

## ARAÇLARDA KABİN İÇİ SESLERİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN TESTLERLE İNCELENMESİ

Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK \*<sup>ID</sup>

Ümit ARDA \*\*<sup>ID</sup>

Alınma: 03.04.2020 ; düzeltme: 05.06.2020 ; kabul: 12.06.2020

**Öz:** Gelişen otomotiv sektöründe daha rekabetçi olabilmek için sürüş konforu iyileştirilmiş araçlar üretilmektedir. Sürüş konforunu etkileyen parametrelerden biri aracın kabin içi akustik performansıdır. Kabin bölgesine etki eden en belirgin sesler; yol, rüzgar, tekerlek, trim ve motor sesleridir. Bu çalışmada, araç gövdesinde oluşan titreşim yığılmaları tespit edilmiş ve buna göre araç gövdesi izolasyonla iyileştirilerek kabin içi ses değerlendirmesi yapılmış ve izolasyon iyileştirmeleri ile akustik performansın iyileştirildiği tespit edilmiştir. Sonrasında motor türlerinin, aynı tür motor için farklı gövde tiplerinin, tekerlek jant etkilerinin ve motor takozlarının kabin içi ses düzeyine etkisi incelenmiştir. Akustik performansın incelenmesinde ses seviyesinden ziyade duyum indisi kavramının belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Araç gövdesindeki izolasyon ve motor takozlarının etkisi jüri testleri ile de değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kabin Sesleri, Motor Sesleri, Siemens LMS Tab Acoustic

### Investigation of Parameters that Affect Interior Sounds in Vehicles with Tests

**Abstract:** Vehicles with improved driving comfort are produced in order to be more competitive in the developing automotive sector. One of the parameters that affect driving comfort is the acoustic performance of the vehicle in the cabin. The most explicit sounds that affect the cabin area are road, wind, wheel, trim, and engine sounds. In this study, vibration accumulation on the body of the vehicle has been determined. Accordingly, the vehicle body has been improved with isolation, and sound assessment has been done inside the cabin. It has been determined that the acoustic performance is improved with the isolation improvements in the vehicle. Afterward, the effect of engine types, different body types for the same kind of engine, wheel rim effects, and engine mounts on the interior sound level is examined. In the examination of acoustic performance, it is determined that the articulation index is determinant rather than the sound level. The isolation effect on the vehicle body and the impact of the engine mounts are evaluated by the jury tests.

**Keywords:** Cabin Noises, Engine Noises, Siemens LMS Tab Acoustic

\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 16240, Nilüfer, Bursa

\*\* Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa

İletişim Yazarı: Zeliha Kandaş Kocabıçak (zkamis@uludag.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Günümüz otomobillerinde konfor ve yüksek donanım seviyesi aranan özelliklerdir. Konfor için; kullanılan iç ve dış malzeme kalitesi, ısıtma ve soğutma performansları, kabin bölgesinin genişliği, asistan özellikleri (yağmur sensörü, far sensörü, park sensörü vb.), ergonomik koltuklar, insan ve eşya taşıma kapasitesi, sürüş konforu gibi parametrelerden bahsedilebilir. Sürüş konforu terimi, genellikle bir taşıtın yolcularına etki eden tüm salınım olaylarını kapsar. NVH kavramı ise taşıtlardaki mekanik ve akustik salınımların insanlar tarafından algılanması için kullanılır (Heißing ve Ersoy, 2011).

Tekerlek ile yol arasındaki ilişki en önemli ses ve titreşim kaynaklarından. Tekerlekler doğrudan yol tipografisini takip ettikleri için, herhangi bir bozukluk araç gövdesine titreşim olarak yansır. Sürüş konforunu etkileyebilecek bir diğer önemli ses ve titreşim kaynağı da aktarma organlarıdır. İçten yanmalı motorların oluşturduğu kuvvetler aktarma organları, araç gövdesi ve şasisi üzerinde bazı salınımlara sebep olur. Bu sistemler kendi içlerindeki sürtünmelerle birlikte araç kabininde istenmeyen sesler meydana getirebilir.

Araç kabin bölgesindeki gürültü seviyesi ölçümü, gürültüye etki eden unsurlar, yapılan iyileştirme çalışmaları üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Genuit (2004) ölçüsel olarak insan vücuduna uyumlu bir yapay insan başında bulunan mikrofonlar ile veri toplayarak benzetim çalışmaları yapmış, bunun sonucunda da araç kabin bölgesi ses kalitesini değerlendirmiştir. Genuit, 2009 yılındaki çalışmasında ise araç kabin bölgesindeki ses ve titreşim etkisini değerlendirmiş, farklı senaryolar kurgulayarak ölçümler almış ve sonuçları yorumlamıştır. Eisele ve diğ. (2005) araç kabin bölgesindeki ortalama ses seviyesini bir simülasyon metodu ile hesaplamışlar, hesapladıkları değerleri, yaptıkları ölçüm sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Cerrato (2009) benzinli, dizel ve hibrid motorlarla üretilmiş araçlarda kabin bölgesi ses seviyesine ve yolcu üzerine egzoz sisteminin, aktarma organlarının, yol sesinin, tekerlek yuvarlanma sesinin ve rüzgar sesinin etkilerini araştırmıştır. Jennings ve ark. (2010) otomobil ses kalitesinin ölçümünde kullanılan ekipmanlar ve teknikler ile ilgili detaylı bir çalışma yaparak lüks otomobil markaları ile yapılmış jüri testi ile motor sesinin araç içerisindeki etkisini değerlendirmiştir. Batmaz ve Aydın (2012) ve Liu (2016) motor sesleri, yol sesleri, rüzgar sesi gibi kabin bölgesinde negatif etkisi olan tüm ses kaynaklarının sönümlenmesinde kullanılan yalıtım malzemelerinin ses yutma katsayılarının ölçümleri üzerine çalışmışlardır. Jain ve ark. (2013) araç kabin bölgesindeki ses seviyesine etkisi bulunan koltukların ses yutma oranları ile ilgili çalışmıştır. Ju ve ark. (2013) araç hareket halindeyken kabin bölgesinden hem sürücü hem de yolcular için objektif ölçümler olarak araç kabin bölgesi ses kalitesinin değerlendirmesi için çalışmışlardır. Swart ve Bekker (2014) elektrikli bir aracın kabin bölgesi için müşteri memnuniyeti anketi ve jüri testleri ile araç kabin bölgesi ses analizini yapmışlardır. Accordo ve ark. (2015) geliştirdikleri otomobil akustik modelini CAE (bilgisayar destekli mühendislik) analizleri ile farklı koşullarda deneyerek kıyaslamalar yapmış, sınır şartlarının ve ölçüm noktalarının belirlenmesi için detaylı incelemeler ve hesaplamalar yapmışlardır. Sadananda (2016) rüzgar sesinin kabin bölgesindeki etkisinin ölçülmesi ve yorumlanmasını ele alarak araç kabin bölgesinde akustik kalite üzerine çalışmalar yapmıştır. Ayrıca araç parçalarının kabin bölgesindeki sese etkisinin belirlenebilmesi için ses iletim katsayısını belirlemiştir. Arda (2019) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında kabin içi sesleri etkileyen parametreleri deneysel olarak incelemiştir. Flor ve ark. (2020) farklı koşullarda ölçümler yaparak araç içi gürültü seviyesini değerlendirmiş ve kabin içi ses seviyesini en çok etkileyen parametrenin taşıt hızı olduğunu belirlemiştir.

Bu çalışmanın ana amacı araç kabin bölgesinde ses performansının iyileştirilmesidir. Bu kapsamda otomobil 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 doğrultusunda olası iyileştirme faaliyetleri belirlenmiştir. Araca belirlenen iyileştirme faaliyetleri uygulanarak ses ölçümleri tekrarlanmıştır. Ayrıca jüri testleri ile

araçların akustik konfor seviyeleri değerlendirilip, iyileştirmelerin yolcuların algılayabilecekleri seviyelerde olup olmadığı tartışılmıştır.

## 2. DUYUM İNDİSİ

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 0 ile 1 arasında ifade edilebilir. 0 (sıfır) konuşmanın dinleyiciler tarafından tamamen anlaşılmaz olduğunu ifade ederken, 1 (bir) ise tam anlaşılma durumunu ifade eder (French ve Steinberg 1946).

ANSI S3.5 1990 standardına göre, konuşma anlaşılabilirlik skoruna (S) bağlı olarak hesaplanan duyum indisi aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$AI=b\left(\log\left(a/(S^{0.5}+d)-1\right)+c\right) \quad (1)$$

Burada; a,b,c,d konuşma anlaşılabilirlik skoru sabit katsayılarıdır. 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 karşılaştırmalarının yapılabilmesi için duyum indisi önemli bir kıstastır. Özellikle araç kabin bölgesinde müşteri beklentilerinin karşılanabilmesi için olabildiğince duyum indisi değeri yüksek araç üretilmeye çalışılmaktadır. Sürüş konforunda doğrudan etki eden duyum indisinin hesaplanabilmesi için çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır.

## 3. DESİBEL (dB)

Desibel kavramı belirli bir referans güç ya da seviyeye olan oranı belirten, genelde ses şiddeti için kullanılan logaritmik ve boyutsuz bir birim olarak (2) nolu ifadede verildiği gibi tanımlanmıştır (Everest 2001).

$$dB=10\log(P1/P2) \quad (2)$$

Desibel değeri logaritmik olarak artar veya azalır. Bu şu anlama gelmektedir, 20 dB, 10 dB'den 10 kat daha şiddetlidir. 0 dB insan kulağının işitilebileceği en düşük ses seviyesi olarak kabul görmüştür. 10 dB yaprak hışırtısı, 20 dB çok sessiz bir mekan, 30 dB alçak ses ile konuşma, 40 dB sessiz bir ofis, 50 dB normal konuşma 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 değerlendirilmesinde dB seviyesi de önemli bir ölçüttür. Otomotiv sektöründe kabin bölgesinde daha sessiz koşullar yaratılmaya çalışılmaktadır. Bu durumda kabin bölgesi dB seviyesinin olabildiğince düşük olması hedeflenmektedir.

## 4. TESTLER VE EKİPMANLAR

Bu çalışmada akustik performansının nispeten kötü durumda olduğu düşünülen 1.6 dizel sedan aracı baz alınmış ve bu aracın akustik performansı iyileştirmek için çeşitli parametre etkileri incelenmiştir. Ses verileri işlenerek duyum indisi ve genel ses seviyesi grafiklerinin elde edilmesinde Siemens tarafından geliştirilen akustik analiz yazılımı LMS Tab Acoustic

programından yararlanılmıştır. Ölçümler 6 kez tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Elde edilen bilgiler hem çeşitli parametre etkilerinin karşılaştırılması amacıyla, hem de seçilen bir aracın kabin bölgesi ses seviyesinin ve kalitesinin artırılmasında kullanılmıştır.

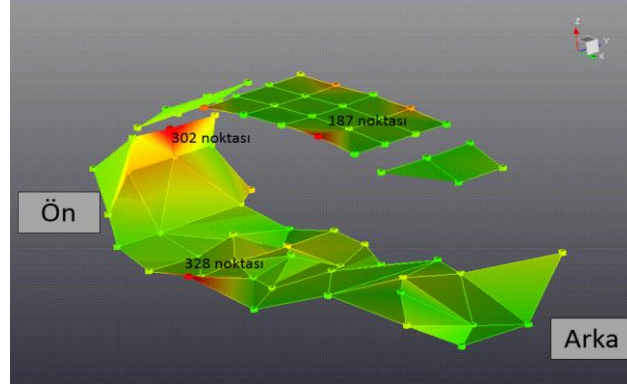
#### 4.1. Yankısız Odada Gövde Titreşim Testi

Motor sesi tespit yöntemlerinden bir tanesi yankısız odalarda yapılan ve hareket halindeki aracı temsil eden bir ölçüm yöntemidir. 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 1). Titreşim testi aracın iskelet kısmı üzerinde yapılır. Burada asıl amaç titreşimlerin gövdenin hangi kısmında biriktiğini belirlemek ve bu bölgelere müdahale etmektir. Aracın gövde rijitliği ne kadar yüksekse ses performansının da o seviyede iyi olması beklenir.

Bu çalışmada gövde titreşim testi, Şekil 1’de görülen ve 50 Hz üzerinde tam güvenilir sonuçlar verebilen yarı-yankısız odada yapılmıştır. İlk olarak 1.6 dizel sedan araç iskeleti yankısız oda içerisinde bulunan roller test bankosuna bağlanmış ve 10 dk çalıştırılmış, aracın 3. Vite gelmesi ile birlikte araca 4500-4700 dev/dk değerine ulaşana kadar gaz verilmiştir. Bu işlem sırasında olabildiğince objektif veriler elde edebilmek için gaz pedalına yerleştirilen bir ekipman ile her testte aynı hızlanma sağlanmıştır. Test sırasında farklı noktalardaki 3 adet mikروفon kullanılmıştır. Belirli bir simetrik yapıya sahip olacak şekilde 100 adet ivmeölçer olabildiğince sık şekilde araç üzerine yerleştirilmiş ve aracın motor ve şanzıman gövde bağlantı noktalarına 200-600 Hz titreşim veren titreşim motoru bağlanmıştır. Araç titreşim motorları ile tahrik edilmiş, ortaya çıkan titreşim yoğunlaşmaları ısı haritası ile Şekil 2’de verildiği gibi elde edilmiştir. Bu şekilde yer değiştirme yoğunlukları belirlenerek, araç gövdesinde titreşime karşı dayanıksız olan bölgeler tespit edilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi araç gövdesinde torpido bölgesi arkasında ön göğüs sağ kısmında 302 noktası olarak gösterilen alanda titreşim yoğunluğu mevcuttur. Bu bölgelerde izolator kullanılması titreşim yoğunluğunu azaltabilecektir. Ayrıca 328 ve 187 noktalarında da bazı titreşim yığılmaları oluşmuştur. Bu noktalardaki yığılmaların önüne geçilmesi ile de kabin bölgesi akustik performansının iyileşeceği öne sürülebilir.



**Şekil 1:**  
Yankısız odada titreşim testi araç hazırlığı



**Şekil 2:**  
Gövde titreşim testi görsel sonuçları

#### 4.2. Yol Testleri

Bu çalışmada dört adet mikrofon kullanılarak yol testleri yapılmıştır. Tüm hazırlıkları yapılmış ve minimum 10 dk süre ile boşa çalıştırılmış araç, test pistinde hareket ettirilmiş ve 3. vitese geçirildiği noktaya kadar veri alınmamıştır. 3. vitese gelindiğinde minimum devirden belirlenen üst devir değerine (4500 – 4700 dev/dk) kadar vites değiştirilmeksizin araca gaz verilmiş, bu sırada araca takılı mikrofonlardan ses verileri toplanmıştır.

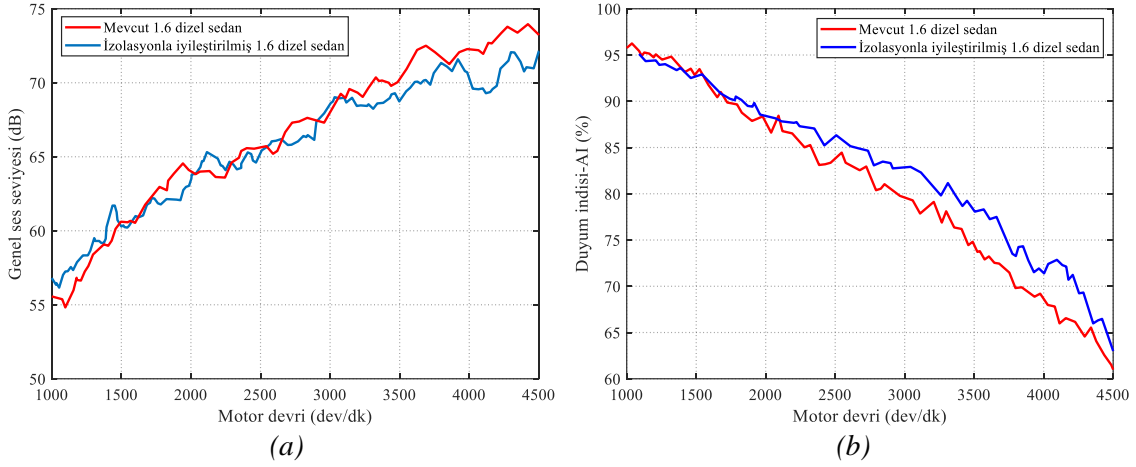
##### 4.2.1. İzolasyon anlamında geliştirilmiş araç ölçümü

Kabin bölgesindeki akustik performansın iyileştirilmesi için iki temel yol izlenebilir. Bunlardan ilki ses kaynağı olan motorun titreşimlerinin kabin bölgesindeki etkisini azaltmaya, ikincisi ise ses ve titreşim oluştuktan sonra araç kabin bölgesine ulaşmasının önüne geçmeye çalışmaktır. Bu bölümde Şekil 2’de elde edilen titreşim yığılmaları doğrultusunda akustik performansa etkisi olan elemanlarda yapılacak değişiklikler ile akustik performansın iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Tablo 1’de belirtilen elemanların mevcut durumları ve iyileştirilmiş özellikleri verilmiştir. Bu tabloda yer alan ve motor boşluğunda gövde sacı üzerine sabitlenen ön göğüs izolatörünün görevi motor tarafından ortaya çıkan seslerin kabin bölgesine geçişini engellemektir. Torpido izolatörü, araç kabin bölgesinde, torpido grubunun arkasındaki saca sabitlenen ön göğüs izolatörünün de sabitlendiği gövde sacıdır. Gövde padleri aracın gövdesine takılan, titreşime karşı olan dayanımı arttıran sönümleyici parçalardır. Bu padler kabin bölgesinde, koltukların alt kısmında ve ayak basma bölgesinde taban sacı üzerine takılırlar. Motor muhafazası, doğrudan motor bloğunun üzerine takılan izolatörler olup temel görevi belirli frekanstaki titreşimler daha gövdeye iletilmeden sönümlemektir (Arda 2019).

**Tablo 1. Akustik paket içerikleri**

İyileştirilecek eleman	Mevcut durum	Yeni durum
Ön cam kalınlığı [mm]	4.5	5.1
Ön kapı camı kalınlığı [mm]	3.5	4
Ön göğüs izolatör yoğunluğu [kg/m <sup>2</sup> ]	4	6
Torpido izolatörü kalınlığı [mm]	21	27
Gövde padleri	Yok	Var
Motor muhafazası	Yok	Var

Şekil 3’de mevcut seviye parçalar ile üretilen ve izolasyon seviyesi iyileştirilmiş parçalar ile üretilen 1.6 dizel sedan tipte araçların genel ses seviyeleri ve duyum indisleri gösterilmiştir. Bu şekilden görülebileceği gibi genel ses seviyesi açısından iki aracın belirli devir aralıklarında birbirlerine karşı daha iyi olduğu yerler olsa da, 3000 dev/dk’ya kadar genel seyirde bir farklılık bulunmamaktadır. Fakat 3000 dev/dk sonrası izolasyon seviyesi iyileştirilmiş araçta belirgin bir üstünlük mevcuttur. Bu durum, izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın yüksek devirlerde daha gürültüsüz bir kabin bölgesine sahip olduğu yorumunu doğurur. Duyum indisleri açısından ise 1800 dev/dk’ya kadar iki eğri arasında belirgin bir farklılık yoktur. Yani düşük devirlerde iki aracın da kabin bölgesinin akustik performansları yakındır. 1800 dev/dk dan sonra izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın akustik performansı daha iyidir.

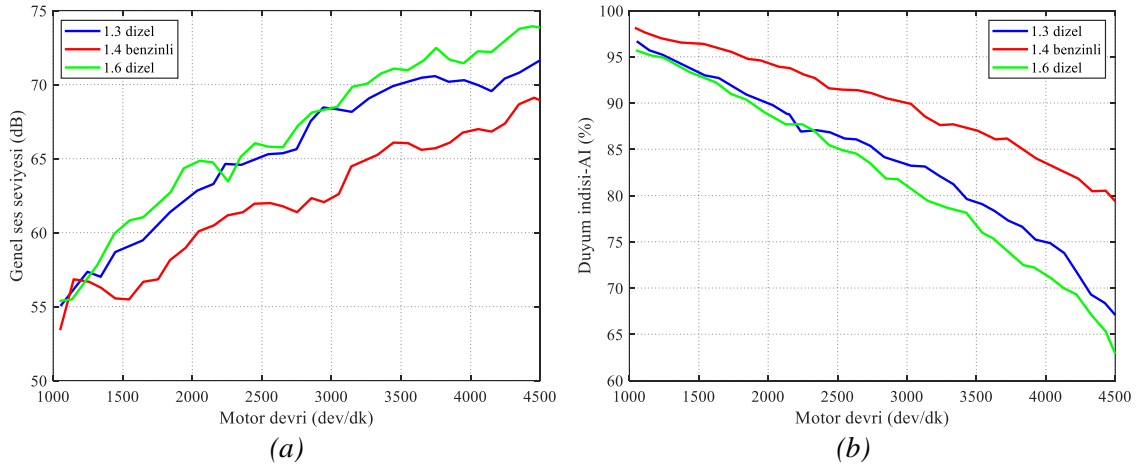


Şekil 3:

Mevcut ve izolasyon seviyesi iyileştirilmiş aracın genel ses seviyesi (a) ve duyum indisleri (b)

#### 4.2.2. Aynı gövde üzerinde farklı motor tiplerinin karşılaştırılması

Bu bölümde üzerinde çalışılan sedan tipte araca 1.3 dizel, 1.4 benzinli ve 1.6 dizel motorlar takılarak 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 değerlendirilmiştir. 1.3 dizel, 1.4 benzinli ve 1.6 dizel motorun yol testleri sırasındaki genel ses seviyesi ölçümleri ve duyum indisleri Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’teki ölçüm sonuçlarından görüldüğü gibi bazı devir aralıklarında (2200 – 2400 dev/dk ve 2900 – 3100 dev/dk) 1.6 dizel ile 1.3 dizel motor genel ses seviyeleri çok yakın olarak elde edilmiştir. Bazı kısa aralıklarda 1.6 dizel motor daha iyi performansa sahip olsa da genel anlamda 1.3 dizel motor 1.6 dizel motora göre daha iyi durumdadır. Bu noktada vurgulanması gereken bir diğer husus dizel motorlarda en sık kullanılan aralık olan 2000-3000 dev/dk’da 1.3 dizel ve 1.6 dizel motor eğrilerinin çok yakın seyretmiş olmasıdır. 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:**  
Motorizasyon bazlı genel ses seviyesi (a) ve duyum indisi (b)

Duyum indisi açısından 1.4 benzinli motor dizel motorlara göre çok daha iyi seviyededir. 1.3 ile 1.6 dizel motorlar arasında ise genel ses seviyesi eğrisindeki 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'ya 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.

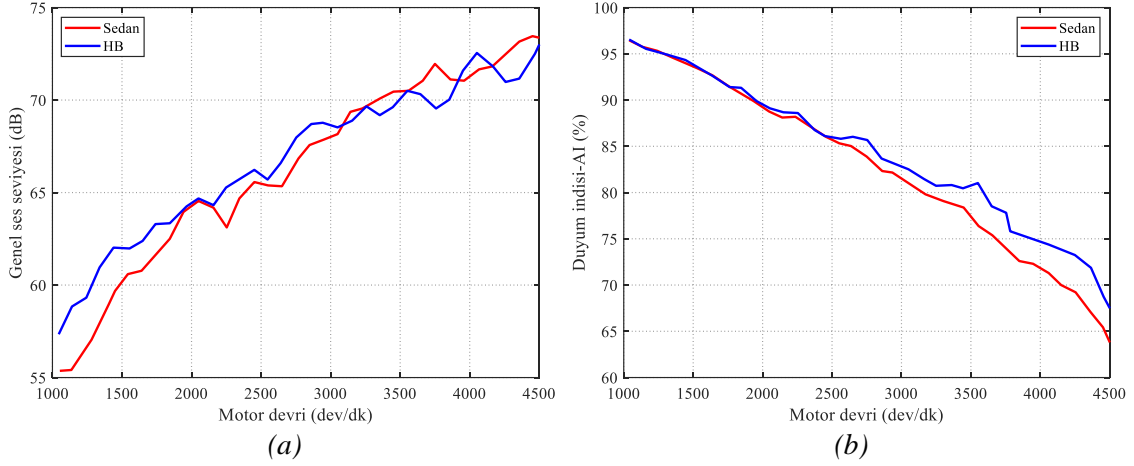
#### 4.2.3. Farklı gövde tipine sahip araçlarda aynı motorla yapılan ölçümler

Çalışmanın bu bölümünde 1.6 dizel sedan tipte araç ile HB (hatchback) tipte aracın karşılaştırma sonuçları paylaşılmıştır. HB araçlar standart donanımda sedan araçlara göre bir üst sınıfta konumlandırılmıştır. Buna bağlı olarak güvenlik, dayanıklılık, sürüş konforu anlamında sedan araçlara göre daha iyi seviyelerdedir. HB ile sedan modelleri arasında doğru bir kıyaslama yapabilmek adına kullanılacak test araçları aynı donanım seviyesinde ve aynı motor tipinde seçilmişlerdir. Yapılan testlerde elde edilen genel ses seviyesi ve duyum indisleri karşılaştırması Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'te görüldüğü üzere iki araç için kabin bölgesinde genel ses seviyesi anlamında büyük farklılıklar yoktur. Bazı devir aralıklarında sedan aracın bazılarında ise HB aracın daha iyi performans sağladığı görülmektedir. Bu durum başlangıçta sedan aracın düşük devirlerde daha iyi kabin bölgesi akustik performansa sahip olduğu ve yüksek devirlerde performans farklılığı olmadığı anlamı çıkarılsa da duyum indisi açısından durum biraz daha farklıdır. 2000 dev/dk'ya kadar HB ve sedan araçlarda duyum indisinde 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 kaniya varabilmek için jüri testi yapılarak, kullanıcıların araçları nasıl sınıflandırdığı incelenmelidir. Sonraki bölümlerde verilen jüri test değerlendirmelerinden duyum indisi ölçümlerinin müşteri beklentilerini daha iyi yansıttığı ortaya konmuştur.

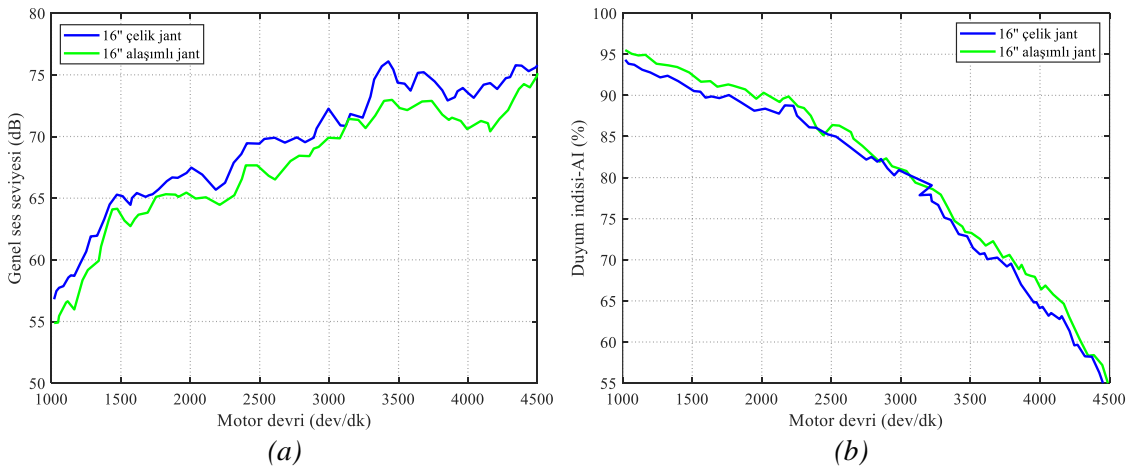




**Şekil 5:**  
*Sedan ve HB 1.6 dizel araçlar için genel ses seviyesi (a) ve duyum indisi (b)*

#### 4.2.4. 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 araca iki farklı malzemede jant takılarak kabin bölgesindeki akustik performans incelenmiştir. Şekil 6'da görülebileceği gibi hemen hemen tüm devir aralıklarında 16" alaşımli jant takılı araç diğerinden iyi durumdadır ve genel ses seviyesi açısından özellikle 2200 dev/dk ile 3000 dev/dk aralığında çok daha iyi performans göstermiştir. Duyum indisleri açısından da 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 daha iyidir fakat 2200 dev/dk ile 3400 dev/dk arasında çok farklı bir akustik performans belirlenmemiştir. Sonuç olarak genel ses seviyesi ve duyum indisi açısından 16" alaşımli jantın performansının 16" çelik janta göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

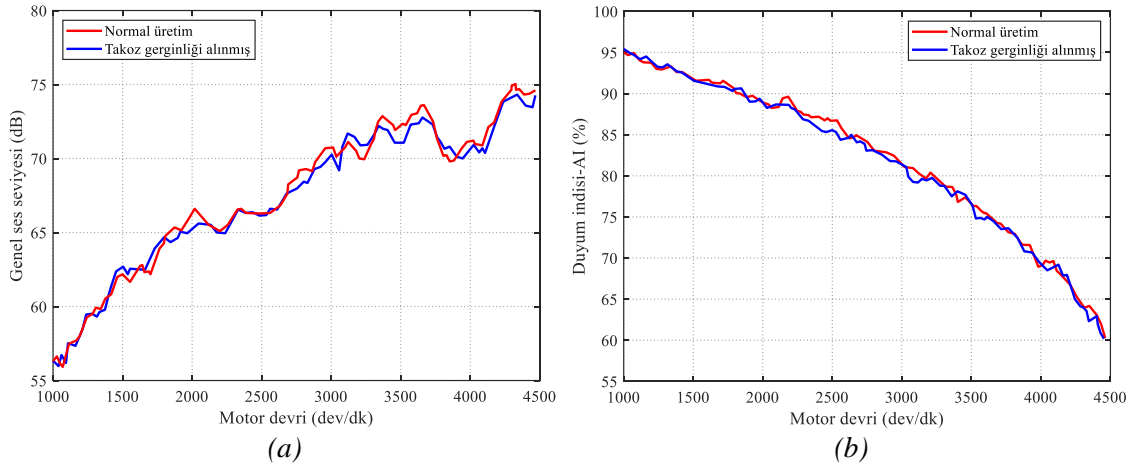


**Şekil 6:**  
*Farklı malzemede jantların genel ses seviyesi (a) ve duyum indisi (b)*



#### 4.2.5. Motor takozlarının gerginlik etkisinin ölçümü

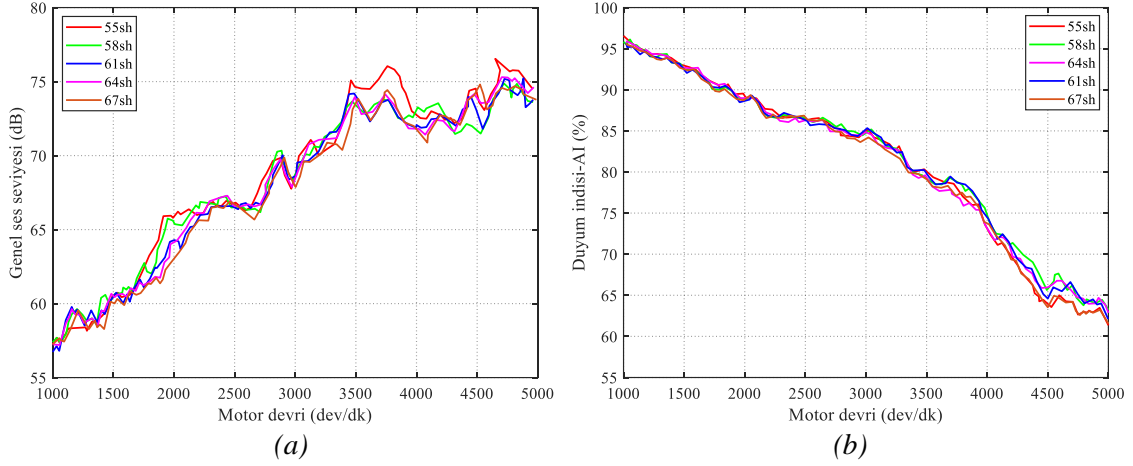
Motor grubu araç gövdesine ne kadar kusursuz montajlanırsa titreşim o kadar az olur. Merkezleme işlemi uygun yapılmazsa montaj sonrasında takozlar üzerinde eksen kaçıklığına bağlı gerginlikler oluşmaktadır. Üretim hatlarında genellikle takoz gerginliğini almak olarak bilinen talimatlara göre araçlar hat çıkışlarında tamir işlemi görürler. Çalışmanın bu kısmında seri üretimden alınmış sedan 1.6 dizel araç ile takoz gerginliği alınmış olduğu bilinen sedan 1.6 dizel araç karşılaştırması gösterilmiştir. Şekil 7’de genel ses seviyesi ve duyum indislerinin karşılaştırmaları verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi motor takozlarının gerginliğinin alınmasının genel ses seviyesinde ve duyum indisinde bariz bir etkisi yoktur. 2200 – 2600 dev/dk aralığında takoz gerginliği alınmış aracın akustik performansının daha iyi olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 7:**  
Takoz gerginliğinin genel ses seviyesine (a) ve duyum indisine etkisi (b)

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

Motor takozlarının kauçuk parçalarının shore değerleri titreşimlerin sönümlenmesinde büyük rol oynar. Şekil 8’de farklı shore değerlerine sahip kauçuklar ile üretilen motor takozları kullanılan sedan 1.6 dizel aracın genel ses seviyesi ve duyum indisi ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi genel ses seviyesi açısından 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. Bununla birlikte farklı shore değerlerindeki takozlar 3000 dev/dk noktasına kadar duyum indisini etkilememektedir. Bu noktadan sonrada devir çok fazla arttığı için kesin bir kaniya varabilecek sonuçlar elde edilememiştir.



**Şekil 8:**

*Farklı shore değerlerindeki motor takozları için genel ses seviyesi (a) ve duyum indisi (b)*

### 4.3. Jüri Testleri

Çalışma kapsamında yapılacak bazı değişikliklerin objektif testlerle ölçümünden sonra, jüri testleri ile doğrulaması yapılmıştır. Jüri testleri objektif olarak araç üzerinde yapılan testlerin, konusunda uzman kişiler tarafından doğrulanmasıdır. Sürücülere araçla ilgili herhangi bir bilgi verilmeksizin aracı farklı şartlarda kullanmaları ve hızlanma hissi, hızlanma sırasında motor sesi, boşta motor sesi, yol sesi ve rüzgâr sesi açısından araçları 1-10 arasında puanlandırmaları istenilmiştir. Bu kapsamda sadece iyileşme sağlanabileceği düşünülen kısımlara jüri testi öngörülmüştür. Konu motor sesi olduğu zaman 2,3,4 ve 5 numaralı maddelerin ortalaması alınarak aracın ortalama motor sesi SAE puanı belirlenmiştir. Araç için kabul edilebilir en düşük değer 6 SAE'dir.

#### 4.3.1. İzolasyon anlamında geliştirilmiş araç için jüri değerlendirme

Bu bölümde izolasyon anlamında iyileştirilmiş sedan 1.6 dizel, normal üretim sedan 1.6 dizel ve HB 1.6 dizel araçlara jüri testi yapılmıştır. Bu sayede daha önceki bölümlerde yapılan iyileştirme çalışmalarının kullanıcı gözündeki değerinin ölçülmesi hedeflenmiştir.

Tablo 2' de verilen jüri test sonuçlarından görüldüğü üzere izolasyon anlamında yapılan iyileştirmeler olumlu sonuçlar vermiştir. 2,3,4 ve 5 maddelerinin tamamında izolasyon anlamında iyileştirilmiş araç, normal üretim araca göre daha iyi seviyededir. Şekil 3' te deneysel olarak elde edilen sonuçlar jüri testleri ile doğrulanmıştır. Tablo 2' den görüldüğü gibi normal üretim HB 1.6 dizel araç, sedan 1.6 dizel araca göre daha iyi kabin bölgesi akustik performansına sahiptir. Şekil 5' te deneysel verilerden duyum indisinin daha iyi olduğu tespit edilen HB aracın akustik performansı jüri testleri ile de doğrulanmıştır. Buradan duyum indisi ölçümünün müşteri beklentilerini daha iyi karşıladığı sonucuna varılabilir. İzolasyon anlamında iyileştirilmiş sedan araç ise HB seviyesine yakın sonuçlar elde etmiş, hatta agresif sürüş halinde hızlanmada daha iyi noktaya gelmiştir.

**Tablo 2. İzolasyon anlamında iyileştirilmiş aracın jüri değerlendirmesi**

Değerlendirme		Sedan 1.6 Dizel	Sedan 1.6 Dizel + izolasyon	HB 1.6 Dizel	
Dinamik değerlendirme	1	Hızlanma hissi	6.5	6.6	7.0
	2	Hızlanmada motor sesi	6.7	7.1	7.2
	3	Hızlanmada motor sesi (şehir kullanımı)	6.9	7.2	7.4
	4	Hızlanmada motor sesi (agresif sürüş)	6.5	7.0	6.9
	5	Boşta motor sesi (AC/OFF)	6.9	7.2	7.2
	6	Yol sesi (tekerlek yuvarlanma sesi)	7.1	7.5	7.6
	7	Rüzgar sesi	7.2	7.4	7.5

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

Bu bölümde 55 shore ve 67 shore değerindeki motor takozlarına sahip araçlar için jüri değerlendirmesi yapılmıştır. Tablo 3' te farklı motor takozlarına sahip 1.6 dizel sedan araçlar, mevcut seviye 1.6 dizel sedan araç ve 1.6 dizel HB araç karşılaştırması gösterilmiştir.

Tablo 3'te görüldüğü gibi 67 Shore değeri ile üretilen motor takozu kullanılan araçta 2,3,4 ve 5 maddelerinde, 55 shore ile üretilen araca ve normal üretim araca göre üstünlük mevcuttur. Fakat 67 shore değeri ile üretilen motor takozu kullanılan araç HB 1.6 dizel akustik performansına çıkamamıştır. 55 shore ile üretilen 1.6 dizel sedan araç normal üretim araca göre kötüleşmeye sebep olmuştur. Kabin bölgesinde motor sesinin etkisi ile birlikte yol sesi anlamında da daha kötüdür. Sonuç olarak çalışma boyunca incelenen sedan 1.6 dizel araç için en iyi değer 67 shore olarak belirlenmiştir.

**Tablo 3. Farklı motor takozlarına sahip araçlar için jüri değerlendirmesi**

Değerlendirme		Sedan 1.6 Dizel	Sedan 1.6 Dizel + 55 Sh	Sedan 1.6 Dizel + 67 Sh	HB 1.6 Dizel	
Dinamik değerlendirme	1	Hızlanma hissi	6.5	6.6	6.8	7.0
	2	Hızlanmada motor sesi	6.7	6.4	6.9	7.2
	3	Hızlanmada motor sesi (şehir kullanımı)	6.9	6.5	7.1	7.4
	4	Hızlanmada motor sesi (agresif sürüş)	6.5	7.0	7.1	6.9
	5	Boşta motor sesi (AC/OFF)	6.9	6.9	7.1	7.2
	6	Yol sesi (tekerlek yuvarlanma sesi)	7.1	6.9	7.2	7.6
	7	Rüzgar sesi	7.2	7.1	7.4	7.5

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada araçlar üzerinde çeşitli testler yapılarak kabin içi ses performansına etki eden parametreler belirlenmiştir. Parametrelerin etkisi genel ses seviyesi ve duyum indisinin analiz

edilmesi ile incelenmiş olup özellikle duyum indisinin akustik performansın belirlenmesinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

İlk olarak ele alınan 1.6 dizel sedan araç gövdesi yankısız odada titreşim testine tabi tutularak titreşim yığılmalarının ve motor seslerinin kabin bölgesine ulaşmasının önüne geçmek için iyileştirme yapılması gereken bölgelerin tespiti yapılmıştır. Titreşim yığılmalarına istinaden ilave parçaların kullanılması ve tasarımdaki güncellemelerin yapılması ile aracın kabin bölgesindeki ses kalitesi ve seviyesi iyileştirilmiştir.

Ele alınan sedan araç gövdesine farklı hacimde ve farklı türde motorlar monte edilerek genel ses seviyesi ve duyum indisi analiz edilmiştir. Motorların tiplerine ve hacimlerine göre değerlendirme yapıldığında, araç motorunun dizel veya benzinli olmasının araç kabin bölgesinde kolaylıkla hissedilebilir farklılıklar yarattığı, dizel motorların çalışma prensipleri gereğince benzinli motorlara göre daha titreşimli ve doğal olarak sesli çalıştığı doğrulanmıştır. Bunun yanı sıra motor hacminin, jant malzemesinin ve motor takozları kauçuk malzemenin türünün araç kabin bölgesinin akustik performansa doğrudan etki ettiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada ağırlıklı olarak izolasyon iyileştirmeleri üzerinde durulmuş, gövde üzerinde motor titreşimlerinin azaltılması konusunda çalışmalar yapılmamıştır. Araç gövdesi üzerinde yapılabilecek titreşim testleri ve zayıf olduğu tespit edilen bölgelerde malzeme iyileştirmeleri ve yapısal iyileştirmeler ile daha iyi kabin bölgesi akustik performansına ulaşılabilir. Ayrıca araç kabin bölgesinde var olan koltuk, torpido, tavan kaplaması, kapı panelleri gibi tüm parçalardan gelen ses ve titreşim sönümlenme özelliklerinin de incelenmesi ile daha üst seviyede ses ve titreşim sönümlenme analizleri sonraki çalışmalarda ele alınabilir.

## KAYNAKLAR

1. Heiβing, B., Aksoy, M. (2011) *Chassis Handbook Fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives*, Vieweg+Teubner, Berlin, Germany.
2. Accardo, G., Peeters, B., Bianciardi, F., Janssens, K., El-Kafafy, M., Brandolisio, D. and Martarelli, M. (2015) Experimental acoustic modal analysis of an automotive cabin, *Sound and Vibration*, 8, 33-58. doi: 10.1007/978-3-319-15236-3\_4
3. Batmaz, İ. ve Aydın, İ. (2012) Taşıtlarda kullanılan yalıtım malzemelerinin ses yutma katsayılarının belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (4), 687-693.
4. Cerrato G. (2009) Automotive sound quality – powertrain, road and wind noise, *Sound and Vibration*, 43(4), 16-24.
5. Eisele G., Wolff K., Alt, N. and 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. doi: 10.4271/2005-01-2514
6. Everest F. A. (2001) *The Master handbook of acoustic*, The McGraw –Hill Companies Inc., New York.
7. French, N.R. and Steinberg, J.C. (1946) Factors governing the intelligibility of speech sounds, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 19, 90-119. doi: 10.1121/1.1916407
8. 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. doi: 10.1504/IJVNV.2004.004079
9. Genuit, K. (2009) Vehicle interior noise – combination of sound, vibration and interactivity, *Sound and Vibration*, 43(12), 8-13.

10. Jain, S.K., Joshi, M.P., Shrivage, P.G., Yadav, P.S. and 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*, 1-7. doi:10.4271/2013-26-0105
11. Jennings, P.A., Dunne, G., Williams, R. and 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. doi: 10.1243/09544070JAUTO1407
12. Ju, J., Wang, Y.S., Xing, Y.F., Shen, G.Q. and Guo, H. (2013) Sound quality evaluation of vehicle interior noise based on psychoacoustical indices, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64 (12), 9442-9450.
13. 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.
14. Sherbecoei, R.L. and Studebaker, 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. doi: 10.1121/1.400090
15. Swart, D.J. and 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*.
16. Yazıcı, M. (2007) İşyerlerinde gürültü, *Mühendis ve Makine*, 571, 14-16.
17. Arda, Ü. (2019) Araçlarda motor seslerinin kabin içindeki etkilerinin azaltılması , *Yüksek Lisans Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
18. Flor, D., Pena, D., Pena, L., Sousa, V.A. and Martins, A. (2020) Characterization of noise level inside a vehicle under different conditions, *Sensors*, 20 (9), 1-19. doi:10.3390/s20092471

