



**OTOMOBİL ÜST BİLEŞENLERİNİN YAPISAL
OPTİMİZASYONU**

Mustafa TUZLA



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOBİL ÜST BİLEŞENLERİNİN YAPISAL OPTİMİZASYONU

Mustafa TUZLA
0000-0003-3419-3683

Prof. Dr. Yahya IŞIK
0000-0002-1982-9666
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ KONSTRÜKSİYON VE
İMALAT ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

OTOMOBİL ÜST BİLEŞENLERİNİN YAPISAL OPTİMİZASYONU

Mustafa TUZLA

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yahya IŞIK

Otomobillerde araç içi gürültü, binek araçlar için müşterinin kalite algısını doğrudan etkileyen bir unsurdur. Son araştırmalar, modern otomobillerin NVH (Noise, Vibration, Harshness) üzerine yoğunlaştığını göstermektedir. Yapılan çalışmalar araç içi gürültü kontrolünde tavan döşemelerinin önemini ortaya çıkartmaktadır. Gelişen teknoloji ile OEM firmalar tavan döşemeleri üzerine yoğunlaşmış ve NVH analizleri için yatırımlarda bulunmuşlardır. Bu çalışmada araçların tavan döşemelerinin, malzeme özelliklerinin tanıtılması, akustik testler ve yöntemleri araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında, tavan döşemelerinin akustik performansı incelenmiştir. Farklı malzeme ve farklı kalınlıkta tavan döşemelerinin ses yutum katsayıları hesaplanmıştır. Test sonuçları empedans tüpü yöntemi ile ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tavan Döşemesi, nvh, kompozit malzemeler, kalınlık optimizasyonu, akustik

2022, xiii + 44 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

STRUCTURAL OPTIMIZATION OF AUTOMOBILE UPPER COMPONENTS

Mustafa TUZLA

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yahya IŞIK

In-vehicle noise is a factor that directly affects the customer's perception of quality for passenger cars. Recent research shows that modern cars focus on NVH (Noise, Vibration, Harshness). Studies reveal the importance of ceiling tiles in the control of in-vehicle noise. With the developing technology, OEM companies focused on ceiling tiles and made investments for NVH analysis. In this study, the introduction of the ceiling tiles, material properties, acoustic tests and methods of the vehicles were investigated. In this thesis, the acoustic performance of ceiling tiles was investigated. Sound absorption coefficients of ceiling tiles of different materials and different thicknesses were calculated. test results were measured by the impedance tube method.

Key words: Headliner, nvh, composite materials, thickness optimization, acoustics
2022, xiii + 44 pages.

TEŞEKKÜR

Danışman hocam Prof. Dr. Yahya IŞIK’a verdiği tavsiyeler, yaptığı eleştiriler ve çalışmanın her aşamasında verdiği destek ve yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresince manevi desteğini esirgemeyen, tüm zorlukları benimle göğüsleyen değerli eşime teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa TUZLA
.../.../.....



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Birincil Araç Performans Talepleri.....	2
1.1.1. Görünüm.....	2
1.1.2. Dokunsallık.....	2
1.1.3. Akustik Performans.....	2
1.2. Müşteri Tarafından İstenilen Gereklikler.....	4
1.3. İstenilen Diğer Gereklikler.....	5
1.4. İstenilen Özellikler.....	6
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
2.1. Kaynak Araştırması.....	7
2.2. Temel Kavramlar	8
2.2.1. Ses.....	8
2.2.2. Ses şiddeti ve basıncı.....	8
2.2.3. Akustik	9
2.2.4. Gürültü.....	10
2.2.5. Ses yutum katsayısı	11
2.2.6. Ses iletim katsayısı	12
2.2.7. Araç iç gürültü kontrol stratejileri.....	12
2.2.8. Absorpsiyon malzemesi veya yapısı aracılığıyla gürültü kontrolü.....	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	16
3.1. Malzeme	16
3.1.1. Poliüretan.....	16
3.1.2. Termoform.....	17
3.2. Üretim süreci	18
3.3. Akustik Parametre Ölçüm Yöntemleri.....	20
3.3.1 .Empedans tüpü.....	20
3.3.2. Çınlama odası.....	22
3.3.3. Alfa kabin	23
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	26
4.1. Test Düzenekinin Tanıtılması.....	26
4.2. Test Düzenekinin Hazırlanması.....	28
4.3. Test Numunelerinin Özellikleri	28
4.3. Test Numunelerinin Görselleri	30
4.4. Test Sonuçları	33

4.5. Tavan Döşemesi Tasarımı	37
4.6. Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması	39
5. SONUÇ	42
ÖZGEÇMİŞ.....	44



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

λ	Dalga boyu, m
c	Ses hızı, m/s
f	Ses frekansı, Hz
π	Pi sayısı
I_i	Gelen ses
I_t	İletilen ses
I_r	Yansıyan ses
τ	Ses iletim katsayı
α	Ses yutum katsayısı
E_a	Emilen enerji
E_i	Gelen enerji
E_t	İletilen enerji
V	Kabinin hacmi
S	Yüzey alanı
T_2	Örnekle yankılanma süresi
T_1	Örnek olmadan yankılanma süresi

Kısaltmalar

Açıklama

dB	Sesin şiddeti
Pa	Ses basıncı
NVH	Gürültü, titreşim ve sertlik
STL	Ses iletim kaybı
Hz	Ses Frekansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Tavan döşemesi (Wentzel & Green, 1997).....	1
Şekil 1.2.	Çeşitli iç kaplama bileşenlerinin 2000 Hz'de (koltuklar hariç) otomobilin iç kısmındaki ses yutum katkısı (Aggarwal, Khan, & Crepeau, 1998) ..	3
Şekil 2.1.	Bazı seslerin dB aralıkları (Chen, 2012).....	9
Şekil 2.2.	Sesin yansımaları ve iletimi (Wentzel & Green, 1997)	10
Şekil 2.3.	Bir aracın iç gürültüsünün gürültü kaynakları (Chen, 2012).....	11
Şekil 2.4.	Aracı oluşturan kaynak- yol- alıcı sistemleri (Shedlowsky, 1991).....	13
Şekil2.5.	Bir arabada sönümleme işlemi için kullanılan tipik parçalar (Chen, 2012)	14
Şekil2.6.	Bir araçta uygulanan bazı ses yalıtım ve soğurma malzemeleri (Chen, 2012).....	15
Şekil 3.1.	Tavan yapısı (Silva, Calçada, & Massarelli, 2014).....	17
Şekil 3.2.	Tavan döşemesi boş işlemi (Silva, Calçada, & Massarelli, 2014).....	18
Şekil 3.3.	Tavan döşemesinin oluşumu (Haque, Kamarajan, & Yang, 2000).....	20
Şekil 3.4.	Tek mikrofonlu empedans tüpü (Wentzel & Green, 1997)	21
Şekil 3.5.	Çift mikrofonlu empedans tüpü	22
Şekil 3.6.	Ses iletim kaybı ölçümü.....	22
Şekil 3.7.	Çınlama odası (Wentzel & Green, 1997)	23
Şekil 3.8.	Alfa kabin (Wentzel & Green, 1997)	24
Şekil 3.9.	Rastgele gelen ses yutma katsayısı için alfa kabin ölçüm düzeni (Mohamed & Egab, 2020)	25
Şekil 4.1.	Elwis empedans tüpünün teknik özellikleri	27
Şekil 4.2.	Numune 1'in katmanları	28
Şekil 4.3.	Numune 2'in katmanları	29
Şekil 4.4.	Numune 3'in katmanları	29
Şekil 4.5.	Numune 1'in teste giren görseli	30
Şekil 4.6.	Numune 2'nin teste giren görseli	31
Şekil 4.7.	Numune 3'ün teste giren görseli	32
Şekil 4.8.	Numune 1'in ses yutum katsayısı ölçümleri	36
Şekil 4.9.	Numune 2'nin ses yutum katsayısı ölçümleri	36
Şekil 4.10.	Numune 3'ün ses yutum katsayısı ölçümleri	37
Şekil 4.11.	Tavan döşemesinin üç boyutlu tasarımı	38
Şekil 4.12.	Tavan döşemesi tasarımının bölümleri.....	38
Şekil 4.13.	Tasarımların ağırlık ölçümleri	39
Şekil 4.14.	Numune 1 ve 3'ün ses yutum katsayısının karşılaştırması	40
Şekil 4.15.	Numune 2 ve 3'ün ses yutum katsayısının karşılaştırması	41

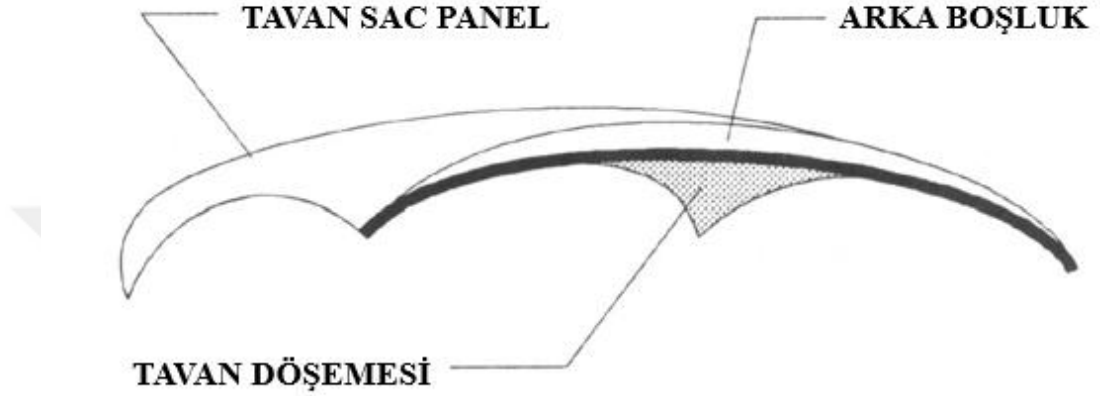
ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Numune 1'in empedans tüpü sonuçları	33
Çizelge 4.2. Numune 2'nin empedans tüpü sonuçları	34
Çizelge 4.3. Numune 3'ün empedans tüpü sonuçları.....	35
Çizelge 4.4. Tasarımların kalınlık ve ağırlık karşılaştırması.....	39



1. GİRİŞ

Tavan döşemesi, tavan panelinin alt tarafını kaplayan dekoratif ve işlevsel bir döşemedir. Kabin içi estetiğini ve zarafetini artırır. Genel olarak tavan döşemesi şekil 1.1’de gösterildiği üzere, sac çatı üzerinde köprü oluşturan bir trim ögesi olarak kabul edilir.



Şekil 1.1. Tavan döşemesi (Wentzel & Green, 1997)

Tavan döşemesi sistemleri otomotiv endüstrisinin başlangıcından itibaren binek araçlarda, ticari araçlarda, traktör ve iş makinalarında kullanılmaktadır. Tavan döşemesi başlangıçta aracın içini (çatıyı/tavanı) güzel gösterme ihtiyacından doğmuştur. Daha sonra operatörün/müşterinin dokunma alanlarında hissedilen sert yüzeylerin etkisini azaltma amacı olmuştur. Son zamanlarda ise tavan döşemelerinden istenilen kulağa hitap etmesidir. Teknolojinin gelişmesiyle araç üreticileri birbirleri içinde rekabet içindedirler. Kabin içindeki ses izolasyonu günümüzde müşterinin kalite anlayışını da şekillendirmektedir.

Motorlu araçların geçmişten günümüze gelişim süresinde, yolcu bölmesine giren ses miktarını azaltmak için iç döşeme ve ses yalıtımları kullanılmıştır. Tavan döşemeleri öncelikle estetik nitelikleri için tasarlansa da mühendisler, bu parçaların araç kabinindeki akustiği etkilemede önemli rol oynadığının farkındadır. Tavan döşemesi, öncelikle kabin içindeki sesi emilmesine katkısı nedeniyle genel akustik paketin ayrılmaz bir parçası

olmuştur. Ses iletim kaybı ve sönümlleme gibi diğer akustik özellikler de aracın genel akustik performansının kontrol edilmesinde önemli rol oynayabilir.

1.1. Birincil Araç Performans Talepleri

Bir tavan döşemesinin birincil işlevsel gereksinimleri, tavan döşemesi tarafından karşılanan (veya karşılanabilen) ve böyle bir parça olmadan karşılanması zor veya imkânsız olan temel araç ihtiyaçlarıdır. Bu gereksinimler aşağıdaki gibidir:

- Görünüm
- Dokunsallık
- Akustik Performans

1.1.1. Görünüm

Tavan döşemesi, çatı düzeneğinin genellikle göze hoş gelmeyen yapısını ve yapısal ayrıntılarını kapsar. Ayrıca stilist/tasarımcıya aracın tavanını aracın geri kalanıyla görsel olarak uyumlu hale getirme fırsatı sunar.

1.1.2. Dokunsallık

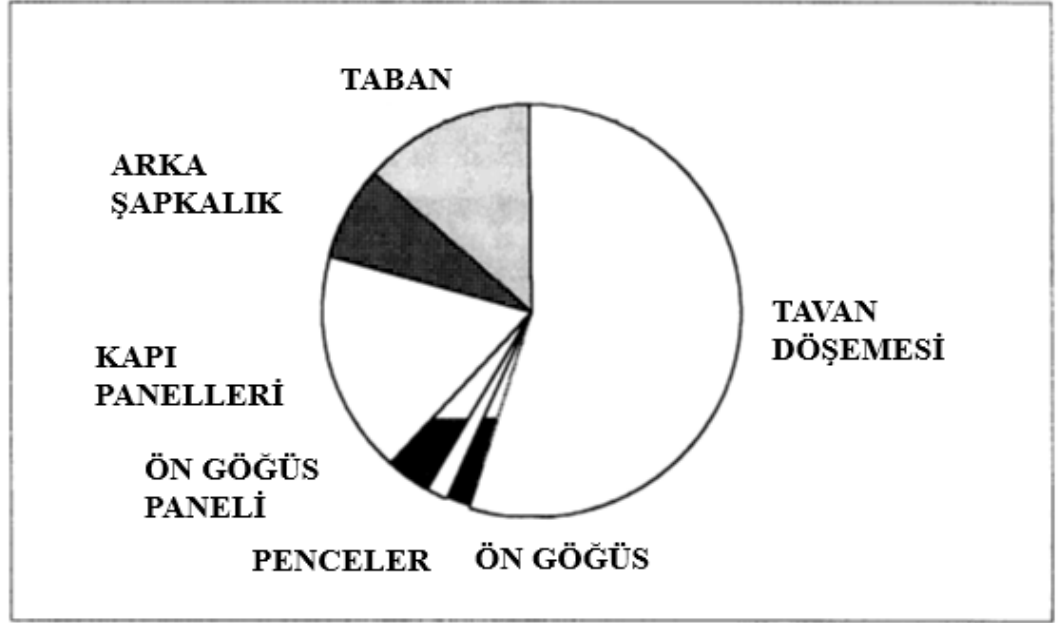
Tavan döşemesi hem yüzeye dokunduğunuz hem de kafanızı çarptığınız durumlarda dokunsal bir geri bildirim sağlar. Önemli bir faktör olmasa da genellikle lüks otomobillerin daha yumuşak tavan yüzeylerinin olduğunu biliyoruz. Bazı tavan döşemesi tiplerinde ise daha yumuşak bir his, daha iyi bir akustik performansı destekleyebilir.

1.1.3. Akustik Performans

Tavan döşemesi, boyutu ve konumu nedeniyle aracın iç kısmına ses emilimine en büyük katkıyı yapma potansiyeline sahiptir. Bu çok önemli gürültü kontrol parametresi, tavan döşemesi malzemesi ve tasarım hususlarına göre büyük ölçüde değişebilir. Bazı tavan

döşemesi tasarımlarının ikinci bir akustik işlevi, çatı paneline titreşim sönümlemesi kazandırmaktır.

Tavan döşemesi kompozitleri için alt tabaka seçimi, akustik, sistem entegrasyonu, ağırlık ve maliyet hususları tarafından yönlendirilir. Bununla birlikte, tavan döşemelerinin akustik katkısı, tasarımlarında birincil rol oynar. Tavan döşemeleri, mevcut daha büyük yüzey alanı ve gelen ses dalgalarının yolunda bulunması nedeniyle otomobilde önemli bir ses yutum yüzeyidir. Şekil 1.2’de bir otomobildeki (koltuklar hariç) çeşitli iç döşeme bileşenlerinin ses yutum katkısını göstermektedir. Tavan döşemelerinin otomobildeki ses yutumunun büyük bir bölümünü oluşturduğunu gösteriyor (Aggarwal, Khan, & Crepeau, 1998).



Şekil 1.2. Çeşitli iç kaplama bileşenlerinin 2000 Hz'de (koltuklar hariç) otomobilin iç kısmındaki ses yutum katkısı (Aggarwal, Khan, & Crepeau, 1998)

1.2. Müşteri Tarafından İstenilen Gereklilikler

Modern bir araçta müşteri beklentileri, üst düzeyde karşılanması gereken birtakım gereksinimlerin ortaya çıkmasına neden olur. Bu gereksinimlere bazen pazarın rekabet edebilirliğine göre "Giriş Fiyatı" denir.

Bu kategoriye giren gereksinimler aşağıdaki gibidir:

- A. Çevresel kararlılık; Tavan döşemesinin performansı, aşırı servis sıcaklıklarına ve neme uzun süre maruz kaldığında düşmemelidir.
- B. Bütünlük; Parça, beklenen kullanımda sarkmamalı, parçalanmamalı, kırılmamalı, yırtılmamalı veya çatlamamalıdır.
- C. Koku; Normal kullanımda rahatsız edici kokular yaymamalıdır.
- D. Renk haslığı; Ürünün solması veya belirgin şekilde rengi solması olmamalıdır
- E. Temizlenebilirlik; Geleneksel çözücülerle kolay temizlemeye izin vermelidir
- F. İz oluşmasına karşı direnç; Makul yerel olarak uygulanan yükler nedeniyle parça kalıcı bir şekil bozukluğu almamalıdır.
- G. Dayanıklılık; Tavan döşemesi, otomobilin ömrü boyunca yukarıdaki işlevlerin tümünü yerine getirmelidir.

Müşteri tarafından yönlendirilen bu belirtilen gereksinimler (ve diğerleri), çeşitli araç şirketleri tarafından kullanılan malzeme testi spesifikasyonlarında önemli ölçüde ayrıntılı olarak belirtilmiştir (Shedlowsky, 1991).

1.3. İstenilen Diğer Gereklilikler

Müşteri için "şeffaf" olan bazı vazgeçilmez ihtiyaçlardan bir takım ek gereksinimler türetilir. Bu gereksinimlerden bazıları şunlardır:

A. Yanmazlık; Parça, alevin yayılması ve kendi kendine sönme özellikleri ile ilgili resmi yönetmeliklere uygun olmalıdır.

B. Servis edilebilirlik; Tavan döşemesinin ve kapsadığı gövde bileşenlerinin bakımı için belirlenmiş yönergeleri karşılamalıdır. Koşullar gerektiriyorsa, bu yönergeler belirli bir sisteme uyarlanabilir.

C. Üretilebilirlik; Birçok parça gereksinimi, araç montajıyla ilgili hususlar tarafından yönlendirilir. Birkaç "genel" türde işleme sorunu şunlardır:

- Kurulum kolaylığı (esneklik/esneklik, tutma sistemi vb.)
- Nakliye (Paketleme ve paket açma)
- Robotlarla uyumluluk
- Hasar görmesi
- Tesis hijyeni. Güvenlik ve İşçi Konforu

D. Kalıplama esnekliği/kalite; Büyük karmaşık yüzeyleri net ayrıntılar, aslına uygunluk ve tutarlılıkla kalıplama yeteneği önemlidir.

Bu diğer istenilen gereksinimler bazen resmi malzeme veya tasarım spesifikasyonlarında tanımlanır ve genellikle parça geliştirme süreci sırasında tedarikçi ve üreticinin ürün ve süreç mühendisliği ekibi tarafından görüşülür (Shedlowsky, 1991).

1.4. İstenilen Özellikler

- A. Maliyetler; Tavan döşemesi sisteminin araca net maliyeti en aza indirilmelidir. Bu etkin maliyet, parça maliyetlerini, aletleri, sermaye ekipmanını, montaj süresini, nakliye, hurda oranını vb. içermelidir.
- B. Ağırlık; Araca net kütle etkisi en aza indirilmelidir. Bu etkin kütle, araç seviyesindeki performans donanımının etkilerini içermelidir (yani, ağır ses bariyerlerine karşı hafif ses emilimi veya daha iyi halı takımlarına karşı daha iyi tavan döşemeleri).
- C. Katma değer; Parça maliyetini ve üretim maliyeti senaryosunu daha da geliştirmek ve müşteriye algılanan değer katmak için modüler montaj gibi sistem verimliliklerinden yararlanmak için çaba gösterilmelidir.

Bu tezde tavan döşemelerinin güvenlik, sertlik, titreşim gibi performans özelliklerini korurken akustiği iyileştirilmiş bir tasarım önermek için bir çalışma yapılmıştır. Birincil olmayan gereksinimleri (yanıcılık, koku, vb.) sadece tanımlamak için bahsedilmiştir. Tasarım süreci NX Unigraphics programı ile yapılmıştır. Akustik testleri empedans tüpünde yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kaynak Araştırması

Richard ve ark. tavan döşemelerinin akustik özelliklerini araştırmıştır. Tavan döşemeleri, gözenekli elastik malzeme sistemleri olarak kabul etmiştir. Tavan döşemesinde gözenekli bir elastik malzeme sistemi varsayarak, daha iyi ürün seçimi sağlamak için daha çeşitli yapıların optimize edilebileceği ummuştur.

Duval ve ark. daha iyi akustik performans için bir tavan döşemesinin hava akış direncini önemini vurgulamıştır. İncelenen tavan döşemelerinde kalınlık ve çatı ile arasında kalan hava boşluğunun akustiği ne ölçüde etkilediğini tartışmış ve spesifik hava akışı direncinin ideal değerinin tavan döşemesi kalınlığına bağlı olduğunu ancak çoğunlukla çatı ile arasında kalan hava boşluğundan da etkilendiğini göstermiştir.

James, akustik performans, genellikle kontrol edilebilir öneme sahip tek mühendislik değişken olduğunu savunmuştur. Tavan kaplamasının akustik performansı, malzeme ve tasarım değerlendirmelerinden önemli ölçüde etkilenebilir ve bir araçtaki iç gürültü performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu söylemiştir.

Katherine Tao ve ark. termoset poliüretan alt tabaka bazlı tavan döşemelerini; çoklu hava boşlukları, farklı emici pe kaplama alanları ve kaplama malzemesi ilavesi ile çeşitli testlere tabi tutmuştur. Hava boşluklu yüzeyler için ses yutumu katsayısının oldukça yüksek olduğunu kanıtlamıştır.

2.2. Temel Kavramlar

2.2.1. Ses

Ses bir kaynağa, iletim için bir ortama ve bir alıcıya ihtiyaç duyar. Kaynak; basitçe, bazı harici enerji kaynakları tarafından titreştirilen bir nesnedir. Ortam, ses enerjisini bir yerden başka bir yere taşıyan maddedir. Ses enerjisi, ses kaynağının titreşimiyle aynı düzende bir ortam aracılığıyla ileri geri iletilir.

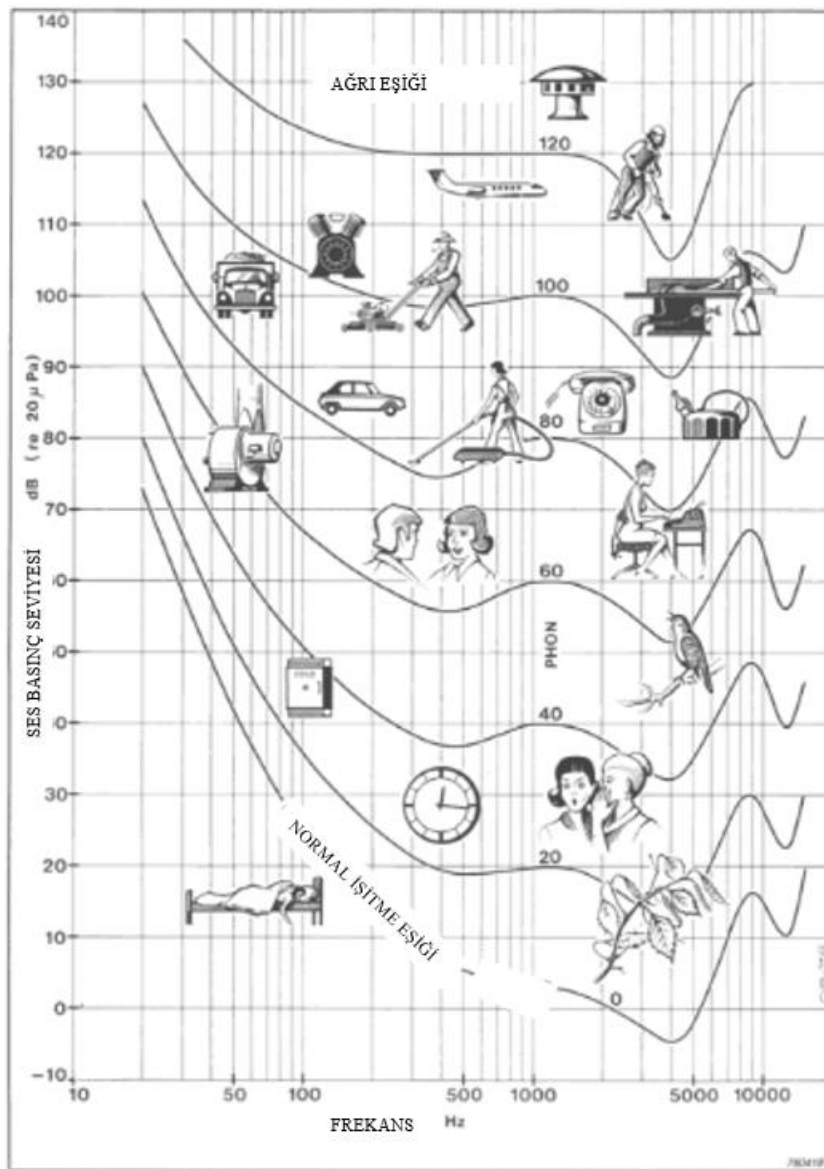
Sesler; sıvılar, gazlı malzemeler ve katılar gibi elastik bir ortamda yayılan basınç değişimleridir. “Ses” ve “titreşim” kelimeleri genellikle bağlantılıdır. Sesin oluşumu genellikle katı nesnelerin titreşimine veya sıvı bozulmasına atfedilir ve ses, elastik ortamlarda meydana gelen titreşimler olarak düşünülebilir.

Ses basıncı değişimi, ses dalgaları şeklinde yayılır. En basit dalga türü, periyodik bir dalga olan sinüs dalgasıdır. Tam bir çevrimi tamamlamak için gereken süre, dalganın periyodudur ve frekansın tersine eşittir. Dalga boyu, sesin bir periyot aralığında kat ettiği mesafedir; ses hızının frekansa bölünmesine eşit olan aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\lambda = c/f = 2\pi c / \omega \quad (2.1.)$$

2.2.2. Ses şiddeti ve basıncı

Sesin şiddeti desibel (dB) olarak ifade edilir. Matematiksel olarak ses basıncı ise paskal (Pa, N/m²) olarak ifade edilmektedir. İnsan kulağı 0 ile 140 dB ve 2x10⁻⁵ Pa ile 20 Pa arası sesleri algılayabilmektedir. Şekil 2.1’de bazı seslerin dB aralıkları gösterilmiştir.

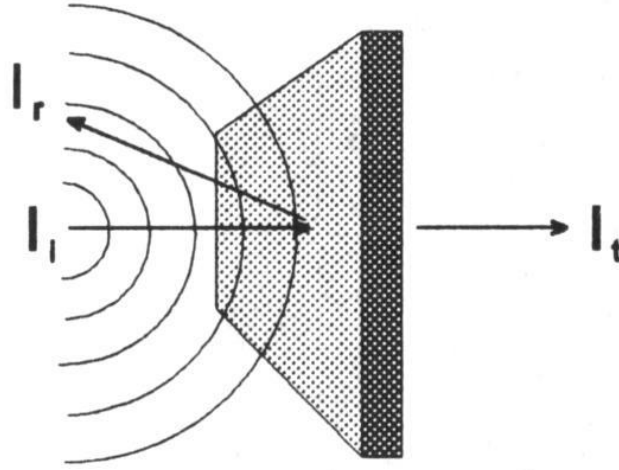


Şekil 2.1. Bazı seslerin dB aralıkları (Chen, 2012)

2.2.3. Akustik

Akustik bir ürünün özellikleri tipik olarak Şekilde 2.2’de gösterildiği gibi belirtilir.

Gelen ses için (Ii), akustik enerjinin bir kısmı materyalden geçer (It) ve enerjinin bir kısmı kaynağa doğru geri yansıtılır (Ir). Yansıyan sesin gelen sese oranına ses yutma katsayısı (α) denir. Benzer şekilde iletilen sesin gelen sinyale oranı da ses iletim kayıp katsayısı (τ) olarak tanımlanır.



Şekil 2.2. Sesin yansıması ve iletimi (Wentzel & Green, 1997)

2.2.4. Gürültü

En geniş anlamıyla gürültü, basitçe istenmeyen sestir. İnsanların maksimum yetenek ve verimlilikte performans göstermelerini engelleyebilir, boş zamanlarını tam anlamıyla yaşamaktan mahrum bırakabilir, uykularını etkileyebilir, buna bağlı psikolojik etkilerle artan sinir gerginliğine neden olabilir ve en önemlisi, işitsel-duyusal mekanizmaya zarar verebilir ve erken işitme kaybına yol açabilir. Gürültünün modern toplumda insanın çalışma veya yaşam koşullarını, konforunu ve sağlığını olumsuz etkileyebileceği her yerde ses analizine ve kontrolüne bir giriş sağlaması amaçlanmıştır.

Bir aracın motoru çalışırken, araç veya bir parçası titreşim olarak adlandırılan salınım hareketi sergiler. Bitişik hava da ses adı verilen titreşim sergiler. Araç sesi, istenen ve istenmeyen sesleri içerir. İstenmeyen ses gürültüdür.

Titreşim ve gürültü yolcuların rahatsız olmasına neden olabilir ve müşterinin araç kalitesi algısına zarar verebilir. Aranan ses tipik olarak motorla ilgilidir ve müşterinin kalite algısına veya ses kalitesine iyi bir katkıda bulunabilir. Titreşim, gürültü ve ses kalitesi önemli araç özellikleridir. Genellikle herhangi bir araç türünün en önemli özellikleri arasındadırlar. Araç sesi ve titreşimi, sürüş konforunun ve algılanan kalite ve güvenilirliğin bir ölçüsüdür. Otomotiv sesi ve titreşimleri, son yirmi yılda araştırmacılar tarafından çok fazla ilgi görmüştür. Otomotiv camiasında, NVH (gürültü, titreşim ve

sertlik) terimi, bir otomobildeki istenmeyen titreşimi ve sesi tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. NVH, araç çalışırken yolcuların yaşadığı titreşim ve ses açısından araç iyileştirme ile ilgili mühendislik dalını kapsayan genel bir terim/kısaltmadır. Şekil 2.3'te bir aracın iç gürültü kaynaklarını gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Bir aracın iç gürültüsünün gürültü kaynakları

2.2.5. Ses yutum katsayısı

Ses yutum katsayısı, malzemelerin ses emme verimliliğini değerlendirmek için kullanılan yaygın bir niceliktir. Soğurulan enerjinin gelen enerjiye oranı olarak tanımlanır. Ve α ile temsil edilir. Akustik enerji tamamen emilebiliyorsa, $\alpha=1$ 'dir.

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} = 1 - \frac{E_T}{E_i} \quad (2.2.)$$

Burada E_a emilen enerjidir. E_i gelen enerjidir ve E_T iletilen enerjidir.

Bir malzemenin ses emme katsayısı, malzeme özelliklerine ve yüzeye uygulanan tüm katmanların kalınlığına (soğurucu malzeme türleri, hava boşlukları, vb.) bağlıdır. Ses emme katsayısı, farklı referanslara göre değişir.

2.2.6. Ses iletim katsayısı

Ses İletim Kaybı, bir panelden iletilen ses enerjisinin, gelen ses enerjisine oranı olarak tanımlanır. Panelin sesi engellemede ne kadar etkili olduğunu karakterize eder. İletim katsayısı (τ), iletilen enerjinin gelen enerjiye oranı ile tanımlanır.

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (2.3.)$$

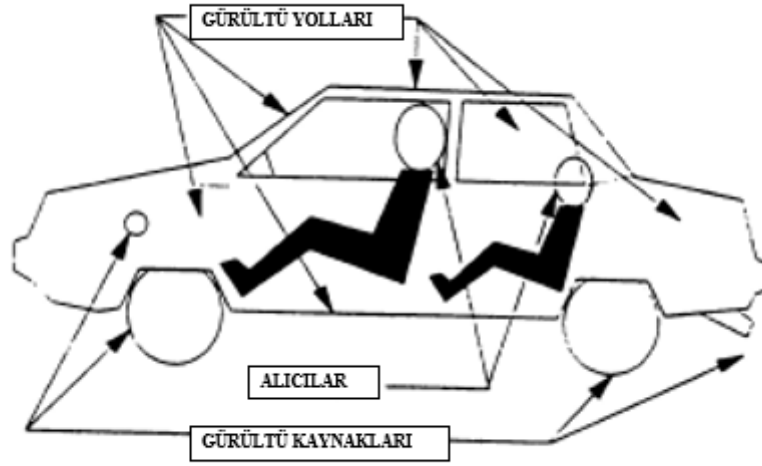
Ses iletim kaybı (STL) daha sonra aşağıdaki denklemlerle belirlenir.

$$STL = 10 \log \frac{1}{\alpha} \quad (2.4.)$$

τ iletim katsayısı, E_t İletilen enerji, E_i gelen enerjisidir.

2.2.7. Araç iç gürültü kontrol stratejileri

Aracı oluşturan kaynak- yol- alıcı sistemlerindeki çeşitli parametrelerin kontrol edilmesiyle uygun iç gürültü elde edilir. Şekil 2.4'te gösterilen basitleştirilmiş sistemde, kaynaklar güç aktarma sistemi veya yol yüzeyi/lastik ara yüzü olabilir; yollar hava kaynaklı, yapı kaynaklı veya oldukça sık olarak bileşik yapı kaynaklı/hava kaynaklı yollar olabilir. Bu modeldeki alıcı, yolcu bölmesidir (Shedlowsky, 1991).



Şekil 2.4. Aracı oluşturan kaynak- yol- alıcı sistemleri (Shedlowsky, 1991)

Bir sürücü veya yolcu tarafından deneyimlenen sonuçtaki ses alanı, aşağıdaki gürültü kontrol önlemlerinin çeşitli kombinasyonları ile belirlenecektir:

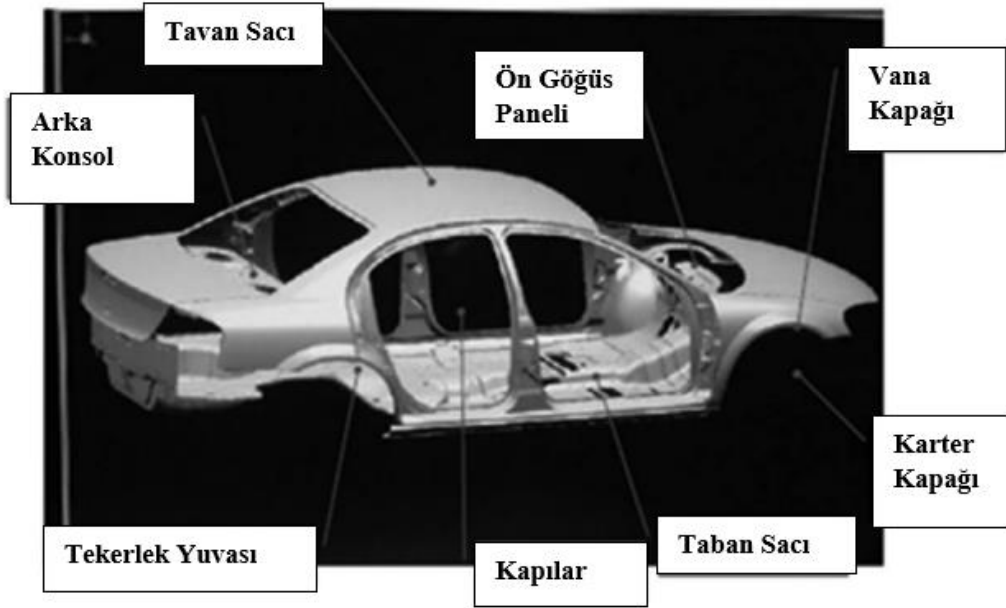
- Kaynak kontrolü; kaynaktan gelen ses basıncı veya titreşim kuvveti seviyelerinin ortadan kaldırılması veya azaltılması,
- Yol kontrolü- havada yayılan ses enerjisinin ses bariyerleri (ses iletim kaybı) veya izolasyon, sönümleme veya empedans uyumsuzluğu yoluyla titreşim enerjisinin azaltılması,
- Alıcı kontrolü; yolcu bölmesinde yansıyan (veya yankılanan) ses enerjisinin miktarında azalma hem küresel olarak hem de önemli ölçüde sürücünün ve yolcuların kafasının işgal ettiği bölgelerde bu etki elde edilir.

Prensip olarak, tüm araç sistemlerinin, alt sistemlerinin ve bileşenlerinin titreşimleri ve sesi fizikle işlenebilir ve diferansiyel denklemler kullanılarak çözülebilir. Ancak, gerçek sistemlerin ve sınır koşullarının çoğu bu şekilde ele alınamayacak kadar karmaşıktır.

Kaynak-yol-alıcı perspektifi, gerçek sistemler için birçok uygun tedavi veya titreşim ve ses yaklaşımı sunabilir. Analitik basitlik için, tüm araç parçaları, hem alıcının, yani sürücü veya yolcunun algılanmasına katkıda bulunan, titreşim ve sesin bir kaynağı veya bir aktarım yolu olarak görülebilir.

Aslında araç sesi alıcıları, yola yakın binalardaki yayaları ve personeli de içerir. Ancak, trafik gürültüsü olarak araç gürültüsünün çevreye olan etki düzeyi, araçların geçiş gürültü standartları için doğrudan mevzuatla belirlenmiş; bu nedenle, araç titreşimi ve sesi üzerine araştırma ve geliştirme, gerçek alıcı olan sürücü veya yolcunun algısını etkileyen iç gürültü ve titreşim niteliklerine odaklanmıştır.

Titreşim ve sesin birleşimi, bir aracın en önemli performans göstergelerinden biridir. Bir aracın ses kalitesi tasarımının yanı sıra iç gürültü kontrolü ve titreşim azaltma, müşterileri çekmek için kritik öneme sahiptir. Şekil 2.5'te araçlarda titreşim ve sesi sönümle işlemi için kullanılan parçalar gösterilmiştir. (Chen, 2012)



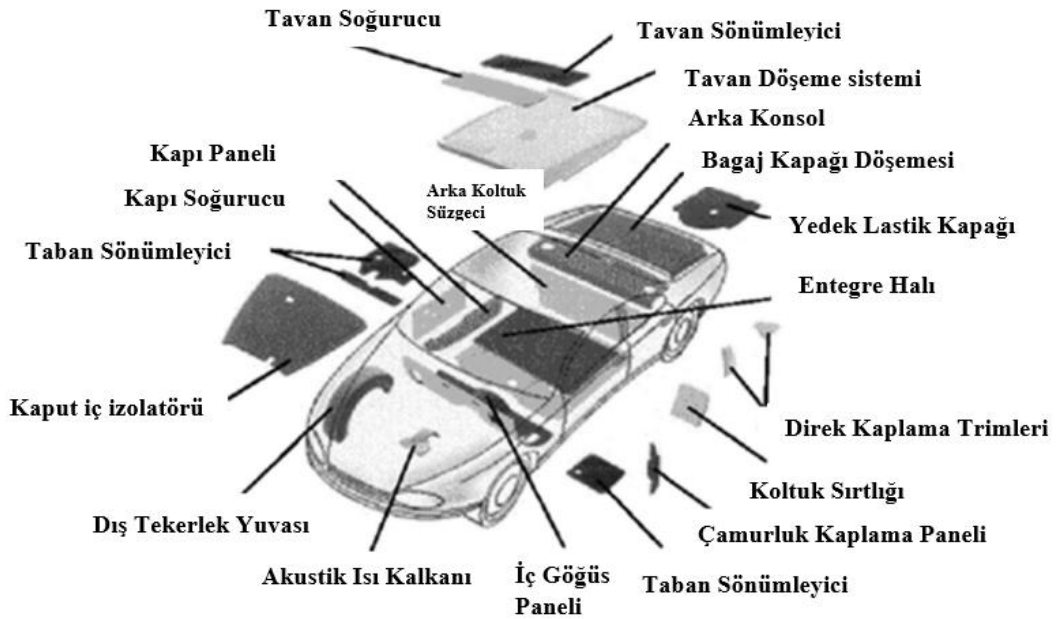
Şekil 2.5. Bir arabada sönümleme işlemi için kullanılan tipik parçalar (Chen, 2012)

2.2.8. Absorpsiyon malzemesi veya yapısı aracılığıyla gürültü kontrolü

Bir ses dalgası bir fiberin veya gözenekli malzemenin yüzeyine yayıldığında, hava akımı hareketi ve sürtünme, ses enerjisinin bir kısmını ısıya yayar. Katı yapılar (lifler gibi) arasındaki boşluklar, enerji dağıtma sürecinde kritik bir rol oynar. Fiber veya gözenekli malzemelerin bu işlevi, bir araçta gürültü emme işlemi için kullanılabilir. Gürültü emici malzemeler genellikle levhalar, köpükler, kumaşlar, halılar veya minderler. Bir malzemenin ses yutma kapasitesi, emilen akustik gücün gelen akustik güce oranı olan malzemenin yutma katsayısı ile karakterize edilir.

Absorpsiyon katsayısı, frekansa ve sesin yapıya geldiği açıya göre değişen, bir malzemenin sesi absorbe etme etkinliğinin ölçüsüdür. Büyüklüğü malzeme kalınlığına, hava sahasına ve malzeme yoğunluğuna bağlıdır.

Gövde panelleri genellikle rezonans titreşimini kontrol etmek için sönümleme işlemine tabi tutulur. Gövdenin içi de iç kısımda yankılanan sesin oluşmasını önlemek için emici bir işlemle (cam elyafı mat veya açık hücreli köpük gibi) kaplanmıştır. Şekil 2.6'da araç içine uygulanan ses yalıtım malzemeleri gösterilmiştir. (Chen, 2012)



Şekil 2.6. Bir araçta uygulanan bazı ses yalıtım ve soğurma malzemeleri (Chen, 2012)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, tavan döşemelerinde kullanılan malzemeler ve yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Üretim şekli, akustik testlerin yapıldığı cihaz bilgileri, diğer test yöntemleri ve tasarım parametreleri incelenmiştir.

3.1. Malzeme

Tavan döşemeleri, iç çatı sacını kaplamak ve konuşma anlaşılabilirliğini artıran iç ses basıncını azaltmak için kullanılır. Alt tabaka ve kaplama olmak üzere iki ana malzeme içerirler. Alt tabaka yapıyı sağlar, ancak esas olarak kaplama malzemesi için taşıyıcı görevi görür. Tipik olarak, görünüm ve dokunma hissi sağlamak için kaplama malzemesinin bir yüzünden (kumaş veya dokuma olmayan ürünler) ve yapı, sertlik ve ses emilimi dahil olmak üzere çok sayıda işlevsellik sağlamak için bir alt tabakadan (termoset veya termoplastik) oluşur. Alt tabaka cam, karton (ahşap lifi veya karton), lif (reçineli pamuk, termoplastik) veya ısıyla sertleşen köpük (üretan) olabilir. Kaplama kumaş (örme, dokuma veya dokumasız), vinil (film veya genişletilmiş) veya boyalı olabilir.

Termoset malzeme tipik olarak, bağlı bileşenler ve cam elyafı ile güçlendirilmiş poliüretandan yapılmış bir köpük çekirdekten oluşur. Dünya çapında otomotiv endüstrisinde en yaygın kullanılan alt tabakadır.

Termoplastik substratlar tipik olarak, fiberglas takviyeli veya takviyesiz sentetik ve/veya doğal liflerden yapılır. Termoset ile karşılaştırıldığında daha yüksek akustik absorpsiyon sunar ancak aynı zamanda daha pahalı ve daha ağırdır (Silva, Calçada, & Massarelli, 2014).

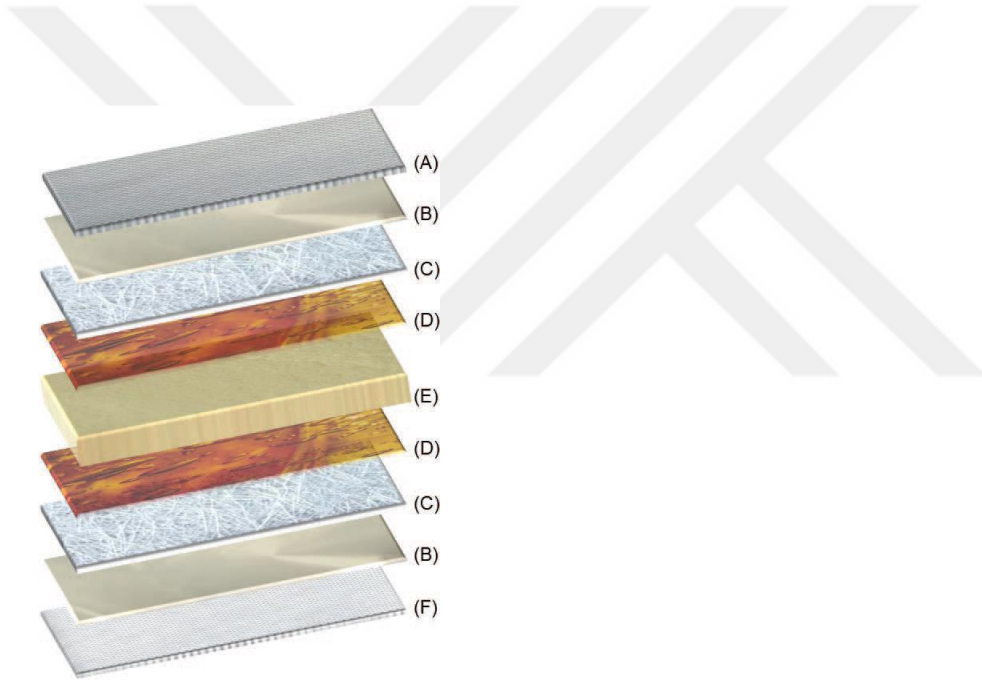
3.1.1. Poliüretan

Üretan/fiberglas kompozit, mevcut nesil tavan döşemeleri için tercih edilen malzemedir. İyi akustik, kalıplanabilirlik sağlar, tasarım esnekliğine, dayanıklılığa sahiptir.

3.1.2. Termoform

Bu malzemede düşük yoğunluklu ve gözenekli (açık hücreli) yapıya sahip ısıyla şekillendirilebilen bir köpüğe ihtiyaç vardır. Bu hafif köpüğün ısıl şekillendirme kolaylığı ve kaliteli ses emilimi gibi temel güçlü yönleri vardır. Malzeme beş katmanlı bir kompozitten oluşur. Bir yüz kumaşı, dokunmamış cam elyafı mat, ısıyla şekillendirilebilir yarı sert köpük, son bir dokuma olmayan cam elyafı mat tabakası ve bir dokumasız ince kumaş tabakası içerir.

Termoform kaplama yapısına sahip tavan döşemesi, Şekil 3.1'de gösterilmektedir



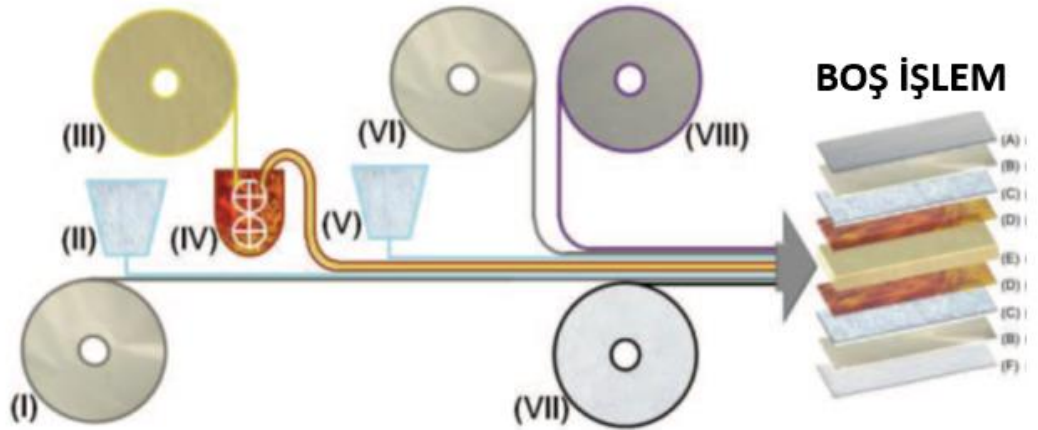
Şekil 3.1. Tavan yapısı (Silva, Calçada, & Massarelli, 2014)

Katman (A), görünümünden ve dokunma hissinden sorumlu dokunmamış bir kaplama malzemesidir. Plastik film (B), kaplama malzemesini alt tabakaya yapıştırmak için ve ayrıca tavan döşemesi kalıplama işlemi sırasında poliüretan reçinenin (D) kaplama malzemesinden geçmesini önlemek için bir bariyer olarak kullanılır. Cam elyaf (C), poliüretan reçine (D) ve poliüretan köpük (E) ile kombinasyon halinde tavan döşemesine yapı sağlar. Poliüretan köpük (E) ayrıca akustik işleve sahiptir. Araçların iç kısmına bakan katman görünmez yüzey (dokusuz yüzey F) kalıp ayırıcı olarak çalışır, parça için son işlem sağlar ve araç gövdesine karşı tavan kaplaması sürtünme gürültüsünü önler.

3.2. Üretim süreci

Tavan döşemesi süreci 4 adımdan oluşur. Şekil 3.2’de ilk adımı göstermektedir.

- 1-Boş imalat
- 2- Kalıplama
- 3-Süsleme
- 4-Bitirme



Şekil 3.2. Tavan döşemesi boş işlemi (Silva, Calçada, & Massarelli, 2014)

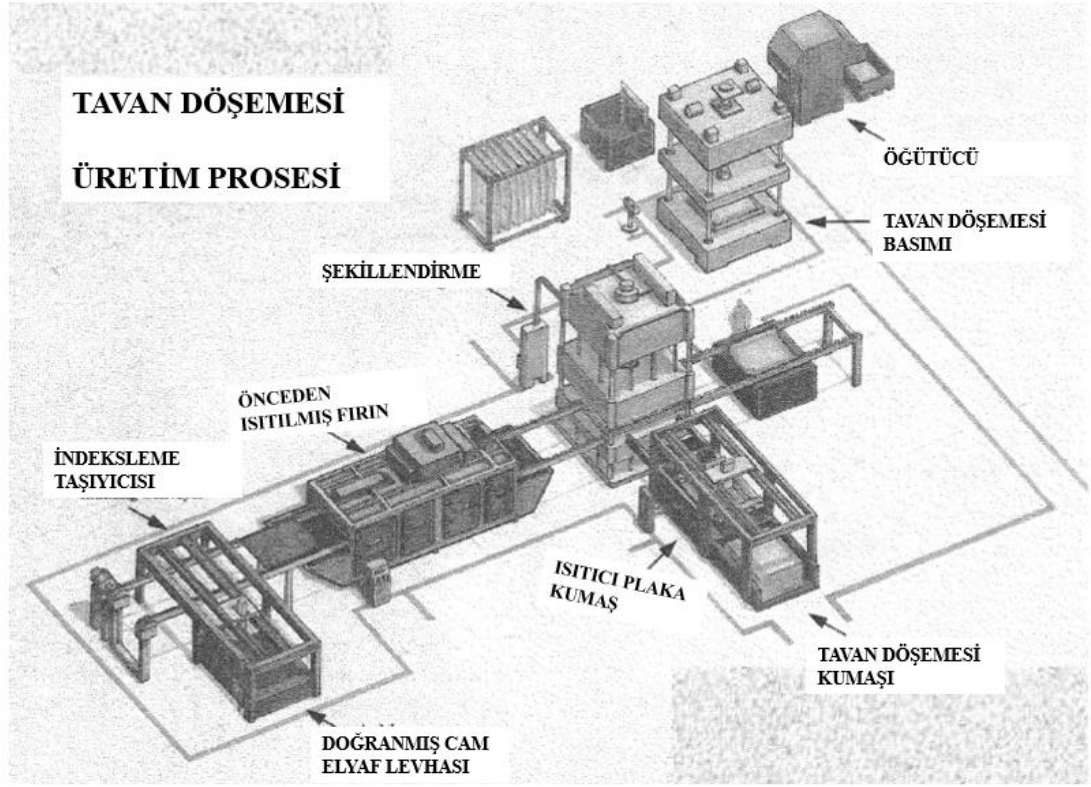
Boş imalat, diğer malzemeler için konveyör bant görevi gören plastik filmin (I) çözülmesiyle başlar. Bir kesme makinesinde (II), cam ipliği kesilir ve film üzerine bırakılır. Poliüretan köpük çözülür (III) ve emprenye edilmek üzere poliüretan reçineli bir oluğa daldırılır. Köpük tarafından emilen fazla reçineyi uzaklaştıran oluk çıkışında kalenderler (IV). İkinci bir kesme makinesi (V), ikinci cam elyafı katmanını doğradı ve yerleştirdi. İkinci plastik film tabakası (VI) ve dokumasız kaplama malzemesi (VIII) tüm katmanların üzerinde çözülüyor ve görünmeyen dokumasız (VII) katmanların altında açılıyor. Bundan sonra, katmanlar bir boşluk haline gelecek şekilde birlikte kesilir (Silva, Calçada, & Massarelli, 2014).

Boş, tavan döşemesi şeklini ayarlamak, tüm katmanları bağlamak ve poliüretan reçineyi sertleştirmek için alüminyum ısıtmalı bir aletle kalıplanmıştır.

Bir su jeti robotunda tavan döşemesinin kesilmesi ve kenarları yapılır.

Bitirme işlemi sırasında bileşenlerin montajı, el işçiliği ve kalite kontrolü bir masa üzerinde yapılır.

Tavan döşemelerinin üretim süreci, birkaç değişiklikle soğuk biçimli bir sıkıştırma işlemidir. Bir sıcak eriyik film ile ayrı ayrı kompozit tabakaları robotik olarak bir taşıyıcıya yerleştirilir ve bir fırında 190 - 205°C'ye ısıtılır. Bu malzeme ısıtılırken kumaş istenilen ebatta kesilir ve soğuk şekillendirilmiş bir kalıbın çekirdek yarısına mekikleştirilir. Fırından çıktıktan sonra kompozit, soğuk şekillendirme aletinin maça ve çekirdek yarıları arasında mekik dokur. Kalıp kapanır ve kompozit kumaşa yapıştırılır ve şekillendirilir. Parça daha sonra robotik olarak aletten çıkarılır ve daha sonra güneşlikler, kubbe lambaları ve modülerlik için gerekli diğer bileşenleri monte etmek için kullanılacak erişim deliklerinin trimlenmesi ve kesilmesi için robotik bir lazer kesim makinesine yerleştirilir. Kesme işlemi sırasında lazer ayrıca kesimi mühürleyerek poliüretan bazlı malzemelerle tipik olarak elde edilenden daha iyi kenar kalitesi sağlar (Haque, Kamarajan, & Yang, 2000). Proses akışının bir şeması Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Tavan döşemesinin oluşumu (Haque, Kamarajan, & Yang, 2000)

3.3. Akustik Parametre Ölçüm Yöntemleri

Bu bölümde en çok kullanılan akustik parametre ölçüm yöntemleri incelenecektir.

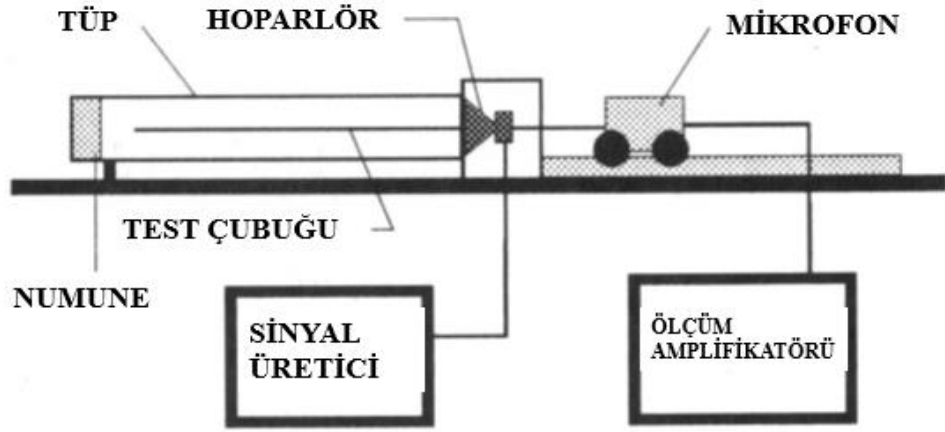
3.3.1. Empedans tüpü

Bu deney düzeneğinde kullanılan numunelerin kolay hazırlanması, parça boyutlarının küçük olması ve hızlı sonuç alabilme adına empedans tüpü sıklıkla kullanılır.

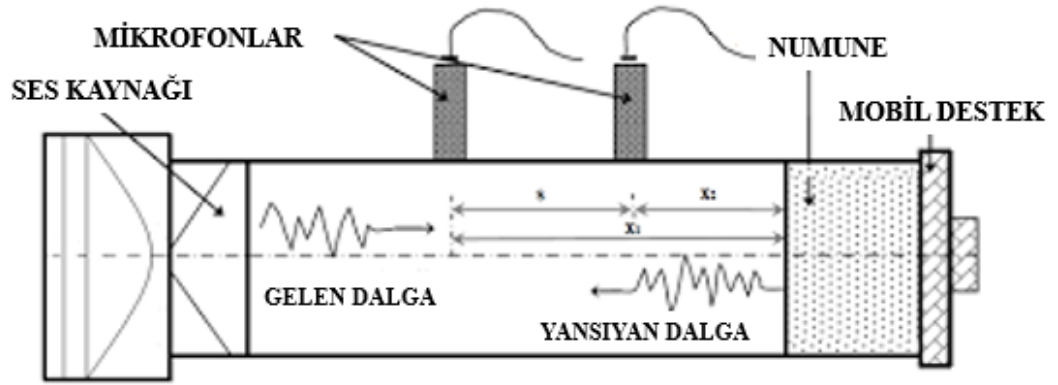
Bir ürünün ses emilimi, çeşitli test prosedürleri kullanılarak ölçülür. Empedans tüpü, malzemeler için normal gelen ses yutum katsayısını ve ses iletim katsayısını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Bir ucunda bir hoparlör ve diğerinde bir numune tutucu ile donatılmış içi boş bir tüp kullanır. Bir sinyal üretici, borudan aşağı bir düzlem dalga yayan hoparlörü elektriksel olarak uyarır. Bu sinyal, tüpün diğer ucundaki malzeme

örneğinden yansır ve yeni oluşturulan olay dalgalarına müdahale eder. Bu, tüpte duran bir dalga oluşturur. Duran dalganın genliğini ölçmek için küçük bir içi boş tüpe bağlı bir mikrofon kullanılır. Duran dalga ne kadar güçlü olursa, örnek sesi o kadar fazla yansıtır ve sesi emme yeteneği o kadar zayıf olur. Bu test, 200 - 6300 Hz arasındaki numunelerin ses emilimini ölçebilir. Bu aygıtın daha yeni sürümleri, bu test için veri toplama sürecini hızlandıran çift mikrofon kullanır.

Şekil 3.4'te tek mikrofonlu Şekil 3.5'te çift mikrofonlu empedans tüpünün şematik gösterimini görebilirsiniz.

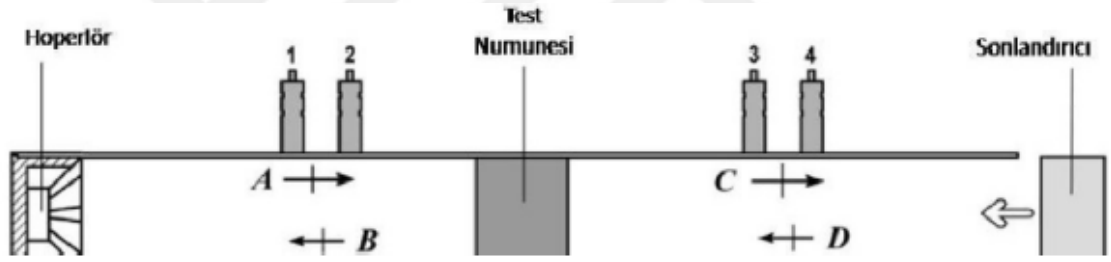


Şekil 3.4. Tek mikrofonlu empedans tüpü (Wentzel & Green, 1997)



Şekil 3.5. Çift mikrofonsuz empedans tüpü

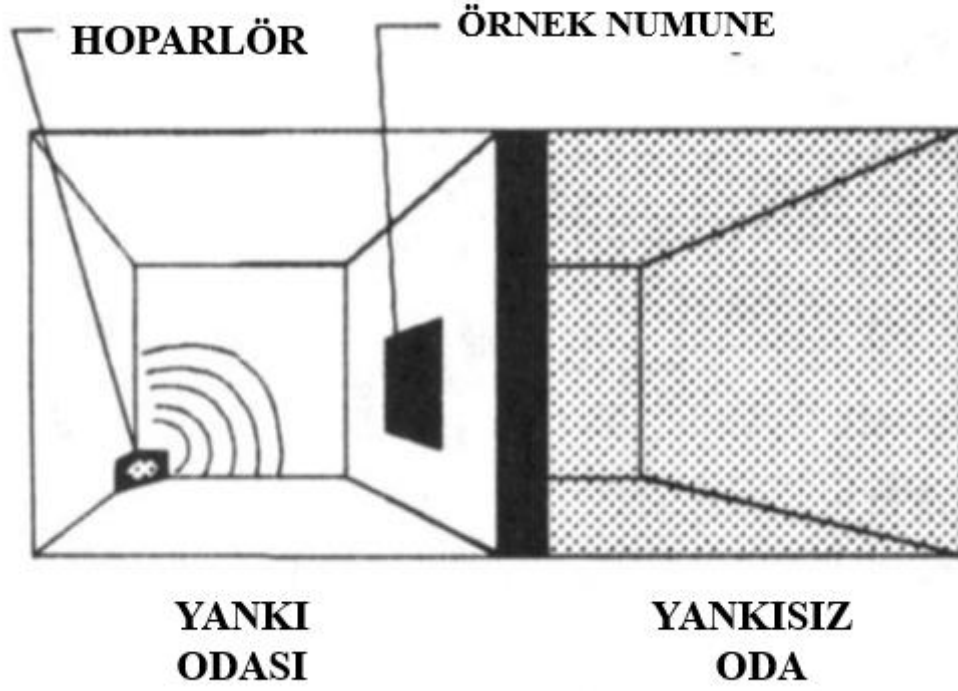
Empedans tüpünde ses iletim kaybı ölçümleri de yapılabilmektedir. Şekil 3.6'da şematik olarak ses iletim kaybı düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Ses iletim kaybı ölçümü

3.3.2. Çınlama odası

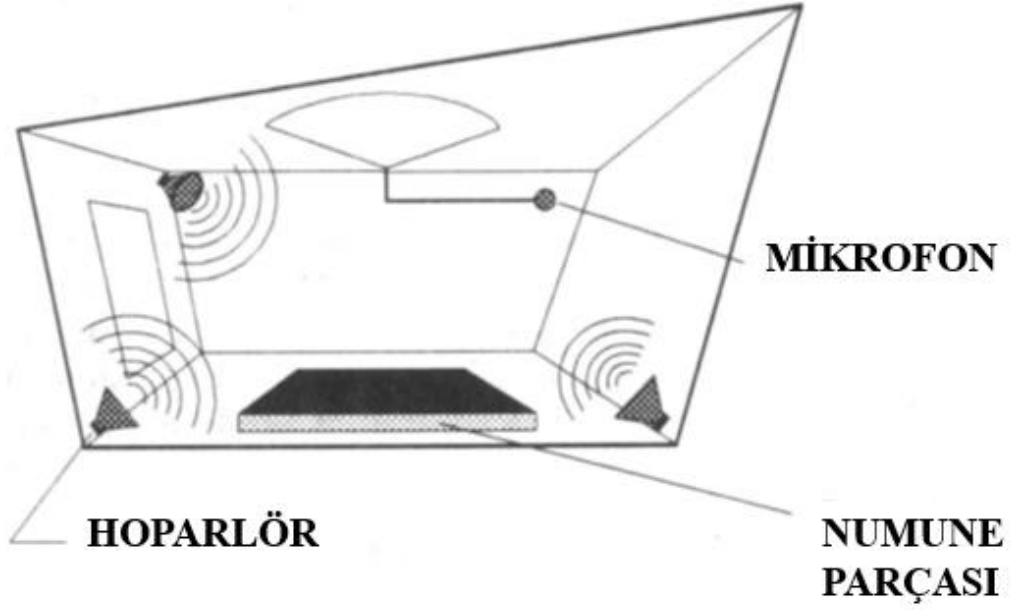
Bu test, yassı malzeme numuneleri üzerinde, bir numunenin bitişik odaları birleştiren bir pencereye yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Çınlama odasına geniş bantlı bir ses sinyali enjekte edilir. Yankılama odasındaki ve ayrıca alıcı odadaki ses basınç seviyeleri ölçülerek malzemenin Ses İletim Kaybı, desibel cinsinden belirlenir. Yalıtkanın STL'si ne kadar yüksek olursa, havadaki sesi azaltma yeteneği o kadar büyük olur. Şekil 3.7'de çınlama odası şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Çınlama odası (Wentzel & Green, 1997)

3.3.3. Alfa kabin

Alfa kabin, rastgele gelen ses emilimini ölçmek için kullanılan üçte bir ölçekli çınlama odasıdır. Tavan döşemesindeki ses alanı olayı gerçekten rastgele olmasa da (yani, araç içindeki ses alanı tam olarak dağınık değildir) empedans tüpü ölçümünden daha iyi bir sonuç sağlar. Alfa kabinin daha küçük boyutu, numune boyutu küçük olduğundan (nominal 1,2 m²) otomotiv malzemelerinin ölçümü için çok uygundur. Örneğin, Alfa kabinde tek bir otomobil tavan döşemesi test edilebilirken, tam boyutlu bir çınlama odasında test için birkaç özdeş tavan döşemesi gerekli olacaktır. Daha küçük boyutu nedeniyle, Alfa Kabininin (400 Hz üçüncü oktav bandı) alt frekans sınırı, tam boyutlu bir çınlama odasının alt frekans sınırından kabaca üç kat fazladır. Şekil 3.8’de alfa kabini şematik olarak gösterilmiştir (Wentzel & Green, 1997).



Şekil 3.8. Alfa kabin (Wentzel & Green, 1997)

Yutucu malzemeler birçok gürültü kontrol uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin akustik davranışı, küçük boyutlu numunelerle empedans tüpü kullanılarak ölçülebilir, ancak pratikte, gürültü kontrol uygulamalarında kullanılan malzemeler küçük değildir ve üzerlerine gelen dalgalar düzlemsel dalgalar değildir. Pratikte gürültü kontrol uygulamalarında farklı boyut ve şekillerde malzemeler kullanılmakta ve akustik alan dağınıktır. Bu nedenle malzemelerin akustik performansı, ISO 354 uluslararası standartlarına uygun olarak ölçüm için daha büyük numuneler gerektiren bir çınlama odası kullanılarak rutin olarak ölçülür.

Alfa kabini, şekil 3.9'da gösterildiği gibi test örneğinin rastgele ses yutum katsayısı ölçmek için kullanılan paralel olmayan duvarlara sahip küçük bir çınlama odasıdır. Alfa kabinin akustik emilimi çok düşüktür ve bu tasarım, düşük seviyedeki arka plan seslerini korumak için yüksek seviyede ses yalıtımı sağlar.



Şekil 3.9. Rastgele gelen ses yutma katsayısı için alfa kabin ölçüm düzeni (Mohamed & Egab, 2020)

Alfa kabinde, ses kaynakları için üç adet 50-W koaksiyel hoparlör ve hazne içindeki SPL'yi izlemek için kullanılan üç mikrofon bulunur. Alfa kabini tarafından ölçülen ses yutum katsayısı, aşağıda verilen Sabine ampirik formülü kullanılarak test numunesi ile ve test numunesi olmadan yankılanma süresinin ölçümünden hesaplanır:

$$s_{\alpha} = \lambda \times 55 \cdot 3 \times \frac{v}{c} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (3.1)$$

burada λ düzeltme faktörü, c ses hızı (m/s), V kabinin hacmi, S yüzey alanı, α ses yutum katsayısı, T_2 örnekle yankılanma süresi ve T_1 örnek olmadan yankılanma süresi. (Mohamed & Egab, 2020)

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında bir otomobilin tavan döşemesinin farklı malzeme ve farklı kalınlıklardaki ses yutum katsayı sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken kullanılan test yöntemi empedans tüpü olmuştur. Boyut olarak küçük numunelerin kullanılması ve kısa sürede sonuç vermesi bu yöntemin seçilmesinde etkin olmuştur. Farklı kalınlıktaki tavan döşemesi üretimi ve test süresi maliyeti yükseltmektedir. Bu nedenle alfa kabin ölçüm yöntemi tercih edilmemiştir. Tavan döşemesinin tasarımı NX Unigraphics programında yapılmış, ağırlıkları yine aynı programda hesaplanmıştır.

4.1. Test Düzeneginin Tanıtılması

Empedans tüpü markası olarak ELWIS-A kullanılmıştır. ELWIS (Hafif Ağırlık Empedans Sisteminin Değerlendirilmesi), gözenekli malzemelerin fiziksel parametrelerinin (Biot-Allard parametreleri) eksiksiz, güvenilir ve hızlı bir karakterizasyonu sunar. Sistem, tam bir malzeme modellemesi için her iki uygulamaya da ihtiyaç duyulmasına rağmen, birbirinden bağımsız olarak kullanılabilen ELWIS-A ve ELWIS-S cihazlarından oluşmaktadır. Şekil 4.1'de ELWIS empedans tüpünün teknik özellikleri gösterilmiştir.

Faydaları;

- Hızlı, kolay ve güvenilir veri değerlendirmesi
- Çok çeşitli malzeme ve parçalara uyarlanabilir
- Kullanımı kolay

Çıktısı; normal emme Katsayısı.

Normal emme katsayısı; ölçülen miktar, ISO'ya (10534-1/2) göre Empedans tüpündeki normal insidans absorpsiyon katsayısıdır.

Çalışması; En solda ses kaynağı bulunur ve geniş bant Beyaz gürültü sinyali oluşturur İçeride bulunan iki adet mikrofon gönderilen ve yansıyan sesi algılar.



BOYUTLAR	850 x 2210 x 1240 mm (L x W x H)
ÖRNEK BOYUTU	ELWIS-A: 60 mm çap ek seçenek: 29 mm çap ELWIS-S: 100 mm çap
FREKANS ARALIĞI	ELWIS-A: 200-3400 Hz ek seçenek: 1000 6300 Hz ELWIS-S: 50-800 Hz
STANDARTLAR	ASTM (E-1050) ve ISO (10534-1/2) standartlarını karşılar. Empedans tüpü için (200 ile 3400 ve ya ek seçenek ile 6300 Hz'e kadar olan ölçümler)
ÇIKTI	Akustik ve yapısal <u>Biot-Allard</u> parametreleri

Şekil 4.1. Elwis empedans tüpünün teknik özellikleri

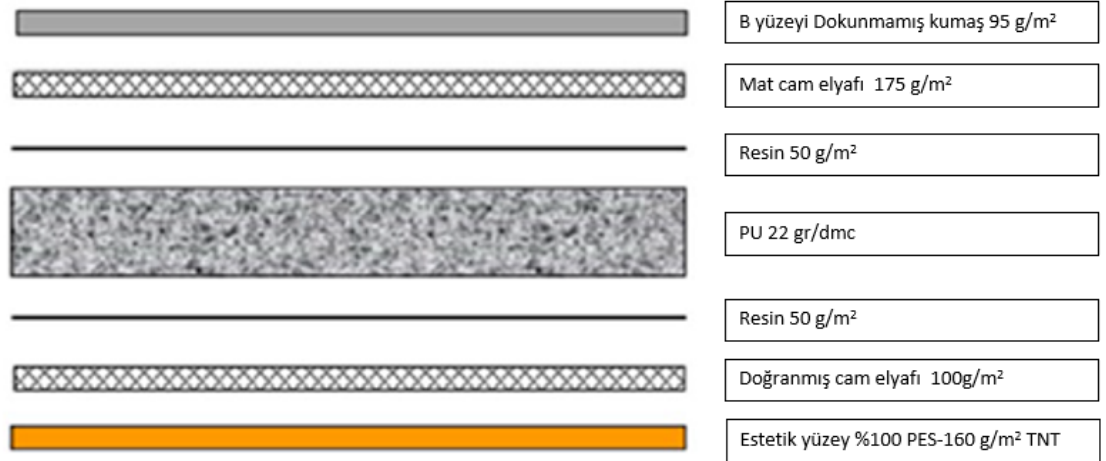
4.2. Test Düzenekinin Hazırlanması

ISO 10534-2 standartları doğrultusunda ses yutum katsayısı testi empedans tüpü test sistemde test edilmiştir. Her numune düşük frekanslardaki akustik değerlerin tespiti için büyük tüpte, yüksek frekanslardaki akustik değerlerin tespiti için küçük tüpte test edilmiştir. Büyük tüp için daire şeklinde kesilmiş numune çapı $59,95 \pm 0,05$ mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Küçük tüp için daire şeklinde kesilmiş numune çapı $29,95 \pm 0,05$ mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Test hassasiyetine bağlı olarak oluşabilecek hataları egale etmek adına, her numuneden 3 adet büyük tüp ve 3 adet küçük tüp için numune parçası hazırlanmıştır.

4.3. Test Numunelerinin Özellikleri

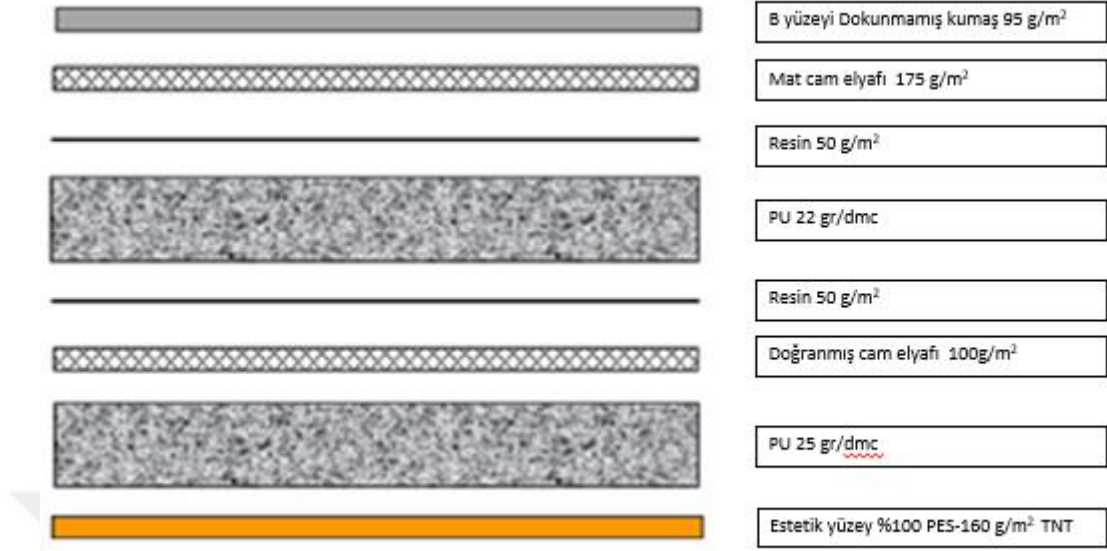
Malzemesi ve kalınlıkları farklı 3 numune seçilmiştir. Bu numunelerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Numune 1; 7 mm kalınlığındadır. Katmanları şekil 4.2’de gösterilmiştir.



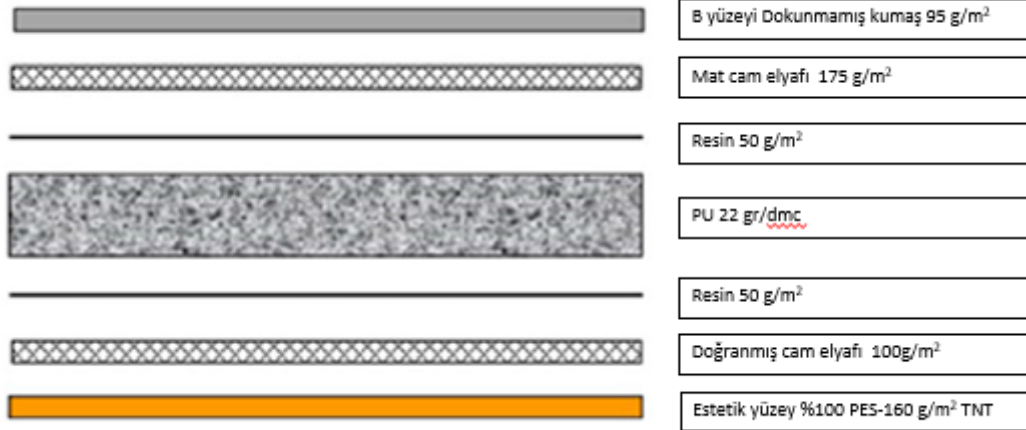
Şekil 4.2. Numune 1'in katmanları

Numune 2; 10 mm kalınlığındadır. Katmanları Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Numune 2'in katmanları

Numune 3; 11.5 mm kalınlığındadır. Katmanları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Numune 3'in katmanları

4.3. Test Numunelerinin Görselleri

Numune 1; test için hazırlanmış görseli şekil 4.5'teki gibidir.



Şekil 4.5. Numune 1'in teste giren görseli

Numune 2; test için hazırlanmış görseli şekil 4.6'daki gibidir.



Şekil 4.6. Numune 2'nin teste giren görseli

Numune 3; test için hazırlanmış görseli şekil 4.7’deki gibidir.



Şekil 4.7. Numune 3’ün teste giren görseli

4.4. Test Sonuçları

Bu bölümde empedans tüpü sonuçlarını göreceğiz.

Numune 1 için empedans tüpü sonuçlarını çizelge 4.1’de görebiliriz.

Çizelge 4.1. Numune 1’in empedans tüpü sonuçları

Numune 1	
Ses Şiddeti (Hz)	Ses Yutum Katsayısı
200,00	0,14
250,00	0,04
315,00	0,03
400,00	0,04
500,00	0,05
630,00	0,06
800,00	0,10
1000,00	0,14
1250,00	0,19
1600,00	0,28
2000,00	0,40
2500,00	0,52
3150,00	0,69

Numune 2 için empedans tüpü sonuçlarını çizelge 4.2’de görebiliriz.

Çizelge 4.2. Numune 2’nin empedans tüpü sonuçları

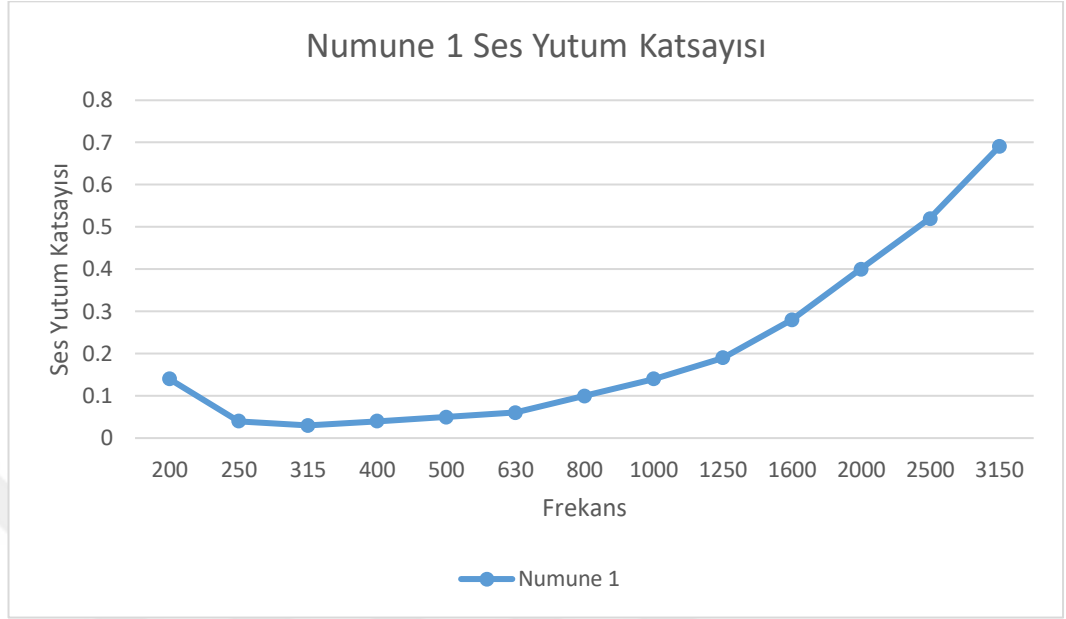
Numune 2	
Ses Şiddeti (Hz)	Ses Yutum Katsayısı
200,00	0,11
250,00	0,05
315,00	0,05
400,00	0,07
500,00	0,09
630,00	0,12
800,00	0,17
1000,00	0,24
1250,00	0,33
1600,00	0,47
2000,00	0,61
2500,00	0,76
3150,00	0,81

Numune 3 için empedans tüpü sonuçlarını çizelge 4.3'te görebiliriz.

Çizelge 4.3. Numune 3'ün empedans tüpü sonuçları

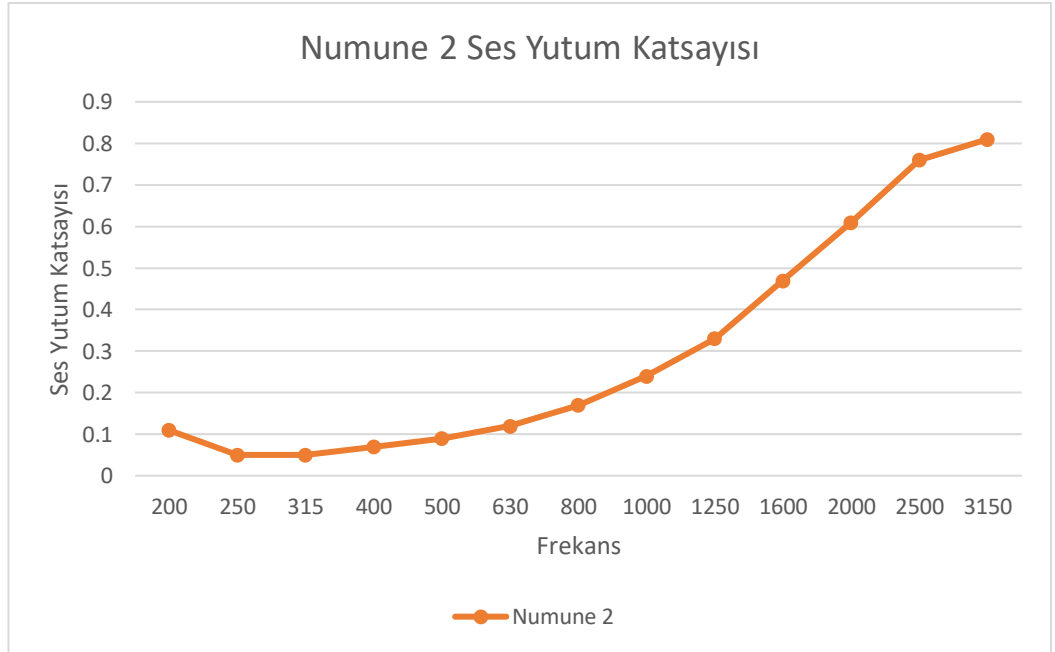
Numune 3	
Ses Şiddeti (Hz)	Ses Yutum Katsayısı
200,00	0,18
250,00	0,07
315,00	0,06
400,00	0,09
500,00	0,12
630,00	0,15
800,00	0,20
1000,00	0,28
1250,00	0,36
1600,00	0,45
2000,00	0,59
2500,00	0,74
3150,00	0,83

Numune 1'in ses yutum katsayısı grafiği şekil 4.8'de gösterilmiştir.



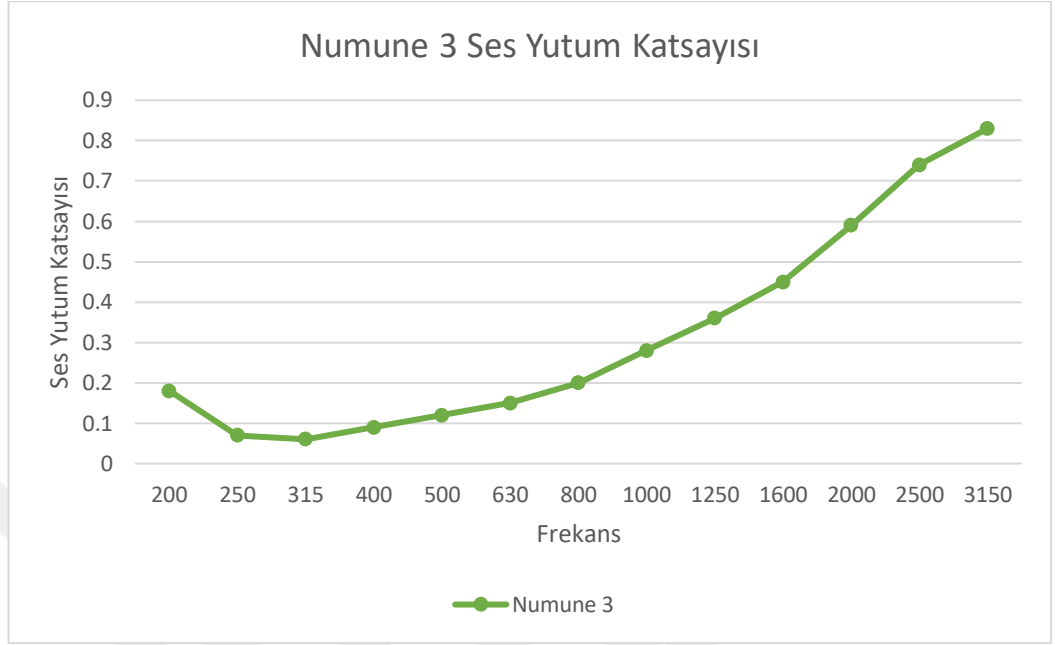
şekil 4.8. Numune 1'in ses yutum katsayısı lmleri

Numune 2'nin ses yutum katsayısı grafiği şekil 4.9'da gösterilmiştir.



şekil 4.9. Numune 2'nin ses yutum katsayısı lmleri

Numune 3'ün ses yutum katsayısı grafiği şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Numune 3'ün ses yutum katsayısı ölçümleri

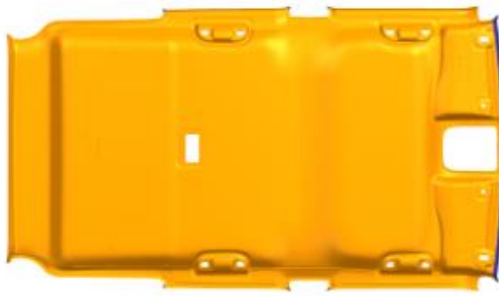
4.5. Tavan Döşemesi Tasarımı

Tasarım normlarına uygun, regülasyon şartlarını sağlayan bir tavan döşemesi, NX Unigraphics programında çizilmiştir. Şekil 4.11'de üç boyutlu tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Tavan döşemesinin üç boyutlu tasarımı

Şekil 4.12’de tavan döşemesi alt tabak ve kaplama bölümleri gösterilmiştir.



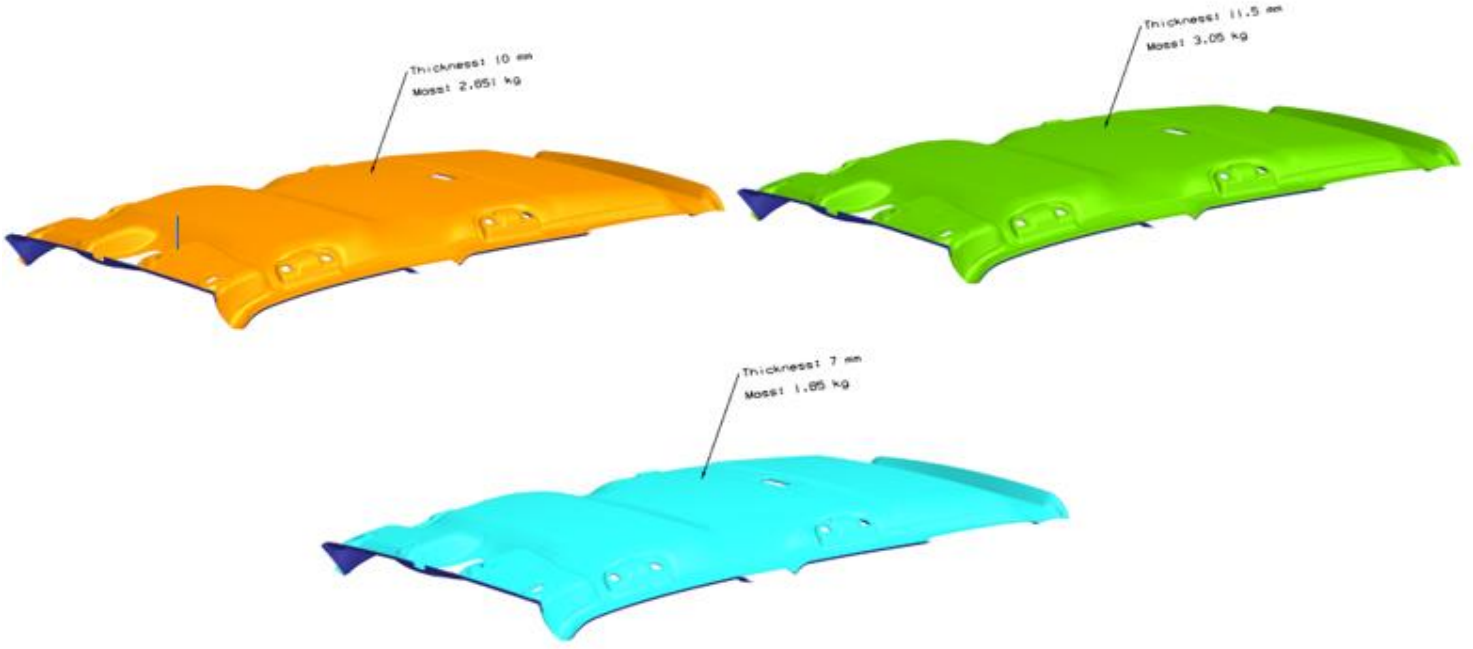
ALT TABAKA



KAPLAMA

Şekil 4.12. Tavan döşemesi tasarımının bölümleri

Şekil 4.13’te kalınlıkları ve malzemeleri tanımlanmış üç boyutlu tasarımın ağırlıkları gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Tasarımların ağırlık ölçümleri

Kalınlıkların ve ağırlıkların karşılaştırması çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

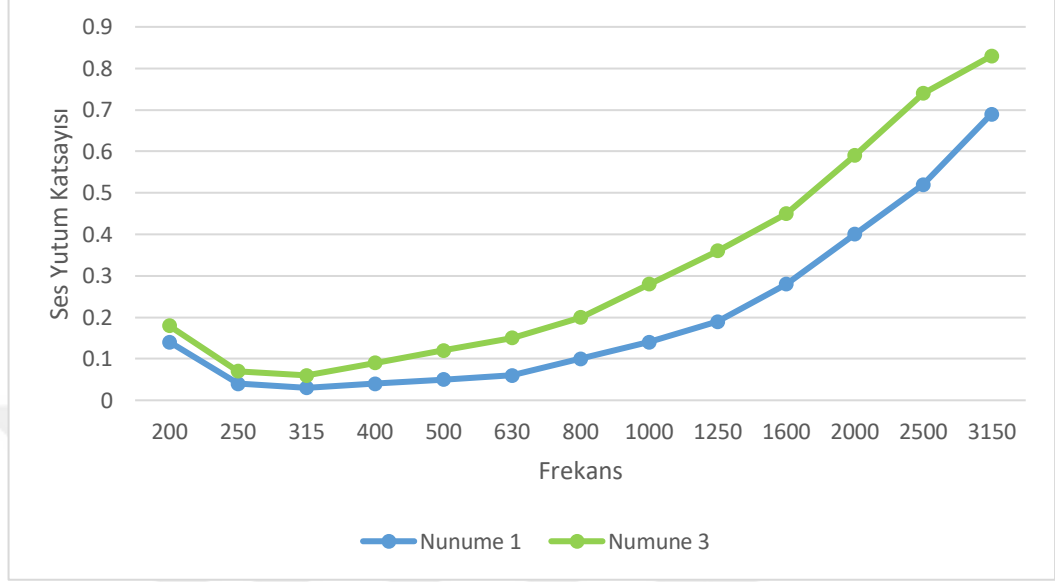
Çizelge 4.4. Tasarımların kalınlık ve ağırlık karşılaştırması

	Kalınlık (mm)	Ağırlık (Kg)
Numune 1	7	1.85
Numune 2	10	2.651
Numune 3	11.5	3.05

4.6. Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

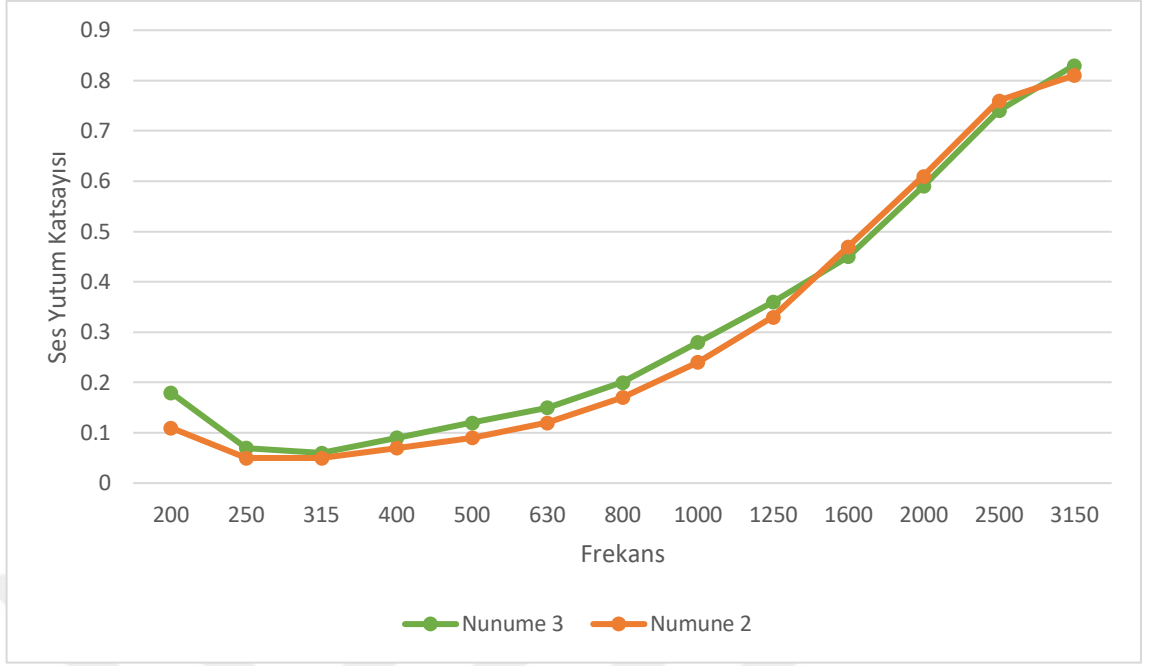
Çalışmanın birinci kısmında aynı malzemeden üretilmiş, farklı kalınlıklara sahip 2 numune incelenmiştir. Kalınlığın ses sönümleme üzerindeki etkinliği gözler önüne serilmiştir. Numune 1, 7 mm kalınlığındadır. Numune 3 ise 11.5 mm kalınlığındadır. Bu kalınlık artışı parça ağırlığını 1.2 kg artırarak araç ağırlığına olumsuz etkide bulunmuştur.

Çalışmanın ikinci kısmında kalınlık optimizasyonu yapılarak parça kalınlığını düşürmek ve ağırlığı hafifletmek hedeflenmiştir. Test sonuçları şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Numune 1 ve 3'ün ses yutum katsayısının karşılaştırması

Çalışmanın ikinci kısmında ise her iki numunenin de kalınlıkları artırıldı. Numune 2'de, numune 1'e göre 3mm'lik ara katman malzemesi PU sünger kullanarak 10 mm kalınlık elde edildi. Numune 3'te ise, numune 1'e göre malzeme özelliklerini aynı tutarak kalınlık 4.5 mm artırıldı ve toplam kalınlık 11.5 mm oldu. Test sonuçları şekil 4.15'te gösterilmiştir. Sonuçlara baktığımızda iki numune de benzer sonuçlar gösterdi. Çalışma sonucunda ara katman malzemesi eklenmesi, parça kalınlığını 1.5 mm, ağırlığını da 0,4 kg azaltmamızı sağladı. Böylece araç içindeki akustiği koruyarak parça kalınlığının ve ağırlığının düşürmek mümkün olmuştur.



Şekil 4.15. Numune 2 ve 3'ün ses yutum katsayısının karşılaştırması

5. SONUÇ

Bu çalışmada araçlarda kullanılan tavan döşemesinin akustik davranışı incelenmiştir. Tavan döşemesi üretim yöntemleri, kullanılan malzemeler, parça kalınlığının önemi, tavan döşemesinin akustiğe katkısı, akustiği etkileyen parametreler, ürün geliştirme sırasında kullanılan test yöntemlerinin incelenmesi yapılmıştır.

Çalışma kapsamında açıklanan akustik parametre ölçüm yöntemleri büyük otomotiv üreticileri tarafından akustik malzemelerin test edilmesinde sürekli kullanılan yöntemlerdir. Özellikle empedans tüpü ölçümleri hem ölçüm proses süresinin kısa olması hem de numunelerin kolay hazırlanmasından dolayı diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Hafif ağırlık, son zamanlarda otomotiv endüstrisinde en çok tartışılan terimlerden biri haline geldi. OEM'ler, otomobilin toplam ağırlığını azaltmak için her ayrıntıyı incelerken, aynı zamanda müşterinin iç konfor ve dış tasarım taleplerini de karşılamaktadır. Tavan döşemesi, farklı işlevler için bütünleştirilmiş birden çok alt sistemden oluşan, aynı zamanda genel boyutu, performans gereksinimleri nedeniyle toplam araç ağırlığının artışına katkıda bulunan önemli bir araç sistemidir. Gelişen teknolojinin araç ağırlıklarını azaltmayı birinci hedef alarak devam ettiğini varsayarsak, bu çalışma tavan döşemelerinin kalınlık optimizasyonu alanına ışık tutacaktır.

Bu tez sonucunda tavan döşemelerinin akustik performanslarının kalınlık, yoğunluk, hava akış geçirgenliği gibi birçok özelliğine bağlı olarak değişmekte olduğu hem teorik hem de deneysel çalışma sonucunda görülmüştür. Son olarak ise tavan döşemesinde kalınlık artışına bağlı, parça ağırlığındaki artış, tavan döşemesinin akustik performansı ile karşılaştırılarak kalınlık optimizasyonu yapılmasının önemini vurgulamıştır. Çalışmanın deneysel kısmında empedans tüpü test metodu kullanılarak akustik performansa etki eden özelliklerden kalınlık ve malzeme katmanlarının akustik parametrelere olan etkisi incelenmiş ve bu kapsamda incelenmek üzere üç farklı kalınlıktaki tavan döşemesi tabakası seçilmiştir. Sonuç olarak malzemelerin kalınlıkları arttıkça özellikle düşük frekans bandında (0-400 Hz) malzemelerin ses sönüm kabiliyetlerinin benzer özellikler taşıdığı ve yüksek frekans aralıklarında (800-4000 Hz) ise gözle görülür oranda arttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Aggarwal, A., Khan, H., & Crepeau, H. (1998). New Headliner Composites with Improved Acoustical Performance. *International Congress & Exposition*. Detroit, Michigan: SAE International.
- Chen, G. S. (2012). *Vehicle Noise, Vibration, and Sound Quality*. Warrendale, Pennsylvania: SAE International.
- Duval, A., Dejaeger, L., Bischoff, L., & Morgenstern, C. (2012). Trim FEM Simulation of a Headliner Cut Out Module with Structureborne and Airborne Excitations. *7th International Styrian Noise, Vibration & Harshness Congress: The European Automotive Noise Conference*. United States: SAE International .
- Haque, E., Kamarajan, J., & Yang, G. (2000). Development and Characterization of New Headliner Material to Meet FMVSS 201. *SAE Transactions* , 2000, Vol. 109, Section 5: *JOURNAL OF MATERIALS & MANUFACTURING*, 210-218.
- Mohamed, Z., & Egab, L. (2020). Chapter 11 - Tire cavity noise mitigation using acoustic absorbent materials. X. Wang içinde, *Automotive Tire Noise and Vibrations* (s. 245-270). Xu Wang.
- Shedlowsky, J. P. (1991). Headliner Systems — Functional Design Parameters for Vehicle Performance. *SAE Transactions* , 1991, Vol. 100, Section 5: *JOURNAL OF MATERIALS &*, 768-776.
- Silva, C. A., Calçada, M., & Massarelli, L. C. (2014). Vehicle Interior Noise Reduction Using Innovative Roof Trim Structure. *SAE Brasil International Noise and Vibration Colloquium 2014*. United States: SAE International.
- Tao, K., Parrett, A., & Nielubowicz, D. (2015). Headliner Absorption Parameter Prediction and Modeling. *SAE 2015 Noise and Vibration Conference and Exhibition* (s. 2015-01-2303). United States: SAE International.
- Wentzel, R. E., & Green, E. R. (1997). Assessing Headliner and Roof Assembly Acoustics. *SAE Transactions*, Vol. 106, Section 6: *JOURNAL OF PASSENGER CARS: Part 2*, 2730-2741.