki bölümlerde jüri testlerinin sonuçları paylaşılmıştır.

#### 4.1.4. Jant etkisinin ölçümü

Araç hareket halindeyken tekerlekler motor titreşimlerinin etkisini de taşımaktadırlar. Yoldan gelen titreşimler ile birlikte kabin bölgesindeki titreşim ve ses seviyesi de artmaktadır. Bu durumda lastik ve jant etkisinden de bahsedilmelidir.

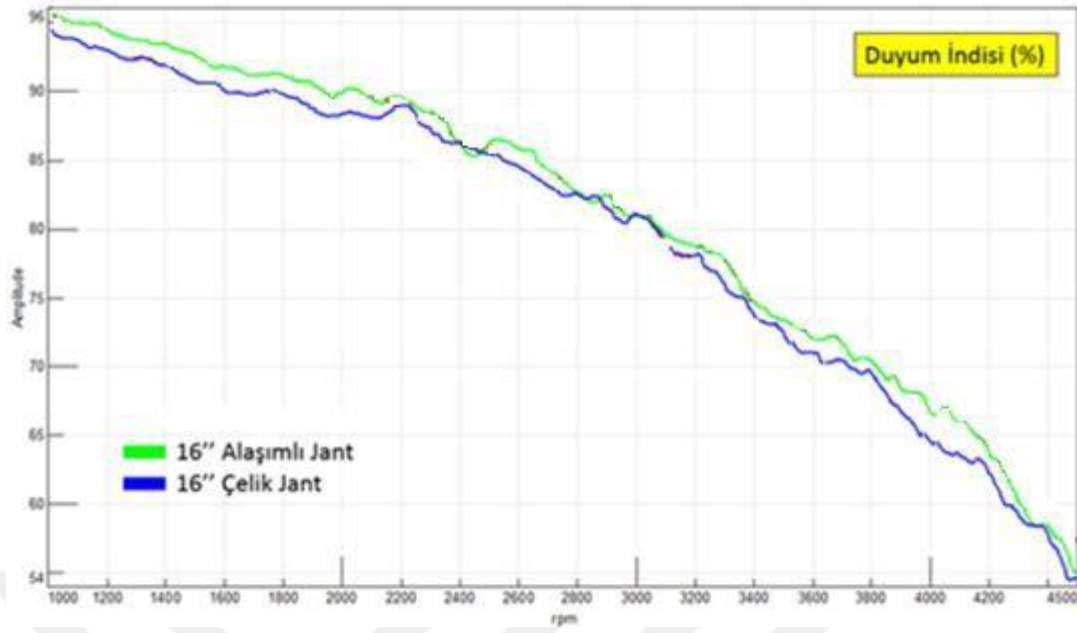
Çalışmanın bu bölümünde Sedan 1,6 dizel test aracına iki farklı malzemede jant takılarak kabin bölgesindeki akustik performans incelenmiştir.



**Şekil 4.11.** Farklı malzemede jantların genel ses seviyesi karşılaştırılması

Şekil 4.11.'den görülebileceği gibi hemen hemen tüm devir aralıklarında 16" çelik jant ile üretilen araç diğerinden kötü durumdadır. Özellikle 2200 dev/dk ile 3000 dev/dk aralığında Alaçımli jant çok daha iyi performans göstermiştir. 3100 dev/dk ile 3200 dev/dk aralığında yakınlama olsa da tüm eğriye yansımamıştır.

Genel ses seviyesi açısından 16" alaçımli jantın performansının 16" çelik janta göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.12.** Farklı malzemede jantların duyum indislerinin karşılaştırılması

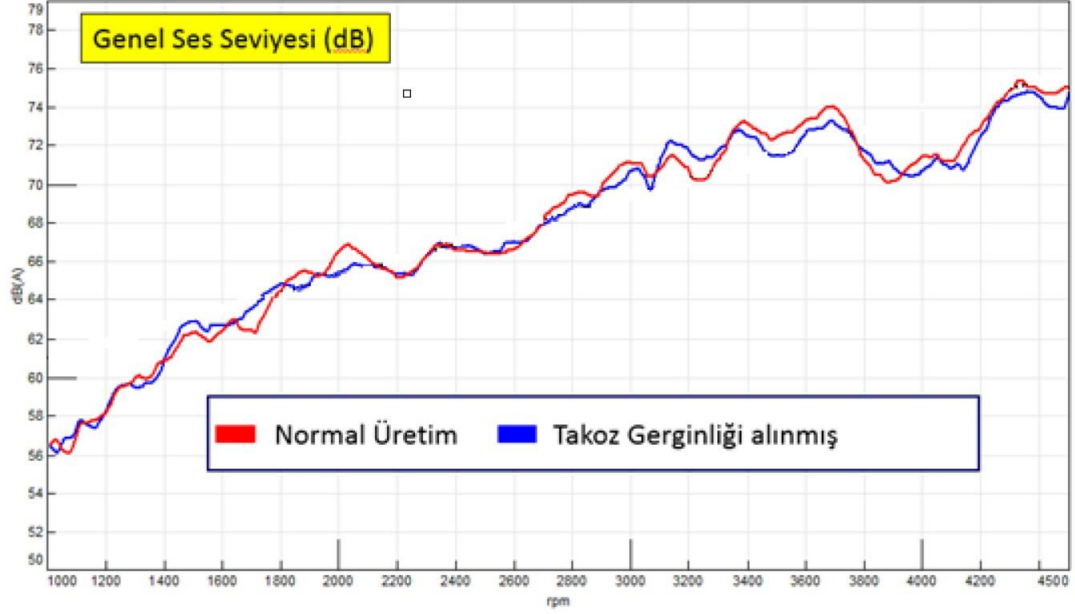
Şekil 4.12.'de ise duyum indisleri değerlendirilmiştir. 16" alaşımli jant hemen hemen tüm devir aralıklarında 16" çelik janta göre daha iyi performans sergilemiştir. Özellikle 1000 dev/dk'dan, 2100 dev/dk'ya kadar alaşımli jantın performansı bariz daha iyidir fakat 2200 dev/dk ile 3400 dev/dk arasında büyük bir akustik performans farklılığı belirlenememiştir.

#### 4.1.5. Motor takozlarının gerginlik etkisinin ölçümü

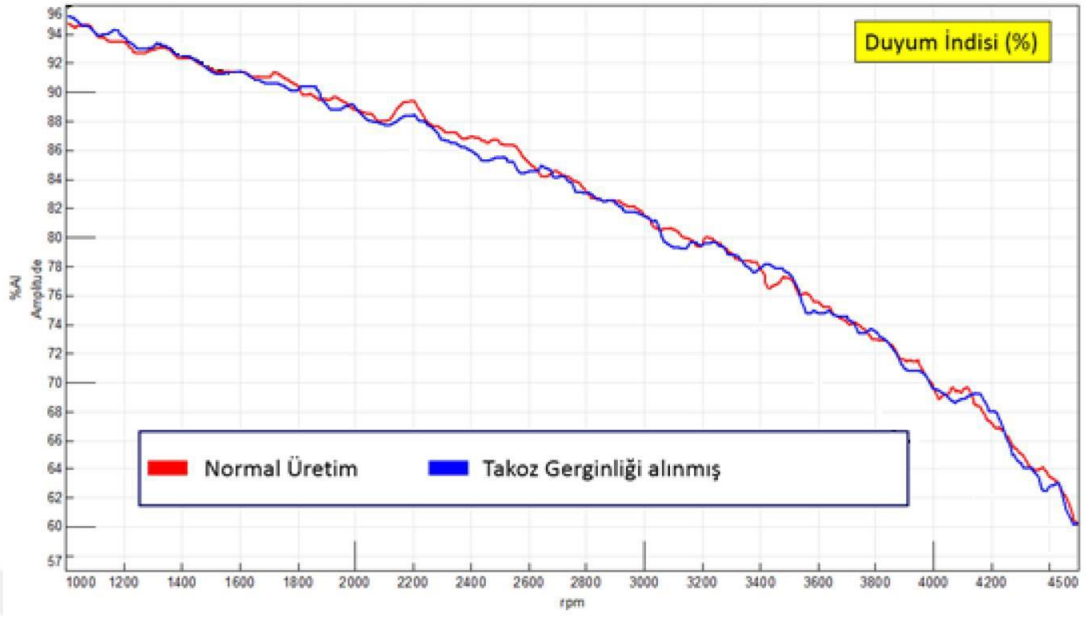
Motor titreşimlerinin arzu edilenden fazla olmasının bir diğer nedeni ise üretim hatlarında kullanılan montaj aparatlarının yeterli olmaması veya düzenli olarak kullanılmamasıdır. Motor süspansiyon grubunun gövde ile evlendirildiği operasyon, otomotiv hatlarındaki belki en zahmetli işlerden biri olarak bilinir. Bu operasyon sırasında motor grubu gövdeye ne kadar kusursuz oturtulursa titreşim o kadar az olur. Merkezleme işleminin uygun yapılmadığı montaj sonrasında, takozlar üzerinde eksen kaçıklığına bağlı gerginlikler oluşur.

Üretim hatlarında genellikle takoz gerginliği almak olarak bilinen tamir talimatları oluşturulmuştur. Bu talimatlar kullanılarak araçlar hat çıkışlarında tamir işlemi görürler. Çalışmanın bu kısmında seri üretimden alınmış Sedan 1.6 dizel aracı ile takoz gerginliği alınmış olduğu bilinen Sedan 1,6 dizel test aracının karşılaştırması

gösterilmiştir. Bu test için 6 adet normal üretim araç ile 6 adet takoz gerginliği alınmış aracın ortalama değerleri kullanılmıştır. Şekil 4.13. ve 4.14.'te sırasıyla genel ses seviyesi ve duyum indislerinin karşılaştırmaları gösterilmektedir. Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te görüldüğü gibi motor takozlarının gerginliğinin alınması genel ses seviyesinde ve duyum indisinde bariz bir etkisi yoktur. 2200 – 2600 dev/dk aralığında takoz gerginliği alınmış aracın akustik performansının daha iyi olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 4.13. Takoz gerginliğinin genel ses seviyesine etkisi

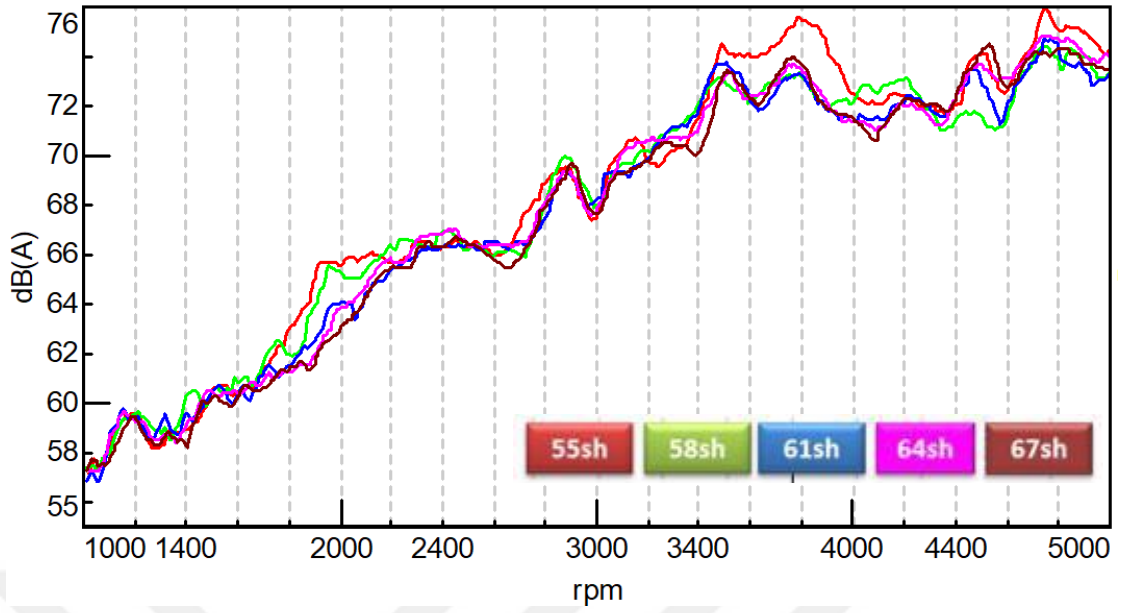


**Şekil 4.14.** Takoz gerginliğinin duyum indisine etkisi

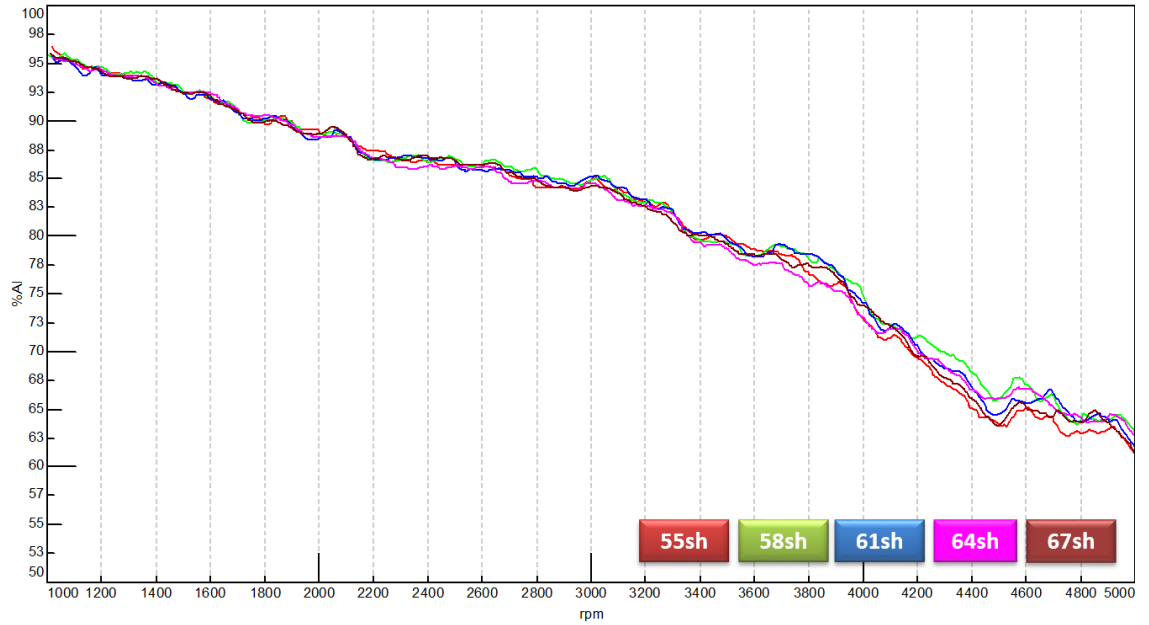
#### 4.1.6. Motor takozlarının farklı shore değerlerinde ölçümü

Motor takozlarının kauçuk parçalarının shore değerleri titreşimlerin sönümlenmesinde büyük rol oynar.

Şekil 4.15.'te farklı shore değerlerine sahip kauçuklar ile üretilen motor takozları kullanılmış, Sedan 1,6 dizel test araçlarının genel ses seviyesi ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4.15.'te verilen genel ses seviyesi ölçümü detaylı incelenirse 55 ve 58 shore değere sahip takozlar 1500 – 2400 dev/dk aralığında diğer motor takozlarından kötü performans sergilemişlerdir. Ayrıca 55 shore değere sahip takoz 3400 – 4200 dev/dk aralığında da diğer takozlara göre kötü performans sergilemektedir.



**Şekil 4.15.** Farklı shore değerlerine sahip motor takozlarının genel ses seviyelerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.16.** Farklı shore değerlerine sahip motor takozlarının duyum indislerinin karşılaştırılması

Şekil 4.16.'da farklı shore değerleri ile üretilmiş motor takozlarının duyum indisi karşılaştırması verilmektedir. Bu eğrilerden görülebileceği 3000 dev/dk noktasına kadar bariz bir ayırım bulunmamaktadır. Bu noktadan sonrada devir çok fazla arttığı için kesin bir kanıya varabilecek sonuçlar elde edilememiştir.

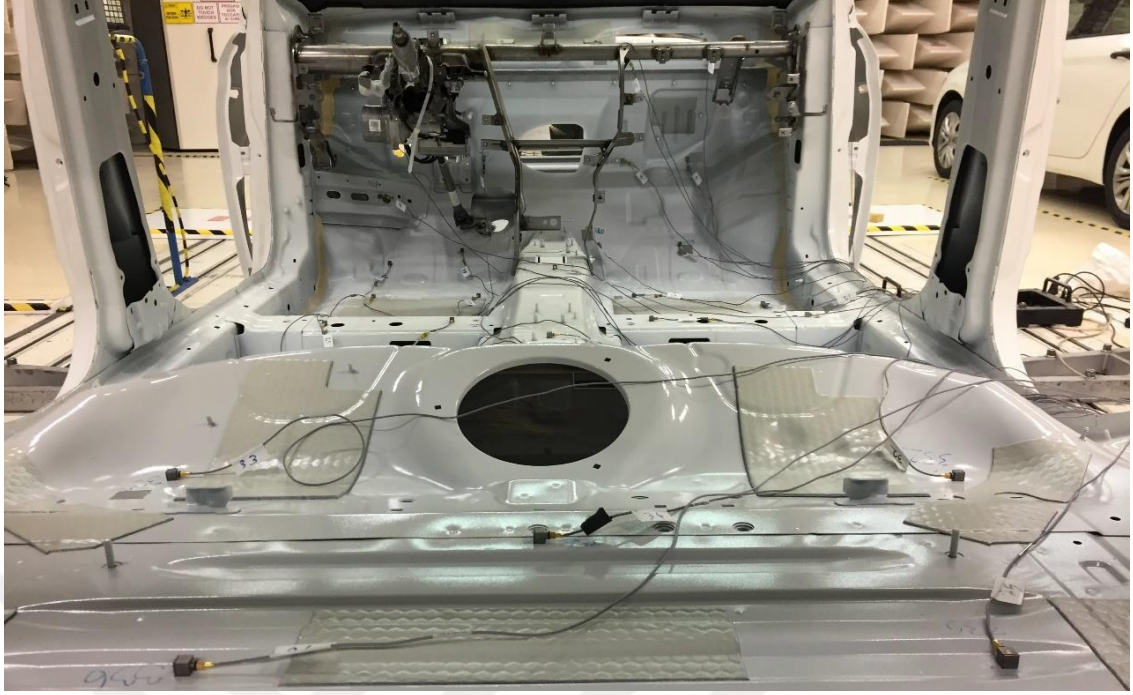
#### 4.2. Yankısız Oda Gövde Titreşim Testi Değerlendirilmesi

Bu bölümde yankısız oda da yapılan gövde titreşim testlerinin değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu test için kullanılacak ekipmanlar ve test metodu daha önce 3.5.3. bölümünde anlatılmıştır.

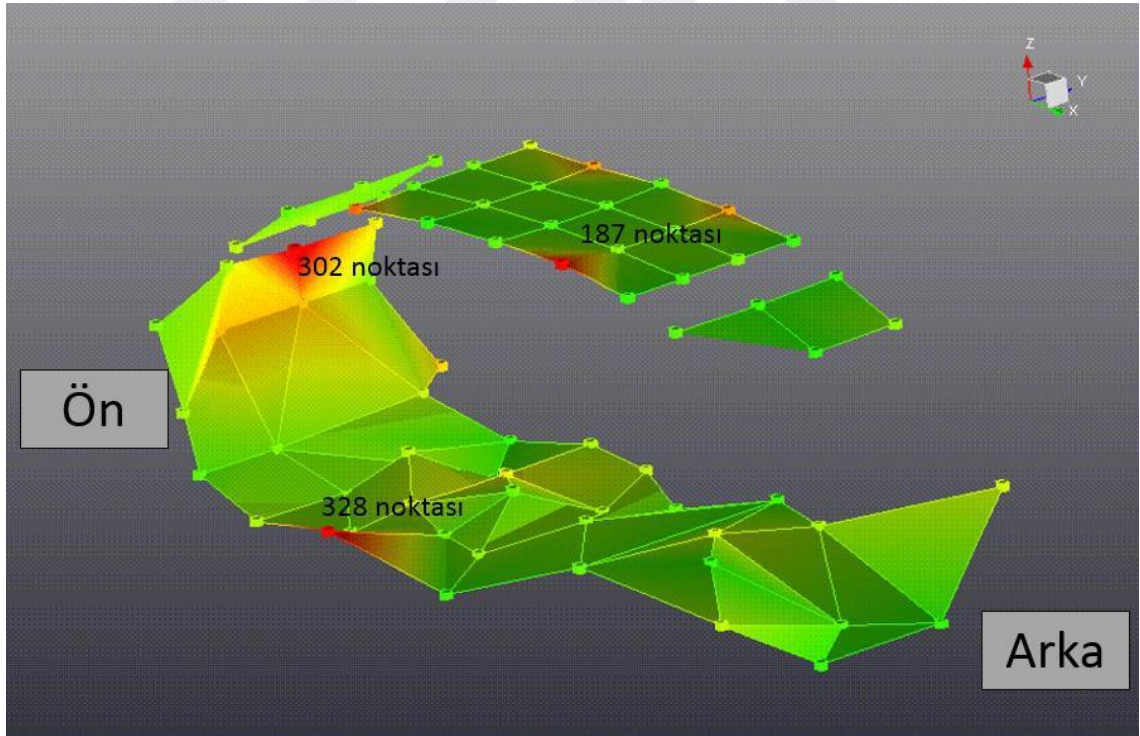
lme lerler ęekil 4.17. ve ęekil 4.18.'de görüldüğü gibi araç gövdesi üzerine yerleştirilmişlerdir. Titreşim motorları ile tahrik verilmiştir ve yer değiştirmelere bağlı ısı haritası ęekil 4.19.'da verildiği gibi elde edilmiştir. Ölçümler sadece bir Sedan test aracı gövdesi üzerinde yapılmıştır.



**şekil 4.17.** Titreşim testi araç hazırlığı



Şekil 4.18. Titreğim testi araç hazırlığı 2



Şekil 4.19. Gövde titreğim testi görsel sonuçları



gekil 4.19.'dan görüldüğü gibi araç gövdesinde torpido bölgesi arkasında ön göğüs sağ kısmında 302 noktası olarak gösterilen alanda titreşim yoğunluğu mevcuttur.

Daha önce 4.3.1. bölümünde anlatılan izolasyon seviyesi iyileştirilmiş araçta, ön göğüs bölgesine etki edecek olan ön göğüs izolatörü ve torpido izolatörü iyileştirmeleri paylaşılmıştır. Bu izolatörlerin iyileştirilmesinin pozitif etkisi belirtilmiştir. Ölave olarak 302 notasındaki titreşim yığılmasının da önüne geçilmesi için yapısal bazı denemelerde yapılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Ayrıca 328 ve 187 noktalarında da bazı titreşim yığılmaları meydana gelmiştir. Bu noktalardaki yığılmaların önüne geçilmesi ile, kabin bölgesi akustik performansının iyileştirileceği düşünülebilir.

### **4.3. Jüri Testlerinin Değerlendirilmesi**

Çalışmanın bu aşamasında 4.1. bölümünde sonuçları paylaşılan bazı yol testlerinin etkilerinin ölçülmesi için jüri testleri yapılmıştır. Daha önce yapılan tüm yol testlerinden bariz farklılıklar elde edilemediği için sadece iyileşme sağlanabileceği düşünülen kısımlara jüri testi öngörülmüştür.

#### **4.3.1. İzolasyon anlamında geliştirilmiş araç için jüri değerlendirmesi**

Bu bölümde, izolasyon anlamında iyileştirilmiş Sedan 1,6 dizel test aracının, normal üretim Sedan 1,6 dizel aracının ve HB 1,6 dizel aracının için jüri değerlendirmeleri paylaşılmıştır. Bu sayede daha önceki bölümlerde yapılan iyileştirme çalışmalarının müğteri gözündeki değerinin ölçülmesi hedeflenmiştir.

**Çizelge 4.2.** İzolasyon anlamında iyileştirilmiş aracın jüri değerlendirmesi

Değerlendirme		SEDAN 1,6 DİZEL	SEDAN 1,6 DİZEL + İzolasyon paketi	HB 1,6 DİZEL	
Dinamik Değerlendirme	1	Hızlanma hissi	6,50	6,60	7,00
	2	Hızlanmada motor sesi	6,70	7,10	7,20
	3	Hızlanmada motor sesi (Şehir Kullanımı)	6,90	7,20	7,40
	4	Hızlanmada motor sesi (Agresif Sürüş)	6,50	7,00	6,90
	5	Boşta motor sesi (AC/OFF)	6,90	7,20	7,20
	6	Yol Sesi (Tekerlek yuvarlanma sesi)	7,10	7,50	7,60
	7	Rüzgar Sesi	7,20	7,40	7,50

Çizelge 4.2.'te jüri test sonuçları paylaşılmıştır. Bu sonuçlar eğiğinde izolasyon anlamında yapılan iyileştirmeler olumlu sonuçlar vermiştir. 2,3,4 ve 5 maddelerinin tamamında izolasyon anlamında iyileştirilmiş araç, normal üretim araca göre iyileşme göstermiştir.

Ayrıca 4.1.2. bölümünde HB ve Sedan gövde tiplerinin değerlendirilmesi yapılmış ve duyum indisi anlamında HB aracın akustik performansının daha iyi olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.2.'te sonuçları paylaşılan jüri testine göre, normal üretim Sedan 1,6 dizel araç, HB 1,6 dizel aracından daha kötü kabin bölgesi akustik performansına sahiptir. Yani 4.1.2. bölümünde ki duyum indisi karşılaştırmasına paralel bir sonuç alınmıştır. Buradan çıkartılabilecek sonuç ise, duyum indisi ölçümünün müşteri beklentilerini daha iyi karşıladığıdır.

İzolasyon anlamında iyileştirilmiş Sedan 1,6 dizel test aracı ise HB 1,6 dizel araç seviyesine yakın sonuçlar elde etmiş, hatta agresif sürüş halinde hızlanmada daha iyi noktaya gelmiştir.

#### 4.3.2. Farklı motor takozlarına sahip araçlar için jüri değerlendirmesi

Bu bölümde 4.1.6 kısmında gösterilen 55 shore ve 67 shore değere sahip motor takozlarına sahip araçlar için jüri değerlendirmesi yapılmıştır.

**Çizelge 4.3.** Farklı motor takozlarına sahip araçlar için jüri değerlendirmesi

Değerlendirme		SEDAN 1,6 DİZEL	SEDAN 1,6 DİZEL + 55 sh	SEDAN 1,6 DİZEL + 67 sh	HB 1,6 DİZEL	
Dinamik Değerlendirme	1	Hızlanma hissi	6,50	6,60	6,80	7,00
	2	Hızlanmada motor sesi	6,70	6,40	6,90	7,20
	3	Hızlanmada motor sesi (Şehir Kullanımı)	6,90	6,50	7,10	7,40
	4	Hızlanmada motor sesi (Agresif Sürüş)	6,50	7,00	7,10	6,90
	5	Boşta motor sesi (AC/OFF)	6,90	6,90	7,10	7,20
	6	Yol Sesi (Tekerlek yuvarlanma sesi)	7,10	6,90	7,20	7,60
	7	Rüzgar Sesi	7,20	7,10	7,40	7,50

Çizelge 4.3.'te farklı motor takozlarına sahip Sedan 1,6 dizel test araçlarının, mevcut seviye Sedan 1,6 dizel araç ve HB 1,6 dizel araç ile karşılaştırması gösterilmiştir. 67 Shore değeri ile üretilen motor takozu kullanılan araç, 55 shore ile üretilen araca ve normal üretim Sedan 1,6 dizel araca göre 2,3,4 ve 5 maddelerinde üstündür. Fakat 67 shore değer ile üretilen Sedan 1,6 dizel test aracı, HB 1,6 dizel aracın akustik performansına çıkamamıştır. 55 shore ile üretilen 1,6 dizel Sedan test aracı normal üretim Sedan araca göre kötüleşmiştir. Sadece kabin bölgesinde motor sesinin etkisi anlamında değil, yol sesi anlamında da kötüleşme olmuştur.

## 5. SONUÇLAR

Motorların tiplerine ve hacimlerine göre değerlendirme yapıldığında, araç motorunun dizel veya benzinli olması araç kabin bölgesinde kolaylıkla hissedilebilir farklılıklar yaratmaktadır. Dizel motorlar çalışma prensipleri gereğince benzinli motorlara göre daha titreşimli ve doğal olarak sesli çalışmaktadırlar. Motor hacmine bağlı olarak farklı devir aralıklarında eşitlikler hatta benzinli motorların daha sesli olduğu durumlar da olabilir.

Motor hacmi de kabin bölgesindeki gürültü seviyesine doğrudan etki eden bir parametredir. Aynı gövde ve donanıma sahip iki farklı hacimli motordan, büyük hacimli olanın gürültü seviyesinin daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Gürültü seviyeleri gibi aynı yorumları duyum indisi içinde yapmakta mümkündür. Büyük hacimli ve dizel motorların duyum indisleri, benzinli ve küçük hacimli motorlara göre kötü seviyededirler.

Motordan bağımsız olarak kabin bölgesindeki akustik performansa doğrudan etki eden bir diğer unsurda araç süspansiyon sistemidir. Özellikle tekerleklerden gelen titreşimler ile motor titreşimlerinin birleşmesi, kabin bölgesindeki akustik konfor seviyesine etki eder. Araç jant ölçüleri ve malzemesi de doğrudan kabin bölgesindeki ses seviyesine etki etmektedir. Bu çalışmada yapılan testlerle jant malzemesinin akustik performans üzerinde direkt etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Alaçımli jantların çelik jantlara göre daha iyi durumda olduğunu söylemek mümkündür.

Bu çalışmanın bir bölümünde de üretim birimlerinin montaj kabiliyetleri incelenmiştir. Motor montajı sırasında takozların üzerindeki gerginliklerin negatif etkileri gözlemlenmiştir. Motor takozlarındaki gerginliklerin alınmasının olumlu sonuçları olsa da beklendiği kadar büyük iyileşmeler sağlamamıştır.

Motor takozlarının üzerindeki kauçuk malzemenin türü ise araç kabin bölgesinin akustik performansına doğrudan etki etmektedir. İncelenen aracın motor karakteristiklerine ve ağırlıklarına göre shore değeri büyük farklar yaratmaktadır. Bir araçta 55 sh değerinde en iyi sonuç elde edilirken başka bir araçta 65 sh da en iyi performansa ulaşılabilir. Çalışma boyunca incelenen Sedan 1,6 dizel test aracı için en

iyi değer 67 sh olarak dnlebilir. Genel anlamda 61-64-67 sh değerleri yakın seyirler izlemiğ olsa da 67 sh kauçuk malzeme diğer malzemelere göre daha kararlı bir seyir izlemiğtir. 55 ve 58 sh kauçuk ile üretilen takozlar ise dalgalı ve yüksek titreğim seviyesinde ęalıęmıęlardır. Bu da araç kabin bölgesinde düğük akustik performansa sebep olmuğtur. Ayrıca 55 sh ve 67 sh takozlar için yapılan jüri değerlendirmeleri, yol testlerini doğrular ęekilde sonuçlar vermiğtir.

alığmada motor seslerinin kabin bölgesine ulağmasının önüne geçmek için iyileçirme yapılabilecek parçaların belirlenmiğtir. n camlar, n kapı camları, n göğüs izolatörü, torpido izolatörü direk olarak sesin kabin bölgesine ulağmasında rol alan parçalardır. Ayrıca titreğim yığılmalarının olduğu bölgelerde kullanılan gövde padleri ve titreğim kaynağı olan motorun üzerine takılan izolatör yardımıyla gayet olumlu sonuçlar alınmığtır. Akustik paket olarak adlandırabileceğimiz bu paket elemanlarının iyileğirmesi sadece NVH limleri ile değil, kullanıcılar tarafından da doğrulanmığtır. Sedan 1,6 dizel test aracında akustik paketin kullanılması ile aracın kabin bölgesindeki akustik performansı, Hb 1,6 dizel aracını yakalamığtır .

Bu tez ęalıęmasında ağırlıklı olarak izolasyon iyileğirmeleri üzerinde durulmuğtur fakat gövde üzerinde motor titreğimlerinin azaltılması konusunda ęalıęmaların ilerletilmesi mümkün olmamığtır. Araç gövdesi üzerinde yapılabilecek titreğim testleri ve zayıf olduğu tespit edilen bölgelerde malzeme iyileğirmeleri ve yapısal değiğiklikler ile daha iyi kabin bölgesi akustik performansına ulağılabilir.

Ayrıca araç kabin bölgesindeki koltuk, torpido, tavan kaplaması, kapı panelleri gibi parçaların ses ve titreğim sönümleme özellikleri vardır. Bu parçaların tekil olarak kabin bölgesi akustik performansına olan etkileri incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Accardo, G., Peeters, B., Bianciardi, F., Janssens, K., El-Kafafy, M., Brandolisio, D., Martarelli, M., 2015.** Experimental acoustic modal analysis of an automotive cabin. *Sound and Vibration*, doi: 10.1007/978-3-319-15236-3\_4.
- Anonim, 2019.** Tarihi: 2019).
- Batmaz, İ., Aydın, İ., 2012.** Tağitlarda kullanılan yalıtım malzemelerinin ses yutma katsayılarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27:687-693.
- Cerrato G., 2009.** Automotive sound quality – powertrain, road and wind noise. *Sound and Vibration*, 43(4):16-24.
- Eisele G., Wolff K., Alt, N., Hüser, M., 2005.** Application of vehicle interior noise simulation (VINS) for NVH analysis of a passenger car. SAE 2005 Noise and Vibration Conference and Exhibition, 16 May, 2005, Michigan, United States.
- Everest F. A., 2001.** The Master handbook of acoustic. The McGraw –Hill Companies Inc., New York, United States of America, 615 pp.
- French, N.R., Steinberg, J.C., 1946.** Factors governing the intelligibility of speech sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 19: 90-119.
- Genuit, K., 2009.** Vehicle interior noise – combination of sound, vibration and interactivity. *Sound and Vibration*, 43(12): 8-13.
- Genuit, K., 2004.** The sound quality of vehicle interior noise : a challenge for the NVH engineers. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 1:158-168.
- Heißing, B., Aksoy, M., 2011.** Chassis Handbook Fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives. Vieweg+Teubner, Berlin, Germany, 591 pp.
- Jain, S.K., Joshi, M.P., Shrivage, P.G., Yadav, P.S., Karanth, N.V., 2013.** Evaluation of acoustic performance of automotive seats by experimental and simulation techniques. Symposium on International Automotive Technology, 9-12 January, 2013, Maharashtra, India.
- Jennings, P.A., Dunne, G., Williams, R., Giudice, S., 2010.** Tools and techniques for understanding the fundamentals of automotive sound quality. *Institution of Mechanical Engineers. Proceedings. Part D: Journal of Automobile Engineering*, 224:1263-1278.
- Ju, J., Wang, Y.S., Xing, Y.F., Shen, G.Q., Guo, H., 2013.** Sound quality evaluation of vehicle interior noise based on psychoacoustical indices. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(12): 9442-9450.

- Lui, Z., 2016.** [https://www.researchgate.net/publication/310374449\\_Acoustic\\_Properties\\_of\\_Vehicle\\_Interior\\_Trim\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/310374449_Acoustic_Properties_of_Vehicle_Interior_Trim_Materials) (Erişim Tarihi: 2019).
- Sadananda, N., 2016.** Experimental study of low-mid frequency interior noise of an SUV. *MSc Thesis*, Department of Applied Mechanics Division of Vehicle Engineering Autonomous Systems, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Sherbecoei, R.L., Stuebaker, G.A., 1990.** Regression equations for the transfer functions of ANSI S3.5-1969. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88(5): 2482-2483.
- Spannheimer, H., Freymann, R., Fastl, H., 2000.** An active absorber to improve the sound quality in the passenger compartment of vehicles. The 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, 27-30 August, 2000, Nice, France.
- Swart, D.J., Bekker, A., 2014.** The subjective evaluation of interior noise produced by electric vehicles. 9 th South African Conference on Computational and Applied Mechanics, 14-16 January, 2014, Somerset West, South Africa.
- Yazıcı, M., 2007.** ğyerlerinde gürültü. *Mühendis ve Makine*, 571: 14-16.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ümit ARDA  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 27/07/1985  
Yabancı Dili : İngilizce, İtalyanca

### Eğitimi Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Süleyman Çelebi Lisesi (1999-2003)  
Lisans : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi (2004-2009)  
Yüksek Lisans: Bursa Uludağ Üniversitesi (2014)

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.ğ.  
(İletişim /e-posta) : [umit.arda@gmail.com](mailto:umit.arda@gmail.com)

