

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO BAĞLAYICILI LEVHA ÜRÜNLERİN SES GEÇİŞ KAYBI
ÖZELLİKLERİNİN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru KAYA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEMMUZ 2019

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO BAĞLAYICILI LEVHA ÜRÜNLERİN SES GEÇİŞ KAYBI
ÖZELLİKLERİNİN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru KAYA

(170227004)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

TEMMUZ 2019

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsünün 170227004 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ebru KAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇİMENTO BAĞLAYICILI LEVHA ÜRÜNLERİN SES GEÇİŞ KAYBI ÖZELLİKLERİNİN İRDELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alper ÇANKAYA

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA

Dokuz Eylül Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30.08.2019

Savunma Tarihi : 30.07.2019

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve bu tezin planlanmasından yazım aşamasına kadar fikir ve görüşleriyle beni destekleyen, sabrını ve bilgisini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ'e ve hayatımın her anında maddi ve manevi varlıklarını hep hissettiğim babam İsmet KAYA, annem Saadet KAYA ve hem kardeşim hem de meslektaşım olan kardeşim Ergün KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla.

Temmuz 2019

Ebru KAYA

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖNSÖZ | vii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| KISALTMALAR | xi |
| TABLO LİSTESİ | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ | xv |
| ÖZET | xix |
| ABSTRACT | xxi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 3 |
| 2.1 Ses ile İlgili Genel Bilgiler | 3 |
| 2.2 Gürültü Panelleri | 10 |
| 2.3 Simülasyon | 23 |
| 3. MATERYAL VE METOT | 27 |
| 3.1 Materyal | 27 |
| 3.1.1 Lifli çimento levhalar | 27 |
| 3.1.2 Çimentolu yonga levhalar | 28 |
| 3.1.3 Çimento bağlayıcılı kompozit harç levhalar | 30 |
| 3.2 Metot | 34 |
| 3.2.1 Yapı elemanlarında ses geçiş kaybı ölçümü ve değerlendirilmesi | 34 |
| 3.2.2 Gürültü bariyeri simülasyon program modülü | 40 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI | 45 |
| 4.1 Plakaların Ses Geçiş Kaybı Özelliklerinin İrdelenmesi | 45 |
| 4.2 Ses Bariyeri Olarak Kullanılacak Malzemenin İrdelenmesi | 61 |
| 4.3 Simülatif Verilerin İrdelenmesi | 72 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 84 |
| KAYNAKLAR | 87 |
| ÖZGEÇMİŞ | 92 |

KISALTMALAR

| | |
|----------------------------|---------------------------------|
| TL | : İletim Kaybı |
| IL | : Ekleme Kaybı |
| STC | : Ses İletim Sınıfı |
| NRC | : Ses Azaltım Katsayısı |
| N | : Freshnel Sayısı |
| α | : Ses Yutuculuk Katsayısı |
| Rw | : Ağırlıklı Ses Azaltma İndeksi |
| f | : Frekans |

TABLO LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Tablo 2.1 : Hava alanı çevresel gürültü sınır değerleri [40]..... | 16 |
| Tablo 2.2 : Kara yolu çevresel gürültü sınır değerleri [40]..... | 21 |
| Tablo 3.1 : Çimento bağlayıcı panellerin ebat ve alansal yoğunlukları..... | 30 |
| Tablo 3.2 : Kompozit plakaların ebat ve alansal yoğunlukları. | 31 |
| Tablo 3.3 : Excel tabanlı simülasyon programı temel hesaplama aşamaları | 44 |
| Tablo 4.1 : Çimento bağlayıcı plakaların yoğunluk ve ses geçiş kaybı özellikleri. | 60 |
| Tablo 4.2 : Kompozit formda gürültü bariyeri test modellerinin kesit bileşenleri, dizilimi ve özellikleri. | 62 |
| Tablo 4.3 : Kompozit Modellerin yoğunlukları ve düşük, orta ve yüksek frekans aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri. | 71 |
| Tablo 4.4 : Analizlerde kullanılan simülasyon girdi verileri. | 73 |
| Tablo 4.5 : Gürültü bariyeri test modelinin kesit bileşenler ve dizilimi. | 74 |
| Tablo 4.6 : Kaynak gürültü seviyesi ile bariyer yüksekliği arasındaki etki analizi. . | 78 |
| Tablo 4.7 : Bariyer ile alıcı ortam arasındaki mesafe değişiminin etki analizi. | 82 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 2.1 : Sesin frekans ve genlikleri [5]. | 4 |
| Şekil 2.2 : Ses seviyelerinin dB olarak karşılıkları [9]. | 5 |
| Şekil 2.3 : Sesin yayılması [10]. | 6 |
| Şekil 2.4 : Sesin bariyerden geçiş şekilleri. | 9 |
| Şekil 2.5 : Yapı Malzemeleri için Gürültü Azaltma Katsayıları (NRC) [38]. | 14 |
| Şekil 2.6 : Hava alanı gürültü bariyeri [41]. | 17 |
| Şekil 2.7 : Gatwick Havalimanı gürültü bariyeri, İngiltere [42]. | 17 |
| Şekil 2.8 : Metro istasyonunda gürültü bariyeri, Delhi- Hindistan [45]. | 19 |
| Şekil 2.9 : İzban istasyonunda gürültü bariyeri, İzmir- Karşıyaka [46]. | 20 |
| Şekil 2.10 : Gürültü bariyeri, Virginia- USA [47]. | 21 |
| Şekil 2.11 : Gürültü bariyeri, Freeway Brennero A22 – İtalya [48]. | 22 |
| Şekil 2.12 : Gürültü bariyeri, Rijeka- Hırvatistan [49]. | 22 |
| Şekil 2.13 : Gürültü bariyeri, Brunico BZ – İtalya [48]. | 23 |
| Şekil 3.1 : Lif katkılı çimentolu levha örneği [62]. | 28 |
| Şekil 3.2 : Çimentolu yonga levha örneği [63]. | 29 |
| Şekil 3.3 : Yekpare harç katmanlı plaka örneği. | 32 |
| Şekil 3.4 : İki harç arasına suni kauçuk plaka yerleştirilmesiyle oluşan kompozit plaka örneği. | 32 |
| Şekil 3.5 : Bir yüzeyi delikli suni kauçuk plaka ile kaplanmış kompozit plaka örneği. | 33 |
| Şekil 3.6 : Geotekstil keçe örneği [68]. | 34 |
| Şekil 3.7 : Tek Odalı ve Bir Yüzü Açık Ses Ölçümü Yöntemi'nin uygulandığı laboratuvar boyutlu bir test düzeneğinin sembolik gösterimi. | 35 |
| Şekil 3.8 : Tekil Plakaların Ses Geçiş Kaybı Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. | 35 |
| Şekil 3.9 : 1/3 oktav bantlarda hava ile yayılan sesin referans değerlerine ait eğri [70]. | 37 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.10 : Gürültü bariyeri ölçüm sistemi simgesi sembolik görünümü. | 39 |
| Şekil 3.11 : Simülasyon modülü yazılımının akış şeması. | 41 |
| Şekil 3.12 : Fresnel sayısının hesaplanmasındaki değişken parametreler. | 42 |
| Şekil 4.1 : PLK1 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 46 |
| Şekil 4.2 : PLK2 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 47 |
| Şekil 4.3 : PLK3 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 48 |
| Şekil 4.4 : PLK4 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 49 |
| Şekil 4.5 : PLK5 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 50 |
| Şekil 4.6 : PLK6 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 51 |
| Şekil 4.7 : PLK7 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 52 |
| Şekil 4.8 : PLK8 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 53 |
| Şekil 4.9 : PLK9 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. | 54 |
| Şekil 4.10 : PLK10 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. ... | 55 |
| Şekil 4.11 : PLK11 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. ... | 56 |
| Şekil 4.12 : PLK12 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. ... | 57 |
| Şekil 4.13 : PLK13 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. ... | 58 |
| Şekil 4.14 : PLK14 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi. ... | 59 |
| Şekil 4.15 : Kompozit Model 1- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı..... | 63 |
| Şekil 4.16 : Kompozit Model 2- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı..... | 64 |
| Şekil 4.17 : Kompozit Model 3- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı..... | 65 |
| Şekil 4.18 : Kompozit Model 4- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı..... | 66 |
| Şekil 4.19 : Kompozit Model 5- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı..... | 67 |
| Şekil 4.20 : Kompozit Model 6- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı..... | 68 |
| Şekil 4.21 : Kompozit Model 7- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı..... | 69 |
| Şekil 4.22 : Kompozit Model 8- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı..... | 70 |
| Şekil 4.23 : Gürültü bariyeri modelinin ses seviyesi azaltım değerleri ve grafiksel analizi. | 74 |
| Şekil 4.24 : Deneysel bulgular ile simülasyon modülü bulgularının karşılaştırması. | 75 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.25 : Birinci irdemeye ait EXCEL modülünün hesaplama statığının sembolik görünümü..... | 76 |
| Şekil 4.26 : Simülasyon irdemelerinde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi..... | 77 |
| Şekil 4.27 : Kaynak gürültü seviyesi ile bariyer yüksekliği arasındaki etkileşimin grafiksel analizi. | 79 |
| Şekil 4.28 : İkinci irdemeye ait EXCEL modülünün hesaplama statığının sembolik görünümü. | 80 |
| Şekil 4.29 : Analiz ve irdemelerde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi. | 81 |
| Şekil 4.30 : Bariyer-Alıcı arası mesafe – Alıcıda algılanan ses seviyesi ilişkisi analizi. | 82 |
| Şekil 4.31 : Üçüncü irdemeye ait EXCEL modülünün hesaplama statığının sembolik görünümü..... | 83 |

ÇİMENTO BAĞLAYICILI LEVHA ÜRÜNLERİN SES GEÇİŞ KAYBI ÖZELLİKLERİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Günümüzde, yaşadığımız çevrenin kalitesini ve insan sağlığını olumsuz bir şekilde etkileyen en önemli faktörlerden birisi gürültüdür. Özellikle büyük şehirlerde ulaşım, endüstriyel üretim ve teknoloji gibi günlük faaliyetler nedeniyle gürültü kalıcı bir durum haline gelmiştir. Diğer kirlilik türlerinin aksine, gürültü kirliliği çevrede birikmez. Sadece yoğun basınç dalgaları insan kulağına ulaştığında ve ses titreşimlerinden dolayı vücut kaslarını etkilediğinde ortaya çıkar. Gürültü diye adlandırılan bu istenmeyen ve rahatsız edici sesler, işitme kaybı, uyku bozukluğu, kardiyovasküler hastalıklar, azalan üretkenlik, olumsuz sosyal davranışlar ve dikkat bozukluğu gibi çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı gürültünün kontrolü üzerinde çalışmaktadır.

Gürültü kirliliği tüm dünyada mevzuat kapsamına alınmış ve çeşitli ülkelerde ciddi denetimler getirilmiştir. Ancak bu çabalara karşın, gelişmiş ülkelerde bile gürültü sorunlarının tam olarak çözülemediği, gürültü kaynaklarının giderek daha geniş alanlara yayıldığı, gürültü düzeylerinin ve olumsuz etkilenmenin giderek arttığı görülmektedir. Ülkemizde, yakın zamanda yürürlüğe giren “Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği” ile, gürültü denetimi konularına ilişkin uygulamaların, yönetmeliğin getireceği yaptırımlar nedeniyle artacağı açıktır.

Bina akustik yalıtımında özellikle yapının dış kabuğunda kullanılacak elemanların ses yalıtımına etkileri malzemenin ses karakteristiğiyle doğrudan ilişkili olduğundan ses yutuculuk özellikleri önemlidir. Bu tez çalışması kapsamında çimento bağlayıcılı lif katkılı levha örneklerinin tekil eleman olarak deneysel analizlerle ses geçiş kaybı karakteristikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara dayalı olarak hazırlanan ve test edilen örneklerin ses geçiş kaybı karakteristiği ile kullanım yeri ortamında ses izolasyonu açısından uygunluğu karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte bu levha örnekleri karayolları için farklı tasarımlarla modellenmiş gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılıp kullanılamayacağı analiz edilmiş olup, tasarımlar arası gürültü bariyer performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen teknik bulgular, ayrıca farklı tasarım koşulları için simülasyonların uygulanabildiği EXCEL tabanlı bir simülasyon modülünde irdelenerek, alternatif uygulama koşullarına uyumluluk durumu analiz edilmiştir. Bu yazılım detaylandırılmış, elde edilen çimentolu levha bulgularının gürültü bariyeri olarak kullanılabilirliği üzerine irdemeler yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda imento bağlayıcı lif katkılı levhaların gürültü bariyeri uygulamasında genellikle orta ve yüksek frekans bölgelerinde daha etkin bir performans gösterdiği, düşük frekans bölgelerinde ise nispeten daha düşük performans gösterdiği görülmüştür. Düşük performans gösterilen bu bölgelerde performansı arttırmak için ses emici özelliğe sahip sentetik esaslı ses absorbanları kullanılarak düşük performansları önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Ayrıca imento esaslı levhaların yüzey yoğunluğu, bariyer uygulamalarında gürültü azaltım performansını etkileyen önemli parametrelerden biri olduğu belirlenmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları ve EXCEL modülü hesaplamalarına göre bariyer tasarımlarında her iki dış yüzeylerde yüzey yoğunluğu yüksek olan imento esaslı levha ürünlerinin kullanıldığı, arada hava boşluğu bulunan, yalıtım keçesi ve sentetik esaslı ses absorbanı uygulamasının birlikte yapıldığı kompozit model tasarımları ideal gürültü bariyeri tasarımı olarak önerilmiştir. Bir diğer önemli sonuç ise tarafımızca hazırlanan ve geliştirilen EXCEL tabanlı simülasyon modülünün hesaplamalarına bugüne kadar göz ardı edilip, hesaplamalara dahil edilmeyen gürültü bariyeri tasarımlarında kullanılan malzemelerin sesi azaltma etkisi de dahil edilerek yapılan deneysel çalışmalarla birebir örtüşen, daha gerçeğe yakın sonuçların elde edildiği bir simülasyon modülü geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması ile imento esaslı lif katkılı levhaların daha rasyonel bir gürültü bariyer malzemesi seçeneği olarak sektöre yenilikçi bir endüstriyel ürün olarak kazandırılması hedeflenmiştir.

EVALUATION OF SOUND TRANSMISSION LOSS PROPERTIES OF CEMENT BOUNDED BOARDS

ABSTRACT

Nowadays, noise is one of the most important factors that negatively affect the quality of the environment and human health. Noise becomes a permanent situation, especially in big cities due to daily activities such as transportation, industrial production and technology. Unlike other types of pollution, noise pollution does not accumulate in the environment. It only occurs when intense pressure waves reach the human ear and affect body muscles due to sound vibrations. These unwanted and disturbing sounds, called noise, lead to various health problems such as hearing loss, sleep disturbance, cardiovascular diseases, decreased productivity, negative social behaviors, and attention disorders. Research shows that people want to live in quiet, peaceful and comfortable environments. Therefore, many researchers are working on the control of noise.

In building acoustic insulation, sound absorption properties are important, especially since the effects of the elements to be used in the outer shell of the structure on the sound insulation are directly related to the sound characteristic of the material. In this study, the characteristics of cement bonded board samples with sound analysis of the loss of sound penetration characteristics were investigated. The sound transmission loss characteristics of the samples prepared and tested based on the findings obtained were compared with the sound insulation in the usage environment. However, it has been analyzed whether these test samples can be used in noise barrier applications modeled with different designs for highways and noise barrier performances between designs are compared. The technical findings obtained were analyzed in an EXCEL based program where simulations for different design conditions could be applied and the compatibility conditions with the alternative application conditions were analyzed. This software has been elaborated and studies have been made on the use of cement bonded board's findings as a noise barrier. In this study, it is aimed to gain a more rational noise barrier material as an innovative industrial product in the sector.

As a result of the experimental studies, it has been observed that cement-bonded boards generally perform more effectively in medium and high frequency regions in the noise barrier application and relatively low performance in low frequency regions. To improve performance in these low-performance areas, their low performance has been significantly improved by using synthetic-based sound absorbents with sound-absorbing properties. In addition, it was determined that the surface density of cement bonded board is one of the important parameters affecting noise reduction performance in barrier applications. According to the results of the experiments and EXCEL module calculations, composite model designs which use cement-based plate products with high surface density on both outer surfaces, with an air gap between them and application of insulation felt and synthetic-based sound absorbant is proposed as ideal noise barrier design. Another important result has been ignored in the calculations of the EXCEL based simulation module prepared by us and developed to a more realistic simulation module that overlaps the experimental studies by including the noise reduction effect of the materials used in the noise barrier designs not included in the calculations.

With this thesis, it is aimed to introduce cement bounded boards as an innovative industrial product to the sector as a more rational noise barrier material option.

1. GİRİŞ

Günümüzde gürültü, dünyada ve ülkemizde kentleşmenin, ulaştırmanın ve sanayinin gelişmesi sonucu ortaya çıkan bir çevre kirliliği problemi olarak kabul edilmektedir. Gürültü kirliliği ise tüm canlılarda ciddi rahatsızlığa neden olan istenmeyen ses seviyeleri olarak tanımlandığı genel olarak bilinen bir durumdur. Bir çeşit çevresel kirlilik olan gürültü kirliliği insan sağlığı ve refahı için de bir tehlikedir. İşitme kaybı, uyku bozukluğu, olumsuz sosyal davranışlar ve dolaylı da olsa kazalar gürültünün neden olduğu önemli halk sağlığı sorunlarından sadece birkaçı olarak nitelendirilebilmektedir. Bununla birlikte, şehir nüfusu bu tür kirlilikten çok daha fazla etkilense de yan yollar veya endüstriler boyunca uzanan küçük kasaba ve köyler de bu sorunun mağdurlarındandır.

Karayolu ve otoyol trafik gürültüsü dünya çapında en çok şikâyet alan gürültü kirliliği sorunlarından biridir. Gürültü kirliliği gittikçe daha fazla kronik hale gelmektedir. Bu nedenle birçok araştırmacı gürültü kirliliğinin insanlar üzerindeki etkisini incelemekte ve gürültünün kontrolü üzerinde çalışmaktadır. Yapılan tüm bu çalışmaların ortak noktası, düşük gürültü seviyesine ulaşmak ve gürültüyü kontrol edebilmektir. Şehir içi ulaşımın neden olduğu gürültü kirliliğini önlemek veya azaltmak için gürültü önleyici yapılar kullanılmaya başlanmıştır. Bu yapılar arasında gürültü bariyerleri aktif rol oynamaktadır. Günümüzde mevcut olarak kullanılan ve tecrübe edinilmiş farklı orijinlerdeki gürültü bariyerleri gerek görsellikleri gerekse birtakım teknik dezavantajlara sahip olabilmeleri nedeniyle alternatif malzeme arayışlarına eğilimin giderek arttığı görülmektedir. Bu bağlamda, gürültü bariyer uygulamaları için önemsenen tasarım parametreleri dikkate alındığında çimento bağlayıcılı levha ürünlerin, gürültü bariyer tasarımlarında alternatif bir malzeme türü olarak değerlendirilebileceği gündeme gelmektedir. Konu üzerinde yapılan araştırma çalışmasının bulguları, bu türev malzemelerin alternatiflerine göre daha rasyonel ve daha yüksek performanslı sonuçlar sağlayabildiği görülebilmektedir.

Tez ile ilgili çalışmanın başlangıcında öncelikle konuyla ilgili yerli ve yabancı literatür taraması yapılmıştır. Çimento esaslı levhaların ses yalıtımı olarak kullanılabilirlik kriterleri araştırılmıştır. Ses yalıtımı ile ilgili güncel yönetmelikler ve mevzuatlar incelenmiştir. Tez çalışması kapsamında deneysel çalışma sürecinde farklı kalınlık ve farklı yoğunlukta çimento esaslı levha örnekleri hazırlanmış ve bu örneklerle 1/3 oktav bant frekans değişiminde ses geçiş kaybı karakteristikleri dB biriminde deneysel olarak analiz edilmiştir. Bu analizlerde bir yüzü açık ses ölçüm modellemesi kullanılmış 63 Hz- 6300 Hz frekans (1/3 oktav bant) değişiminde her bir frekans için ses geçiş kaybı değeri ölçülmüştür. Deney verileri ile ölçüm standardının öngördüğü prensipler dâhilinde numunelerin ağırlıklı ses azaltım indeksi (Rw) değerleri hesaplanmıştır. Bu teknik bulgulardan yola çıkılarak çimento bağlayıcılı levhaların yapı sektöründe ses yalıtımına olan etkileri tartışılmıştır. Bununla birlikte bu levha örnekleri karayolları için farklı tasarımlarla modellenmiş gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılıp kullanılmayacağı analiz edilmiş, tasarımlar arası gürültü bariyer performansları karşılaştırılmıştır.

Trafik kaynaklı çevresel gürültü azaltımlarının sağlanması amacıyla farklı tasarım bileşenlerine sahip gürültü bariyerleri yaygın olarak tüm dünyada kullanılmaktadır. Çimento esaslı malzemelerin gürültü bariyer sistemlerinin tesisinde kullanımları da giderek önem kazanmaktadır. Bu tez çalışmasının son aşamasında ise çimento bağlayıcılı lif katkılı düz levhaların gürültü bariyer kesitlerinde kullanımına yönelik sürdürülmüş bir dizi deneysel analizlerin bulguları sunulmakta olup, elde edilen bulgular ışığında Excel tabanlı geliştirilen bir simülasyon modülünün farklı tasarım koşulları için uygulanabilirliği örneklerle tartışılmıştır. Bariyer kesit boyutlandırması ve uygulama ortamı koşullarının bir dizi analizi detaylı olarak sonraki bölümlerde verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Ses ile İlgili Genel Bilgiler

Sesin oluşumu için ortamda bir kaynak mevcut olmalıdır. Bir ses dalgasının kaynağı titreşen nesnedir. Ses, bu titreşimler tarafından üretilen bir enerji türüdür. Herhangi bir nesne titreştiğinde hava parçacıklarında harekete neden olur. Bu parçacıklar, onlara yakın parçacıklara çarparak titreşmelerini sağlar ve böylece daha fazla hava parçacıklarına çarpmalarını sağlar. Ses dalgaları denilen bu hareket, enerjileri tükenene kadar devam eder [1]. Kulak titreşimlerin menzili içindeyse, sesi duyar. Titreşimler ne kadar güçlü olursa, ses de o kadar yüksek olur. Sesler, ses kaynağından uzaklaştıkça sönükleşir [2].

Ses dalgası boyuna bir dalgadır. Sesin yayılması için mutlaka bir ortama ihtiyacı vardır, ses boşlukta yayılamaz. Her sesin bir frekansı, boyu, periyodu ve hızı bulunmaktadır [1].

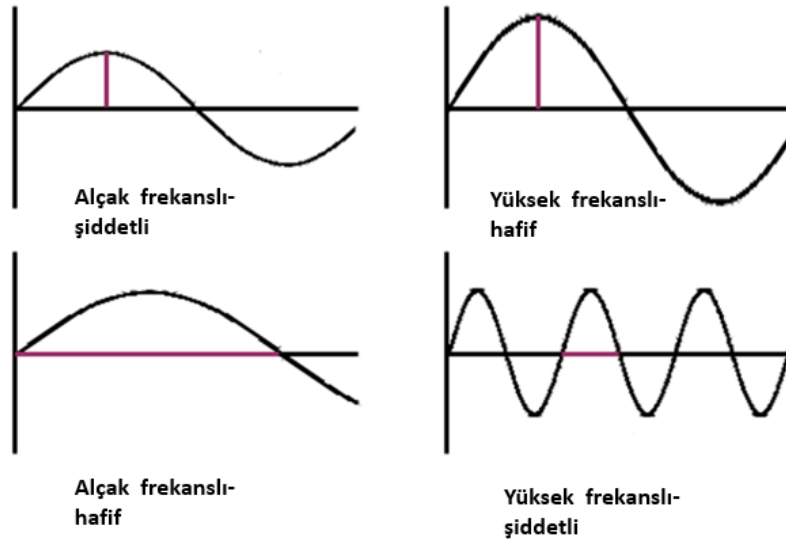
Ses Frekansı ve Genliği

Salınım yapan herhangi bir şeyin saniyedeki döngü sayısına "frekans" denir. Bir sesin frekansı da bir ses dalgasının bir saniyedeki döngü sayısıdır. Şekil 2.1'de örnek olarak gösterilen ses dalgalarının genliği arttıkça sesin enerjisi ve şiddeti artar. Genliği fazla olan ses dalgalarının oluşturduğu sese şiddetli ses denir. Hafif (zayıf) ses diye tabir edilen ses dalgalarının genliği azaldıkça sesin enerjisi ve şiddeti azalmaktadır. Ölçü birimi Hertz (Hz) dir. İnsanlar ses dalgalarını frekans yaklaşık 20 Hz ve 20 kHz arasında olduğu zaman farklı sesler olarak duyabilirler. 20 kHz'in üzerindeki ses dalgaları ultrasonik, 20 Hz'nin altındaki ses dalgaları ise infrasonik olarak adlandırılır ve bu ses dalgaları insanlar tarafından algılanamazlar [3]. Ancak çevresel faktörlerden dolayı bireyler için bu aralık değişkenlik gösterebilir. Spektrumun yüksek ucundaki frekanslar, yüksek ses seviyesine veya gürültüye uzun

süre maruz kalmanın bir sonucu olarak yaş ve / veya işitme hasarından olumsuz olarak etkilenen ilk bölgedir [4].

Yapı akustiği incelemelerinde genel olarak frekanslar düşük, orta ve yüksek frekanslar olarak ele alınır ve kabul edilen limit değerler şunlardır:

- 100- 400 Hz arası düşük frekans aralığı,
- 500- 1600 Hz arası orta frekans aralığı,
- 2000-5000 Hz arası yüksek frekans aralığıdır.



Şekil 2.1 : Sesin frekans ve genlikleri [5].

Malzemelerin ses emici özellikleri frekansa göre önemli ölçüde değişir. 500 Hz'nin altındaki düşük frekanslı seslerin emilmesi daha zor olurken, 500 Hz'nin üzerindeki yüksek frekanslı seslerin emilmesi daha kolaydır. Bir malzemenin ses emme özellikleri, 0 (toplam yansımaya) ile 1 (toplam emme) arasında değişen bir frekans fonksiyonu olarak ses emme katsayısı, alfa (α) ile ifade edilebilir. Benzer şekilde malzemelerin ses yalıtımı da frekansa göre değişir. Düşük frekanslı sesler ses yalıtıcı malzemelerden geçerken yüksek frekanslı seslerden daha az zayıflama eğilimindedir [6].

Ses yoğunluğu desibelmetre ile ölçülür ve birimi Desibel (dB) cinsindedir. Bu, 10 dB'lik bir artışın, belirgin bir gürültü katsayısı verdiği logaritmik bir skaladır [7]. İnsan kulağı, 20-140 dB arası sesleri sorunsuz duyar. Şekil 2.2'den de görüleceği

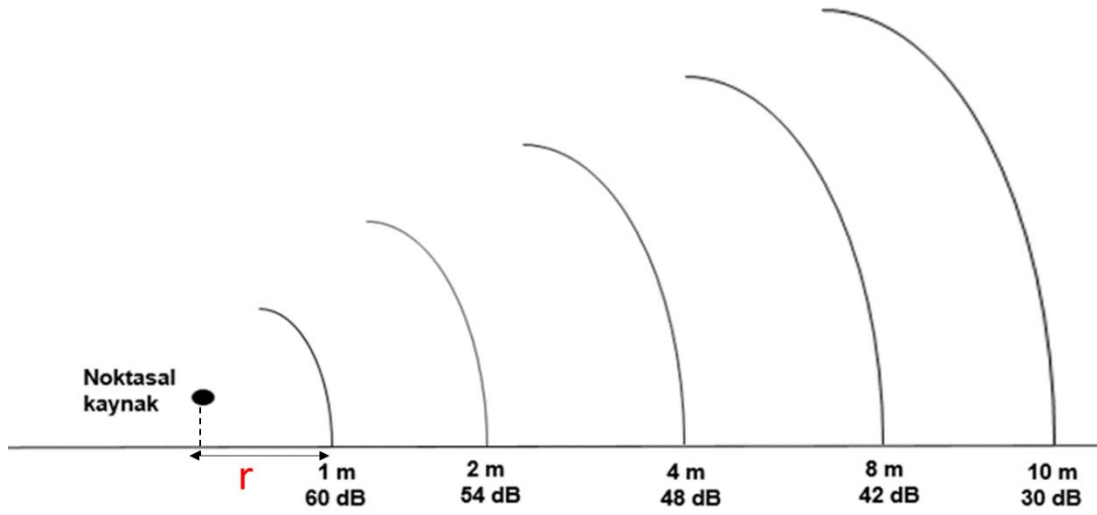
üzere 120 dB ve üzeri rahatsız edici seslerdir ve bu sesler insanın acı duymasına sebep olur (ağrı ve acı eşiği). İnsanın işitme duyusu çok yüksek ve düşük frekansların tespitinde sınırlı olduğundan, insanlar üzerindeki etkilerini daha iyi karakterize etmek için genellikle “A-ağırlıklandırma” ses seviyeleri uygulanır. A ağırlıklı ses seviyeleri dB(A) ya da dBA olarak ifade edilir [8].



Şekil 2.2 : Ses seviyelerinin dB olarak karşılıkları [9].

Sesin Yayılması

Ses boyuna bir dalga gibi hareket eder. Sesin yayılması için maddesel ortama ihtiyaç vardır. Yani boşlukta ses yayılmaz. Ses kaynağından çıkan ses, maddenin taneciklerini titreştirir ve her hareketinde bir miktar kinetik enerji kaybederek yayılır [2]. Sesi yansıtacak hiçbir engelin bulunmadığı ve sesin düzgün olarak yayılabildiği alanlara serbest alan adı verilir. Serbest alanda yayılan ses dalgaları düzgündür. Şekil 2.3'te gösterildiği üzere ses kaynağından “r” mesafesi kadar uzakta olan bir noktadaki ses şiddeti r mesafesi ile ters orantılıdır. Örneğin; kaynağa olan uzaklık her 2 katına çıktığında ses düzeyinde azalma 6 dB, her 10 katına çıktığında ise 20 dB'dir [10].



Şekil 2.3 : Sesin yayılması [10].

Sesin Yansıması

Bir ses dalgasının yansıması, iki farklı ortam arasındaki bir dalga cephesinin yönündeki değişimdir, böylece dalga cephesi kaynaklandığı ortama geri döner. Bir ortamda dolaşan ses dalgası iki ortamı ayıran yüzeye çarptığında,

1. Gelen ses dalgasının bir kısmı, geri kalanı kısmen absorbe edilir ve kısmen kırılır veya ikinci ortama aktarılırken sıradan yansıma yasalarına uyarak ilk ortama geri yansıtılır.
2. Bir boyuna ses dalgası düz bir yüzeye çarptığında, ses yansıtıcı yüzeyin boyutunun sesin dalga boyuna göre büyük olması şartıyla tutarlı bir şekilde yansıtılır [11].

Ses dalgasının geliş açısına bağlı olarak, sesin yansıması 4'e ayrılarak incelenebilir;

- Düzgün yansıma
- Dağınık yansıma
- Dışbükey yansıma
- İçbükey yansıma

Sesin yansması, *yayıma yasası* olarak da adlandırılan geliş açısının yansıma açısına eşit olduğu yasanın benzeridir. Gelen, yansıyan ve normal dalğanın hepsi aynı düzlemde uzanır. Uzunlamasına bir ses dalgası düz bir yüzeye çarptığında, ses yansıtıcı yüzeyin boyutunun sesin dalga boyuna göre büyük olması şartıyla tutarlı bir şekilde yansıtılır [12]. Havadan yayılan gürültü, müzik veya konuşma gibi hava yoluyla iletilen herhangi bir ses olarak tanımlanır. Ses dalgaları, duvar gibi katı bir şeye çarpıncaya kadar hava tarafından alınır ve taşınır. Engele çarptığında ise sesin bir kısmı yansır, bir kısmı yutulur, kalanı ise arka yüzeye geçer [13]. Duvarın bir yüzünden diğerine geçen sesin indirgeme değeri (Rw) olarak tanımlanır. Çarpışma duvardan ve onun dışındaki boşluğa titreşimler gönderir. Oluşturulan ses dalgaları, bir sonraki duvara ulaşıncaya ve içinden titreylene kadar hava ile taşınır [14]. Örneğin, oturlan bir binadaki yapılan eğlence partisinden ya da sokaktaki bir düğünden etrafa yayılan müzik, evde yüksek sesle yankılanıyormuş gibi hissedilir. Bunun sebebi pencerelerden ve kapılardan sızan hava ile taşınmış gürültülerdir.

Sesin Kırınması

Bir ses dalgasının açısındaki veya yönündeki değişime kırılma denir. Sesin kırınımı, ses dalgalarının karşılaştığı bazı engelleri dolanarak geçmesi anlamında kullanılmaktadır. Bir ses dalgasının, böyle bir engeli aşarken, önceki doğrultusundan ayrılma açısı (kırınma açısı), frekansına göre değişir. Alçak frekanslı sesler, deliklerden, aralıklardan, kenarlardan doğrultu değiştirerek geçer ve yayılır. Yüksek frekanslı seslerde bu açı, dikkate alınması gerekmeyecek derecede küçüktür, yani belirgin bir kırınma olmaz [15].

Sesin Emilmesi

Bir ses dalgası belirli bir yüzeye çarptığında, onu harekete geçiren kinetik enerji, ses dalgasından yayılan ve sesi daha hızlı dağıtan az miktarda ısı enerjisine dönüştürülür. Köpük ve lastik gibi malzemelerin sağladığı ses yalıtımı türüdür [16]. Doğada bulunan her şey, hatta hava bile sesi emer. Hava emici ses dalgalarının bir örneği, fırtına sırasında olur. Bir fırtınaya çok yaklaştığınızda, gök gürültüsünü keskin bir çatlak olarak duyarsınız. Fırtına uzaklaştığında, onun yerine alçak bir gürültü duyarsınız. Bunun nedeni, havanın yüksek frekansları alçaktan daha kolay emmesidir. Açık havada yansıma yoktur, sesler zor duyulur. Kapalı ortamlarda ise yansıma fazla olur, sesler anlaşılmazdır [17].

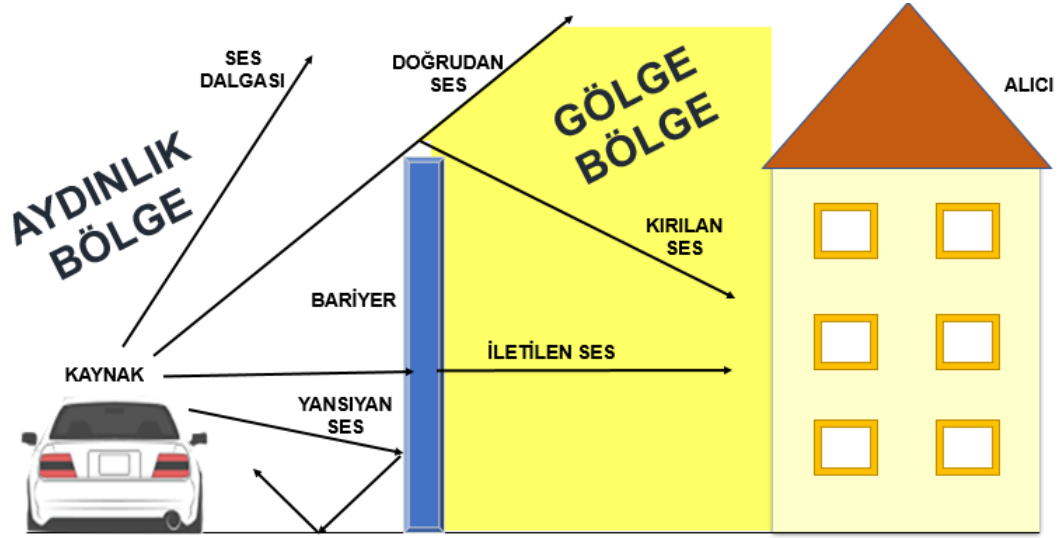
Bir malzemenin sesi ne kadar iyi soğurduğu, malzeme yoğunluğu ve ne kadar gözenekli olduğu da dahil olmak üzere bir dizi farklı faktöre bağlıdır [16]. En iyi soğurucu malzeme, ses dalgalarının etrafta sıçrayabileceği ve enerji kaybedebileceği gözenekli malzemelerdir. Gözeneklilik oranı yüksek olan malzemelerde yutulma oranı daha fazladır. Ses dalgası malzeme bünyesinde ne kadar derinliğe etki ederse yutulan enerji de o kadar fazla olmaktadır.

Sesin Geçirilmesi

Gürültünün azaltılması için bariyerlerin kullanılmasına izin veren temel özellik, sesin dalga niteliğidir. Sesin dalga doğası, yansıtılmasını, emilmesini, iletilmesini ve kırılmasını sağlar ve bu olayların tümü bir gürültü bariyerinin genel performansını etkiler. Şekil 2.4'te gösterildiği üzere kaynaktan çıkan ses bir gürültü bariyerinden 4 farklı şekilde geçebilir [18]:

- Doğrudan bariyer üstünden kırılmadan geçebilir,
- İletim ile bariyerin içinden geçebilir,
- Bariyer üst kısmından kırılarak geçebilir,
- Bariyer yüzeyinden yansıtılarak geçebilir.

Bariyer tasarımı ile özellikle iletim diğer bir deyişle geçirme yoluyla bariyerin içinden geçerek giden orijinal ses dalgasının oranı azalmaktadır. Bunların dışında ses, gürültüye maruz kalan alıcıya ulaşana kadar bariyerde dolaşmasının yanı sıra ses bariyerinin içerisinden de iletilir [19]. İletilen miktar bariyerin yapıldığı malzemeye, sesin frekansına, ses spektrumuna ve etki açısına bağlıdır. Bununla birlikte, ses dalgalarının bariyerin üst ve yan kenarlarının etrafında bükülme kabiliyeti olan kırınım, gürültü azaltma işlemindeki en önemli fiziksel olaydır. Yüksek frekanslı sesler daha az kırılır ve alıcıdan daha kolay uzaklaştırılabilir. Daha düşük frekanslı sesler ise daha fazla kırılır, bu da düşük frekanslar için yüksek ekleme kaybı (IL) değerleri elde etmeyi zorlaştırır.



Şekil 2.4 : Sesin bariyerden geçiş şekilleri.

Bir bariyer kaynak ve alıcı arasında yerleştirildiğinde, oluşan alan Şekil 2.5'te görüldüğü gibi ikiye ayrılır: aydınlık bölge (illuminated zone) ve gölge bölge (shadow zone). Illuminated zone diye tabir edilen aydınlık bölgedeki bir alıcı, gürültüyü doğrudan kaynaktan alırken shadow zone yani gölge bölgedeki alıcılar akustik olarak gürültüden korunur. Gölge bölgesindeki gürültü azaltma sesin genliği, sesin kaynak ve alıcı arasında gitmesi gereken ilave mesafeye bağlı olarak önemli ölçüde azaltılabilir [20].

Ses İletim Sınıfı (STC)

Ses İletim Sınıfı (STC), binanın bir bölümünün havadan alınan sesi ne kadar zayıflattığının bir tamsayı derecesidir [21]. Bir başka deyişle bir ürünün veya malzemenin, odalar arasındaki ses iletimini azaltma yeteneğidir. Örneğin bir duvar, kapı, pencere veya havalandırma sisteminin sesin diğer tarafa geçmesini ne kadar engelleyeceğini ölçer [22]. STC, duvar ve zemin sistemlerinin ses zayıflama performansında yaygın olarak kullanılan bir derecelendirme ancak ses yalıtımı beklentileri için tamamen güvenilir değildir [21]. Laboratuvar testleri ASTM E90'a göre yapılır ve ASTM E413'e göre sınıflandırılır. Bölme malzemesinin laboratuvar test edilen iletim kaybı değerlerini en yaygın frekansların 16'sında (125 Hz ve 4000 Hz arasında) alarak, bir eğri yaratılır. Sonuçlar standart bir STC referans eğrisi ile karşılaştırılır. Bu hesaplamadan bir STC değeri belirlenir. STC derecesi ne kadar yüksek olursa, malzeme yaygın olan frekanslarda o kadar ses iletimini azaltır.

Yüksek STC dereceli bir ses yalıtımı sistemi, yüksek frekanslı gürültüyü bloke etmede etkili olabilir, ancak düşük frekanslı gürültüyü engellemeyebilir [22].

2.2 Gürültü Panelleri

Gürültü panelleri farklı tasarımlarla ve değişik malzeme bileşenlerini içeren formlarda dünyada uygulamaları görülebilmektedir. Uygulamalara genel olarak bakıldığında, uzun yıllardan beri farklı orijinlerdeki malzemelerin alternatif kombinasyonlarıyla oluşturulmuş kompozit formulu panel kesitlerinin uygulandığı görülmektedir. Bu uygulamalarda ahşap, sentetik, polyester ve plastik orijinli vb. gibi tek bir levha elamanının tekil formda ses bariyeri olarak kullanımları görülmektedir. Bununla birlikte çimento esaslı sertleşmiş harç levha formulu elemanların da son yıllarda gürültü bariyeri uygulamalarında kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Durabilite, uygulama kolaylığı ve tamir ve tarama kolaylıkları ve gerekse servis ömürleri itibariyle uygulandıkları atmosferik ve coğrafik koşullar dikkate alındığında, günümüzde çimento esaslı levha bileşenlerden tasarlanan modellerin ses bariyeri olarak daha rasyonel ve ergonomik sonuçlar ortaya koyduğu açıkça görülebilmektedir. Bu bağlamda, günümüzde donatılı ve/veya donatısız betondan imal edilen konstrüksiyonlar doğrudan gürültü bariyeri olarak kullanımlarının yanı sıra, lif katkılı çimento levhaların (fibercement) ve/veya çimentolu yonga levhaların gürültü bariyeri uygulamalarında kesit ana bileşeni olarak kullanımlarının da giderek önem kazandığı açıkça görülebilmektedir.

Lif takviyeli çimento ürünleri 19. yüzyılın sonlarında Avusturyalı Ludwig Hatschek tarafından icat edildiği bilinmektedir. Ludwig Hatschek, Vöcklabruck'ta asbestli levha ve asbest üretmeye başladı. Bu malzeme, düşük maliyeti, yangına dayanıklılığı, su geçirmezliği, hafifliği ve diğer faydalı özellikleri nedeniyle ev binalarında kaplama olarak bir süre kullanılmıştır. Hatschek asbest levhasının sertleşmesini sağlamak için çeşitli bağlayıcı ajanlarla deneyler yapılmış ve 1900'lü yılların başında Portland çimentosunun geliştirilmesi istenilen başarının gerçekleşmesine yol açmıştır. Yeni materyal için Ludwig Hatschek, Latince aeternus = ebedi, ebedi anlamına gelen Eternit adını seçmiştir. Böylece asbestli çimento, tüm dünyada evlerin çatılarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak 1970'lerde, asbeste maruz kalmanın, sağlığa zararlı olduğu, doğrudan asbesti solumanın, akciğer ve karın gibi bir dizi hayati organları tehdit eden hastalıkla ilişkili

olduğu kabul edildiğinden, asbest kullanımı aşamalı olarak yasaklanmış ve elyaf çimentosunun yaygın olarak kabul edilen avantajlarından yararlanmaya devam etmek için prensip olarak asbestten daha güvenli lif alternatifleri geliştirilmiştir [23].

Elyaf katkılı imento levhalar esas itibari ile bir izolasyon malzemesi değildir. Bununla birlikte son derece iyi sayılabilecek düzeyde ısı ve ses izolasyon değerlerine sahiptir. Yüksek izolasyon değerine sahip malzemelerle kullanıldıklarında çok daha iyi düzeyde ısı ve ses izolasyonu sağlarlar. Bu levhalar temizlik ve bakım gerektirmeyen bir dış cephe ürünüdür. Zamanla ya da atmosferik şartlara bağlı olarak çevreye herhangi bir şekilde gaz emisyonları yoktur. Kesinlikle asbest içermezler [24].

Selüloz takviyeli, imento ve silikat esaslı otoklavlı levhaların (fibercement) ses azalma indisi değerlerinin laboratuvar koşullarında llrken levhaların hava doğulu ses yalıtım lmleri “TS EN ISO 140-3 Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının llmesi” esasları dikkate alınır. Yapı Elemanlarında Havada Yayılan Ses Yalıtım Değerinin Laboratuvarda llmesi” standardını temel almaktadır [25]. Çimento bağlayıcılı levhalar, bağlayıcı madde ve hidrasyon katkı maddesi olarak ahşap parçacıkları ve Portland imentosu karışımına basılarak üretilen bir kompozit üründür. Ekolojik olarak sağlam bir malzemedir. Ana bağlayıcı çimentodur ve bu nedenle imento bağlı yonga levhalar asbest ve diğer zehirli maddeler içermez. Çimentolu yonga levhalar, uzun ömürlüdür ve yıllarca değişken hava şartlarına maruz kaldıktan sonra gücünü koruduklarını ve hatta arttırdıklarını göstermiştir.

Son yıllarda, ahşap ve konvansiyonel ahşap ürünlere kıyasla, çimentolu yonga levhalar yangına, yüksek mekanik mukavemete ve özellikle inşaat malzemeleri için gerekli olan ekolojik temizlik gerektiren sıcak ve nemli ortamlarda daha dayanıklıdır. Hava kaynaklı ses azaltımı, imento bağlı yonga levha panellerin kalınlığına göre 100- 3150 HZ frekans aralığı için 30 ile 37 dB arasında değişir [26].

Karayolu trafik gürültüsü dünya çapında en çok şikâyet alan gürültü kirliliği sorunlarından biridir [27]. Yapılan alışmalar, insanların daha sağlıklı, huzurlu ve konforlu ortamlarda yaşamak istediklerini göstermektedir. Özellikle kentsel planlama ve tasarıda gürültü sorunu dikkate alınması gereken ciddi bir konudur [28]. Karayolu gürültü oluşumunda en etkili faktörler ulaşım açı, trafik akışı ve araçlardır.

Taşıt gürültüsünü azaltma çabaları giderek artmakta, taşıt gürültüsü ölçümleri standartlaştırılıp, yönetmelikle sınır değerleri belirlenmektedir [29]. Trafik gürültüsü, gürültünün kaynağını (hız, hacim veya araç tipi), alıcının yerini (gürültüyü duyan kişi) veya gürültünün alıcıya ulaştığı yolu değiştirerek potansiyel olarak azaltılabilir. Bir karayolundaki araçların hızını, hacmini veya türünü azaltmak veya yalnızca gürültü etkilerinden dolayı konutların yerini değiştirmek pratik olmadığından, gürültüyü azaltmak için en yaygın yaklaşım gürültü bariyerlerinin yapımıdır [28].

Gürültü bariyerleri karayollarında doğru tasarlandığı ve yerleştirildiği takdirde trafik gürültüsünü azaltmada oldukça etkili bir yöntemdir. Temel olarak, gürültü bariyerleri, kaynaktan alıcıya doğrusal yolu bloke ederek alıcılara ulaşan ses seviyesini azaltır. Algılanan gürültü kaybolmazken, önemli ölçüde azalır. Doğrusal yolu hafifçe bile bloke etmek, alıcıdaki ses seviyesini yaklaşık 5 dB azaltır. Bu zayıflama, kaynak gürültüsünün üç katına (trafiğin üçte biri) düşürülmesine kabaca eşittir. Bariyeri daha da yükseltmek genellikle en az 3 dB ek bir zayıflama sağlar [30]. Gürültü bariyerleri, sesi emerek, ileterek, karayolu boyunca geri yansıtarak veya alıcılara daha uzun bir yoldan gitmeye zorlayarak sesi azaltır. Bu bariyerler, otoyol manzaralı bir yamaçtaki evler veya bariyerin üzerinde yükselen binalar için çok az fayda sağlar. Etkili gürültü bariyerleri tipik olarak gürültü seviyesini 5 ila 10 dB azaltır, bu da trafik gürültüsünün şiddetini yarı yarıya azaltır. Görüş hattını kırdıktan sonra, her bariyer yüksekliği için yaklaşık 1,5 dB ek gürültü seviyesi azaltması sağlanabilir [28].

Bir bariyerin yüksekliğini arttırırken, etkinliğini de arttırmak mümkündür; bununla birlikte gerek estetik ve güvenlik gibi nedenler gerekse maliyeti nedeniyle, çok yüksek bariyerler inşa etmenin faydası yoktur [31]. Bariyerin yüksekliği, uzunluğu veya alıcıya uzaklığı gibi parametreler dışında bariyer ana malzemesi de gürültü seviyesini etkileyen önemli bir parametredir. Genel bir yaklaşım, malzemenin Ağırlıklı Ses Azaltma Endeksi R_w+C_{tr} 'nin (Ses Azaltma Sınıfı veya STC) gerekli gürültü azaltmadan en az 10 dBA daha yüksek olması gerektiğidir. Bu nedenle, 10 dBA'dan daha yüksek gürültü azaltma için malzeme seçimi önemli hale gelmektedir [32]. Bir ses dalgası akustik bir malzemeye çarptığında, ses dalgası, emici malzemenin elyaflarının veya partikül yapısının titreşmesine neden olur. Bu titreşim, sürtünme nedeniyle küçük miktarlarda ısıya neden olur ve böylece ses emilimi, enerjinin ısıya dönüşümü ile sağlanır. Bir malzeme ne kadar lifli ise, emme olgusu da

o kadar iyidir; bilinenin aksine yoğun malzemeler daha az emicidir. Geleneksel akustik malzemelerin büyük çoğunluğu için malzeme kalınlığı, malzemenin ses emici nitelikleri üzerinde en büyük etkiye sahiptir [33]. Bu tür malzemeler genellikle yansıtıcı özellikteki malzemeler olarak değerlendirilmektedir.

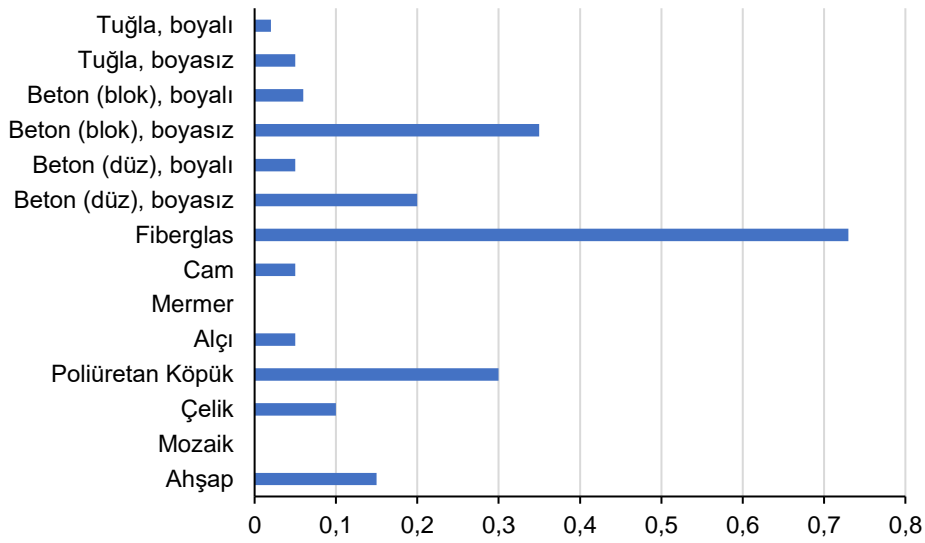
Akustik malzemelerin ses yutucu özellikleri, frekansa göre önemli ölçüde değişir. Genel olarak, düşük frekanslı seslerin uzun dalga boyları nedeniyle absorbe edilmesi çok zordur. Malzemenin ses emme katsayısı, gürültü bariyerleri tarafından sağlanan gürültü zayıflamasını güçlü bir şekilde etkiler [29]. Emici malzemeler uygulayarak yüzeyin yansıtıcılığını azaltmak mümkündür [25]. Emici malzemenin kullanılmasının, bir ses bariyerinin performansını artırmaya yardımcı olduğu görülmektedir ancak tamamen emici malzeme ile kaplanmış bir ses bariyeri, her zaman en iyi seçim olmayabilir. Efektif etki frekansa ve frekans bandına bağlıdır [35].

Bir bariyerin soğurduğu sesin miktarı tipik olarak Gürültü Azaltma Katsayısı (NRC) cinsinden ifade edilir. Malzemenin 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz frekanslardaki ses yutum katsayısı değerlerinin (α) aritmetik ortalaması alınıp, bulunan sonuç en yakın 0,05 dB'e yuvarlanır ve malzemenin ses yutum katsayısı tek sayılı bir ifade haline dönüştürülmüş olur [29]. Her malzemenin bir NRC değeri vardır ve bu değer 0 ile 1 arasında bir değişmektedir. Değerin 1'e yakın olması o malzemenin ses yutuculuk özelliğinin iyi olduğunu, 0'a yakın olması ise yansıtıcı özellikte bir malzeme olduğunu göstermektedir. Emici bir bariyer için tipik bir NRC, 0,6 ila 0,9 arasındadır [36]. Şekil 2.5'te bazı yapı malzemelerinin NRC değerleri verilmiştir. NRC eşitliği aşağıda eşitlik 2.1'de verilmiştir:

$$NRC = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) / 4 \quad (2.1)$$

Gürültü bariyerleri tasarlanırken, darbeye dayanıklı olmalı ve üzerinde çatlak ya da açık ek yeri bulunmamalıdır. Konstrüksiyonun tüm malzemelerinin ek yerleri de dâhil yanmaz malzeme olması, korozyona karşı dayanıklı olması, sürekli olarak formunu koruyan, hava şartlarının etkilerine karşı dirençli bir yapıda olması beklenmektedir. Ayrıca bariyer hayvanların ve bitkilerin vereceği muhtemel zararlara karşı dayanıklı olmalıdır. Bariyerin dış yüzey elemanı kolayca boyanabilir ve boyasını minimum değişimle muhafaza edebilmelidir. Bunun dışında zarar gören

elemanların ya da gürültü perde yüzeyinin tamamının, zarar görmeyen kısımların işlemden olumsuz etkilenmeden değiştirilebilmesi mümkün olmalıdır [37]. Tekrar dönüştürülebilir malzemelerin kullanılması da tercih edilmelidir. Bu yüzden hedef, gürültü bariyerlerinin çevrelerine uyumlu bir biçimde dâhil olacak şekilde ve izleyenler tarafından yabancı bir cisim olarak algılanmayacak şekilde tasarlanmaları olmalıdır. Uyumlu bir tasarım ve yapının manzaraya ve çevreye dâhil edilmesi, buna uygun ve çevrenin karakterini yansıtan yapı şekilleri, yapı türleri, yapı malzemesi ve renklendirmenin seçilmesi ile elde edilebilir [37].



Şekil 2.5 : Yapı Malzemeleri için Gürültü Azaltma Katsayıları (NRC) [38].

Uluslararası Alanda Kullanılan Gürültü Bariyerleri

Gürültü bariyerleri ulaşım gürültüsünün (karayolları, hava yolları, demiryolları) yoğun olduğu bölgelerde tercih edilmektedir.

Havayolu Gürültü Bariyerleri

Uçaklardan ve havaalanlarından gelen yüksek sese düzenli olarak maruz kalan, herhangi bir havaalanının kalkış platformunun yakınında bulunan sakinlerin sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Gürültüye en çok maruz kalan bölgeler, uçak kalkış ve iniş güzergahları altındaki ve çevresindeki alanlardır. Kaynak gürültüsündeki gürültü azaltma önlemleri, uçak motorlarının gürültüsünü ve hava taşıtının neden olduğu aerodinamik gürültüyü azaltma hedefini takip etmektedir. Gürültü engelleri,

havaalanlarında sürekli gürültü sorunuyla mücadele etmek için kullanılan bir yöntemdir [39].

Yılda elli binden fazla iniş/kalkışın yapıldığı hava alanlarında işletmeci kuruluş tarafından; çevresel gürültünün tespitinde kullanılmak ve bu Yönetmeliğin 13. maddesi kapsamında hazırlanan mevzuat çerçevesinde getirilen esasları sağlamak amacıyla bir gürültü ölçüm/kontrol/izleme sistemi kurulur. Yılda elli binin altında iniş/kalkışın yapıldığı hava alanlarının bulunduğu yerlerde nüfus yoğunluğu ve alan özelliği (gürültüye duyarlılık açısından) göz önünde bulundurularak, hava alanı çevresel gürültü düzeyinin Tablo 2.1’de verilen sınır değerleri aştığı yerlerde TS EN 12354-1, TS EN 12354-2, TS EN 12354-3 ve TS EN 12354-4 standartlarına göre yalıtım hesabı yapılır [40]. Bazı hava alanı gürültü bariyeri örnekleri Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.1 : Hava alanı çevresel gürültü sınır değerleri [40].

| Alanlar | Küçük hava alanları (Yılda elli binin altında iniş/ kalkışın olduğu hava alanları) | | Büyük hava alanları (Yılda elli bin ve üstü iniş/ kalkışın olduğu hava alanları) veya askeri havaalanları | |
|--|---|-------------------------|---|-------------------------|
| | L _{gündüz} (dBA) | L _{gece} (dBA) | L _{gündüz} (dBA) | L _{gece} (dBA) |
| Gürültüye duyarlı alanlar (eğitim, kültür ve sağlık alanları), yazlık yerleşim alanları ve kamp yerleri Otel, motel, yazlık yerleşim yerleri ve kamp yerleri | 63 | 53 | 68 | 58 |
| Yerleşim alanları | 65 | 55 | 70 | 60 |
| Karışık (yerleşim alanları, işyerleri, endüstri ve benzeri.) | 67 | 57 | 72 | 62 |
| Endüstriyel alanlar | 70 | 60 | 75 | 65 |



Şekil 2.6 : Hava alanı gürültü bariyeri [41].



Şekil 2.7 : Gatwick Havalimanı gürültü bariyeri, İngiltere [42].

Demiryolu gürültü bariyerleri

Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından 2010 yılında derlenen üye devlet raporlarına göre, demiryolu gürültüsü, gündüz saatlerinde, 55 dBA'nın üzerindeki gürültüye maruz kalan yaklaşık 12 milyon ve gece saatlerinde 50 dBA'nın üzerindeki gürültüye maruz kalan yaklaşık 9 milyon AB nüfusunu etkilemektedir. Demiryolu gürültü sorunundan etkilenen vatandaşların çoğunun yaşadığı ve demiryolu taşımacılığı hacminin en yüksek olduğu Orta Avrupa'da (özellikle Almanya, İtalya ve İsviçre, Polonya, Avusturya, Hollanda ve Fransa'da da yüksektir ve gürültü haritalaması, Belçika ve Lüksemburg'da nüfusun önemli kesiminin etkilendiğini göstermektedir.) yoğunlaşmaktadır [43].

Genel olarak, üç farklı demiryolu gürültüsü kaynağı tanımlanmaktadır:

- Motor gürültüsü
- Tekerlek-Demiryolu sürtünme gürültüsü
- Aerodinamik gürültü.

Demiryolu gürültüsü, büyük ölçüde yük trenleri ve eski vagonlar veya motorlar içeren trenler için özellikle gece boyunca ciddi bir sorundur. En önemli gürültü kaynağı, her türlü treni etkileyen tekerlek-demiryolu sürtünme gürültüsüdür. Tekerlek-demiryolu sürtünme gürültüsü genel olarak bakımsız demiryolu araçlarından ve bakımsız altyapı ile çalışan trenlerde daha yüksektir. Aerodinamik gürültü, özellikle çoğu durumda gürültü bariyerleri gibi gürültü sınırlayıcı önlemlerin uygulandığı yüksek hızlı hatlarla ilgilidir; gürültü bariyerleri, tekerlek-demiryolu sürtünme gürültüsünün etkisini azaltmaktadır. Demiryolu gürültüsünün çevre üzerindeki etkisini azaltmak için kullanılan en önemli pasif yöntemler, gürültü koruma duvarları ve yalıtım pencereleridir ve çoğu durumda, üye devletlerin eylem planları ve yatırımları bu yöntemlere odaklanmaktadır [44].

TS EN 16272-2 (Demiryolu uygulamaları- Raylar- Gürültü bariyerleri ve hava ile yayılan ses üzerinde etkili olan cihazlar- Akustik performansın tayini için deney yöntemi- Bölüm 2: Temel özellikler- Düzgün yayılan ses alanına sahip, laboratuvar ortamında ses yutma) standardı; gürültü bariyerlerinin havadaki ses yalıtımını ölçmek için kullanılan laboratuvar yöntemini belirtir. Bu standart, TS EN ISO 10140

serisinde açıklanan test tesisinin içine makul bir şekilde monte edilebilecek olan demiryolları için tasarlanmış havadan ses yayılımına etki eden gürültü bariyerlerinin ve ilgili cihazların iç havadaki ses yalıtım performansının değerlendirilmesini kapsar. TS EN 16272-3-1 standardı ise normalize edilmiş demiryolu gürültü spektrumu ve düzgün alan uygulamaları için tek haneli derecelendirmesini verir. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da dünyada kullanılan demiryolu gürültü bariyerlerinden örnek fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 2.8 : Metro istasyonunda gürültü bariyeri, Delhi- Hindistan [45].



Şekil 2.9 : İzban istasyonunda gürültü bariyeri, İzmir- Karşıyaka [46].

Karayolu Gürültü Bariyerleri

Karayolu trafiğindeki gürültü; taşıtların motor aksanlarından kaynaklanan, taşıtların hızından kaynaklanan, yolun niteliğinden kaynaklanan ve trafiğin yoğunluğundan kaynaklanan gürültü biçiminde sıralanabilir. Gürültü bariyeri, karayollarında gürültü seviyesini standartlara çekmek için kullanılır. Ayrıca gürültü bariyerlerinin kullanılabilmesi için gerekli kriter, “Yılda üç milyonun altında taşıtın geçtiği kara yolunun bulunduğu alanın nüfus yoğunluğu ve kara yolundan kaynaklanan gürültü nedeniyle yaşanan şikayetin yoğunluğu dikkate alınarak Tablo 2.2’de de görüleceği üzere kara yollarının maksimum çevresel gürültü düzeyinin Lgündüz 68 dBA’yı aştığı yerlerde, işletmeciler tarafından, karayolu civarında var olan evlerin mevcut yollardan etkilenmemesi için; kara yolu ve çevresinde trafik akışı, yol kaplaması ve benzeri veya yol kenarlarına TS EN 1793-1, TS EN 1793-2 ve TS EN 1793-3 standartlarına uygun gürültü perdeleme teknikleri dikkate alınarak etkin ve uygulanabilir tedbirler alınır. Alınan tedbirlerin etkinliğinin ölçüm ve performans testleri yaptırılır” fıkrasındaki şarta bağlanmaktadır [40]. Şekil 2.10- Şekil 2.13 uluslararası alanda kullanılan örnek karayolu bariyer uygulamalarıdır.

Tablo 2.2 : Kara yolu çevresel gürültü sınır değerleri [40].

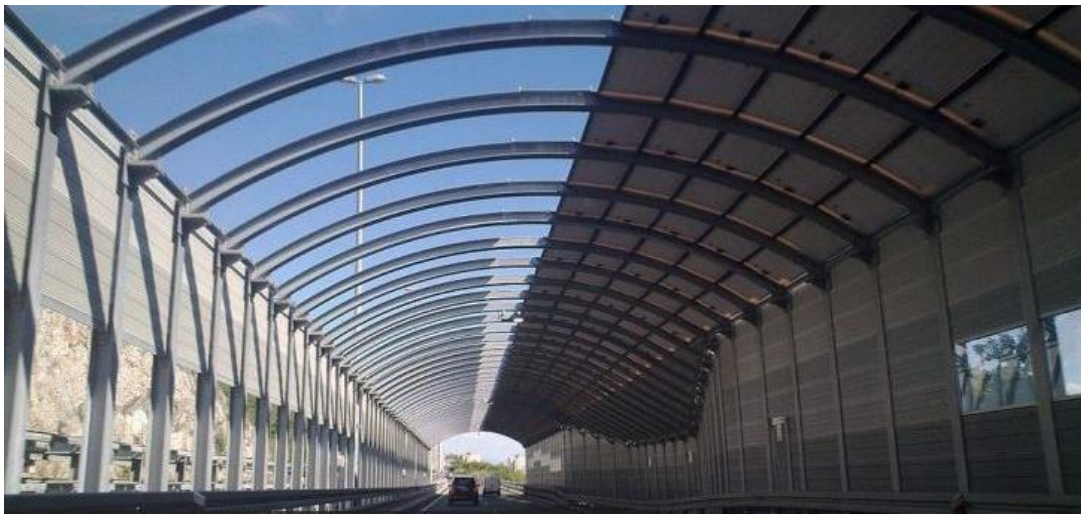
| Alanlar | Yenilenmiş/Onarılmış yollar | | Mevcut yollar | |
|---|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | L _{gündüz} (dBA) | L _{gece} (dBA) | L _{gündüz} (dBA) | L _{gece} (dBA) |
| Kırsal alanlar | 55 | 45 | 60 | 50 |
| Gürültüye duyarlı alanlar (eğitim, kültür ve sağlık alanları), yazlık yerleşim alanları ve kamp yerleri | 60 | 50 | 65 | 55 |
| Yerleşim alanları | 63 | 53 | 68 | 58 |
| İş alanları ve yerleşim alanları | 65 | 55 | 70 | 60 |
| Endüstriyel alanlar | 67 | 57 | 72 | 62 |



Şekil 2.10 : Gürültü bariyeri, Virginia- USA [47].



Şekil 2.11 : Gürültü bariyeri, Freeway Brennero A22 – İtalya [48].



Şekil 2.12 : Gürültü bariyeri, Rijeka- Hırvatistan [49].



Şekil 2.13 : Gürültü bariyeri, Brunico BZ – İtalya [48].

2.3 Simülasyon

Gürültü bariyerleri, “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” gereğince şehir içi ve şehirler arası yolların trafik gürültüsü, demiryolları, hava yolları, şantiyeler, mekanik ve HVAC (ısıtma, soğutma ve iklimlendirme) ekipmanları veya diğer endüstriyel gürültü kaynaklarının ürettiği seslerin azaltılmasını veya zayıflatılmasını sağlar. Bir gürültü kaynağı genellikle trafik yolu veya demiryolu gibi doğrusal kaynaklar olabilir. Evler, apartmanlar, okullar, hastaneler, ofis binaları veya umumi parklar vb. potansiyel alıcılardır. Bariyer, kaynak ile alıcı arasına yerleştirilir ve alıcıya giden ses ışınlarını bloke ederek onları gürültüden korur [50].

Karayolu trafik gürültüsü dünya çapında en çok şikâyet alan gürültü kirliliği sorunlarından biridir [27]. Trafik gürültüsü, trafik hacmindeki artışla birlikte giderek daha önemli bir sorun haline gelmektedir [51]. Trafik gürültüsü, gürültünün kaynağını (hız, hacim veya araç tipi), alıcının yerini (gürültüyü duyan kişi) veya gürültünün alıcıya ulaştığı yolu değiştirerek potansiyel olarak azaltılabilir. Bir

karayolundaki araçların hızını, hacmini veya türünü azaltmak veya yalnızca gürültü etkilerinden dolayı konutların yerini değiştirmek pratik olmadığından, gürültüyü azaltmak için en yaygın yaklaşım gürültü bariyerlerinin yapımıdır [29]. Bu duruma çözüm olarak geliştirilen gürültü bariyerleri trafik gürültüsü sorunu ortaya çıktıktan sonra geçici olarak inşa edilebildiğinden en çok tercih edilen trafik-gürültü azaltma aracıdır [51]. Önem sırasına göre, gürültü kontrolü için alınacak önlemler öncelikle kaynakta, daha sonra kaynak ile alıcı arasında ve son olarak alıcıda alınmalıdır. Gürültü kontrol önlemleri kaynağında en etkili ve ekonomik olsa da bu mümkün veya yeterli olmadığına, kaynak ile alıcı arasında diğer önlemlerin uygulanması önemli olabilir [52].

Son yıllarda büyük önem kazanan ve bilgisayar ortamında hazırlanan simülasyonlar deneysel ölçümler kadar etkili sonuçlar vermeye başlamıştır [25]. Simülasyon, genellikle bilgisayar ortamında hazırlanan gerçek hayatta uygulanacak bir sistemi temsil eden bir model oluşturma işlemidir. Bu model üzerinde olması istenilen durumlar denenip sonuçlarına göre kararlar alınabilmektedir. Bu simülasyonlarla kentsel trafik gürültüsü hem zaman hem de frekans alanında kolayca analiz edilebilmektedir [53]. Simülasyon yoluyla, farklı yalıtım malzemelerinin ses yalıtım değerleri çok kısa bir sürede gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanabilmekte, en uygun malzeme tespiti yapılabilmekte ve gürültünün etkileri azaltılabilmektedir. Özellikle bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve yaygınlaşması ile malzemelerin özelliklerine bağlı olarak iletim kaybı (TL) değerlerinin hesaplanmasında gerek mühendisler ve mimarlar tarafından tasarım amaçlı gerekse akademisyenler tarafından akademik maksatlı kullanılan yazılım programları geliştirilmektedir [25].

Piyasada bulunan hazır akustik yazılım programlarından en sık kullanılanları şunlardır;

- Olive Tree Lab -Terrain: PEMARD'ın ilk ürünü olan ve 2011'de piyasaya sürülen Olive Tree Lab, gürültü bariyerlerinin tasarımında ve gürültülü dış mekân ortamlarının değerlendirilmesinde hassasiyet hesaplamaları yaparak dış mekân ses yayılımı ile ilgilenir. Geometrik yayılma, atmosferik soğurma, atmosferik türbülans, zemin ve nesnelere empedansı, küresel dalga yansımaları ve doğal veya insan yapımı nesnelere kırınım etkilerini hesaba katarak, Dış Ses Yayılımı ve Gürültü Bariyerinin verimliliğini simüle eden ve

öngören bir gürültü tahmin dalga tabanlı geometrik bir akustik yazılımıdır [54].

- INSUL: Gürültü kontrol panelleri-bariyerleri (inelastic core material) ses geçiş kaybı hesaplama, gürültü yalıtımı, ses iletim kaybı, ses geçiş kaybı hesaplamaları için özel olarak hazırlanmış INSUL adlı yazılım ile uygun malzeme seçimi, malzeme kombinasyonlarının tayini ve uygun malzeme kalınlığını saptanmasına yönelik çalışmalar yaparak, optimum çözüme ulaşmak mümkündür. Ses yalıtım malzemelerinin, yazılımın veri tabanında bulunması ile kısa sürede ses geçiş kaybı değerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Paneller, duvarlar, tavan/tabana ve camlardan kaynaklanan ses geçirmezlik değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır [55].
- SoundPLAN: karayolları ve demiryolları boyunca gürültü bariyerlerinin şeklini optimize eder, böylece mesken konutlar asgari maliyet için uygun şekilde korunur. Bariyer tasarımı, bir gürültü bariyerinin, en az maliyetle bir veya daha fazla alıcıdaki gürültü seviyesini azaltacak şekilde planlanması gerektiğini varsayar. En iyi elemanı seçerek, ortaya çıkan yeni gürültü seviyesi tüm alıcılar için hesaplanır. Gürültü koruma bariyerinin en iyi elemanını seçerek, en düşük maliyetli veya en az duvar yüzey alanına sahip duvar seçilir. Güçlü bir 2D ve 3D görselleştirme, derinlemesine akustik bilgi olmadan meslekten olmayan kişiler için mümkün olan gürültü koruma duvarının düzenlenmesini ve özelleştirilmesini sağlar. Bir optimizasyon şeması, bulguların yorumlanmasına yardımcı olur. Diyagram, tüm alıcılar için optimizasyon hakkındaki verileri veya gürültü koruma duvarı ile hafifletilecek olan karayolundan / raydan etkilenen tüm alan için genel bir değerlendirme olarak gösterilmek üzere yapılandırılabilir [56].
- Navcon Engineers for a Light Rail System: Hafif Raylı Sistem için Navcon Engineers tarafından yürütülen Gürültü Bariyeri Optimizasyonunda yapılan işlemler şu şekildedir; Hafif Raylı Sistem, topografya ve topluluk dahil olmak üzere bir 3D gürültü modeli geliştirmek, rayların yanındaki bariyer

geometrisini tanımlamak, birden fazla bariyer yüksekliği ve her alıcı için her bariyer bölümünün gürültü azaltma etkisini hesaplamak, alıcı gürültüsünün etkisi, azalmalar, maliyet ve bariyerin görsel taslağını dikkate alarak bariyer geometrisini optimize etmektir [57].

- The FHWA TNM: Bu programla yapılabilecek analizler şunlardır: Otomobiller, orta boy kamyonlar, ağır kamyonlar, otobüsler ve motosikletler ile kullanıcı tanımlı araçlar dahil olmak üzere beş standart araç tipinin modellenmesi, 1/3 oktav bant veri tabanı ve algoritmalara dayalı ses seviyesi hesaplamaları, grafiksel olarak etkileşimli gürültü bariyeri tasarımı ve optimizasyonu, bina sıralarına / yoğun bitki örtüsüne bağlı yoğunlaşma ve zayıflama, çoklu kırınım analizi, paralel bariyer analizi, ses seviyesi kontürleri, bariyer ekleme kaybı kontürleri ve ses seviyesi fark kontürleri dahil olmak üzere kontür analizi [32].

Trafik kaynaklı çevresel gürültü azaltımlarının sağlanması amacıyla çoğu yerleşke ortamlarında kullanılabilir gürültü bariyerlerinin oluşturulmasında kesit bileşeni malzeme türlerinin belirlenmesi, tasarım unsurlarının tanımı ve ortam koşullarının optimizasyonu gibi parametrik irdemelerin bir bütün olarak yapılması gerekliliği kaçınılmaz olmaktadır. Bu irdemelerin çoğunluğu günümüzde farklı yaklaşımlar ve algoritmaların uygulandığı geliştirilmiş simülasyon programları ile yapılabilmektedir. Ancak, bu programlarda gürültü bariyeri tasarımında tercihen kullanılacak her tür malzeme bileşenlerine göre detay analiz ve performans irdemelerinin her zaman yapılamadığı da görülebilmektedir. Program algoritmasında kesit bileşenlerinin olası performans değerlerini simüle edebilecek veri kümelerinin yer alması son derece önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, çimento bağlayıcılı ve lif katkılı düz levhaların gürültü bariyeri uygulamalarında kesit bileşeni bir materyal olarak kullanılabilirliği üzerine gerek bir dizi deneysel inceleme analizleri gerekse simülatif bir algoritma ile gürültü azaltım performansı irdelenmiştir. Bu tez çalışmasında bir seri ses bariyeri modellerine ait analiz bulguların değerlendirmesi aşağıdaki bölümlerde tartışılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Lifli çimento levhalar

Çimento bağlayıcılı panellerin gürültü bariyeri olarak kullanılabilirliğinin irdelenmesi amacıyla lif katkılı matris tasarıma sahip levha elemanları ana materyal olarak kullanılmıştır. Şekil 3.1’de örnek olarak verilen çimento bağlayıcılı lif katkılı levhalar, dünyada birçok ülkede yaygın olarak kullanılan gelen yapı malzemesi ürünlerdir. Bu levha ürünlerin ortak özelliği, takviye elemanı olarak organik ve/veya inorganik lifler (iki veya daha fazla) içermeleri, üretimlerinde çimentonun ana bağlayıcı malzeme olarak kullanılması ve hava ve/veya otoklav kürlenmesi ile priz süreçlerinin tamamlanmasıdır. Lifli çimento levhaların yoğunluğu $1400 \pm 300 \text{ kg/m}^3$ arasında değişim gösterebilmektedir.

Bu levhalar binalarda iç cephe uygulamalarında kullanıldığı gibi dış cephede kaplama ve/veya duvar elemanı olarak da kullanımları görülebilmektedir. Bu kategoride üretilen levhalar, TS EN 12467 standardında A kategori levhalar olarak adlandırılmaktadır. İç ortamda kullanılan plakalar ise TS EN 12467 standardında C sınıfı levhalar olarak tanımlanıp, binalar için iç malzemeler, çatı kaplama malzemeleri altındaki destek malzemeleri, ıslak alanlarda seramik fayanslar veya tavan kaplama levhaları olarak da kullanılabilir. Lif katkılı bu levha ürünlerin bilinen en önemli özelliklerinden birisi yansıtıcı hüviyetinde çok iyi ses yalıtım özelliğine sahip olabilmeleridir [58].

Düz çimento harcı ve beton, çekme dayanımı çok düşük olan kırılğan malzemelerdir. Bunun yanında yüksek yoğunluklu ve termal iletkenliğe sahiptirler [59]. Bu problemlerin üstesinden gelmek için sentetik elyaflar ve hafif agregalar veya ahşap, doğal elyaflar ve tarımsal atıklar gibi çeşitli lignoselülozik materyaller çimentolu matrikse dahil edilmiştir. Elde edilen kompozitler hafiftir ve daha fazla tokluğa sahiptir [60]. TS EN 492+A2 standardı, çatı kaplaması, iç duvar kaplaması, dış

duvar ve tavan kaplaması, kullanım amaçlarının birisi veya birkaçı için, lifli çimentodan yapılmış kaplama levhaları ve özel parçalarının teknik gerekleri ile kontrol ve deney yöntemlerini ve aynı zamanda kabul şartlarını kapsamaktadır [61]. Bu tez çalışmasında kullanılmış olan çimentolu yonga levhalar, farklı kalınlık ve farklı yoğunluklarda ticari piyasadan temin edilerek kullanılmış, levhaların ebat ve yoğunlukları Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Lif katkıli çimentolu levha örneği [62].

3.1.2 Çimentolu yonga levhalar

Çimento bağlayıcılı yonga levha, esas olarak ahşap ve çimentodan oluşan plakalarda üretilen ve katkı maddeleri içerebilir. Ahşap-çimento kompozitleri, birçok ülkede, inşaat malzemeleri (örneğin dış cephe kaplaması, çatı kaplama, giydirme ve alt döşeme gibi) ve karayolu ses bariyerleri gibi akustik özellikler için, iç ve dış uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kompozitler diğer geleneksel malzemelere göre benzersiz avantajlara sahiptir. Genel olarak, bu ürünler, çimentodaki iyi nitelikleri (suya, yangına ve termit istilasına karşı yüksek direnç), ahşaptakilerle (yüksek ağırlık / ağırlık oranı ve işlenebilirlik) birleştirir. Beton gibi yansıtıcı ürünler, dış mekân gürültü bariyer duvarları ve muhafazaları için geleneksel malzeme olmasına rağmen, çimento bağlı yonga levha ürünlerinde bulunan gelişmiş

ses emici malzemeler, çok daha etkili bir azaltma seçeneği sunar. Beton veya tuğla gibi ürünler, ses dalgalarını yüzeylerinden farklı yönlerde zıplatırlar. Çimento bağlı yonga levha ürünleri, kendilerini etkileyen ses dalgalarını emer veya tamamen ortadan kaldırır, bu da toplam gürültüyü önemli ölçüde azaltır [26]. Şekil 3.2’de gösterilen örnek bir çimentolu yonga levhanın yoğunluğu $1300 \pm 300 \text{ kg/m}^3$ arasında değişim gösterebilmektedir.



Şekil 3.2 : Çimentolu yonga levha örneği [63].

TS EN 634-2 standardı, çimentolu yonga levhalardan olan kuru, nemli ve dış şartlarda kullanılan normal Portland çimentosu ile bağlanmış yonga levhaların özelliklerini kapsamaktadır. Bu standart çimentolu yonga levhaların tabii olduğu standart sınıfıdır [64]. Bu tez çalışmasında kullanılmış olan çimentolu yonga levhalar, farklı kalınlık ve farklı yoğunluklarda ticari piyasadan temin edilerek kullanılmış, levhaların ebat ve yoğunlukları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 : Çimento bağlayıcılı panellerin ebat ve alansal yoğunlukları.

| Numune Adı | Numune Kodlaması | Ebat (cm) | Birim Hacim Ağırlık, (kg/ m ³) | Alansal Yoğunluk, (kg /m ²) |
|--|------------------|----------------|--|---|
| Yüzeyi dekorlu çimentolu yonga levha | PLK1 | 40,5×40,5×0,14 | 1516 | 21,2 |
| Yüzeyi şerit dekorlu çimentolu yonga levha | PLK2 | 40,5×40,5×0,16 | 1349,9 | 21,6 |
| Yüzeyi şerit dekorlu çimentolu yonga levha | PLK3 | 40,5×40,5×0,12 | 1381,9 | 16,6 |
| Yüzeyi dekorlu çimentolu yonga levha | PLK4 | 40,5×40,5×0,16 | 1409,2 | 22,5 |
| Düz çimento plaka | PLK5 | 40×40×0,1 | 1430 | 14,3 |
| Çimentolu bazlı kompozit harç plaka | PLK6 | 40×40×0,85 | 758,7 | 6,5 |
| Düz yüzeyli dış cephe kaplama amaçlı çimento plaka | PLK7 | 40×40×0,1 | 1345,6 | 13,5 |
| Düz yüzeyli düz çimento plaka | PLK8 | 40×40×0,1 | 1476,9 | 14,8 |

3.1.3 Çimento bağlayıcılı kompozit harç levhalar

Son yıllarda, yapısal amaçlar için umut verici çimento bağlayıcılı ahşap kompozitler geliştirilmiştir. Dayanıklılık, tokluk, yüksek boyutsal stabilite, biyolojik bozulma veya ayrışma gibi çevresel etkenlere karşı direnç, aynı zamanda hammaddenin mevcudiyeti ve ekonomik faktörlerin mevcudiyeti, çimento ile bağlanmış kompozitleri geleneksel olarak bağlanmış kompozitlerden üstün kılan özelliklerdir. Bu tez çalışmasında TS EN 998-1 standardı kapsamında öngörülen parametrelere bağlı olarak üretilmiş kompozit harçlardan elde edilen levhalar hazır olarak piyasadan temin edilmiştir [65]. Genleşmiş perlit, pomza, agrega, ticari olarak temin edilebilen lif türleri, toz kireç, volkan cürufu kullanımlarıyla geliştirilmiş araçlardan kompozit harçların farklı yoğunlukta laboratuvar ortam koşullarında elde edilmiştir.

Kompozit harç örnekleri 2 ayrı formda üretilmiştir: Yekpare harç katmanından oluşan plaka örnekleri ve sandviç kesit tasarımı gösteren kompozit plaka örnekleridir. Sandviç kesit tasarımı gösteren kompozit plakalar da iki ayrı örnek formundadır: İki harç arasına suni kauçuk plaka yerleştirilmesiyle oluşan kompozit plaka örnekleri ve bir yüzeyi suni kauçuk plaka ile kaplanmış kompozit plaka örnekleridir. Bu tezde kullanılan kompozit plaka örneklerinin ebat ve yoğunlukları aşağıda Tablo 3.2’de, görsel örnekleri ise Şekil 3.3- Şekil 3.5 ‘te verilmiştir.

Tablo 3.2 : Kompozit plakaların ebat ve alansal yoğunlukları.

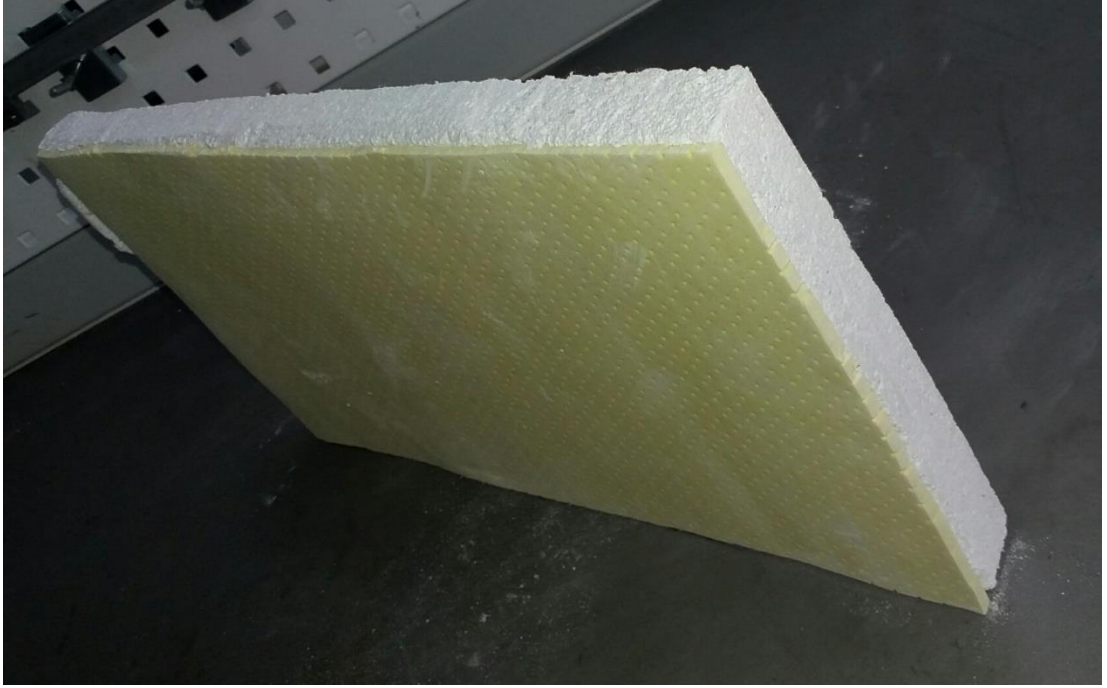
| Numune Adı | Numune Kodlaması | Ebat (cm) | Birim Hacim Ağırlık, (kg/ m ³) | Alansal Yoğunluk, (kg/m ²) |
|--|------------------|------------|--|--|
| Perlit agregalı kompozit harç | PLK9 | 40×40×47,5 | 26,1 | 12,4 |
| Pomza agregalı kompozit harç | PLK10 | 40×40×33 | 819,1 | 27,0 |
| Bir yüzeyi suni kauçuk plaka ile kaplanmış kompozit harç plaka | PLK11 | 40×40×32 | 403,1 | 12,9 |
| Suni kauçuk katmanlı kompozit harçlı sandviç plaka | PLK12 | 40×40×32 | 405,1 | 13,0 |
| Pomza ve Genleşmiş Perlit Agregalı Katkılı Çimentolu Levha | PLK13 | 40×40×33 | 398,7 | 13,2 |
| Hafif Beton Plaka | PLK14 | 40×40×49 | 404,2 | 19,8 |



Şekil 3.3 : Yekpare harç katmanlı plaka örneği.



Şekil 3.4 : İki harç arasına suni kauçuk plaka yerleştirilmesiyle oluşan kompozit plaka örneği.



Şekil 3.5 : Bir yüzeyi delikli suni kauçuk plaka ile kaplanmış kompozit plaka örneği.

Geotekstil Keçe

Geotekstil keçeler sentetik elyafların iğneleme yöntemi ile mekanik olarak bağlanması sonucu oluşan nonwoven yapılardır. Darbe ve zararlara karşı daha uzun süre dayanıklıdır, iyi derecede ses yalıtımı, ısı, nem dayanımına sahiptir ve deprem direnci artırma özelliklerini sağlamaktadır. Zeminde kullanılması halinde tüm darbe seslerini emer, duvarlarda kullanılması halinde sesin duvardan iletimini azaltır [66]. Polyester lifleri ile üretilmiş nonwoven keçeler yıllardır, otomotiv sektöründe akustik amaçlı kullanılmaktadır. Birçok elektronik cihazlar ve roket sanayinde de akustik izolasyon olarak nonwoven ürünlerden faydalanılmaktadır [67]. Odriyometri odaları, ses stüdyoları, disko, sinema, tiyatro, otel yatak odaları, konferans salonları, parke altı gibi ses izolasyonu yapılabilecek her yer için ses yalıtım keçeleri sıklıkla tercih edilmektedir. Şekil 3.6 piyasadan temin edilen örnek olarak verilmiş bir geotekstil keçe örneğidir. Bu malzemeler çevreye zararlı değildir ve toksik madde içermezler. Sentetik yapısı sayesinde çürümeye, bakterilere, asitlere, alkalilere ve rutubete karşı dayanıklıdır. Deniz suyu, küf ve pastan etkilenmez. Bu özellikleri sebebiyle keçe ileriki bölümlerde de görüleceği üzere gürültü bariyeri ara malzemesi olarak bu çalışmada tercih edilmiştir.



Şekil 3.6 : Geotekstil keçe örneği [68].

3.2 Metot

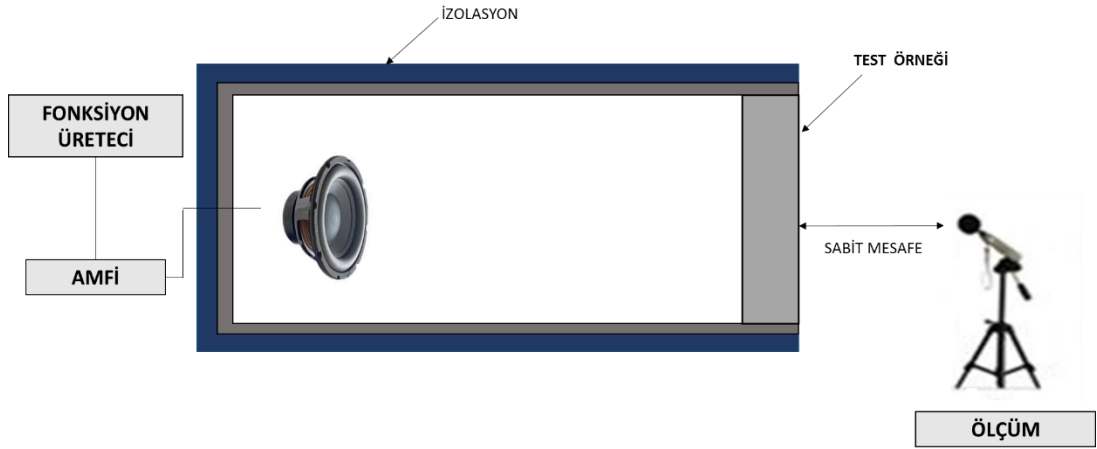
3.2.1 Yapı elemanlarında ses geçiş kaybı ölçümü ve değerlendirilmesi

DeneySEL analizlerde, kalınlıkları farklı olmak koşuluyla öncelikle 400 mm × 400 mm ebatlı test örnekleri hazırlanmış ve her bir plaka örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı değerleri tekil plaka elemanı olarak ölçülmüştür. Tekil plaka elemanı olarak ya da duvar elemanı ile birlikte ses geçiş kaybı değerini ölçmek için 2 ayrı deneySEL ölçüm yöntemi kullanılabilir [69]. Bu yöntemler şunlardır;

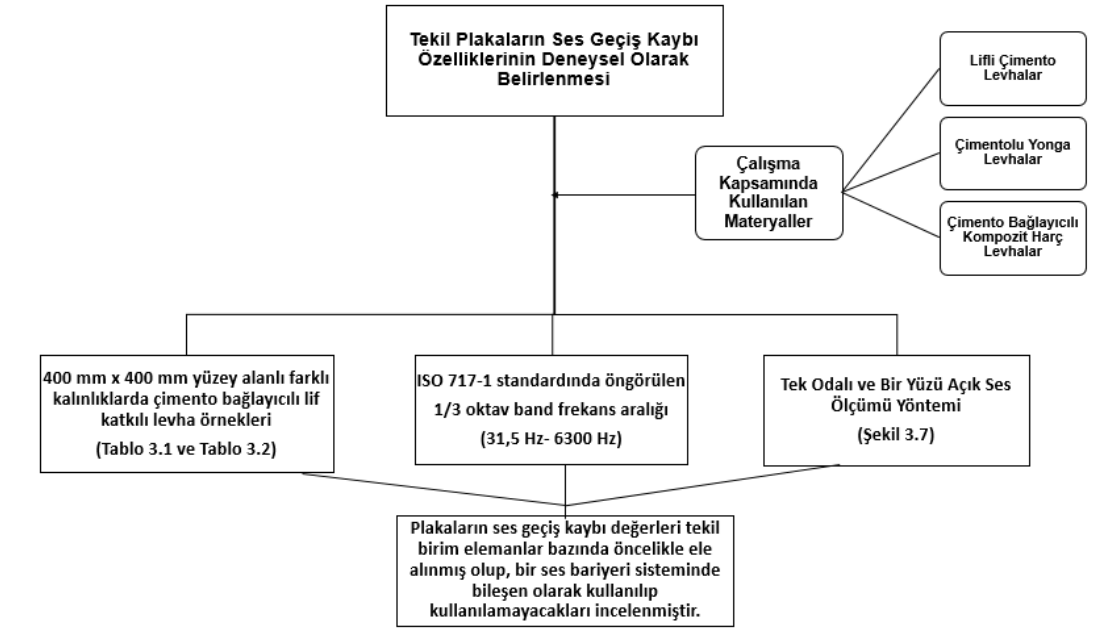
- Tek odalı ve bir yüzü açık ses yalıtım ölçüm yöntemi,
- İki odalı ses yalıtım ölçümü yöntemi.

Bu tez çalışmasında ölçümler, *Tek Odalı ve Bir Yüzü Açık Ses Ölçümü Yöntemi*'nin uygulandığı laboratuvar boyutlu bir test düzeneğinde ve laboratuvar ortam koşullarında, ISO 717-1 standardında öngörülen 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığında yapılmıştır [70]. Düzeneğin sembolik gösterimi Şekil 3.7'de verilmiştir. Test örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı değerleri, analiz öncesi ölçüm düzeneği için her bir frekans değerinde ölçülen fon ölçümü ses basınç düzeyi ile örnekle birlikte ölçülen fon ölçümü ses basınç düzeyi arasındaki fark olarak elde edilmiştir. Daha sonra, ISO 717-1 standardında öngörülen 100 Hz- 3150 Hz, 1/3 oktav bant frekans aralığındaki ölçümlerde elde edilmiş bulgular ve hesaplamada

mutlak koşul olarak tanımlanan kurallara göre Hesaplanan Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (Rw) değerleri belirlenmiştir.



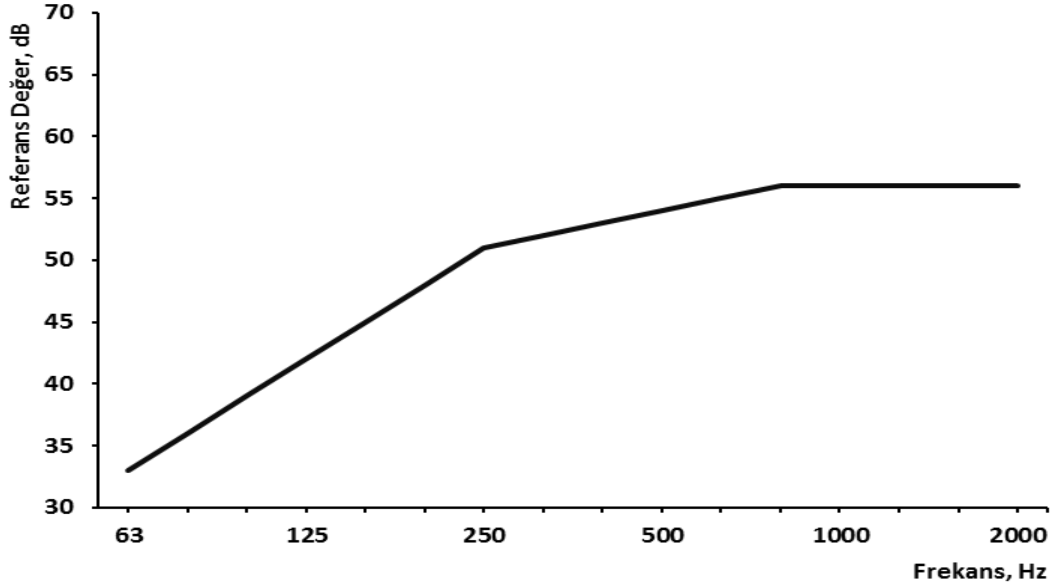
Şekil 3.7 : Tek Odalı ve Bir Yüzü Açık Ses Ölçümü Yöntemi'nin uygulandığı laboratuvar boyutlu bir test düzeneğinin sembolik gösterimi.



Şekil 3.8 : Tekil Plakaların Ses Geçiş Kaybı Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi.

Tablo 3.3 : Hava ile yayılan ses için referans değerler [70].

| Referans Eğri Değerleri (dB) | | |
|------------------------------|-------------------|---------------|
| Frekans (Hz) | 1/3 oktav bantlar | Oktav bantlar |
| 100 | 33 | |
| 125 | 36 | 36 |
| 160 | 39 | |
| 200 | 42 | |
| 250 | 45 | 45 |
| 315 | 48 | |
| 400 | 51 | |
| 500 | 52 | 52 |
| 630 | 53 | |
| 800 | 54 | |
| 1000 | 55 | 55 |
| 1250 | 56 | |
| 1600 | 56 | 56 |
| 2000 | 56 | |
| 2500 | 56 | |
| 3150 | 56 | |



Şekil 3.9 : 1/3 oktav bantlarda hava ile yayılan sesin referans değerlerine ait eğri [70].

Binalarda ve bina elemanlarındaki hava ile yayılan ses yalıtımını ölçme metotları, ISO140-3, ISO140-4, ISO140-5, ISO140-9 ve ISO140-10'da standart hale getirilmiştir. Bu standardın amacı, tek sayılı özelliğindeki akustik performansa dönüştürülebilir hava ile yayılan ses yalıtımının frekans bağımlı değerler aracılığı ile bir metodun standart hale getirilmesidir. ISO 717-1 standardı, hava ile yayılan ses yalıtımı için tek sayılı miktarları tanımlar. Tablo 3.3 ve Şekil 3.9'da gösterilen ISO717-1 tarafından verilen referans değerleri, ses basıncı seviyesi için ağırlıklı bir değer belirlenirken kullanılır. 1/3 oktav bantlarda duvarın her iki tarafındaki ses mümkün olduğunca büyük, ancak 32,0 dB'den büyük olmayacak şekilde ve tek bir eksiklik 8 dB'den büyük olmayacak şekilde 1 dB'lik adımlarla ölçülen eğriye doğru kaydırılır. Ölçme sonuçları referans değerden az olduğunda, belli bir frekansta istenmeyen sapmalar meydana gelir. Bu durumda, sadece istenmeyen sapmalar dikkate alınmalıdır. Ölçülen eğri için 500 Hz değerindeki değer, tüm ölçüm için ağırlıklı değer (R_w) olacaktır ve bu değer desibel cinsinden ifade edilir [70].

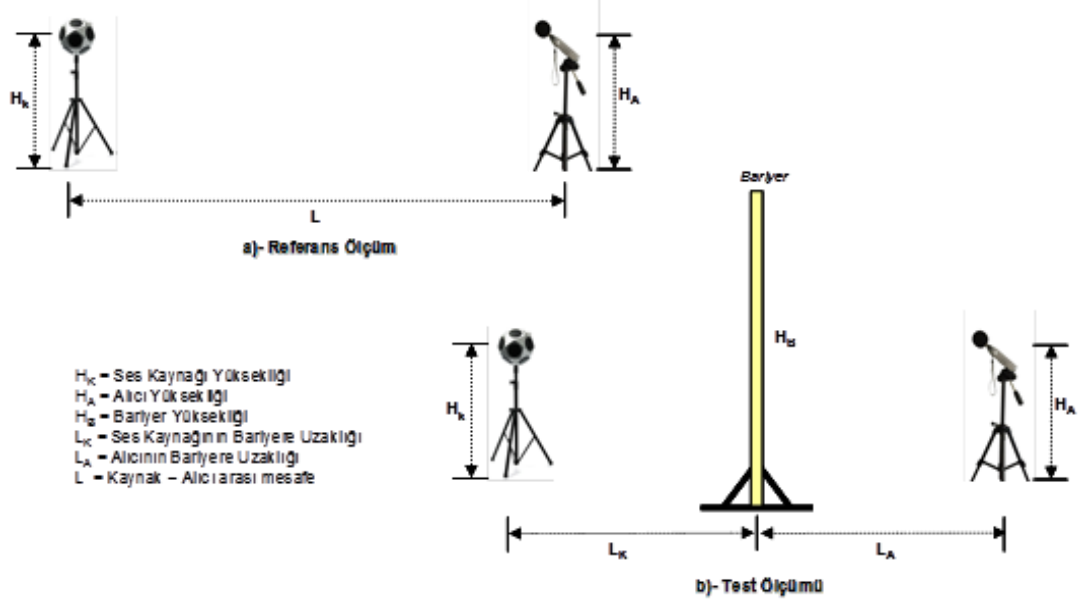
Bu tez çalışmasında, Şekil 3.8'de verilen akış şemasında da görüleceği üzere Çimento Bağlayıcı Paneller olarak lif katkıli çimento panelleri ve çimentolu yonga panelleri kompozit formda ses yutucu malzeme tabakası içeren ses emme özellikleri incelenmiştir. Kompozit ses bariyer panelleri, tasarımın uygulanmasının kolay olduğu, dayanıklılığın yüksek olduğu ve pratik olarak onarım ve/veya yenilenmenin

de yapılabildiği panellerdir. Bu özellikleri sebebiyle, lif katkılı matris tasarıma sahip çimento bağlayıcılı levha elemanların, gürültü bariyeri uygulamalarında bir sistem bileşeni olarak analizi amacıyla, 10 mm × 1250 mm × 2500 mm boyutlarında ve 12 mm × 1250 mm × 2500 mm boyutlarında düz yüzeyli iki alternatif çimento bağlayıcılı levhanın performansı irdelenmiştir. Çimentolu levhaların kalınlığı model tasarımına göre seçilmiştir.

Ekleme kaybı, kaynağın ses seviyesinde bir değişiklik olmadığı varsayılarak, bir ses bariyeri olan ve olmayan bir alıcı konumundaki ses seviyesindeki fark olarak tanımlanır. Çoğu durumda, gürültü kaynağı ile diğer ölçüm mikrofonları arasına doğrudan bariyerin üzerinde 1,5 m yükseklikte ve ses kaynağından en aza indirmek için yeterli bir mesafeye bir referans mikrofon yerleştirilir. Ses bariyeri ölçümleri için laboratuvarında bir düzenek hazırlanmıştır. Bu düzeneğin sembolik gösterimi Şekil 3.10'da verilmiştir.

DeneySEL ölçümlerde aşağıda belirtilen teçhizat ve donanımlar kullanılmıştır:

- 10 Hz'den 1 MHz değerine kadar sinyal üretebilme kabiliyetine sahip GAG-809/810 model Ses Sinyal Üretici. Cihazın çıkış empedansı 600 Ω 'dur.
- Giriş sinyal genliklerinin daha büyük genlikli sinyallere yükseltilmesini sağlayan SONORA Marka mono amplifikatör (amfi). Amfi 600 Ω 'luk mikrofon girişinin 5V rms sinüs ile sürülmesiyle, 4 Ω empedanslı hoparlöre maksimum 60W ses gücü verebilmektedir.
- Amfiden alınan enerjiyi ses enerjisine dönüştüren çok yönlü hoparlör.
- 30–130 dB ses şiddeti seviyesi aralığında, 0,1 dB çözünürlük ile ölçüm yapılabilme hassasiyetine sahip ses seviyesi ölçer, (desibelmetre).
- Kalibratör
- Tripod



Şekil 3.10 : Gürültü bariyeri ölçüm sistematığı sembolik görünümü.

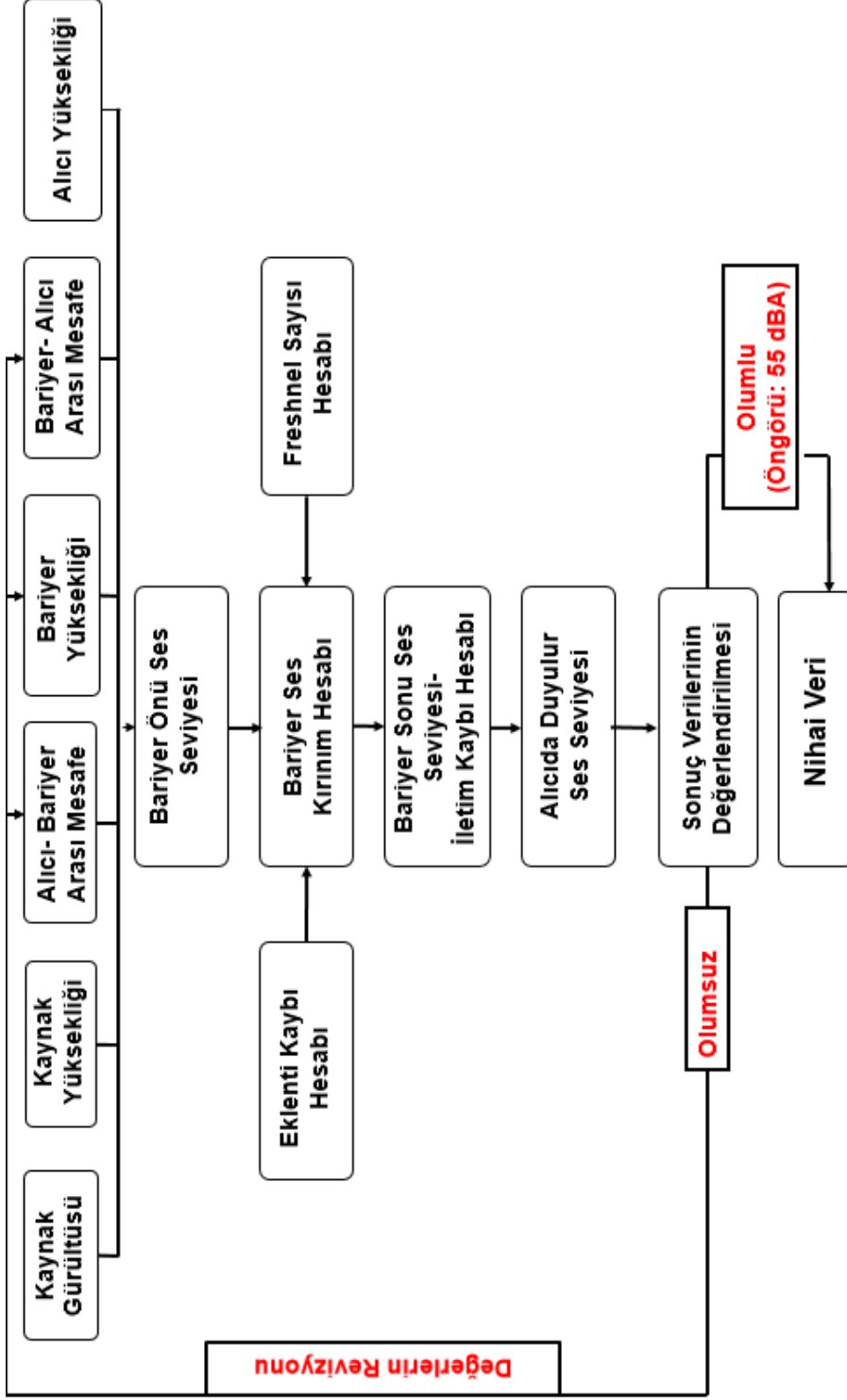
İlk veri toplanmasından önce, tüm akustik enstrümantasyon sistemi kalibre edilmiştir. Tüm ölçümler stabil bir ortam koşulunda gerçekleştirilmiştir. Test ölçümlerine başlamadan önce standartlarda öngörülen 1/3 oktav bandındaki frekans değerlerine göre alıcı ve kaynak arasında herhangi bir bariyer birimi olmadan ilk referans ölçümleri yapılmıştır. Her bir frekansa karşılık gelen ölçüm değeri liste halinde kaydedilir. Bu kaydedilen liste halindeki ilk ölçüm, deneyin referans ölçüm değerleri olarak kabul edilmiştir.

Referans ölçümünden sonra, ölçümü yapılacak olan bariyer paneli yerine yerleştirilir. İlk referans ölçümünde kullanılan frekans değerlerinde yeniden ölçümler yapılır. Bu yeni ölçüm ikinci fon ölçümü olarak kaydedilir. Böylece bu ölçümle plakanın soğurduğu ses şiddeti belirlenebilmektedir. Her bir frekans değerine karşılık gelen ilk fon ölçümleri ile ikinci fon ölçümleri arasındaki değer farklılıkları ölçülen malzemenin ses yalıtım değeri olarak belirlenir. İlk ölçülen ve son ölçülende önemli ölçüde değişme varsa referans mikrofonda gözlenen kalibrasyon kontrolü tekrar yapılmalıdır. Her kaynak alıcı çifti için bariyer ekleme kaybı hesaplanır. Ortalama bariyer ekleme kaybını, aritmetik olarak bireysel örnekleme periyotlarındaki ekleme kaybı değerlerinin ortalaması olarak hesaplanır. Çalışma hedeflerine göre ortalama ekleme kaybı değerlerinin bir değerlendirmesini yapılır.

Bu tez çalışması için farklı kalınlık ve farklı yoğunlukta çimento esaslı levha örnekleri piyasadan temin edilerek hazırlanmış ve bu örneklerle 1/3 oktav bant frekans değişiminde ses geçiş kaybı karakteristikleri “dB” biriminde deneysel olarak analiz edilmiştir. Bununla birlikte bu levha örnekleri karayolları için farklı tasarımlarla modellenmiş gürültü bariyeri uygulamalarında kullanılıp kullanılmayacağı analiz edilmiş olup, tasarımlar arası gürültü bariyer performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen teknik bulgular, bu araştırmanın bir sonraki aşaması olarak, farklı tasarım koşulları için simülasyonların uygulanabildiği EXCEL tabanlı bir programda irdelenmiştir.

3.2.2 Gürültü bariyeri simülasyon program modülü

Deneysel analizlerde gürültü bariyeri olarak oluşturulan örneklerin ölçüm prensibi Şekil 3.8’de sembolik olarak gösterilmiş olup, ISO 717-1 standardında öngörülen 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığında frekansa bağlı ses geçiş kaybı değerleri ölçülerek belirlenmiştir. Araştırma çalışmasının bu aşamasında ise, deneysel ölçümlerden elde edilen verilerin ışığında hem tez çalışmasının bulgularının analizini yapabilmek, hem de gürültü bariyeri olarak farklı kesit bileşeni tasarım sonuçlarını da irdeleyebilmek amacıyla EXCEL tabanlı basitleştirilmiş ve yalın hesaplamaların yapılabildiği bir simülasyon modül yazılımı hazırlanmıştır. Bu simülasyon modülünün akış şeması Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Bariyer malzemesinin ses seviyesinin azaltım değerleri, bariyer önü ve bariyer arkasındaki ortam özellikleri de simülasyondaki hesaplamalara dahil edilerek daha rasyonel sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.11 : Simülasyon modülü yazılımının akış şeması.

Freshnel Sayısı Hesabı (N)

Bariyerin etrafından dolanan ses dalgaları bariyerin üzerinden geçerken birçok kez kırılır ve bunun sonucunda dağılır. Kırılarak dağılan ses dalgaları havadaki sürtünmeden, rüzgârdan ve nem oranından etkilenecek şekilde kuvvetini yitirir. Dolayısıyla gürültü duvarı ses dalgalarının alacağı mesafeyi uzatarak ses dalgalarının kuvvetinin azalmasına olanak sağlar. Böylece yerleşim alanlarına ulaşan ses şiddeti makul değerlere indirilmiş olur [73].

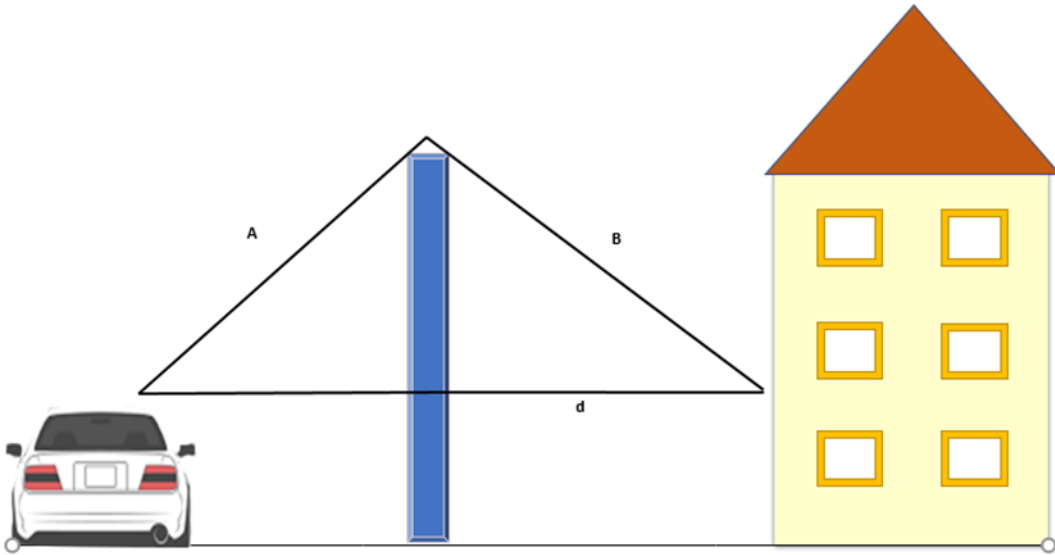
Freshnel sayısı hesaplaması için Şekil 3.12'deki görsel kullanılarak aşağıdaki eşitlik 3.1 ile hesaplanabilir;

$$N = (A + B - d) / \lambda \quad (3.1)$$

N = Freshnel sayısı

(A + B - d) = Şekil 3.9'dan hesaplanabilir, (m)

λ = Sesin dalga boyu, (m)



Şekil 3.12 : Freshnel sayısının hesaplanmasındaki değişken parametreler.

Eklenti Kaybı Hesabı (IL)

Kaynak ve alıcı arasında bir bariyer yerleştirilerek sağlanan ses azaltma, Ekleme Kaybı (IL) olarak adlandırılır [72]. Sayısal büyüklüğü ise aşağıdaki eşitlik 3.2 ile tanımlanabilmektedir;

$$IL = L (\text{önce}) - L (\text{sonra}) \quad (3.2)$$

L (önce): bir bariyer yerleştirilmeden önce mevcut olan gürültü seviyesi

L (sonra): aynı bariyer eklendikten sonra mevcut olan gürültü seviyesi

İletim Kaybı Hesabı (TL)

Eğer ses dalgaları içinde yol aldıkları ortamdan farklı yoğunlukta veya esneklikte bir engelle karşılaşırlarsa enerjinin bir kısmı yansıtılır, bir kısmı da yutulur (veya ısıya dönüştürülür) ve kalan bölümü de yoluna devam eder. Bir malzemedan geçen sesin zayıflaması İletim Kaybı (TL) olarak adlandırılır [72].

Gürültü duvarı malzemeleri, 100 Hertz ila 5000 Hertz arasındaki tüm üçte bir oktav bandında 20 dB' ye eşit veya daha fazla bir ses iletim kaybı elde etmek için gereklidir.

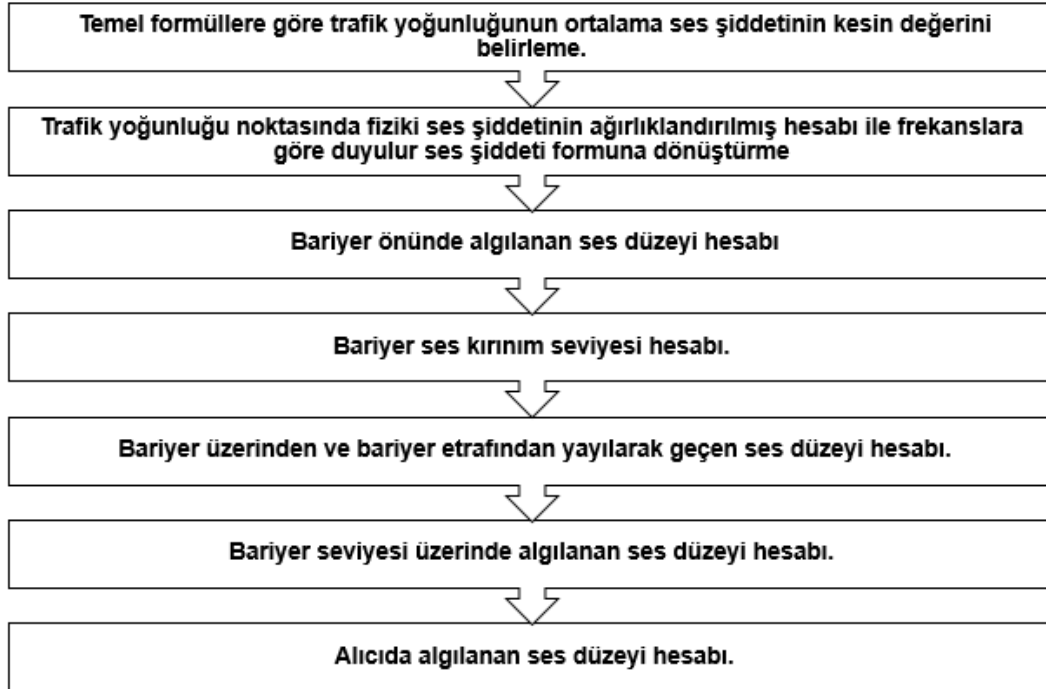
Genel bir kural olarak, 24 kg/m² veya daha fazla ağırlığa sahip herhangi bir malzeme, en az 20 dBA iletim kaybına sahip olduğu kabul edilmektedir. Bir bariyerin ses iletim kaybı, bariyerin üzerinde planlanan zayıflamadan en az 10 desibel daha yüksek olmalıdır [73]. Örneğin, bir gürültü bariyeri bir alıcıdaki gürültü seviyesini 8 dBA oranında azaltmak için tasarlanmışsa, bariyerin TL'si en az 18 dBA olmalıdır.

Bariyerlerden elde edilebilecek maksimum değer 25 dBA'dır. Bu nedenle malzeme seçiminde TL değeri 35 dBA veya daha fazla olan bir malzemenin seçilmesi her durum için yeterli olacaktır. Bu çalışma kapsamında yukarıda özetle ifade edilen teknik kabul ve yaklaşımlar baz parametre olarak dikkate alınmıştır.

Bu tez çalışmasında yukarıda tanımlanan simülasyon modülü kullanılarak üç farklı irdeleme yapılmıştır. Bunlar:

1. Birinci irdeleme; deneysel olarak fiili yapılan analiz bulguları ile bu bulguların simülasyon modülüne göre hesaplama bulgularının örtüşmesi analizidir.
2. İkinci irdeleme; sabit kesitli farklı tasarım parametrelerine sahip gürültü bariyer koşullarının ve en uygun bariyer yüksekliğinin belirlenmesi analizidir.
3. Üçüncü irdeleme ise bir önceki irdeleme bulgularının ışığında, optimum ses seviyesinin azaltım değerini sağlayabilecek en uygun bariyer-alıcı arasındaki mesafenin belirlenmesi analizidir.

Tablo 3.3 : Excel tabanlı simülasyon programı temel hesaplama aşamaları



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

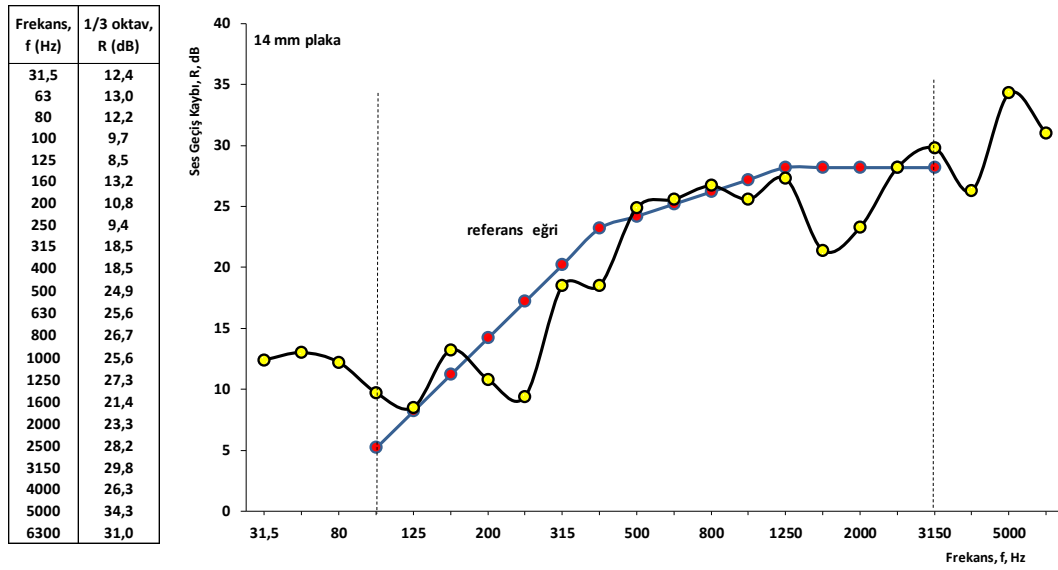
4.1 Plakaların Ses Geçiş Kaybı Özelliklerinin İrdelenmesi

Gürültü bariyerlerinin sistem olarak uygulanabilirliği için dünyada yaygın olarak kabul edilen kriterlerin başında ağırlıklı ses azaltma indeksi değerinin, $R_w = 35$ dBA değerini sağlayabilmesi öngörülebilmektedir. Genel bir kural olarak, 24 kg/m^2 veya daha yüksek bir yoğunluk değerine sahip herhangi bir malzeme, en az 20 dBA iletim kaybına neden olduğu düşünülmektedir. Böyle bir malzemenin bariyerden geçerken uğrayacağı kırınım nedeniyle en az 10 dBA ses azaltımı sağladığı kabul edilmektedir. Daha yaşanabilir ve minimum düzeyde gürültüsüz ortamlar sağlayabilmek amacıyla tasarlanan gürültü bariyerlerinden daha yüksek verim elde edebilmek için gürültü bariyerinin kesit bileşenlerini oluşturacak malzemelerin tekil durumda her birinin ses geçiş kaybı özelliklerinin de yüksek performans değerlerinde olması son derece önem arz etmektedir.

400 mm × 400 mm yüzey alanlı olarak hazırlanmış farklı kalınlık değerlerine sahip çimento bağlayıcılı lif katkılı levha örneklerinin tekil plaka elemanı olarak ISO 717-1 standardında öngörülen 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki her bir frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri tekil birim elemanlar bazında öncelikle ele alınmış olup, bir ses bariyeri sisteminde bileşen olarak kullanılıp kullanılmayacakları Bölüm 3.2, Madde 3.2.1’de detayları verilen tek odalı ve bir yüzü açık ses yalıtım ölçüm yöntemi uygulanarak laboratuvar ölçümleri yapılmıştır. Çimento bağlayıcılı düz yüzeyli levhaların grafiksel analizi Şekil 4.1 – Şekil 4.8’de verilmiş olup, yekpare harç katmanlı ve sandviç kesitli kompozit plaka örneklerinin grafiksel analizi ise Şekil 4.9 – Şekil 4. 14’de verilmiştir. Bu analizlerde özellikle 100 Hz- 3150 Hz frekans aralığı ağırlıklı olarak dikkate alınmıştır. Bu aralık insanlar tarafından duyulabilir ses frekansı aralığı olarak kabul edilir. Bu ses frekans aralık değerinin altı ve/veya üstü insanlar tarafından kolaylıkla algılanamayan frekans değerleri olarak kabul edilebilmektedir. Sonuç olarak bu grafiklerden elde edilen R_w

değerleri ile 500 Hz ile 1000 Hz frekanslarındaki ses geçiş kaybı değerleri ve plakaların yoğunlukları, kodlarıyla birlikte Tablo 4.1’de karşılaştırmalı olarak verilmiş ve analizleri yapılmıştır.

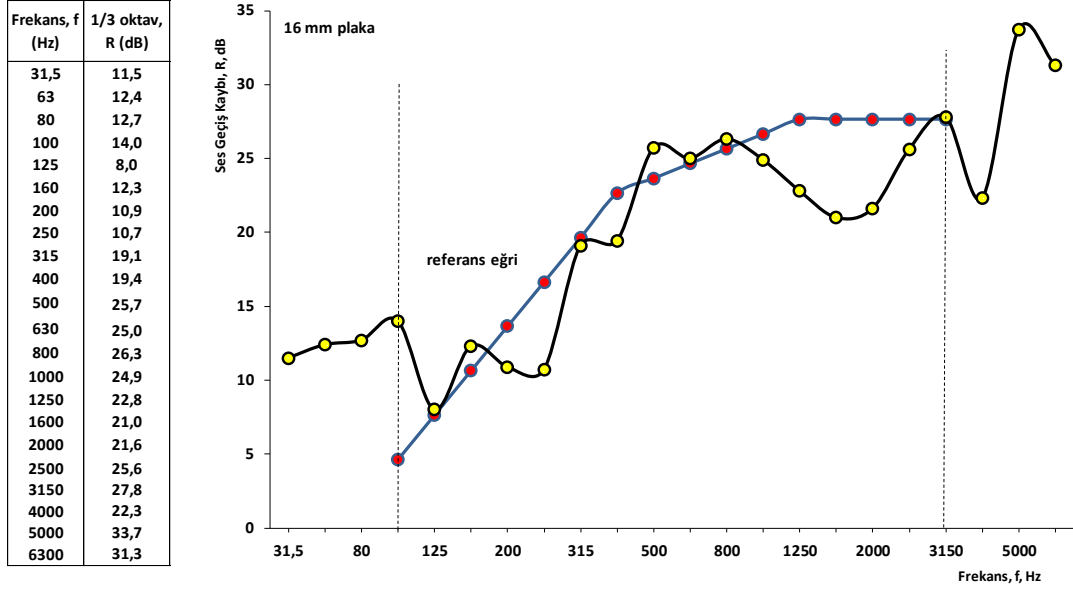
Şekil 4.1’de PLK1 kodlu 21,2 kg/m² yüzey yoğunluğundaki çimento bağlayıcılı lif katkıli levha örneğinin, tek odalı ve bir yüzü açık ses ölçüm düzeneğiyle elde edilmiş 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.1 : PLK1 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.1 irdelendiğinde, 21,2 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplamaya göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 24,2 dB olarak elde edilmiştir. Grafiksiz analiz genel olarak irdelendiğinde, referans eğriye yakınsak kabul edilebilecek bir performans sergilendiği görülebilmektedir.

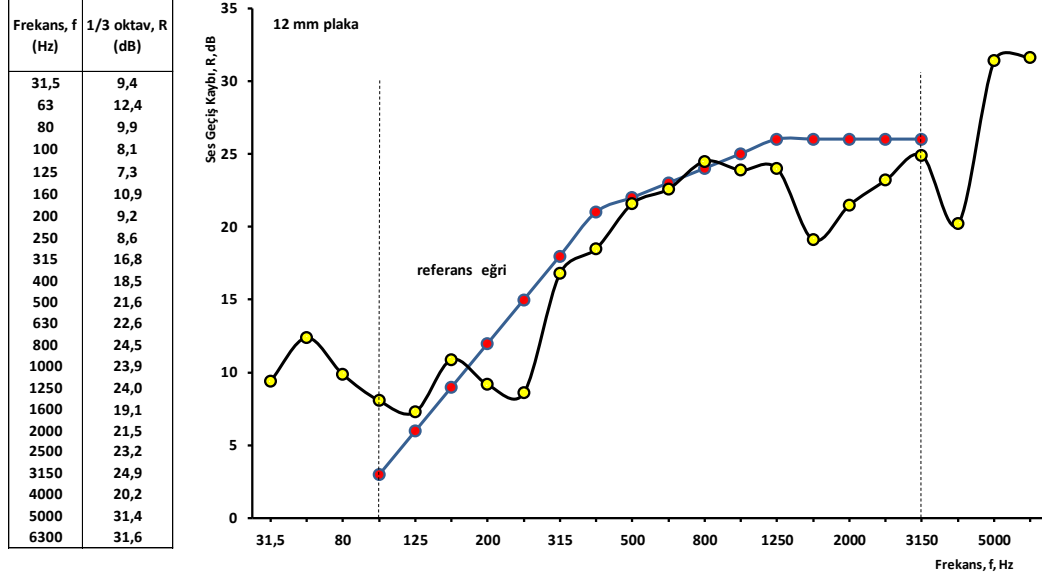
PLK2 kod isimli 21,6 kg / m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin, tek odalı ve bir yüzü açık ses ölçüm düzeneğiyle elde edilmiş 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : PLK2 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.2 incelendiğinde, PLK2 kodlu 21,6 kg/m² yüzey yoğunluğuna sahip levha örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplamaya göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 23,7 dB olarak elde edilmiştir.

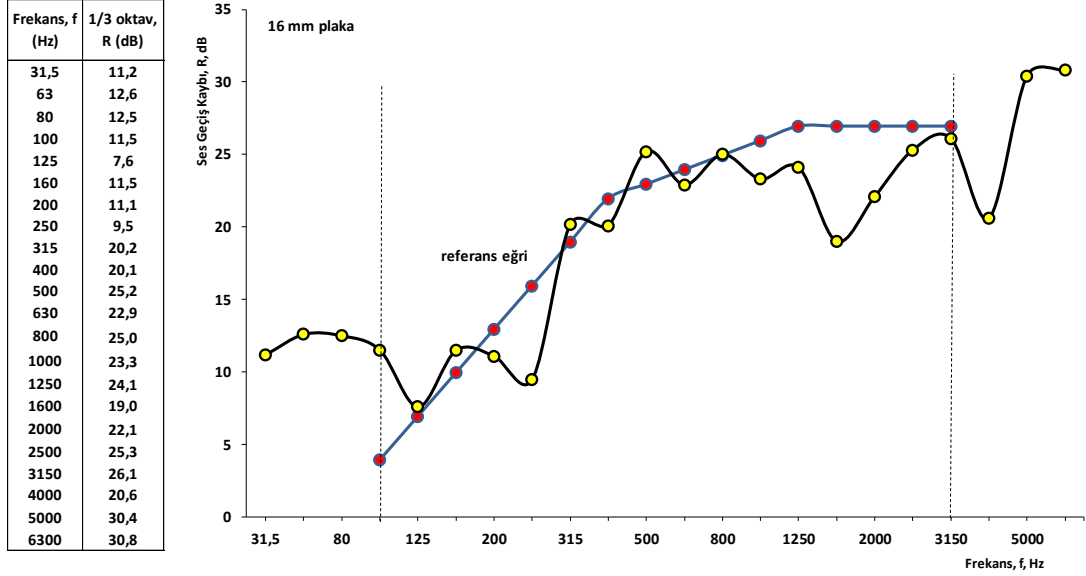
Şekil 4.3'te PLK3 kod adıyla, 16,6 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.3 : PLK3 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.3 irdelendiğinde, çimento bağlayıcılı levha örneğinin hesaplanan Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 22 dB olarak elde edilmiştir.

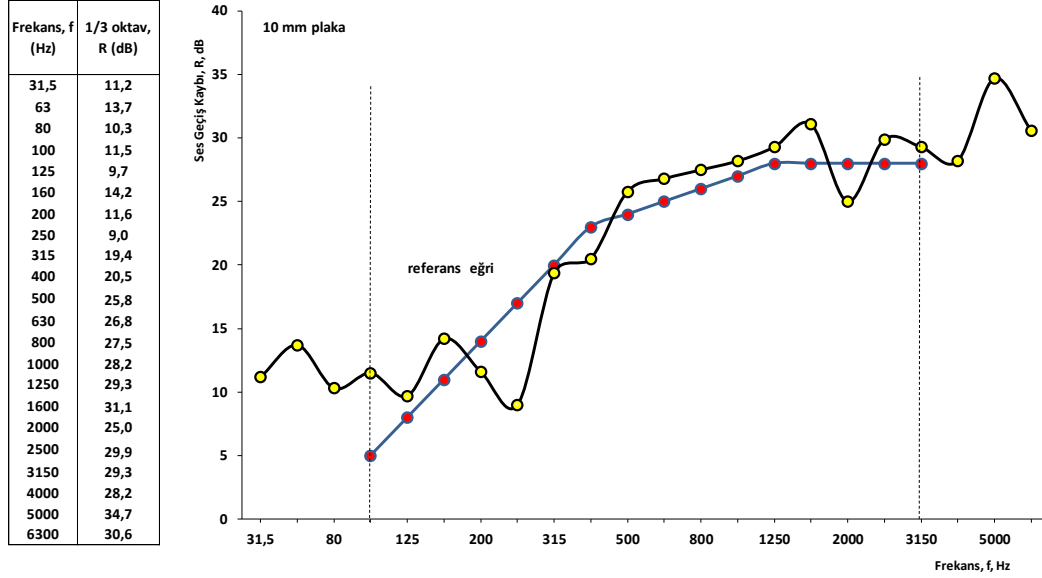
PLK4 kodlu 22,5 kg/ m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : PLK4 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.4'te 22,5 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin hesaplanan Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 22,9 dB olarak bulunmuştur.

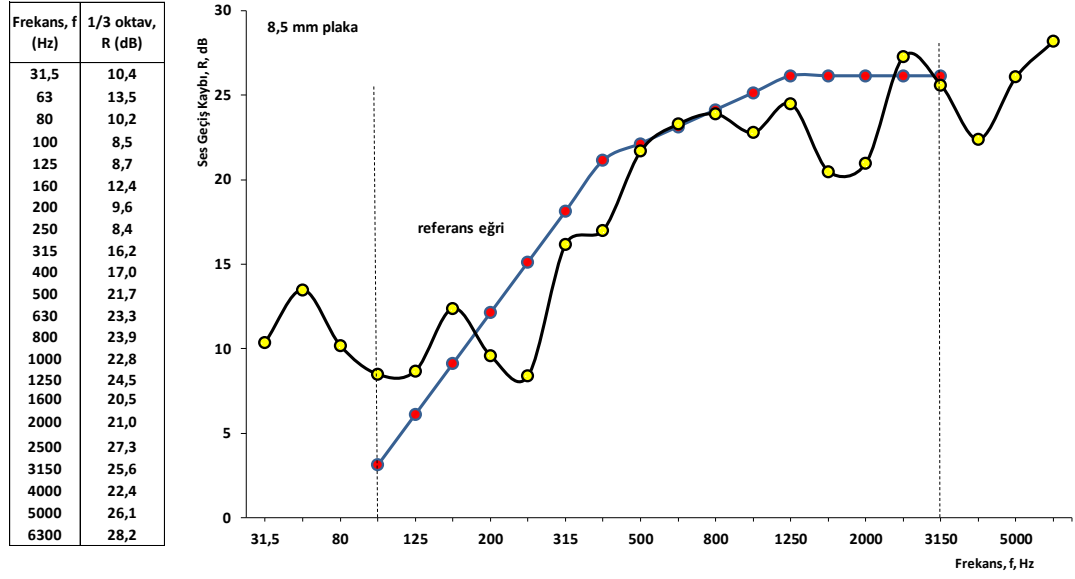
PLK5 kodlu 14,3 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : PLK5 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.5 irdelendiğinde, 14,3 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplamaya göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 24 dB olarak elde edilmiştir. Grafikselleştirildiğinde, referans eğriye yakınsak kabul edilebilecek bir performans sergilendiği görülebilmektedir.

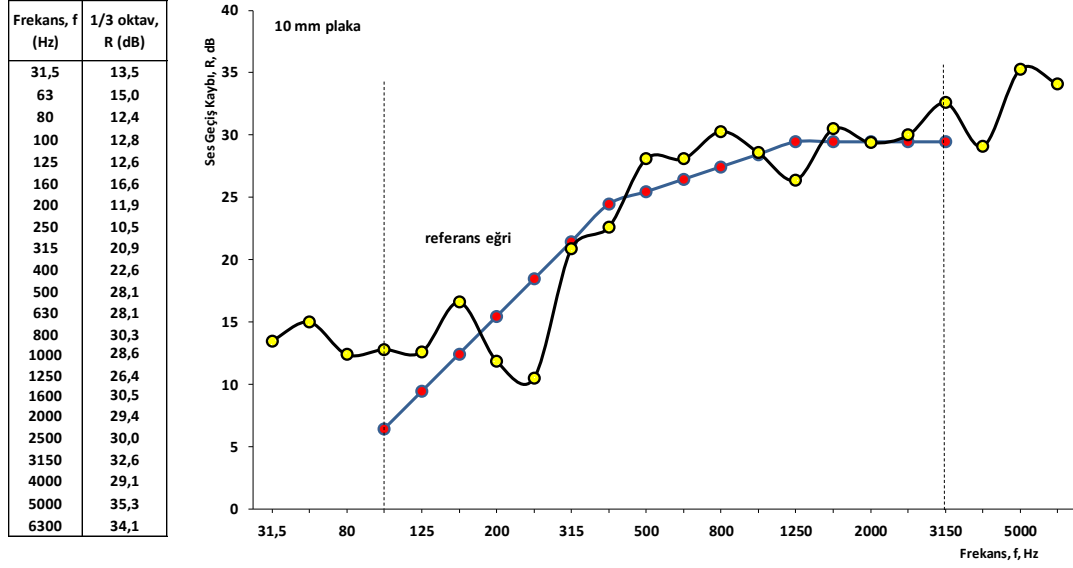
Şekil 4.6’da PLK6 kodlu 6,4 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.6 : PLK6 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.6 irdelendiğinde 6,4 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplama göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 22,2 dB olarak elde edilmiştir.

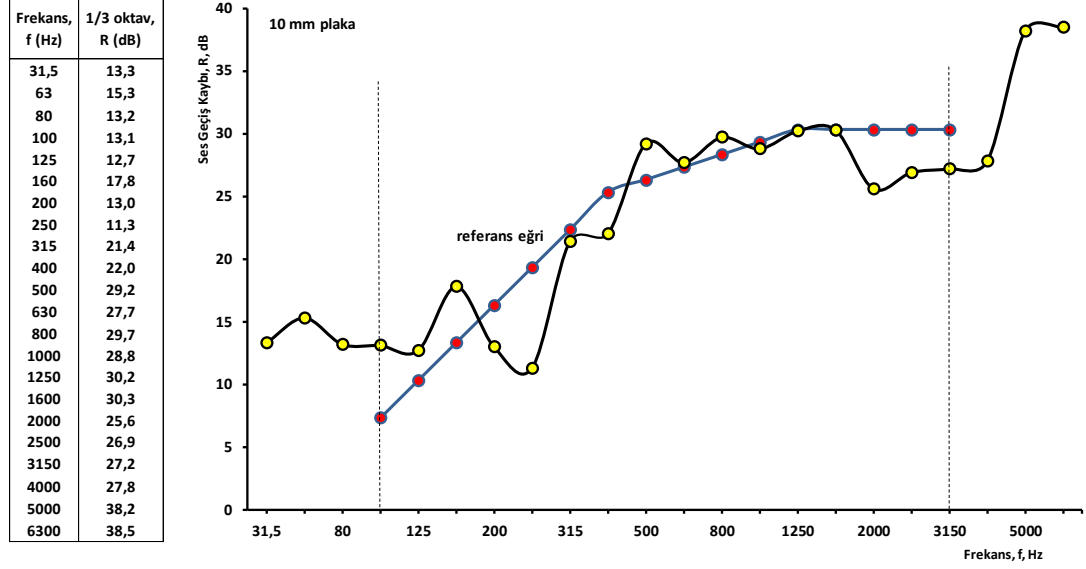
Şekil 4.7’de, 13,5 kg/m² yüzey yoğunluğundaki PLK7 kodlu levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.7 : PLK7 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi

Şekil 4.7 irdelendiğinde, 13,5 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin hesaplanan Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 25,5 dB olarak elde edilmiştir.

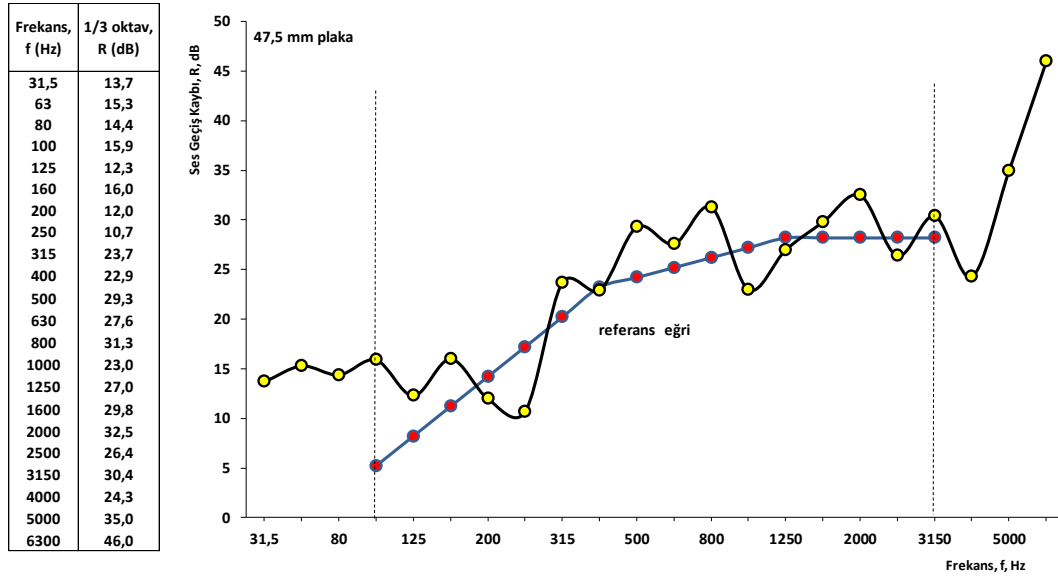
PLK8 kodlu 14,8 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin Şekil 4.8’de, 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.8 : PLK8 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.8 irdelendiğinde, 14,8 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplama göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (Rw) değeri 26,3 dB olarak elde edilmiştir. Grafiksiz analiz genel olarak irdelendiğinde, referans eğriye yakınsak kabul edilebilecek bir performans sergilendiği görülebilmektedir.

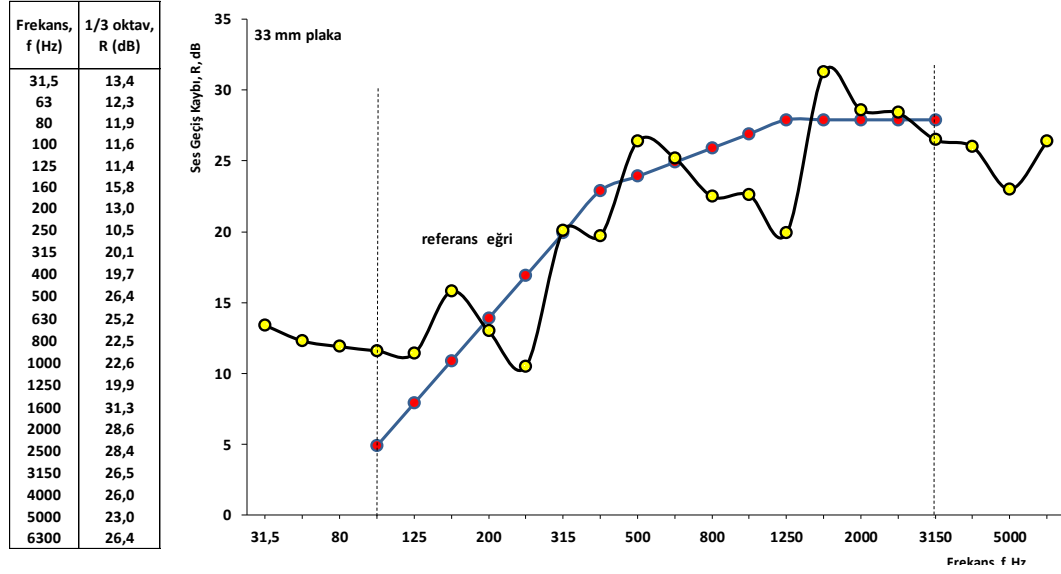
Şekil 4.9 – Şekil 4.14 aralığındaki grafikler farklı kalınlık ve yoğunluktaki sandviç kesitli kompozit harç levhalarının ses geçiş kaybı değerlerini göstermektedir. PLK9 kodlu 12,4 kg/m² yüzey yoğunluğundaki perlit agregalı kompozit harçlı levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 : PLK9 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.9 irdelendiğinde, 260,5 kg/m³ yoğunluktaki kompozit levha örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplamaya göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 25,7 dB olarak elde edilmiştir.

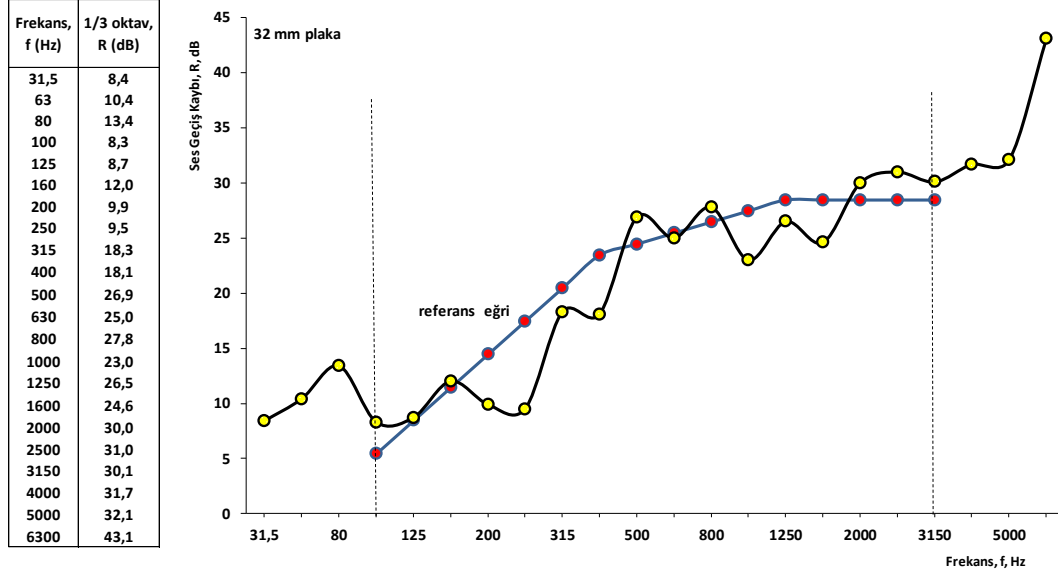
Aşağıda Şekil 4.10'da PLK 10 kodlu 27,03 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.10 : PLK10 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.10 grafiği incelendiğinde, 27,03 kg/m² yüzey yoğunluğundaki pomza agregalı kompozit plaka örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplamaya göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 23,9 dB olarak elde edilmiştir.

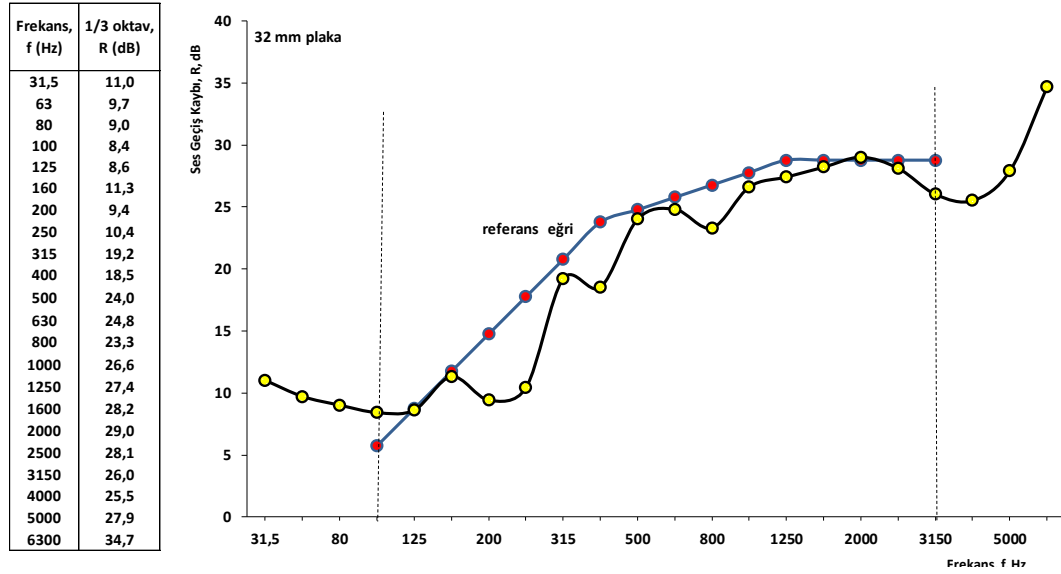
Aşağıda Şekil 4.11’de PLK11, 12,9 kg/m² yüzey yoğunluğundaki bir yüzeyi delikli suni kauçuk plaka ile kaplanmış kompozit harç plaka örneği 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.11 : PLK11 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.11 grafiği irdelendiğinde, 12,9 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplamaya göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 24,5 dB olarak elde edilmiştir.

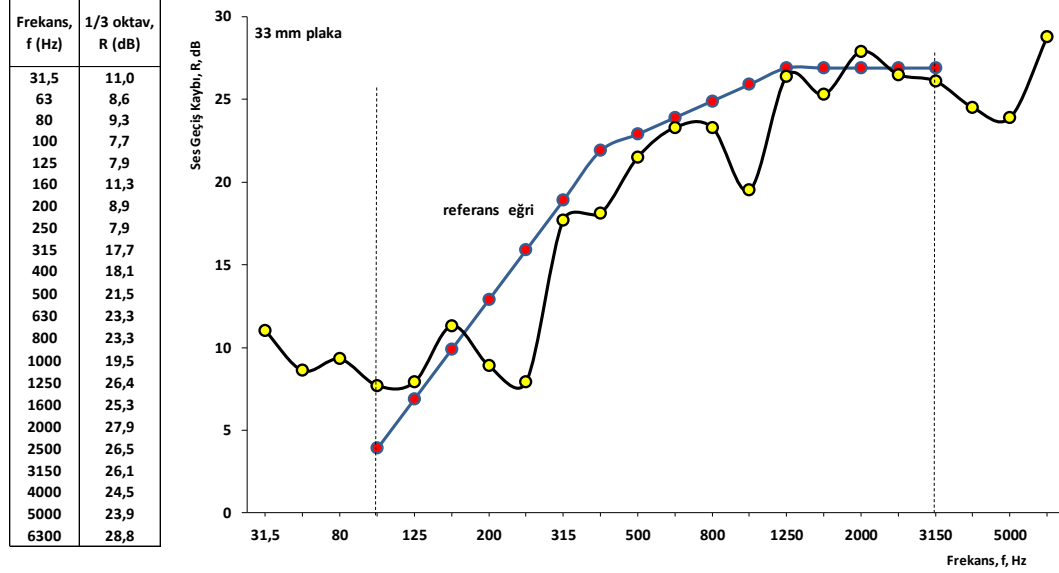
Şekil 4.12’de PLK12 kodlu levhaya ait 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.12 : PLK12 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.12 irdelendiğinde, 12,96 kg/m² yüzey yoğunluğundaki suni kauçuk katmanlı kompozit harçlı sandviç plaka örneğinin hesaplanan Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 24,8 dB olarak elde edilmiştir.

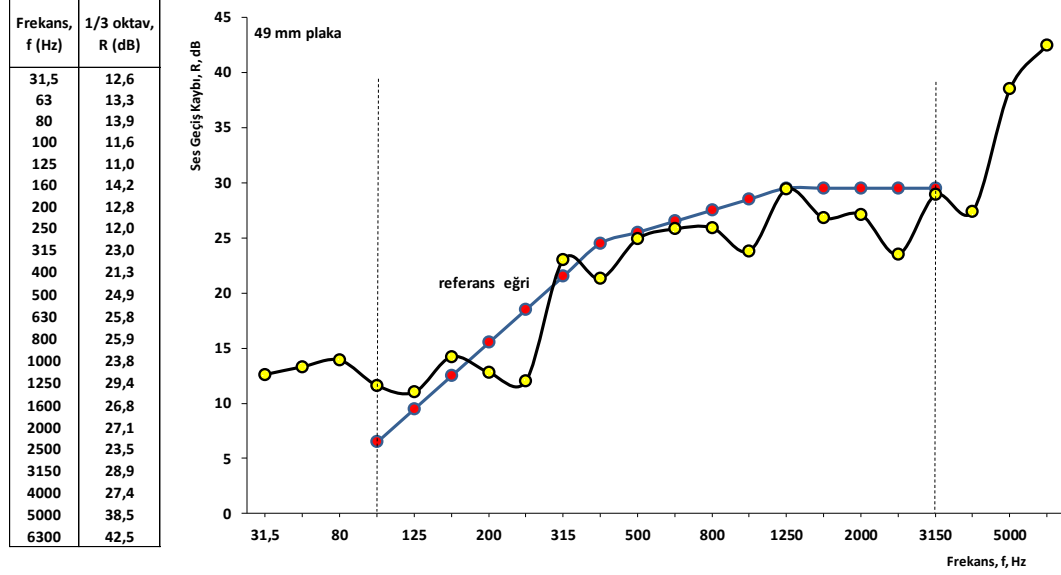
Şekil 4.13’de, 22,9 kg/m² yüzey yoğunluğundaki PLK13 kodlu pomza ve genişmiş perlit agrega katkılı çimentolu levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.13 : PLK13 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.13 grafiği incelendiğinde, 13,16 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin hesaplanan Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 22,9 dB olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.14'te PLK14 kodlu, 19,81 kg/m² yüzey yoğunluğundaki levha örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses geçiş kaybı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.14 : PLK14 kodlu levha örneğinin frekansa bağlı ses geçiş kaybı analizi.

Şekil 4.14 irdelendiğinde, 19,81 kg/m² yüzey yoğunluğundaki hafif beton plaka örneğinin ISO 717-1 standardında öngörülen hesaplamaya göre Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi (R_w) değeri 25,5 dB olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.1 : Çimento bağlayıcılı plakaların yoğunluk ve ses geçiş kaybı özellikleri.

| Numune Kodu | Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³) | Yüzey Yoğunluğu (kg/m ²) | R ₅₀₀ (dB) | R ₁₀₀₀ (dB) | R _w (dB) |
|-------------|--|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| PLK1 | 1516 | 21,2 | 24,9 | 25,6 | 24,2 |
| PLK2 | 1349,9 | 21,6 | 25,7 | 24,9 | 23,7 |
| PLK3 | 1381,9 | 16,6 | 21,6 | 23,9 | 22,0 |
| PLK4 | 1409,2 | 22,5 | 25,2 | 23,3 | 22,9 |
| PLK5 | 1430 | 14,3 | 25,8 | 28,2 | 24,0 |
| PLK6 | 758,7 | 6,5 | 21,7 | 22,8 | 22,2 |
| PLK7 | 1345,6 | 13,5 | 28,1 | 28,6 | 25,5 |
| PLK8 | 1476,9 | 14,8 | 29,2 | 28,8 | 26,3 |
| PLK9 | 26,1 | 12,4 | 29,3 | 23,0 | 25,7 |
| PLK10 | 819,1 | 27,0 | 26,4 | 22,6 | 23,9 |
| PLK11 | 403,1 | 12,9 | 26,9 | 23,0 | 24,4 |
| PLK12 | 405,1 | 13,0 | 24,0 | 26,6 | 25,1 |
| PLK13 | 398,7 | 13,2 | 21,5 | 19,5 | 22,4 |
| PLK14 | 404,2 | 19,8 | 24,9 | 23,8 | 25,5 |

Tablo 4.1 irdelendiğinde, 500 Hz ve 1000 Hz frekanslarındaki ses geçiş kaybı değerlerinin R_w değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Bu değerlere göre bu elemanlardan özellikle yüzey yoğunluğu yüksek olan bileşenlerin gürültü bariyeri uygulamasında ana bileşen olarak kullanılabilmesi görülmekle birlikte, düşük yüzey yoğunluklu bileşenlerin ise ses bariyerinde sandviç kesit elemanı ve/veya ses absorbanı dolgu materyali olarak kullanılabilmesi yorumlanabilmektedir.

4.2 Ses Bariyeri Olarak Kullanılacak Malzemenin İrdelenmesi

Ses geçiş kaybı özellikleri yukarıdaki bölümle ifade edilen değerlerle temsil edilen farklı kalınlıktaki levha örnekleri kullanılarak, 1250 mm × 2500 mm yüzey alanlı çerçeve biçiminde bir seri gürültü bariyeri amaçlı kompozit formda ses bariyeri test örnekleri (modelleri) oluşturulmuştur. Bu modellerin dördünde, bariyer sisteminde ortalama 8 mm kalınlıkta ve 35 kg/m³ yoğunlukta sentetik kauçuk esaslı bir ses absorbanı ile 50 mm kalınlıkta ve ortalama 110 kg/m³ yoğunlukta yalıtım keçesi sandviç elemanı oluşturulacak şekilde modellenmiştir. Toplamda oluşturulan sekiz farklı kompozit test örnek modelinin diğer dördünde ise, bu absorban materyal kullanılmamıştır. Tüm kompozit modellerdeki bariyer çerçevesinin bir kısmında orta kısımda ortalama 70 mm ve bir kısmında ise 20 mm hava boşluğu olacak şekilde modeller de tasarlanmıştır. Tasarlanan tüm bu modellerin deneysel analizi Bölüm 3.2, Madde 3.2.1’de detayları verilen test analiz yöntemi uygulanarak laboratuvar ölçümleri yapılmıştır. Test edilen örnek kompozit modellerin geliştirilmiş kesit bileşenleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Deneysel ölçümlerde elde edilen bulgular ise grafiksel olarak Şekil 4.15 – Şekil 4.22’de verilmiştir.

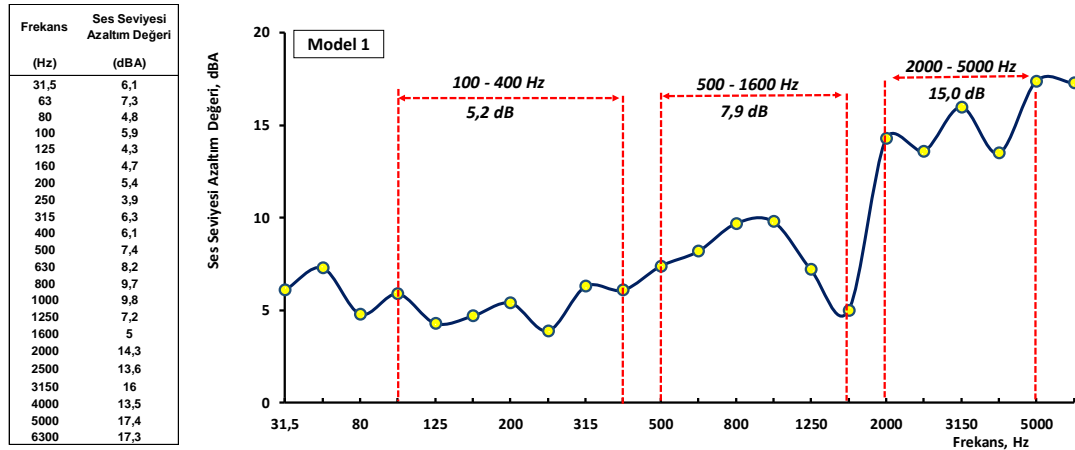
Tablo 4.2 : Kompozit formda gürültü bariyeri test modellerinin kesit bileşenleri, dizilimi ve özellikleri.

| | Model | Model | Model | Model | Model | Model | Model | Model |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Çimentolu | | | | | | | | |
| Levha (mm) | 10 | 12 | 10 | 12 | 10 | 12 | 10 | 12 |
| Ses | | | | | | | | |
| Absorbanı (mm) | - | - | 8 | 8 | - | - | 8 | 8 |
| Hava | | | | | | | | |
| Boşluğu (mm) | 70 | 70 | 70 | 70 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Yalıtım | | | | | | | | |
| Keçesi (mm) | - | - | - | - | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Ses | | | | | | | | |
| Absorbanı (mm) | - | - | 8 | 8 | - | - | 8 | 8 |
| Çimentolu | | | | | | | | |
| Levha (mm) | 10 | 12 | 10 | 12 | 10 | 12 | 10 | 12 |

Şekil 4.15 – Şekil 4.22 detaylıca irdelendiğinde her bir kompozit modelin gürültü bariyeri olarak ses seviyesi azaltım performansı (alıcı tarafında algılanan ses basınç düzeyi) üç ayrı frekans aralık değerinde analiz edilmiştir: Bu frekans aralıkları; 100-400 Hz, düşük frekans bölgesi; 500-1600 Hz, orta düzey frekans bölgesi ve 2000-5000 Hz ise yüksek frekans bölgesi olarak tanımlanmıştır. Bu frekans bölgeleri

bağlamında her bir kompozit modelin performansları arasındaki farklar belirgin bir şekilde karşılaştırılabilmektedir.

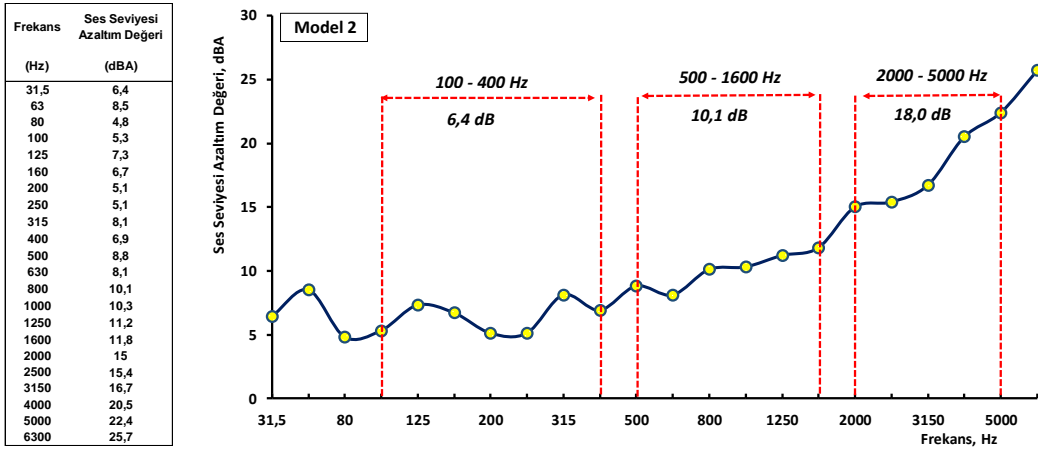
Kompozit formda gürültü bariyeri olarak tasarlanmış Model 1'e ait test örneğinin 1/3 oktav bant ve 31,5 Hz- 6300 Hz ses frekans aralığındaki ses seviyesi azaltım değeri değişimi Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : Kompozit Model 1- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı.

Şekil 4.15 detaylı irdelendiğinde görüleceği üzere, sadece 10 mm kalınlığındaki çimentolu levhanın kullanıldığı ve arada 70 mm hava boşluğu bulunan Model 1 tasarımında düşük frekans bölgesinde 5,2 dB, orta düzey frekans bölgesinde 7,9 dB ve yüksek frekans bölgesinde ise 15 dB'lik ses seviyesi azaltımı gözlenmiştir. Çimento bağlayıcılı lif katkılı levhaların gürültü bariyeri uygulamasında özellikle orta düzey ve yüksek frekans bölgelerinde daha etkin bir gürültü azaltım performansı sergileyebildiği görülmektedir.

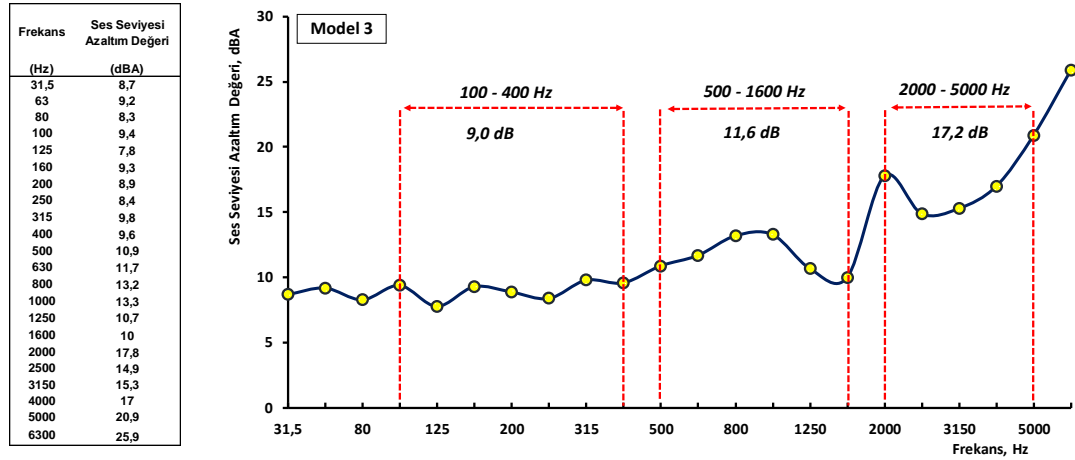
Şekil 4.16’da ses bariyeri kompozit model örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.16 : Kompozit Model 2- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı.

Şekil 4.16 grafiğinde, 12 mm kalınlığındaki çimentolu levhaların dış yüzeylerde kullanıldığı ve arada 70 mm hava boşluğu bulunan Model 2 tasarımında düşük frekans bölgesinde 6,4 dB, orta düzey frekans bölgesinde 10,1 dB ve yüksek frekans bölgesinde ise 18 dB’lik ses seviyesi azaltım performansı gözlenmiştir.

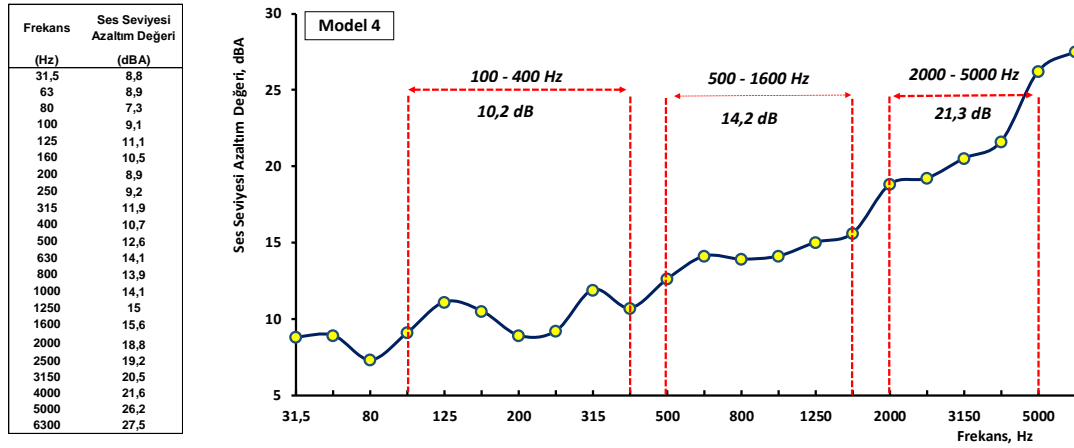
Şekil 4.17’de kompozit bariyer tasarımı örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz-6300 Hz) aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.17 : Kompozit Model 3- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı.

Şekil 4.17 grafiği irdelendiğinde elde edilen genel bulgular bağlamında, 10 mm kalınlığındaki çimentolu levhanın kullanıldığı, arada 70 mm hava boşluğu bulunan ve 8 mm’lik sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı uygulamasının yapıldığı Model 3 tasarımında düşük frekans bölgesinde 9 dB, orta düzey frekans bölgesinde 11,6 dB ve yüksek frekans bölgesinde ise 17,2 dB’lik ses seviyesi azaltım performansı gözlenmiştir. 10 mm kalınlığındaki Model 1 tasarımı ile karşılaştırıldığında düşük frekans bölgesinde 3,8 dB’lik, orta düzey frekans bölgesinde 3,7 dB’lik ve yüksek frekans bölgesinde ise 2,2 dB’lik performans farklılığı sergilediği gözlenmiştir. Bu bağlamda, bariyer örneklerinin düşük frekans bölgesinde elde edilen ve kısmen düşük olan ses seviyesi azaltım değeri performansı, sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı kullanımı ile daha iyileştirilebildiği ve bu frekans bölgelerinde de daha etkin bir ses seviyesi azaltım değeri performansı göstermesine olanak sağladığı anlaşılmaktadır

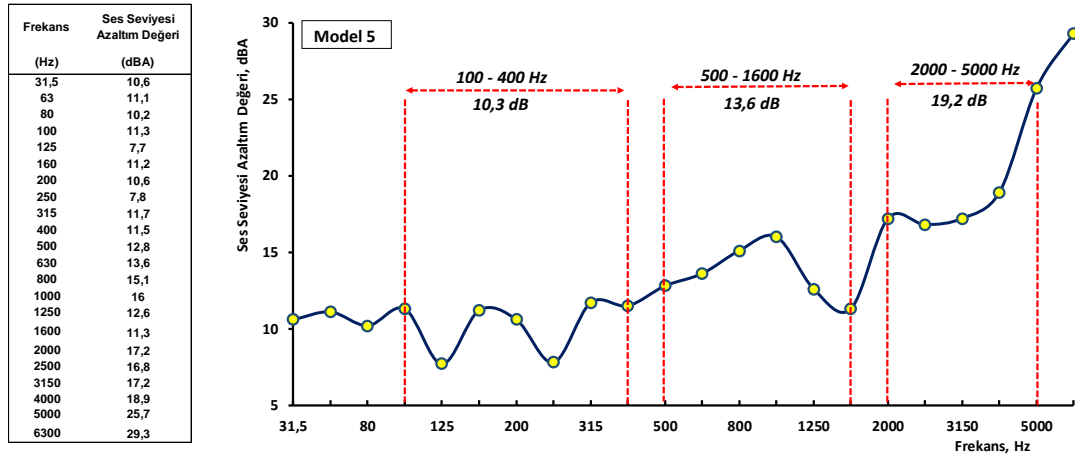
Şekil 4.18’de kompozit formda tasarlanmış bariyer örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.18 : Kompozit Model 4- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı.

Şekil 4.18 grafiğinde, 12 mm kalınlığındaki çimento bağlayıcılı lif katkılı levhaların her iki dış yüzeylerde kullanıldığı ve arada 70 mm hava boşluğu ile 8 mm’lik sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı uygulaması bulunan Model 4 tasarımında düşük frekans bölgesinde 10,2 dB, orta düzey frekans bölgesinde 14,2 dB ve yüksek frekans bölgesinde ise 21,3 dB’lik ses seviyesi azaltım performansı gözlenmiştir. 12 mm kalınlığındaki Model 2 tasarımı ile karşılaştırıldığında düşük frekans bölgesinde 3,8 dB’lik, orta düzey frekans bölgesinde 4,1 dB’lik ve yüksek frekans bölgesinde ise 3,3 dB’lik performans iyileştirmesi sergilediği gözlenmiştir. Bu bağlamda, 12 mm kalınlığındaki kompozit bariyer örneğinin sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı kullanımı ile tüm frekans bölgelerinde 3,3 dB ile 4,1 dB arasında daha etkin bir ses seviyesi azaltım değeri performansı göstermesine olanak sağladığı anlaşılmaktadır.

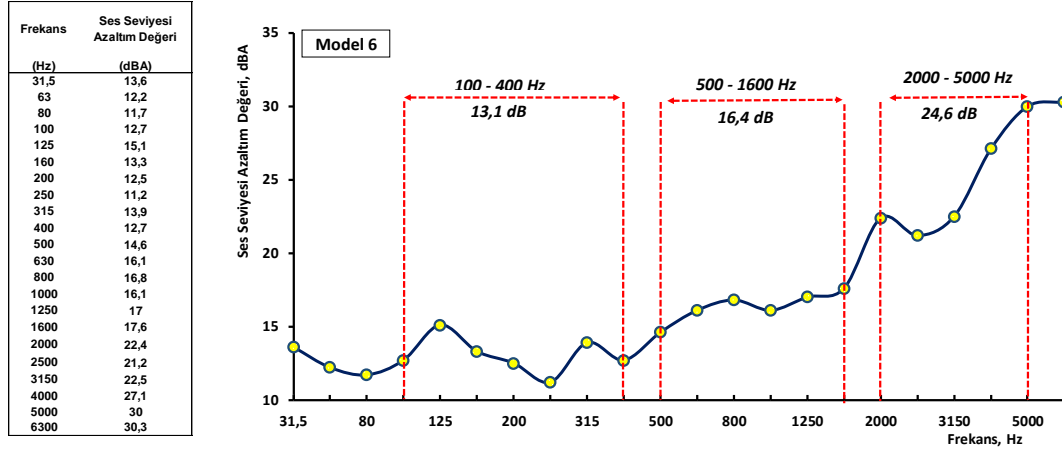
Şekil 4.19’da ses bariyeri levha örneğinin 31,5 Hz- 6300 Hz aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.19 : Kompozit Model 5- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı.

Bu irdelemeden elde edilen genel bulgular bağlamında, 10 mm kalınlığındaki çimentolu levhanın kullanıldığı, arada 20 mm hava boşluğu bulunan ve 50 mm kalınlığında yalıtım keçesi uygulamasının yapıldığı Model 5 tasarımında düşük frekans bölgesinde 10,3 dB, orta düzey frekans bölgesinde 13,6 dB ve yüksek frekans bölgesinde ise 19,2 dB’lik ses seviyesi azaltım performansı gözlenmiştir. 10 mm kalınlığında ve 70 mm kalınlığında hava boşluğu bulunan Model 3 tasarımı ile karşılaştırıldığında düşük frekans bölgesinde 1,3 dB’lik, orta düzey frekans bölgesinde 2 dB’lik ve yüksek frekans bölgesinde ise 2 dB’lik performans farklılığı sergilediği gözlenmiştir.

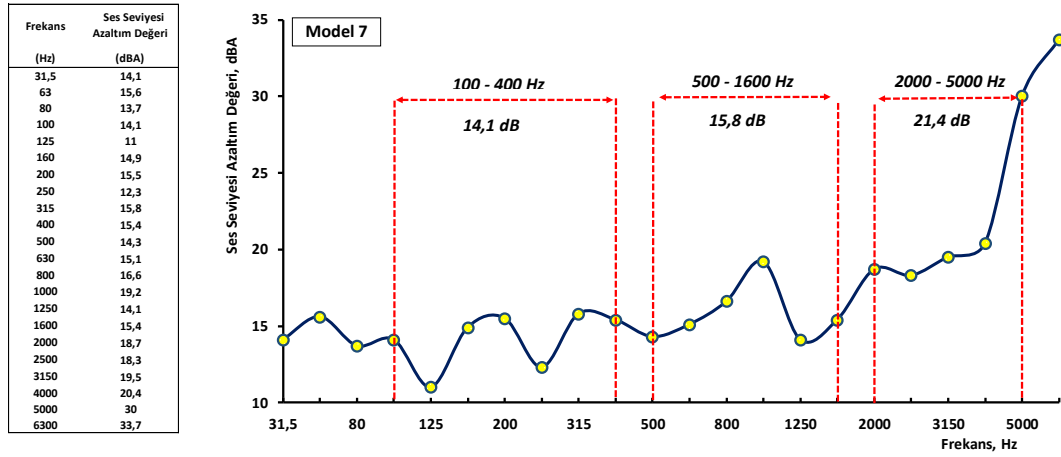
Şekil 4.20’de kompozit formda gürültü bariyeri olarak tasarlanmış örneğin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.20 : Kompozit Model 6- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı.

Şekil 4.20 grafiğinde, 12 mm kalınlığındaki çimento bağlayıcılı lif katkı levhaların her iki dış yüzeylerde kullanıldığı ve arada 20 mm hava boşluğu ile 50 mm kalınlığında yalıtım keçesi uygulamasının yapıldığı Model 6 tasarımında düşük frekans bölgesinde 13,1 dB, orta düzey frekans bölgesinde 16,4 dB ve yüksek frekans bölgesinde ise 24,6 dB’lik ses seviyesi azaltım performansı gözlenmiştir. 12 mm kalınlığındaki Model 4 tasarımı ile karşılaştırıldığında düşük frekans bölgesinde 2,9 dB’lik, orta düzey frekans bölgesinde 2,2 dB’lik ve yüksek frekans bölgesinde ise 2,2 dB’lik performans iyileştirmesi sergilediği gözlenmiştir. Bu bağlamda, 12 mm kalınlığındaki kompozit bariyer örneklerinin yalıtım keçesi kullanımı ile tüm frekans bölgelerinde yaklaşık 2,2 dB- 2,9 dB arasında daha etkin bir ses seviyesi azaltım değeri performansı göstermesine olanak sağladığı görülmektedir.

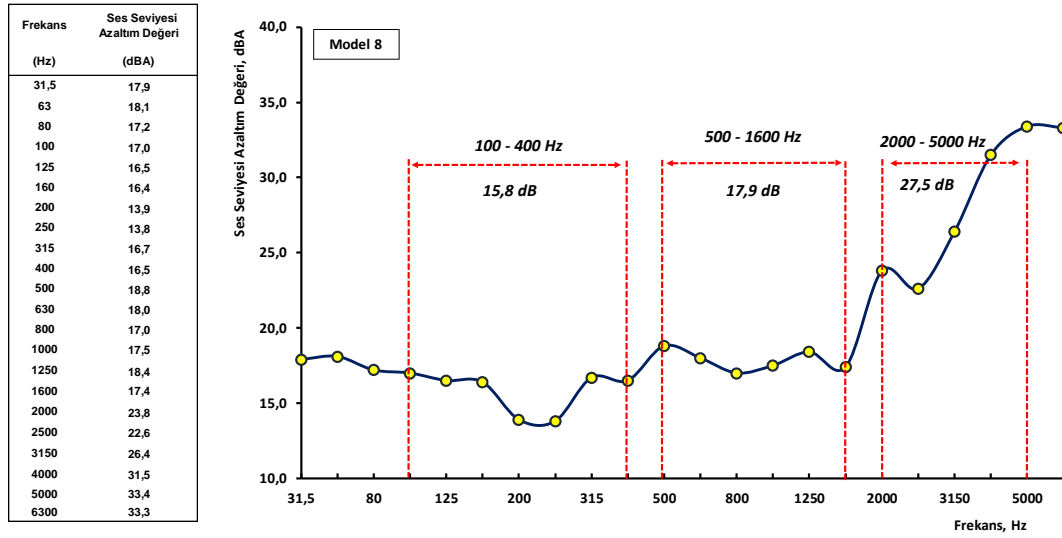
Şekil 4.21’de ses bariyeri örneğinin 1/3 oktav bant frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.21 : Kompozit Model 7- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı.

Bu irdelemelerden elde edilen genel bulgular bağlamında, 10 mm kalınlığındaki çimentolu levhanın kullanıldığı, arada 20 mm hava boşluğu bulunan, 50 mm kalınlığında yalıtım keçesi uygulaması ve 8 mm’lik sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı uygulamasının yapıldığı Model 7 tasarımında düşük frekans bölgesinde 14,1 dB, orta düzey frekans bölgesinde 15,8 dB ve yüksek frekans bölgesinde ise 21,4 dB’lik ses seviyesi azaltım performansı gözlenmiştir. 10 mm kalınlığında ve 50 mm kalınlığında hava boşluğu bulunan Model 5 tasarımı ile karşılaştırıldığında düşük frekans bölgesinde 3,8 dB’lik, orta düzey frekans bölgesinde 2,2 dB’lik ve yüksek frekans bölgesinde ise 2,2 dB’lik performans farklılığı sergilediği gözlenmiştir. Bu bağlamda, düşük frekans bölgesinde kısmen düşük olan ses seviyesi azaltım değeri performansı, yalıtım keçesi kullanımı ile düşük frekans bölgesinde dahil olmak üzere tüm frekans bölgelerinde daha etkin bir performans göstermesine olanak sağladığı anlaşılmaktadır.

Şekil 4.22’de, kompozit formda gürültü bariyeri olarak tasarlanmış ses bariyeri örneğinin 31,5 Hz- 6300 Hz aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.22 : Kompozit Model 8- frekansa bağlı gürültü bariyeri ses seviyesi azaltım değeri performansı.

Şekil 4.22 grafiğinde, 12 mm kalınlığındaki çimento bağlayıcılı lif katkılı levhaların her iki dış yüzeylerde kullanıldığı ve arada 20 mm hava boşluğu bulunan, 50 mm kalınlığında yalıtım keçesi uygulaması ve 8 mm’lik sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı uygulamasının yapıldığı Model 8 tasarımında düşük frekans bölgesinde 15,8 dB, orta düzey frekans bölgesinde 17,9 dB ve yüksek frekans bölgesinde ise 27,5 dB’lik ses seviyesi azaltım performansı gözlenmiştir. Model 6 tasarımı ile karşılaştırıldığında düşük frekans bölgesinde 2,7 dB’lik, orta düzey frekans bölgesinde 1,5 dB’lik ve yüksek frekans bölgesinde ise 2,9 dB’lik performans iyileştirmesi sergilediği gözlenmiştir. Bu bağlamda, 12 mm kalınlığındaki kompozit bariyer örneklerinin yalıtım keçesi kullanımı ile tüm frekans bölgelerinde yaklaşık 1,5 dB- 2,9 dB arasında daha etkin bir ses seviyesi azaltım değeri performansı gösterdiği görülmektedir.

Yukarıdaki tüm modellere ait karşılaştırmalı bulgular genel olarak Tablo 4.3'te özetle verilmiştir.

Tablo 4.3 : Kompozit Modellerin yoğunlukları ve düşük, orta ve yüksek frekans aralığındaki ses seviyesi azaltım değerleri.

| Numune Kodu | Düşük Frekans Bölgesi (dBA) | Orta Frekans Bölgesi (dBA) | Yüksek Frekans Bölgesi (dBA) |
|-------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| KM1 | 5,2 | 7,9 | 15,0 |
| KM2 | 6,4 | 10,1 | 18,0 |
| KM3 | 9,0 | 11,6 | 17,2 |
| KM4 | 10,2 | 14,2 | 21,3 |
| KM5 | 10,3 | 13,6 | 19,2 |
| KM6 | 13,1 | 16,4 | 24,6 |
| KM7 | 14,1 | 15,8 | 21,4 |
| KM8 | 15,8 | 17,9 | 27,5 |

Tablo 4.3'ten elde edilen genel bulgular bağlamında;

- *Levha Kalınlığı Artışına Göre:* Levha kalınlıklarının artışı ile her frekans bölgesinde düşük değerlerde de olsa performans iyileşmesi gözlenmiştir.
- *Ses Absorbanı Uygulamasına Göre:* Bariyer örneklerinin düşük frekans bölgesinde elde edilen ses seviyesi azaltım değeri, sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı kullanımı ile daha da iyileştirilebildiği ve bu frekans bölgelerinde daha etkin bir ses seviyesi azaltım değeri performansı gösterdiği anlaşılmaktadır.

- *Yalıtım Keçesi Uygulamasına Göre:* Bariyer örneklerinin düşük frekans bölgesinde yalıtım keçesi kullanımı ile sentetik kauçuk esaslı ses absorbanına kıyasla bu frekans bölgeleri de dahil olmak üzere tüm frekans bölgelerinde daha etkin bir ses seviyesi azaltım değeri performansı göstermesine olanak sağladığı anlaşılmaktadır.

Burada elde edilen tüm test bulguları, laboratuvar boyutlu ve ses bariyerinin yüzey alanı normal uygulama koşullarıyla mukayese edildiğinde çok daha küçük olan test örnekleri üzerinde elde edilmiştir. Ancak, bu modellere ait test örneklerinin daha büyük test yüzey alanlı örnekleri ele alındığında, burada belirtilen performans değerlerinden çok daha yüksek değerler elde edilebileceği de kaçınılmaz olmaktadır.

4.3 Simülatif Verilerin İrdelenmesi

Deneyel çalışmalarda ses bariyeri modelleri olarak oluşturulan test örnekleri, örnek oluşturmanın gerek zorlukları gerekse modelde yer alabilecek kesit bileşenlerinin değişken parametreler olarak çeşitlendirilebilmesi, farklı bariyer yüksekliklerinin tasarlanması ve gerekse ses ölçümlerinde kaynak-bariyer-alıcı arasındaki mesafelerin alternatif farklı değerlerden seçilerek ölçümlerin sürdürülebilmesi her zaman kolay mümkün olabilecek test uygulamaları olarak görülememektedir. Bu amaçla, basitleştirilmiş ve/veya alternatif modeller olarak oluşturulmuş laboratuvar boyutlu test örneklerinin analizinden elde edilen bulguların istatistiksel ve ses geçiş kaybı ve ses azaltım performansı teorik yaklaşımlarının da detaylandırıldığı bir algoritmik yaklaşımla, reel değerlere yakınsak bulguların simülasyonu mümkün olabilmektedir.

Bu bağlamda bu tez çalışması kapsamında reel değerlere yakınsak sonuçların elde edilebildiği ve farklı alternatif ses bariyeri modellerinin simüle edilebildiği bir algoritma, Excel tabanlı bir hesaplama modülü olarak geliştirilmiştir.

Simülasyonlar için tasarlanan tüm modellerin analizi Bölüm 3.2, Madde 3.2.2’de detayları verilen ve simülasyon modülü yazılımının akış şemasında öngörülen algoritmaya göre farklı model kombinasyonları için uygulanabilirliği analiz edilmiştir. Bu modülde, deneysel olarak yapılan fiili analiz bulguları ile bu bulguların simülasyon modülüne göre hesaplanmasıyla elde edilen bulgularının örtüşüp örtüşmediği analiz edilmiştir. Deneysel ortamda uygulanan ortam koşullarının

değerleri, eşdeğer koşullar olarak simülasyon modülü hesaplamalarında girdi verileri olarak kullanılmış ve program çıktıları, deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Bu modülün uygulama analizini detaylandırmak amacıyla burada 3 ayrı analiz ele alınmış olup, bu analizlere ilişkin değerlendirmeler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Simülasyon analizlerinden ilki, model kesitte herhangi bir değişken parametre kullanmaksızın deneysel ortamda test edilmiş model bulgularının, aynı kesit bileşen değerleriyle geliştirilen bu simülasyon modülünde hesaplamaları yapılmıştır. Deneysel analiz ve simülasyon modülü hesaplamalarından elde edilen bulgular karşılaştırılarak, geliştirilen simülasyon amaçlı hesaplama modülünün uygulanabilirliği yorumlanmıştır. Bu amaçla yapılan bir analiz irdelemesinin ve uygulanan ortam koşullarının bazı teknik verileri Tablo 4.4'te (1. İrdeleme) tanımlanmıştır. Deneysel ölçümlerde gürültü bariyeri test örneğinin tasarımında kullanılan çimento bağlayıcılı lif katkılu plaka bileşenleri 12 mm × 1250 mm × 2500 mm ebatlarında olup, test örneğinin kesit bileşenleri ve dizilim formatı Tablo 4.5'te verilmiştir. Test modelinin gürültü bariyeri formunda 1/3 oktav bant ses frekans aralığına göre deneysel olarak ölçülen ses seviyesinin azaltım değerleri ve grafiksel analizi ise Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

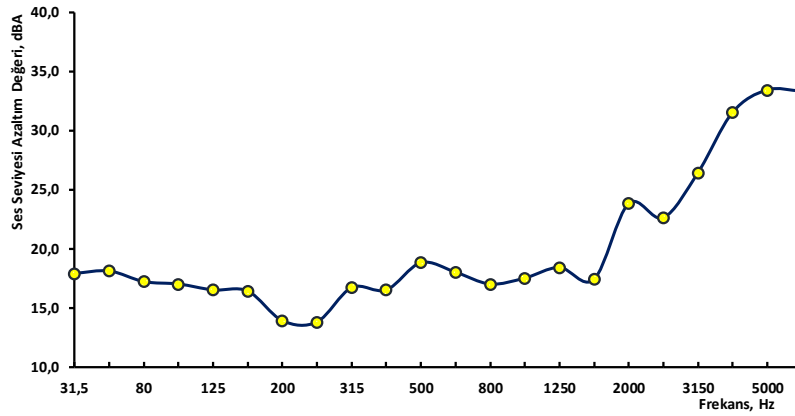
Tablo 4.4 : Analizlerde kullanılan simülasyon girdi verileri.

| SİMÜLASYON GİRDİLERİ | | | | | | |
|----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Simülasyon Modelleri | Kaynak Gürültüsü (dBA) | Kaynak Yüksekliği (m) | Kaynak-Bariyer Arası Mesafe (m) | Bariyer Yüksekliği (m) | Alıcı Yüksekliği (m) | Alıcı-Bariyer Arası Mesafe (m) |
| 1. İrdeleme | 85 | 0,6 | 1,5 | 1,25 | 0,9 | 2,0 |
| 2. İrdeleme | Değişken | 0,6 | 1,5 | Değişken | 0,9 | 2,0 |
| 3. İrdeleme | 85 | 0,6 | 1,5 | 4,5 | 0,9 | Değişken |

Tablo 4.5 : Gürültü bariyeri test modelinin kesit bileşenler ve dizilimi.

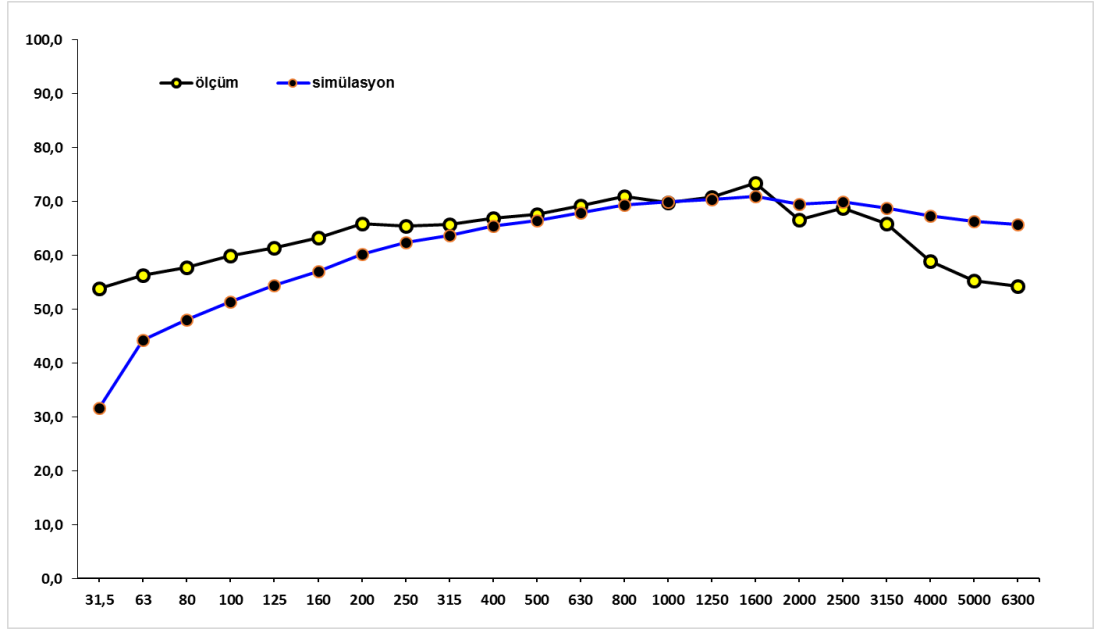
| | |
|-----------------|-------|
| Çimentolu Levha | 12 mm |
| Ses Absorbantı | 8 mm |
| Hava Boşluğu | 20 mm |
| Yalıtım Keçesi | 50 mm |
| Ses Absorbantı | 8 mm |
| Çimentolu Levha | 12 mm |

| Frekans (Hz) | Ses Seviyesi Azaltım Değeri (dBA) |
|--------------|-----------------------------------|
| 31,5 | 17,9 |
| 63 | 18,1 |
| 80 | 17,2 |
| 100 | 17,0 |
| 125 | 16,5 |
| 160 | 16,4 |
| 200 | 13,9 |
| 250 | 13,8 |
| 315 | 16,7 |
| 400 | 16,5 |
| 500 | 18,8 |
| 630 | 18,0 |
| 800 | 17,0 |
| 1000 | 17,5 |
| 1250 | 18,4 |
| 1600 | 17,4 |
| 2000 | 23,8 |
| 2500 | 22,6 |
| 3150 | 26,4 |
| 4000 | 31,5 |
| 5000 | 33,4 |
| 6300 | 33,3 |



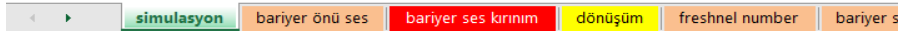
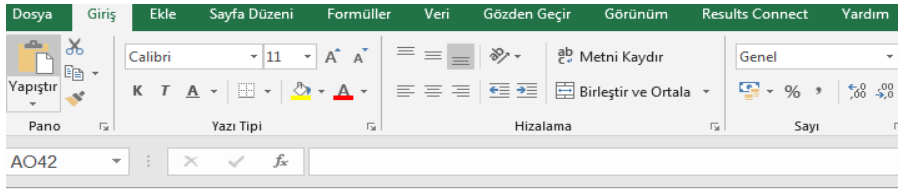
Şekil 4.23 : Gürültü bariyeri modelinin ses seviyesi azaltım değerleri ve grafiksel analizi.

Bu analizde elde edilen teknik bulgular, eşdeğer ortam koşullarının simülasyon modülünde tanımlanması ile elde edilen bulgularla karşılaştırmalı olarak irdelemesi yapılmıştır. Bu irdelemeye ait grafiksel analiz ise Şekil 4.24'te verilmiştir.



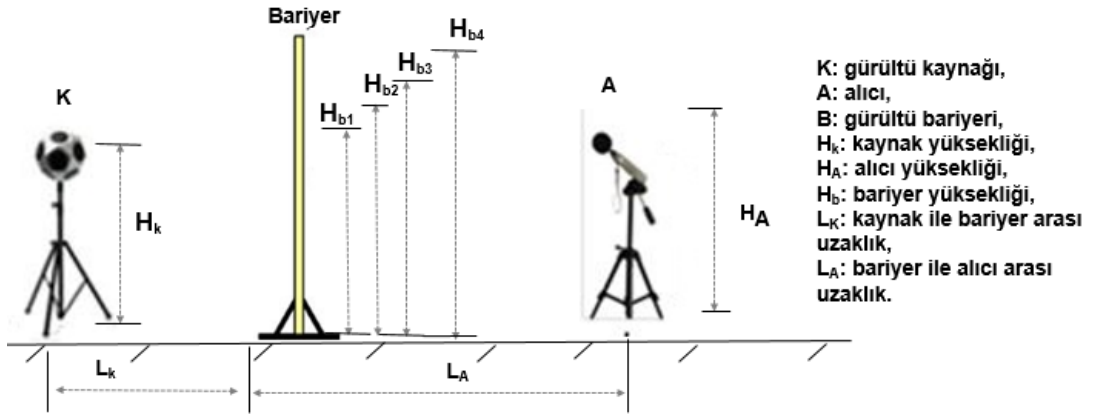
Şekil 4.24 : Deneysel bulgular ile simülasyon modülü bulgularının karşılaştırması.

Şekil 4.24 irdelendiğinde görüleceği üzere, düşük ses frekans bölgesi olarak tanımlanabilecek bölgede (31,5 Hz – 315 Hz) deneysel ölçüm verilerinin simülasyon bulgularına göre daha yüksek ses seviyesi azaltım değerleri sağladığı görülmekte olup, 315 Hz- 800 Hz frekans aralığında ise eşdeğer kabul edilebilecek bulgular elde edildiği görülmüştür. Bununla birlikte, 800 Hz frekans değeri üzerinde ise deneysel ölçüm verilerinin simülasyon bulgularına göre daha düşük ses seviyesi azaltım değerleri sağladığı görülmüştür. Buradan elde edilen teknik veriler bağlamında, benzer test modellerinin analizinde uygulanmak amacıyla, frekans aralıklarına bağlı istatistiksel bir düzeltme faktörü tanımlanarak, simülasyon hesaplamalarının revizyonu uygulanmıştır. Ayrıca bu analize ait modülün hesaplama statüğünü gösteren sembolik görünüm Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25 : Birinci irdelemeye ait EXCEL modülünün hesaplama statüğünün sembolik görünümü.

İkinci irdemede ise geliştirilen bu simülasyon modülü kullanılarak tasarım ve ortam koşullarının farklı durumları için gürültü bariyerinin alternatif koşulları analiz edilmiştir. Bu analiz sürecinde, gürültü modelindeki ana girdilerden bariyer-kaynak arası mesafe ve alıcı-bariyer arası mesafe sabit tutulmuş olup, kaynak gürültü seviyesi ve bariyer yüksekliği değişken parametreler olarak ele alınmış ve alıcıda algılanan ses seviyesi değişimleri dBA biriminde irdelenmiştir. Analizlerde kesit ve ortam koşulları olarak kullanılan teknik veriler Tablo 4.4'te (2. İrdeme) tanımlanmıştır. Simülasyon irdemelerinde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi ise Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

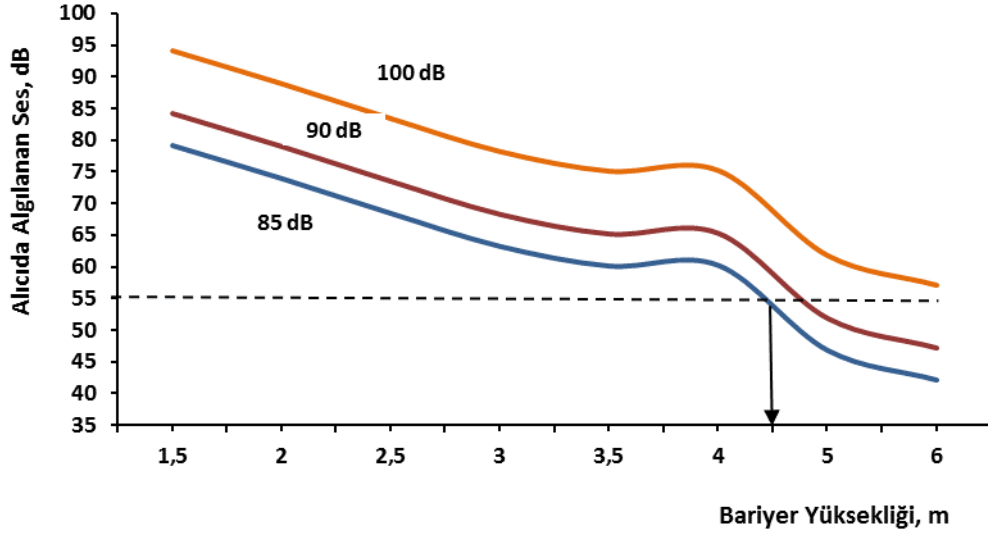


Şekil 4.26 : Simülasyon irdelemelerinde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi.

Bariyer yüksekliği ve kaynak gürültüsünün değeri değişken kılınarak bu değerler kademeli olarak arttırılmış ve alıcıda algılanan ses seviyesi değeri dBA biriminde Tablo 4.6’da verilmiştir. Ayrıca, elde edilen teknik bulguların grafiksel analiz ise Şekil 4.27’de gösterilmiştir.

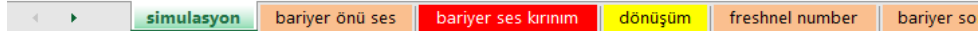
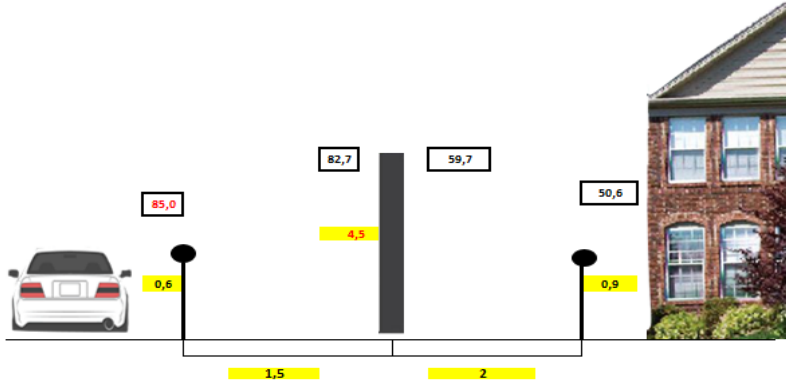
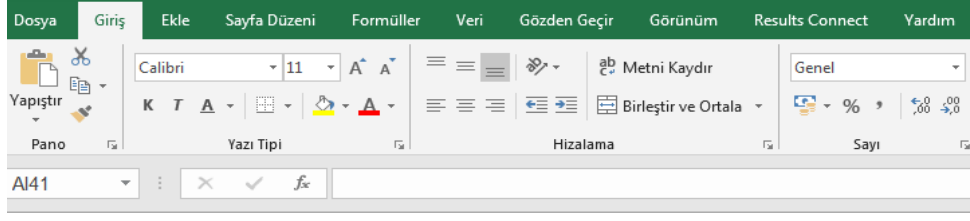
Tablo 4.6 : Kaynak gürültü seviyesi ile bariyer yüksekliği arasındaki etki analizi.

| Bariyer Yüksekliği (m) | Kaynak Gürültüsü, (dBA) | | |
|---------------------------|---|---|---|
| | 85 | 90 | 100 |
| | Alıcıda Algılanan Ses Seviyesi (dBA) | Alıcıda Algılanan Ses Seviyesi (dBA) | Alıcıda Algılanan Ses Seviyesi (dBA) |
| 1,5 | 79,1 | 84,1 | 94,1 |
| 2,0 | 73,9 | 78,9 | 88,9 |
| 2,5 | 68,4 | 73,4 | 83,4 |
| 3,0 | 63,2 | 68,2 | 78,2 |
| 3,5 | 60,1 | 65,1 | 75,1 |
| 4,0 | 60,2 | 65,2 | 75,2 |
| 5,0 | 46,8 | 51,8 | 61,8 |
| 6,0 | 42,1 | 47,1 | 57,1 |



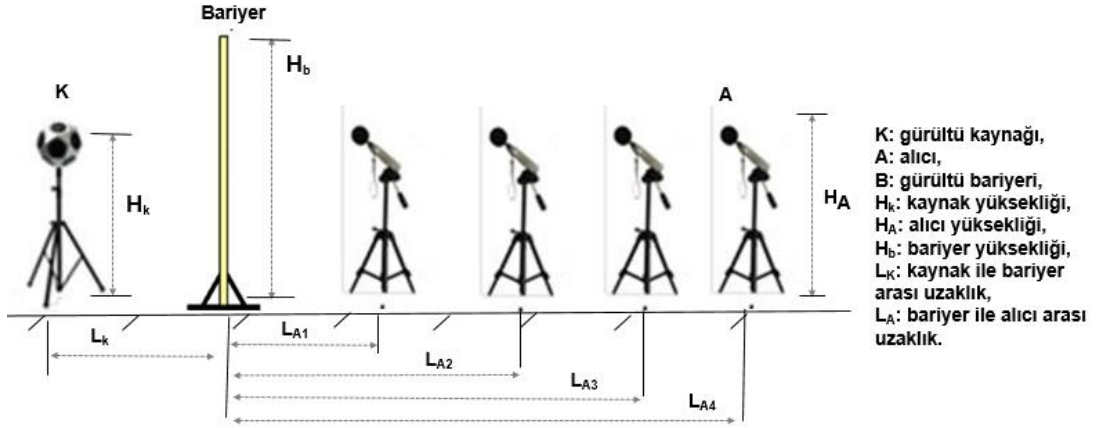
Şekil 4.27 : Kaynak gürültü seviyesi ile bariyer yüksekliği arasındaki etkileşimin grafiksel analizi.

Tablo 4.6 ve Şekil 4.27 irdelendiğinde görüleceği üzere, ses kaynağındaki gürültü seviyesi şiddeti arttıkça, ses bariyeri sisteminin arkasındaki ses seviyesinin önemli ölçüde artış gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, ses kaynağının sabit gürültü seviyesinde olduğu durumda, gürültü bariyeri yüksekliğinin artışı ise, alıcıda algılanan ses seviyesinin düşüklüğü bağlamında önemli bir faktör olduğu açıkça görülmektedir. Bu bağlamda, gürültü bariyer tasarımı yapılırken kesit bileşenlerinin malzeme türlerinin önemi yanı sıra, tesis edilecek bariyer yüksekliği ve ortamda oluşabilecek olası maksimum gürültü seviyesi şiddeti arasında regresyonel bir ilişki olduğu görülmekte olup, optimum gürültü bariyeri yüksekliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin, burada yapılan irdeleme bulgularına göre kaynak gürültüsü 85 dBA, alıcıda algılanan ve konfor koşulları bağlamında arzu edilen maksimum gürültü seviye değerinin 55 dBA olması öngörüldüğünde, yapılan teknik irdeleme bulgularına göre bu gürültü bariyeri kesit tasarımı için öngörülebilecek minimum bariyer yüksekliği 4,5 m olduğu görülmektedir. Bariyer yüksekliğinin bu ortam koşullarında 4,5 m ve daha yüksek uygulamalarında alıcı ortam tarafında arzu edilen gürültü kontrolünün sağlanabileceği görülebilmektedir. Bu analize ait modülün hesaplama statüğünü gösteren sembolik görünüm Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28 : İkinci irdelemeye ait EXCEL modülünün hesaplama statüğünün sembolik görünümü.

Bu aşamada yapılan bir diğer irdelemede ise, yukarıda örnek olarak öngörülen 4,5 m yüksekliğindeki gürültü bariyer tasarımında, diğer tüm tasarım ve ortam değerleri sabit tutulmak koşuluyla, yalnızca bariyer-alıcı arasındaki mesafenin değişken kılınması durumunda, alıcıda algılanan ses seviyesi değişimleri dBA biriminde irdelenmiştir. Bu irdelemede gürültü konforunun sağlanabilmesi amacıyla özellikle alıcı ortamdaki optimum ne kadar uzaklıkta gürültü bariyerinin tesis edilmesi gerektiği analiz edilmeye çalışılmıştır. Analizlerde kesit ve ortam koşulları olarak kullanılan teknik veriler Tablo 4.4’te (3. İrdeme) tanımlanmış olup, simülasyon irdemelerinde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi ise Şekil 4.27’de gösterilmiştir.

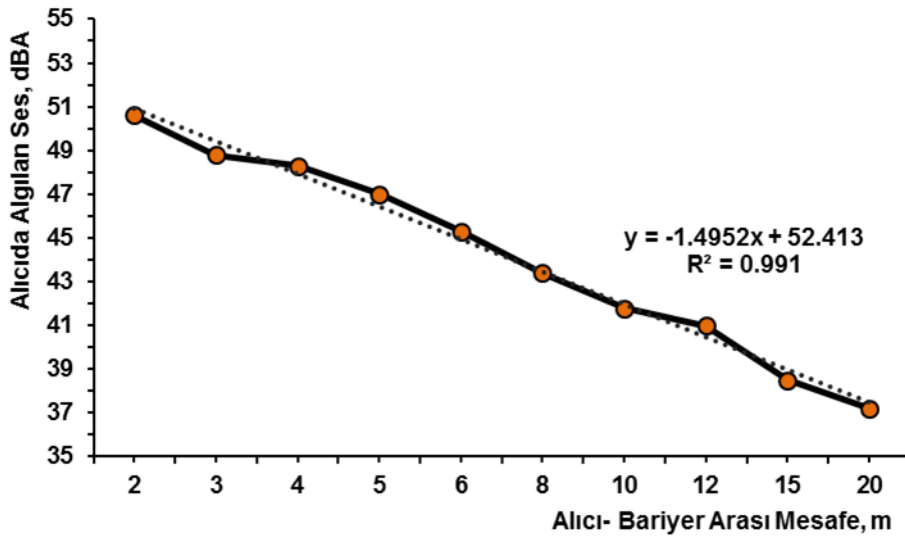


Şekil 4.29 : Analiz ve irdelemelerde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi.

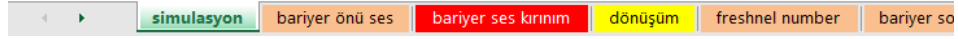
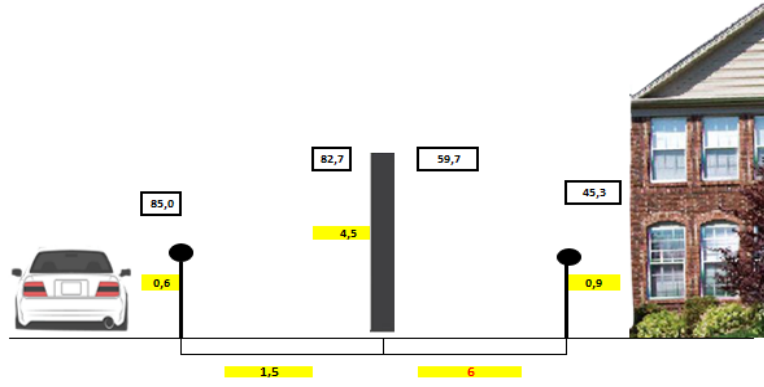
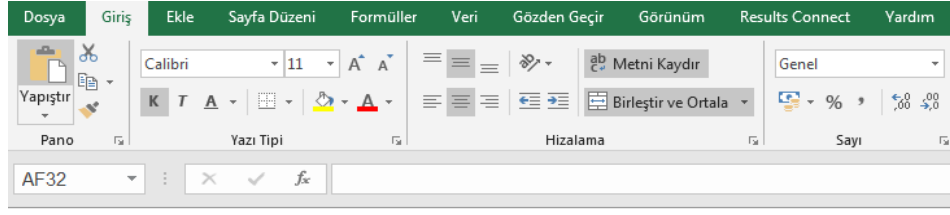
Bariyer yüksekliğinin 4,5 m olarak sabit tutulup, bariyer-alıcı arası mesafe değerinin değişken kılınarak kademeli olarak arttırılmasıyla alıcıda algılanan ses seviyesi değerleri dBA biriminde Tablo 4.7’de verilmiştir. Ayrıca, elde edilen teknik bulguların grafiksel analiz ise Şekil 4.30’da gösterilmiştir. Şekil 4.31’de ise üçüncü irdelemeye ait modülün hesaplama statüğünü gösteren sembolik görünüm gösterilmiştir.

Tablo 4.7 : Bariyer ile alıcı ortam arasındaki mesafe değişiminin etki analizi.

| Kaynak Gürültüsü (dBA) | Bariyer Yüksekliği (m) | Alıcı-Bariyer Arası Mesafe (m) | Alıcıda Algılanan Ses Seviyesi (dBA) |
|------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 85 | 4,5 | 2 | 50,6 |
| | | 3 | 48,8 |
| | | 4 | 48,3 |
| | | 5 | 47,0 |
| | | 6 | 45,3 |
| | | 8 | 43,4 |
| | | 10 | 41,8 |
| | | 12 | 41,0 |
| | | 15 | 38,5 |
| | | 20 | 37,2 |



Şekil 4.30 : Bariyer-Alıcı arası mesafe – Alıcıda algılanan ses seviyesi ilişkisi analizi.



Şekil 4.31 : Üçüncü irdemeye ait EXCEL modülünün hesaplama statüğünün sembolik görünümü.

Tablo 4.7 ve Şekil 4.30 irdelendiğinde görüleceği üzere, bariyer ile alıcı arasındaki mesafe arttıkça, diğer bir deyişle, alıcı konumu bariyerden uzaklaştıkça alıcıda algılanan ses seviyesinin değeri lineer bir trendle azalma eğilimi göstermektedir. Bu örnek modelden de anlaşıldığı üzere, 4,5 m yüksekliğindeki bir gürültü bariyerinde, bu ortam koşullarında bariyerden her 5 m uzaklıkta algılanan ses seviyesinde yaklaşık %9,5 oranında ses seviyesinde bir azaltım olduğu görülmektedir. Arzu edilen düzeylerde gürültü konforunun sağlanabilmesi amacıyla, gürültü kaynağındaki ses seviyesi şiddetinin büyüklüğü ve/veya düşüklüğü yanı sıra, bariyer tasarım bileşenleri ve boyutları da son derece etken parametrelerdir. Bununla birlikte, bariyerin uygulama ortamında tesis edilirken gürültüden korunması istenilen konumların bariyere olan uzaklıklarının da simülasyon olarak irdelenmesi ve ortam koşullarının bir bütün olarak analizi gerekmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Genellikle dış cephe kaplama malzemesi olarak tercih edilen çimento esaslı levhaların gürültü bariyeri malzemesi olarak kullanılabilirliğinin irdelendiği bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar özetle aşağıda verilmiştir:

1. Bir malzemenin iyi bir ses yalıtımı amaçlı malzeme olarak kullanılabilirliğini etüt etmek amacıyla, malzemeye ait ses geçiş kaybı değerleri ve standardın öngördüğü algoritmaya göre hesaplanan R_w değerleri önem kazanmaktadır. R_w değeri, malzemeler arasında bir karşılaştırma kriteri olarak irdelenebilmektedir.
2. Çimento bağlayıcılı lif katkılı levhaların gürültü bariyeri uygulamasında genellikle orta düzey ve yüksek frekans bölgelerinde daha etkin bir gürültü azaltım performansı sergilediği görülmüştür.
3. Bariyer örneklerinin düşük frekans bölgesinde elde edilen ve kısmen düşük olan ses geçiş kaybı performansının, sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı kullanımı ile iyileştirilebildiği ve bu frekans bölgelerinde daha etkin bir ses geçiş kaybı performansı göstermesine olanak sağladığı görülmüştür.
4. Çimento esaslı levhanın yüzey yoğunluğunun artması, bariyer malzemesi olarak kullanımında frekans aralığına bağlı olmak koşuluyla gürültü azaltım performansında bir iyileşme sergilediği görülmektedir.

5. Trafik kaynaklı çevresel gürültü azaltımlarının sağlanması amacıyla tesis edilecek gürültü bariyerlerinin malzeme, tasarım ve ortam koşullarının değişkenliğinde sergileyebilecekleri gürültü azaltım performansının belirlenmesi birden fazla parametreye bağlı olarak değişmektedir. Her bir gürültü bariyer tasarımının fiili deneysel ortamda test edilmesi gerek maliyet gerekse zaman ve test ortamındaki olası zorluklar dikkate alındığında çoğu zaman mümkün olmayan durumları oluşturabilmektedir. Bu bağlamda, gürültü bariyerlerinin tasarımı ve ortam koşullarına göre uygunluklarının analizinde, yakınsak değerler sağlayabilen simülasyon modülleri ile irdeleme ve analizler yapılabilmektedir. Bu hesaplamalardan elde edilen bulgular, bilimsel yaklaşımla optimize edilebilecek öngörü veri ve/veya sayısal bulgular olup, gürültü bariyer tasarımlarının gelişimine imkân tanımaktadır.
6. Kara yolları, demir yolları ve hava yollarında önceden yapılmış olan ses ölçümleri incelendiğinde kara yollarında düşük frekanslı (bas) seslerin, hava yollarında yüksek frekanslı (tiz) seslerin ve demir yollarında ise orta frekans aralığındaki seslerin daha yoğun olduğu görülmüştür. Ancak bu çalışmada yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Madde 2’de de görülebileceği üzere çimento bağlayıcılı lif katkılı levhaların orta ve yüksek frekans bölgesinde etkin performans gösterdiği, düşük frekans bölgesinde ise nispeten daha düşük performans gösterdiği görülmüştür. Bu durumda çimentolu levhanın dış yüzeylerde tercih edildiği bariyer tasarımlarının kullanıldığı hava yolları ve demir yolları uygulamalarında daha başarılı sonuçlar elde edilebilirken, kara yollarında ise düşük frekanslı sesi absorbe edebilen ses absorbanlarında birlikte kullanıldığı bariyer tasarımları ile düşük frekans aralığındaki seslere karşı daha başarılı bir sonuç elde edilebilir.

Bu tez çalışmasında bir örneklem olarak çimento bağlayıcılı lif katkılı düz çimento levhaların gürültü bariyer tasarımında kullanılabilirliği ve yalın değerler olarak olası gürültü kontrolü bağlamında teknik performansları analiz edilmiştir. Benzer tasarım ve simülasyon bulgularına göre çimentolu levha ürünlerin gürültü bariyeri kesitlerinde ses seviyesini azaltıcı önemli bir bileşen olduğu görülmüştür. Yapılan deneylerin sonuçlarına ve EXCEL modülü hesaplamalarına göre en ideal gürültü bariyeri tasarımı minimum 4,5 m yüksekliğinde, her iki dış yüzeylerde yüzey

yoğunluğu yüksek olan çimentolu levha ürünlerinin kullanıldığı ve arada hava boğuğu bulunan, yalıtım keçesi uygulaması ve sentetik kauçuk esaslı ses absorbanı uygulamasının birlikte yapıldığı kompozit model tasarımları ideal gürültü bariyeri olarak önerilir. Yapılan bu öneri laboratuvar boyutlu test örnekleri üzerinden yapılmıştır. Bu modellere ait test rneklерinin daha büyük yüzey alanlı örnekleri ele alındığında, burada belirtilen performans değerlerinden çok daha yüksek değerler elde edilebileceği de dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.ylt44.com/bilimsel/ses.pdf> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [2] Woodford C. (2019). *Sound*. <https://www.explainthatstuff.com/sound.html>
- [3] Shipman J. T., Wilson J. D., & Higgins Jr C. A. (2012). *An Introduction to Physical Science*. USA: Cengage: Brooks / Cole.
- [4] Türk Tabipleri Birliği Yayınları. (2004). İşitme Hasarı Risk Ölçütü. *Çalışma Yaşamında Gürültü ve İşitmenin Korunması*, (s. 22-23). Ankara: Türk Tabipleri Birliği.
- [5] <https://ilovefood1234.weebly.com/frequency-and-amplitude.html>
- [6] OWA. (2019). Sound Protection. Acoustic performance with mineral tiles (s. 5-8). Germany.
- [7] <http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/dB.htm> (Erişim Tarihi: 20. 12. 2018)
- [8] <https://www.noisemeters.com/help/faq/frequency-weighting/> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [9] <https://tr.depositphotos.com/166752724/stock-illustration-the-decibel-scale.html>
- [10] Gürültü ders notu. Sakarya Üniversitesi, Sakarya. Erişim adresi: http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/67967/27805/g%C3%BCr%C3%BClt%C3%BC_notu_2.pdf
- [11] <https://physics.tutorvista.com/waves/sound-reflection.html> (Erişim Tarihi: 20. 12. 2018)
- [12] <http://amrita.olabs.edu.in/?brch=1&cnt=1&sim=1&sub=1> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [13] <https://soundproofdirect.com/index.php/2017/08/14/airborne-noise-explained/> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [14] Remes M. (2015). Airborne sound insulation. Acoustical Design (Lecture notes) https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/133451/mod_resource/content/1/Lecture%202_Airborne%20sound%20insulation_2015.pdf
- [15] <http://digitalsoundandmusic.com/chapters/ch4/> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [16] <http://www.build.com.au/reflection-diffusion-and-absorption-sound> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [17] <https://www.nde-ed.org/EducationResources/HighSchool/Sound/reflection.htm> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [18] <https://www.acoustic-products.co.uk/faq/acoustics-in-buildings/> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [19] Dülgeroğlu, A. (1991). Trafik ve Çevre Etkisi (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, Ankara.
- [20] Pigasse G., & Kragh J. (2011). Optimised Noise Barriers- A State of The Art Report (Report No. 194). Denmark: Vejdirektoratet.

- [21] https://www.soundproofingcompany.com/soundproofing_101/understanding-stc-and-stc-ratings (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [22] <https://mecart.com/blog/2018/09/17/demystifying-stc-ratings-stc-35-stc-45-stc-52/> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [23] <http://www.edubilla.com/inventor/ludwig-hatschek/> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [24] Aksoylu C. (2014). *Yapılardaki ses izolasyonunun bilgisayar ortamında simülasyonu*, (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [26] Kalkan Ş. O., Gündüz L., & İsker A. M. (2018). Effects of using Cement-Bonded Particle Boards with a Composite Component in Terms of Acoustic Performance in Outdoor Noise Barriers, *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM)*, 4, 246-255.
- [27] Wang T., Xiao F., Zhu X., Huang B., Wang J., & Amirghani S. (2018). Energy consumption and environmental impact of rubberized asphalt pavement, *Journal of Cleaner Production*, 180, 139-158.
- [28] INDOT, Indiana Department of Transportation. (2018). Noise Barriers, *INDOT Office of Public Involvement*. <https://www.in.gov/indot/files/Noise%20Barriers%20Brochure.pdf>
- [29] Guarnaccia C., Quartieri J., & Mastorakis N. (2014). Comparison of acoustic barriers noise reductions evaluated by different calculation methods, *Latest Trends on Systems*, 2, 443.
- [30] Zannin P. H.T., Nascimento E. O., Paz E., & Valle F. (2018). Application of artificial neural networks for noise barrier optimization, *Environments*, 5: 135-136.
- [31] Klingner R., McNeerney M., & Busch-Vishniac I. (2003). Design guide for highway noise barriers (Research Report No. 0-1471-4). Austin.
- [32] FHWA (Federal Highway Administration). (2019). Traffic Noise Model. https://www.fhwa.dot.gov/Environment/noise/traffic_noise_model/
- [33] UD/MH: The Centre for Urban Design, Roads and Maritime Services. (2016). Noise wall design guideline- Design guideline to improve the appearance of noise walls in NSW, Australia.
- [34] Anonim. (2019): https://svetlanaroit.files.wordpress.com/2009/11/visual_values2.pdf (Erişim Tarihi: 24/02/2019).
- [35] Zhao W., Chen L., Zheng C., Liu C., & Chen H. (2017). Design of absorbing material distribution for sound barrier using topology optimization, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 56, 315–329.
- [36] Çalış M. (2014). Ses Yutucu Perlitli Kaplamaların Beton Gürültü Bariyerlerinde Kullanımı. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1(2), 47-56.
- [37] Anonim. (2008). Çevre ve Orman Bakanlığı: Çevresel gürültü değerlendirmesi ve yönetimi ile ilgili AB direktiflerinin uyumlaştırılması ve uygulamaları Avrupa Birliği eşleştirme projesi- Gürültü azaltım önlemleri el kitabı, TR/2004/IB/EN/02, 213-273.
- [38] Noise Reduction Coefficient (NRC): https://svetlanaroit.files.wordpress.com/2009/11/visual_values2.pdf
- [39] <https://noisebarrierwalls.com/airport-noise-environmental-impact/> (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [40] Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği / (2002/49/EC).
- [41] http://motorwaycare.com/noise_barriers.html

- [42] <https://tr.pinterest.com/pin/338473728240710759/>
- [43] EU. (2012). Directorate General for Internal Policies, Policy Department B: Structural and Cohesion Policies Transport and Tourism, Reducing Railway Noise Pollution.
- [44] https://www.fhwa.dot.gov/Environment/noise/traffic_noise_model/ (Erişim Tarihi: 21. 12. 2018)
- [45] <https://www.delhipedia.com/home/Article/Miscellaneous/Delhi-Metro-Introduces-Solar-Sound-Barriers-642560fd>
- [46] Yeni Asır Gazetesi (2013, 3 Şubat). İZBAN'a gürültü perdesi., Erişim adresi: <https://www.yeniasir.com.tr/izmir/2013/02/04/izbana-gurultu-perdesi>
- [47] <https://undark.org/article/highway-noise-barrier-science/>
- [48] <http://www.betonform.com/en/references/street-protect/noise-barriers/>
- [49] <https://99percentinvisible.org/article/building-wall-highway-sound-barriers-evolution-noise/>
- [50] <http://www.worldhighways.com/sections/irf/features/photovoltaic-noise-barriers/>
- [51] Lupea I. (2017). Considerations on The Outdoor Noise Barriers Design and Simulation, Technical University Of Cluj-Napoca Acta Technica Napocensis, *Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering*, 60 (3), 343-350.
- [51] Gasparoni S., Reiter P., Wehr R., Conter M., & Haider M. (2013). Bem simulations of diffraction optimized geometrical noise barriers, with a focus on tunability. *Acoustics Australia*, 41 (3), 202-206.
- [52] İlgürel N., Yüğrük Akdağ N., & Akdağ A. (2016). Evaluation of noise exposure before and after noise barriers, *Journal Of Environmental Engineering And Landscape Management*, 24 (04), 293–302, <http://dx.doi.org/10.3846/16486897.2016.1184671>.
- [53] Chen Y., Cai W., & Jian S. (2014). Simulation Analysis of Sound Insulation for Urban Traffic Noise, *Applied Mechanics and Materials*, 684 (2014), 213-218, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.684.213
- [54] Olive Tree Lab. (2019). Olive Tree Lab- Terrain Module. <https://sagetechnologies.com/products/test-a-measurement/acoustical/prediction-software/113-olive-tree-lab-terrain>, ET: 28.03.2019.
- [55] Subera. (2019). INSUL. http://www.subera.com/urun_detay.php?id=5, ET:29.03.2019.
- [56] SoundPLAN. (2019). <https://www.soundplan.eu/english/soundplan-acoustics/highlights/wall-design/>, ET: 29.03.2019.
- [57] Navcon Engineering. (2019). Navcon Engineers for a Light Rail System. <https://navcon.com/www/content/noise-barrier-optimization>, ET: 27.03.2019.
- [58] TS EN 12467+A2. (19.11.2018). Lifli çimentodan yapılmış düz levhalar- Mamul özellikleri ve deney yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [59] Gu D. S., Wu Y. F., Wu G., & Wu Z. S. (2012). Plastic hinge analysis of FRP confined circular concrete columns. *Constructions and Building Materials*, 27(1), 223-233.
- [60] Türk K., & Kına C. (05.09.2016). Çimento esaslı kompozitlerde karma lif kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(6), 671-678.
- [61] TS EN 492+A2, (19.11.2018). Lifli çimentodan yapılmış kaplama levhaları ve bağlantı parçaları- Mamul özellikleri ve deney yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [62] <https://www.indiamart.com/shreenterprisesnagpur/new-items.html>
ET:26.04.2019.
- [63] <https://www.picswe.com/pics/asbestos-cement-board-1d.html>
- [64] TS EN 634-2, (3.07.2007). Çimentolu yonga levhalar-Özellikler-Bölüm 2: Kuru, nemli ve açık hava şartlarında kullanılan Portland çimentosu ile yapıştırılmış yonga levhaların özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [65] TS EN 998-1, (6.02.2017). Kâgir harcı- Özellikler- Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [66] Avcıoğlu Kalebek N. (2016). Sound Absorbing Polyester Recycled Nonwovens for the Automotive Industry. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2016, Vol. 24, 1(115), 107-113. DOI: 10.5604/12303666.1172093.
- [67] Thilagavathi G., Pradeep E., Kannaian T., & Sasikala L. (2010). Development of Natural Fibre Non-woven Materials' Application as Car, *Journal Of Industrial Textiles*, 39 (3), 267-278. doi: 10.1177/1528083709347124.
- [68] <https://bombimeccanica.com/our-products/ovens/shoddy-felt-pp/>
- [69] Gündüz L. (2005). İnşaat Sektöründe Bimsblok, Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta, Türkiye.
- [70] TS EN ISO 717-1, Akustik- yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının değerlendirilmesi- Bölüm1: Hava ile yayılan sesin yalıtımı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [71] Çalış M. (2007). *Karayolu Gürültüsü ve Gürültü Perdelerinin Ekonomik Analizi*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [72] https://www.fhwa.dot.gov/ENVIRONMENT/noise/noise_barriers/design_construction/design/design03.cfm
- [73] <http://www.zengerler.com/kataloglar/bariyerler.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ebru KAYA

Uyruğu : T. C

Doğum Yeri ve Tarihi : Ağrı, 11.11. 1992

E-mail : ebrukayaa1907@gmail.com



EĞİTİM

Lise : Cem Bakioğlu Anadolu Lisesi / 2010

Üniversite : İzmir Katip Çelebi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü/

2012- 2017

Yüksek Lisans : İzmir Katip Çelebi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü/

2017- 2019

YAYINLAR

Uluslararası Konferanslar :

- Gündüz L., Kaya E. (2019). An Analysis on the Evaluation for the Usability of Cement Bonded Boards as Noise Barriers. 4th International Conference on Civil, Environmental, Geology and Mining Engineering, April 20-22, Trabzon, Turkey.