





TRAFİK KAYNAKLI ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ KONTROLÜNDE ÇİMENTO BAĞLAYICILI DÜZ LEVHALARIN GÜRÜLTÜ BARIYER SİSTEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ ÜZERİNE SİMÜLATİF BİR ANALİZ

¹Ebru KAYA , ²Lütfullah GÜNDÜZ 

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

² İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

¹ebru.kaya@ogr.deu.edu.tr, ²lutfullah.gunduz@ikc.edu.tr

(Geliş/Received: 15.05.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 24.12.2019)

ÖZ: 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 makalede, 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 tartışılmaktadır. Bariyer kesit boyutlandırması ve uygulama ortamı koşullarının bir dizi analizi özetle verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çimento bağlayıcılı levha, Gürültü, Gürültü bariyeri, Ses, Simülasyon, Analiz.

A Simulative Analysis on the Usability of Cement Bonded Flat Plates in Noise Barrier Systems in Environmental Noise Control with Traffic Source

ABSTRACT: The noise barrier systems with different design components are widely used all over the world in order to provide traffic-induced environmental noise reductions. The use of cement-based materials in the installation of noise barrier systems is becoming increasingly important. In this paper, it is presented the findings of a series of experimental analyzes carried out for the use of cement-bonded fiber boards in noise barrier sections, and in the light of the findings, the applicability of an Excel-based simulation module for different design conditions is discussed with examples. A series of analysis for the dimensions of the barrier systems and the application environment conditions are summarized.

Key Words: Cement bonded board, Noise, Noise barrier, Sound, Simulation, Analysis.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gürültü bariyerleri, “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” gereğince şehir içi ve şehirlerarası 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 (Lupea, 2017).

Karayolu trafik gürültüsü dünya çapında en çok şikâyet alan gürültü kirliliği sorunlarından biridir (Wang ve ark., 2018). Trafik gürültüsü, trafik hacmindeki artışla birlikte giderek daha önemli bir sorun haline gelmektedir (Gasparoni ve ark., 2013). 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 (INDOT, 2018). 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. (Gasparoni ve ark., 2013).

Önem sırasına göre, gürültü kontrolü için alınacak önlemler öncelikle kaynaktan, 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 olmadığında, kaynak ile alıcı arasında diğer önlemlerin uygulanması önemli olabilir (İlgürel ve ark., 2016).

Son yıllarda büyük önem kazanan ve bilgisayar ortamında hazırlanan simülasyonlar deneysel ölçümler kadar etkili sonuçlar vermeye başlamıştır (Aksoylu, 2014). 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 (Chen ve ark., 2014).

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 ses iletim kaybı (TL) değerlerinin hesaplanmasında gerek mühendisler ve mimarlar tarafından tasarım amaçlı gerekse akademisyenler tarafından akademik maksatlı kullanılan yazılım programları geliştirilmektedir (Aksoylu, 2014).

Günümüzde akustik ve gürültü kontrolüne yönelik yaygın olarak kullanılan yazılım programlarından bazıları aşağıda özetle verilmiştir;

- OliveTreeLab -Terrain: PEMARD'ın ilk ürünü olan ve 2011' de piyasaya sürülen OliveTreeLab, 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 yansıması 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 (OliveTree-Lab, 2019).

- INSUL: Gürültü kontrol panelleri-bariyerleri (in elastic 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 (Subera, 2019).

- 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. (SoundPLAN, 2019).

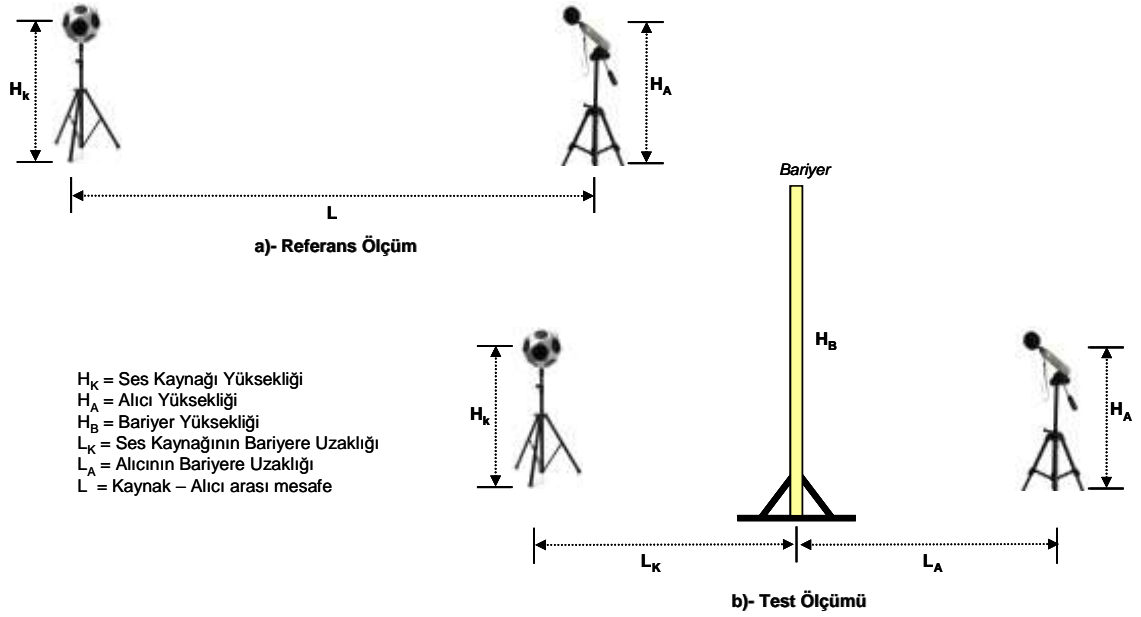
- Navcon Engineers for a Light Rail System: Hafif Raylı Sistem için Navcon Engineers tarafından yürütülen Gürültü Bariyeri Optimizasyonunda yapılan işlemler şu şekildedir; Hafif Raylı Sistem, topografya ve topluluk dahil olmak üzere bir 3D gürültü modeli geliştirmek, rayların yanındaki bariyer geometrisini 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 (Navcon Engineering, 2019).

- 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 (FHWA, 2019).

Trafik kaynaklı çevresel gürültü azaltımlarının sağlanması amacıyla çoğu yerleşke ortamlarında kullanılacak gürültü bariyerlerinin oluşturulmasında kesit bileşeni malzeme türlerinin belirlenmesi, tasarım unsurlarının tanımı ve ortam koşullarının optimizasyonu gibi parametrik irdelemelerin bir bütün olarak yapılması gerekliliği kaçınılmaz olmaktadır. Bu irdelemelerin çoğunluğu günümüzde farklı yaklaşımlar ve algoritmaların uygulandığı geliştirilmiş simülasyon programları ile yapılabilmektedir. Ancak, bu programlarda gürültü bariyeri tasarımında tercihen kullanılacak her türev malzeme bileşenlerine göre detaylı analiz ve performans irdelemelerinin 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 performansının irdelenebileceği bir araştırma çalışması sürdürülmüştür. Bu çalışmada elde edilen parametrik bir seri bulgu, özetle bu makalede tartışılmıştır.

MATERYAL VE METOT (MATERIAL and METHOD)

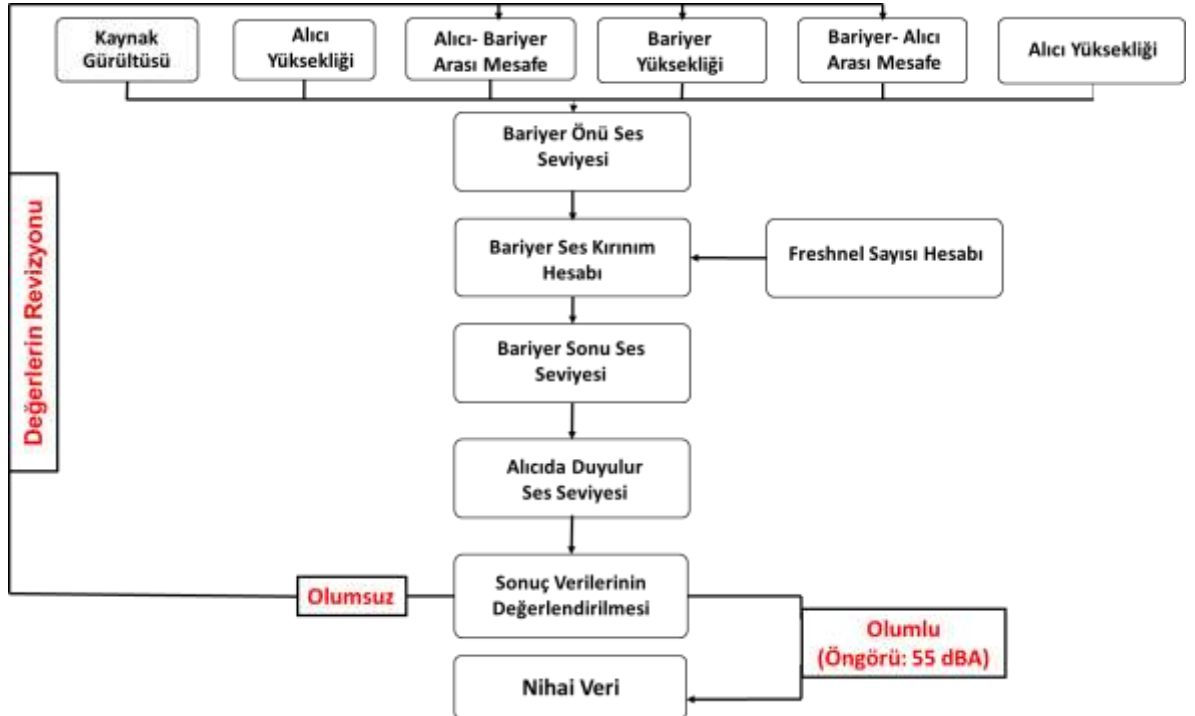
Çimento bağlayıcılı lif katkılı levhalar, dünyada birçok ülkede yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi ürünlerinden biridir. Bu levha ürünlerin ortak özelliği, takviye elemanı olarak organik ve/veya inorganik lifler (iki veya daha fazla) içermeleri, üretimlerinde çimentonun ana bağlayıcı malzeme olarak kullanılması ve hava ve/veya otoklav kürlenmesi ile priz süreçlerinin tamamlanmasıdır. Bu özelliği sebebiyle, lif katkılı matris tasarıma sahip çimento bağlayıcılı levha elemanların, gürültü bariyeri uygulamalarında bir sistem bileşeni olarak analizi amacıyla, 10 mm x 1250 mm x 2500 mm boyutlarında ve 12 mm x 1250 mm x 2500 mm boyutlarında düz yüzeyli iki alternatif çimento bağlayıcılı levhanın performansı deneysel olarak analiz edilmiştir. Bu çimento bağlayıcılı levhalar normal ticari piyasa koşullarında üretilmiş plaka örneklerinden temin edilmiştir. Plakaların ön yapısal incelemesinde bileşimlerinde ağırlıkça %5'ten fazla selülozik doğal lif kullanıldığı, matris yapılarında bu liflerin homojen şekilde dağıldığı ve lif boylarının da ortalama 6 mm'den daha uzun olduğu gözlenmiştir. Plakaların ortalama birim hacim ağırlık değerlerinin 1400 kg/m³ olduğu tespit edilmiştir. Deneysel analizlerde gürültü bariyeri olarak oluşturulan örneklerin ölçüm prensibi Şekil 1'de sembolik olarak gösterilmiş olup, ISO 717-1 standardında öngörülen 1/3 oktav band frekans (31,5 Hz- 6300 Hz) aralığında frekansa bağlı ses geçiş kaybı değerleri ölçülmüştür.



Şekil 1. Deneysel analizde kullanılan ölçüm prensibi sembolik görünümü.

Figure 1. The symbolic view of the measurement principle used in experimental analysis.

Bu çalışmada, deneysel ölçümlerden elde edilen verilerin ışığında yapılan bu çalışma bulgularının hem analizini yapabilmek hem de gürültü bariyeri olarak farklı kesit bileşeni tasarım sonuçlarını da irdeleyebilmek amacıyla EXCEL tabanlı bir basitleştirilmiş simülasyon yazılımı modül olarak hazırlanmıştır. Bu simülasyon modülünün akış şeması Şekil 2’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 2. Simülasyon modülü yazılımı akış şeması.

Figure 2. The flow chart of simulation module software.

Bu çalışmada 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.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Deneysel olarak fiili yapılan analiz bulguları ile bu bulguların simülasyon modülüne göre hesaplama bulgularının örtüşmesi analizinde, deneysel ortamda uygulanan ortam koşullarının değerleri, eşdeğer koşullar olarak simülasyon modülü hesaplamalarında girdi verileri olarak kullanılmış ve program çıktıları, deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ortamda uygulanan ortam koşullarının bazı teknik verileri Çizelge 1’de (1. İrdeleme) tanımlanmıştır. Deneysel ölçümlerde gürültü bariyeri test örneğinin tasarımında kullanılan çimento bağlayıcılı lif katkılı plaka bileşenleri 12 mm x 1250 mm x 2500 mm ebatlarında olup, test örneğinin kesit bileşenleri ve dizilim formatı Çizelge 2’de verilmiştir. Test modelinin gürültü bariyeri formunda 1/3 oktav bant ses frekans aralığına göre deneysel olarak ölçülen ses seviyesinin azaltım değerleri ve grafiksel analizi Şekil 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 1. Analizlerde kullanılan simülasyon girdi verileri.

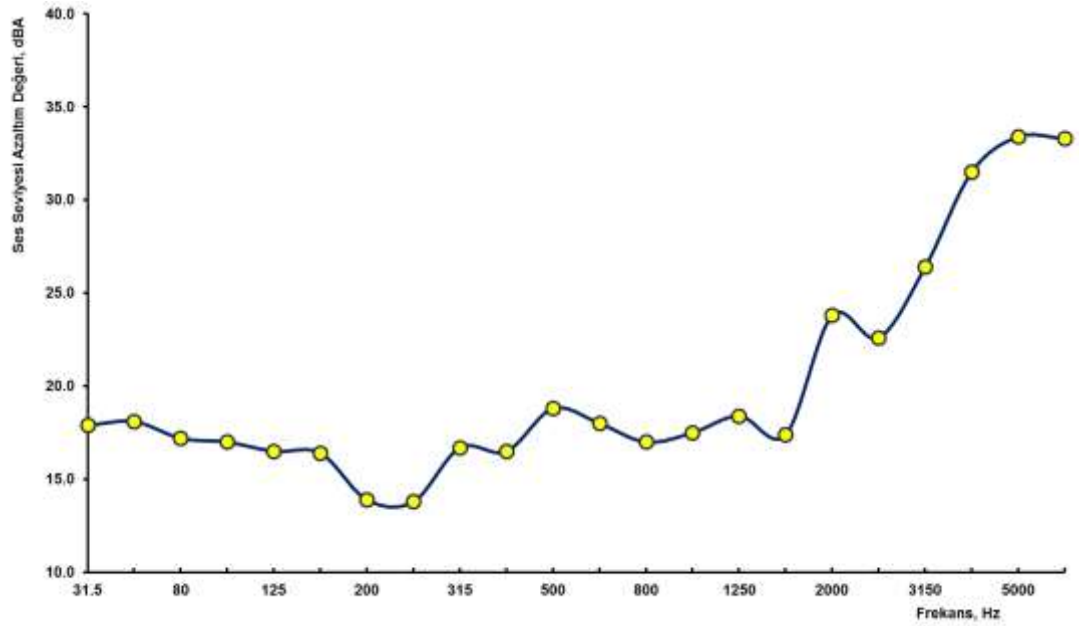
Table 1. The simulation input data used in the analysis.

Simülasyon Modelleri	SİMÜLASYON GİRDİLERİ					
	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

Çizelge 2. Gürültü bariyeri test modelinin kesit bileşenler ve dizilimi.

Table 2. The cross-section components and sequence of the noise barrier test model.

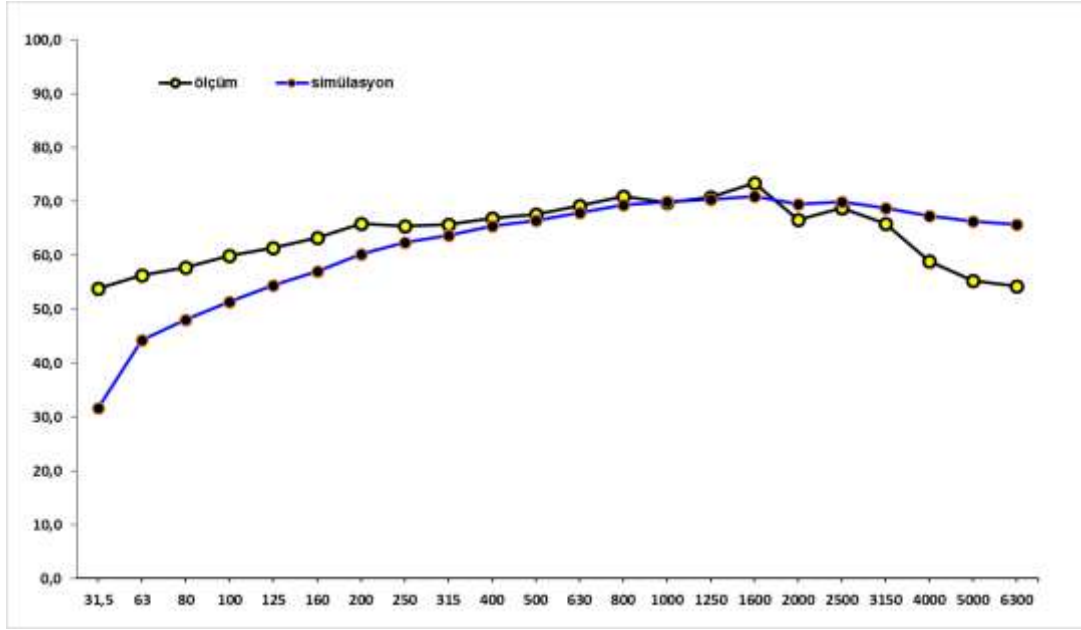
Çimentolu Levha	12 mm
Ses Absorbanı	8 mm
Hava Boşluğu	20 mm
Yalıtım Keçesi	50 mm
Ses Absorbanı	8 mm
Çimentolu Levha	12 mm



Şekil 3. Gürültü bariyeri modelinin ses seviyesinin azaltım değerleri ve grafiksel analizi.

Figure 3. The reduction values of the sound level of the noise barrier model and graphical analysis.

Ses modelinde gürültü bariyer bileşeni olarak kullanılan çimento bağlayıcılı lif katkı plakasının mevcut matris yapısı Şekil 3'te verilen ses seviyesi azaltım değerlerini sağlamıştır. Ancak bilimsel tecrübeyle plakanın matris yapısında kullanılmış olan lif miktarları ve\veya lif boyutları değişkenlik gösterdiğinde bu çalışmada elde edilen ses seviyesi azaltım performans değerlerinin değişebileceği öngörülebilir. Genel bir teknik olgu olarak plaka matris yapısındaki lif miktarlarının artışı ve lif boylarının uzunluk artışı çoğunlukla plakaların düşük ve orta frekans bölgelerinde daha etkin ses seviyesi azaltım değeri sağlayabileceği görülebilir. 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 Şekil 4'te verilmiştir.

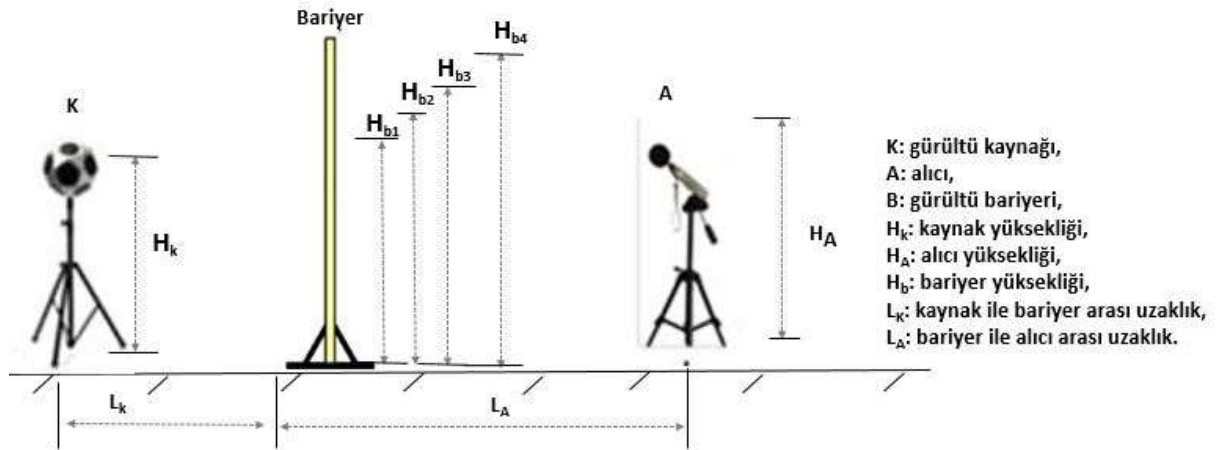


Şekil 4. Deneysel bulgular ile simülasyon modülü bulgularının karşılaştırması.

Figure 4. The comparison of the experimental and simulation module findings.

Şekil 4 irdelediğinde 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.

İkinci irdelemede 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 Çizelge 1’de (2.İrdeleme) tanımlanmıştır. Simülasyon irdelemelerinde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi ise Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Simülasyon irdellemelerinde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi.

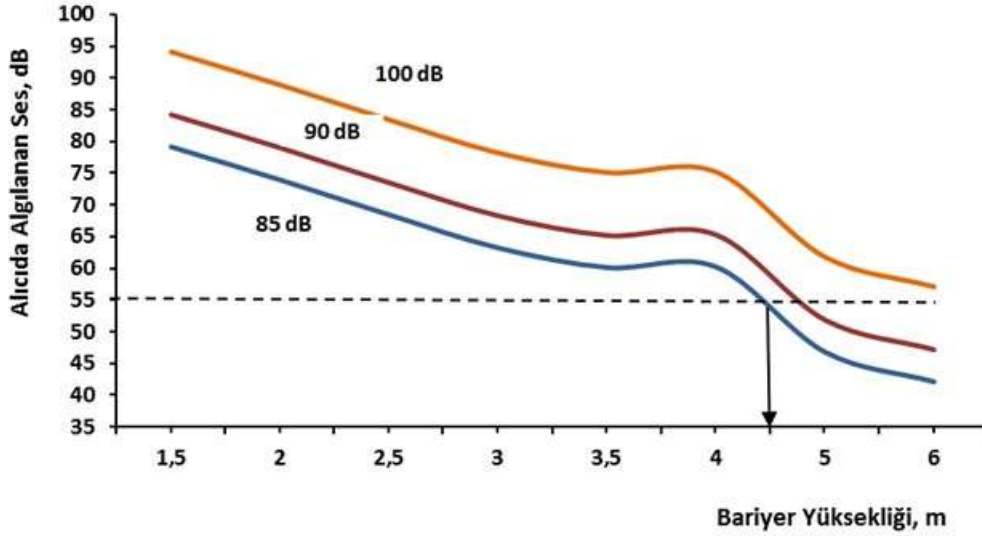
Figure 5. The symbolic view of the measurement model applied in simulation examinations.

Bariyer yüksekliği ve kaynak gürültüsünün değeri değişken kılınarak bu değerler kademeli olarak artırılmış ve alıcıda algılanan ses seviyesi değeri dBA biriminde Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca, elde edilen teknik bulguların grafiksel analiz ise Şekil 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3. Kaynak gürültü seviyesi ile bariyer yüksekliği arasındaki etki analizi.

Table 3. The impact analysis between source noise course and barrier height.

	Kaynak Gürültüsü, dBA		
	85	90	100
Bariyer Yüksekliği	Alıcıda Algılanan Ses Seviyesi (dBA)	Alıcıda Algılanan Ses Seviyesi (dBA)	Alıcıda Algılanan Ses Seviyesi (dBA)
(m)			
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

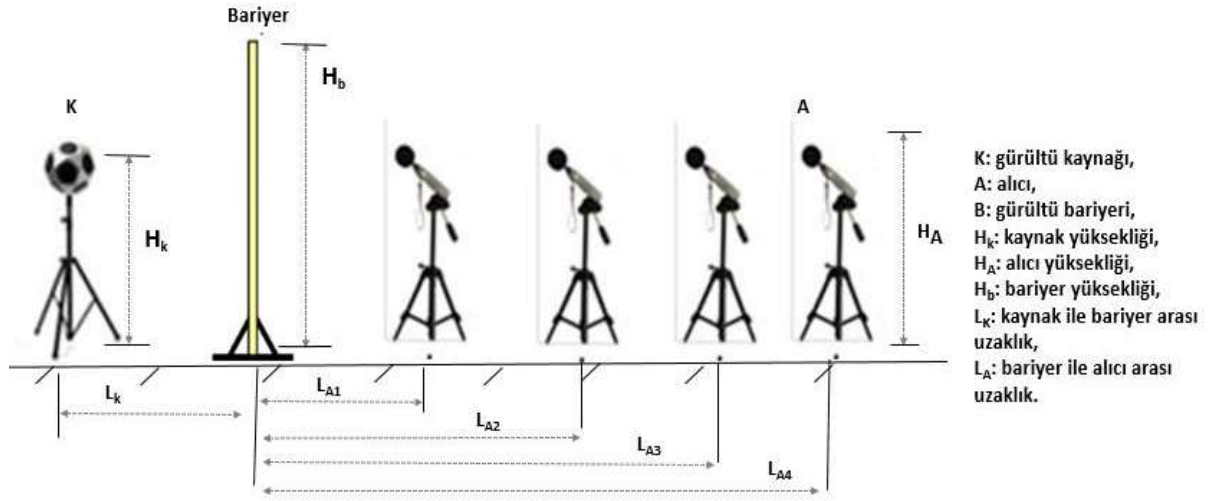


Şekil 6. Kaynak gürültü seviyesi ile bariyer yüksekliği arasındaki etkileşimin grafiksel analizi.

Figure 6. The graphical analysis of the interaction between source noise level and barrier height.

Çizelge 3 ve Şekil 6 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 önemini 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 çalışmada 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 Çizelge 1'de (3. İrdeme) tanımlanmış olup, simülasyon irdelemelerinde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi ise Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Analiz ve irdelemelerde uygulanan ölçüm modelinin sembolik gösterimi.

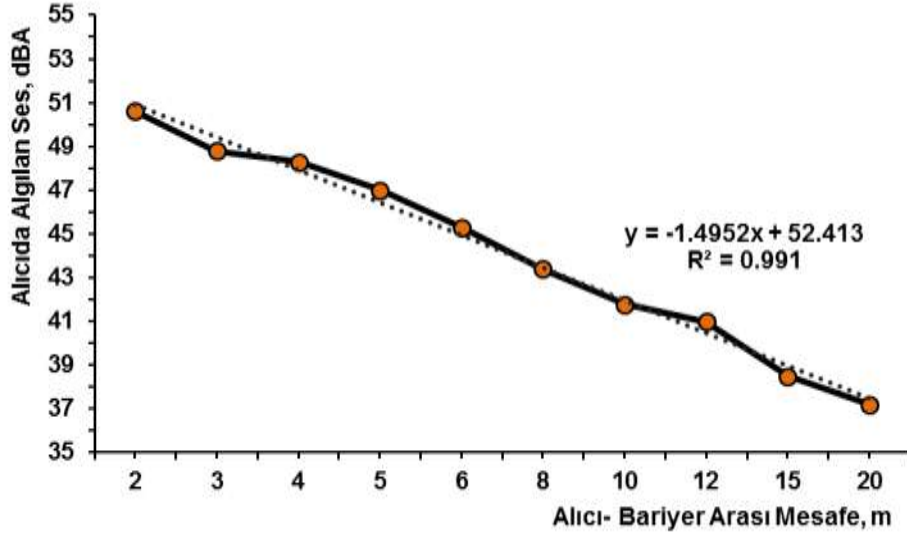
Figure 7. The symbolic view of the measurement model applied in analysis and examinations.

Bariyer yüksekliğinin 4,5 m olarak sabit tutulup, bariyer-alıcı arası mesafe değerinin değişken kılınarak kademeli olarak artırılmasıyla alıcıda algılanan ses seviyesi değerleri dBA biriminde Çizelge 4'te verilmiştir. Ayrıca, elde edilen teknik bulguların grafiksel analiz ise Şekil 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Bariyer ile alıcı ortam arasındaki mesafe değişiminin etki analizi.

Table 4. The impact analysis of the distance change between the barrier and the receiving.

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 8. Bariyer-Alıcı arası mesafe – Alıcıda algılanan ses seviyesi ilişkisi analizi.
Figure 8. The distance of barrier to receiver - Perceived sound level relationship analysis at the receiver.

Çizelge 4 ve Şekil 8 irdelendiğinde görüleceği üzere, bariyer ile alıcı arasındaki mesafe arttıkça, diğer bir değişle, 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 azalım 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 simülatif olarak irdelenmesi ve ortam koşullarının bir bütün olarak analizi gerekmektedir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

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 edilerek, tasarım bileşenlerinin tespiti de gerek maliyet, 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. Bu çalışmada 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.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Aksoylu C., 2014. Yapılardaki ses izolasyonunun bilgisayar ortamında simülasyonu. Selçuk Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, s 1-13.

- Chen Y., Cai W., Jian S., 2014. Simulation Analysis of Sound Insulation for Urban Traffic Noise, *Applied Mechanics and Materials* Vol. 684 (2014) pp 213-218 Submitted: 15 September 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.684.213
- FHWA (Federal Highway Administration), 2019. Traffic Noise Model. https://www.fhwa.dot.gov/Environment/noise/traffic_noise_model/
- 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*, 202- Vol. 41, No. 3, December 2013, Vienna, Austria.
- İlgürel N., Yüğüruk Akdağ N., Akdağ A., 2016. Evaluation of noise exposure before and after noise barriers, *Journal Of Environmental Engineering And Landscape Management*, ISSN 1648-6897 / eISSN 1822-4199 2016 Volume 24(04): 293–302, <http://dx.doi.org/10.3846/16486897.2016.1184671>.
- 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*, Vol. 60, Issue III, pp 343-350, September 2017.
- Navcon Engineering, 2019. Navcon Engineers for a Light Rail System. <https://navcon.com/www/content/noise-barrier-optimization>, ET: 27.03.2019.
- 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.
- Sound PLAN, 2019. <https://www.soundplan.eu/english/soundplan-acoustics/highlights/wall-design/>, ET: 29.03.2019.
- Subera, 2019. INSUL. http://www.subera.com/urun_detay.php?id=5, ET: 29.03.2019.