

## Gürültü Kontrolünde, Bitkisel Materyalin Etkinliğinin Araştırılmasına Yönelik Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi\*

### Evaluation of Studies Conducted to Investigate the Effectiveness of Plant Material in Noise Control

 Özhan ŞAHİN<sup>1</sup>,  M. Emin BARIŞ<sup>2</sup>

#### Özet

Artan nüfus, gelişen teknoloji, hızla çoğalan kentler ve sanayileşme ile bozulan doğal denge sonucu günden güne artan çevre sorunları, toplumların ekonomik ve sosyal yapısında değişimlere neden olmaktadır. Buna bağlı olarak, çevre sorunlarından biri olarak görülen gürültü kirliliği, insan sağlığı, yaşamı ve konforu üzerinde ciddi olumsuz etkilere sahiptir. Gürültü kirliliğini önemli bir sorun olarak kabul eden bireyler ve/veya kurumlar, trafikten kaynaklanan gürültünün saptanması ve gürültü kirliliğinin azaltılması konularında çalışmalarını sürdürmektedir. Gürültü kontrol çalışmalarında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı ise bitkisel gürültü perdeleridir. Bu çalışma, gürültü önlemede bitkisel materyalden yararlanmaya yönelik yapılan araştırmaların sonuçlarını ortaya koymaktadır. Özellikle, bitkilerin gürültü azaltma yeteneklerinin, bitkisel materyalin morfolojik özellikleriyle ilişkilendirildiği ve türlerin, gürültü azaltma yeteneklerinin saptanmasına yönelik ölçüm metodlarının ortaya konduğu pek çok ulusal ve uluslararası çalışma irdelenmiştir. Bu araştırma, söz konusu çalışmaların, sonuçlarının ortaya konması ve birbiriyle kıyaslanması noktasında değerlidir. Ortaya konulan veriler ve değerlendirmeler, gürültü perdelerinin planlanmasına, tasarımına ve özellikle tür seçimi konusuna ışık tutacak, gürültü kirliliği vb. çevre sorunlarının, insanlar üzerindeki etkilerinin azaltılmasına yönelik uygulamalar için rehber niteliği taşıyacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Gürültü kirliliği, Gürültü kontrolü, Gürültü perdesi, Bitkisel materyal, Bitki morfolojisi.

#### Abstract

Increasing population, developing technology, rapidly increasing cities and increasing environmental problems as a result of deteriorating natural balance by industrialization cause changes in the economic and social structure of societies. Accordingly, noise pollution, which is seen as one of the environmental problems, has serious negative effects on human health, life and comfort. Individuals and/or institutions that accept noise pollution as an important problem continue to work on detecting traffic noise and reducing noise pollution. Various methods are used in noise control studies. The most widely used of these are vegetative noise barriers. This study presents the results of the research on the use of plant material in noise prevention. In particular, many national and international studies have been examined in which the noise reduction abilities of plants are associated with the morphological characteristics of plant material and measurement methods for determining the noise reduction abilities of species are presented. This research is valuable in terms of revealing the results of these studies and comparing them with each other. The data and evaluations presented will shed light on the planning and design of noise barriers and especially on the selection of species, This will serve as a guide for practices aimed at reducing the effects of environmental problems such as noise pollution on people.

**Keywords:** Noise pollution, Noise control, Noise barrier, Plant material, Plant morphology.

Geliş Tarihi: 31.01.2023, Düzeltme Tarihi: 17.04.2023, Kabul Tarihi: 17.04.2023

Adres: <sup>1</sup>T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara

E-mail: ozhansahin@ankara.edu.tr

\*Bu çalışma, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı'nda "Bitkilerin Bazı Morfolojik Özelliklerine Göre Gürültü Azaltma Yeteneklerinin Saptanması" isimli doktora tezinden üretilmiştir.

## 1. Giriş

Çevre üzerinde olumsuz etkileri olan mühendislik yapılarından biri olan karayollarında araç sayısı her geçen gün artmakta ve bu durum özellikle kent içi ve yakın çevresinde çeşitli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Artan motorlu taşıt trafiği, özellikle metropol kentlerde trafik gürültüsünün rahatsız edici düzeylere ulaşmasına ve kentsel yaşam kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Örneğin, Avrupa Birliğine dahil ülkelerde yaşayan insanların %30'unun Dünya Sağlık Örgütü tarafından kabul edilen sınırın üzerinde gürültüye maruz kaldığı belirlenmiştir (Anonim, 2003).

İnsan sağlığı, yaşamı ve konforu üzerinde böylesine olumsuz etkilere sahip olan gürültü kirliliğine yönelik olarak birçok kurum ve kuruluş gürültü kaynaklarının tespiti, sınır değerlerin belirlenmesi, gürültü kirliliğinin azaltılması gibi çeşitli konularda çalışmalarını sürdürmektedir. Gürültü kontrol çalışmalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri gürültü perdelerinin tesis edilmesi olmakla birlikte gürültü perdelerinde, yapısal öğeler, bitkisel materyal ya da her ikisinin birlikte kullanıldığı çeşitli tasarım alternatiflerini görmek mümkündür.

Yapısal olarak tasarlanan gürültü perdeleri, gürültüyü azaltma konusundaki etkinliklerine karşın fiziksel olarak bölücü, ayırıcı ve kısıtlayıcı etkileriyle de ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle çoğu zaman görsel açıdan çevreyle uyumsuzluk noktasında estetik sorunlara ve çevre sakinleri tarafından kabul görmeme vb. gibi algısal birtakım problemlere neden olabilmektedir. Fiziksel gürültü önleme tekniklerinin bu olumsuz etkileri nedeniyle, son yıllarda gürültü perdesi olarak bitkisel materyalin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Gürültü kontrolünde bitkisel materyalin kullanılması gürültüyü azaltma yönündeki katkılarının yanı sıra birçok ekolojik katkı sağlarken yol ağaçlandırma çalışmalarının mevcut peyzaj ile daha kolay entegre olmasını kolaylaştırmakta ve bu doğrultuda estetik yol görüntülerini ortaya koymaktadır.

Bitkisel materyalin, sahip olduğu morfolojik özelliklere bağlı olarak gürültü azaltma yetenekleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu nedenle, etkili bir gürültü perdesi oluşturulabilmesi için, uygun bitki türünün seçilmesi gerekmektedir. Bu makale, gürültü önleme çalışmalarında tür seçiminin belirleyici olması nedeniyle bitkilerin gürültü azaltma yeteneklerinin, bazı morfolojik özellikleriyle ilişkilendirildiği çalışmaların değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, konu ile ilgili her türlü literatür verisinden; yabancı kaynaklar, internet kaynakları, yurtiçi ve yurtdışında yayınlanmış bilimsel makaleler, projeler, yüksek lisans ve doktora tezleri, kitaplar, dergiler, raporlar ve yerinde yapılan gözlemlerden yararlanılmıştır.

Araştırmaların içeriğine ve özgünlüğüne bağlı olarak, konu ile ilgisi nedeniyle bazı çalışmalar kısa bir özet şeklinde verilmişken, bitki morfolojisi ile ilişkilendirilen çalışmalar ise materyal, yöntem ve sonuç kısımları ile birlikte mümkün olduğunca detaylı bir şekilde aktarılmıştır.

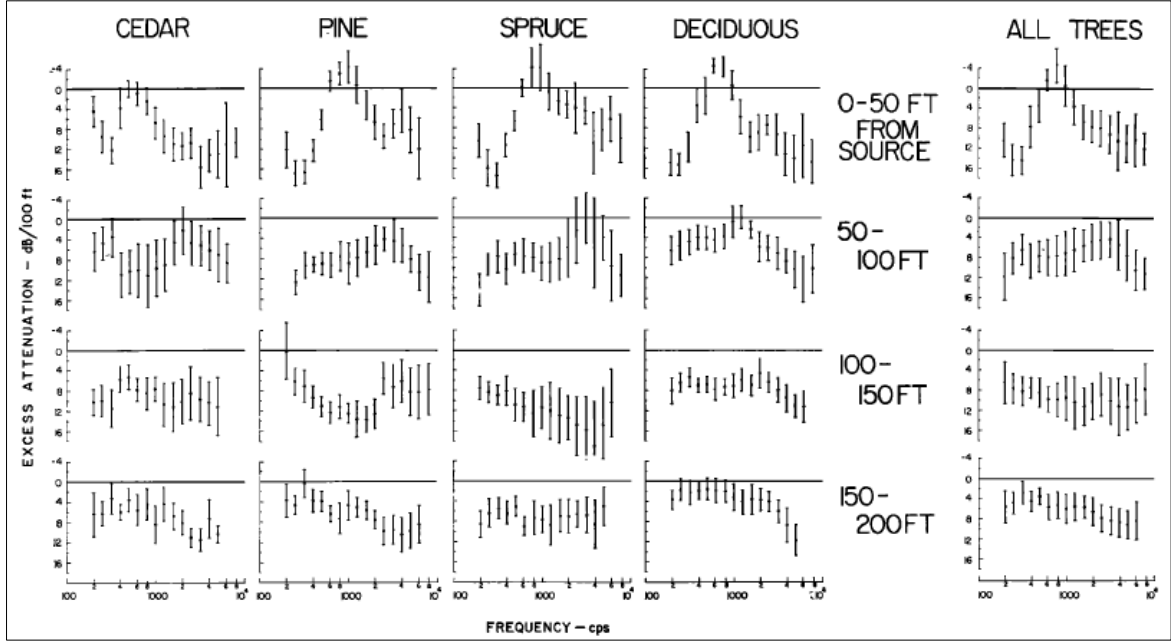
Konu ile ilgili yapılan çalışmaların sıralandırılmasında, sistematik olarak metodolojik bir sıralandırılma kullanılmıştır. Benzer metotların kullanıldığı çalışmalar (dış mekan ölçümlerine dayanan çalışmalar ve iç mekan ölçümlerine dayanan çalışmalar) diğer metotlardan ayrı olarak, tek bir başlık altında sunulurken, kendi içerisinde de yayınlanma tarihine göre kronolojik bir sıralandırılma tercih edilmiştir.

Söz konusu çalışmaların, her birinin sonuçları irdelenmiş, ortaya koyduğu değerler yönünden birbirleri ile kıyaslaması yapılmış, elde edilen veriler ile bitkisel materyalin, gürültü kontrolündeki etkinliğinin belirlenmesine yönelik ileride yapılacak araştırmalara ışık tutabilecek öneriler sunulmuştur.

## **2. Dış Mekân Ölçümlerine Dayanan Çalışmalar**

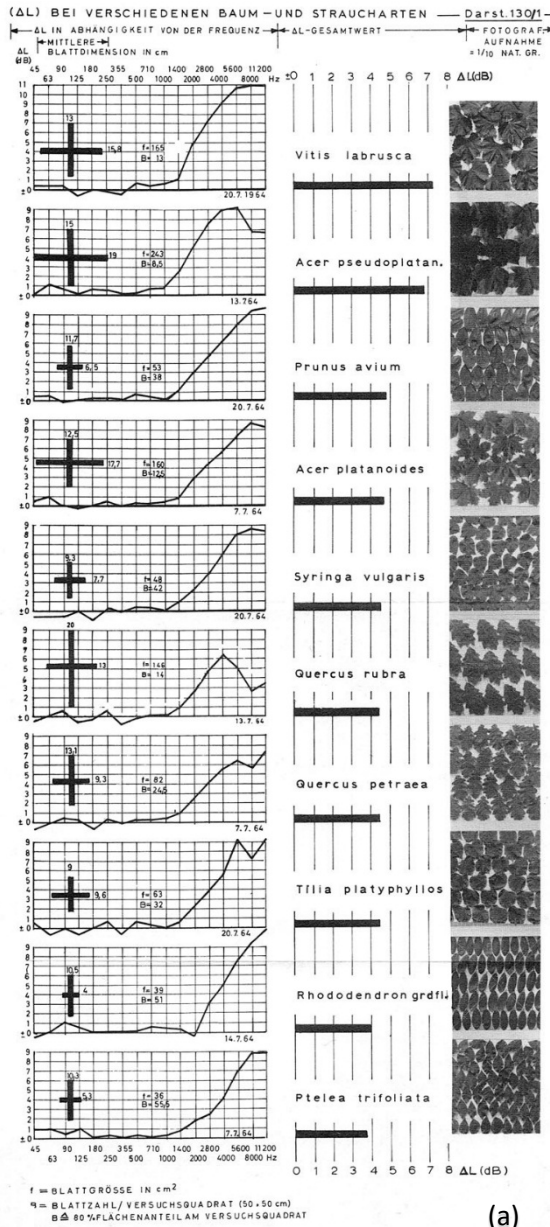
Dış mekânda, ses kaynağı ve ses ölçüm cihazı ile doğrudan bitkisel materyal üzerinde yapılan ölçümlere dayanan çalışmalardır.

Konu ile ilgili bilinen en eski araştırmalardan biri, Embleton (1963), dört farklı orman tipinde (sedir, çam, ladin, yaprak döken (kavak, karaağaç vd.) 20 farklı lokasyonda, 4 farklı mesafede (50 ft, 100 ft, 150 ft, 200 ft) ağaçların sesi azaltmadaki etkilerini ölçmüştür. Frekanstan bağımsız olarak 200 Hz – 2.000 Hz frekans aralığında ses seviyesinde yaklaşık 7dB/100ft'lik bir sabit azalış gözlemlenmiştir. Şekil 1'de, ilk dört sütunda, her bir orman tipinin, kaynaktan 50 ft, 50 ft – 100 ft, 100 ft – 150 ft, 150 ft – 200 ft mesafelerdeki gürültü azaltma seviyeleri, son sütunda ise ortalama değerler gösterilmiştir. Araştırmanın ilerleyen aşamalarında, ses seviyesinde ölçülen bu değerler, laboratuvar ortamında ölçülen ağaç gövde ve dallarının rezonans (yankılanma-titreşim) değerleriyle ilişkilendirilmiştir.



Şekil 1. 4 farklı orman tipinin, farklı mesafelerdeki gürültü azaltım seviyeleri ve ortalama değerleri (Embleton, 1963).

Diğer bir çalışma, bitkilerin gürültü azaltımı konusunda öncü araştırmacılardan olan Alman peyzaj tasarımcısı Gerhard Beck tarafından gerçekleştirilmiştir. Beck (1965;1967), belli başlı ağaç ve çalı türlerinin (*Salix eleagnos*, *Lonicera tatarica*, *Cotoneaster multiflora*, *Sophora japonica*, *Spiraea vanhouttei*, *Ligustrum vulgare*, *Caragana arborescens*, *Forsythia intermedia*, *Betula verrucosa*, *Sorbaria sorbifolia*, *Cornus alba*, *Cornus sanguinea*, *Pterocarya fraxinifolia*, *Sambucus nigra*, *Philadelphus pubescens*, *Alnus incana*, *Crataegus prunifolia*, *Lonicera maackii*, *Corylus avellana*, *Fagus silvatica*, *Carpinus betulus*, *Ribes divaricatum*, *Tilia cordata*, *Syringa vulgaris*, *Viburnum lantana*, *Populus berolinensis*, *Tilia platyphyllos*, *Acer pseudoplatanus*) gürültü azaltma kapasitelerini incelemiştir. Bunun için, hoparlör ve frekans üreticiden oluşan ses kaynağı ağaçlara, çalılara ve her bir bitki üzerinden toplanan yaprakların dizildiği yüzeye yönlendirilmiş ve ses ölçüm cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bitkilerin gürültü azaltım kapasitelerinin sahip olduğu yapraklar ile ilişkilendirilebilmesi için yaprakların dB cinsinden gürültü azaltım seviyelerinin 45 Hz – 11.200 Hz frekans aralığında değişimlerini gösteren spektrumlar ve grafikler üretilmiştir (Şekil 2). Saha çalışmalarında, bitkilerin mevsimsel değişimleri ve rüzgar yönü, basınç, nem ve sıcaklık gibi atmosferik koşullar da not edilmiştir. Türler, yapraklı ve yapraksız olduğu koşullardaki gürültü azaltma seviyelerine göre gruplandırılmış ve sistematize edilmiştir.



SCHALLPEGELMINDERUNG ( $\Delta L$ ) BEZOGEN AUF DEN DURCHSCHNITTLICHEN LAUBEFFEKT =  $\Delta L_1$ (BELAUBT) -  $\Delta L_2$ (UNBELAUBT)

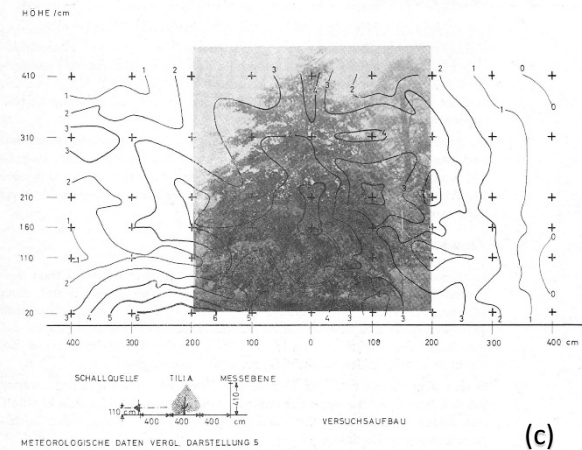
Gruppe	Objekt	GATTUNG/ART	$\Delta L_1 - \Delta L_2$	$d_B(\Delta L)$										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9		
I	H 14	Salix eleagnos	1,2 - 0,7											
	H 12	Lonicera tatarica	2,5 - 2,0											
	H 20/3	Cotoneaster multifl.	2,3 - 1,8											
	T 38	Sophora japonica	3,8 - 3,1											
	T 7/10/12/15	Spiraea vanhouttei	1,8 - 1,0											
	H 2/11	Ligustrum vulgare	2,0 - 1,2											
II	H 18	Caragana arboresc.	2,7 - 1,3											
	T 22	Forsythia intermedia	4,5 - 3,0											
	T 30	Betula verrucosa	5,7 - 4,1											
	H 4/29	Sorbaria sorbifolia	2,7 - 1,1											
	T 36	Cornus alba	5,1 - 3,0											
	H 15	Cornus sanguinea	2,2 - 0,1											
	T 17	Pterocarya fraxinif.	4,0 - 1,8											
	T 19	Sambucus nigra	3,0 - 0,8											
	T 6/11/13	Philadelphus pubesc.	4,6 - 2,4											
	T 21	Alnus incana	3,2 - 0,6											
	H 6/19	Crataegus prunif.	3,7 - 1,1											
	III	T 23	Lonicera maackii	6,3 - 3,5										
H 24		Corylus avellana	4,1 - 1,3											
T 27		Fagus sylvatica	5,3 - 2,4											
H 9/10/31/35														
T 3/29		Carpinus betulus	5,3 - 1,7											
H 1/5/13/28		Ribes divaricatum	5,4 - 1,8											
IV	T 3	Tilia cordata	6,3 - 2,5											
	T 28/25	Syringa vulgaris	5,4 - 1,6											
	T 33/34/35													
V	T 8/9	Viburnum lantana	6,1 - 1,4											
	H 16	Populus berolinens.	9,5 - 4,1											
VI	T 24	Tilia platyphyllos	6,9 - 0,2											
	T 43	Acer pseudoplatanus	10,7 - 2,5											

(b)

LINIEN GLEICHER SCHALLPEGELMINDERUNG BEI TILIA PLATYPHYLLOS / dB

MESSUNG VOM 8.10.1963

M 1:25



**Şekil 2.** (a) Farklı ağaç ve çalı türlerinin ses azaltma seviyelerini gösteren grafikler (Beck, 1965; Jasper, 2018) (b) Farklı bitki türlerinin desibel cinsinden gürültü azaltma seviyeleri (Beck, 1967; Jasper, 2018) (c) *Tilia platyphyllos* türüne ait eş ses seviyesi azaltma eğrileri (Beck, 1967; Jasper, 2018).

Araştırma sonuçları, *Acer pseudoplatanus* türünün sesi 10-12 dB'e kadar azaltabildiğini, *Tilia platyphyllos* ve *Viburnum lantana* türlerinin de gürültü azaltımında etkin bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Ayrıca küçük boyutlara sahip olmasına rağmen *Rhododendron* gibi yaprak dökmeyen türlerin, kış mevsiminde gürültü kontrolünde önemli ölçüde etkili olabileceği ifade edilmiştir.

Bernatzky (1978). "Tree Ecology and Preservation" isimli kitabında "Noise reduction by trees and shrubs" başlığı altında, Ürgenç (1990) ise, "Genel Plantasyon ve Ağaçlandırma

Tekniği” kitabında Beck’in (1967) yaptığı çalışmalara atıfta bulunarak, ağaç ve çalıları gürültüyü azaltma değerlerine göre gruplandırmışlardır (Şekil 3).

Noise reduction by trees and shrubs (after Beck, 1967)		GRUPLAR	dBA	BİTKİLER
<b>Group III Noise reduction of 4 – 6 dB</b>		Grup I	0-2	<i>Salix elaeagnos</i> , <i>Picea glauca</i> con., <i>Chamaecyparis laws</i> , <i>Glauca</i> , <i>Salix alba</i> vit., <i>Thuopsis dolabrata</i> , <i>Sophora japonica</i> , <i>Buxus sempervirens arbor. salicif.</i> , <i>Cotoneaster multiflorus</i> , <i>Picea asperata</i> , <i>Spricia x vanhouttei</i> , <i>Taxus bacatta</i> .
<i>Juniperus chinensis Pfitzeriana</i>	<i>Lonicera maackii</i>			
<i>Betula pendula</i>	<i>Crataegus x prunifolia</i>	Grup II	2-4	<i>Chamaecyparis obt. Nana.</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Rhodopyphos scandens</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Caragana arberessens</i> , <i>Pyracanta coccinea</i> , <i>Prunus mahaleb</i> , <i>Rosa multiflora</i> , <i>Lonicera korolkovii</i> , <i>Sorbaria sorbifolia</i> , <i>Lonicera tatarica</i> , <i>Chamaecyparis pisifillif.</i>
<i>Alnus incana</i>	<i>Lonicera ledebourii</i>			
<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Acer negundo</i>	Grup III	4-6	<i>Juniperus chin. Pfitzeriana</i> , <i>Forsythia x intermedia</i> , <i>Betula pendula</i> , <i>Sambucus nigra</i> , <i>Lonicera maackii</i> , <i>Lonicera ledebourii</i> , <i>Alnus incana</i> , <i>Acer negundo</i> , <i>Crataegus x prunifolia</i> , <i>Populus canadensis hybrids</i> , <i>Cornus alba</i> , <i>Coryllus avellana</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Tilia cordata</i> , <i>Pterocarya fraxinifolia</i> .
<i>Cornus alba</i>	<i>Populus canadensis hybrids</i>			
<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	<i>Corylus avellana</i>	Grup IV	6-8	<i>Philadelphus pubescens</i> , <i>Ilex aquifolium</i> , <i>Carpinus betulus</i> , <i>Ribes divaricatum</i> , <i>Syringa vulgaris</i> , <i>Quercus robur</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Rhododendron</i> .
<i>Forsythia x intermedia</i>	<i>Tilia cordata</i>			
<i>Sambucus nigra</i>	<i>Tilia cordata</i>	Grup V	8-10	<i>Populus x berolinensis</i> , <i>Viburnum lantana</i> , <i>Tilia platyphyllo</i> , <i>Viburnum rhytidophyllum</i> .
<b>Group IV Noise reduction of 6 – 8 dB</b>				
<i>Philadelphus pubescens</i>	<i>Ilex aquifolium</i>	Grup VI	10-12	<i>Acer pseudoplatanus</i> .
<i>Carpinus betulus</i>	<i>Ribes divaricatum</i>			
<i>Syringa vulgaris</i>	<i>Quercus robur</i>			
<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Rhododendron</i>			
<b>Group V Noise reduction of 8 – 10 dB</b>				
<i>Populus x berolinensis</i>	<i>Viburnum rhytidophyllum</i>			
<i>Viburnum lantana</i>	<i>Tilia platyphyllo</i>			
<b>Group VI Noise reduction of 10 – 12 dB</b>				
<i>Acer pseudoplatanus</i>				

**Şekil 3.** Ağaç ve çalıların gürültüyü azaltma (dB) değerlerine göre gruplandırılması ((a) Bernatzky, 1978; (b) Ürgenç, 1990’ten değiştirilerek).

Aktaş (2002), “Kent içi alanlarda bitki kullanımı ile gürültü kontrolü (İstanbul, Maslak-Zincirlikuyu hattı örneğinde)” isimli araştırmasında, gürültü düzeylerinin elde edilmesi ve bitkisel materyalin gürültünün azalmasına etkisini belirlemek amacıyla, bitkisel materyal içeren 15 noktada ölçümler gerçekleştirmiştir. Ölçüm sonuçları, söz konusu hat üzerinde bitki perde ve gruplarının gürültüyü belli derecelerde engelledikleri sonucunu ortaya koymuştur. Bu durum, bitkisel perde amacıyla yapılmış bir bitki topluluğu olmamasına rağmen, mevcut bitki gruplarının, gürültü azaltımında önemli bir rol üstlendiğini göstermiştir.

Fang ve ark. (2003), araştırmasında, 35 her dem yeşil farklı ağaç türünün, gürültüyü azaltmadaki etkisini incelemiştir. Bunun için, ağaç sıralarının önüne noktasal bir gürültü kaynağı konumlandırarak, bitkilerin arkasında gürültü ölçüm cihazı ile ölçüm gerçekleştirmiştir. Ağaç sıralarının genişliği, uzunluğu ve görüş mesafesi ile gürültünün azaltılmasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bu amaçla yapılacak dikimlerde gürültüyü önleyebilmek için elde ettiği sonuçlar ile bazı önerilerde bulunmuştur.

Tyagi ve ark. (2006), Hindistan’ın başkenti Delhi’de, üç farklı vejetasyon tipinin farklı frekanslarda yayılan sesin etkisini azaltmadaki etkinliğini ölçmüştür. Sonuçlar, yüksek frekanslarda vejetasyonun gürültüyü düşük frekanslara göre daha çok azaltabildiğini ortaya koymuştur.

Bitkisel materyalin gürültü azaltımındaki rolüne ilişkin olarak, Erdoğan ve Yazgan (2007), yaptıkları bir çalışmada, ibreli ve yapraklı türleri karışık bir şekilde dizerek gürültüyü engelleme potansiyelini ölçmüşlerdir. Bu çalışmada ibreli türler olarak *Chamaecyparis lawsoniana*, *Cupressus sempervirens Leylandii*, *Cupressus sempervirens cv. Glauca*, *Thuja orientalis* kullanılırken, geniş yapraklı türler olarak, *Philadelphus coronarius*, *Forsythia intermedia*, *Lonicera tatarica*, *Pyracantha coccinea*, *Crataegus monogyna* kullanılmıştır. Bu çalışmada oluşturulan bitkisel perdenin genişliği 3 m, uzunluğu ise 30 m'dir (Şekil 4). Gerçekleştirilen gürültü ölçümleri sonucunda bu perdenin gürültüyü 5 dB(A) kadar azalttığı saptanmıştır. Çalışmanın sonucunda, denemede kullanılan bitki türleri, gürültüyü önleyici ya da azaltıcı türler olarak önerilmiş, gürültünün azaltılmasında bitkisel materyalin rolü ve işlevi tartışılarak Ankara kenti özelinde tasarım yaklaşımları ve kullanılabilecek türlere ilişkin öneriler geliştirilmiştir.

	Thuja orientalis	Pyracantha coccinea	Crataegus coccinea	Thuja orientalis	Pyracantha coccinea	Crataegus coccinea
Chamaecyparis lawsoniana	Cupressus leylandii	Cupressus sempervirens var. glauca	Chamaecyparis lawsoniana	Cupressus leylandii	Cupressus sempervirens var. glauca	
	Lonicera tatarica	Forsythia intermedia	Philadelphus coronarius	Lonicera tatarica	Forsythia intermedia	Philadelphus coronarius

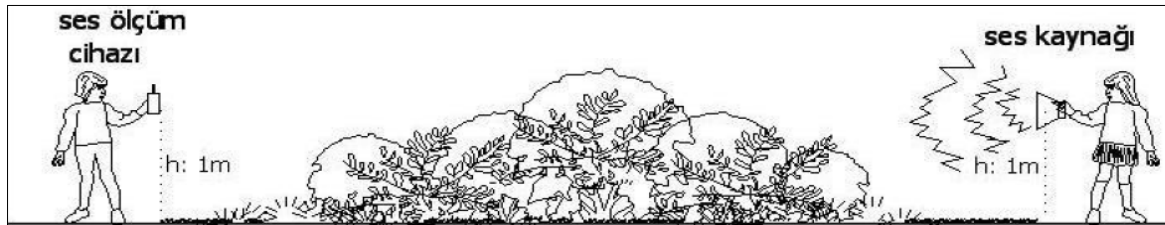
**Şekil 4.** Üç şeritlik bitkisel perdeleme düzeni ve kullanılan türler (Erdoğan ve Yazgan, 2007).

Maleki ve ark. (2010), Tahran'da bulunan Chitgar orman parkında *Robinia pseudoacacia* ve *Pinus eldarica* türlerinin tek tek ve karışık halde bulunduğu plantasyon tiplerinin gürültü kirliliğini azaltmasını incelenmiştir (Şekil 5). Her bitki tipinin önüne bir gürültü kaynağı yerleştirilerek, yedi değişik mesafede (10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 75 m, 100 m) beş tekrar ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre en iyi ses yutumunu, türlerin karışık halde bulunduğu orman tipinde ve 100 metrede 16.91 dB(A) olarak elde etmişlerdir.



**Şekil 5.** Ölçümde kullanılan 3 tip orman tipinin form durumları (a) *Robinia pseudoacacia* (b) *Pinus eldarica* (c) Her ikisinin karışık halde bulunduğu tip (Maleki ve ark., 2010).

Mutlu (2010), “Konya kent içi trafik gürültüsünün engellemesinde kullanılacak bazı bitkiler üzerinde bir araştırma” adlı çalışmada, örnek olarak seçilmiş çalıların (*Pyracantha coccinea*, *Cotoneaster horizontalis*, *Berberis thunbergii*, *Cotoneaster dammeri*, *Forsythia intermedia*, *Juniperus horizontalis*, *Euonymus japonica*, *Spiraea vanhouetti*, *Tamarix tetrandia*) gürültüyü hangi oranda azalttığını ölçmüş ve farklı kompozisyonlarda mukayese yapmıştır. Gürültü seviyesindeki azalışın saptanması amacıyla 5 m, 9 m ve 20 m genişliğindeki bitki refüjlerinde toplam 15 ölçüm yapılmıştır (Şekil 6). 5 m genişliğindeki alanda ortalama 5.2 dB(A) gürültü azalımı oluşurken, 9 m genişliğindeki alanda ortalama 4.36 dB(A) lik bir azalma meydana gelmiştir. 20 m genişliğindeki alanda ise ortalama 4.72 dB(A) lik gürültü azalımı tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, çalışmada kullanılan çalı türlerinin gürültüyü hissedilir derecede azalttığı belirlenmiş ve ayrıca çalıların grup şeklinde kullanımının gürültüyü azaltmada daha etkili oldukları ifade edilmiştir.

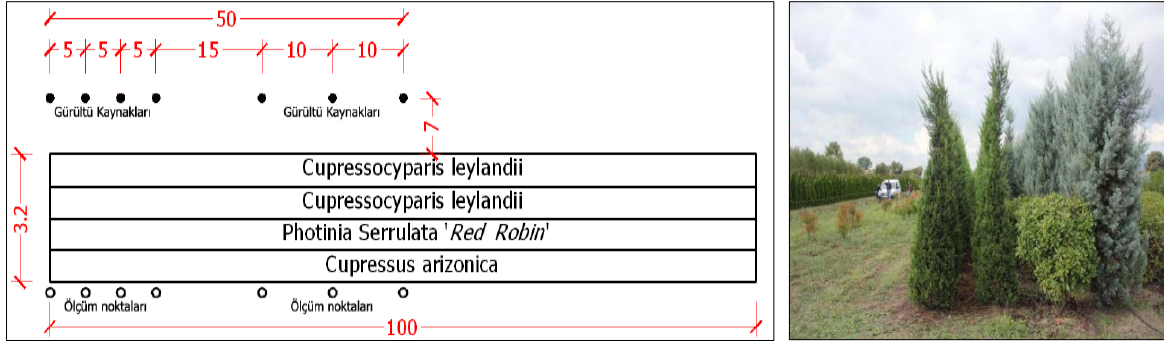


**Şekil 6.** Ölçüm planının şematik gösterimi (Mutlu, 2010’den değiştirilerek).

Demir ve ark. (2010), araştırmalarının bir bölümünde, bitki perdesinin uzunluğunun, gürültüyü engelleme açısından ortaya koyduğu farklılıkları incelemiştir. Materyal olarak, *Cupressocyparis leylandii* (2,5 m), *Photinia serrulata* ‘Red Robin’ (1 m) ve *Cupressus*



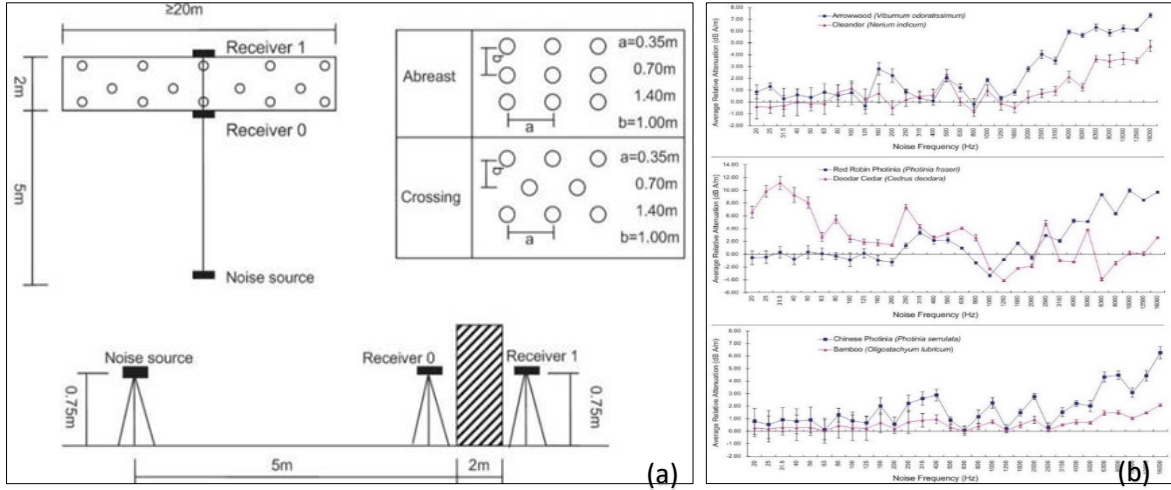
*arizonica* (3-3,5 m) türleri kullanılmıştır. Bitki perdesinin genişliği 3,2 m'dir. Şekil 7'de ifade edildiği üzere, gürültü kaynağı ilk olarak perdenin başladığı yere ve daha sonra sırasıyla 5 m, 10 m, 15 m, 30 m, 40 m ve 50 m mesafelere taşınarak her seferinde perdenin arka kısmında kaynağın bulunduğu noktanın izdüşümünde ölçümler gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 7.** Perdenin uzunluğu ile gürültünün engellenmesi ilişkisine ait çalışma krokisi ve perdenin kesit görünümü (Demir ve ark., 2010).

Araştırma sonuçlarına göre, ilk 10 metreye kadar olan bölümde gürültü seviyesindeki azalmanın çok fazla olmadığı, 10 metreden sonra hissedilir derecede azalma görüldüğü daha sonra 15 m, 30 m, 40 m ve 50. metrelerde ise değişmediği saptanmıştır. Özetle, bitkisel perdenin uzunluğu ile gürültünün engellenmesi arasında bir ilişki olduğu, ayrıca araştırmanın diğer sonuçlarında, yaprak alan yüzeyinin fazlalığı ve perde genişliği ile gürültünün azalması arasında bir ilişki olduğu da ifade edilmiştir.

Fan ve ark. (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, araştırma konusu olarak 6 adet her dem yeşil tür (*Viburnum odoratissimum*, *Nerium indicum*, *Photinia serrulata*, *Oligostachyum lubricum*, *Photinia fraseri*, *Cedrus deodara*) seçilmiş ve bu bitkilerin farklı yoğunluk ve kombinasyonları ile gürültü azaltmadaki etkileri incelenmiştir. Türlerin morfolojik durumları (eni, boyu, yüksekliği vb. karakteristik özellikleri) tanımlanmıştır. Sıralı ve şaşırtmalı dikim şeklinde 2 farklı şerit düzeni oluşturularak ölçümler yapılmıştır. Türlerin birim metrede gürültü azaltma seviyeleri frekansa göre belirlenmiş, her bitki türü için gürültü azaltım spektrumları üretilmiş, türlerin gürültü azaltma etkinliklerinin frekansa göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 8).



**Şekil 8.** (a) Ölçüm planının şematik gösterimi, (b) Türlerin gürültü azaltım spektrumları (Fan vd., 2010).

Çizelge 1’de türlerin gürültü azaltma seviyeleri, bitkinin biyolojik karakteristikleri olan yaprak alanı, yaprak ağırlığı, yaprak yüzeyi ve yaprak şekli ile ilişkilendirilmiştir.

**Çizelge 1.** Türlerin biyolojik karakteristikleri ve gürültü azaltma seviyeleri (Fan ve ark., 2010).

Species	Leaf Area <sup>a</sup> (cm <sup>2</sup> )	Leaf Weight <sup>a</sup> (g)	Leaf Tactility <sup>b</sup>	Leaf Shape <sup>c</sup>	$\overline{\Delta L}_{Acp}$ (dB A/m)
Arrowwood	25.31 ( $\pm 3.06$ )	12.02 ( $\pm 2.71$ )	0.47 ( $\pm 0.05$ )	2.69 ( $\pm 0.40$ )	3.91 ( $\pm 0.03$ )
Red Robin Photinia	17.83 ( $\pm 2.08$ )	7.68 ( $\pm 1.73$ )	0.43 ( $\pm 0.06$ )	2.26 ( $\pm 0.23$ )	3.80 ( $\pm 0.06$ )
Chinese Photinia	16.83 ( $\pm 1.05$ )	6.38 ( $\pm 0.72$ )	0.38 ( $\pm 0.03$ )	2.57 ( $\pm 0.22$ )	3.39 ( $\pm 0.04$ )
Oleander	10.34 ( $\pm 1.09$ )	6.60 ( $\pm 0.82$ )	0.64 ( $\pm 0.02$ )	5.84 ( $\pm 0.27$ )	1.50 ( $\pm 0.14$ )
Bamboo	14.33 ( $\pm 1.56$ )	2.84 ( $\pm 0.57$ )	0.20 ( $\pm 0.04$ )	11.78 ( $\pm 0.53$ )	0.66 ( $\pm 0.03$ )
Deodar Cedar	3.77 ( $\pm 0.38$ )	0.10 ( $\pm 0.01$ )	0.03 ( $\pm 0.01$ )	35.85 ( $\pm 3.46$ )	-0.44 ( $\pm 0.15$ )

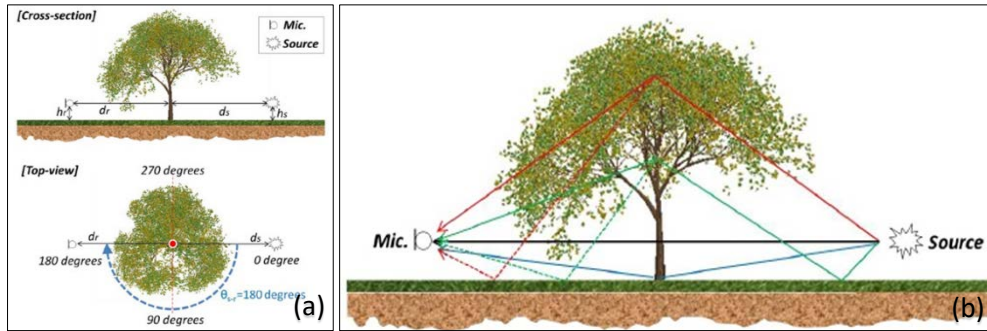
Araştırma sonuçları özetle, gürültü azaltmada, şaşırtmalı düzeninin sıralı düzenden daha etkin olduğunu, bitki yoğunluğu ile gürültü azalma seviyesi arasında doğru orantı olduğunu, oval ve geniş yapraklı türlerin, ince ve uzun yapraklı türlere göre gürültüyü azaltmada daha etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Yang (2013), açık bir alanda tek bir ağacın sesi azaltma etkisini incelemiştir. Çalışmada, bir dizi ölçümler gerçekleştirilmiş, sesin saçılması ve yankılanma sürelerinin hesaplanmasıyla, bu etkinin ağacın hangi morfolojik özelliğiyle ilişkilendirilebileceği üzerinde durulmuştur. Taç yapısı birbirinden farklı 5 farklı ağaç türü seçilmiştir (Şekil 9).



**Şekil 9.** Çalışma kapsamında araştırmaya konu olan ağaç türlerinin formları (1) *Quercus robur* (2) *Quercus petraea* (3) *Prunus avium* (4) *Acer pseudoplatanus* (5) *Tilia europaea* (Yang, 2013).

Yerden 1.5 m yükseklikte bulunan ses kaynağı ve alıcı, aralarında 60 m mesafe olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 10a). Ağacın varlığında, ses dalgalarının farklı yollar izleyerek yayılması söz konusu olduğu belirtilerek, bu yolların; kaynaktan alıcıya direkt izlediği yol, yerden bir kez yansıyor izlediği yol, tamamen yansımalarla izlediği yol ve yerden yansımaların kombinasyonu şeklinde izlediği yollar olarak özetlenmiştir (Şekil 10b).



**Şekil 10.** (a) Kaynak ve alıcının konumlandırılması (yandan ve üstten görünüş), (b) Tek bir ağacın ses yayılımına etkisi (Yang, 2013).

Ölçümler 125 Hz – 4.000 Hz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Alanda ağaç varlığının, yankılanma sürelerini artırdığı tespit edilmiş, 500 Hz frekansa kadar zemin etkisinden, 500 Hz ve özellikle 1.000 Hz üzerindeki frekanslarda ise ağaç etkisinden söz edilmiştir. Ağaçların yapraklı ve yapraksız olduğu durumdaki ölçüm sonuçları karşılaştırılmış ve yaprak varlığının daha uzun yankılanma süreleri sağladığı ve dolayısıyla gürültü engellemede etkin bir unsur olduğu ortaya konmuştur. Bu durum, ağaç tacındaki yüzey alanının artışı ile açıklanmış, “yaprak alanı yoğunluğu” parametresinin bu anlamda önemli bir role sahip olduğu ifade edilmiştir. Özetle, çapı ve yüksekliği daha fazla olan ağaç türünün gürültüyü engellemede daha etkin olduğu, yankılanma sürelerinin, bitki üzerindeki yaprakların toplam yüzey alanının artışıyla paralel olarak artış gösterdiği ifade edilmiştir. Sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için, ayrıca türlerin ses azaltım seviyelerinin tespit edilmesi gerektiği, bu tespitin, bitkilerin yaprak şekli, yaprak büyüklüğü, yaprak kalınlığı ve yaprak alanı yoğunluğu ile ilişkilendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

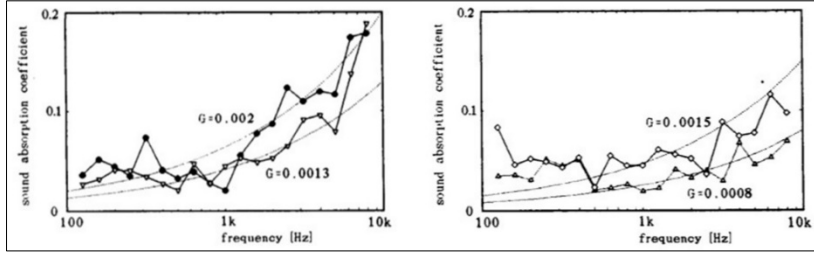
Doygun ve Doygun (2018), “Trafik Gürültüsünün Kontrolünde Bitki Perdelerinden Yararlanılması Üzerine bir Araştırma” isimli çalışmasında, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi’nde gerçekleştirilen ölçümler için 7 farklı ağaçlık ve çalı formulu dış mekân süs bitkisi (*Pittosporum tobira*, *Thuja orientalis* “*pyramidalis*”, *Viburnum tinus*, *Photinia serrulata*, *Euonymus japonica*, *Buxus sempervirens*, *Santolina chamaecyparissus*) kullanarak, bitki perdeleri oluşturmuştur. Bitki perdelerinde öncelikli olarak türlere tek başına yer verilmiş, sonrasında türler arasında bazı kombinasyonlar denenerek boy ve form farklılıklarının gürültü seviyesindeki değişime etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bitki perdelerinin ses seviyesinin azaltılmasında etkin rol oynadığını ortaya koymuştur. Bitkisel perdelerde tek türün kullanıldığı zamanda gerçekleştirilen ölçümler neticesinde, gürültü azaltımında, “*Pittosporum tobira*” bitkisinin, diğer türler ile kıyaslandığında en etkin tür olduğu tespit edilmiş, bu durum bitkinin geniş yapraklı, gelişmiş ve geniş tepe taç yapısına sahip olması ile açıklanmıştır.

### 3. İç Mekân Ölçümlerine Dayanan Çalışmalar

Malzemelerin (özellikle bitkisel materyal vb. gözenekli malzemeler) akustik özelliklerini ölçmek için, ses yutma ve gürültü azaltma katsayılarının hesaplanmasında kullanılan empedans tüp metodu ve çınlama odası metodunu tercih eden çalışmalardır.

Watanabe ve Yamada (1996), “Sound attenuation through absorption by vegetation” isimli araştırmasında, materyal olarak kullandığı, 2 adet geniş yapraklı (*Aucuba japonica*, *Euonymus japonica*) ve 2 adet iğne yapraklı (*Cyptomeria japonica*, *Chamaecyparis pisifera* var. *plumosa*) olmak üzere 4 farklı bitki türünün yankılanma odasında ölçtüğü ses yutma katsayıları ve anekoik odada ölçtüğü ses azaltma değerlerinden yola çıkarak, bitkilerin teorik olarak (önceden tahmin edilebilir şekilde) ses yutum katsayılarının hesaplanabilmesine olanak sağlayacak bir formül ortaya koymuş ve bu formülü bitkilerin ses azaltma seviyeleri ile ilişkilendirmeye çalışmıştır (Şekil 11).

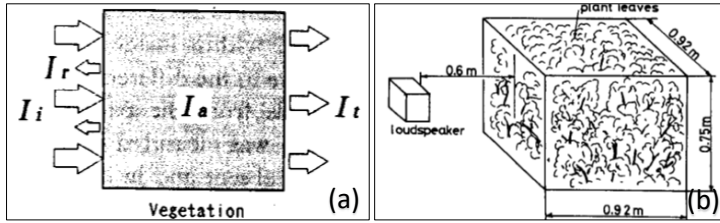
Yankılanma odasında bahsi geçen türlerin varlığı ve yokluğu arasındaki yankılanma sürelerindeki farkın ortaya çıkarılması ile türlerin ses yutma katsayıları hesaplanmıştır. Türlerin ses yutma katsayıları arasındaki fark, bitkilerin toplam yaprak yüzey alanlarının farklı oluşuyla açıklanmıştır.



**Şekil 11.** Türlerin ses yutma katsayıları, ● *Aucuba japonica*, ▽ *Euonymus japonica*, ▲ *Cryptomeria japonica*, ◇ *Chamaecyparis pisifera var. plumosa*. (Watanabe ve Yamada, 1996).

Ayrıca *Chamaecyparis pisifera var. plumosa* bitkisinin yapraklı ve yapraksız olduğu durumlarda ölçümler gerçekleştirilmiş olup, bitkinin yapraksız olduğu durumda hesaplanan ses yutma katsayılarının, yapraklı olduğu duruma göre daha düşük değerlerde olduğu ifade edilmiştir.

Bitkilerin ses azaltma seviyesi ile ses yutma katsayısı arasında bir ilişki kurulabilmesi için, farklı yaprak alan yoğunluklarına sahip 2 tür (*Cryptomeria japonica*, *Catanopsis sieboldii*) üzerinde, anekoik odada, bitkinin önünde ve arkasında, 315 Hz – 4 kHz frekans aralığında ses ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, bitkilerin ses azaltma seviyesi ile ses yutma katsayısı arasında, yaprak alan yoğunluğu, bitki genişliği ve yaprak büyüklüğü ile doğru orantılı çalışan matematiksel bir denklem ortaya konmuştur. Şekil 12a'da ses dalgasının bitki içerisinden geçerken gösterdiği yayılım bileşenlerine, Şekil 12b'de ise bitkisel materyalin ölçülendirilmesine ilişkin görsellere yer verilmiştir.



**Şekil 12.** (a) Ses dalgasının bitki içerisinden geçerken gösterdiği yayılım bileşenleri,  $I_i$ : Bitkiye gelen ses  $I_t$ : Bitki içerisinden geçip, diğer taraftan çıkan ses  $I_a$ : Bitki tarafından absorbe edilen ses  $I_r$ : Yansıyan ses (b) Bitkisel materyalin ölçülendirilmesi (Watanabe ve Yamada, 1996).

Smyrnova vd. (2010), Avrupa'da sokak ve caddelerin peyzajında kullanılan 3 türün, hem tür farklılığı hem de yoğunluk farklılığında, yankılanma odasında ve empedans tüpünde ses yutma özelliklerini incelemişlerdir. Şekil 13'de, ölçümde kullanılan bitki türlerinin form durumlarına ait görseller yer almaktadır.



**Şekil 13.** Ölçümde kullanılan bitki türlerinin form durumları (a) *Viola x wittrockiana* ve *Primula vulgaris* (b) *Buxus sempervirens* (sık) (c) *Buxus sempervirens* (seyrek) (Smyrnova ve ark., 2010).

Sonuçlar, bitkilerin ses yutma katsayısının orta ve yüksek frekanslarda ortalama 0.5'in üzerinde olduğunu göstermiştir. Ancak elde edilen bu yüksek değere sadece bitkinin değil, saksı ve toprak yüzeyin de etkisi olduğu, dolayısıyla yalnızca bitkilerin sesi absorbe etme kapasitesinin belirlenmesi için daha detaylı çalışmalar yapılması gerektiği ifade edilmiştir.

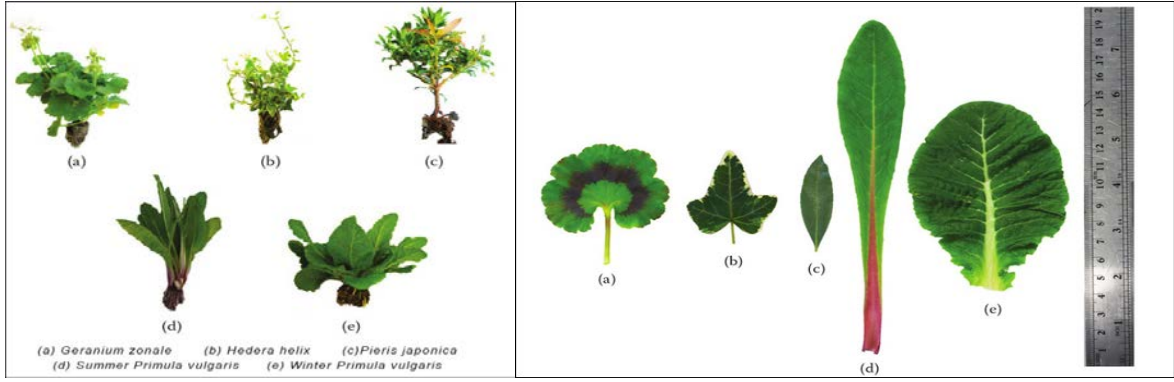
Yang (2013) tarafından, gürültü kontrolünde, toprağın derinliği, nem içeriği, vejetasyonun yoğunluğu ve türlerin farklı morfolojik özellikleri gibi planlanabilen çeşitli bileşenlerin etkinliğinin ortaya çıkarılması için yankılanma odasında bir dizi ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümde kullanılan bitki türlerine ait görseller Şekil 14'de verilmiştir.



**Şekil 14.** Ölçümde kullanılan bitki türlerinin form durumları (a) *Buxus sempervirens* (b) Holly (*Ilex aquifolium*) (c) Ivy (*Hedera helix*) (Yang 2013'den değiştirilerek).

Ölçüm sonuçları, özellikle bitkilerin yapraklarının yüksek frekanslarda sesi azaltmada daha etkin olduğunu, bitki örtüsünün yoğunluğu ile ses yutma katsayısı arasında pozitif bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Her üç türün ses yutma katsayıları 5 kHz frekansta en yüksek değerde ve sırası ile 0.18, 0.20 ve 0.49 olarak hesaplanmıştır. *Hedera helix* türünün diğer iki türe göre ses yutma katsayılarının daha yüksek oluşu, türün yaprak büyüklüğü ve yaprak sayısı ile açıklanmıştır.

Horoshenkov ve ark. (2015), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bitkilerin empedans tüpü metodu ile ses yutma katsayılarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma materyali olarak yaprak karakteristikleri birbirinden farklı 5 bitki türü seçilmiştir (Şekil 15).



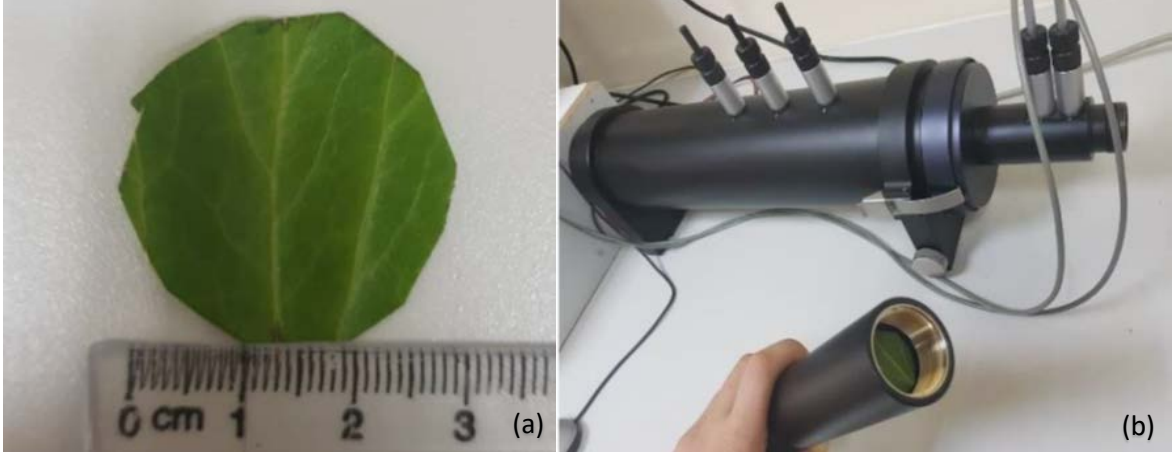
**Şekil 15.** (a) Çalışmada kullanılan türlerin genel form durumu, (b) Yaprakların görünümü (Horoshenkov ve ark., 2015’den değiştirilerek).

Yaprağın ortalama kalınlığı, yaprağın ortalama ağırlığı, yaprağın ortalama alanı, bitki üzerindeki toplam yaprak sayısı, bitkinin yaklaşık yüksekliği, bitkinin kapladığı hacim, yaprakların genel yöneliş açısı ve yaprak alan yoğunluğu gibi faktörler, yaprağın temel morfolojik karakteristikleri olarak belirlenmiştir. Empedans tüpünde ölçülen değerlerin, Miki Empririk Modeli ile yorumlanması sonucunda, modelin esas parametreleri olan, gözeneklilik (*porosity*), kıvrımlılık (*tortuosity*) ve akış direnci (*flow resistivity*) değerleri, bitki morfolojisiyle ilişkilendirilmiştir. Türlerin ses yutma katsayılarının frekansa göre değişimlerini gösteren spektrumlar üretilmiştir.

Çalışma sonuçları, gözeneklilik oranı düşük, yoğunluğu fazla olan materyallerin ses yutma katsayılarının yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır. *Primula vulgaris* bitkisinin 700 Hz – 900 Hz frekans aralığında enerjiyi %60 absorbe ettiği, en düşük ses yutma katsayısının, en küçük yaprak alanına sahip *Hedera helix* türünde olduğu ifade edilmiştir. Bitkilerin gürültüyü azaltma kabiliyetlerinin, bitkinin kapladığı hacim, yaprak alanı yoğunluğu ve yaprakların yönelimiyle doğrudan ilişkili olduğu yönünde görüş bildirilmiştir.

Konu ile ilgili en güncel çalışmalardan biri, Sağlam ve ark. (2020)’nin, “Kent alanlarındaki bazı bitkilerin yaprak ve kabuklarına ait ses yutma özelliklerinin belirlenmesi ve gürültü azaltımına etkilerinin incelenmesi” isimli Tübitak projesidir. Çalışmanın bir bölümünde, yaprakların ses yutma potansiyelinin belirlenmesi için, 10 çeşit bitki türüne (Çınar (*Platanus orientalis L.*), Defne (*Laurus nobilis*), Ihlamur (*Tilia tomentosa Moench.*), Kestane (*Castanea sativa*), Kurtbağrı (*Ligustrum vulgare*), Laz Kirazı (*Prunus laurocerasus*), Manolya (*Magnolia grandiflora*), Ortanca (*Hydrangea macrophylla*), Osmantus (*Osmanthus sp.*) ve Sarmaşık (*Hedera helix*)) ait yaprak örnekleri toplanmıştır. Hazırlanan yaprak örneklerinin, empedans tüpü deney düzeneğinde İki Mikrofonlu Transfer-Fonksiyonu metodu ile ses yutma katsayıları hesaplanmıştır. Yaprak örnekleri için, hem 1

yaprak kalınlığında örneklerin ortalama frekans ses yutma katsayısı spektrumu, hem de aynı bitkiye ait 3'er ya da 5'er yaprağın üst üste konması ile oluşan örneklerin ortalama frekans ses yutma katsayısı spektrumu mukayeseli bir şekilde üretilmiştir. Şekil 16'da ifade edildiği gibi, numuneler için, 29 mm çapındaki empedans tüpü ile 50 Hz – 6.400 Hz frekans aralığında analizler gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 16.** (a) *Hydrangea macrophylla* yaprağından 29 mm kesitlerin ölçüme hazır hale getirilmiş görüntüsü, (b) Deney düzeneğinde kullanılan empedans tüpü (URL4) içerisine yerleştirilen yaprak örneği. (Sağlam ve ark., 2020'den değiştirilerek).

Çoklu yaprak örneklerinin, tekli yaprak örneklerine göre nispeten daha yüksek ses yutma katsayısı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Numune kalınlığının artmasının, ses yutumunun da artması anlamına gelebileceği ifade edilmiştir. Böylelikle, ses yutucu malzemelerin kalınlığının gürültü azaltmada büyük bir etken olduğu ortaya konmuş ve çoklu yaprak numunelerinin, özellikle orta ve yüksek frekanslarda sesi daha iyi absorbe ettiği kanısına varılmıştır.

Tüm ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, bitki türleri arasında ses yutma katsayısı değerlerinde ayırt edici bir fark gözlenmemiştir. Çalışma sonucunda, bir bitkinin hem tek bir yaprağı hem de tek bir gövde parçası üzerinden elde edilen ses yutma katsayısı değerlerinin, gürültü azaltımına yönelik sadece teorik modellemelerde kullanılabileceği vurgulanmıştır. Bir bitkinin bütünüyle sesi engellediği düşünüldüğünde, tek yaprak deney sonuçlarından yeterli veriye ulaşılamayacağını, bu sebepten dolayı da, sağlıklı bir ses azaltım özelliğinin ortaya konabilmesi için bitkinin bir bütün olarak ele alınması gerektiği ifade edilmiştir.



#### 4. Sonuçlar

Görüldüğü üzere tüm çalışmalar, bitkisel materyalin gürültü perdesi olarak kullanımına ilişkin pek çok önemli veri ortaya koymuştur. Bu derleme çalışması ile tür farklılığının gürültü azaltımındaki etkileri, ibreli ve yapraklı türlerin potansiyelinin karşılaştırılması, mevsimsel değişimler, zeminin etkisi, atmosferik parametreler, bitkilerin gürültü azaltım kapasitelerinin sahip olduğu toprak üstü organları olan yaprakları, gövdeleri ve dalları ile ilişkilendirilmesi, bitki sıralarının uzunluğu, genişliği ve yoğunluğu gibi genel form durumlarının gürültü azaltımındaki etkileri, bitkilerin etkinliğinin sesin frekansına göre değişimi, ses yayılımında mesafenin etkisi, yaprak sayısı ve yaprak alan yoğunluğunun gürültü engellemeye etkisi, gürültü perdesi içerisinde yer alan türlerin birbirleri ile kombinasyonları ve farklı dikim teknikleri, türlerin gürültü azaltma seviyelerinin, bitkinin biyolojik karakteristikleri olan yaprak alanı, yaprak ağırlığı, yaprak yüzeyi, yaprak yönelimi ve yaprak şekli ile ilişkilendirilmesi, ses yutucu bir malzeme olarak bitkisel materyalin ses yutum katsayılarının hesaplanması, birim metrede gürültü azaltma seviyesi ile ilişkilendirilmesi vb. gibi birçok farklı analize ilişkin sonuçlar paylaşılmıştır.

Sonuçlar, gürültü azaltımında, geniş yapraklı ve ibreli türlerin birbirlerine göre farklı üstünlükleri olabileceğini, yaprak yüzey alanı ve perde genişliği ile gürültü azaltma potansiyeli arasında (oğunlukla doğru orantılı) bir ilişki olduğunu, yaprak dökmeyen türlerin kış aylarında gürültü kontrolünde etkin olabileceğini, etkin bir gürültü perdesi için şerit uzunluğunun en az 20 m olması gerektiğini, yüksek frekanslarda vejetasyonun gürültüyü düşük frekanslara göre daha çok azaltabildiğini, düşük frekanslarda zeminin, orta ve yüksek frekanslarda ise bitkinin etkili olduğunu, en ideal sonuçların tek bir tür yerine birçok farklı türün grup şeklinde bir arada kullanıldığı ve sıra dikimden ziyade almalı(şaşırtmalı) bir dikim tekniği uygulanması gerektiğini, çoğu durumda çalı türlerinin yerden itibaren dallanma ve yapraklanma avantajları sebebiyle ağaçlardan daha etkin olabileceğini, diğer tüm şartlar eşit kabul edildiğinde, oval ve geniş yapraklı türlerin, ince ve uzun yapraklı türlere göre gürültüyü azaltmada daha etkili olduğunu, çapı ve yüksekliği fazla olan ağaçların sesi azaltma potansiyelinin daha fazla olduğunu, türlerin ses yutma katsayısı ile yaprak yüzey alanı, yaprak kalınlığı arasında doğru orantı olduğunu ve gürültü azaltma seviyesi ile ilişkilendirilebileceğini göstermiştir.

Bitkisel gürültü perdelerinin gürültüyü azaltma etkisi değerlendirilirken ortaya çıkan sonuç ve öneriler řu şekilde özetlenebilir.

Bitkisel materyalin gürültüyü perdeleme/azaltma değerleri, gürültü kaynağının şiddetine, frekansına, zeminin etkisine, kaynak ile alıcı arasındaki mesafeye, atmosferik ve mevsimsel değişimlere, gürültü perdelerinin uygun yerlerde tesis edilip edilmediklerine, yeterli yoğunluk, sıklık, boy ve genişlikte olup olmadıklarına, uygun bitki türünün seçilip seçilmediğine, doğru kompozisyon ve dikim tekniği uygulanıp uygulanmadığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Gürültü perdesi tesisinde yola (gürültü kaynağı) yakın dikilen büyük ağaçlar, karın yol üzerine yığılmasına, gölge etkisi nedeniyle buzlanmaya, fırtınalı havalarda dal parçalarının yoldan geçen araçların üzerine düşme riskine ve kavşaklarda görüşün engellenmesine neden olabilirler. Bu nedenle gürültü perdelerinin tesisinde boylu ve enli ağaçların perdenin orta kısmında, ağaççık ve çalı gruplarının ise perdenin kenar kısımlarında olacak şekilde ve gürültü kaynağına 10-20 m mesafede konumlandırılması optimum bir sonuç verecektir. Gürültü perdeleri, şeridin her iki tarafında uygun mesafe bırakılarak, gürültü kaynağına yakın, alıcıya uzak şekilde tesis edilmelidir. Yumuşak zemin koşulları, sert zeminlere oranla sesi büyük ölçüde absorbe etme etkisine sahiptir. Örneğin, çayır, çimen vb. yumuşak bir yüzeyde yer alan bir gürültü perdesinin arkasındaki ses azalması ile beton vb. sert zemin koşullarındaki aynı koruyucu tesisin gürültü azaltıcı etkisinin karşılaştırılması durumunda, gürültü düzeyinde yaklaşık üçte biri kadar fark olduğu görülmektedir.

Tesis ve bakım giderlerini azaltmak için, kullanılacak bitkiler ekolojik koşullara uygun, çevre yapısına göre doğal türlerden seçilmeli veya uygun türlerin doğal bitki örtüsüyle bir arada kullanılmasına özen gösterilmelidir. Gürültü perdesi, gürültünün geliş yönüne dik olacak şekilde ve trafik eksenini boyunca şeritler halinde tesis edilmelidir. Şeritlerin genişliği (en az 5 m) 20-30 m, uzunluğu ise gürültü kaynağı ve alıcı arasındaki uzaklığın en az iki katı uzunluğunda olmalı ve korumaya alınan yaşam alanını ortalamalıdır. Perde kompozisyonunda, farklı boylarda ağaç, ağaççık ve çalı grupları bir arada kullanılmalıdır. Bitkiler mümkün olduğunca birbirine yakın dikilmeli, aralıklar her bir tür için o yerdeki yetişme koşullarına uygun olmalıdır. Bütün yıl boyunca gürültü kontrol etkinliğinin sürdürülebilmesi için, çevre koşullarının elverdiği ölçüde, her dem yeşil ve uzun süre yapraklı kalabilen ağaç ve ağaççık türleri tercih edilmelidir. Bitkiler, boylu, büyük, sert dokulu, yere kadar inen sık yaprak, dal ve tepe dokusuna sahip olan türler olmalıdır.

Gürültünün bitkisel materyal ile perdelemesindeki başarı derecesi, sesin geçtiği yüzeyin özelliklerine bağlı olduğu bilinmekle birlikte esasen gürültü perdesinde kullanılan bitkilerin morfolojik yapılarıyla ilişkilidir. Gürültü perdelerinde kullanılan bitkilerin gürültü

azaltma yetenekleri, yaprağın büyüklüğüne, kalınlığına, şekline, yönelimine, yapraklanma ve dallanma sıklığına bağlı olarak değişmektedir.

Özetle, gürültü seviyesindeki 10 dB (A)'lik bir ses azalmasının bile insan kulağı tarafından gürültünün yarı yarıya azaldığı şeklinde algılandığı günümüzde, bitkisel materyalin 10-15 dB(A)' lik gürültü azaltma işlevinin yanı sıra ekolojik ve estetik katkıları da göz önüne alındığında gürültü kontrolü çalışmalarında kullanımı oldukça önem arz etmektedir.

## Kaynaklar

- Aktaş, Y. (2002). 'Kent içi alanlarda bitki kullanımı ile gürültü kontrolü (İstanbul, Maslak-Zincirlikuyu hattı örneğinde)'. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Anonim, (2003). Europe's environment: The third assessment. EEA Environmental Assessment Report No. 10. EEA, Copenhagen, Denmark.
- Beck, G. (1965). *Untersuchungen über Planungsgrundlagen für eine Lärmbekämpfung im Freiraum mit Experimenten zum artspezifischen Lärminderungsvermögen verschiedener Baum- und Straucharten (Examination of planning guidelines for noise abatement in open spaces with experiments on the species-specific noise reduction capability of different trees and shrubs)*, Technische Universität, Berlin.
- Beck, G. (1967). *Pflanzen als Mittel zur Lärmbekämpfung (Plants as remedy for noise abatement)*, Patzer-Verlag, Berlin,
- Bernatzky, A. (1978). *Tree ecology and preservation. developments in agricultural and managed-forest ecology 2*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. pp. 153-155.
- Demir, Z., Yerli, Ö. ve Müderrisoğlu, H. (2010). *Kentsel gürültünün engellenmesinde bitki materyali seçimi*. IV. Süs Bitkileri Kongresi, 20-22 Ekim 2010, Mersin, 282-288.
- Doygun, N ve Doygun, H. (2018). Trafik gürültüsünün kontrolünde bitki perdelerinden yararlanılması üzerine bir araştırma. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi* 21(4):599-606
- Embleton, T. F. W. (1963). Sound Propagation in Homogeneous Deciduous and Evergreen Woods. Citation, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 11-19.
- Erdoğan, E. ve Yazgan, M.E. (2007). Kentlerde trafik gürültüsü sorununu azaltmada peyzaj mimarlığı çalışmaları. *Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, cilt:4, sayı:2, 201-210s, Tekirdağ.*

- Fan, Y., Zhiyi, B., Zhujun, Z. & Jiani, L. (2010). The investigation of noise attenuation by plants and the corresponding noise-reducing spectrum. *Journal of Environment Health. Volume 72*, Number 8.
- Fang, C.F. & Ling, D.L. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts, *Landscape and Urban Planning*, 63, 187–95.
- Horoshenkov, K., Khan, A., Benkreira, H., Mandon, A. and Rohr, R. (2015). *Acoustic performance of vegetation and soil substratum in an urban context*. Environmental Methods for Transport Noise Reduction Chapter:3 page 47-77.
- Jasper, S. (2018). Sonic refugia: nature, noise abatement and landscape design in West Berlin. *The Journal of Architecture* 23(6), pp. 936–960.
- Maleki, K., Hosseini, S. M., & Nasiri, P. (2010). The effect of pure and mixed plantations of robinia pseudoacacia and pinus eldarica on traffic noise decrease. *International Journal of Environmental Sciences*, 1, 213–24.
- Mutlu, Z. (2010). ‘Konya kentiçi trafik gürültüsünün engellenmesinde kullanılacak bazı bitkiler üzerinde bir araştırma’. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sağlam, S., Güzelçimen, F., Özkan, U. Y., ve Ekici, B. (2020). Kent alanlarındaki bazı bitkilerin yaprak ve kabuklarına ait ses yutma özelliklerinin belirlenmesi ve gürültü azaltımına etkilerinin incelenmesi. Tübitak Projesi. Proje No: 118O494. 2018-2020, İstanbul.
- Smyrnova, Y., Kang, J., Cheal, C., Tijs, E. & De Bree. H. (2010). *Laboratory test of sound absorption of vegetation*. In 1st EAA EuroRegio congress of sound and vibration, Editör Čudina, M. Ljubljana, Slovenia: Slovenian Acoustical Society.
- Tyagi, V., Kumar, K., Jain, V. K. (2006). “A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi”, *Applied Acoustics*, 67, 926–35.
- Ürgenç, S. (1990). *Genel plantasyon ve ağaçlandırma tekniği* İ.Ü.Orman Fak.Yayın. No:407, İstanbul, 509 s.
- Watanabe, T. & Yamada, S. (1996). Sound attenuation through absorption by vegetation. *The Journal of The Acoustical Society of Japan (E)* 17,4
- Yang, H. (2013). ‘Outdoor noise control by natural/sustainable materials in urban areas’. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, School of Architecture, The University of Sheffield.