

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

78170

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

GÜRÜLTÜ SORUNU VE GÜRÜLTÜNÜN AZALTILMASINDA BİTKİSEL
MATERYALİN KULLANIMI İLE İLGİLİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİYLE
YAPILMIŞ ÇALIŞMALARIN DERLENMESİ

Peyzaj Mimarı Tuba USTASÜLEYMAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Peyzaj Yüksek Mimarı”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 07.01.1998

Tezin Savunma Tarihi : 02.02.1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali ÖZBİLEN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mesut B. ÖZDENİZ

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mustafa VAR

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

Trabzon 1998

78170

ÖNSÖZ

Gürültü sorununun ortaya koyularak, gürültünün azaltılmasında bitkisel materyalin rolünün araştırıldığı bu çalışma, bitkilerin gürültü azaltmaları ile ilgili ölçüm yöntemleri kullanılarak yapılmış çalışmaların derlenmesi ile hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenen, konu seçiminde ve çalışmanın sürdürülmesinde yardımcı olan, Sayın Hocam Prof. Dr. Ali ÖZBİLEN'e teşekkür ederim.

Değerli fikirlerinden yararlandığım Sayın Hocalarım Prof. Dr. Selma KURRA'ya ve Prof. Dr. Mesut ÖZDENİZ'e teşekkür ederim.

Tez aşamasında manevi desteklerini esirgemeyen aileme, tezin yazılmasında büyük bir özveri gösteren Alpay USTASÜLEYMAN ve Talha USTASÜLEYMAN'a yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Serap CİVELEK'e ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tuba USTASÜLEYMAN

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BİLGİ YAYINLARI MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Gürültü Sorununun Tanımlanması.....	2
1.2.1 Sesin Doğuşu, Fiziksel Özellikleri ve Yayılması.....	2
1.2.1.1. Sesin Tanımı.....	2
1.2.1.2. Akustik Parametreler ve Ses Ölçümsel Büyüklükler.....	4
1.2.1.3. Açık Havada Sesin Yayılması.....	8
1.2.1.3.1. Sesin Havada Yutulması.....	9
1.2.1.3.2. Meteorolojik Etkiler.....	11
1.2.1.3.3.. Zemin, Bitki Örtüsü ve Ağaç Etkisi	13
1.2.1.3.4. Engellerin Etkisi	16
1.2.1.4. Sesin Bir Engele Çarptığı Zaman Gösterdiği Özellikler	21
1.2.2. Gürültü Kavramının Tanımlanması	22
1.2.3. İnsan Kulağı ve İşitme	22
1.2.4. Gürültünün İnsan Sağlığı ve Davranışları Üzerindeki Etkileri.....	27
1.2.4.1. Fiziksel Etkiler.....	28
1.2.4.2. Fizyolojik Etkiler.....	29
1.2.4.3. Psikolojik Etkiler.....	29
1.2.4.4. Performans Etkileri.....	30
1.2.5. Gürültü Kaynakları.....	31
1.2.5.1. Ulaşım Gürültüsü Kaynakları	32
1.2.5.1.1 Karayolu Ulaşım Gürültüsü.....	32

1.2.5.1.2.	Havayolu Ulaşım Gürültüsü.....	34
1.2.5.1.3.	Demiryolu Ulaşım Gürültüsü.....	35
1.2.5.2.	Endüstri ve Donatım Gürültüleri.....	36
1.2.5.3.	Yapım (Şantiye) Gürültüsü Kaynakları.....	36
1.2.6.	Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi.....	36
1.2.6.1.	Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesinde Kestirim Yöntemleri.....	37
1.2.6.2.	Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesinde Ölçüm Yöntemleri.....	37
1.2.6.2.1.	Çevre Gürültüsü Ölçmeleri.....	37
1.2.6.2.2.	Laboratuar Ölçmeleri.....	39
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	41
2.1.	Bitkisel Materyalde Aranılan Genel Özellikler.....	42
2.2.	Bitkilerin Gürültüyü Azaltmalarını İlgili Yapılmış Ölçümsel Çalışmalar.....	44
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	96
4.	SONUÇLAR.....	106
5.	ÖNERİLER.....	108
6.	KAYNAKLAR.....	109
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	115

ÖZET

Genellikle istenmeyen veya aşırı sesler olarak tanımlanan gürültü, dünyanın her ülkesinde sağlıklı yaşamın en büyük engeli haline gelmiştir. Gürültü, şehir yaşamının doğal ritmini bozar ve psikolojik sorunlar gibi sürekli işitme kaybına neden olabilir.

Toplumları rahatsız eden gürültünün zararlı etkilerini tamamen gidermek ya da kabul edilebilir seviyeye indirmek için uzun yıllardan beri çalışmalar yapılmaktadır. Peyzaj Mimarlığı açısından, bu sorunun çözümünde bitkisel materyalin kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Bu nedenle bu araştırmanın amacı; gürültü sorununu ortaya koyarak, bu sorunun çözümünde bitkisel engellerin kullanımına öncelik veren çalışmaları, kullandıkları yöntemleri ve sonuçlarını araştıran çalışmalarla ilgili bir derleme yapmaktır.

Bu kapsamda, gürültü sorununu tanımlamak için; önce ses bilgisi, sesi tanımlayan akustik parametreler ve ses ölçümsel büyüklükler açıklandı. Daha sonra, sesin açık alanda yayılmasında göz önüne alınması gereken faktörler incelendi ve işitme sistemi ile birlikte, en önemli gürültü kaynakları ve gürültü analiz yöntemleri ortaya koyuldu.

Daha sonraki aşamada bitkilerin gürültü azaltmaları ile ilgili yapılmış çalışmalardaki çalışma süreçleri ve sonuçları, literatür taraması sonucu ortaya koyularak tartışıldı.

Bu araştırmanın, bitkilerin gürültü azaltma kapasitelerini belirlemek için yapılacak ölçüm çalışmalarında temel oluşturacağı ve konuda çalışma yapmak isteyenlere yardımcı alacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler:Gürültü Sorunu, Gürültünün Azaltılması, Bitkisel Materyal

SUMMARY

A Research On Noise Problem And The Measurement Methods Used Studies About The Use Of Plant Material On The Attenuation Of Noise

Noise, that has been generally defined as excessive or unwanted sounds, has become one of the major deterrents of a healthy living in every city of the world. Excessive sounds are disrupting the natural rhythms of city life and can lead to a permanent hearing loss, as well as psychological problems.

Studies has been done for long years to make disappear the harmful effects of noise that disturbs the communities completely, or to reduce this effect to an acceptable level.

To solve this problem by using plant material has a major effect from Landscape Architectural viewpoint.

The aim of this research is to present noise problem, to solve this problem to gather together about the studies which pay attention on the use of plant material before all else, their methods and results.

On this extent, first of all, noise problem is defined by presenting sound knowledge, acoustic parameters and measurement system that define sound, by investigating the factors that have to be considered in propagation of sound in out of doors, by determining the hearing mechanisms and the effect of noise sources and by determining the method of noise analysis.

Then, as a result of literature investigation about the attenuation of noise by plants, their studying periods, and results are presented and discussed.

This research was done by the purpose of to have a fundamental mean who wants to make measurement studies to determine the noise attenuation capacity of plants.

Key Words: Noise Problem, Attenuation of Noise, Plant Material

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Ses dalgaları.....	3
Şekil 2. Nokta kaynak için uzaklık ile azalma.....	9
Şekil 3. Rüzgarın sesin yayılımına etkisi.....	11
Şekil 4. Sıcaklığın sesin yayılımına etkisi.....	12
Şekil 5. Yansıyan zemin dalgası.....	13
Şekil 6. K kaynağından, A alıcısına yayılma yolu.....	14
Şekil 7. Çimen ve çalılık zeminden sesin azalması.....	15
Şekil 8. 500 Hz frekansta engel tarafından azaltma	17
Şekil 9. A_{engel} azalmayı hesaplamak için ilgili uzunluklar.....	17
Şekil 10. Şekil 9'daki B engelinden eşitlik 14, Fresnel Sayısı N'den bulunan A_{engel} azaltma	18
Şekil 11. Şekil 9 ve Şekil 10'dan A_{engel} azaltma	18
Şekil 12. Uzun engellerin sesi azaltması.....	19
Şekil 13. Dış mekandaki ses yayılımının en önemli mekanizmaları.....	19
Şekil 14. Dış mekandaki ses yayılımının en önemli mekanizmalarının özeti.....	20
Şekil 15. Akustik gölgenin oluşumu.....	21
Şekil 16. Kulağın işlevsel şeması.....	23
Şekil 17. Duyulabilir seslerin alanı	24
Şekil 18. Eş seslilik eğrisi.....	25
Şekil 19. Ağırlıklı ses düzeyinde ağırlık oranları eğrileri.....	26
Şekil 20. Gürültü ölçüm ve analizlerine ilişkin ölçüm setleri.....	38
Şekil 21. 100-10.000 Hz frekansta dB / 30.5 m'de aşırı azaltım	52
Şekil 22. A alanının kesiti	55
Şekil 23. B alanının kesiti.....	56
Şekil 24. C alanının kesiti.....	57
Şekil 25. Ladin ormanına ait sonuçlar	62
Şekil 26. Çam ormanına ait sonuçlar	63

Şekil 27. Ölçek modelde ölçümlerin sonucu.....	63
Şekil 28. Kışın, baraka ve ağaçların durumu.....	64
Şekil 29. Yazın, tepe, viyadük ve ağaçların durumu.....	64
Şekil 30. Barakanın olduğu yerdeki ölçüm sonuçları.....	65
Şekil 31. Tepenin olduğu yerdeki ölçüm sonuçları.....	65
Şekil 32. Mesafe ile ses düzeyinin düşmesi ve ağaçlardan dolayı ses düzeyinin azalması.....	67
Şekil 33. Mesafe ile ses düzeyinin düşmesi ve farklı yüzeyler için ses düzeyinin azalması.....	67
Şekil 34. Gürültüyü perdeleyen yoğun ağaç ve çalılarla bitkilendirme.....	68
Şekil 35. Ağaçlardan ve yumuşak zeminden dolayı yerleşim alanında gürültü azaltma.....	68
Şekil 36. Gürültü azaltma çalışmaları için yapılan alan formunun görünüşü ve kesiti.....	69
Şekil 37. Farklı yükseklikteki ağaç kaplı alan formu için ses düzeyinin mesafe ile düşmesi.....	70
Şekil 38. Çıplak alan formu, ağaç kaplı alan formu ve tek ağaçların bağlı gürültü azaltması.....	71
Şekil 39. İki çalışma alanının kesitleri.....	73
Şekil 40. Yol kenarındaki referans nokta ve karayolundan 45.7 m ve 51.4 m mesafede 1.5 m mikrofona yüksekliğinde frekanslar arasındaki farklılıklar.....	74
Şekil 41. Taş duvar ile ağaçların etkisi.....	75
Şekil 42. Farklı alıcı-kaynak yüksekliğinde ağaçların etkisi.....	76
Şekil 43. Tepe tacının içinden sesin gönderilmesinde ağaçların etkisi.....	77
Şekil 44. Model ölçmede tek ağaç etkisi.....	79
Şekil 45. Model ölçmede ağaçlı-ağaçsız engel etkisi.....	78
Şekil 46. Model ölçmede engelin arkasında ağaç etkisi.....	80
Şekil 47. Alan 102. Kesit, ses düzeyi ve azaltım.....	81
Şekil 48. Alan 107S. Kesit, ses düzeyi ve azaltım	84
Şekil 49. 30 m uygun mesafede farklı engel yerleri.....	85

Şekil 50. Farklı engellerin gürültü azaltması.....	88
Şekil 51. Ölçüm konumu.....	91



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1. Ses gücü ve ses güç düzeyleri.....	6
Çizelge 2. Yeğlilik ve yeğlilik düzeyleri.....	7
Çizelge 3. Ses basıncı ve ses basınç düzeyleri.....	8
Çizelge 4. 1.03×10^5 Pa atmosferik basıncı için atmosferik azalma katsayısı (100m/dB).....	10
Çizelge 5. Taşıtların hızlarına bağlı olarak değişen gürültü düzeyleri.....	34
Çizelge 6. İstatistiksel veri.....	58



1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yaşadığımız çevrede karşılaştığımız en önemli sorunların başında, doğal dengenin bozulmaya başlamasıyla ortaya çıkan çevre sorunları gelmektedir.

Günümüzde çevre sorunları sıralanırken, “insanların üzerinde olumsuz fizyolojik ve psikolojik etkiler yaratan, arzu edilmeyen sesler” diye tanımlanan gürültü, bunların arasında en önemli bir sorun olarak yer almaktadır. Gürültü doğrudan bir çevresel değer bozulması sonucunda ortaya çıkmamakta, ancak diğer çevresel değerleri algılamayı etkileyen, sağlık bozucu bir durum olmaktadır (1).

Sanayileşmiş batılı toplumlarda gürültü uzun yıllardan beri önemli bir sorun olarak görülmektedir (2). Gürültü artışını önlemek, insanları gürültünün olumsuz etkilerinden koruyabilmek için konuyu farklı açılardan ele alan kanun, yönetmelik ve standartlar yürürlüğe konmuştur. Alınan tedbirlere rağmen teknolojinin gelişmesine paralel olarak artan gürültü kaynaklarının insanları daha fazla etkilediği görülmektedir.

Günümüzde gürültü sadece, sanayileşmiş toplumlarda değil, bütün dünyada sağlıklı yaşamın en büyük engeli haline gelmiştir. Aşırı sesler şehir yaşamının doğal ritmini bozarlar ve psikolojik problemler gibi sürekli işitme kaybına neden olabilirler. Gürültü şehrin sebep olduğu pek çok strese katkıda bulunan bir faktördür (3).

Yapılan anketler sonucunda, tüm çevre kirliliği etkenleri arasında gürültünün % 60'lık bir oranla en yaygın rahatsızlığı oluşturduğu belirlenmiştir (4).

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 1977 yılında Atina'da yaptığı bir araştırmada, % 78 gibi önemli oranda, toplum, rahatsız olduğu çevresel faktör olarak gürültüyü belirtmiştir. Yine aynı araştırmada Atina'da yaşayan insanların % 80'inin gürültüye bağlı olarak sağlıklarının bozulmuş olduğunu, % 17'sinin uyuyabilmek için ilaç almak zorunda olduğu saptanmıştır (5).

Toplumları bu derece rahatsız eden gürültünün zararlı etkilerini tamamen gidermek ya da en az seviyeye indirmek için uzun yıllardan beri çalışmalar yapılmaktadır.

Sorunlu bölgelerde yapılan ölçümler ile gürültü düzeyleri ortaya koyulmakta ve bu problemi çözebilecek önlemlerin alınmasına çalışılmaktadır.

Peyzaj Mimarlığı açısından, insanları fizyolojik ve psikolojik olarak rahatsız eden, çeşitli hastalıklara neden olan gürültü probleminin giderilmesinde, katı engellerin kullanılmasından çok bitkisel materyalin kullanılmasına öncelik veren çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Bitkisel materyallerin gürültü azaltmaları ile ilgili yeteri kadar çalışma yapılmış olmasa da, gürültünün önlenmesinde bu elemanların gerek psikolojik gerekse fonksiyonel olarak gürültüyü azaltmada etkili oldukları kabul edilir.

Gürültü kontrolünde bitkisel materyal kullanılarak etkili bir engel tasarlayabilmek için, seçilen türlerin gürültüyü azaltacak özelliğe sahip olması gerekir.

Bu araştırmanın amacı, gürültü sorununu ortaya koyarak, literatür taraması sonucu bitkilerin gürültü azaltmaları ile ilgili yapılmış olan çalışmalarını derlemektir. Ayrıca bitkilerin gürültü azaltmada etkili olabileceklerini göstermek ve herhangi bir yerdeki gürültü probleminde çözüm önerisi olarak sunulabilecek bitki türlerinin gürültü azaltmalarını belirlemek amacıyla yapılacak olan ölçüm çalışmalarında kullanılacak yöntemleri ortaya koymaktır.

1.2. Gürültü Sorununun Tanımlanması

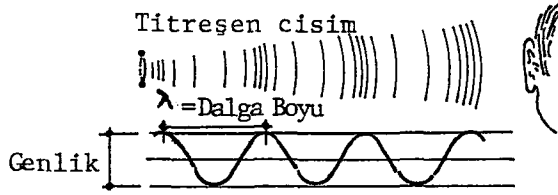
1.2.1. Sesin Doğuşu, Fiziksel Özellikleri ve Yayılması

1.2.1.1. Sesin Tanımı

Ses, titreşim yapan bir kaynak aracılığıyla hava basıncındaki dalgalanmaların oluşturduğu fiziksel bir olay ve insanda işitme duygusunu uyaran fizyolojik bir olgu olarak tanımlanmaktadır (6). Diğer bir tanımla, fiziksel olarak ses; titreşim yapan bir cismin elastik bir ortamda oluşturduğu basınç değişimleridir. Bu basınç değişimleriyle cismin enerjisinin bir kısmı çevreye yayılır. Fizyolojik olarak ses ise, elastik ortamdaki basınç değişimlerinin işitme organında oluşturduğu duygudur (7).

Sesin ortaya çıkması için periyodik hareketler yapan bir ses kaynağı ve elastik bir ortam gereklidir (8). Titreşim yapan cisimler ses kaynağını oluştururlar. Bu titreşimler herhangi bir durumdaki elastik bir ortam tarafından ses alıcısına iletilirler (7).

Sesin fiziksel yönden incelenmesi dalga hareketlerinin incelenmesini gerektirir. Kaynağın hareketini tekrarlayan ortam molekülleri zaman içinde sıkışma ve gevşemeye uğrayarak, dolayısıyla ortamın basıncını değiştirerek, hareketi bir molekülden diğerine iletirler (8). Bir ortam, kaynak tarafından titreşim meydana getirdiğinde ses dalgası meydana gelir. Ortam gaz, sıvı veya katı olabilir (9). Ses iletici ortam gaz veya sıvı durumundaysa, titreşim boyuna dalga hareketi olarak yayılır. Boyuna dalgada, titreşen parçacık dalganın yayılma doğrultusuna paralel olarak ileri-geri hareket eder (piston hareketi, dizi sarkaç). Başka bir deyişle, moleküller arka arkaya sıkışıp genişleyerek kaynaktan çevreye doğru titreşimi gönderirler. Dalga hareketi geometrik olarak tanımlanmak istendiğinde sinüs eğrisinden yararlanılır (Şekil 1). Moleküllerin arka arkaya sürekli sıkışıp açılması sinüs eğrisinin yükselip alçalması şeklinde gösterilebilir (10). İletici ortam katıysa titreşimin iletimi biraz daha karmaşık bir olaydır. Boyuna dalga hareketinin yanı sıra enine dalga hareketi de görülür. Başka bir deyişle iletici ortamda gerçek olarak sinüs eğrisine benzeyen eğilmeli bir hareket de görülür. Enine dalgada titreşen parçacık dalganın yayılma doğrultusuna dikey olarak titreşir (su dalgası, ip dalgası) (6,7).



Şekil 1. Ses dalgaları (10).

Herhangi bir dalganın yayılması iki farklı hareketi içerir.

a-Dalganın kendisi homojen bir ortam içinde sabit hızla ileri doğru gider, eşit zaman periyotları içinde eşit miktarlarda ilerler.

b- Dalgayı taşıyan ortamın parçacıkları; harmonik biçimde titreşirler. Değişik alanlarda buldukları yerler, hareketin periyot, genlik ve fazına bağlıdır.

1.2.1.2. Akustik Parametreler ve Ses Ölçümsel Büyüklükler

Akustik ses bilimidir. İstenilmeyen ses olan, gürültü, akustiğin alt disiplini ve akustik parametre terimleriyle anlatılır. Akustikle ilgilenildiğinde iki anahtar parametrenin iyi anlaşılması gerekmektedir. Bunlar, ortamda (hava) düzensiz basınç değişimleri oluşumunu ifade eden, sonunda beyinde ses olarak yorumlanan nicelikler; frekans ve dalga boyudur (11).

Frekans: Basit bir sesin öznel en üst ve alt derecesi öncelikle ses basınç rahatsızlıklarının pozitif ve negatif değerler arasında saniyedeki salınma sayısı ile tanımlanır. Bu salınmanın fiziksel ölçüsüne frekans denir ve f sembolü ile gösterilir. Frekans bir ses titreşiminin 1 saniyedeki tekrarlanma sayısını gösterir. Frekansın birimi saniyedeki devir sayısı olan Hertz (Hz) 'dir (1 Hertz=1 devir/sn). Normal bir yetişkin yaklaşık 20 Hz'den 16000 Hz' e kadar olan sesleri duyabilmektedir. Kulak 3000 Hz civarındaki seslere oldukça duyarlıdır (12).

Periyot: Bir titreşim süresine periyot adı verilir, T sembolü ile gösterilir. Birimi sn'dir (13).

$$T = 1/f \quad (1)$$

T: devir süresi (sn)

f: frekans (Hz)

Dalga Boyu: İki dalga üzerindeki benzer noktalar arasındaki mesafe sesin dalga boyudur. λ ile ifade edilir ve sesin hızının sesin frekansına oranına eşittir (12).

$$\lambda = c / f = cT \quad (2)$$

λ = Dalga boyu (m)

c= Sesin ortamda yayılma hızı (m/s)

f = frekans (Hz)

Ses Gücü: Ses gücü, akustik enerjinin yayılım hızıdır. Pek çok gürültü kontrolünde karşılaşılan ses kaynaklarının ses gücü (akustik enerjilerinin yayılım hızı) oldukça küçüktür. Ses gücü genelde Watt ya da pikowatt ($1\text{pw} = 10^{-12}$ watt) olarak ifade edilir (14).

Ses Yeğİnliği: Ses-enerji yayılımı (iletimi) yeğinlik I terimi ile anlatılır, birim zamanda, birim alandan geçen ses enerjisi olarak ifade edilir. Yeğinliğin birimi Watt/m^2 'dir (12). Yeğinlik parçacık hızı ile ses basıncının çarpımının enerji ortalamasına eğittir.

$$I = pu \text{ Watt/m}^2 \quad (3)$$

$$u = p/\rho c \text{ m/s} \quad (4)$$

I= Şiddet, yeğinlik W/m^2

p: ses basıncı N/m^2

ρ : Havanın yoğunluğu

c: Sesin hızı

u: parçacık hızı

Ses Basıncı: Ses dalgalarından dolayı hava parçacıklarının titreşimi ile atmosferik basınçta oluşan dzensiz deđiŐimlere ses basıncı denir (15). Ses basıncı birim alana etki eden ses kuvvetidir. Birimi N/m^2 veya pascal (pa)'dır.

Ses bir dalga olduğuna göre ses basıncı sıfırdan + maksimum ve sonra tekrar sıfırdan - maksimuma kadar sürekli değişmektedir. Herhangi bir andaki yalın basınç değerini bilmek yarar sağlamaz. Çünkü bu değer sürekli değişmektedir. Ses basıncı denildiğinde yalın basınç değerini yerine "kareler ortalamasının karekökü" (rms basınç, root mean square sound pressure) olarak adlandırılan bir değer kullanılır. Çok kısa aralıklarla, arka arkaya n defa yalın basınç değerini llse, ölçümlerin kareleri alınıp toplansa ve lm sayısına blnse, sonucun karekökü alınsa rms basınç elde edilir (7).

$$\text{rms basınç} = P_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}{n}} \quad (5)$$

Ses Güç, Şiddet (Yeğinlik), Basınç Düzeyleri: Ölçülen seslerin g, Şiddet ve basınçlarının bir referans düzeye göre (iŐitilebilen en hafif ses) ve logaritmik olarak

ifade edildiğinde elde edilen değerler "düzey" adını alır. Birimi "Desibel (dB)"dir. Çevre gürültülerinin ölçüm ve değerlendirmelerinde daha çok 'ses basınç düzeyleri' veya kısaca "ses düzeyleri" kullanılmaktadır.

Ses gücü Watt olan bir kaynağın ses gücü düzeyi (SWL) aşağıdaki gibidir.

$$SWL = 10 \log (W/W_0) ,dB \quad (6)$$

SWL = Ses gücü düzeyi (sound power level) dB

W= Ses kaynağının gücü (Watt)

W_0 = Referans ses gücü (işitilen en hafif ses) = 10^{-12} Watt

Ses güçleri, 10^{-12} W'tan 10^8 W'a kadar, ses gücü düzeyleri ise 0 dB'den 200 dB'e kadar değişir. Çeşitli kaynakların tipik ses gücü düzeyleri, ses güçleriyle karşılaştırmalı olarak Çizelge 1' de verilmektedir (16).

Çizelge 1. Ses gücü ve ses güç düzeyleri (16).

Güç (Waat)	Güç Düzeyi (dB re 10^{-12} W)		
100.000.000	200	Uzay Roketi	(50.000.000 W)
1.000.000	180		
10.000	160	Jet Uçağı	(50.000 W)
100	140	Büyük Orkestra	(10 W)
1	120		(1 W)
0,01	100	Bağırarak Konuşma	(0,001 W)
0,000.1	80	Normal Konuşma	(20×10^{-6} W)
0,000.001	60		
0,000.000.01	40	Fısıltı	(10^{-9} W)
0,000.000.000.1	20		
0,000.000.000.001	0		

I yeğnliğindeki (şiddetindeki) bir sesin yeğnlik düzeyi (IL) aşağıdaki denklemdedir.

$$IL = 10 \log (I/I_0) dB \quad (7)$$

IL :yeğnlik düzeyi dB

I: yeğnlik (W/m^2)

I_0 : Referans ses yeğnliği (10^{-12} W/m^2)

Yeğinlikler 10^{-20} W/m²'den, 10^{-7} W/m²'ye kadar değişim gösterir. Yeğinlik düzeyleri ise 0 dB ile 130 dB arasındadır. Yeğinlik ve yeğinlik düzeyleri arasındaki ilişki Çizelge 2'de verilmektedir (16).

Çizelge 2. Yeğinlik ve yeğinlik düzeyleri (16).

Yeğinlik (W/m ²)	Yeğinlik Düzeyi (dB)	Örnekler
10^{-7}	130	Acı Verici
10^{-8}	120	
10^{-9}	110	75 Kişilik Orkestra
10^{-10}	100	
10^{-11}	90	Bağırarak Konuşma
10^{-13}	70	Normal Konuşma
10^{-15}	50	Ortalama Büro
10^{-17}	30	Sessiz Boş Büro
10^{-18}	20	Sessiz Kırık Bölge
10^{-19}	10	
10^{-20}	0	İşitme Alt Eşiği

P basınçlı sesin, ses basınç düzeyi SPL aşağıdaki denklemdeki gibidir (13).

$$SPL = 10 \log (P/P_0)^2 = 20 \log (P/P_0) \quad (8)$$

SPL = Ses basınç düzeyi (dB)

P: ses basıncı (Pa)

P₀: Referans ses basıncı (İşitilen min. ses basıncı) $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

İşitsel algılama alanında ses basıncı, $2 \cdot 10^{-5}$ Pa ile 20 Pa arasında değişim gösterir.

Ses basınç düzeyleri 0 dB ile 140 dB arasında yer alır. Tipik ses basınçları ses basınç düzeyleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 3'de verilmiştir (16).

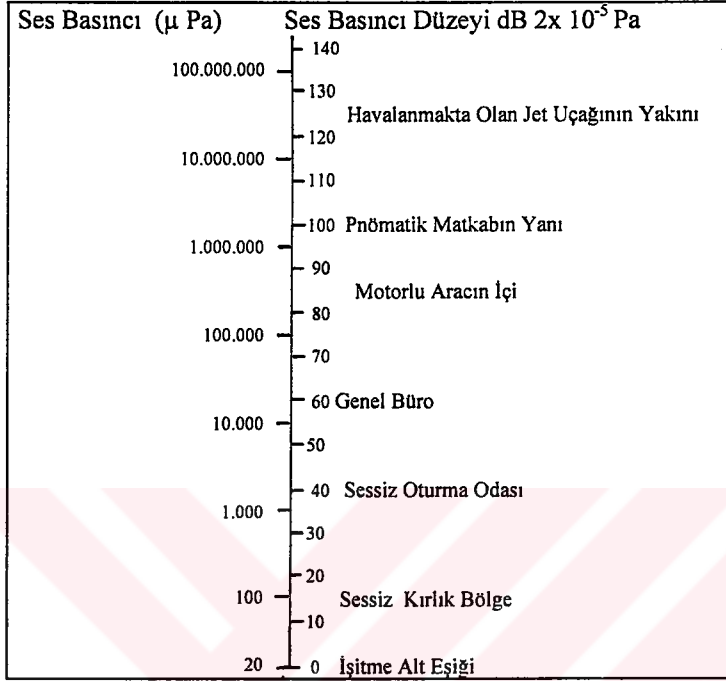
Gürültü kaynaklarının bileşik ses düzeylerini elde etmek, örneğin bir kaynağın gürültüsünü arka plan gürültüsü ile birlikte değerlerini bulmak, verilmiş bir frekans spektrumunun lineer toplam (overall) ve A ağırlıklı toplam düzeyini veya toplam güç düzeylerini elde etmek için ses basıncı veya güç düzeylerinin toplanması gerekir. Bu durumda logaritmik değerler, enerji birimlerine dönüştürülerek aşağıdaki gibi işlem yapılır (8).

$$\text{Toplam düzey} = 10 \log \Sigma 10^{L_n/10} \text{ dB (dBA)} \quad (9)$$

n = Toplamı alınacak gürültü düzeyi sayısı

L_n = Toplamı alınacak gürültü düzeyleri, dB veya dB(A) (8).

Çizelge 3. Ses basıncı ve ses basınç düzeyleri (16).



1.2.1.3. Açık Havada Sesin Yayılması

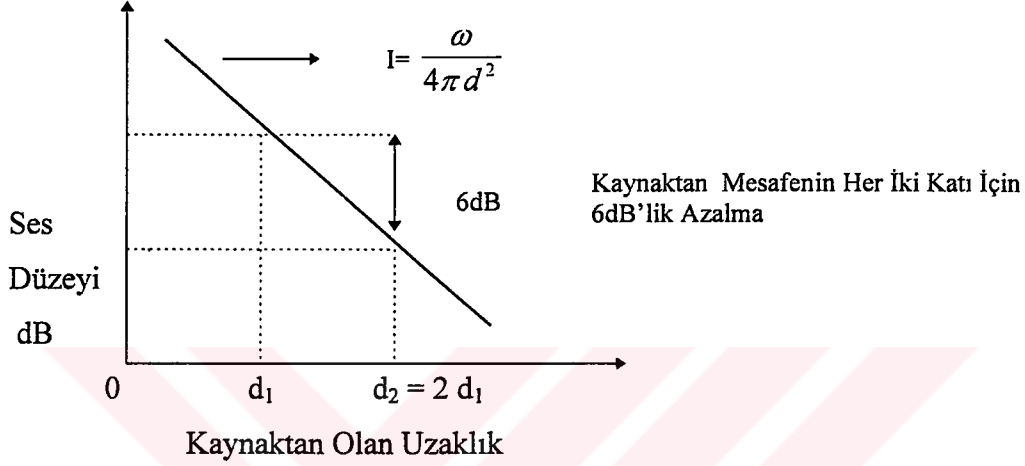
Serbest olan durumları, ses dalgaları yansıtıcı yüzeyin etkisinden kurtulduğunda meydana gelir. Serbest alanda çalışan noktasal kaynaktan yayılan ses enerjisi sürekli yükselen yarıçap ile küresel olarak yayılır (siren sesi, kamyon sesi) (17,9). Bu, kaynakla alıcı arasındaki mesafenin her iki katı için ses düzeyinin 6 dB azalmasına eşittir. Buna, uzaklık ile gürültü şiddetinin azalmasını belirlemede ilk etken olan ters kare yasası denir (18). Diğer bir tanımla, ters kare yasası sesin yansiyebileceği katı nesne ve engelin olmadığı yerde uygulanabilir. Ters kare yasasına göre; mesafe her iki katına çıktığında; şiddet(yeğinlik) dörtte bir oranına düşecektir. Logaritmik ilişkiden dolayı, ses düzeyinde bu, mesafenin her iki katı için 6dB'lik azalmaya karşılık gelecektir (Şekil 2) (10).
Örneğin; Kaynaktan 1 km mesafede ses $I' = 0.01 \text{ W/m}^2$

$$2 \text{ km mesafede} \quad I'' = 0.0025 \text{ W/m}^2$$

$$N = 10 \log \frac{10^{-2}}{10^{-12}} = 10 \log 10^{10} = 10 \times 10 = 100 \text{ dB}$$

$$N = 10 \log \frac{25 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}} = 10 \log 25 \cdot 10^{-8} = 10 (1.4 + 8) = 94 \text{ dB}$$

Çizgisel kaynaklı taşıt trafiği, birbirini tamamlayan, sıralı nokta kaynak içerir. Ses enerjisi çizgisel kaynaktan, noktasal kaynaktaki gibi küresel değil, silindirik şekilde yayılır ve mesafe her iki katına çıktığında 3 dB azalma olur (17).



Şekil 2. Nokta kaynak için uzaklıkla azalma (17).

Eğer kaynak çok büyükse ve alıcı nokta kaynağa yakınsa, enerji düzlemsel olarak iletilir ve ses basınç düzeyinde azalma olmaz. Mesafe ile teorik nokta kaynak ve çizgi kaynak ses basınç düzeyi azalmaları geometrik azalma olarak adlandırılır. Pratikte ses yayılımı pek çok diğer faktörler tarafından etkilenebilir ve meydana gelen ek azalma, aşırı azaltım olarak adlandırılır. Göz önüne alınması gereken en büyük etkenler sesin havada yutulması, meteorolojik (iklimsel) etkiler, topografya ve engel etkisidir (9).

1.2.1.3.1. Sesin Havada Yutulması

Uzaklık ile gürültünün azaltılmasını belirlemede ikinci etken hava tarafından sesin moleküler yutulmasıdır. 1000 Hz'nin altındaki frekanslarda bu azalma önemsizdir (18). En az 100 m uzaklıkta hava molekülleri sesin frekansına, hava sıcaklığına ve bağıl neme bağlı olarak sesi yutarlar. 100 m'den çok daha kısa uzaklıklarda hava moleküllerinin sesi yutması göz önüne alınmaz (7).

Ses, atmosferden yayılırken ses enerjisi azar azar havadaki bir takım moleküler yollarla ısıya dönüşür (yani ses yutulur). Buna atmosferik yutulma denir. Yayılma anında atmosferik yutulmadan dolayı sesin azalımı d m mesafeden;

$$A_{\text{atm}} = \alpha d / 100 \text{ dB' dir.} \quad (10)$$

$\alpha = 100$ m'de dB olarak atmosferik azalma katsayısı

Azalma katsayısı daha çok frekans ve bağıl neme ve daha az sıcaklığa bağlıdır (Çizelge 4). Bu katsayı biraz da, hava durumunun değişmesiyle değil, yüksekliğin artmasıyla kaydedilen, çevrenin basıncına bağlıdır. Örneğin 30 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemde, azalma 500 Hz frekansta 100 m'de 0.33 dB'dir. Bu nedenle, 100 m mesafede 0.33 dB önemsiz bir azalmadır, fakat 10.000 m'de azalma 33 dB'dir. Bu sonuçlar sesin havada yutulmasının çok yüksek frekanslar dışında (5000 Hz üzerinde), kaynaktan kısa mesafelerde (birkaç yüz metreden az mesafeler) ihmal edileceğini gösterir. Büyük mesafelerde, atmosferik yutulma tarafından azalmanın önemli olduğu bütün frekanslarda, ses düzeyi belirgin sıcaklık ve bağıl nemde frekansın bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Atmosferik azalma katsayısı Çizelge 4'de verilen sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin vasıtasıyla elde edilebilir (19).

Çizelge 4. 1.013×10^5 Pa atmosferik basıncı için atmosferik azalma katsayısı (100m/dB) (19).

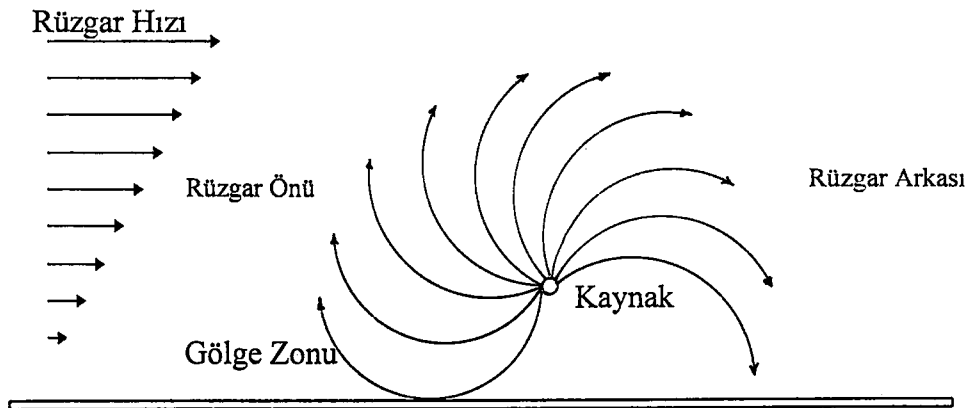
Sıcaklık	% Bağıl Nem	Frekanslar, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
30 °C (86 °F)	10	0.09	0.19	0.35	0.82	2.6	8.8
	20	0.06	0.18	0.37	0.64	1.4	4.4
	30	0.04	0.15	0.38	0.68	1.2	3.2
	50	0.03	0.10	0.33	0.75	1.3	2.5
	70	0.02	0.08	0.27	0.74	1.4	2.5
20 °C (68 °F)	90	0.02	0.06	0.24	0.70	1.5	2.6
	10	0.08	0.15	0.38	1.21	4.0	10.9
	20	0.07	0.15	0.27	0.62	1.9	6.7
	30	0.05	0.14	0.27	0.51	1.3	4.4
	50	0.04	0.12	0.28	0.50	1.0	2.8
10 °C (50 °F)	70	0.03	0.10	0.27	0.54	0.96	2.3
	90	0.02	0.08	0.26	0.56	0.99	2.1
	10	0.07	0.19	0.61	1.9	4.5	7.0
	20	0.06	0.11	0.29	0.94	3.2	9.0
	30	0.05	0.11	0.22	0.61	2.1	7.0
0 °C (32 °F)	50	0.04	0.11	0.20	0.41	1.2	4.2
	70	0.04	0.10	0.20	0.38	0.92	3.0
	90	0.03	0.10	0.21	0.38	0.81	2.5
	10	0.10	0.30	0.89	1.8	2.3	2.6
	20	0.05	0.15	0.50	1.6	3.7	5.7
0 °C (32 °F)	30	0.04	0.10	0.31	1.08	3.3	7.4
	50	0.04	0.08	0.19	0.60	2.1	6.7
	70	0.04	0.08	0.16	0.42	1.4	5.1
	90	0.03	0.08	0.15	0.36	1.1	4.1

1.2.1.3.2. Meteorolojik Etkiler

Atmosferik hava ne sabit durur, ne de homojendir. Meteorolojik durumlar, sesin açık havada yayılmasında büyük etkiye sahiptir. Sis veya yağmur, kar gibi yağışlar, sesin yayılımında çok etkili olmamasına rağmen, hava sıcaklığı ve rüzgar sesin yayılımında etkilidir (20).

Rüzgar Etkisi: Ses dalgaları içinde bulunduğu ortamın hareketine göre hareket eder. Rüzgar olduğu zaman daima rüzgar değişimi (alçalma ve yükselme) vardır. Açık havada zeminden yükseklik ile farklılık gösteren rüzgar hızının etkisinin göz önüne alınması gerekir. Zemine yakın yerde rüzgarın hızı topografik düzensizlikler, binalar, ağaçlar ve diğer engellerden dolayı düşüktür. Zeminden daha yukarılarda rüzgar hızı daha az etkili olur ve rüzgar değişimi, hızın zeminde yukarıda yükseklikte arttığı gibi meydana gelir. Eğer çok yönlü kaynak zemine yakın yerdeki sesi yayarsa, rüzgar değişimi etkisi ses dalgalarının bazılarını aşağı doğru zemine rüzgar arkası yönünde ve zeminden yukarı rüzgar önü yönünde bükülecektir. Böylece rüzgar arkası bölgesinde, rüzgar önü bölgesine göre daha çok enerji kaydedilir (Şekil 3) (9).

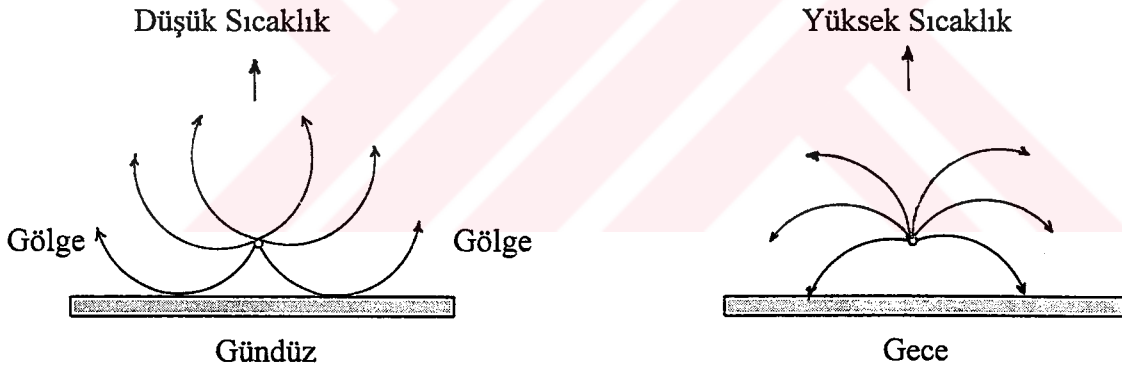
Ses yayılımı, rüzgar ve ses hızının vektörel toplamıyla kontrol edildiğinden ses ışınları Şekil 3'deki gibi bükülürler. Bundan dolayı rüzgar arkası yönünde ses uzak mesafelere ulaşırken, rüzgar önü yönünde gölge alanlar meydana gelir (20).



Şekil 3. Rüzgarın sesin yayılımına etkisi (9).

Sıcaklık Etkisi: Sıcaklık değişimleri rüzgar değişimlerine benzer etkiye sahiptir. Çünkü sesin hızı sıcaklığın yükselmesiyle yükselir. Gün boyunca hava durumu iyi olduğunda, hava, zemine yakın yerde güneş radyasyonu ile ısınır fakat gökyüzünün üzerine doğru serinleşir, buna dönüşüm denir. Gece veya bulutlu havalarda sıcaklık dönüşümü şeklini alır (20).

Ses dalgaları sıcak havada, soğuk havadan daha hızlı hareket ettiğinden gün boyunca ses dalgaları zemin yakınındaki kaynaktan yukarıya doğru bükülecektir ve eğer sıcaklık değişimi yoksa, zeminin yakınında daha az ses kaydedilecektir. Yüksek sıcaklıkta, havanın üst kısmındaki ses, yüzeye kaynaktan oldukça uzak mesafelere kolayca dönerken, zeminin yakınındaki ses kaynağından belli mesafede sesin işitilemez olduğu yerde gölge alan meydana gelir (Şekil 4) (20). Bazı iklimlerde, gece sıcaklık farklılıkları sık sık meydana gelir, bu şartlar altında, hava yere yakın yerlerde yerden yüksek yerlere oranla daha soğuktur. Bu durumda ses dalgaları aşağı zemine doğru bükülür (Şekil 4) ve daha yüksek ses düzeyleri kaydedilir. Çok farklı sıcaklık değişikliklerinde ses basınç düzeyi farklılıkları 20 dB (A) kadar ölçülmüştür (20,9).



Şekil 4. Sıcaklığın sesin yayılımına etkisi (20).

Farklı rüzgar arkası ve rüzgar önü etkiye sahip olan rüzgar değişiminden farklı olarak, sıcaklık değişimleri ses kaynağının etrafında, bütün yönlerde sesi etkiler (18).

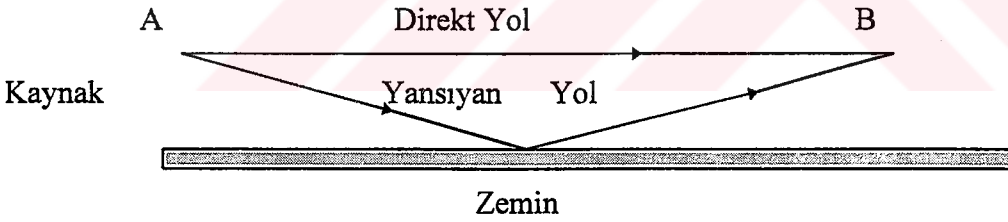
Sık sık hem rüzgar hem de sıcaklık değişimleri aynı zamanda olur. Fakat, rüzgar hızının yaklaşık 2-3 m/s' yi aştığı zaman, rüzgar değişimi etkisinin sıcaklık etkilerinin üzerine çıktığı bulunmuştur. İklimsel değişiklikler, sıcaklık değişimleri ve türbülans (çalkantılı hava) yere yakın yerde etkili olma eğiliminde olacaktır. Alıcılar ve kaynaklar

bu alana yerleştirildiğinden, eğer yayılma mesafesi 100 m' nin üzerindeyse, ses düzeyinde oldukça büyük değişimler beklenmelidir (9).

Sis ve kar etkileri herhangi bir tasarım probleminde önemli bir etken değildir. Sis havada, yer aldığı ekstra bir yutulma meydana gelir ve çok az yoğun bir sis için bu ekstra azalma frekansa bağlı olarak 3000m'de (1000ft) 3-10 dB arasındadır. Sis olduğu zaman, trafik, uçak, çocuk ve diğer açık alan aktivitelerinin neden olduğu gürültüler hissedilir ölçüde azalır. Aynı şekilde zemin üzerindeki kar da arka plan gürültü düzeylerini azaltır. Kar, zemin üzerinde emici bir katman oluşturur ve yansıyan ses dalgalarını etkiler (18,21).

1.2.1.3.3. Zemin , Bitki Örtüsü ve Ağaç Etkisi

Ses kaynağı ve alıcı nokta, zeminden çok yüksek olmadığında, zeminden yansıyan dalga önemli olur (Şekil 5). Zeminin türünün, örneğin sert ve yansıtıcı veya yumuşak ve emici, yansıyan sesi etkileyeceği açıktır ve böylece toplam ses B'ye taşınır. Bu zemin yansımalarının tam etkisi çok karışıktır ve beton gibi sert bir yüzey ekstra bir azaltma meydana getirmezken, çimen gibi yumuşak bir zemin azaltma sağlayacaktır (18).



Şekil 5. Yansıyan Zemin Dalgası (18).

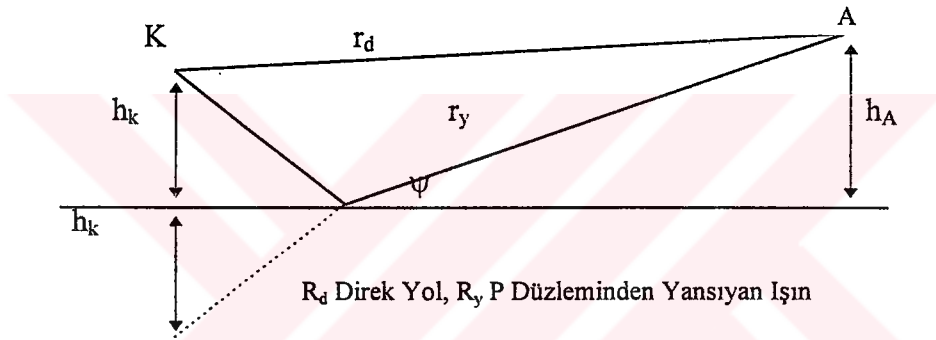
Ses dalgaları çimen gibi yutucu yüzey üzerinden geçtiği zaman, yere yakın yerde enerjileri azalır ve bu yutulma aynı doğrultuda ilerler. Tersine, eğer ses asphalt gibi sert yüzeyler üzerinden geçerse, yansıma ile ses düzeyi yükselebilir (22).

Zemin azaltması, hem zeminin akustik özelliklerini ve hem de zemin üzerindeki kaynak ve alıcının yüksekliğini etkileyen, yapının ve zemin kaplamasının bir fonksiyonudur. Kaynak ve alıcılar zeminden yüksekte olduklarında, katı (rijit) olmayan

engelden yansıyan dalga, çoğunlukla 300-600 Hz arasındaki frekans alanında olan frekanslarda uzak alandaki direk dalgalarla karışacaktır (21).

Zemin yutulmasından dolayı olan aşırı azaltım kaynaktan 30-70 m mesafede ihmal edilebilir. 2.5 m yüksekliğindeki kaynak ve alıcı için, azaltma 250 m mesafenin üzerinde 100-6300 Hz frekans aralığında 5-10 dB, 300-600 Hz frekans aralığındaki en yüksek 50 dB değerleriyle gözlemlenmiştir (21).

Doğal yeşil elemanla kaplı zemin, çimen, çalılar, ağaçlar gibi, sadece 30 dereceden daha büyük Ψ açılarda, pek çok duyulabilir frekanslarda iyi bir yansıtıcıdır. Yüzeydeki gözeneklilik küçük açılar için zayıf yansımalar meydana getirir, kökler tarafından toprağın serbest bırakılması zemini, 20 dereceden küçük Ψ açıları için zayıf bir ses yansıtıcı yapmaktadır (Şekil 6) (19).



Şekil 6. K kaynağından, A alıcısına yayılma yolu (19).

Sesin iyi bir yansıtıcı olması için, yansıtıcı düzlemin yüzeyi:

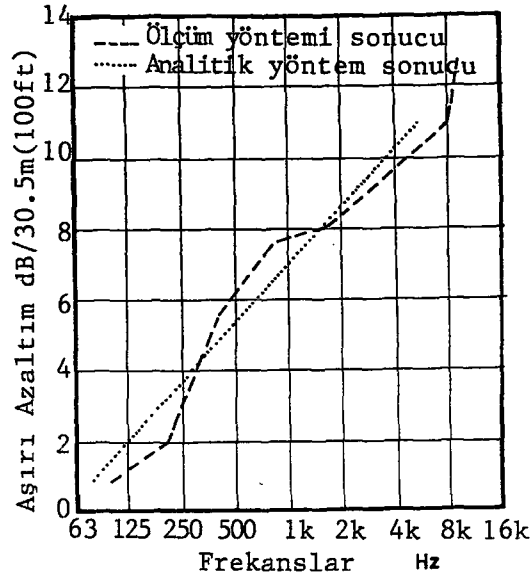
- 1) Yeterli ölçüde düzgün ve yassı olmalıdır, böylece sesin dağılımı az olacaktır.
- 2) Gözeneksiz ve masif olmalıdır. Böylece beton, asfalt ve su, Ψ açısının tüm değerleri için iyi bir yansıtıcıdır (19).

Sık çim üzerinden ve çalılıktan azaltma zeminden azaltmaya göre daha yüksektir. Bu durumda, 1000 Hz'de aşırı azaltım 100 m mesafede en fazla 23 dB olabilir ve genellikle frekans her iki katına çıktığında 100 m'de 5 dB oranında bir artma olur (Şekil 7) (21). Aşırı azaltım yaklaşık olarak;

$$A_{\text{çalılık veya çim}} = (0.8 \log f - 0.31)r \text{ dB} \quad (11)$$

f: ses frekansı, Hz

r: Çalılık veya çim yüzeyden olan uzaklık, m



Şekil 7. Çimen ve çalılık zeminden sesin azalması (21).

Genellikle ağaçların ve çalılarının çok zayıf engeller olduğu ve çok az azaltma sağladıkları söylenmektedir. 1000 Hz'in altındaki frekanslarda engel etkisi sağlamazlar, kökler zemini daha çok gözenekli yaptığı için zemin etkisi sağlarlar. Zemin-azaltma etkisinin tipik değerleri 5 m mesafede 500-1000 Hz arasında 5 dB (500 Hz'in altında hemen hemen 0dB), ve 10 m'de 10 dB'dir. Yaprak görsel gölge sağlayabilmesine rağmen, sadece yüksek frekanslarda sesin dalga boyunun, yaprağın çevresinden daha az olduğu genellikle 2000 Hz üzerinde, önemli engel azaltma sağlar ve büyük mesafelerde bu azaltma 10 m'de 1 dB'dir, 100 m'den çok mesafeler için maksimum 10 dB'dir. Fark edilir engel azaltması elde edebilmek için, çok yoğun büyük yaprak bitki örtüsü (mısır tarlası gibi) ve önemli mesafeler gerekir (19).

Parkins ve Humphreys, ağaç kuşaklarının biraz ses azaltması meydana getireceklerini belirtmektedirler. Fakat bu ağaç kuşakları, sık olarak rüzgar değişimlerini de etkileyeceğinden bu ek azalmayı önleyebilecektir. Ağaçlık alandan ses yayılımı pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. 1000 Hz frekansta aşırı azaltım değerleri, yoğun herdem yeşil ağaçlar için 100m'de 23 dB'den 100m'de 3dB'e kadar değişir veya yutucu zemin üzerindeki çıplak gövde için bu değer çok daha azdır (21). Ortalama değer farklı ağaçlar için;

$$A_{orman} = 0.01(f)^{1/3} \text{ r dB'dir} \quad (12)$$

Bu eşitlik, dışarıdan ormana giren sesin etkisini içermemektedir.

1.2.1.3.4. Engellerin Etkisi

Eğer alıcı, kaynaktan topografik özellikler veya binalarla korunursa, ses düzeyinde önemli azalmanın meydana geleceği bilinmektedir (9).

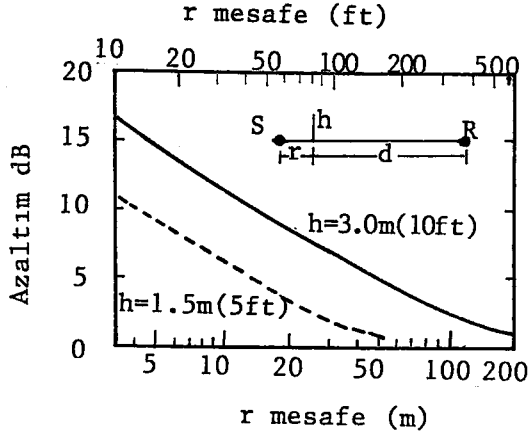
Doğal veya yapay bir engel, kaynakla alıcı arasındaki görüş çizgisini engelleyen, örneğin katı (rijit) çit, duvar, toprak yığını gibi, herhangi katı bir cisimdir.

Hem basit engeller için kesin bir teoremin olmayışından hem de engellerin kullanıldığı akustik çevrenin karmaşıklığı ve büyük değişkenliğinden dolayı, engellerin akustik tasarımı büyük ölçüde deneyseldir. Bir engel, gürültü kaynağının yüksek frekanslı bileşenlerini, düşük frekanslardan daha çok azaltır; bundan dolayı engel, gürültü spektrumunun şeklini değiştirir. Engel tarafından sağlanan azaltmayı göstermede pek çok tasarım eğrileri ve göz kararı tasarımlar vardır. Azaltma değerleri her bir engel için genellikle yaklaşık 5 dB'dir. Kabaca bir tahminle, herhangi katı bir engelin 5 dB azaltma sağlayacağı, iyi bir tasarımla bunun 10 dB olabileceği, kabul edilebilir, tasarımı hesaba katmadan, azalmanın 15 dB'i aşması muhtemel değildir (19).

Otomobil motorunun A ağırlıklı ses spektrumu gürültüsü yaklaşık 250 Hz ve 2000 Hz arasında çok önemlidir. Trafik gürültüsünün A ağırlıklı ses düzeyi azalması, tahminen kaynakla alıcı arasında görüş çizgisini 1.5-3m aşan engel için Şekil 8'de gösterilen 500 Hz frekanstaki engel tarafından sağlanan azalmadır (19).

Şekil 8, 500 Hz frekanslı S nokta kaynağı ve R alıcısı arasındaki yüksekliğindeki engelin yerleştirilmesinden dolayı A_{engel} azaltmayı gösterir. Gösterilen değerler, d'nin r'den çok büyük olduğu uzunluklar içindir; eğer $d=r$ ise, gösterilen azalma değeri 3 dB yükselebilir. Bu eğriler,

- 1) hem kaynak r, hem de alıcı d uzunluğunun engel yüksekliğinden büyük olduğu,
- 2) r veya d uzunluklarından birinin diğerinden büyük olduğu $r > d$ veya $d > r$
- 3) Engel ince ve yüzeyleri ses yansıtıcı, ağaç, tuğla, beton vb. olduğu,
- 4) Engel r ya da d'den en az 4 kat uzun olduğu duruma aittir.



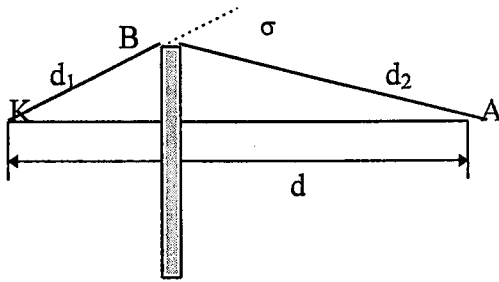
Şekil 8. 500 Hz frekansta engel tarafından azaltma (19).

Şekil 8, kaynaktan r uzunluğu her iki katına çıktığında azalmanın 6 dB arttığını gösterir. r ve d uzunlukları eşit olduğu zaman, azalma gösterilen değerden 3 dB daha çok olur. Yüzeyleri ses yutucu olan engel, yüzeyleri yutucu olmayan engelden 6 dB'den daha çok azalma sağlar.

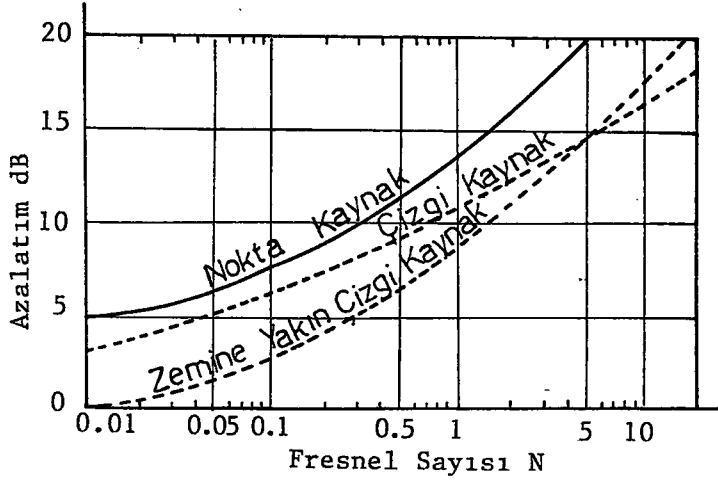
Dalgaboyu λ olan ses için, uzun bir engelin nokta kaynaktan ses azaltmasını hesaplamak için, önce Fresnel sayısı, N belirlenir.

$$N = \frac{2}{\lambda} (d_1 + d_2 - d) \quad (13)$$

d_1 , d_2 ve d Şekil 9'da gösterilen uzunluklardır. Engelin üst kısmı, kaynakla alıcı arasındaki görüş çizgisine değdiği anda veya altında olduğu anda, N değeri 0 olur. Engelin boyu görüş çizgisinden yukarıya doğru uzadıkça, N değeri büyür. N'nin belirli değerleri için (A_{engel}) engel azalma Şekil 10'dan bulunur (19).

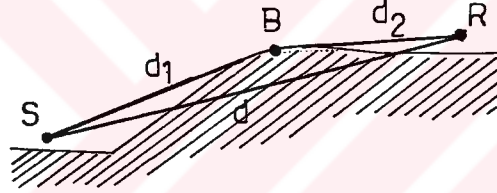


Şekil 9. A_{engel} azaltmayı hesaplamak için ilgili uzunluklar (19).



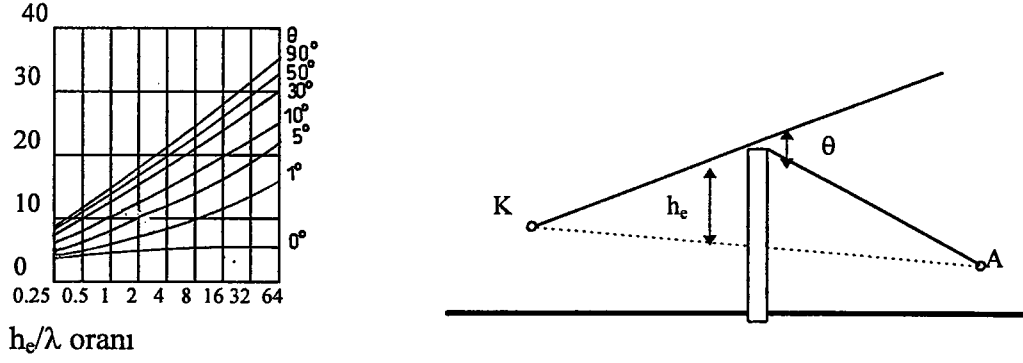
Şekil 10. Şekil 9'daki B engelinden eşitlik 13, fresnel sayısı N 'den bulunan A_{engel} azaltma (19).

Toprak yığını, tepe gibi yerlerin (Şekil 11) engel azaltmasını hesaplar Şekil 9, Şekil 10 ve Eşitlik 13 kullanılarak, Fresnel sayısı N 'den engel azaltma hesaplanabilir.



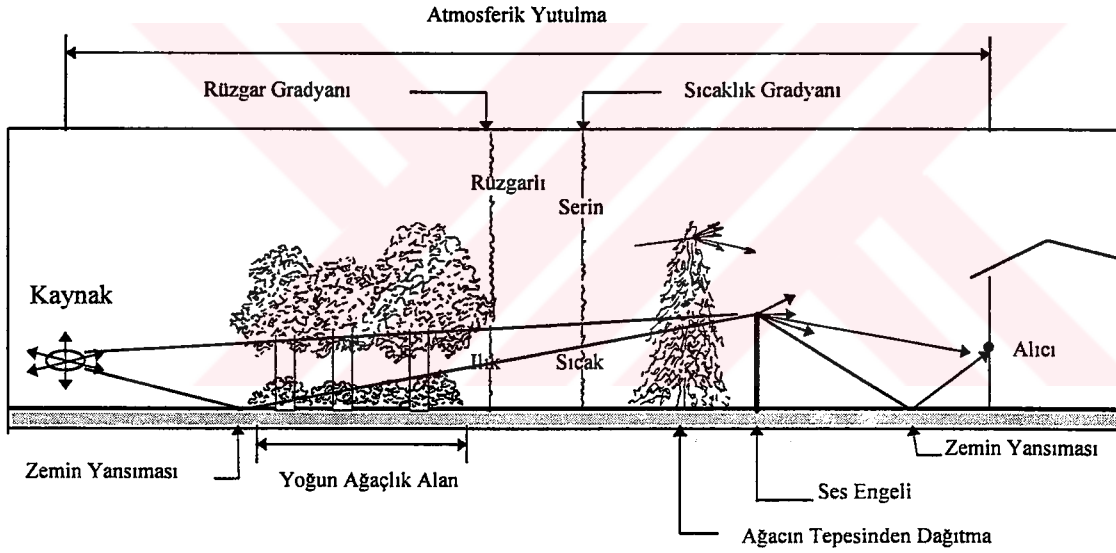
Şekil 11. Şekil 9 ve Şekil 10'dan A_{engel} azaltma (19).

Uzun bir engelin ses düzeyini azaltması, sesin frekansına ve engel etkinliğine bağlı olarak da bulunabilir. Bunun için engel çevresinin ölçekli bir kesiti çizilir. Kaynakla alıcıyı birleştiren doğrunun üzerinde kalan engel yüksekliği 'etkin yükseklik' (h_e) ve kaynağı engelin üst noktasına birleştiren ve uzatılan doğrunun, engelin üst noktası ile alıcı noktayı birleştiren doğru ile yaptığı açı "kırınım açısı" θ olarak adlandırılır (Şekil 12). Sesin frekansından sesin havadaki hızı 340 m/sn alınarak, dalga boyu ve "etkin yükseklik/dalga boyu" (h_e/λ) oranı bulunur. Engelin sesi azaltması çizgesinden h_e/λ oranı ile θ eğrisinin kesiştiği nokta bulunur. Bu noktadan yatay bir doğru çizildiğinde, soldaki düşey eksenini kestiği yerde, engelin sesi ne kadar azaltacağı bulunur (7).



Şekil 12. Uzun engellerin sesi azaltması (7).

Dış mekandaki ses yayılımını etkileyen en önemli mekanizmalar Şekil 13'deki gibi özetlenebilir (23).

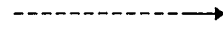

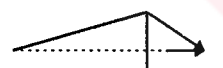




Şekil 13. Dış mekandaki ses yayılımının en önemli mekanizmaları (23).

Ses, ses kaynağından ayrılırken mesafe ile azalır. Atmosferik yutulma, sesi sesin aldığı yol boyunca azaltır. Zemin yansımaları, sese hem azalma hem de artmaya neden olarak direk sesle karışır. İnsan yapımı ve doğal ses engelleri gibi yoğun bitkilendirilmiş alanlar azalma sağlar. Ağaç tepesinden sesin dağıtımını engelin etkisini yok edebilir. Hem rüzgarın hem de sıcaklığın düşey değişimleri gölge zonu meydana getirerek, zemin

girişimini değiştirerek, ve ses engel etkisini azaltarak ses yolunu yukarı ve aşağı bükerek (23).

Şekil 14 dış mekandaki ses yayılımının bütün diğer önemli mekanizmalarını, her birinin hangi durumlarda önemli olduğunu göstererek özetlemektedir. Bu şekil genellikle ihmal edilen sis, yağış (kar-yağmur) ve atmosferik türbülansı içermez (23).

		Azalma Yaklaşık 5 dB'e Eşittir.		
Mekanizma	Kısa Açıklama	Bu Koşullar Altında	Bu Mesafelerde	
Atmosferik Yutulma 	Atmosfer tarafından direkt olarak sesin yutulması	10 °C ve %70 bağıl nemde	800 m 500 Hz de 1500 m 4000 Hz 250 m	A Okt
Yumuşak Zemin 	Akustik olarak yumuşak zeminden direkt ve yansıyan ses ışınları arasındaki girişim	Kaynak ve alıcı yüksekliği yaklaşık 1.2 metre	85 m 250 ve 500 Hz 10m 125 ve 1000 Hz 50m 63 ve 2000 Hz'de yok	A Okt
Engel 	Arada bulunan ses engelinden dolayı akustik olarak yumuşak zeminden kısmi kayıp ile birleşen, engelde ek kayıp meydana getirerek azalma	Alıcı, nötr hava (sıcaklık) koşullarında ve rüzgarsız havada engelin geometri gölgesi içinde olduğu zaman	Hepsi	
Yoğun Bitkiler 	Araya giren yoğun bitki alanları ile kısmi gölgeleme	Yoğun ağaçlar ve alt çalılarla	30 m 500 Hz'e 100 m 4000 Hz'de 50 m	A Okt
Rüzgar Sıcaklık 	Yumuşak-zemin azalmasının değişikliği ve/veya engel ek kayıp veya gölge alanların oluşumu-hepsi dikey rüzgar ve sıcaklık değişimi ile meydana gelir.	Güneşli günde kaynak ve alıcı yüksekliği 1.2 m	150 m 500 Hz'de 150 m 4000 Hz'de 50 m	A Okt

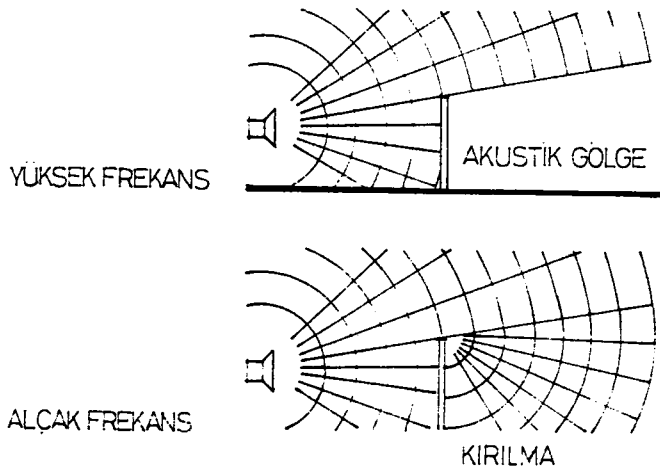
Şekil 14. Dış mekan ses yayılımının en önemli mekanizmalarının özeti (23).

1.2.1.4. Sesin Bir Engele Çarptığı Zaman Gösterdiği Özellikler

Ses esnek bir ortamda yayılan dalgalardan ibarettir. Homojen bir ortamda yayılma hızı sabittir. Bir ortamda yayılan ses, karşısına herhangi bir engel çıktığı zaman bu engelle çarpar, çarpan ses enerjisinin bir kısmı engeli geçer bir kısmı engel tarafından yutulur ve geri kalanı da yansır. Ses enerjisinin geçme yutulma ve yansıma oranları maddenin cinsi, geometrik şekli ve yüzeyinin durumu ile ilgilidir (24).

Ses havada boyuna dalgalar halinde yayılır. Bir ortamda yayılan ses dalgaları, yayılmaya elverişli başka bir ortama geldiklerinde eğer iki ortamı ayıran yüzeye dik değillerse, yayılma doğrultusunu değiştirerek öteki ortama girerler. Bu olaya kırılma denir. İkinci ortamda yayılma hızı küçük ise yayılma doğrultusu(ışın) yüzeyin normaline yaklaşır. Yayılma hızı büyük ise uzaklaşır. Ayırma yüzeyinde dalgaların bir bölümü yansır (25).

Ses dalgası bir duvar veya herhangi bir engelle karşılaştığında ışık gibi hareket eder. Engelin arkasında akustik gölge oluşur. Diğer taraflarda ise dalga hareketine devam eder. Düşük frekanslı seslerde engelin ucundaki titreşen moleküller, ikincil ses kaynağı olarak davranır ve gölge içinde bir ses alanı oluşturur. Böylece engel arkasındaki seste çok az bir azalma olur. Akustik gölge yüksek frekanslı seslerde, alçak frekanslı seslere oranla daha belirgindir (Şekil 15) (7).



Şekil 15. Akustik gölgenin oluşumu (7).

Ses dalgaları yayılma ortamında dalga boyundan büyük boyutlu bir yüzeye çarptıkları zaman geri dönerler. Buna sesin yansması denir. Ses dalgaları da ışık dalgaları gibi yansma kanunlarına uyarlar, yani yayılma doğrultusu ile yüzey arasındaki açı yansımış dalganinkine eşittir. Yansıtıcı yüzey duman, bulut, dağ gibi sesin dalga boyuna yakın herhangi bir engel olabilir. Yansımış dalgalar ses kaynağının engele göre simetriğinden geliyormuş gibidirler (25).

Bir engele ulaşan ses dalgasının bir kesimi yansır bir kesimi de engel tarafından yutulur. Yansımış dalganın enerjisi engelin türüne yüzeyin cilalı veya pürüzlü oluşuna ve gelme açısına bağlıdır. Yansma yüzeyi mantar gözenekli duvar ve benzeri olursa gelen ses enerjisinin çoğu yutulur(ısıya dönüşür) pek azı yansır (25).

1.2.2. Gürültü Kavramının Tanımlanması

Rahatsız eden, sinirlendiren veya günlük faaliyetlere (iş, dinlenme, eğlenme, çalışma,...) zarar veren bütün sesler gürültü olarak kabul edilir. Gürültü, bilinen tanımla, alıcı tarafından istenilmeyen bütün seslerdir. Bundan dolayı, bir konuşma veya müzik istenmediğinde gürültü olarak kabul edilir (15). Gürültünün 'istenilmeyen ses' biçimindeki tanımı, gürültünün öznel yönünün ağırlık taşıdığı ve değerlendirmesinin insan değer ve çevrelerinin konusu olduğunu vurgulamaktadır (26).

Gürültü Kontrol Yönetmeliğinde, gürültü, "Gelişigüzel yapısı olan bir ses spektrumudur ki, subjektif olarak istenmeyen ses" biçiminde tanımlanır (27). İnsan tarafından istenilmeyen sesler ya da gürültüler fiziksel yönden periyodik olan bir seri harmonik ilişkili saf ton ses olabildiği gibi, periyodik olmayan fakat çok sayıda farklı frekanslara sahip karmaşık seslerden de oluşabilmektedir (26).

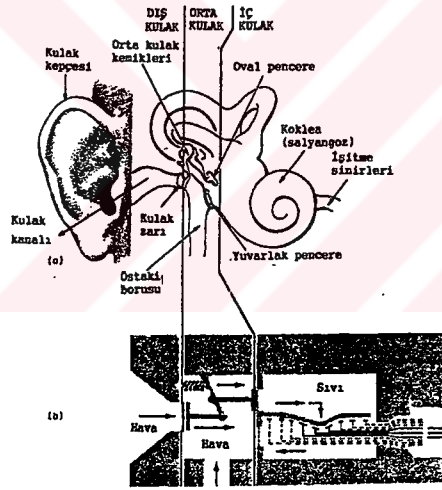
1.2.3. İnsan Kulağı ve İşitme

Duyuma, belki görmeden sonra insanların en önemli ikinci haberleşme kanalıdır. Çok fazla ışık veya istenmeyen bir görünüm olduğunda, kulaklar yaşam içindeki istenen sesler kadar istenmeyen seslere de açıktır (10).

İnsanların sosyal, ekonomik, ruhsal ve bedensel yapılarının hem kişiden kişiye, hem de kişinin içinde bulunduğu koşullara bağlı değişimleri, seslerden etkilenmede

değişik tepkilere neden olabilmektedir. Bu tepkiler, fiziksel açıdan gürültü sayılabilecek bir sesin, insanı rahatsız etmemesi yani gürültü izlenimi uyandırmaması- örneğin bir şelale sesi fiziksel açıdan gürültüdür fakat insanlar bazı durumlarda bu sesi dinlemekten zevk alırlar- biçiminde olabileceği gibi bunun tersi olarak fiziksel açıdan gürültü olmayan seslerin insanı rahatsız etmesi yani gürültü izlenimi uyandırması, örneğin telefonla konuşan kişinin severek dinlediği müzikten rahatsız olması, biçiminde de ortaya çıkabilir (16).

Duyuma mekanizması olan kulak anatomik olarak üç kısımdan oluşur (Şekil 16): Ard arda gelen ses dalgası basınçlarını toplayan ve titreşim hareketini kulak zarına ileten; dış kulak, kulak zarının titreşimlerini, mekanik olarak sıvı dolu iç kulağa ileten; orta kulak ve mekanik titreşim sinyallerini, akustik bilgiyi beyne gönderen sinirsel sinyallere dönüştüren; iç kulak (28,15,16).

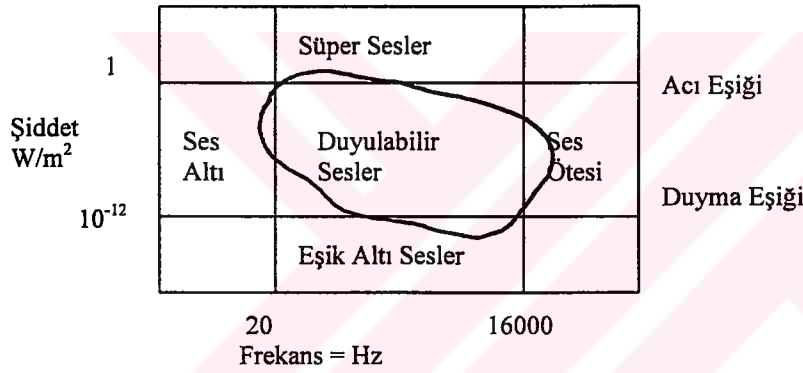


Şekil 16. Kulağın işlevsel şeması (28).

Kulağın yararlı bilgileri aldığı ses basıncı ve frekans alanı çok geniştir. İnsanlar ortalama 20 Hz ve 16000 Hz (bazı kaynaklarda 20000 Hz (26,16)) frekanslar arası sesleri duyabilirler. Bu değer yaş ve diğer öznel etkenlerle azalır. 20 Hz frekansın altındaki sesler insan kulağı tarafından duyulmaz ve “infrasound” (ses altı) olarak bilinir. Yaklaşık 16000 Hz frekansın üzerindeki sesler de duyulmaz ve “ultrasound” (ses ötesi) olarak bilinir (28,10,7).

Kulakta işitme duygusunu uyandırma özelliğinde olan sesin, minimum ses basınç düzeyi, duyma eşiği olarak adlandırılır. Duyma eşiğinde minimum ses basınç düzeyi: $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ 'dir. Ses olarak anlaşılan ve duyma eşiği olarak anılan en düşük yeğinlik de(şiddet): 10^{-12} W/m^2 'dir. Ses basıncı yükseldiğinde ve ses daha sesli (gürültülü) olduğunda, işitme duygusunu rahatsız eden değere ulaşır. Rahatsızlığın tam acıya dönüştüğü noktada kulağı uyaran sesin, minimum ses basınç düzeyi acı eşiği olarak adlandırılır. Acı eşiğindeki minimum ses basınç düzeyi 20 N/m^2 , yeğinlik ise 1 W/m^2 'dir. Bu düzeylerin üzerindeki titreşimler acı meydana getirirler ve kulağa zarar verebilirler (15,10).

Şekil 17 frekans ve yeğinliğe bağlı olarak duyulabilir seslerin alt ve üst sınırlarını göstermektedir (10).



Şekil 17. Duyulabilir seslerin alanı (10).

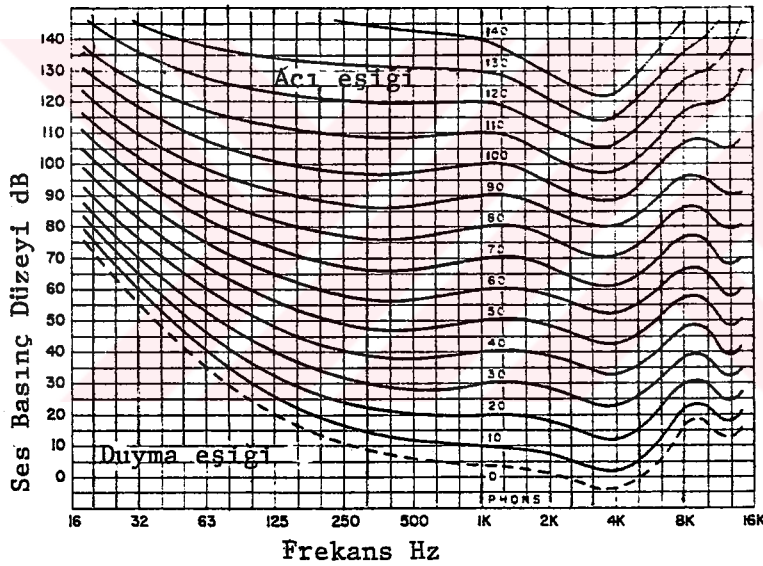
İşitme ve acı arası basınç 1 milyon defa yükselir. Bu, kulağın cevap verdiği aşırı derece geniş ses basınç alanı gösterir. Şekil 18'de gösterilen duyma eşiği ve acı eşiği eğrileri işitme duygusu alanını gösterir.

Kulağın duyarlılığının farklı frekanslı seslerle çok değiştiği görülebilir. Duyma eşiği eğrisinden, 63Hz'de sesin basıncı aşağı yukarı 35 dB minimum düzeye ulaşana kadar kulak hiçbir sese cevap vermeyecekken, 1000 Hz'de yaklaşık 4 dB minimum ses basınç düzeyinin kulak tarafından açıkça algılandığı görülebilir (15).

Kulağımızın duyarlılığı bizi rahatsız eden, alçak frekanslı ses alanında azalır. Diğer taraftan, kulak, konuşmayı anlamada ve müzikten zevk almada esas olan 400 Hz-

5000 Hz frekans alanındaki seslere daha çok duyarlıdır. Kulağın bu şekilde işlemesi avantajdır (15).

Yalın sesli değişik frekanslar ve düzeyler için eş seslilik kararları Şekil 18'deki gibi gösterilen eş seslilik eğrileri olarak ortaya çıkarılmıştır. Değişik araştırmacılar, yaptıkları deneyler sonucunda değişik eş seslilik eğrileri önermişlerdir. Şekil 18'de verilen eğrilerdeki tüm noktalar ses basınç düzeylerini gösterir. Bu eğriler 18-25 yaş arasındaki işitmesi normal olan insanlar üzerinde deneyler yapılarak saptanmıştır. Bu eğriler, örneğin, 32 Hz frekansta 70 dB ses basınç düzeyinde, 125 Hz frekansta 40 dB ses basınç düzeyinde, 1000 Hz frekansta 30dB ses basınç düzeyinde ve 8000 Hz frekansta 38 dB ses basınç düzeyinde, bütün bu değerler 30 phon* eş seslilik eğrileri üzerinde olduğundan, sesin seslilik düzeyinin 30 phon olduğunu gösterir (28,15).



Şekil 18. Eş seslilik eğrisi (15).

Diğer taraftan, 4000 Hz frekansta 20 dB ses düzeyindeki sesler, 63 Hz frekansta 50 dB'lik ses düzeyindeki ses kadar seslidir. Diğer bir ifadeyle, kulak alçak frekanslı

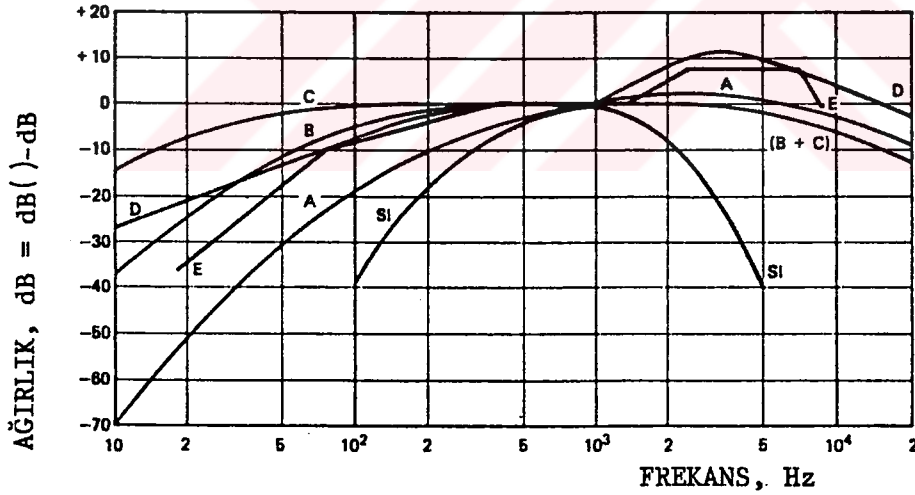
* Phon : Seslilik düzeyi birimidir. Psikolojik testler sonucu bulunmuştur. Bir sesin işitsel yeğinliğe eşdeğer bir duyulanma yaratan 1000 Hz frekanslı yalın sesin dB cinsinden fiziksel yeğinliğinin sayısal değeri olarak tanımlanır (16).

seslere (kalın veya pes sesler), yüksek frekanslı seslerden (ince veya tiz sesler) daha az duyarlıdır (15).

1000Hz'de desibeldeki ses basınç düzeyleri phondaki seslilik düzeyleri ile aynıdır, fakat diğer bütün frekanslarda farklılaşır. Şekil 18'dan herhangi bir frekansı desibelden phon'a çevirmek (veya tam tersine) mümkündür. Örneğin 4000 Hz'de 70 dB ses basınç düzeyi 80 phon seslilik düzeyine sahiptir (15).

Seslilik, ses düzeyine oranla, insan kulağının yalnız sesleri algılamasının daha doğru bir ölçüsüdür. Frekans ne olursa olsun, her 10 phon artış sesliliğin iki kat arttığını gösterir (Şekil 18) (7).

Ses düzeyini ölçen araçların çoğu bir mikrofon üzerinde, aldığı seslerin basıncını ölçer ve bunu elektronik bir devre ile ses düzeyine çevirir. Seslilik düzeyi ise doğrudan doğruya ölçülemez. Ancak araç içine yerleştirilen bir elektronik devre basıncı ses düzeyine çevirirken, bunları eş seslilik eğrilerine benzetebilmek için, bir ağırlık sistemine göre bazı değerlerle toplar veya çıkarır. Altı tür ağırlık sistemi önerilmiştir. Bunlara A, B, C, D, E, SI ağırlıkları adı verilir. Bu ağırlıklara göre ölçülen ses düzeyleri sırasıyla dB(A), dB(B), dB(C), dB(D), dB(E), dB(SI) şeklinde belirtilir (Şekil 19).



Şekil 19. Ağırlıklı ses düzeyinde ağırlık oranları eğrileri (7).

40 phon seslilik eğrisine benzeyen ve kişilerin işitme konusundaki öznel değerlendirmelerine en çok uyan (A) ağırlık sistemidir. dB(A) ölçeği frekansı ne olursa olsun, ses koşulları hakkında bilgi veren tek bir değerdir. Karmaşık sesler için kullanılır. Çoğu koşullar için tek başına yeterlidir. (B) ağırlık sistemi 70 phon eğrisine, (C) ağırlık

sistemi 100 phon eğrisine benzer. (D) ağırlık sistemiye “Hissedilmiş Gürültülülük” adı verilen bir başka ses göstergesi eğrilerine benzer ve daha çok uçak gürültüsü değerlendirmelerinde kullanılır. (E) ve (SI) ağırlıkları konuşma anlaşılabilirliği çalışmalarında kullanılır (7).

1.2.4. Gürültünün İnsan Sağlığı ve Davranışları Üzerindeki Etkileri

Gürültülü bir ortam, o ortamda bulunan insanları olumsuz yönde etkiler, bu etki, gürültünün şiddetine, frekansına bağlı olduğu kadar, kişinin bu gürültüye maruz kalma süresine, kişisel duyarlılığına, yaşına, mevcut kulak hastalıklarına, ses kaynağından olan uzaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Gürültüden etkilenme, sınırları tam bir kesinlikle çizilemese de, zarar görme ve rahatsızlık olarak gruplandırılmaktadır. Zarar görme, kalıcı veya etki süresi sonunda geçici olabilen, ancak insani fizyolojik, performans yönünden etkileyen durumları kapsar. Gürültüden etkilenen kişi ya da kişiler, gürültüyü azaltmaya, gürültüden kaçınmaya çalışıyor ya da gürültülü bölgeyi terk ediyorsa gürültü rahatsız edici olarak değerlendirilmektedir (2).

Belirli bir şiddetteki ses, kişilere göre değişik etkiler yapmakla beraber, bir genellemeye de gidilebilir. Gürültünün olumsuz etkileri ve gürültü düzeyleri Lehmann tarafından şöyle sınıflandırılmıştır (26,29,30):

1) 30-65 dB arası gürültüler, bazı durumlarda rahatsız edicidirler. Ancak rahatsızlığın şekli ve basıncı çok çeşitlidir. Sinirlilik, çabuk hiddetlenme, konforsuzluk, konsantrasyon ve uyku bozukluğu,

2) 65-90 dB arasında fizyolojik tepkiler (kalp atışının azalması, solunum hızlanması, beyin sıvısında basıncın azalması gibi) görülür.

3) 90-120 dB arasında fizyolojik tepkilerin artması, baş ağrıları, işitme organında arızalar görülür. Bu dB'deki sesler uzun süre devam ederse ağır işitme bozuklukları ve sağırılık yapar.

4) 120 dB'den sonra iç kulakta sürekli hasar ve dengenin bozulması,

5) 140 dB'den sonra ciddi beyin tahribatı görülür.

Diğer taraftan Gürültü Kontrol Yönetmeliğine göre gürültünün insan sağlığı ve konforu üzerindeki etkileri, işitme hasarları şeklinde görülen fiziksel etkileri, vücut

aktivitesinde görülen fizyolojik etkileri, rahatsızlıklar, sinirlilik gibi psikolojik etkileri ve iş veriminin azalması, işitilen seslerin anlaşılmanması gibi görülen performans etkileri olarak dört grupta toplanabilir (27).

1.2.4.1. Fiziksel Etkiler

Gürültünün etkileri arasında en yaygın olarak bilineni işitme kayıplarıdır. Bilindiği gibi, ileri yaşlarda ortaya çıkan doğal işitme kayıplarından farklı bir durumdur. Gürültünün işitme organı üzerinde yol açtığı olumsuz etkiler, gürültünün düzeyi, etki süresi, frekansı başta olmak üzere, pek çok etkenin etkileşimleri sonucunda, değişik derecelerde işitme kayıpları olarak ortaya çıkmaktadır. Gürültünün işitme üzerindeki etkileri üç gruba ayrılabilir (31).

Akustik travma: Akustik travma (aşırı ses enerjisi nedeniyle kulağa verilen ani hasar) çok yüksek ses düzeyindeki tek bir patlama veya birkaç patlamanın etkisine bağlıdır. İç kulağa ulaşan aşırı derecedeki şiddetli ses, korti organında bozulma ve rahatsızlık meydana getirerek bu yapının fiziksel sınırlarını aşar. Kalıcı işitme kayıplarının bazıları akustik travma sonucu meydana gelir (31).

Gürültü Kökenli Geçici İşitme Eşiği Değişimi: Gürültü kökenli geçici işitme eşiği değişimi, gürültü kesildikten sonra, işitme düzeylerinin belli bir süre yükselmesi yani kişinin işitsel duyarlılığın, gürültüden etkilenmeden önceki durumuna oranla, belli bir süre azalmasıdır. Geçici işitme eşiği değişiminde, işitme kayıpları önlenir, yani kişi eski durumuna dönebilir (31).

Gürültü Kökenli Kalıcı İşitme Eşiği Değişimi: Gürültü kökenli kalıcı işitme eşiği değişiminde işitme kayıpları giderilemez, etkilenen kişinin yaşamı boyunca devam eder. Kalıcı eşik değişimleri akustik travma yada uzun yıllar boyunca tekrarlanan gürültünün birleşerek çoğalan (kümülatif) etkisi sonucunda meydana gelir (31).

Gürültüye bağlı işitme kayıplarında gürültünün karakteri, süresi ve şiddetinin önemli olduğu daha önceden belirtilmişti. İnsan kulağı 165 dB şiddetindeki bir sese 0.003 saniye, 145 dB şiddetindeki bir sese ise 0.3 saniye süreyle kalıcı bir etki olmadan dayanabilmektedir. Bu şiddetteki seslerin uzun sürmesi halinde kulak zarı yırtılmalarına, özengi kemiği çıkıklarına, orta kulakta kanamaya ve iç kulakta tahribe neden

olmaktadır. Sesin sürekli olması, kesikli olmasından daha az zararlıdır (32). Ses bombası gibi ani bir gürültü, sürmekte olan bir gürültüye göre daha çok zarar verecektir.

1.2.4.2. Fizyolojik Etkiler

Fizyolojik etkilere neden olan değişik mekanizmalar arasında en önemlisi, işitme sinirleri aracılığıyla beyne ulaşan sinyallerin, değişik fizyolojik sistemlerin işleyişlerinde ortaya çıkardığı refleks değişikliklerdir. Gürültünün fizyolojik etkileri, etkinin zaman içindeki sürekliliğine göre kısa ve uzun süreli etkiler olarak sınıflandırılabilir. Kısa süreli etkiler, gürültü kesildikten hemen sonra ortadan kalkan, uzun süreli etkiler ise gürültü kesildikten, saatler, günler hatta daha uzun süre bile, gözlenebilen etkilerdir (2).

İstemli kasları kaplayan refleksler (göz kırpmak, yüz kaslarının hareketi), kan basıncının artması, nefes alma refleksindeki değişiklik, kalp hızının artması, göz bebeğinin büyümesi kısa süreli fizyolojik etkilerdir. Uzun süreli fizyolojik etkilere de mide, bağırsak bozuklukları, ülser, astım, kronik yetmezlik, adrenal salgı, tiroit hormonları salgı gibi hastalıklar örnek verilebilir (2).

1.2.4.3. Psikolojik Etkiler

Gürültünün psikolojik etkileri kişiden kişiye değişmekle birlikte aynı kişide gürültünün karakterine ve saatten saate etkisine bağlı olarak değişmektedir (32). Gürültünün psikolojik etkisi, kişilerin duygusal yapısıyla da yakından ilişkilidir. Sürekli gerilim, sinirlilik ve şüphecilik gibi durumlara neden olur. Morali etkiler, verimi azaltır (33). Gürültünün psikolojik etkileri sıkıntı gerginlik, isteksizlik yaratması, rahatsızlık şeklinde tanımlanabilir.

Rahatsızlık; bireysel rahatsızlık ve toplumsal rahatsızlık şeklinde ortaya çıkmaktadır. Benzer gürültü koşullarında bulunan, küçük homojen bir topluluğun, ortalama rahatsızlığı, bireysel rahatsızlık olarak belirlenir. Bireysel rahatsızlık, belli bir gürültünün önceden bilinmesiyle azalabilmekte yada artabilmektedir. Televizyon izleme, uyku gibi durumlarda, bireyler başka zamanda rahatsız olmadıkları gürültüden rahatsız olmaktadır. Gürültü bir bireyin ya da topluluğun kazanç kaynağı sonucunda

oluşan bir yan ürün ise, daha az gürültülü olacaktır. Örneğin ağır vasıta sürücülerini otoyol gürültüsünden daha az rahatsız olurlar. Önceden kestirilebilen gürültüler diğerlerine oranla daha az rahatsız edicidirler. Gürültü yararlı bir aktivitenin kaçınılmaz sonucu olarak görülüyorsa, daha az rahatsız edici olarak değerlendirilmektedir (2).

Kendi yaşam çevrelerindeki bir topluluğun, gürültüye duyduğu ortalama rahatsızlık toplumsal rahatsızlık olarak tanımlanır. Toplumsal rahatsızlık, sosyal gözlemler ve anketlerle belirlenir.

İnsanların konforu için belirlenmiş gürültü düzeyleri bulunmaktadır. Bu gürültü düzeyi sınırlarının, değişik derecelerde aşılmasıyla, ortaya çıkması olası toplumsal yanıtlar, ender şikayetler, yaygın şikayetler, toplumsal tepki tehlikesi ve çok şiddetli toplumsal tepki olarak sınıflandırılır.

Rahatsızlık değerlendirmesinde, toplumun sosyoekonomik yapıları ve kültür düzeyleri önem taşımaktadır. Sosyal güvenceleri sağlanmış, eğitim düzeyi ve bilinçlenmenin yüksek olduğu toplumlarda, rahatsızlık artmakta, diğer toplumlarda ise azalmaktadır. Önemli olan bireylerin ve toplumun gürültüden rahatsızlık duyması ve rahatsızlığın tepkiye dönüştürülebilmesidir (2).

1.2.4.4. Performans Etkileri

Gürültünün, iş verimi, öğrenme, okuma gibi konularda yol açtığı performans değişimlerinin saptanması çalışmaları uzun yıllardan beri devam etmektedir. Bu çalışmalar; gürültüye ve gürültü değişimlerine alışma, kişinin zeka derecesi, yapılan işin güçlüğü, yaş, vb. gibi pek çok etkenin performans düşüklüğüne yol açan gürültü tipleri kritik gürültü düzeylerinin ortaya konamayacağını göstermektedir (2).

Pek çok testlerden, yüksek düzeyli gürültülerin verimliliği etkilediği, gürültü düzeyi azaldığında daha az hata yapıldığı ortaya koyulmaktadır. İnsanları huysuz yapan gürültünün sebep olduğu zihinsel yorgunluğun direk sonucu olarak hatalar meydana gelmektedir (34).

Ayrıca, fazla gürültü, ses algısı ve harekette doğruluk gerektiren işlerde, iş kazası meydana gelmesi olasılığını artırmaktadır (33).

Gürültünün zararı günlük doz ile orantılıdır. Doz, gürültü düzeyi ile sürenin çarpımı gibi düşünülebilir. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) sekiz saat süreyle 90

dB düzeyinde bir gürültüyü, günlük maksimum doz olarak belirlemiştir. Bu değerin üzerindeki dozlar, dozun yüksekliği oranında zarar verir.

Süre yarıya inerse, sesin yeğinliği iki katına çıkabilir. Yani 3 dB yükselir. Buna göre günlük maksimum doz;

8 saat için 90 dB

4 saat için 93 dB

2 saat için 96 dB dır.

Süre, 85 dB'e doğru sonsuza gider, 100 dB'de yarım saate iner (35).

1.2.5. Gürültü Kaynakları

Gürültü kaynaklarını değişik yönlerden gruplandırmak mümkündür. Seslerin doğuş biçimlerine göre havada veya katı ortamlarda doğan gürültüler, akustik yönden noktasal, çizgisel veya düzlemsel kaynaklardan yayılabilirler. Çevre gürültüleri; kaynak ve alıcıların bir çevredeki konumlarına ve yayılma yollarına bağlı olarak iki grupta incelenebilir (36).

1. Yapı içi gürültüler: Yapıların içinde yer alan her türlü, mekanik ve elektronik sistemler ile yaşam etkinliklerinden doğan gürültülerdir. Ev araçları, yüksek sesli konuşmalar, ayak sesleri, eşya sürtünmeleri, büro gürültüleri örnek olarak verilebilir.

2. Yapı dışı gürültüler: Yapıların dışında yer alan ve gerek yapı içindeki hacimleri, gerekse yapı dışındaki açık alanları kullanan bireyleri etkileyen çevre kaynaklı gürültülerdir (36). Yapı dışı gürültüler, yüksek gürültülerine sahip olmaları nedeniyle daha büyük sorunlar yaratmaları, daha karmaşık yapılar göstermeleri, daha yaygın olduklarından çok sayıda kişiyi etkilemeleri, bu yüzden kent ölçeğinde inceleme zorunluluğu ve çözümler için bireysel yaklaşımlar yerine çoğulcu kararları gerektiren gürültülerdir. Bu özelliklere sahip olmaları nedeniyle burada yapı dışı gürültü kaynaklarına yer verilecektir.

Yapı dışında meydana gelen çevresel gürültüler nitelik ve nicelik yönünden büyük farklılıklar göstermekle birlikte, aşağıdaki gibi gruplandırılabilir (37):

1) Ulaşım gürültüleri (karayolu, havayolu, demiryolu ulaşimleri),

- 2) Endüstri ve donatım gürültüleri (mekanik araçlar, motorlar, endüstri yapıları gibi),
- 3) Yapım gürültüleri (bina ve yol şantiyeleri),
- 4) İnsan ve etkinliklerinin gürültüleri (çocuklar, satıcılar, spor alanları, eğlence alanları).

1.2.5.1. Ulaşım Gürültüsü Kaynakları

Ulaşım kaynaklı gürültüler, üç kısma ayrılmıştır. Bunlar;

- 1) Karayolu Ulaşım Gürültüsü
- 2) Havayolu Ulaşım Gürültüsü
- 3) Demiryolu Ulaşım Gürültüsüdür.

1.2.5.1.1. Karayolu Ulaşım Gürültüsü

Kentlerde tüm gürültü kaynakları içinde en yaygını ve gelişigüzel dalgalanmalar göstermekle birlikte en sürekli olanı karayolu ya da yol ulaşımı gürültüsüdür (37).

Trafik gürültüsü kent dışındaki yollardan ara sıra geçen taşıtların yanı sıra 6 şeritli çift taşıt yollarından sürekli akan trafiği ifade ettiğinden, gürültünün karakterinin sabit olmadığı açıktır ve bu uç örneklerin her biri aynı temel kaynaktan ibarettir. Yol boyunca hareket eden tekbir taşıt taşıtın motorundan, vites ve egzozundan, lastikle yol düzeyi arasındaki etkileşimden gürültü meydana getirir. Bütün bu kaynaklar etkili bir biçimde birleşirler ve hareket eden nokta kaynak olarak bilinirler (38). Alçak hızlarda motor, birincil gürültü kaynağı olmakta, yüksek hızlarda ise lastik-yol yüzeyi sürtünme sesi önem kazanmaktadır (37). Bu tip kaynağı kapsayan yayılma kanunu mesafenin her iki katı için 6 dB(A) azalmanın beklendiği anlamındadır (38).

Taşıttan meydana gelen gürültü düzeyi taşıtın cinsi, modeli, motor tipi, yaşı ve bakımının yanı sıra taşıtın hareket halindeki hızına bağlıdır, taşıtın hızlı olup olmadığı yolun eğimli olup olmadığı önemlidir. Aynı anda yolu kullanan pek çok taşıt olduğunda, bir araya gelen nokta kaynaklar birleşmeye başlar ve çizgi kaynak gibi davranırlar. Bu, azalmanın 3 dB(A) olduğu anlamındadır (38). Taşıtların hızlarına bağlı olarak değişen gürültü düzeyleri Çizelge 5’de verilmiştir (30). Ulaşım gürültüsü bütün bir kent dokusu

içinde yaygın gürültü biçiminde düşünülerek düzlemsel kaynak olarak ele alınmıştır. Ulaşım gürültüsünün oluşumu ve yayılmasında etkili olan değişkenler;

- a) Ulaşım koşullarına
- b) Yol niteliklerine bağlı değişkenler olarak incelenebilir.
- a) Ulaşım koşullarına bağlı değişkenler:
 - Ulaşım Akımının Niteliği
 - Ulaşım Hacmi
 - Ulaşım Bileşimi
 - Ortalama Hız
 - Ulaşım Yoğunluğu
 - Taşıt Aralıkları

Duraklı ve duraksız olarak ikiye ayrılabilen ulaşım akımının niteliği, taşıtların, kavşak, ulaşım ışıkları ve ulaşım sıklığı yüzünden durma, vites değiştirme nedenleri ile gürültü düzeylerinin artması açısından önemli bir faktördür. Taşıt/saat veya taşıt/saat/iz olarak belirtilen, kimi zaman da 18 ve 24 saatlik taşıt sayılarının temel alındığı ulaşım hacminin artması genel gürültü düzeyinin belli bir sınıra kadar artmasına neden olmaktadır. Toplam ulaşım akımı içinde ağır taşıtların yüzde olarak belirtilen değerleri, daha yüksek toplam gürültü düzeyi anlamındadır, ayrıca serbest akışlı ulaşımında ortalama hızın etkisi de düzeylerin doğru orantılı olarak artması yönündedir. Ulaşım hacmi/ortalama hız oranı ile saptanan ve birim yol uzunluğundaki taşıt olarak tanımlanan ulaşım yoğunluğunun düzeyleri üzerindeki etkisi ise daha karmaşıktır. Ard arda yer alan taşıtların arası zaman ve uzaklık olarak belirlenebilmekte ve bu parametreler çizgi kaynak gürültüsü hesaplamalarında kullanılmaktadır.

- b) Yol niteliğine bağlı değişkenler
 - Yol kaplamasının türü
 - Yolun eğimi
 - Yol eğriliği ve çatallaşması
 - Yol genişliği(iz sayısı)

Üzerinden ulaşım araçlarının aktığı yolların kaplamaları, asfalt, beton ve parke olabildiği gibi son yıllarda kaymaya karşı çok uygulanan yivli ya da oluklu betonlar, sürtünme ile gürültü düzeylerini çok artırmaktadır. Yol eğiminin artması, özellikle ağır taşıtların gürültüsünü yükseltmekte, dönemeç ve kavşaklar da duraklılık yarattığı için

aynı etkiyi göstermektedir. Yolların çevreye göre yükseltilmiş veya çöktürülmüş olması, engelleme ve karşılıklı yansıma etkilerinin saptanmasını gerektirir. Yol genişliği ve iz sayısı, gürültü hesaplamalarında, ulaşım hacmi, kaynak uzaklığı gibi diğer değişkenleri etkiler.

Yolların eğimi daha çok kamyonları etkiler. Bu eğim eğer % 2'nin altında olursa gürültü düzeyini pek etkilemez, ancak bu sınırın üzerinde % 3-4 eğimde 2 dB, % 5-6 eğimde 3 dB, % 7 ve daha fazlasında ise gürültü düzeyinde 7 dB'lik bir artış görülür (29,30).

Çizelge 5. Taşıtların hızlarına bağlı olarak değişen gürültü düzeyleri (29).

Tek araba	32 km/s hızda	50 dB
Tek araba	64 km/s hızda	58 dB
Tek araba	96 km/s hızda	64 dB
Tek kamyon	40 km/s hızda	76 dB
Tek kamyon	80 km/s hızda	76 dB

1.2.5.1.2. Havayolu Ulaşım Gürültüsü

Pek çok endüstrileşmiş ülkelerde motorlu taşıtlar en önemli çevresel gürültü kaynaklarını meydana getirir. Fakat bunun yanında uçak gürültüsü de ihmal edilmemelidir.

Havaalanı yakınında oturan veya çalışan insanlar için, uçak gürültüsü en önemli gürültü kaynağıdır. Uçakların çalışma zamanlarında (yani uçuş sırasında) uçaklar yerleşimlerden uzaktır ve insanlar üzerinde çok az etkilidirler, fakat uçak havaalanına inerken ve havaalanından ayrılırken, genellikle aşırı gürültü olur. Eğer bütün havaalanları gürültüye duyarlı alanlardan uzun mesafelerle ayrılırsa, uçak gürültüsü problemi olmayacaktır. Fakat, varolan pek çok havaalanları yerleşim birimlerine oldukça yakın mesafededir. Bunun nedeni, yerleşim birimlerinin kent merkezi dışına doğru büyümesinden ve eski havaalanlarının yerine daha iyi hizmet verecek yenilerinin

yapılması ihtiyacındandır (9). Uçak gürültüsüne karşı toplumların itirazı, 1960 yıllarında İngiltere’de, özellikle havaalanına yakın yerlerde ya da uçuş hattının altında halkın gürültüden korunması amacıyla itirazlarını bildirebileceklerini bir takım grup veya topluluklardan oluşan sözcülerin meydana getirilmesiyle kuvvetlendi (39).

Gürültü üretimi, başlıca uçağın türüne göre değişmektedir. Örneğin, DC 10, B747, L 1011 ve A300 B tipleri DC8 ve VC 10’a göre çok daha sessizdirler (37).

Uçak gürültüsü, diğer ulaşım araçlarına göre çok yüksek düzeylidir. Örneğin, bir jet uçağından 30 kilowatt kadar bir akustik güç yayılır. Jet gürültüsü, kalkışta makinelerin yüksek güçle çalıştırılması sırasında en yüksek düzeydedir, uçak yükseldikçe azalır. İnışte ise, motor sesi azalmakla birlikte kompresör ve türbinden yayılan gürültü duyulur.

Düzgün uçuş sırasında, uçağın gözleme noktasının üzerinde bulunduğu anda, en yüksek gürültü elde edilmektedir. Uçakların gürültü düzeyleri jet motoru sayısına bağlı olarak da değişmektedir.

Havaalanı gürültüsü: 1) Alan işlemleri (bakım,onarım ve hazırlık) sırasında yayılan gürültüler, 2) Toplu uçuşlardan doğan gürültüler olmak üzere iki bölüme ayrılabilir.

Uçakların ulaşım işlevlerine hazırlanması sırasında, yapılan işlemin niteliğine göre değişen alan gürültüleri, uçağın konumuna, uçak sayısına ve diğer faktörlere bağlı olduğundan karmaşık yapılar gösterirler (37).

1.2.5.1.3. Demiryolu Ulaşım Gürültüsü

Demiryolu gürültüsü oldukça karmaşıktır ve demiryolu gürültüsü hareket gücünden (yani dizel veya elektrik motor), nokta kaynak meydana getiren tekerlek-ray sürtünmesinden ve çizgi kaynak meydana getiren değişik gürültülerin bileşiminden ibarettir (39). Lokomotif gürültüsü ve tekerlek ray sürtünmesinden kaynaklanan tren gürültüleri iki ana gürültü kaynağıdır. Genellikle sadece boş yük stoklarının problem olmasına rağmen, titreşen kısımlar da gürültü kaynağı olabilmektedir. Diğer önemli gürültü kaynağı belirli yerlerde meydana gelen tekerlek cızırtılarıdır. Bu sadece rayların sıkı eğriler (100 m’den az yarıçaplı eğriler) meydana getirdiği yerde oluşur. Bu, yüksek frekans ses içeren rahatsız edici gürültüdür (38).

1.2.5.2. Endüstri ve Donatım Gürültüleri

Değişik kaynaklardan çıkan farklı seslerdeki tüm gürültüler bu kategoriye girmektedir. Bu tip gürültüler, üretim teknolojisi kapasitesi ve üretilen malın cinsine göre değişik düzeylerde olabilir. Endüstri yapılarının yerleşim alanlarının yakınlarına yerleştirilmesi veya tam tersi (yerleşim alanlarının endüstri yapılarına yakın yerlere yerleştirilmesi) çevresel gürültü sorununun yükselmesine neden olur. Endüstriyel gürültüler eğer fabrikanın iyi bir ses izolasyonu yoksa, yalnız o işyerinde çalışanları etkilemeyip civardaki iş yeri ve konut alanlarında yaşayanları da rahatsız eder (38).

1.2.5.3. Yapım (Şantiye) Gürültüsü Kaynakları

Çeşitli ağır makine ve araçlar yardımıyla bina, yol, kanal, tünel, köprü ve benzeri gibi mühendislik yapılarının yapılması, kurulması, parçaların bir araya getirilip takılması, toprağın kazılması, kazıkların dikilmesi, düzeltilmesi, temizlenmesi, yapıların yıkılması, değişik yapılması, yeniden düzeltilmesi, arazinin düzenlenmesi, strüktürel elemanların taşınması gibi işlemlerin yapıldığı şantiyeler son yıllarda kent içi ve çevresinde çok rastlanan gürültü kaynağı türüdür (37). Yapım gürültüleri;

- 1) Yapımda kullanılan araç ve makinelerin yaydığı gürültüler
- 2) Yapım alanı veya şantiyeden çevreye yayılan gürültüler olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır.

1.2.6. Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi

Bir çevrede yayılan akustik enerjinin değeri konusunda yargıya varabilmek, öncelikle, kaynağa ilişkin referans gürültü düzeylerinin saptanmasına bağlı olmakla birlikte, sesin kaynaktan alıcıya ulaştığı ortamın fiziksel özelliklerinin, ses dağılımına etkileri yönünden incelenmelerini gerektirir. Çevresel faktörler çok çeşitli olduğundan tümünün birden etkisini düşünerek gürültü düzeylerini saptamak oldukça güçtür.

Belirli bir çevreyi yeterli derecede simgeleyecek çok sayıda noktada, veya sorun belirli bir yapı için inceleniyorsa, yapının kabuğunda, gürültü düzeylerinin yalnız ses

basıncı olarak, ya da belirli bir zaman süresi içindeki toplam gürültü olayını değerlendiren bileşik birimler olarak saptanması, iki tür çalışma ile gerçekleştirilir (37).

1.Kestirim(Tahmin) Yöntemleri

2.Ölçüm Yöntemleri

1.2.6.1. Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesinde Kestirim Yöntemleri

Gürültü Düzeylerinin belirlenmesinde kestirim yöntemleri biçimsel olarak: 1)Analitik Modeller, 2)Bilgisayar Programları, 3)Tasar Grafikleri olmak üzere üç tür çalışmadan söz edilebilir.

Analitik modeller, varsayımlı ve tümdengelimli olup gerçek durumlarla kıyaslanarak doğruluğu kanıtlanabilir bir dizi sonucun çıkarılabildiği bir çeşit ön tanımlamalardır. Bilgisayar programları ise, kimi durumda analitik modellerde kolaylaştırmak ve hesap süresini kısaltmak için, kimi durumda ise analog modelleme için, yani bir akustik olayın başka bir olay ile benzetilerek çözümlenmesine ve parametrelerinin değişimlerinin saptanması için kullanılabilirler. Tasar grafikleri, değişik tür çalışmaların sonuçlarından yararlanılarak basit ilişkilerin anlatımını veren ve kullanımı kolay diyagramlardır. Bu yöntemler, uygulaması daha güç ve pahalı olan ölçüm yöntemlerinden daha sık kullanılmaktadır.

1.2.6.2. Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesinde Ölçüm Yöntemleri

Gürültü düzeylerinin ölçülerek belirlenmesi iki tür ölçme çalışması ile gerçekleştirilebilir:

1)Çevre Gürültüsü Ölçmeleri (Alan Ölçmeleri)

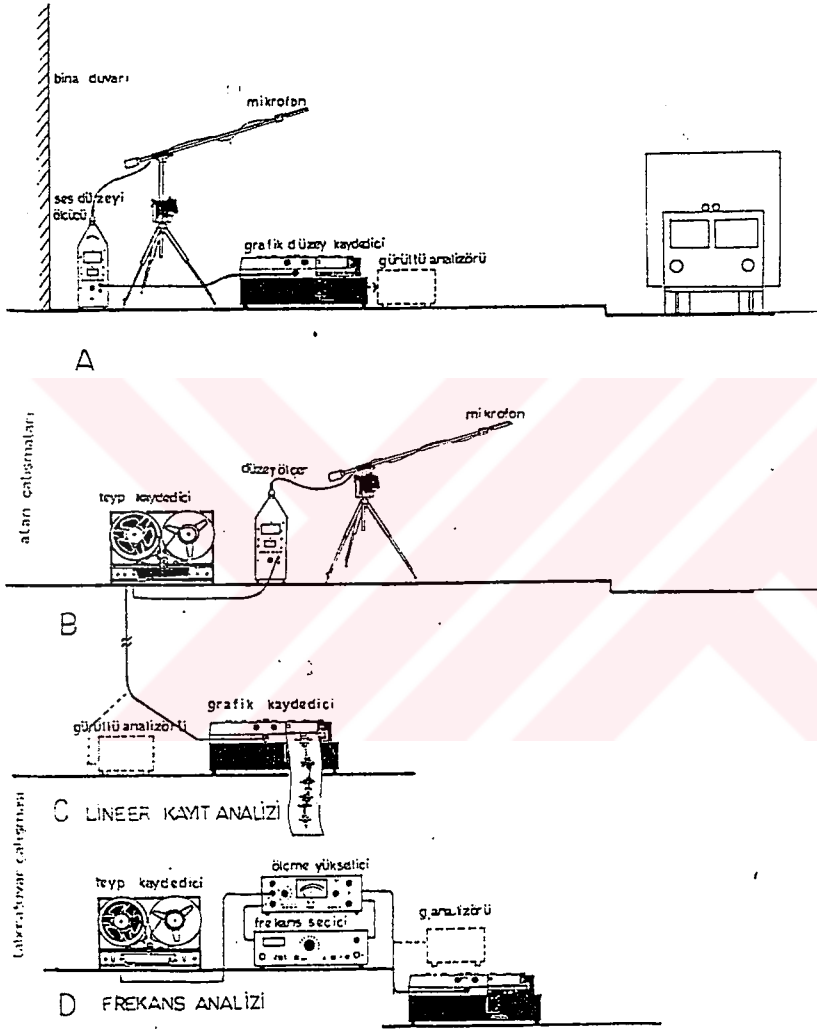
2)Laboratuar Ölçmeleri (Ölçekli Model Ölçmeleri)

1.2.6.2.1. Çevre Gürültüsü Ölçmeleri

Çevre gürültüsü ölçmeleri (alan ölçmesi çalışmaları, gerçek gürültü ve fiziksel çevre koşullarında, seçilen belirli zaman ve sürelerde ve kaynakların istenilen çalışma durumunda yapılmaktadır. Ölçme düzeni, iki sistemden oluşmaktadır.

- Gürültü sinyallerini toplayıcı ve kaydedici sistem,
- Kayıtları çözümleyici ve değerlendirici sistem

ISO standartlarına uygun geleneksel ölçmelerde aşağıda belirtilen araç türleri kullanılmaktadır (Şekil 20) (26).



Şekil 20. Gürültü ölçüm ve analizlerine ilişkin ölçüm setleri (26).

- Ses dalgalarının elektrik dalgalarına çevrilmesi, daha sonra sinyalin yükseltilmesi ve ağırlıklı şebekelere göre düzeltilmesi ile göstergeden doğrudan okumanın sağlandığı mikrofön ve ses düzeyi ölçerler (sound level meter),

- Ses basıncındaki zamana bağlı değişimleri saptamak üzere, düzeylerin belirli sürelerde kaydedilmesi için kullanılan grafiksel kayıt araçları, (Graphical Level Recorder) ve manyetik teypler (Tape Recorder)

- Ses basıncının bir zaman süresi içinde integrasyonunun yapıldığı (noise dose meter) veya istatistiksel çözümleyicilerinin yapılarak gürültü birimlerine ilişkin değerlerin doğrudan elde edildiği gürültü çözümleyicileri (statistical distribution analysers veya noise analysers),

- Ses dalgalarının özel filtreler yardımıyla, belirli bant genişliklerinde, spektral çözümleyicilerinin bir zaman kesitinde (oktav band analysers ile) veya 0.5 s gibi küçük aralıklarla, sürekli olarak (real time analyser ile) yapılabilmesi için kullanılan araçlar,

- Çözümleme sonuçlarının, grafiksel ya da sayısal olarak ekrandan izlenmesi, grafiklerin elde edilmesi, ya da sonuç değerlerin bastırılması için kullanılan araçlar (digital real-time analyser printer and desk-computer).

Yağışsız ve rüzgar hızının 5.5 m/sn'i geçmediği koşullarda yapılması öngörülen alan ölçmeleri, çoğu zaman alanda elde edilen ses kayıtlarının laboratuarda çözümlenmesi biçiminde gerçekleştirilmektedir. Sonuçlar, taşınabilir araçlar kullanılarak alanda da yapılabilir (26).

1.2.6.2.2. Laboratuvar Ölçmeleri

Parametrelerin çokluğu ve ses olaylarının karmaşıklığı nedeniyle analitik olarak ele alınan güç olduğu kimi çevre gürültüsü problemlerinin çözümünde ya da matematiksel yöntemler ile bulunan sonuçların irdelenmesinde ölçekli modellerin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Ölçekli model çalışmalarında temel sorun, ölçeklenecek koşulların benzetilmesi ve kullanılacak malzemelerin fiziksel özelliklerinin saptanması için yapılması zorunlu tanımlamalardır. Yeterli laboratuvar olanaklarının sağlandığı durumlarda, alan ölçmelerine göre daha ekonomik olan model ölçmeleri kimi zaman inceleme konuları ile ilgili temel bilgilerin oluşturulmasında önemli rol oynayabilmektedir.

Gürültünün bir yapma çevrede dağılımı konusundaki modellemede, başlıca temel gereksinimler şunlardır: 1) Ölçek faktörünün seçilmesi, 2) Model ses kaynağının saptanması, 3) Sesin yayılma ortamının benzetilmesidir (26)

1. Ölçek faktörünün seçilmesi: Modellemede uygulanacak küçültme oranı; laboratuvar (yansız oda) içinde elverişli alanın büyüklüğü, kullanılacak ses frekanslarının artması nedeniyle model ses kaynağının akustik özellikleri ve modelin maliyeti gibi yan etkenlere bağlıdır. Genellikle engel çalışmalarında; 1/10, 1/20, geniş boyutlu incelemelerde 1/40, 1/60 ve 1/80 ölçekleri kullanılmaktadır (26).

2. Model ses kaynağının saptanması : Seçilen ölçek faktörüne göre kurulacak modelin, gerçek koşullarda ses dalgalarının davranışını belirlemesi istendiğinde, kaynağın gürültü niteliğinde ve biçimsel özelliğinde kinematik ve geometrik benzerliklerinin sağlanması gerekir. Akustik özellik yönünden en önemli benzetme, kullanılan ses frekanslarının, geometrik özellikli dalga boyu ve kinematik özellikli ses hızı yardımıyla ölçeklendirilmesidir ki bu işlemlerde aşağıdaki bağıntı temel alınır:

$$\frac{\lambda_m}{\lambda_p} = \frac{f_p}{f_m} \quad (14)$$

λ_m, f_m = modeldeki sesin dalga boyu ve frekansı

λ_p, f_p = gerçek sesin dalga boyu ve frekansı

Bu kurala göre, ölçek, örneğin 1/20 seçildiğinde, 1000 Hz yerine modelde 20 kHz kullanılacaktır.

Model ses kaynağının, model içinde ses alanını bozmayacak kadar küçük boyutlu, akustik gücünün modelin her noktası için yeterli olması ve incelenen frekans aralığında oldukça düz bir tepkisinin bulunması en önemli özelliklerindedir (26).

3. Yayılma ortamının benzetilmesi: Sesin yayıldığı fiziksel çevrede, atmosferik koşullar, yer örtüsü ve arazi biçimi, yapı ve diğer elemanların gerçek koşulları, elden geldiğince belirtmesi gerekir.

Model ölçme sisteminde, alan ölçmelerinde kullanılan araçların benzerleri kullanılmakla birlikte, kullanılan model kaynağa bağlı olarak bir ses verici sistem de yer almaktadır. Ölçmelerin yapılacağı laboratuvar ise standart serbest-alan koşullarının sağlandığı, tam-yansız (full-anechoic) veya yarı-yansız (semi-anechoic) bir hacimdir (26).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gürültü kontrolü, herhangi bir ses kaynağından yayılan gürültü niteliğine sahip sesleri, kabul edilebilir seviyeye indirmek, akustik özelliğini değiştirmek, etki süresini azaltmak, hoş giden veya daha az rahatsız eden bir başka ses ile maskelemek gibi metotlarla bu seslerin zararlı etkilerini tam olarak gidermek veya makul bir seviyeye indirme işlemidir. Gürültü kontrolü; gürültü kaynağında, gürültünün yayıldığı çevrede ve gürültüden etkilenen kullanıcıda olmak üzere üç elemanda yapılabilir (27).

Gürültüye karşı olanaklar ölçüsünde karşı çıkmak, önlem almak gerekir. Peyzaj Mimarlığı açısından karayollarında trafik gürültüsüne karşı alınacak önlemler

- Cansız materyal kullanımı
- Kombine materyal kullanımı
- Bitkisel materyal kullanımı olmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

Bitki topluluklarının gürültü düzeylerini azaltmada etkili olabileceklerine çok önem verilmemiştir. Oysa gürültüden korunmak veya etkisini en az seviyeye indirebilmek için yalnızca bitkisel materyal kullanımı ile de önlem alınabilir.

Karayollarında bitkisel materyal kullanarak trafik gürültüsüne karşı önlemler 1970'li yılların başlarından itibaren alınmaya başlamıştır (40).

Yüksek maliyetli geleneksel karayolu gürültü azaltma yöntemi (duvarların kullanılması) gürültüden etkilenen pek çok alandaki azalmayı ekonomik olarak imkansız yapar. Gürültüden etkilenen bu alanlar için, ekonomik olarak uygun olabilecek çözüm, karayolu ve etkilenen alan arasında yoğun engel oluşturacak bitki örtüsü kullanılarak önlem alınması olabilir (41).

Gürültünün önlenmesinde bitkisel materyalin kullanılması ile ilgili yapılmış çeşitli çalışmalar vardır. Bu bölümde, bitkisel materyalde aranan genel özelliklerle, bu konu ile ilgili yapılmış deneysel çalışmalar, kullandıkları yöntemler ve sonuçlarına yer verilecektir.

2.1. Bitkisel Materyalde Aranılan Genel Özellikler

Henüz yeterli araştırmalar yapılmamış olmasına rağmen, gürültünün azaltılmasında gerek estetik, gerek psikolojik ve gerekse fonksiyonel açıdan bitkisel materyalin kullanılması ile çevre planlayıcıları yakından ilgilenmektedirler.

Gürültü önleme duvarlarının tesisinde; bitkilendirme çeşitli nedenlerden dolayı daha önemli olur. Bitkisel materyalin gürültüyü emme ve dağıtma özelliklerinin sınırlı olmasına rağmen, bitkisel materyalin kullanımı ile koruma etkisi artırılırken, ayrıca estetik ve psikolojik açıdan önemli bir rol oynar ve gürültü kaynağının yeşil bir şemsiyenin arkasında kaybolduğu düşünülür (42). Kaynağı görülen, tanımlanabilen gürültünün insan üzerindeki olumsuz etkisi oldukça fazladır.

Atmosferde ışığın yayılma özelliğine sahip olan ses, bir engelle karşılaşınca, engele çarpan ses ışınlarının bir kısmı engel tarafından yutulur, bir kısmı kırılarak geçer, bir kısmı da geri yansır. Engele ulaşan ve engelin üzerinden geçen ses dalgaları gölge alanda bükülecek veya kırınımına uğrayacaktır. Gürültü düzeyini azaltmada engelin etkisi engel boyutlarının fonksiyonu olan gölge alanın büyüklüğüne bağlıdır. Engel olarak kurulacak bitki örtüsü topluluğu yeterli yüksekliğe, genişliğe ve yoğunluğa sahip olmalıdır. Uzunluk ve yükseklik gereksinimleri geleneksel serbest uzanan duvara benzer. Fakat, geleneksel bu tip engellere benzerlik gösteren bitkisel engellerin fiziksel özelliklerine dair hiçbir tahmin yapılamamıştır (43).

Avusturya'da yapılan denemelere göre, yol kenarında bulunan piramit kavak grupları, rüzgarla salınıp bükülme devrelerinde, içbükey yüzeylerin sesi yansıtma işlevinde olduğu gibi trafik gürültüsünün düzeyini azaltan, yansıma ve emme özelliği göstermişlerdir.

Yine Almanya'da bu konuda yapılan denemeler sonunda, iyi taç sistemine sahip, yüksek gövdeli ağaçlar yanında sık yapılı alçak boylu çalı grupları trafik gürültüsünün çevreye yayılmasını büyük ölçüde önleyebilmektedir (29).

Yoğun yapraklı çalılar veya ağaçlar ses emici ve yansıtıcı olarak davranırlar ve etkileri yetiştirme büyüklükleri ile (kalınlık, yükseklik ve yoğunluk) artar (44).Buchwald ve Engelhardt, bitkilerin gövde, dal, dalcıkları, yaprak veya ibre özelliklerine bağlı

olarak çok yönlü yansıtma ve emme yoluyla gürültüyü azalttığına değinmektedirler (45).

Meyer de, yeşil kuşakların gürültüyü önleme özelliklerini incelemiş ve şu sonuçları elde etmiştir:

1-Yeşil kuşaklar yüksek frekanslı sesleri, düşük frekanslara kıyasla daha çok tamponlamaktadır. Yüksek frekanslı sesler, hem fiziksel hem de psikolojik olarak daha zararlıdır. Bu nedenle, yol kenarındaki basit bir ağaç sırasıyla bile, belirgin bir ses azaltılması meydana gelebilir.

2-Kuvvetli tepe tacına sahip bir ağaç kulağa gelen ses basıncını yarı yarıya azaltabilmektedir.

3-Büyük yapraklı ağaçlar küçük yapraklı ağaçlara kıyasla gürültüyü 5-6 kat daha azaltabilmektedir (46).

Bitkisel materyalin kullanımı ile gürültü seviyesindeki azalmalar; yaprak büyüklüğü, yaprak durumu, yaprak veya ibre sıklığı ve dallanma sıklığı gibi faktörlere bağlıdır.

1965 - 1967 yılları arasında Alman araştırmacı Beck, farklı ağaç türlerinin gürültü azaltma özelliklerini inceledi ve önceki çalışmaları da ele alarak karşılaştırmalar yaptı. Sonuçta bitkisel engellerin gürültü azaltma kapasitelerinin, bitkisel engellerin genişliklerinden çok, kullanılan türlerin özel karakteristikleriyle ilgili olduğunu belirtmiştir (47).

Beck önce gürültü azaltma yönünden yeteneklerini incelediği odunsu bitki türlerini genel olarak sıralamış, daha sonra bitkilendirme yoluyla önlem çalışmalarında değerlendirmek üzere, gürültü azaltma değerlerine göre bunları gruplandırmıştır. Bu türlerin genel özellikleri şöyle sıralanabilir (47):

- Bitkinin yaprakları mümkün olduğu kadar büyük ve sert yapılı olmalıdır.
- Yapraklar birbirini örtecek şekilde pulsu yapıda olmalı ve yaprakların durumu gürültünün geldiği açığa dik olmalıdır.
- Bitki örtüsünün yoğun yapraklı olmalıdır.
- Kışın dallarında ölü yaprak bulunduran yaprağını döken ağaçlar başlıca yaz aylarında perde görevi yapan diğer ağaçlardan daha etkilidir.

Bu nedenle genellikle iğne yapraklıların uygun olduğu sonucuna varıldı. Ilıman iklimler için uygun olan herdem yeşil geniş yapraklılar, geniş sert yaprak özelliklerinden dolayı kısmen çok iyi etkilidir (özellikle *Viburnum rhytidophyllum* ve bazı *Rhododendron* türleri) (47).

Ağaçların ses azaltması dallara ve yapraklara bağlı olduğundan yere yakın yerde ses enerjisi önemli ölçüde azalmayacaktır ve yaprağını döken ağaçlar yapraklarının döküldüğü aylarda azaltma sağlayamayacaktır. Bu nedenle yapılacak ağaç dikimlerinin çalıdan ağaca doğru yükselen şekilde olması gerekir.

Yapraklı ağaçlar sonbaharda yapraklarının dökülmesi sonucu gürültüyü azaltıcı etkisini önemli bir dereceye kadar kaybederler. Ancak ıhlamur (*Tilia sp*) gibi dal ve dalcıkları diğer ağaç türlerine göre daha çok ve sık olan ağaç türlerinde bu olumsuz durum daha azdır. Eğer bütün yıl boyunca gürültünün önlenmesi gerekiyorsa karışımdaki ibrelili ağaç türlerinin yapraklılara oranla daha fazla olması gerekir (48). Ayrıca karışıma takviye edilen iğne yapraklılar alttan dallanan türler olursa, engelin etki derecesi artar.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu, sık durumda birbirleri ile büyüyecek ağaç türlerinin seçimidir. Bunlar doğal olarak gölge ağacı türleridir. İbrelilerden mazı (*Thuja sp*) ve yapraklılardan ıhlamur (*Tilia sp*) ve kayın ağacı (*Fagus sp*) bitişik dar aralıklarla büyüebilme özelliğindedir (48).

2.2. Bitkilerin Gürültüyü Azaltmaları ile İlgili Yapılmış Ölçümsel Çalışmalar

Burada farklı ülkelerde bitkilerin gürültü azaltmaları ile ilgili yapılmış alan ölçmeleri model ölçmeleri ve sosyal ölçümlere yer verilecektir. Yapılan çalışmalar yorumlanmadan bu bölümde sunulmuştur.

1974'de Huang üç yıllık periyot süresinde kapsamlı deneyler yürütmüştür. Bu çalışma, bitki örtüsünün gürültü azaltma kapasitelerini belirlemek ve sonra bitki engellerinin ek azaltmalarını belirleyen bir bilgisayar programı geliştirmeye yönelikti (Ek azalma alıcıda engelin eklenmesinden önce ve sonra ölçülen veya hesaplanan gürültü düzeyindeki farklılık olarak tanımlanabilir). Var olan doğal bitki örtüsü meşceresinin ek azalması ölçülürken, gürültü kaynağı olarak gerçek trafik akımı olan iki

alan seçildi. 9.5ft (2.9 m) genişlik ve 7ft (2.1 m) yüksekliğindeki leylak türünün (*Syringa vulgaris*) 2.3 dB(A) ek azalma sağladığı bulundu. 10ft (3.0 m) yüksekliğinde ve 15ft (4.6 m) genişliğindeki gül türünden (*Rosa sp*) 3.3 dB(A) ek azalma ölçüldü. Uygun alan sayısı sınırlı olduğundan deneyler sadece iki alanda yürütüldü.

Huang, yapay gürültü kaynakları ile uygun şekilde seçilen çalı kuşaklarının yaklaşık 0.3 m çalı derinliğinde 0.3 dB(A) ek azalma sağlayabileceğini gösteren kapsamlı testler yürüttü.

Bunun yanında geniş ağaç alanlarının sesin yayılmasına etkisini araştırdı. Gürültü düzeyinin 0.3 m genişlikte 0.06 ve 0.12 dB(A) arasında azaltan bu bitki örtüsü topluluklarının çok etkili olmadığını buldu. Böylece 100ft (30.5 m) genişliğindeki ağaç kuşağı gürültü düzeyinde, Uluslararası Karayolu Yönetimi (FHWA) tarafından tavsiye edilen aynı genişlikteki 5 dB(A) azalma ile uyuşan 6 dB(A) azalma sağladığını bulmuştur.

Bu sonuçlarla beraber Huang, özellikle seçilen ve düzenlenen çalı kuşakları ve çimlerin, genellikle mümkün olduğu bilinenden çok daha fazla önemli gürültü azaltma sağlayacağı sonucuna varmıştır. Huang' a göre bu etki çalı sisteminin düzenlenmesi ile daha çok artırılabilir, böylece çalılar maksimum büyüme yoğunluğu bulacaklardır (41).

Laboratuarda pek çok çalı türleri ile ilgili yansım odalarındaki (Yansıma odaları, akustik laboratuvarların çoğunda bulunan, özel olarak tasarlanmış hacimlerdir. Bu tür odaların birbirine paralel olmayan minimum yutuculukta yüzeyleri, mümkün olan en uzun yansıma süresini sağlayacak biçimde düzenlenmiştir. Yansıma odaları genelde yüzeylerin ses yutma çarpanlarının ölçülmesinde ve gürültü kaynaklarının ses güçlerinin belirlenmesinde kullanılır (16)). deney sonuçlarını kullanarak G. J. Lee, *Fraser photinia*' nın gürültü kontrolünde en etkili çalı olduğunu belirledi. Yaprak yoğunluğu bitki örtüsünün ses azaltmasında önemli bir özellik olduğundan bitki örtüsü kuşaklarından en iyi azalma sağlamak için ağaç sıraları ve bitkilerinin yetiştiği alan arasındaki mesafenin önemli olduğu sonucuna vardı. Lee, maksimum büyüme yoğunluğunu temin etmek için şu tavsiyede bulundu:

1) Tek bitkiler uygun aralıklarla dikilmelidir. Böylece yoğun çit bitkisi formu vermek için budamadan önce olgun hale gelinceye kadar yeterli alana sahip olacaktır.

2) Türler arasında uygun aralıklar sağlanmalıdır, böylece hiç bir iki tür birlikte büyüemeyecektir.

Bu, ağaç sıralarının her iki tarafında da istenilen yaprak yoğunluğunun sağlanabilmesi açısından gereklidir. Bu tekniği kullanarak 0.3 m derinlikte 0.4 dB(A) ek azalma olabileceğini belirtmiştir.

Lee laboratuvar deney sonuçlarına dayanarak anayol gürültüsünde bitki örtüsü engelini etkisinin sebebini açıklamak için anayol gürültüsü bilgisayar programı geliştirdi. Bu modele göre yaklaşık 15ft (4.6 m) toplam genişliğinde uygun şekilde dikilen bitki örtüsü kuşağından yaklaşık 6 dB(A) ek azalma beklenebileceğini ileri sürmüştür (41, 43).

Tallin alanında laboratuvar ve alan çalışmalarına bakıldığında ağaçlar tarafından sesin yutulmasının, alçak frekanslı ses kaynağından yüksek frekanslı ses kaynağına doğru arttığı bulunmuştur. Kapalı tepe tacına sahip iğne yapraklı ve geniş yapraklı karışımlar (hem yatay hem de dikey) en etkilidir: 55 yaşında, 100 m genişliğindeki çam (*Pinus sylvestris*) / huş (*Betula sp.*) plantasyonu (% 20 huş) alçak frekanslı gürültüyü 19 -38dB(A) azaltır. Budanmamış ladin de (*Picea abies*), alçak frekanslarda etkilidir. Ölçüm sonuçlarında 7 m genişliğinde ve 2.5 m yüksekliğindeki dar bir şeridin trafik gürültüsünü 3-8 dB azalttığı bulunmuştur (49).

Reethof (50), ağaç ve çalı kuşaklarıyla, yol araçlarından özellikle dizel traktör-treyler kamyonlardan kaynaklanan gürültünün azaltılması ile ilgili çalışmaları incelemiştir. Bu çalışma, saatte 60 mil giden dizel kamyonlardan kaynaklanan gürültünün spektral şiddeti ve kuzeybatı Pennsylvania'da kışın olgun meşe meşceresinde (herdem yeşil alt örtü ile), kaydedilen trafik gürültüsünün azalması ile ilgili verileri içerir. Benzer dal yapılı ılıman ve tropik ormanların karşılaştırılabilir azalma gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu yüzden (40-50ft) yani 12-15.2 m yüksekliğinde (100ft) 30.5 m genişliğinde, (50ft) 15.2 m den çok görüş imkanı olmayan ağaç kuşağı, 8 dB(A) azalma gösterecektir, olgun ormanda aynı etki için, (200ft) 60.8 m genişlik gerekmektedir (50).

Tek ağaç tarafından beyaz gürültünün (bütün frekanslarda yeşinlik dağılımları aynı olan ve işitilen frekans alanının tümünü kaplayan gürültülere denir. Beyaz gürültü doğada var olamayan ancak ölçmeler için özel olarak üretilen bir gürültüdür (16)) veya değişik genişlikteki orman şeritleri tarafından motor gürültüsünün azaltılması İsrail'de

ölçüldü. Gürültü azalma etkisine bağlı olarak 11 tür için azaltma derecesi geliştirildi; yükseklik, büyüme oranı, maksimum tepe tacı çapı ve herdem yeşil olma veya yaprağını dökme özelliği gibi. Açık alanda, 500-2000 Hz'de iğne yapraklıların, 2000-8000 Hz'de geniş yapraklıların etkisinin en büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Dar arazi bitkilendirmelerinde, 125 Hz'in üzerindeki tüm frekanslarda geniş yapraklılar daha etkilidir: sık çalılıklı bölümler, alt örtüsü az olan daha yaşlı meşcerelere göre daha çok gürültü azaltma meydana getirdi. *Cupressus sempervirens*, *Thuja orientalis* ve *Callitris verrucosa* orta derecede azaltma sağlarken, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ceratonia siliqua*, *Acacia cyanophylla* ve *Ficus retusa* gibi yaprağını döken türlerin *Pinus* ve *Quercus*' dan daha yüksek derecede azaltma sağladığı sonucuna varılmıştır (51).

Ozimek et al. (52), üç bitki kuşağı ile gürültü azaltma araştırmaları yapmışlardır:

- 1) Alt örtü veya zemin örtüsü olmayan, yoğun saf sarı çam;
- 2) Alt örtüsü 12 yaşındaki huş ve metrekarede 6-7 ağaç yoğunluğu olan, genç meşe;
- 3) Altı yaşında metrekarede 5-6 ağaç yoğunluğu olan, otsu zemin örtüsüne sahip sarı çam. Gürültü, standart gürültü kaynağından 0-90 m mesafelerde ölçüldü ve sonuçlar 50-1000 ve 1500-6000 Hz frekansları için grafiklerle gösterildi. Gürültü kaynağından mesafe ile beraber akustik azalma katsayısı 500 ve 2000 Hz frekansları için de grafik ile gösterilmektedir. Kuşağın genişliğinin 15 dB(A) gürültü azaltma sağlamak için birinci ağaç kuşağı için 25 m, ikinci ağaç kuşağı için 14 m ve üçüncüsü için 15 m olması gerekmektedir. Gürültü kaynağından 30-60 m alanda, azalma, kaynaktan mesafe ile doğrudan orantılıydı. Bitki örtüsü duvarının zemine doğru olmasının azalmayı arttırdığının önemine işaret edilmektedir (52).

1977' de Mitscherlich ve Scholzke tarafından, hoparlör ve yol trafiği gürültüsünün, ormanlar tarafından azaltılması yazın ve kışın 84 meşcerede ölçülmüştür. Ormanda, kaynaktan farklı mesafelerde gürültü düzeyindeki azalma çim alandaki ile karşılaştırılmıştır. Hoparlörden 1.25 m mesafede gürültü düzeyi 100 dB'dir. Genç karaçam- kayın ağacı meşrecesinde gürültü düzeyi 160 m mesafede 20m mesafedeki açık alana göre 12 dB daha düşüktür. Yaşlı meşcerelerin tepe tacı tarafından yansıma, nokta kaynaktan meydana gelen gürültünün azalmasını 1-2 dB(A) azaltmıştır, fakat

zemin düzeyine yakın, yapraklı daha genç meşcerelerde tam tersi bulunmuştur. Trafik gürültüsü için etki, (± 1 dB(A)) daha azdır.

Azalma alçak (250 Hz civarı) ve yüksek (2000-4000 Hz) frekanslar için en güçlü, 500 Hz civarında ve 1000 Hz'de çim alanda aynı derecede düşüktür. Azalma, alçak dallı sarı çamın dışında özellikle genç meşcerelerde mesafe ile güçlü bir biçimde artar. Bodur ve uzun ladin meşcereleri, meşe, kayın ve çam meşcerelerinden bir dereceye kadar daha etkilidir. Meşe kayından daha çok, çam ise en az azalma sağlar.

Sık zemin örtüsü, kuru ot üzerinde gürültü azalışını 1-2 dB arttırabilmektedir. Seyreltilmiş ve geniş yapraklı alt örtü türleri az etkilidir. Zemine doğru sık dallanan, sık zemin örtüsü ve yerden itibaren sık dallanan iğne yapraklı ağaçlar tarafından 1 dB'lik azalmaya ulaşılabilir. Genç ağaçların sık yapraklarının ve canlı dallarının olması, yaşlı ağaçların açık yaprakları ve canlı dallarının olmasından mümkün olduğunca daha etkilidir.

Orman tarafından gürültünün ek azalması çimenlik alanla karşılaştırıldığında, mesafe ile ilk önce hızlı, sonra yavaş artar, neticede 200 m ötesinde azalır. Çeşitlilik, daha heterojen yaşlı meşcerelere göre genç meşcerelerde daha azdır. Ormanlar tarafından trafik gürültüsünün azalma oranı, nokta kaynak durumundan daha azdır (53).

78-88 dB(A)'de, sabit gürültü kaynağından gelen ses, 1982'de Çekoslovakya'da alt örtüsü olmayan meşe/gürgen meşceresinin içinde 40 m mesafede veya koruma şeridinin diğer tarafında 10 m mesafede ölçülmüştür. Gürültü azaltma, açık çayırılık alanın karşısında 5-50 m mesafede, kontrol ölçümlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Meşe meşceresi, geç kışta yapraksız olduğu bölümde, ses girişimi ve çimlerin olmamasından dolayı, gürültü düzeyini arttırmıştır. Mayıs ortasında, yapraklı meşe meşceresi bölümü, gürültüyü başlıca alçak frekansta (125-250 Hz) 4-10 dB azaltmıştır. Koruma şeritlerinin gürültü azaltmaları ve en etkili oldukları oktav bantlar: 1.5 m genişliğinde 5 m yüksekliğinde *Thuja orientalis* perdesi, 1-6.3 dB (4-8 kHz); 10 m genişliğinde 9m yükseklikte *Pinus nigra* kuşağı, 1-7.5 dB (0.25-1 kHz) ve Temmuz'da 3 x 2.8 m alanındaki *Forsythia suspensa*, 1-9.6 dB (4-8 kHz) dir (54).

1000, 2000, 3150 Hz'de sesin azalma yüzdesi için, açık alanda ve yarı-yansız odada çit bitkisi türleri *Thuja orientalis* (mazı) ve *Euonymus japonicus* (papaz küllağı) ile çalışılmıştır. En yüksek iki frekansta, alıcı ile kaynak arasındaki mesafenin

artmasıyla, azalma artmakta, fakat alçak frekanslarda zemin dalgalarının etkilerinden dolayı, azalma mesafe ile düzensizce değişmektedir. Sonuçta *Thuja orientalis*'in genellikle *Euonymus japonicus*'tan daha etkili olduğu görülmektedir (55).

Décourt (56), cadde veya sokak boyunca ağaçlı şeritler yoğun olduğunda, yoğun trafiğin meydana getirdiği gürültünün iletiminde bu şeritlerin sınırlı etkiye sahip olduğu, 30 m şerit genişliğinde sadece 5-15 dB(A) azalma olduğu sonucuna varmıştır. Yüksek frekanslı sesler alçak frekanslı seslerden daha etkili bir biçimde azaltılır. Uzun otsu bitkilerden oluşan dar şeritler, odunsu tür şeritlerden daha etkili olabilir. Zemin türü, alçak frekanslı gürültünün azalma derecesini belirlemede büyük rol oynar. Canlı perdelerin gürültüde meydana getirdiği azalma, cansız perdelerden meydana getirilenden çok farklı değildir. Bu iki perdenin birleşimi, hem akustik hem de estetik perde ihtiyacını sağlayacağından arzu edilebilir görülmektedir (56).

Aylor (57,58), etkili gürültü kesici bitki örtüsü tasarlamak için, bitkiler ve ses arasındaki iletimi azaltan etkileşimleri analiz etmek gerektiğini düşünmüştür. Bu nedenle, her biri zemine yakın olan kaynakla alıcı arasındaki sesin iletimine, yaprak alanı, gövde çapı ve yoğunluğu ve zemin durumlarının etkilerini ayrı ayrı belirlemek için deneyler yapmıştır. Verilere ek olarak, azalmayı hesaplayan ve deneysel sonuçlarla ilişkili fiziksel modeller sunulmuştur (Ancak fiziksel modellere bu tez kapsamında yer verilmemiştir).

Deneyler, ses enerjisini azaltmada etkili olduğu düşünülen değişik parametreleri tek tek çalışmak için tasarlanmıştır; yaprak alanı, gövde ve büyük dalların yoğunluğu ve zemin impedansı. Gürültü azalması yoğun mısır ürününde, bozulmamış suga plantasyonunda, gelişmiş çam (*Pinus resinosa* Ait.) ormanında ve yoğun sert odunlu fundalıkta ölçülmüştür. Bütün alanlar düzdü ve sert odunlu fundalığın dışında hepsi tek tür bitki içermektedir.

Mısır tarlası (*Zea mays* L.var.Pa 290) yüksek yoğunlukta dikilmiştir. Mısır, zemine yakın yerde hızlı yaprak gelişimi sağlamak ve yaprak alanının ses enerjisine etkisini ölçmek için kolaylıkla seyreltilebilmektedir. Onbir örnek alanda, ilk ses ölçümü yapıldığında ortalama bitki yoğunluğu metrekarede 27 ± 5 bitkidir. Örtünün birim hacmindeki toplam yaprak alanı veya F, 6.3 m^{-1} 'dir. Aynı gün karşılıklı sıralar, ortalama metrekarede 13 ± 3 bitki bırakılarak, başka yere taşınmıştır. F, 3 m^{-1} 'dir ve ses ölçümleri

tekrarlanmıştır. Aynı günün sonunda, bütün mısırlar taşınmış ve ses iletimi tekrar ölçülmüştür. Mısırların ortalama gövde çapı 1.5 cm ve ortalama bitki yüksekliği 1.8 m'dir.

10 yaşındaki sugalar (*Tsuga canadensis* L. Carr.) 37x 66 m² lik alanda 1.8x1.8 m² lik alanlara dikilmiştir. Tepe örtüsü kapalıdır ve zeminden yaklaşık 6 m yüksekliğe kadar uzanmaktadır. Plantasyon içinde ve 2.5 m yüksekliğe kadar iğne yapraklar düşmüştür fakat bütün dallar ve ince sürgünler dökülmemiştir. Hemen hemen gövdenin % 70'i iki mislidir ve yoğunluk yaklaşık metrekarede 0.5 gövdedir. 1.5 m yükseklikte ortalama gövde çapı 9±2.5 cm'dir.

Çam(*Pinus resinosa* Ait.) plantasyonu oldukça açıktır. Ağaçlar 16 m boyunda ve kapalı tepe örtüsü zeminden 10.5 m yukardadır. Budamalar sonucunda ortalama 3x3 m² alanda yaklaşık metrekarede 0.0865 ağaç kalmıştır. Ölü alt dallar budanmıştı ve gövde 8 m yüksekliğe kadar dalsızdır. Ortalama gövde çapı zeminden 1.5 m yükseklikte, 23±3.5 cm'dir.

Yoğun sert odunlu fundalık, yaprakları zeminden 6 m yüksekliğe kadar uzanan yaprağını döken ağaçlar ve çalı türlerinden ibarettir. Fundalık alt alandadır ve % 81'i çalılar, ayı üzümü (*Vaccinium corymbosum* L.) ve orman gülü (*Rhododendron nudiflour* L. Torr.), % 10'u kırmızı akçaağaç (*Acer rubrum* L.), % 6'sı huş (*Betula populifolia* Marsh), % 1.5'u meşe (*Quercus sp.*) ve % 1.5'u kızılğaç (*Alnus rugosa*) içermektedir. Zemin düzeyinde ortalama 2.15 cm çap ile m²'de 4.7 gövde vardır. Çalılar 1.5-3 m boyundadır. Yaklaşık yaprak alanı birim alanda çalılar ve huş için 2.5, akçaağaç ve meşe için 6' dir. Ortalama F, yaklaşık 0.5m⁻¹'dir.

Kaynak ile alıcı arasında türlerin yoğunlukları ve toprak durumları değişmektedir. Kaynağa yakın yerde orman gülü, ayı üzümü ve huş egemendir. Ölçümler fundalıkta hem yazın ve hem de zemin donmadan önce yaprak döküldükten sonra yapılmıştır. Bitkilere gelişi güzel gürültü gönderilmiş ve toplam iletim kaybı kaydedilmiştir.

Kaynak oktav yada pembe gürültü (ölçmelerde yeğlilikleri oktav frekansa göre 3 dB azalarak değişen yapay gürültü biçimi olarak üretilen özel bir gürültüdür) üreten gelişi güzel gürültü üretici, ses ve titreşim analizörü kullanılmıştır. Sinyal, hoparlör ve korna sistemi birleşimi ile güçlendirilmiştir. Hoparlör, bitki örtüsünün aksında aşağı yukarı sınıra dik, bitki örtüsünün dışına yerleştirilmiştir. Kaynak yüksekliği her bir

durum için bildirilmiştir. Hoparlörün sesi seramik mikrofonla ölçülmüştür. Kaynak yüksekliğinde mikrofon ile hoparlörün 3 m önüne yerleştirilen amplifikatör ses düzeyi ölçere bağlanmıştır. Bitki örtüsünün içinden iletimden sonra, hoparlör eksenine yerleştirilen ses ikinci mikrofon sistemi ile ölçülmüş, ses ve titreşim analizörü ile 10 oktav bantta analiz edilmiştir. Herhangi özel frekansta kaynak gücü 10 dB(A) veya daha çok oranda geliş güzel düzende değişmektedir. Her bir gözlem çevre gürültü düzeyinin ölçümünü de içermektedir.

Rüzgar hızı, sıcaklık gradyanı zeminden yukarda 0.6, 1.8, 3.0 ve 4.3 metredeki ölçümlere dayanmaktadır. Rüzgar profilleri sürekli anemometre ile izlenmiş ve sıcaklık profilleri düzgün aralıklarla cıvalı termometre ile ölçülmüştür. Bağıl nem, 1 m'de nem ölçer ile ölçülmüştür.

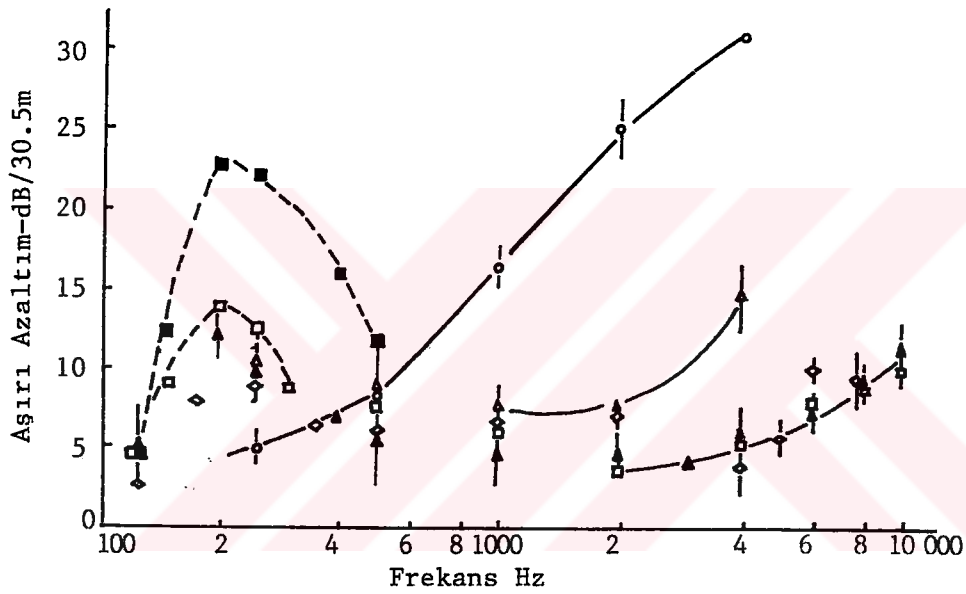
Yaprak, gövde ve zemin birleşimini içeren toplam etkinin, bunların etkilerinin ayrı ayrı basitçe toplanması ile bulunabileceği düşünülebilir. Bu tamamen doğru değildir, çünkü bunlar arasında her zaman etkileşim olacaktır, örneğin mısırın olduğu yerde; tepe örtüsünün altında ve toprak arasında, çalılığın olduğu yerde; bitişik yapraklar ve gövdeler arasında çoklu yansımalar vardır. Bu etkileşimler hem deneysel hem de analitik değerlendirmelerde oldukça zordur. Ancak bu etkileşimlerin az olduğu görülür ve doğru olan yaklaşım, bunların basitçe eklenmesi ile bulunabileceğidir. Bu, mısır için doğru olabilir, çünkü toprak ve yaprak ile azaltılan frekansların geniş ölçüde ayrı olduğu görülür. Bu, yapraklar ve çalılığın gövdeleri için doğru değildir, çünkü frekanslar geniş ölçüde ayrılmamıştır. Ancak fundalıkta yazın ve sonbaharda alınan veriler iki etkiyi eklemenin uygun olduğunu gösterecektir.

Ölçülen toplam iletim kaybından hesaplanan sapma ve atmosferik yutulmanın çıkarılması ile aşırı azaltım (A_e) bulunmuştur (Şekil 21). Rüzgar ve sıcaklık gradyanından dolayı olan kırılma, sapmayı çok az değiştirdiğinden verilerde düzeltme gerekmemektedir. Bitki örtüsünün içinde çok az değişen nem ve sıcaklık profilleri, moleküler gevşemeden dolayı azalmanın hesaplanmasını önemli derecede değiştirmemektedir.

Ağaçla örtülü bütün yerler alçak frekansı hissedilir derecede, orta frekansı az ve yüksek frekanslı sesi daha çok azaltır. Bunun yanında, yüksek frekansta sığa, çam ve yapraksız çalılar arasında çok az fark meydana gelir. Diğer taraftan mısırların olduğu

alan, alçak frekansı az, yüksek frekanslı sesi daha çok azaltmıştır. Mısırın arkasında 4000 Hz frekanstaki sesin azalması 30 dB(A)'dan daha fazladır.

100-500 Hz frekansta, çam ormanında iki grup gözlem yapılmıştır. Birinde kaynaktan 30.5 m, diğesinde 61 m mesafede ölçüm yapılmıştır. İlk 30.5 m'deki maksimum azalma ikinci 30.5 m'deki azalmanın (61 m mesafeden) yaklaşık iki misli olduğu bulunmuştur. Azalmanın, mesafe ile doğrusal olmadığı açıkça görülmüştür. Kaynaktan çok uzak mesafede dar zemin ve bitki örtüsü şeridi ile yapılan ölçümlerde azalmanın önemsiz olacağı belirtilmiştir.



Mısır(o), Su Sediri (◊), 61 m'de Ölçülen Çam (□), 30.5 m'de Ölçülen Çam (■), Yazın Fundalıkta (Δ), Sonbaharda Fundalıkta (▲)

Kaynak yüksekliği mısır için 1m, su sediri, çam, fundalık için 1.5 m

Şekil 21. 100-10.000 Hz frekansta dB/30.5 m'de aşırı azaltım (58).

Değişen mısır yaprak alanı etkisi, aynı gün için mısırlar varken ve mısırların yerleri değiştirildiğinde ölçülmüştür. Bu ikisi arasındaki fark sıfır (0) aşırı azalmadır. Açıkça yaprak alanı ve ona eşlik eden alanlar, özellikle yüksek frekanslarda azalmayı arttırmıştır. Bitki yoğunluğu ile aşırı azalmadaki artmanın doğrusal olmadığı belirtilmiştir. Örneğin, 2000 Hz frekansta bitki yoğunluğunun (13 bitki/m²'den, 27 bitki/m²'ye) iki katına çıkmasından dolayı, azalmada sadece % 40 artma vardır. Bundan

dolayı daha çok bitki daha çok azaltır fakat daha az yoğun daha kolay uygulanabilen bitkiler oldukça etkilidir denmektedir.

Değişen yaprak alanı etkisinin diğer bir ölçümü sert odunlu fundalıklarda, yaz ve sonbahar gözlemlerinin karşılaştırılması ile bulunmuştur (Şekil 21).

Artan frekansta bu eğrilerin uzaklaşması, yine yaprakların yüksek frekanslarda oldukça çok etkili olduğunu göstermiştir. Sert odunlu türlerin yapraklarının etkisi, mısırın etkisinden oldukça az olduğu, fakat mısırın birim hacimdeki yaprak alanı F, çalılardan 12.5 defa daha büyük olduğu için azalmadaki farklılığın çok şaşırtıcı olmadığı üzerinde durulmuştur.

Araştırmanın sonucunda doğal ormanlardan sesin iletimini değerlendirmek için veya bitkisel ses engeli tasarlamak için önemli genelleştirmeler verilmiştir. Özellikle dağılmanın arttığı yüksek frekanslarda, esasen yaprak, ses iletimini azalttığı ve yaprak sayısının yoğunluğunu artması ile yaprak etkisi arttığı ve artan yaprak genişliği ve yaprak kalınlığının bu etkiyi arttıracığı sonucuna varılmıştır. Yapraklar az olduğunda, yüksek frekanslı ses, başlıca gövde tarafından azaltılmaktadır. Farklı ormanların hemen hemen aynı miktar sesi azalttığı ve böylece, yaşlı veya genç, sonradan dikilmiş veya doğal bitki topluluklarının yüksek frekanslı gürültüyü azaltmada yaklaşık aynı derece etkili olduğu, dağılmanın etkili olmadığı daha alçak frekanslarda, zemin, akustik enerji miktarını bir hayli azalttığı belirtilmiştir.

Sonuçta kaynaktan olan mesafenin artması ile bitki örtüsü ve zemin tarafından azalma azaldığından, zemin veya bitki örtüsü bandının etkisi, bandın genişliğinin artması ile azalır. Yaprak, gövde ve zemin durumlarının hepsi, zemine yakın yerde iletilen sesin azaltımında önemlidir. Bu faktörlerin bazıları ya da hepsi etkili olabilir. Örneğin, yumuşak bir zemin, rölantide çalışan kamyonun gelen alçak frekanslı sesi azaltmada çok etkili olurken, yoğun yapraklı bir bant yüksek hızlı trafik gürültüsünü daha iyi azaltmaktadır.

Bitkiler tarafından gürültüyü azaltmadaki başarı, ses düzeyindeki değişmeye bağlıdır. Ses kaynağı ve alıcı arasındaki görüş çizgisi üzerinde olan 30.5 m'lik yoğun mısır alanı, 1000 Hz frekanstaki sesliliği yarisından biraz daha az azaltmaktadır. Aynı azalmayı bitkisiz gerçekleştirmek için nokta kaynak ve alıcı arasındaki mesafenin iki katından daha fazla olması gerekir. Yoğun trafik, nokta kaynaklı sesten çok çizgisel

kaynaklı sese daha yakındır. Bu durumda rüzgar ve sıcaklıktan dolayı kırılma önemsiz olduğunda, ses düzeyini eşit olarak azaltmak için mesafenin dört kat artması gerekir. Sıkışık alanlarda, insanlar hem ses düzeyi hem de sınırlı alanlarla ilgilendiklerinden, ses düzeyinde aynı azalmayı sağlayabilmek için uzun mesafelere tercihen bitkisel bantları kullanmanın mantıklı olacağı sonucuna varmışlardır (57, 58).

Harris ve Cohn (41) ve Harris (43) çalışmalarının amacı; seçilen herdem yeşil bitki örtüsü kuşaklarının gürültü azaltma özelliklerini incelemektir. Amaçları, dar bitki örtüsü engellerinin karayolu gürültü düzeyinde ölçülebilir azalmalar sağlayacağını ve bu engellerin bazı durumlarda geleneksel engellere alternatif olarak kullanılabilceğini açıklamaktır. Bitki örtüsü engelinin karayolu gürültüsünü bölmede etkili olduğu gösterilebilirse, bitki örtüsü yüksek maliyetli duvarlara alternatif olarak daha ekonomik bir çözüm olacaktır.

Çalışmada, gürültü kontrolü amacıyla yetiştirilmiş hiç bir bitkisel engel mevcut olmadığı için, görsel perdeleme amacıyla yetiştirilmiş var olan şeritler kullanılmıştır. Bu nedenle bu bitkilerin etkileri değerlendirilirken bu özelliği düşünülmalıdır. Alan ölçmelerinin amacı, görsel amaçla dikilen bitki topluluklarından sağlanan gürültü azaltma miktarının belirlenmesidir.

Çalışmada meteorolojik durumun ses ölçümlerinde kabul edilen etkileri olduğundan, meteorolojik durum göz ardı edilmemiştir.

3 m/sn rüzgar hızı, 15-120 °F arası sıcaklık ve % 5-90 bağıl nemin ölçümler için uygun olabileceği kabul edilmiştir. Test süresince, atmosferik durumlardaki değişikliklerin etkisini en az seviyeye indirmek için rüzgar- sıcaklık-nem verileri her bir gürültü ölçümü zaman periyodu için çıkarılmıştır.

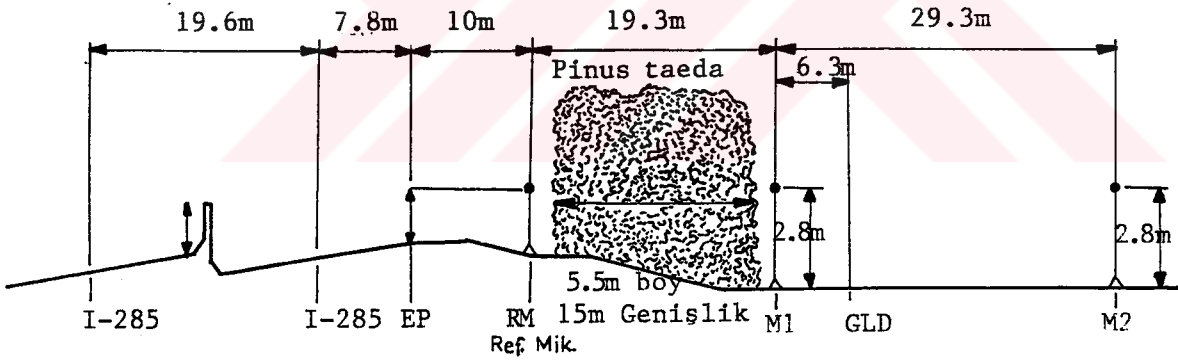
Gürültü analizi aracı engelin her bir tarafındaki farklı yerlere, her bir alandaki gürültü düzeyini aynı zamanda ölçmek için kurulmuştur. Sinyaller elektro mikrofonla ölçülmüştür. Sinyal verileri bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayar her bir sinyal için verileri dB düzeyinde vermektedir. Her bir periyodun sonunda alınan veriler diskete yüklenmiştir. Daha sonra bilgisayar programı verileri analiz etmiştir. Gürültü düzeyini toplayan üç mikrofon kullanılmıştır.

Aynı anda her bir periyotta trafik sayılmış ve üç guruba ayrılmıştır. 1) Dört tekerlekli hafif araçları kapsayan otomobiller, 2) İki aks ve altı tekerlekli araçlardan

meydana gelen, orta büyüklükte kamyonlar, 3) Üç ve ya daha çok aks ve hepsi traktör-treyler birleşiminden oluşan ağır kamyonlar. Her bir sınıflamadan gelişli güzel araçlar seçilmiş ve hızları elde taşınan radar birimiyle ölçülmüştür. Daha sonra bu ölçümler, ortalama hızı hesaplamada kullanılmıştır.

A deney alanı, Memorial Drive'ın güneyinde, Atlanta'nın doğusunda, Interstate 285 boyunca yer almaktadır. Bitki örtüsü çam (*Pinus taeda*) kuşağından ibarettir. Gövde çapı 15.2 cm, yüksekliği yaklaşık 5.5 m olan ve 0.9 m aralıkla dikilen çam kuşağı 15 m genişliğindedir. Burada başka tür bitki örtüsü yoktur. Kuşağın içindeki ağaçların gövdesi, çoğu ölü olan pek çok dala sahiptir. Bu dallar etkili bir biçimde karayolu gürültüsünü kesmektedir.

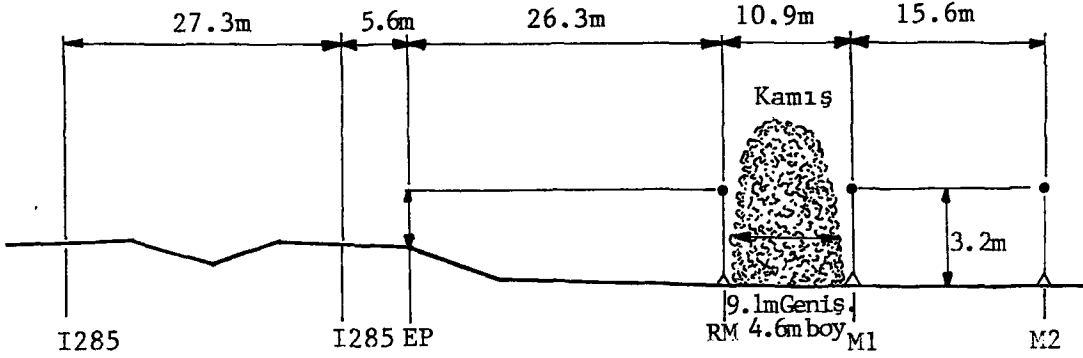
Sekiz şeritli bir yol olan (her bir yönde dört şerit) Interstate 285'in orta çizgisi boyunca, beton refüj engel yer almaktadır. Bitki örtüsünün karşı tarafında I-285'e paralel iki şeritli yol bulunmaktadır. Bu yol (ve yolun trafiği) bilgisayar modeline girdi kısmı olarak tanımlanmıştır. 2. mikrofona bu yola bitişik olan otoparkta yer alır. Bu alanın kesiti Şekil 22'de verilmiştir.



Şekil 22 . A alanının kesiti (41).

B alanı, Atlanta'da, Snapfinger yolunun güneyinde, I-285 boyunca yer almaktadır. Bu alandaki bitki örtüsü, yolun sağında, I-285'in hemen dışında dikilen yoğun kamış şeridinden ibarettir ve yaklaşık 9.1 m genişliğinde ve 4.6 m yüksekliğindedir. Karayolu görüntüsünü kesmektedir. Bu türün özelliği, yaprakların çoğunun bitkinin üst kısmında yer almasıdır. Göz seviyesinde yoğunluk gövdelerle sağlanmaktadır.

Bu yerde, karayolu çim refüjle ayrılan altı şeritten (her yönde üç şerit) ibarettir. 1. ve 2. mikrofon engelin arkasındaki parka benzer alana yerleştirilmiştir. Şekil 23’de bu alanın kesiti verilmiştir.

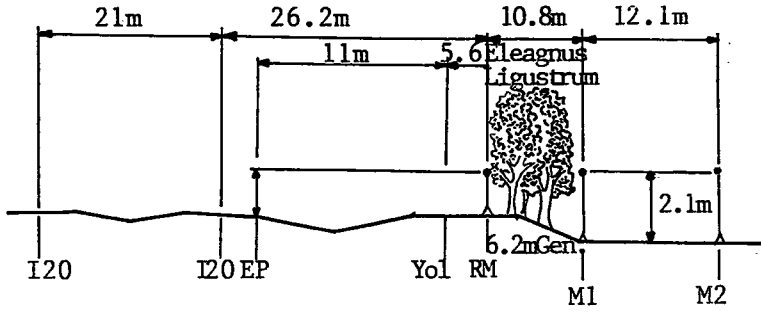


Şekil 23. B alanının kesiti (41).

C alanı Newton County’ de, Atlanta’nın doğusunda, I-20 bitişiğinde yer almaktadır. Bu alandaki bitki örtüsü iğde (*Eleagnus sp.*) ve kurtbağrı (*Ligustrum sp.*) karışımından meydana gelmektedir. Bunlar bitişikteki çirkin alanı görsel olarak perdelemek amacıyla dikilmiştir. Bu kuşak yaklaşık 6.1 m genişliğinde 5.5 m boyundadır.

Bu yerdeki karayolu çim refüjle ayrılan dört şeritli yoldan (her yönde iki şerit) ibarettir. Interstate karayolu ve bitki örtüsü arasında iki şeritli yol yer almaktadır. Bu yol ve yolun trafiği de modele girdi olarak kullanılmıştır. 1.ve 2. mikrofon engelin arkasında açık çim alana yerleştirilmiştir. Şekil 24 ’de bu alanın kesiti verilmektedir.

Alan ölçümlerinin amacı bitki örtüsü engeli tarafından sağlanan gürültü azaltma miktarını belirlemektir. 1981’de FHWA (Ulusal Karayolu Yönetimi) her hangi engel için ek azalma belirlemede takip edilecek yöntemler belirlemiştir. Engeller alanda olduğunda, “sonraki” ses düzeyi ölçümlerinin birleşimi ve FHWA gürültü belirleme modelini kullanmak gerekmektedir. FHWA modeli, referans ses düzeyindeki birtakım düzeltmelerle “önceki” ses düzeyini hesaplamaktadır. Daha sonra değişen trafik akışını, yoldan mesafenin farklılaşmasını, yol uzunluğunun sınırını ve korumayı hesaplamak için referans düzeyde düzeltmeler yapılmıştır.



Şekil 24. C alanının kesiti (41).

Referans mikrofonda ölçülen gürültü düzeyleri, model tarafından ölçülen gürültü düzeyleri ile karşılaştırılmıştır. İki değer ± 1 dB(A) değiştiğinde, alanın en uygun şekilde modellenmiş olduğu kabul edilmiştir.

Daha sonra model, bitki örtüsü engelleri arada yokmuş gibi 1.ve 2.mikrofondaki gürültü düzeylerini hesaplamak için kullanılmıştır. Bu, alanın referans mikrofonlar için kullanılan aynı durumlarla modellenmesi ve engelin yok kabul edilmesiyle tamamlanmıştır. Ek azalma (insertion loss-IL) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$IL = L_{eq}(h)^{M-C} - [L_{eq}(h)^{R-C} - L_{eq}(h)^R] - L_{eq}(h)^M \quad (15)$$

$L_{eq}(h)^{M-C}$ = 1. ve 2. mikrofonda engel olmadan hesaplanan saatteki L_{eq}

$L_{eq}(h)^{R-C}$ = Referans mikrofonda hesaplanan saatteki L_{eq}

$L_{eq}(h)^R$ = Referans mikrofonda ölçülen saatteki L_{eq}

$L_{eq}(h)^M$ = 1. ve 2. mikrofonda engelle beraber ölçülen saatteki L_{eq}

Anlatılan yöntem kullanılarak, ölçülen gürültü düzeyi, her bir referans mikrofonda hesaplanan gürültü düzeyiyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra 15. eşitlik kullanılarak her bir alandaki ek azalma hesaplanmıştır.

Her bir alanda 1.ve 2. mikrofon için ek azalmalarla beraber, hesaplanan ve ölçülen gürültü düzeyleri sonuçlarına güvenebilmek için istatistiksel analiz gerekmektedir. Trafik durumu ve yol geometrisiyle meydana gelen gürültü düzeyi şeklinde iki veri olduğundan t testini kullanmanın uygun olduğu düşünülmüştür. Hesaplanan t değeri,

listelenen t tablo değerleriyle karşılaştırılmıştır. Hesaplanan t, tablolanan değerden büyükse, iki değer arasındaki farkın önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6. İstatistiksel veri (41).

Yer 1	Mikrofon 2	d 3	s 4	s _d 5	Hesaplanan t 6	t tablo değeri 7
A	Referans	-0.30	0.89	0.51	0.58	4.303
	1	2.47	0.85	0.49	5.03	4.303
	2	1.25	0.78	0.45	2.78	4.303
B	Referans	0.10	0.42	0.30	0.33	12.706
	1	1.85	0.07	0.05	37.00	12.706
	2	0.35	0.49	0.35	1.00	12.706
C	Referans	-0.25	0.21	0.15	1.68	12.706
	1	3.10	0.71	0.50	6.20	12.706
	2	2.85	1.06	0.75	3.80	12.706
Toplam	Referans	-0.17	0.58	0.22	0.78	2.447
	1	2.68	0.83	0.43	5.97	3.182
	2	1.60	1.59	0.80	2.01	3.182

Çizelge 6, her bir alanda her bir mikrofon için, hesaplanan ve ölçülen gürültü düzeyleri (d) arasındaki; ortalama farkı, örneğin tahmin edilen standart sapması (s), ortalama farkın standart sapması (s_d) ve listelenen t'yi içermektedir.

Çizelge 6'nın içerdiği t değerlerinin karşılaştırmasına dayanarak tek tek ve toplam olarak hesaplanan gürültü düzeyleri her bir alandaki referans mikrofon için ölçülen gürültü düzeylerinden önemli bir şekilde farklılaşmaz. Bundan dolayı referans mikrofonda hesaplanan gürültü düzeyi, engel yokmuş gibi 1. ve 2. mikrofondaki gürültü düzeyini belirlemede rahatlıkla kullanılır.

A alanında, 1. mikrofonda hesaplanan t değeri, t tablo değerinden daha fazladır. Böylece ölçülen ve hesaplanan gürültü düzeyindeki fark (ek azalma) önemlidir ve tesadüf değildir. Bütün alanlar (A, B, C), ses dalgası yayılmasına topografik etkiyi en az seviyeye indirmek için seçildiğinden bitki örtüsü engeli bu alanda etkilidir. Bu etki 15.2 m genişliği için 3 dB(A) civarındadır.

2. mikrofon için, t testi, ölçülen ve hesaplanan gürültü düzeyindeki farkın önemsiz olduğunu gösterir. Bu mikrofonun olduğu yerde, bitki örtüsünün etkili olmadığını belirtmek için daha çok örnek gerekir.

B alanında, verilerin analizi 1. mikrofonda ek azalmanın önemli olduğunu gösterir. Yine, bu alan, ses dalgasına topografik etkiyi mümkün olduğu kadar azaltmak için seçildiğinden 9.1 m genişlikte yaklaşık 2 dB(A) ek azalma bitki örtüsü engeline bağlanabilir.

2. mikrofon için toplanan veri analizleri ölçülen ve hesaplanan gürültü düzeyinde önemli farklılık göstermez. Bu mikrofonda bitki örtüsü engelinin etkisi ile ilgili kesin bilgi vermek için daha çok örnek gerekir.

C alanında, veri analizi, hem birinci mikrofon hem de ikinci mikrofondan ölçülen ve hesaplanan gürültü düzeyindeki farkın önemli olduğunu gösterir. Daha çok örnek olmadan, birinci mikrofondaki ek azalmanın eksikliğini bitki örtüsünün türü veya diğer bazı etkenlerin fonksiyonu olup olmadığını söylemek mümkün değildir. 2. mikrofon alanında gürültü düzeyinde bitki örtüsünün etkisi ile ilgili kesin bir sonuca varmadan önce, bu alanda daha çok örnek gerekecektir.

Bir adım sonraki analizler alınarak, B ve C alanına bütün olarak bakıldığında, bu alanlar genişlik ve yoğunluk olarak benzer olduğundan Çizelge 6'daki veri, birinci mikrofondaki ek azalmanın (2-3 dB(A)), beklenildiği gibi önemli olduğunu gösterir. Ancak, 2. mikrofondaki sonuçlar yetersizdir.

A alanında 15 m. genişliğindeki kuşaktan, 3 dB(A), B alanında 9.1m genişlikteki kuşaktan, 2 dB(A), C alanında 6.1m genişliğinden yaklaşık 2-3 dB(A) ek azalma sağlanmıştır (B ve C alanlarında daha dar ve yoğun bitki örtüsü kuşakları yer almasına rağmen).

Verilen verilere dayanarak, oldukça dar yoğun herdem yeşil bitki örtüsü şeridinin karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü düzeyinde ölçülebilir azalmalar sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Bundan dolayı, bazı durumlarda bitki topluluğu alternatif gürültü azaltma ölçüsü olarak kullanılabilir (41).

Georgia Ulaştırma Bölümü, yerleşim alanının yakınından geçen devletlerarası karayolunu genişletme teklifi yapmıştır. Karayolunun 4 şeritten 6 şeride çıkarılması istenilmiştir. Bu durumda, Ulusal Karayolunun Yönetimi trafik gürültüsünde meydana gelecek değişikliklerin belirlenmesini ve gürültü ile ilgili etkiler belirlenirse, azalma ölçümlerinin göz önüne alınmasını gerekli bulmuştur.

Saatteki trafik hacmi, yaklaşık 7300 taşıttır ve toplam hacmin % 4'ünü orta ve ağır kamyonlar oluşturmaktadır. FHWA tarafından ileri sürülen yöntem kullanılarak, alanın modeli yapılmıştır ve seçilen alanlardaki gürültü düzeyleri, kurulan yol geometrisi ve beklenen trafiğin hacmine dayanarak hesaplanmıştır. Var olan gürültü düzeyleri, aynı yerlerde kurulan model yardımıyla bir dizi ölçümlerle hesaplanmıştır. Varolan gürültü düzeylerinin 65-68 dB(A) L_{eq} (eş değer sürekli ses düzeyi, belirlenen bir sürede, zaman içinde düzeyi değişen bir sesle, aynı A ağırlıklı ses enerjisi olan, durağan sesin düzeyi olarak tanımlanır (16)) aralığında olduğu ve kurulan yapıların bu alanda gürültü düzeyinde 2-3 dB(A) artış meydana getirdiği belirlenmiştir.

Bilgisayar programı kullanılarak geleneksel serbest-yükselen gürültü engeli tasarlanmıştır. Böylece, gürültü düzeyini 5-8 dB(A) azaltmak için 1.8-5.5 m yüksekliğindeki ve yaklaşık 607 m uzunluğundaki bir engelin gerekli olacağı belirlenmiştir. Engeller, aşırı bir ücret tuttuğundan yapılamamıştır. Önceki deneyimlere ve bu araştırmanın ölçüm sonuçlarına bakarak uygun şekilde dikilen ve herdem yeşil olması sağlanan bitkisel engellerden 0.3 m genişlikte 0.2-0.3 dB(A) ek azalma beklenmektedir. Böylece, Georgia Ulaştırma Bölümü aşırı gürültü düzeylerini azaltmak için bu alanda bitki engeli dikme yoluna gitmiştir.

Bitki engeli inşa etmek için, bölgesel herdem yeşil doğal bitki örtüsü seçilmiştir. 1.8-2.4 m boyunda tek bir sıra manolya arazinin arka çizgisi boyunca karayolunu perdelemek amacıyla dikilmiştir. Çok sıralı iğde ve kurtbağrı bu alanda karayolu gürültü düzeyini azaltmak için manolya ve karayolu arasına dikilmiştir. Bu bitkiler yaklaşık 1.2 m boyunda idi ve bitkinin çevresinde uygun boşluk kalacak şekilde dikilmiştir. Böylece bitkilerin gelişmesi engellenmemiş olacaktır. Bu engelin genişliği 6.1 ve 15.2 m arasında değişmektedir. Duvarın gürültü düzeyinde meydana getireceği azaltma, bu bitkisel engelle karşılanabilecektir.

Sonuç olarak gürültüden etkilenen alanlarda gürültü engeli olarak katı engeller kullanıldığında büyük bir miktar para gerekecektir. Bunlara alternatif olarak bitki örtüsü düşünülürse harcama miktarı önemli derecede azalacaktır. Karayolunu bitki örtüsü ile bölmenin psikolojik etkisi de düşünüldüğünde bu çözüm daha etkili olacaktır (43).

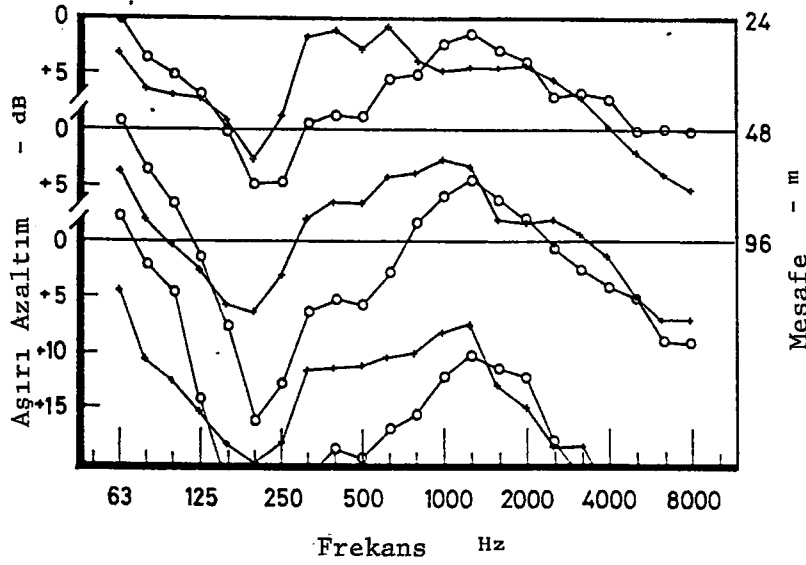
Martens et al. (59), hava sıcaklığındaki değişmeler, bitki örtüsünde, açık havadakinden daha az olduğu için ve bitki örtüsü rüzgar hızını düşürdüğü için, bir takım

bitkiler ve bitki topluluklarında, ses yayılma ve azalma özelliklerinin toplamı olan akustik olayı daha önceden araştırmışlardır. Araştırmanın sonuçları, eğer peyzaj planlama yöntemleri bitkilerin doğru kullanım ve dikimine dikkat ederse, bu biyolojik perdelerin gürültü azaltmada kullanılabileceğini doğrulamıştır. Bu deneyler, sabit ses kaynakları yani nokta kaynak (nokta kaynak; boyutları ürettiği sesin dalga boyundan daha küçük olup küresel yayılım yaparlar (26)), yani hoparlörler, ile tamamlandığı için bu defa, karayolu boyunca bitkilerdeki akustik olaylarla ilgili bir takım deneyler yaptılar, yani hareketli ses kaynağı ile çizgisel kaynak (birden fazla eş düzeyli nokta kaynağın bir doğru üzerinde bir araya gelmesi ile oluşur ve silindirik yayılım yaparlar (26)). Gürültünün nokta kaynaktan mı, yoksa çizgisel kaynaktan mı yayıldığını karşılaştırmak için durgun ses kaynağı ile ilgili yapılan önceki deneylerde olduğu gibi aynı ölçüm aletleri kullanılmıştır. Hem hoparlör hem de trafikten yayılan gürültü elektro mikrofona alınarak, önampifikatöre bağlanmış ve 3 tane banta kaydedilmiştir. Laboratuarda bu bantlar analiz edilmiştir. Hava tarafından yutulma, kaynakla alıcı arasındaki mesafe ve kaynakların frekans spektrumu için analiz edilen dB düzeyleri, net frekans spektrumunu bulmak için, bilgisayar programında düzeltilmiştir.

Karayolu boyunca ölçümler sırasında yoldaki toplam araç sayısı ortalama 1870'dir ve bunun % 30'unu yük kamyonları ve motosikletler oluşturmaktadır. Her iki şeritteki ortalama trafik hızı 80 km/s ve 7.4 m genişliğindeki yolun orta noktasından 10 m mesafe de ölçülen ortalama L_{eq} 81.3 dB(A)'dır.

Karayolu boyunca, araştırma kapsamındaki bitki örtüsü, yol kenarı boyunca 20 m uzunluğundaki birkaç kayın ağacının (*Fagus sylvatica* L.) yer aldığı çam (*Pinus sylvestris* L.) ormanıdır ve bir kaç tane küçük huş (*Betula verrucosa* Ehrh.) ve meşe ağacı (*Quercus spec.*) yoğun dikilen ormanın içinde yayılmıştır. Çam ağaçlarının yüksekliği 10m'dir. Toprak, 30-120 mm kalınlığında değişen, düşen kayın yaprağı ve çamların iğne yapraklarıyla kaplıdır.

Karşılaştırma için, durgun ses kaynağı ile araştırılmış olan ladin ormanı (*Picea abies* L.) ile ilgili sonuçlar da verilmiştir (Şekil 25-26). Şekil 25 ve 26 nokta kaynak ve hareketli kaynak yani çizgisel kaynak ile ölçülen bir bitkinin akustik özelliğine ait örneği gösterir.

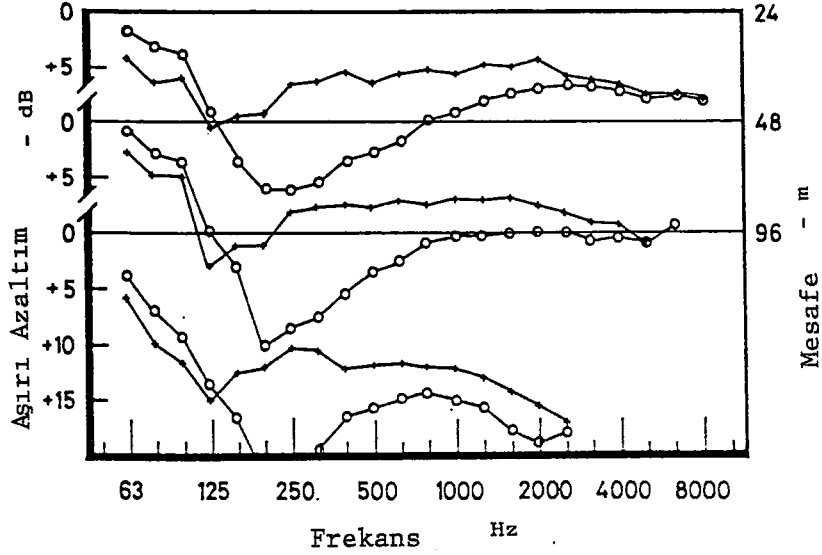


Nokta kaynak ve alıcı arasında 3 mesafe de (24,48, ve 96m) frekansa bağlı olarak dB düzeyinde aşırı azalma verilmiştir. o—o Zemin düzeyinden 1.2 m yüksekliğindeki alıcı, +—+ zemin düzeyinden 4 m yükseklikteki alıcı.

Şekil 25. Ladin ormanına ait sonuçlar (59).

Alçak frekanslardaki azalma, hem nokta kaynak hem de çizgisel kaynakların direk ve zeminden yansıyan ses dalgaları arasındaki girişimden meydana gelir ve yüksek frekanslardaki azalma bitkilerin yaprak ve ibreleri tarafından sesin yutulmasıyla meydana gelir. Hareketli kaynakların yüksekliği zemin yüzeyinin üzerinde değiştiği için, durgun ses kaynağında böyle bir durum söz konusu değildir, 125-300 Hz frekans aralığındaki maksimum azalma Şekil 25'deki gibi, Şekil 26'da belirgin şekilde alçalıp yükselmez. 1.2 ve 4 m'deki alçak frekanslardaki azalma eğrileri arasındaki farklılık, zeminden 4 m yukarıdaki alıcılarla, girişim modeli üzerindeki toprak yüzeyin daha az etkisiyle açıklanır.

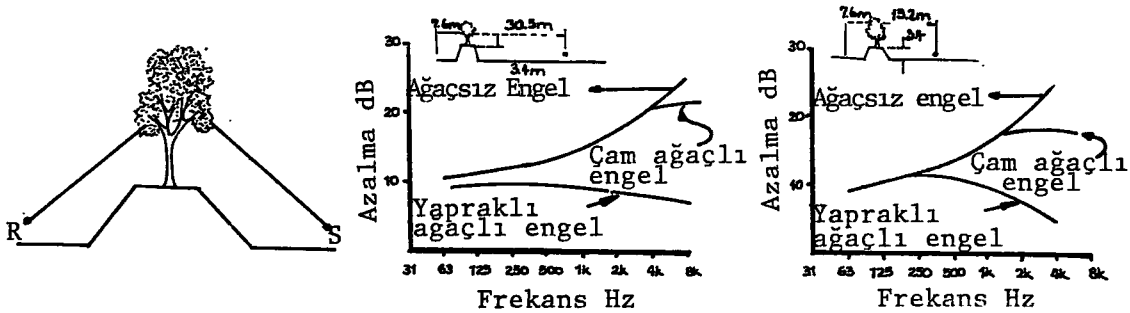
Sonuç olarak, bitki ve bitki topluluklarındaki akustik özellikleri araştırmak için daha az karmaşık olan, sabit ses kaynağı yönteminin tercih edilebileceği ileri sürülmektedir. Bu metotla bulunan sonuçlar, anayol boyunca olan bir alan için kullanılabilir denmektedir. Çünkü genelde her iki tip ses kaynağından ses yayılımı ve azalma eşit bulunmuştur. Farklılığın topraktaki ve ses kaynağının etrafındaki biyolojik çevreye bağlı olduğu kanısına varılmıştır (59).



Çizgisel kaynak ve alıcılar arasında 3 mesafede (24,48,96m) frekansa bağlı olarak dB düzeyinde aşırı azalma verilmiştir. o—o zemin yüzeyinden 1.2 m yüksekliğinde alıcı, +—+ zemin yüzeyinden 4m yüksekliğindeki alıcı.

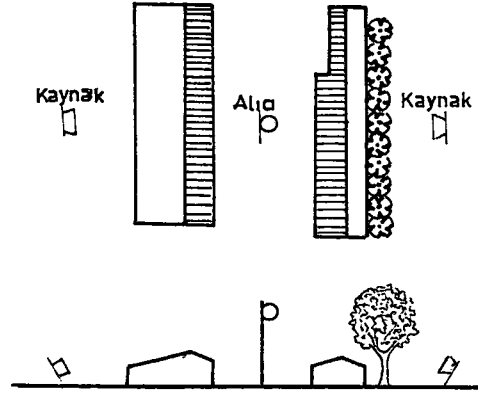
Şekil 26. Çam ormanına ait sonuçlar (59).

Schuller ve Zeeuw (60), farklı iki alanda engellerin perdeleme etkisine bağlı olarak, ağaçların etkisini araştırmak için, pek çok alan ölçümleri yapmışlardır. Engel azaltmada ağaçların etkisi ölçek modelde araştırılmıştır (Şekil 27). Ağaçlar tepe üzerine yerleştirilmiştir ve ağaçlarla beraber ve ağaçlar olmadan engelin azaltma etkisi karşılaştırma amacıyla ölçülmüştür. Ağaçların türüne bağlı olarak orta ve yüksek frekanslarda azalmadaki kayıp bulunmuştur.



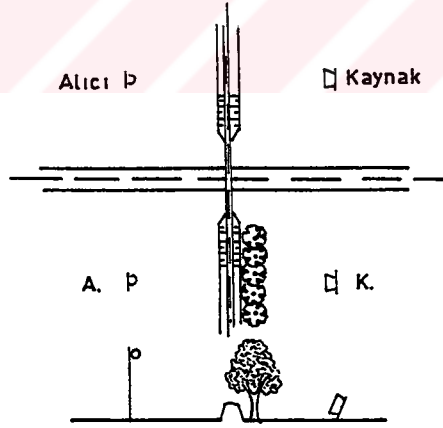
Şekil 27. Ölçek modelde ölçümlerin sonucu (60).

Alan ölçmeleriyle, yapraklı ağaçların gürültü azaltmadaki akustik etkisi araştırılmıştır. Ölçümler iki farklı yerde ve farklı hava durumu koşullarında pek çok kez yapılmıştır. Birinci durumda, bir tanesinin kenarında bir sıra ağaç olan, bir çift baraka vardır (Şekil 28).



Şekil 28. Kışın, baraka ve ağaçların durumu (60).

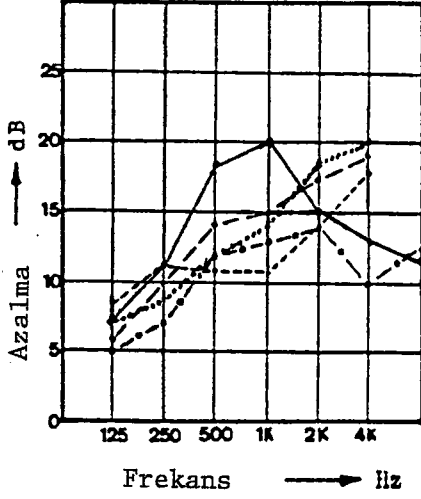
İkinci alan otoyolunun geçtiği viyadük ile tepe içerir. Viyadük'ün bir tarafında bir sıra ağaç vardır, diğer tarafta ise ağaç yoktur (Şekil 29).



Şekil 29. Yazın, tepe, viyadük ve ağaçların durumu (60).

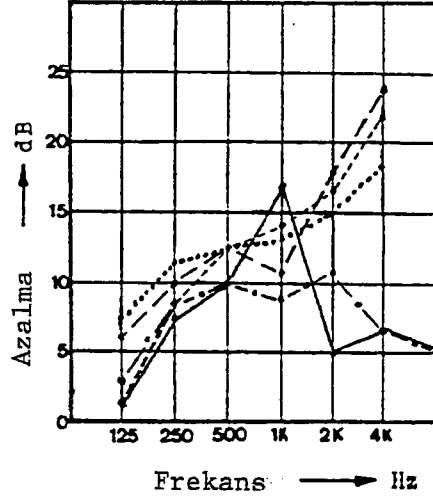
Her bir alanda, ağaçlı ve ağaçsız engeller (baraka veya tepe) tarafından meydana gelen azalma ölçülmüştür. Ölçümler kışın (ağaçlarda yaprak yokken), baharda (ağaçlarda tomurcuk varken), ve yazın (ağaçlar tamamen yapraklıyken) yapılmıştır.

Şekil 30'da birinci yerdeki (barakanın olduğu yer), Şekil 31'de ikinci yerdeki (tepenin olduğu yer) bazı ölçüm sonuçları verilmiştir.



Şekil 30. Barakanın olduğu yerdeki ölçüm sonuçları (60).

- Ağaçsız Engel
- - - - - Yapraksız Ağaçlarla Engel
- Tomurcuklu Ağaçlarla Engel
- Yapraklı Ağaçlarla Engel
- Teorik Azalma



Şekil 31. Tepenin olduğu yerdeki ölçüm sonuçları (60).

Şekil 30 ve 31 eğer engel boyunca ağaçlar varsa, kışın (ağaçlarda yaprak yokken) engelin perdeleme etkisinin hemen hemen ağaçsız engelin perdeleme etkisine eşit olduğunu gösterir. Dalların dağıtma etkisiyle sadece alçak frekanslarda perdeleme etkisi daha azdır. Ağaçlarda tomurcuklar veya çok küçük yapraklar olduğunda, dalların ve tomurcukların dağıtma etkisiyle, azalma bütün frekanslarda daha az olur. Eğer ağaçlar yapraklarla dolu olursa (yazın), orta frekanslarda engelin azaltma etkisinde bir artma ve yüksek frekanslarda azaltma etkisinde bir kayıp olduğu sonucuna varılmıştır (60).

Nebraska'da 1971 de Haverbeke (61) tarafından, gürültü düzeyi (desibel ölçeğinde), farklı kompozisyon ve genişlikteki (2-10 sıra) koruma şeritlerinin arka kısmında, kaydedilen yol trafik gürültüsünden farklı mesafelerde ölçülmüştür. Ağaçlar kısmen gürültü kaynağının yakınında yer aldığı zaman, zemine kadar uzanan yapraklar olması şartıyla (gerekli olduğu yerde çalılıarı içeren), gürültü perdeleme çok etkilidir. Seyreltilen ve açık hale getirilen koruma şeridinin bir kısmı aynı kuşağın yoğun

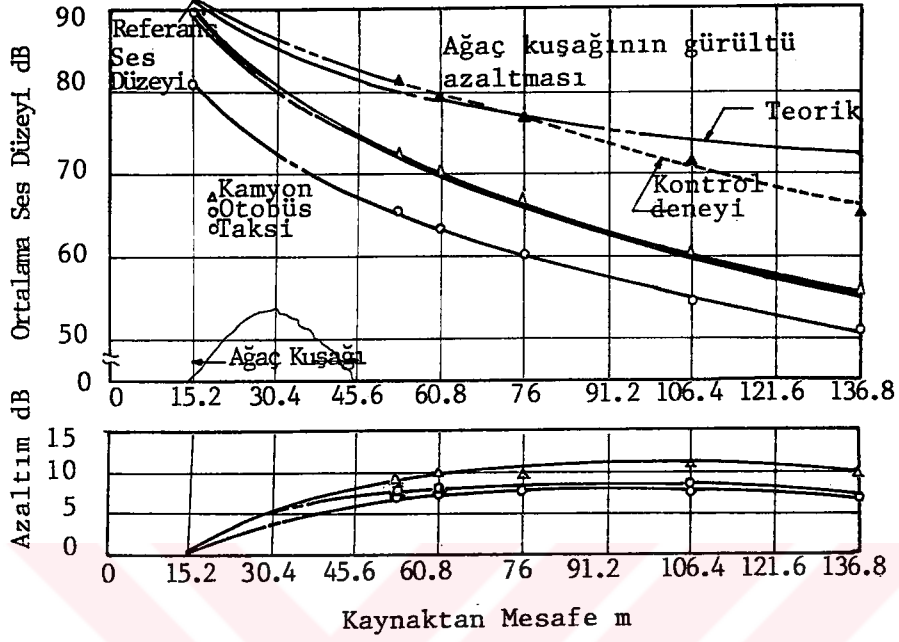
bölümünden daha az etkilidir. Azalmalar 5-10 dB arasında değişmekte ve uzun boylu geniş ağaç kuşakları çok daha fazla etkili olmaktadır. Yaprakını döken türler tamamen yapraklı olmak şartıyla azalma etkisini az değiştirmiştir. Bundan dolayı herdem yeşiller, yıl boyunca gürültü perdeleme için istenilen türlerdir. Ortalama aynı genişlikteki kuşaktan iğne yapraklı, dar yoğun kuşaklar, yüksek tepe çatılı sert odunlu geniş kuşaklardan daha çok etkili olduğu bulunmuştur. Zemin düzeyinde, “yumuşak”, pürüzlü çim yüzey, düzgün yüzeyle karşılaştırıldığında 5 dB(A) ek azalma göstermiştir. Koruma şeridi tarafından azalma, rüzgar arkası yönünde rüzgar önü yönünden daha azdır (61).

Cook ve Haverbeke (62) tarafından ağaç ve çalılarının ses azaltma özelliklerini belirlemede, kırsal ve kentsel test alanlarında ölçümler yapılmıştır. Taksi, kamyon ve otobüslerin teybe kaydedilen ve gerçek trafik gürültüleri, kuşağın ötesindeki değişik mesafelerde ölçülmüştür. Önceden kaydedilen aynı sesler, ağaç ve çalı kuşaklarının ne kadar azalma sağladıklarını hesaplamak için, daha sonra ağaçsız benzer yüzeylerden gönderilmiştir.

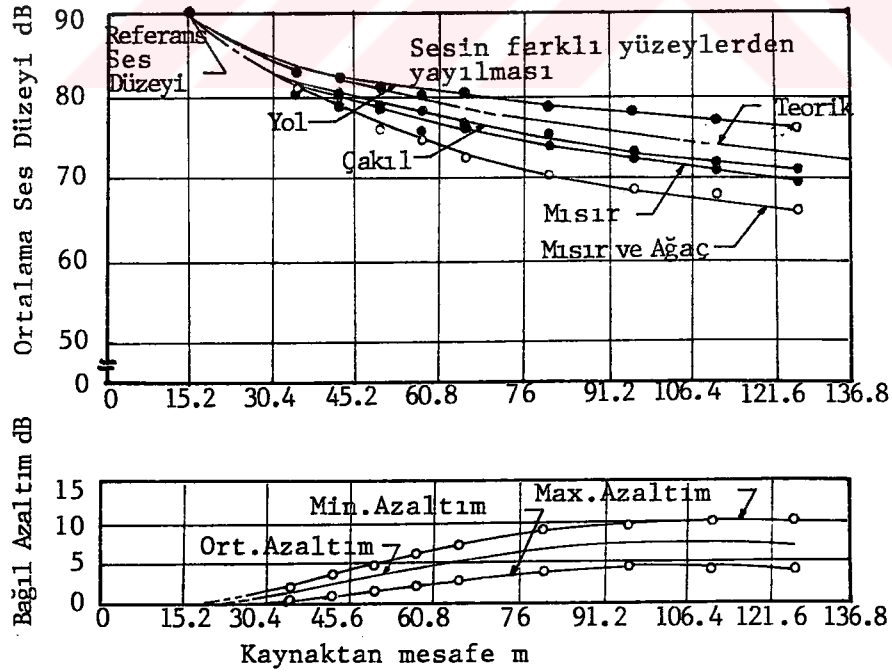
Kontrol aleti, bütün sistem boyunca, kaydedilen sesin doğru ölçümleri ve sesi tabi olanak kaydeden sistemin meydana gelmesini sağlamak için kullanılmıştır. Gerçek ses düzeyinin oldukça üzerinde, kamyon gürültüsü meydana getiren 138 Watt'lık ses sistemi kullanılmıştır. Ses düzeyleri, kuşağın arka kenarından 0, 7.5, 15.2, 30.5, 61, 76, 91.5 m mesafelerde seramik mikrofonla ölçülmüştür. Ses kaynağı, kuşağın 15.2 m önüne yerleştirilmiştir. Deneylerin çoğunda, ses düzey ölçümlerinin standart A-ağırlık desibel ölçeği kullanılmıştır.

Ondört orjinal gruptan, yedi büyük kuşak, çalışma için seçilmiştir. Kuşaklardan birinin gürültü azaltma özelliğinin grafiği (Şekil 32), ses kaynağından farklı mesafelerde, ağaçların ötesinde ölçülen ses düzeyini gösterir. Ses düzeyi eğrilerinin altında çizilen, üç “aşırı azaltım” (gürültü azaltma) eğrileri mesafe, atmosferik yutulma, zemin tarafından yutulma ve diğer etkenlerden dolayı doğal azalmadan çok, ağaçlardan dolayı ses düzeyi azalmasını gösterir. Eğriler, yapılan ölçümlerin ortalamasını gösterir (Şekil 32).Deneylerin yapıldığı sırada, sesin geçtiği yüzey çeşidinin gürültü azaltmada önemli etkiye sahip olduğu açıklık kazanmıştır. Bu yüzden ses, sert yüzey; yol, orta sert yüzey; kısa çim ve yumuşak yüzey; uzun çim veya yeni sürülmüş zemin gibi sertliği farklı derecede olan yüzeyler üzerinden yansıtılmıştır. Şekil 33 farklı yüzeylerin ses

azaltma özelliklerini gösterir. Daha alttaki eğriler, ağaçlar daha sert yüzeylerle karşılaştırıldığında beklenebilecek azalmayı gösterir.

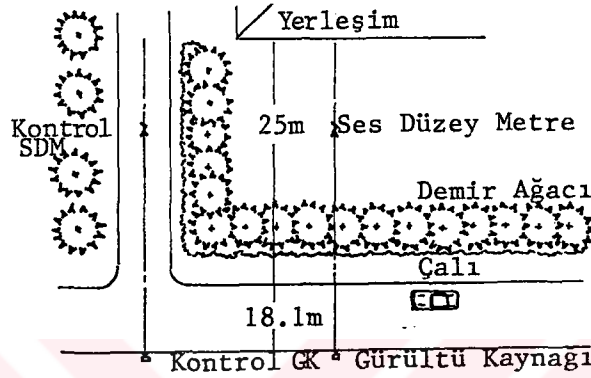


Şekil 32. Mesafe ile ses düzeyinin düşmesi ve ağaçlardan dolayı ses düzeyinin azalması (62).

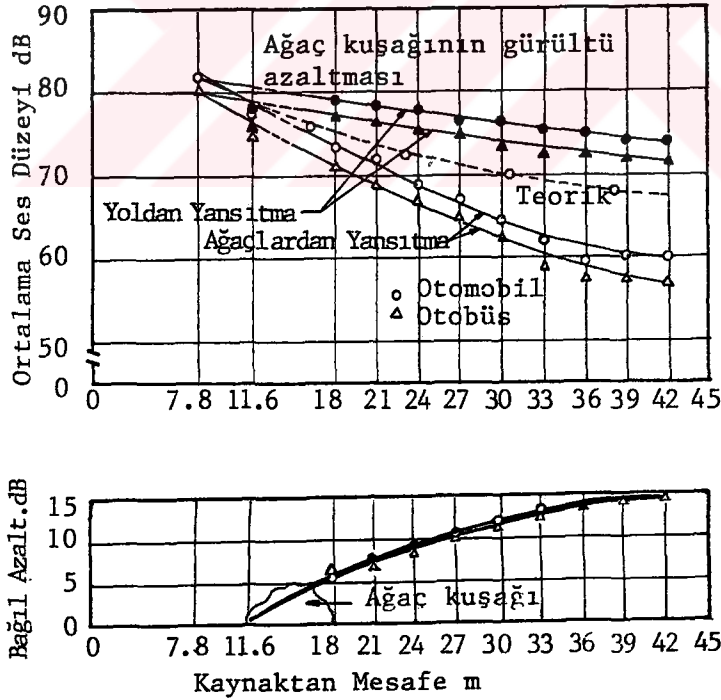


Şekil 33. Mesafe ile ses düzeyinin düşmesi ve farklı yüzeyler için ses düzeyinin azalması (62).

Kent trafik gürültüsünü azaltmak için, yüksek ağaçlarla destekli çalıların yetenekleri ile ilgili yapılan sınırlı çalışmalar, iyi sonuçlar vermiştir. Bu deneylerde hem geçen araçların gerçek sesleri hem de teybe kaydedilen ses kullanılmıştır. Şekil 34, gürültü kaynağı, koruyucu perde ve ses düzeyi ölçer, mikrofona bağlı durumları gösterir. Ağaçların arkasındaki ses düzeyleri, sert, korumasız yüzeyler yani asfaltlı yan sokak, üzerinde ölçülen ses düzeyleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 34. Gürültüyü perdeleyen yoğun ağaç ve çalılarla bitkilendirme (62).



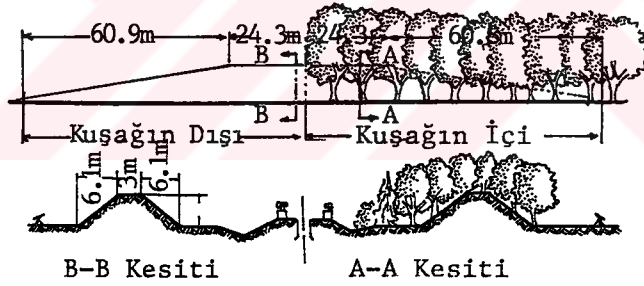
Şekil 35. Ağaçlardan ve yumuşak zeminden dolayı yerleşim alanında gürültü azaltma (62).

Şekil 35 iki örnekteki gürültü düzeylerini karşılaştırır. Sert yüzeylerden yansımalarından dolayı azalma azdır. Rahatsız edici gürültünün azaltılması için daha yumuşak yüzeylerin sürekliliği sağlanmalıdır.

Ağaç ve çalı gibi bitkisel materyaller, genellikle gürültü azaltma özellikleri düşünülmeden, estetik amaçlar için duvarlar veya çitlerle birlikte kullanılırlar. Bu çalışmada, farklı yükseklikte ağaçla örtülü alan formlarının, gürültü düzeyini azaltma etkisi denenmiştir. Bitki materyali ve alan formu birleşimiyle rahatsız edici gürültüyü biraz azaltmak mümkün olabilir. Sonuçlar, ağaç kaplı alan formlarının, tek başına alan formu veya tek başına ağaçlardan oldukça etkili olduğunu göstermiştir (62).

Çalışma, dört deneysel test alanında yürütülmüştür.

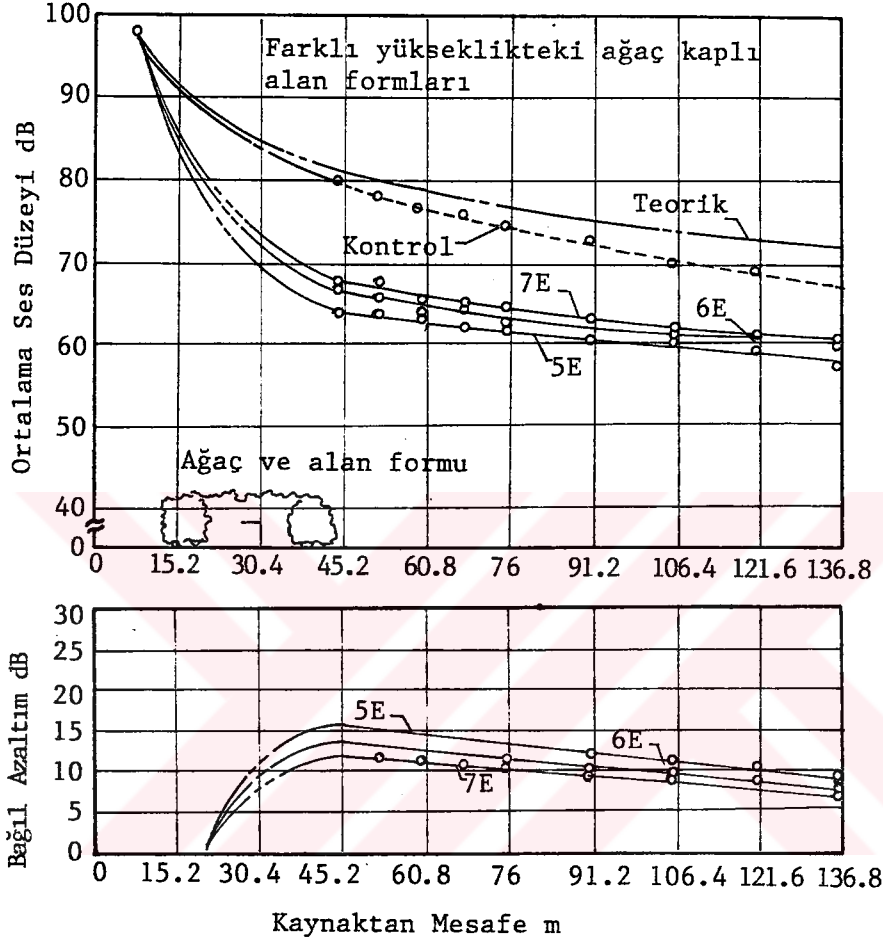
1.Test Alanı, var olan, iyi gelişmiş ağaç kuşaklarının içinde alan-formu yapılmasıyla ve alan formunun ağaçların dış tarafına uzatılmasıyla çalışma için uyarlanmıştır (Şekil 36). Kuşağın bir kenarından karayolu geçer ve geniş çim alan diğer tarafta yer alır. Bu alanda hem teybe kaydedilen ses, hem de geçen kamyonun gerçek sesi kullanılmıştır.



Şekil 36. Gürültü azaltma çalışmaları için yapılan alan formunun görünüşü ve kesiti (62).

1971 yılının yaz ayında yürütülen test sonuçları Şekil 37 ve 38'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 37'de üstteki grafik teybe kaydedilen kamyon gürültüsü için gürültü kaynağından farklı mesafelerde, alan formunun arkasındaki ses düzeyi ile açık alandaki ses düzeyini karşılaştırır. 5E, 6E ve 7E eğrileri ayrı ayrı 5.3 m, 2.5 m, 1.5 m, alan formu yükseklikleri içindir. Bütün mesafe için alan formu arkasındaki ses düzeyinin 68 dB'nin altında olduğu görülmüştür. Bu, gün içindeki açık alan faaliyetleri için kabul edilebilir gürültü düzeyi olarak düşünülmektedir.

Şekil 37’de alttaki grafik alan formuna bitişik açık çim yüzeye bağlı olarak azalmaları göstermektedir. Azalmalar, gürültü kaynağından 136.8 m mesafeye kadar, yaklaşık 15 dB(A)’dan - 7 dB(A) ‘ya değiştiği görülmüştür.

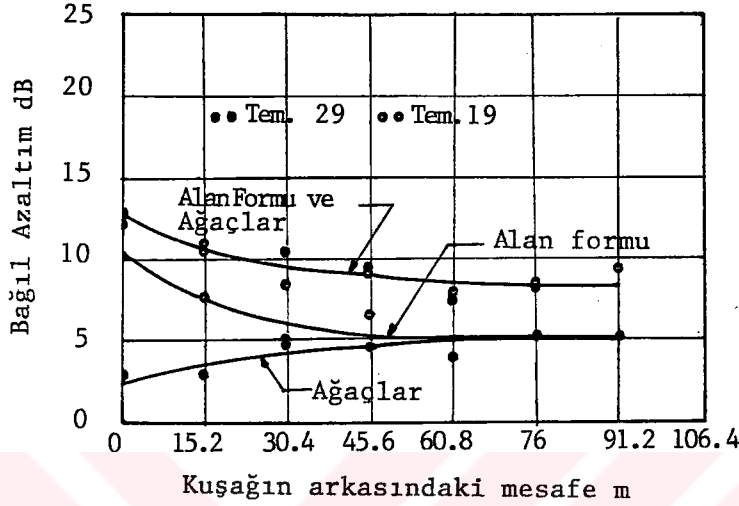


Şekil 37. Farklı yükseklikteki ağaç kaplı alan formu için ses düzeyinin mesafe ile düşmesi (62).

Geçen araçların ses düzeyi ölçümlerinden çıkarılan (Şekil 38), tek başına ağaçların, tek başına çıplak alan formu ve ağaç alan formu birleşimlerinin gürültü düzeyini azaltmada bağlı değerlerini karşılaştırır. En yüksek alan formu (yaklaşık 4.7 m) kullanılmış ve ses yansıtma mesafeleri, kuşağın arka kenarından ölçülmüştür.

Karayolunun üst kesitinde yer alan, iğne yapraklı ve yaprağını döken karışımdan meydana gelen 30.5 m genişlikteki kuşağı içeren doğal alanlar olan 2. ve 3. alanlarda yapılan testler, 1. alandakilerle karşılaştırılabilir sonuçlar çıkarmıştır. Dinlenme alanı

arasında yer alan 6.1 m yüksekliğindeki tepeyi içeren doğal yer olan 4. alanda yapılan testte, ağaçlar çok küçük olmasına rağmen, iyi sonuçlar gösterdiği bulunmuştur. Sonuçta alan formları ile kullanılacak olan bitkilerin gürültü azaltmada, bunların tek başına kullanılmalarından daha etkili olacağı sonucuna varmışlardır (62).



Şekil 38. Çıplak alan formu, ağaç kaplı alan formu ve tek ağaçların bağıl gürültü azaltması (62).

Heisler et al. (63), gürültüde meydana gelen azalmaların sadece bitkilerdeki farklılıklardan dolayı değil, farklı kaynak alıcı durumlarından, gürültü kaynaklarının farklı spektrallerinden, kontrol ve deney alanlarındaki zemin yüzeyi ve meteorolojik durumlar arasındaki farklılıklardan meydana geldiği görüşündedirler.

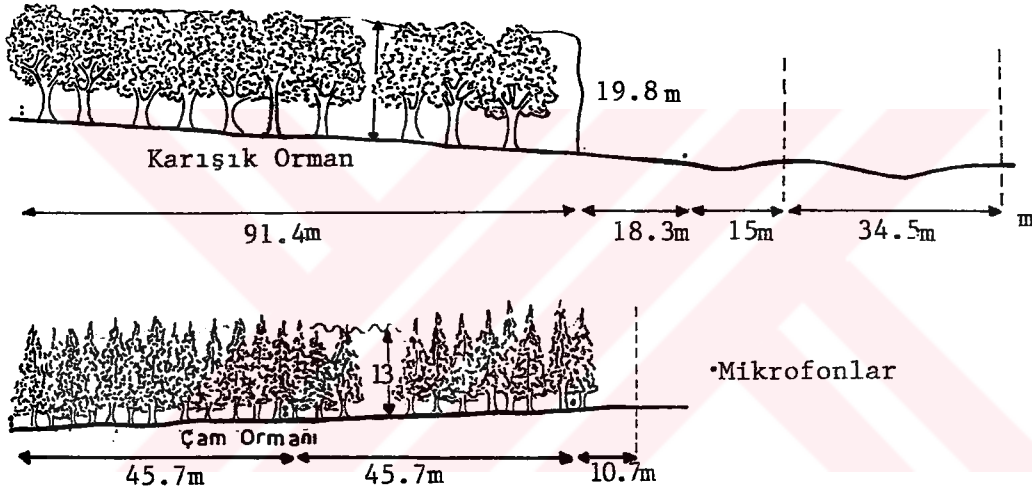
Bu yazıda, bu etkilerin bazılarını göstermek için karayoluna bitişik iki ormanda ölçülen ses düzeyleri, Ulusal Karayolu Yönetiminin belirlediği ses düzeyleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanının biri, çoğu yaprağını döken, karışık ağaç türlerinden meydana gelen doğal bir ormandır. Diğer orman, sonradan dikilmiş çam (*Pinus resinosa* L.) ormanından ibarettir.

Karışık orman alanı, çok az geçilen bölünmüş karayolunun yakın şeridinin yaklaşık 30 m arkasından başlar. Şeritler kısa çim kaplı 23 m genişliğindeki alan ile bölünmüştür. Orman, karayolundan yukarı doğru derece derece yükselen bir eğime sahiptir. Karayolu boyunca yaklaşık 20 m genişliğindeki boylu çime sahip alan, ormanı

sınırlandırmaktadır. Çam ormanının sınırı % 1 eğimli, iki şeritli yoğun olan karayolundan 10 m mesafededir. Ormanlık alan yoldan aşağıya doğru hafif eğimlidir (Şekil 39).

Karışık orman, periyodik budamalardan dolayı, geniş ölçüde farklılık gösteren ağaç yaşı ve büyüklüklerine sahiptir. Ölçümler, yapraklı ağaçlar yapraklarının çoğunu döktükten sonra, Ekim (1984) ayının sonunda yapılmıştır. Üst örtü halen mevcutken, alt örtünün seyrek olduğu tespit edilmiştir. Ağaçların büyük çoğunluğunu akçağaçlar (*Acer sp.*) oluşturmaktadır. Çok az sayıda meşe (*Quercus sp.*) ve birkaç tane diğer yaprağını döken türler vardır. Ağaçların % 25'inden daha az bir kısmını, çoğunluğu suga (*Tsuga canadensis*) olan herdem yeşiller oluşturmaktadır.



Şekil 39. İki çalışma alanının kesitleri (63).

Çam ormanındaki ağaçların hepsi 32 yaşındadır ve 2 x 2 m²'lik alanlara dikilmiştir. Çam ormanı genetik olarak çok düzenli olduğu için ve budama yapılmadığı için, ağaç büyüklükleri hep aynıdır. Zeminden yukarıda yaklaşık 3 m'de, çamların alt dallarının çoğunun ölü olduğu gözlemlenmiştir. Alt örtüde birkaç küçük ağaçlar ve çalılar vardır. Çam ormanı iyi gelişmiş orman zemini katmana sahiptir.

Ses düzeyi ölçüm noktasından yola kadar olan görüş çizgisi, her iki ormanda da tamamen kapalı değildir.

Ses düzeyleri her bir alanda yerden 1.5 m yukarda karayolu yakınındaki referans noktada ölçülmüştür. Çam ormanından 45.7 m ve 91.4 m, yaprağını döken ağaçların olduğu ormanda 91.4 m'de, yerden 1.5 m ve 0.61 m yukarda ses düzeyleri ölçülmüştür.

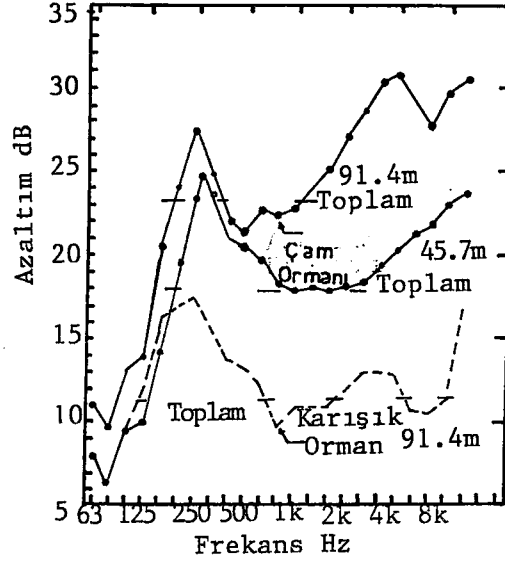
Ses düzeyleri 1 kHz ile kalibre edilen elektro mikrofonla ölçülmüştür. Mikrofonlar dikey olarak asılmış ve rüzgar koruyucularla korunmuştur. Mikrofon sinyalleri sürekli ve aynı zamanda, alanda kaydedilmiştir. A ağırlıklı L_{eq} spektra ve toplam L_{eq} (dBA) bulmak için, analizör tarafından laboratuarda analiz edilmiştir. Ölçüm zamanındaki trafik, sonradan elle sayılmak üzere videoya alınmıştır. Karışık orman alanında saatte 100 ağır kamyon ve toplam 375 araç, çam ormanında saatte yaklaşık 50 ağır kamyon ve toplam 650 araç sayılmıştır. Karışık orman alanında ağır kamyon yüzdesi fazla olmasına rağmen, her iki alanda da kamyon gürültüsü egemen olduğu tespit edilmiştir.

Rüzgar yönü ve hızı, güneşle ilgili yayılma, ve bütün dalgaların yayılımı anayol boyunca karışık orman ve çam ormanının arkasındaki alanda ölçülmüştür. Sıcaklık ve nem de ormanda periyodik olarak ölçülmüştür.

1.5 m yükseklikte ölçülen L_{eq} (dBA) 0.61 m'dekinden 1.2-5.9 dB(A) kadar daha büyüktür. Yükseklikler arasındaki ses düzeyi farklılıkları büyük ölçüde zemin etkilerinin sonucudur.

Karayolu yakınındaki referans noktada L_{eq} düzeyi 1250 Hz'de en yüksek değere ulaşmıştır. Yaklaşık 250 Hz'de en yüksek farklılık ve alçak frekanslara doğru azalan farklılıklar zemin etkilerinden dolayıdır (Şekil 40). Zemin etkisi çam ormanında daha güçlü görünür. Bunun nedeninin çam ağaçlarının, geniş yapraklı ağaçlardan daha alçak empedanslı orman zemini meydana getirmesi olarak düşünülmektedir. Genellikle 2 kHz üzerinde azalma, kısmen ağaçlar tarafından, kısmen de hava yutulmasından dolayı arttığı düşünülmüştür.

Çam ormanı tarafından azalma, ormanın ilk 30 m'si için 5 dB, ikinci 30 m için maksimum 10 dB bulunmuştur. Çam ormanının etkisi, yere yakın yerde yaprakların olmadığı düşünüldüğünde hayret vericidir. Karışık orman, kısmen az sayıda orta büyüklükte ağaçlar ve üst örtüde daha az yapraklar olduğundan, kısmen az etkili orman yüzeyinden dolayı, kısmen de farklı yol, orman geometrisi ve farklı taşıt karışımından dolayı önemli azaltma göstermediği belirtilmiştir.



Şekil 40. Yol kenarındaki referans nokta ve karayolundan 45.7 m ve 91.4 m mesafede 1.5m'deki mikrofon yüksekliğinde frekanslar arasındaki farklılıklar (63).

Bu iki alandaki, azalmadaki büyük farklılıklar doğrudan meteorolojik durumlardaki farklılıklardan kaynaklanmaz. Güneş radsasyonu, güçlü yüzey ısıtma sağlamak için, her bir günde yeterli olmamasına rağmen, karışık orman ölçümleri sırasında, gökyüzünün bulutlu ve güneş radyasyonunun daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

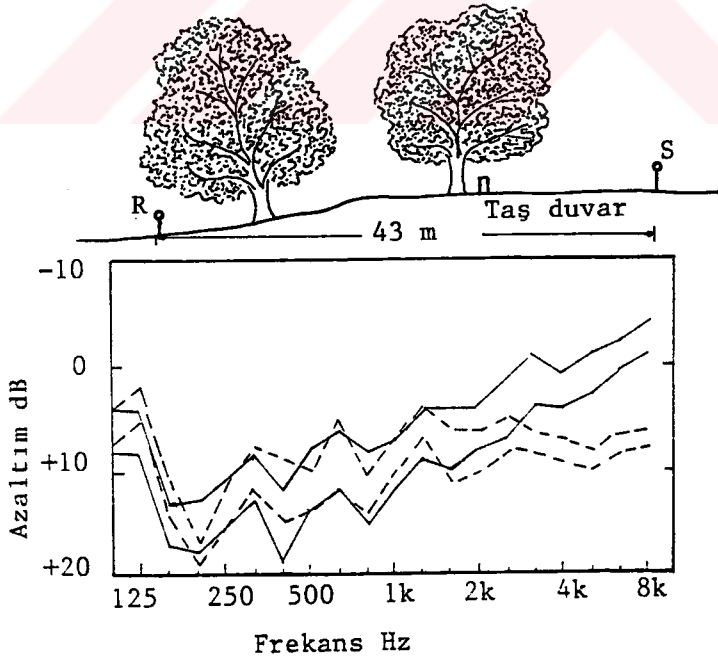
Hava tarafından yutulma, ölçülen sıcaklık ve nemlerden bilindiği gibi, çam ormanında, karışık ormandan yaklaşık 1 dB fazla azalma meydana gelmiştir. Rüzgar 4 m/sn'den daha az ve yönünün karayoluna paralel olduğu ve karışık ormanda ölçümlerin yarısında, ortalama rüzgar hızı 1 m/sn'den 2.5 m/sn'ye yükseldiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, referans ve 91.4 m'deki mikrofondaki L_{eq} arasındaki farklılıklar yaklaşık 2 dB azalmıştır. Rüzgar yönü değişmemesine rağmen, hızın değişimi ses düzeylerini etkilemiş olabilir görüşündedirler.

FHWA modelinde karayolundan 100 m veya daha çok mesafede, ormanların büyük bir duvar gibi etkili olabileceği bildirilmektedir. Çam ormanından elde edilen sonuçlar bunu doğrulamaktadır. Yolun trafik şeridinden 10 m mesafede 4 m yüksekliğindeki duvar, ormanın içindeki, 45.7 m noktasında sadece 2 dB daha fazla, ve ormanın içindeki 91.4 m noktasında 0.4 dB daha az azalma sağlayacağı bildirilmiştir. Ancak, ormanın kapladığı alanın göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Özetle, 100 m genişliğindeki çam ormanı, trafik gürültüsünde yaklaşık 8 dB L_{eq} azalma meydana getirmiştir. Çoğu yapraksız olan, yaprağını döken orman azalma meydana getirmemiştir. Çam ormanının meydana getirdiği azalma, karayolundan 10 m mesafedeki 4 m yüksekliğindeki duvarın gürültüyü azaltmasına eşittir (63).

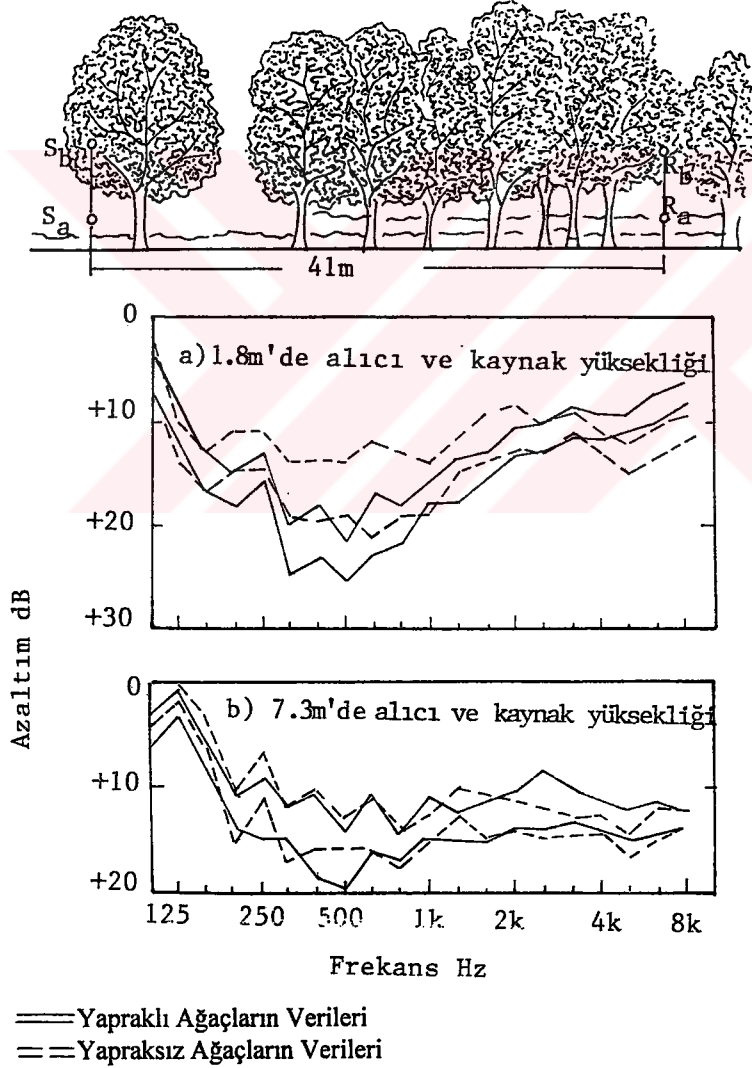
Lyon et al. (64) gürültü kontrolünde bitkilerin gürültü azaltma etkilerini açıklamada, bir grup laboratuvar ölçek model deneyleri ve alan çalışmaları yapmışlardır.

Planlı model çalışmalarının sonuçlarını değerlendirmek için, özellikle, tepe tacı yayılma çizgisinin üzerinde olan, bitki örtüleriyle ilgili alanda, çalışmalar yapmışlardır. Gürültü kaynağı olarak 12 kalibrelik tüfek kullanılmıştır. Nagra kaydedici ve B&K1^u mikrofon kullanılarak, basınç titreşimi manyetik teybe kaydedilmiştir. Ölçümler akçaağaç yapraklarının etkilerini belirlemek için geç ilkbahar ve erken yazda alınmıştır. Zemin şartlarının tüm ölçümlerde aynı olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen alan, tepenin üzerinde yer alan akçaağaç şerididir. Akustik ölçümler ağaç şeridinin arkasındaki değişik noktalardan alınmıştır. Ağaç şeridi boyunca yer alan taş duvar olmasına rağmen, tüfek bütün alıcı noktalardan görünmektedir. Yapraksız ağaçlarda gözlenen yüksek frekanslı aşırı azaltma, gövdeden ve dallardan geri yansıtmaya ve yayılma doğrultusunu kesen taş duvarın etkisine bağlı olduğu görüşündedirler (Şekil 41).



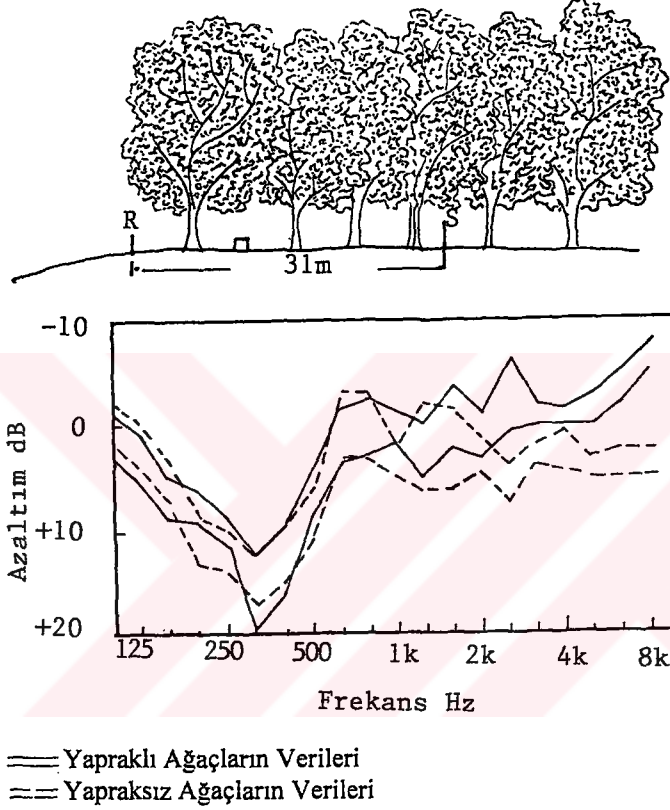
— Yapraklı Ağaçların Verileri
 - - - Yapraksız Ağaçların Verileri
 Şekil 41. Taş duvarla ağaçların etkisi (64).

Gövdenin ve dalların geri yansıtma etkileri takip eden deneylerde çalışılmıştır. Sesin yayılımı, ağaç şeridi boyunca tepe tacının içinde, farklı yüksekliklerde ölçülmüştür. Tüfek ve mikrofon, ağaçların içine yerleştirilmiş ve görüş çizgisi gövde ve dallar tarafından tamamen kapatılmıştır. Büyük ölçüde gözlemlenen aşırı azalmalar gövdeden ve dallardan geri yansıtmadan dolayıdır. Tepe tacının hemen altında, yapraklar, mikrofonu ek olarak yüksek frekans yaymıştır. Tepe tacının içinde, yapraklar az etkili olmuştur. Yayılma çizgisi boyunca yapraklar tarafından meydana getirilen her bir ek azalmanın, tepe tacının diğer kısımlarındaki yapraklardan dağılma ile meydana geldiği varsayılmıştır (Şekil 42) (62).



Şekil 42. Farklı alıcı-kaynak yüksekliğinde ağaçların etkisi (64).

Tepe tacının altındaki üçüncü bir örnekte; tüfekler, farklı mesafelerde homojen olgun akçaağaç meşceresinin içine doğru ateşlenmiş ve ağaçların kenarındaki mikrofon tarafından alınmıştır. Her seferinde kaynakla alıcı arasındaki görüş açıktır. Önceki gibi, yapraklar 2000 Hz üzerinde etkilidir, 315 Hz civarındaki azalma zemin etkisinin sonucu olduğu belirtilmiştir (Şekil 43).



Şekil 43. Tepe tacının içinden sesin gönderilmesinde ağaçların etkisi (64).

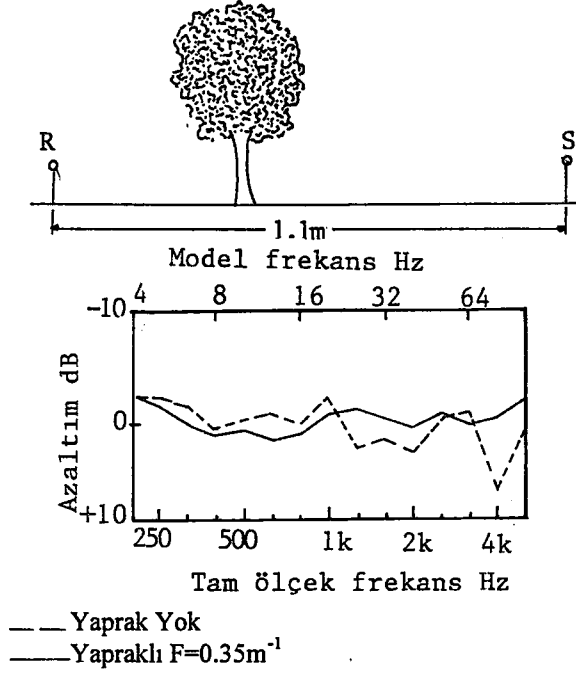
Model çalışmalarında, daha detaylı farklı engel-ağaç görünümüleriyle ilgili çalışma yapılmıştır. Ölçek modelleme, ölçek faktörü tarafından çalışılmış sistem içindeki bütün boyutlardaki azalmayı içermektedir. Akustik modellemede, sesin dalga boyunun diğer boyutlarla aynı oranda azaltılması gerekmektedir. Bu, kullanılan sesin frekansının yükseltilmesi ile sağlanmıştır. Örneğin, 1/32 ölçek modelinde, 1000 Hz frekansı 32 kHz ile modellenir. Model çalışmalarında, yüksek frekanslarda gürültü üretmek için, havada ateşlenen elektrik kıvılcım kullanılmıştır. 3000 volt'ta çalışan bu kıvılcım kaynak, 4

kHz ile 150 kHz aralığının üzerinde akustik enerji üretmektedir. Ses, 1/10¹¹ elektrik basınçlı (piezoelektrik) mikrofon ile alınmış ve dijital kayıt aletine kayıt edilmiştir. FFT (Hızlı Fourier İletim) değerleri daha sonra 1/3 oktav bant düzeylerinde toplanarak ve yazıcıdan çıkarılmıştır. Bu düzeyler yansız odada sabit kaynak kullanılarak bulunabilecek düzeylerle aynıdır. Ancak, etkili bir kaynak kullanılmasıyla, beklenen sinyal alındıktan sonra, yansımalar mikrofonu ulaştığından, yansız odaya ihtiyaç olmadığı belirtilmiştir. Basınç etkilerinin mikrofonu ulaşma zamanlarını gözlemlenmede, kaydedilen sinyalleri görüntülemek için salınım ölçer (oscilloscope) kullanılmıştır. Bu benzetilen modelleri kurmada kullanılan elemanlar, audio (duyma ile ilgili) frekansta, gerçek elemanların sahip olduğu gibi, ölçeklenen frekansta da aynı emmeye sahip elemanlardan seçilmiştir. Zemin, dokulu duvar kağıdı ile kaplı yumuşak mukavva ile modellenmiştir.

Model, 5000 Hz'e kadar yükselen tam ölçekli frekansları analiz edebilmek için 1/20 ölçeğinde kurulmuştur. Gerçekte, malzeme olarak, alan çalışmalarında karşılaşılan ağaçlar kullanılarak, 4.3 m'de çam ve 9.1 m'de akçaağacı gösteren model yapılmıştır. Akçaağaç yapraklarını göstermek için, yılan gibi kıvrılan modeller kullanılmıştır; bunlar tam olarak gerçek yaprak özelliklerini göstermemesine rağmen, yılan gibi kıvrılan malzemeler, yaprak etkilerini belirlemek için yeterli bulunmuştur. Farklı birim hacim yaprak alanı yoğunlukları (F), tepe tacının içinde yer alan, yılan gibi kıvrılan modellerin miktarının değiştirilmesi ile oluşturulabilir.

Deneysel yaklaşımın esası, engelli ve engelsiz, farklı görünüşlerde ağaç şeridi kurmak ve ağaç şeridinin arkasında farklı mesafelerde bitki örtüsünün ek azalmasını ölçmektir. Düz alanda model ağaç şeritlerinin aşırı azaltma sonuçları, alanda gözlemlenen verilerle ilişkilidir (Şekil 44).

Yapraklar olmadığı zaman, ağaç gövdelerinin 1000 Hz'in üzerinde bazı azaltma meydana getirdiği görülmüştür. Yapraklar akustik enerjiyi aşağı doğru dağıtarak azalma ya da negatif azalma meydana getirmektedirler.

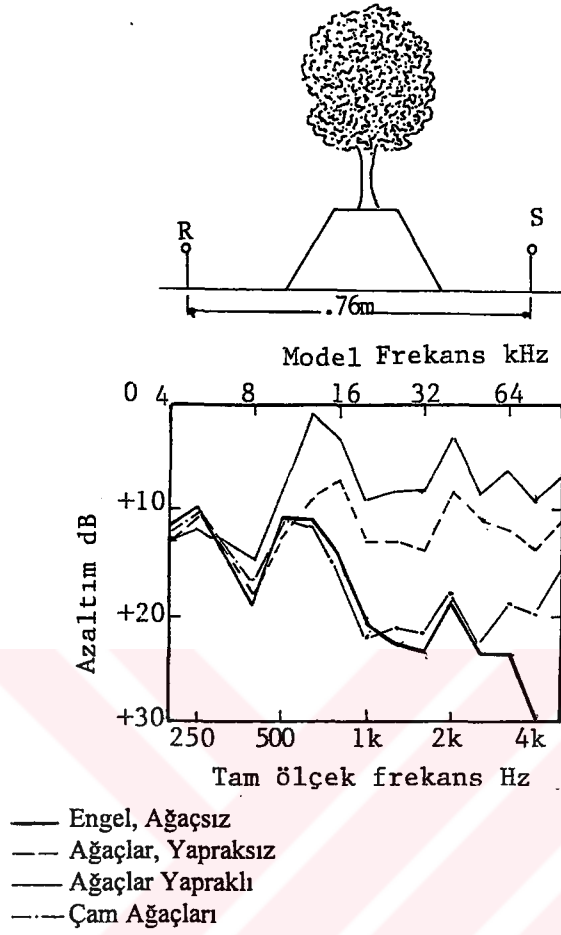


Şekil 44. Model ölçmede tek ağaç etkisi (64).

Daha sonra, engelin azaltma etkisi ölçülmüştür (üzerinde ağaç olduğu zaman ve üzerinde ağaç olmadığı zaman, Şekil 45). Model akçaağaçların konumunda, yaprakların dağıtma etkisi, alanda kaydedilenden daha alçak frekansta meydana gelmektedir. Bunun nedeni, akçaağaçların yaprakları yerine kullanılan malzemeden dolayıdır. Yapraksız akçaağaçların negatif azalma etkileri büyük yatay dalların dağıtmasından dolayıdır. Daha yüksek frekansta, çamların küçük ve daha yoğun dallarına benzeyen, sesi dağıtan çamlar, benzer özellikler göstermiştir. Engelin üzerine tek bir sıra bitki dikmenin engelin etkisini yok ettiği gözlenmiştir.

Ağaç, engelin tepesinden engelin arkasına taşındığında, engel etkisi çok fazla azalmamıştır. Şekil 46'da tepe tacının sadece yarısı gürültü kaynağından gelen direk sesle karşı karşıyadır.

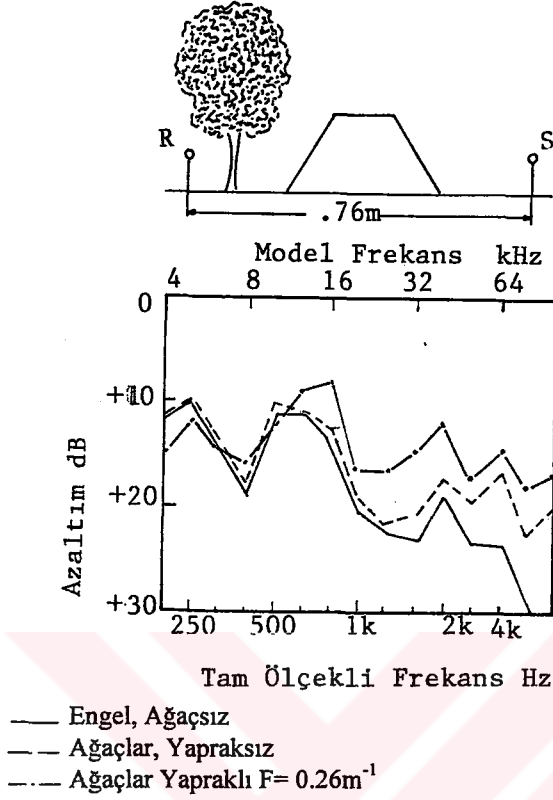
Dağıtma etkisinin frekans bağıntısı, dağıtan cismin boyutlarıyla ilişkilidir: daha küçük yapraklar veya dallar, daha yüksek frekansı dağıtmada etkili olur. Bu nedenle, küçük dallı ve yapraklı bitkiler, gürültü kontrolünde alçak frekanslarda gürültü düzeylerini fark edilir derecede etkilemeyeceği belirtilmiştir.



Şekil 45. Model ölçmede ağaçlı-ağaçsız engel etkisi (64).

Bitki geometrisinin de etkili olduğu görülmüştür. Engelin üzerine yerleştirilen dikey sarkık yapraklı ve az yatay dallı bir ağaç, engelin arkasındaki gölge alanına aşağıya doğru diğer ağaçlardan daha az ses yaymıştır. Yapraklar ve dallar gelen ses enerjisinin bir kısmını bitki örtüsünün arkasındaki gölge alanında yanlara ve arkaya doğru yaymaktadırlar.

Kaynak ve alıcı arasındaki katı engel analizi biraz karıştırır. Ağaçların yaprak ve dalları gürültü kaynağı olarak düşünülmüştür ve alıcıyı gören tepe tacının herhangi bir kısmı dağıtma ile engel etkisini azaltmıştır.



Şekil 46. Model ölçmede engelin arkasında ağaç etkisi (64).

Ancak, engel ağacın arkasındaki gölge alanın içinde yer alırsa, diğer önleyici mekanizma önem kazanacaktır. Alıcı noktasında gözlemlenen gürültü engelin üzerindeki ses alanına bağlıdır. Bu ses alanı, ağaçların perdeleme etkisinden dolayı şiddet olarak azalırsa, engel etkisi artar. Teorik hesaplamalar karışık olduğundan bu, model çalışmaları kullanılarak daha iyi yapıldığı düşünülmüştür.

Sonuç akustik çevrede bitki örtüsünün etkisini belirlemede ölçek modeli kullanmanın yararlı olabileceğini göstermiştir. Özellikle, engelin etrafındaki ağaçların konumu engelin etkisi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Çalışma, engel etkisi, ağaçların eklenmesiyle azalırken, ağaçların içinde sesin yayılmasında gürültü düzeyinde biraz azalmaların meydana geleceğini göstermiştir (64).

Bitki örtüsü ile anayolu gürültü düzeyini azaltmayla ilgili en kapsamlı çalışma Nebraska Üniversitesinde, Cook ve Haverbeke tarafından yapılmıştır. Bu konuda pek

çok çalışma yapmışlardır. Bu yazarlar saf bitki örtüsü engelleri, ve bitki örtüsü engelleri ve katı engellerin kombinasyonlarıyla deneyler yapmışlardır.

Cook ve Haverbeke'nin (65) çalışmalarının amacı, bitkisel materyallerin rahatsız edici gürültüyü azaltmada etkili olabileceğini açıklamaktır. Bunun için farklı iki alanda deneyler yapılmıştır.

- 1) Yoğun ana caddenin geçtiği yüksek-orta sınıf varoş alanı
- 2) Nebraska Üniversitesi orman bölümünün kontrolü altındaki deneysel ağaçlık çiftlik

Varoшта gerçek anayol trafiği gürültüsü ve çiftlikte çim biçme makinesinin gürültüsü kullanılmıştır. Bütün ses düzeyi ölçümlerinde dB(A) ölçeği kullanılmıştır. Her biri farklı bitki perdesi ve/veya katı engele sahip, 10 yerleşim alanı, varoş ana trafik alanlarını oluşturmuştur. Varolan perdeler, arazi sahipleri tarafından 10-20 periyotluk sürede, bitişik ana caddedeki artan trafik hacmine paralel olarak yapılmıştır. Gürültü kaynağı olarak geçen araçların gerçek sesleri kullanılmıştır. Ses düzeyi cadde ve yerleşim arasındaki çeşitli yerlerde ölçülmüştür. Bitkilerin etkilerini değerlendirmek için, ses yolu üzerinde, çalı ve ağaç olmayan bitişik alanlarda da ölçümler yapılmıştır.

Plattsmouth çalışma alanı, 4 sıra karışık iğne yapraklı ağaç kuşağı ve kontrol amacı için kullanılabilir benzer zemin özelliği ile bitişik "açık" alandan ibarettir. Varoş alanı gürültü kontrolünün temsili için Plattsmouth alanında, gürültü kaynağı olarak çim biçme makinesi kullanılmıştır. Üç farklı yükseklikte beton blok duvar kurulmuş ve karşılaştırma amacıyla duvarlar tek ve ağaç kombinasyonları ile birlikte kullanılmıştır. Duvarın bir bölümü ağaç kuşağının içinde inşa edilmiş, fakat ağaçlar tarafından gizlenmiştir. Benzer bir duvar bölümü, açık alanda, üç farklı duvar yüksekliğinin gözlemlenebileceği yerde inşa edilmiştir.

Çalışmanın amacının dışında olduğundan deneylerin detaylı spektral analizleri yapılmamıştır. Ses düzeyi ölçüm aleti, rüzgar perdesi ve üç ayaklı sehpa ile Bruel& Kjaer ses düzeyi ölçer ve rüzgar perdeli ses düzeyi ölçer genel radyodan oluşmaktadır. Meteorolojik ekipman, rüzgar hız indikatörü, mikronemölçer ve termometreden ibarettir. Destekleme ekipmanı, ses düzeyi ölçerin doğruluğunu kontrol etmede ses düzeyi kalibratörü ve mesafe ve zemin profilini incelemeye inceleme ekipmanları kullanılmıştır. Kontrol yeri ve görüntüleme yeri arasında ve gürültü kaynağı ve alıcı

arasında haberleşmeyi sağlamak için el telsizi kullanılmıştır. Güney 56 sokağında gürültü kaynağı olarak araçlar, Plattsmouth ağaç çiftliğinde çim biçme makinesi kullanılmıştır.

Güney 56 sokakta, on varoş alanda engelden 5, 10, 15, 20 m mesafeler standart ses düzeyi ölçerlerin yerleri olarak kabul edilmiştir ve bütün testlerde standart olarak yerden yükseklik 1.5 metre mesafededir. Her bir test alanı için benzer zemin kesit özellikliğine sahip ayrı “referans kontrol” alanı seçilmiştir. Özel kontrol alanlarına ek olarak, biçilmiş çim zemin ve açık yol görüntüsüne sahip tek standart kontrol alanı kabul edilmiştir. Böylece bütün testler istenirse tek bir standartı kapsayabilmektedir.

Taşıtlar deney alanı ve kontrol alanının yanından geçerken her bir aracın en yüksek ses düzeyi alınmıştır ve okunan farklılıklar gürültü perdesinden dolayı azalmanın miktarını göstermiştir. Bu fark “bağlı azaltım” diye adlandırılmıştır, çünkü iki ölçülen düzey arasındaki fark, yani gürültü perdesi ile ve gürültü perdesiz, bağlı farkı temsil edmektedir. Deneyler sırasında her bir yerde 12 okuma alınmıştır ve yöntem trafik şeridinin karşısında araçlar için her bir deney alanı için yaklaşık 50 okuma elde edinceye kadar tekrarlanmıştır. Normalin dışındaki gürültü durumları -araçların hızlarının değişmesinin, çok sayıdaki araçların ve sesli arka plan gürültülerinin neden olduğu gibi-ölçümlerden kabul edilmemiş ve kaydedilmemiştir.

Basit ve genellikle geniş bant gürültüsünün ölçümü için kabul edilebilir ölçekte olduğundan, bütün ölçümlerde A ağırlıklı desibel ölçeği (dBA) kullanılmıştır.

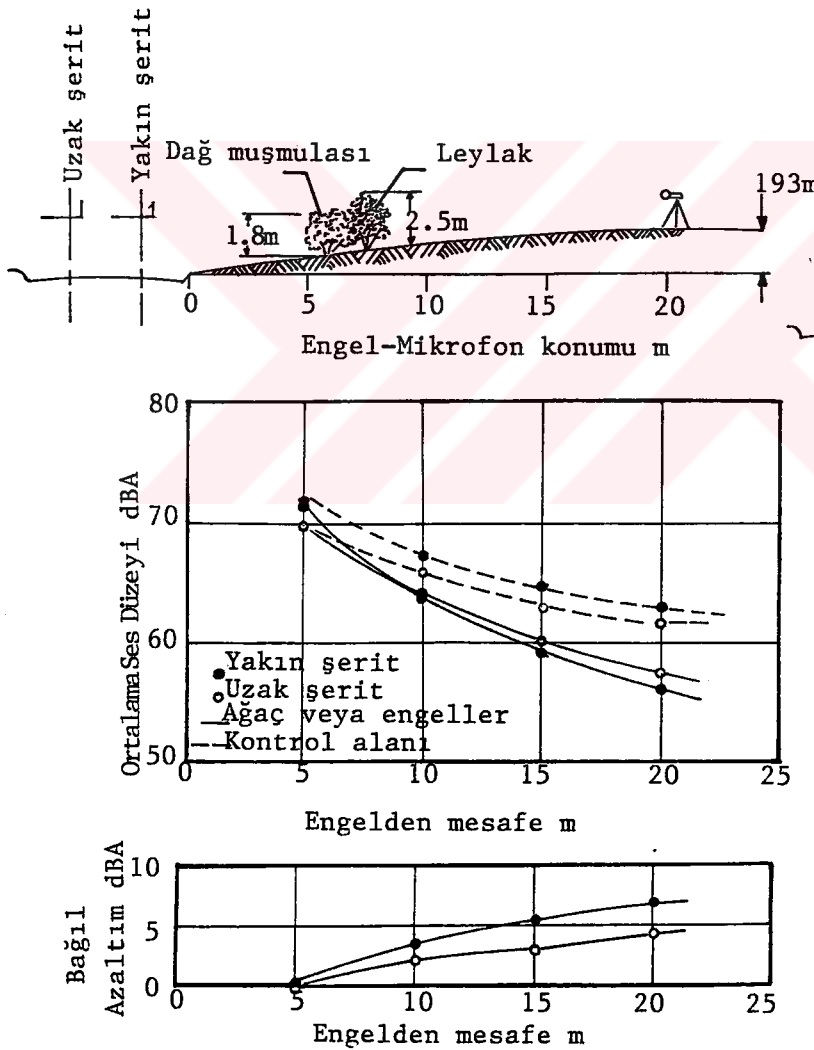
Plattsmouth ağaç çiftliği deney alanında, kontrollü üç değişken kullanılmıştır: Mesafe, yüzey hareketi ve duvar yüksekliği. Engelin merkez çizgisinden ölçülen 5, 10, 15 ve 20 m mesafeler deney yerleri olarak kabul edilmiştir.

Çim biçme makinesi gürültü kaynağı, merkez çizginin bir kenarında 5 m’ye, ses düzeyi ölçer de diğer taraftaki 5 m mesafeye yerleştirilmiştir. Hem kaynak hem de alıcı mesafeleri 20 m’lik alanda 5’er metre mesafe ile değişmektedir. Ölçümler 4 farklı yüzey hareketinde yapılmıştır: açık alanda (kontrol yüzeyi); çıplak duvarın arkasında: sadece ağaçların arkasında; ağaç ve duvar kombinasyonlarının arkasında 1.8 m (9 blok), 1.4 m (7 blok), ve 1 m’lik duvarlar, blok ekleyerek veya sabit olmayan blokları hareket ettirerek elde edilmiştir. Çim biçme makinesinin hızı sabit bir duruma getirilmiş ve ses düzeyi, her bir yerde önceden alınan ölçümlerde kontrol edilmiştir.

Verilen deney süresinde, her bir yer için yaklaşık bir dakika aralıkta 5 okuma alınmıştır. Her bir test alanı için, yaklaşık 20 okuma ile deney süresi 4 defa tekrarlanmıştır.

Çalışılan 11 alandan 8'i karşılaştırma amacıyla seçilmiştir. Aşağıda bu sekiz alandan ikisi örnek olarak verilmiştir.

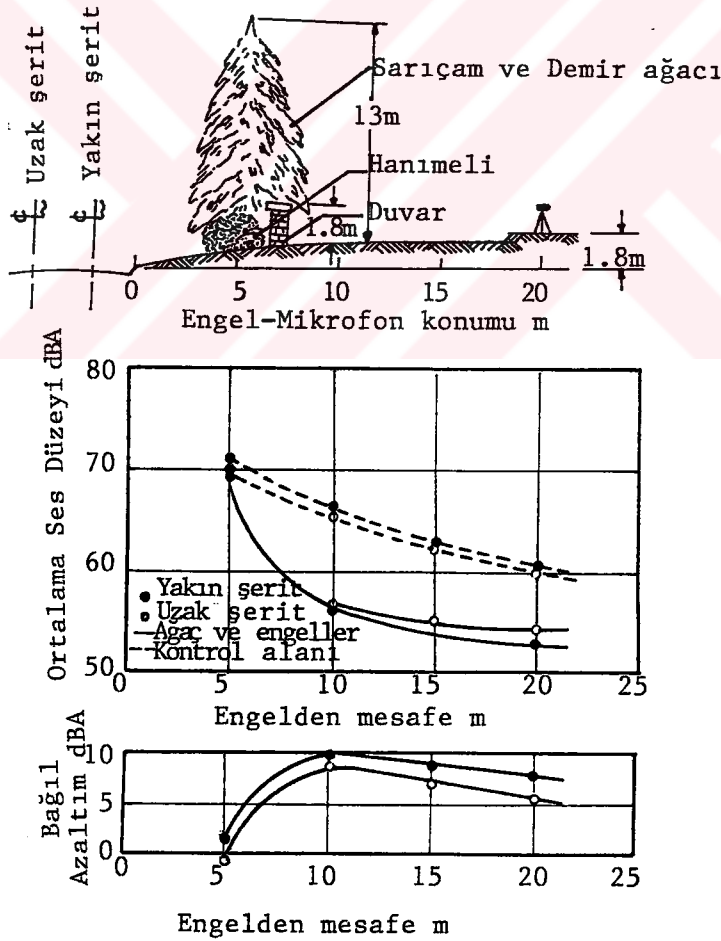
Alan 102: Bu yer, caddeden yerleşim yerine, yukarıya doğru derece derece yükselen yüzey ile belirlenir ve orta yükseklikte iki sıra yoğunluktaki süs çalısı, caddenin oldukça yakınında yer almaktadır. Trafik, çalılarının önündeki 5 m'lik yerin dışında, tamamen çalılarla gizlenmiştir. Ses düzeyleri bütün trafik şeritleri için oldukça benzerdir ve azalma yakın şerit trafiği için daha büyüktür (Şekil 47).



Şekil 47. Alan 102: Kesit, ses düzeyi ve azaltım (65).

Bu yerin önemli fiziksel özellikleri; kaldırımdan mesafe ile kademeli olarak artan zemin yükselişi ve orta yükseklikte iki sıra sık çalılardır. Şekil 47'de, yerleşim yakınında 55-60 dB arasında gürültü düzeyleri ve 15 m mesafede 5 dB üzerinde artan azalmalar gözlemlenmiştir. Sadece uzak şerit için, 5 m mesafede çok az azalma görülmüştür ve bunun, ağaç kuşağının içinde mikrofon yerinin kısa mesafede olması ile ilgili olduğu düşünülmüştür. Bu kuşağın daha masif ağaç yapısı trafik gürültüsünü biraz daha fazla azalttığı belirtilmiştir.

Alan 107S: Bu yer, caddeden gürültü perdesine doğru çok az dik, yukarı doğru eğimli yüzey ile belirlenir. Gürültü perdesini tek sıra süs çalısı, tek sıra uzun herdem yeşil bitki ve 1.8 m yüksekliğindeki tuğla duvar oluşturur. Trafik, 5 m mesafenin dışında tamamen duvar ile gizlenmiştir. Pek çok yerde ses düzeyi, yakın şerit trafiği için, uzak şerit trafiğinden çok az düşüktür. Azalma yakın şerit trafiği için hissedilir derecede yüksektir (Şekil 48).



Şekil 48. Alan 107S: Kesit, ses düzey ve azaltım (65).

Bu yerin önemli fiziksel özelliği zemin şekli, çok uzun sarı çam, demir ağacı ve 1.8 m yüksekliğindeki tuğla duvardır. Şekil 48'de, ses düzeylerini 15 m ve 20 m mesafede 55 dB'nin altında ve azalmalar 10 dB kadar yüksek, 20 m mesafede yaklaşık 7 dB'den daha az gözlemlenmiştir. Bu yer test edilen yerlerin arasında en sakinidir ve ses düzeyleri genellikle pek çok dış mekan yaşam şartları için kabul edilebilir olarak düşünülebilmektedir.

Bu yerleşim alanları için 15-20 m'lik alanlar en uygun yaşama alanlarıdır ve bu yerlerdeki ses düzeyleri çok önemlidir. 60 dB'nin altındaki ses düzeyleri gündüz dış mekan aktiviteleri için 55 dB'nin altındaki düzeyler gece saatleri için uygundur. 20 m mesafede 101, 102, 103 alanlarının 55 dB'nin biraz üzerinde 104, 105, 107S, 108 ve 110 alanlarının 55 dB'nin altında ses düzeyleri gösterdiği gözlemlenmiştir.

Değişimlerin sebebi 107S, 108 ve 110 alanlarında gürültü perdesine benzeyen bazı tip katı engellerin olmasındandır. 104 ve 105 alanları zemine yakın yerde nadiren yoğun bitki materyaline sahiptir. Alan 104 çok geniş kırmızı sedir ağaçlarına ve alan 105, ağaç sıralarının yol tarafında yoğun dağ muşmulası çalılarında sahiptir. Açık olarak, varoшта trafik gürültüsüne karşı maksimum koruma sağlamak için alçak, yoğun perdelemeye ihtiyaç vardır. Katı engelin olduğu alanlarda mesafe ile azalma ve azalmanın ani yükselişine dikkat edilmiştir. Bu özellikle, gürültü perdesinin bir kısmı olarak oldukça yüksek duvar içeren 107S alanında farkına varılacak şekildedir. Kırsal deney alanlarında gözlemlendiği gibi burada da duvarların hemen arkasındaki alanlar için katı engeller çok etkilidir ve bitkisel materyallerin biraz arkasındaki alanlar için bitkisel materyaller çok etkilidir. Anayolu trafik gürültüsünü engellemede, bu ikisinin kombinasyonunun arzu edilebilir olduğu görülebilir. Bütün kaynak mesafeleri ve duvar yükseklikleri için ağaç-duvar kombinasyonunun tek başına ağaçlardan çok daha fazla etkili olduğu görülmüştür. Daha alçak duvarların gürültü kaynağından daha uzak mesafelerde az etkili olduğuna dikkat edilmiştir. Bulunan fazla azalma, ağaçlarla birlikte kullanılan 1.4 ve 1.8 m duvarlarla bulunmuştur. Ses düzeyini yaklaşık yarıya azaltan 10 dB'lik değerler bulunmuştur. Sadece ağaçların olduğu yerde 5 dB'lik azalma bulunmuştur.

Tek başına duvarların, tek başına ağaçlardan daha etkili olduğu, ağaç ve duvar kombinasyonlarının bunların tek başlarına kullanılmasından çok daha etkili olduğu

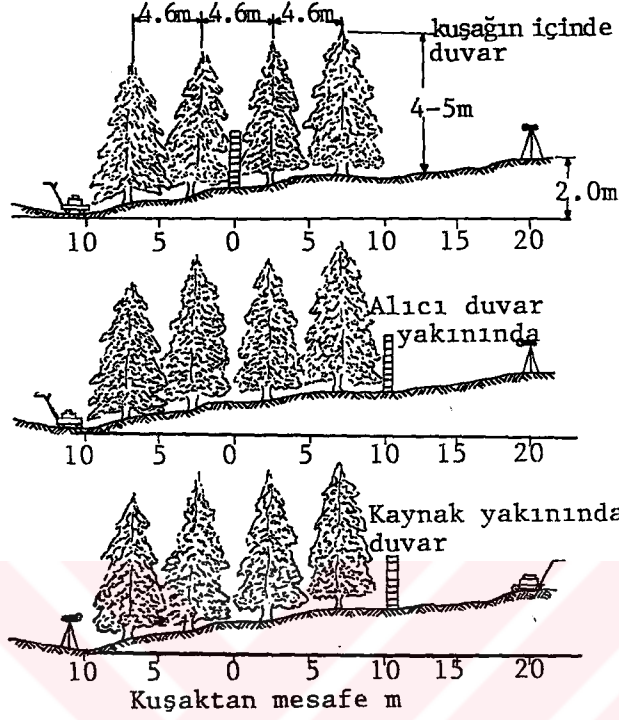
gözenmiştir. Kırsal alanlarda da; uzun geniş ağaç kuşakları ile birlikte toprak alan formları kullanılarak, benzer ilişkiler bulunmuştur.

Dört yıllık çalışma periyodu süresince, kuşaktaki ağaçların durumlarıyla ilgili gözlemlenen; 1972'de canlı ve yeşil olan içteki pek çok dalların ve iğne yaprakların, kahverengine döndüğünü ve 1976'da öldüğünü göstermiştir. Kuşağın içindeki boşluklara özellikle dikkat edilmiştir. Bunun nedeni de, ağaç kuşaklarının doğal olarak oluşan özelliklerine ve 4 yıl süresindeki kurak yazlara bağlıdır. Ağaçların boylarının uzamasıyla oluşan pozitif durumun, kuşağın içindeki alt dallarda sesi yutan ve yayan elemanların azalmasıyla dengelendiği görülmüştür. Ağaçlar tek başına, bazı durumlarda yeterli olabilecek ve genellikle yararlı 3-5 dB azalma göstermiştir. Eğer az şiddetli gürültü kaynaklarından sadece az gürültü engelleme gerekseydi, birkaç sıra ağacın bu amaca hizmet edeceği sonucuna varılmıştır. Gürültünün daha şiddetli olduğu yerde, katı engelin eklenmesi gerekli görülmüştür.

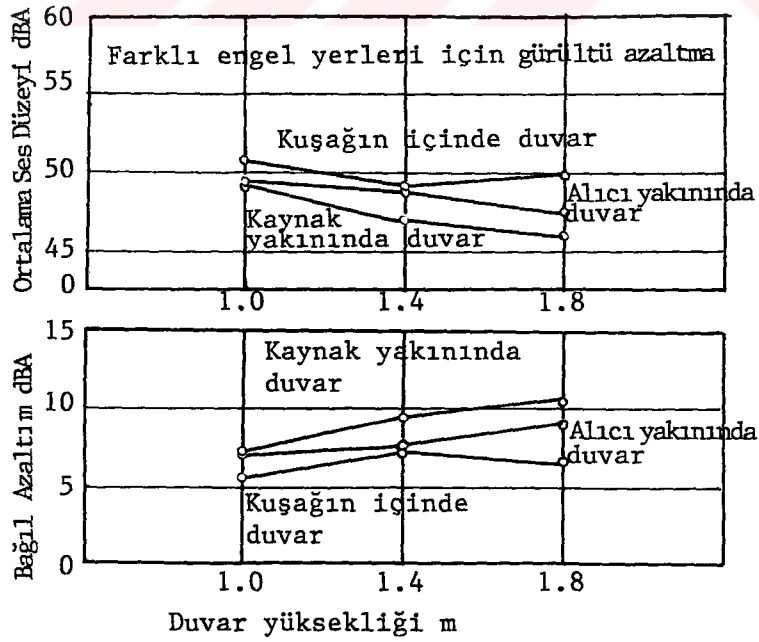
Katı engel, gürültü azaltmak için ağaç kuşaklarıyla birlikte kullanıldığında engelin ve ağaçların birbiriyle ilişkili yerleşimi, birleşimin ne kadar etkili olacağını göstermektedir. Şekil 49 ağaçlarla beraber katı engelin 3 farklı yerleşimini, uygun 30 m'lik alanda, göstermektedir. Yukardan aşağıya sırasıyla kuşağın içinde, arkasında ve önünde -öndeki gürültü kaynağı kısmı ve arkadaki korunan alan kısmı olarak düşünülerek- yer alan duvarlar görülmektedir.

Duvar, gürültü kaynağına yakın yerleştirildiğinde, kombinasyonun çok etkili olduğu, kaynak ve alıcının ortasına yerleştirildiğinde az etkili olduğu görülmüştür. Daha yüksek duvarlar daha etkili olmaktadır. Gürültü kontrolü açısından, kombinasyonda kullanılan duvar, bitkilerin gürültü kaynağı tarafına yerleştirilmelidir. Bu sonuç, tek başına katı engellerdeki teorik sonuçlarla genellikle aynı görüşte olduğu belirtilmiştir (Şekil 50).

Varoş gürültü kontrolü, gürültüye duyarlı alanlarda mesafe, yüzey şekli ve bitki materyallerinin doğal özelliklerinin avantajını kullanarak ve ciddi planlama ile en iyi şekilde başarıldığı görüşündedirler. Alanın fazla olduğu ve alanın sert olmadığı yerde, tek başına bitki materyali yeterli olabilir. Diğer durumlarda katı engelin eklenmesi, tercihen toprak alan formu veya tepe gerekli olabilir. Çim veya diğer alçak bitki materyali, uzun ağaçlar ve çalılara ek olarak kullanılması gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 49. 30 m uygun mesafede farklı engel yerleri (65).



Şekil 50. Farklı engellerin gürültü azaltması (65).

Ağır trafiğin yerleşim alanına yakın geğtiği yerde bitki materyali-katı engel kombinasyonun gürültü problemini çözüp çözmeyeceği belirsizdir. Otomobil trafik gürültüsünün nispeten tekdüze olmasından dolayı, bitki materyalleri buralarda çok kullanışlı olabilir denmektedir.

Aşağıdaki öneriler, varoş gürültü kontrolü için farklı kombinasyondaki ağaç, çalı ve katı engellerle ilgili çalışmanın sonuçlarına dayanmaktadır.

1) Yerleşimin yolun merkezinden en az 25 m mesafede olduğu varoş alanlarda otomobil trafik gürültüsünü kabul edilebilir düzeye azaltmak için, bir veya iki, sürekli sıra halinde olan yoğun çalılar kaldırım kenarına mümkün olduğu kadar yakın ve bir veya iki, sürekli sıra halinde olan ağaçları çalıların arkasına dik. Bu sıraların biri veya her biri bütün yıl için koruma sağlayacak herdem yeşil türlerden olmalıdır. Bu tavsiye şiddeti az olan rahatsız edici gürültüler için geçerlidir. Zemin düzeyine yakın maksimum yoğunluk korunmalıdır.

2) Yüksek hızlı yolcu otomobili ve hafif kamyon gürültüsünü azaltmak için, toprak set, taşlardan örölmüş duvar veya ahşap çiti kaldırım kenarına mümkün olduğu kadar yakın inşa et, 1.önerideki gibi ağaç ve çalı sıralarını dik. Setin önündeki bir sıra çalı veya yumuşak bitki materyali kaplaması yoldan karşıya geri yansımaları azaltacaktır. Engelin yüksekliği, gürültü kaynağı ve korunan alan arasını perdelemek için yeterli olmalıdır (Engel, gürültü kaynağı görüntüsünü kesecek yükseklikte olmalıdır). Bu öneriye, 1. durumdan daha şiddetli durumlarda başvurulur. Bitkisel materyal olgunlaşıncaya kadar katı engel gürültü kontrolü sağlayacaktır.

3) Trafiğin büyük bir çoğunluğunu daha büyük araçların oluşturduğu veya yerleşim yolun merkezinden itibaren 20m'den daha az mesafede olduğu, çok daha şiddetli durumlarda, daha yüksek katı engeller, daha çok ağaç ve çalı sıraları gerekir ve buna rağmen tamamen, her zaman yeterli sonuç almak mümkün değildir, fakat durum geliştirilebilir.

4) Yakın çevreden gelen çim biçme makinesi ve diğer küçük elektrikli aletlerin gürültüsünü azaltmak için, bir veya iki sıra sürekli yüksek yoğunluklu çalılar, zemin düzeyine yakın yerde maksimum yoğunluğa sahip ve bir veya iki sıra sürekli orta yükseklikte yoğun ağaçlar dik. Gürültünün şiddetli olduğu yerde 1.5 m yüksekliğindeki duvar eklenebilir, denmektedir (65).

Kellomaki et al. (66), kent gürültü kontrolü için ağaç meşcerelerinin özellikleri ve bunların kent ormanına uygulanması ile ilgili çalışmışlar yapmışlardır.

Kent gürültü kontrolünde bitki örtüsü pek çok farklı alternatif sağlamaktadır. Çalı tabakası içeren meşcere bölümü gibi, ağaç türü kompozisyonu ve diğer niteleyici özellikler, gürültü azaltmada etkilidir. Meşcerenin yoğunluğu, yüksekliği ve biyokütlesi de niteleyici özellikler gibi incelenmelidir. Hiçbir meteorolojik faktör direkt olarak kontrol altına alınamayacağından bunlar bu çalışmanın, çalışma alanının dışında tutulmuştur. Farklı gürültü kontrolü teknikleri arasında karşılaştırma yapıldığı zaman, değişik etkenleri kontrol etmenin çok önemli olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada başlıca Finlandiya'ya özgü ağaç türlerinin gürültü azaltma kapasiteleri, sarı çam (*Pinus slyvestris*), Avrupa Ladini (*Picea abies*) ve huş (*Betula verrucosa* ve *B.pubescens* bunlar çoğunlukla iğne yapraklılarla karışıktır) ile ilgili ölçümler yapılmıştır.

Çalışmalar, bitki örtüsünün gürültü azaltma kapasitesini belirlemede, bitki örtüsünün en yoğun olduğu yaz mevsiminde tamamlanmıştır. Farklı frekanslarda bitki örtüsünün gürültü azaltma etkisi çalışılmamıştır. 63 Hz'den 4000 Hz'ye kadar olan frekans bantları birbirleriyle ilişkilidir.

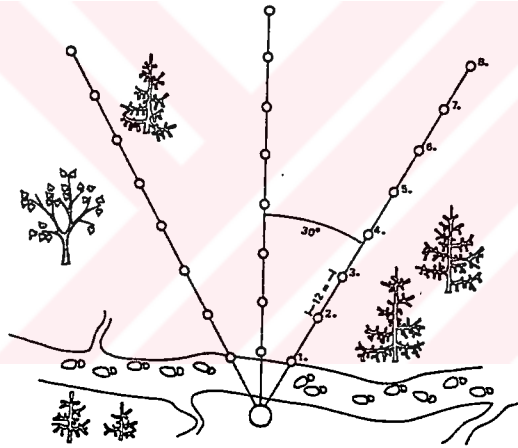
Çalışma 1974'te Helsinki Üniversitesi Orman Araştırma Bölümü'nde yapılmıştır. Ses azalmasına ağaç meşcerelerinin etkisi, fide meşcerelerinden olgun meşcereye kadar farklı gelişme alanlarındaki çam ve ladin meşcerelerinde çalışılmıştır. Çalışma alanı saf huş meşceresi içermediğinden, onun yerine istekleri karşılayan karışık huş-iğne yapraklı meşcere kullanılmıştır. Bu karışık meşcereler de iğne yapraklı meşcerelerdeki gibi gelişme dizilerini göstermektedir. Karışık meşcereler hacim olarak en az % 20 huş veya diğer geniş yapraklı ağaçları içermektedir.

Çam meşcereleri *Vaccinium* ve *Calluna* cinsinin olduğu yerde, ladin ve karışık meşcereler *Myrtillus* cinsi veya bataklık yerlerde yetişmekteydi.

Gürültü ölçme ekipmanları, elektronik ses kaynağı, her biri pil ile çalışan ses düzeyi ölçerlerden oluşmaktadır. Ses kaynağı, gürültüyü küresel dalga olarak yayan ses yayıcı, gürültü üretici, amplifikatörden ibarettir. Gürültü beyaz gürültü olarak (20 Hz-100 kHz arası oktav bantlar) adlandırılır ve ses kaynağından 1 metre mesafede gürültü düzeyi 100 dB'dir. Ses düzeyi ölçüm sonuçları dB(A) biriminde verilmiştir.

Ses kaynağı çalışma meşceresinin kenarından 12 m mesafede, genellikle yol üzerine, ölçüm durumunu mümkün olduğu kadar doğal yapmak için yerleştirilmiştir. Gürültü kaynağının diğer tarafında, ya orman ya da açık alan vardır. Şekil 51'de gösterildiği gibi ağaç çizgisi boyunca birbirinden 12 m ara ile 24 ölçüm noktası belirlenmiştir. Ölçüm periyodu süresince ses kaynağı çalışmaya devam etmiştir. Ses düzeyi ölçen alet ses kaynağına doğru yöneltilmiştir (zeminden 1.2 m yukarıda), üç çizginin verileri toplanmış ve verilerin ortalama değeri analizde kullanılmıştır.

Ağaç türü kompozisyonu, gelişme bölümü, dikey meşcere yapısı, meşcere yoğunluğu, bitki yüzeyi, meşcere yüksekliği, meşcere hacmine bağlı olarak gürültünün azaltılmasının incelenmesinde birtakım istatistiksel metotlar kullanılmıştır ve azalma katsayısına bağlı olarak her bir alandaki ses düzeyleri hesaplanmıştır (İstatistiksel metotlara burada yer verilmeyecektir).



Şekil 51. Ölçüm konumu (66).

Ladin ve karışık meşcerelerin gürültü düzeyini çam meşceresinden daha etkili olarak azalttığı belirtilmiştir. Diğer taraftan azalma katsayısı, en düşük değerlerini fidanlık meşcereleri ve orta yaşlı meşcerelerde almıştır.

Ağaç meşcerelerinde azalma, meşcere özelliğine bağlı olarak % 20-60 artar. Dengeli ağaç türü ve gelişme bölümü kompozisyonu ile bir ormanlık alan, saf geometrik dağılım ile karşılaştırıldığında gürültü düzeyini yarıya azalttığı belirtilmiştir.

Huş meşceresinin taç sisteminin morfolojisi, çam meşceresine benzediğinden hem yazın hem de kışın huşun azalma katsayısı çok yüksek değildir. Karışık meşcereler,

özellikle ladin ve geniş yapraklı meşcereler yüksek gürültü azaltma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Meşcerenin gelişme bölümü, meşcerenin azaltma kapasitesine bağlı olarak önemli olduğu ispat edilmiştir. Özellikle yeni filizlenen meşcereler (1.5-4 m yüksekliğinde) ve orta yaşlı meşcereler yüksek azalma kapasitesine sahiptir. Olgun çam meşceresindeki azalmanın herhangi diğer meşcereden hatta açık çevre alanından daha az olduğu bulunmuştur. Gövdelerin ve dalların meydana getirdiği sesin yansımaya dikkat çekilmiştir. Bu, çalışmada gözlemlenen artan ses düzeylerinin sonucu olabilir. Taç sisteminden yansımaya da önemli rol oynayabilir. Bunun yanında, ses ileticinin arkasındaki zemin örtüsünün kalitesi, göz önüne alınmalıdır, çünkü bundaki farklılıklar, ölçümlerde hatalar meydana getirebilir. Gürültü azaltmada meşcerenin yoğunluğunun da önemli olduğu ispat edilmiştir.

Sonuçların ses azaltmada yüzey tarafından yutulmanın rolü ile ilgili Beck'in teorisi ile daha yakından ilgili olduğu bildirilmiştir. Özellikle yükseklik ve meşcerenin dikey yapısı arasındaki ilişki ve gürültü azaltma bu fikri desteklemiştir. Böylece, zemin ve taç düzeyi arasındaki hacime bağlı olarak toplam yaprak ve iğne yaprak miktarı önemlidir. Görünen en iyi durum, zeminle taç düzeyi arasındaki alanda iğne yaprak ve yaprakların eşit olarak dağılmasıdır. İğne yaprak ve yaprakların şekil ve karşılıklı olma durumunun yanında gürültü azaltmada iğne yaprak ve yaprakların boyutunun da önemli olduğu denmektedir.

10-12 m meşcere yüksekliği ile gösterilen ard arda olan bölümde gövdelerin hızlı olarak doğal budanması ile azalma kapasitesinde düşme görülmüştür. Ayrıca, olgun meşcerelerdeki alçak gövde sayısı, azalma katsayısı ve meşcere yüksekliği arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi açıklamada göz önüne alınmalıdır. Özetle meşcere gelişme bölümünde bu açıdan meşcere yüksekliğinin öneminin büyük olduğu belirtilmiştir.

Beck, bir meşcerenin azaltma kapasitesini arttırmada, çalı tabakasının önemli olduğunu belirtmiştir. Bir çalı tabakasının bir meşceredeki dikey yapıya çeşitlilik vereceği düşünülebilir. Bir çalı tabakası, gürültü kontrolünde önemli olduğu bilinen gürültü kaynağının karşısındaki meşcerenin kenarına yerleştirebileceği söylenmektedir.

Hiçbir tek meşcere özelliğinin yeterli etkiye sahip olmadığı bulunmuştur. Bunun en önemli sebebi taç sistemi özelliğini, özellikle dikey yapısını içeren hiçbir değişkenin

test edilmediği gerçeğidir. Ancak bu faktörler meşcerenin azaltma özelliklerini açıklamada büyük rol oynamıştır. Kent alanlarında oluşturulacak yeşil alanlarda kullanılabilen ve kolaylıkla belirlenebilen meşcere özelliği bulmaya önem verilmiştir. Meşcerede gürültü azaltma ile ilgili herhangi bir faktörü açıklamak için zemin ve taç düzeyi arasındaki taç kütlesi ve hacmi üzerine çalışmanın yoğunlaştırılmasının gerektiği üzerinde durulmuştur.

Ağaç türü kompozisyonuna bağlı en iyi azalma, oldukça genç meşcerelerde bulunduğundan sadece gürültü kontrolü göz önüne alınırsa gençleştirme çalışmalarının yararlı olacağı bildirilmiştir. Ancak rekreasyonel kullanım, çevre değerleri, havayı temizlemede meşcere özelliği ve diğerleri göz ardı edilememektedir. Açık alandaki insanlar olgun çam ve huş meşcerelerini tercih edebilmektedir. Diğer taraftan iğne yapraklı ve geniş yapraklı karışık genç meşcereler hava kirliliği kontrolü için tercih edilebilmektedir. Bu farklı amaçlar verimli yerlerde katlı meşcerenin yetiştirilmesi ile birleştirilebilir. En yüksek ağaçların tepesi alt kattaki bitkilere ışığın ulaşmasını sağlayacak yeterli açıklıkta olmalıdır. En yüksek ağaç yüksekliği çam ve huştan, alttakiler çoğunlukla ladinden oluşmalıdır. Böylece kent ormanının amacına uygun olacağı belirtilmiştir.

Özetle; 1) İyi şartlarda ağaçlardan meydana gelen aşırı azalma, azalma enerji biriminde ifade edildiğinde, sadece geometrik dağılımın meydana getirdiği azalmanın % 60 olduğu,

2) Meşcerede gürültünün hareketini belirlemede meşcerenin yoğunluğu ve yüksekliği oldukça yüksek değerlere sahip olmasına rağmen, toplam iğne yaprak veya yaprak ve gövde miktarlarının en önemli faktör olduğu,

3) Gürültü kaynağı ve alıcı nokta arasındaki gürültü kaynağının ses düzeyi ve ağaç türü kompozisyonu, meşcerenin yüksekliği ve yoğunluğu bilinirse, gürültü kaynağından herhangi bir mesafedeki gürültü düzeyinin bulunabileceği,

4) Meşcerelerin genç bölümlerinin olgun meşcerelerden daha iyi azalmalar gösterdiği sonucuna varılmıştır (66).

Ağaç kuşaklarıyla gürültünün azaltılması üzerine birtakım çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, yüksek frekans alanlarındaki önemli azalmaları göstermektedir. Bazı çalışmalarda da psikolojik etkilerin fiziksel etkilerden çok daha fazla olduğu

belirtilmiştir. Psikolojik ve fizyolojik etkiler üzerine olan büyük sayıdaki çalışmalar deneysel metotlar kullanılarak yapılmıştır. Ölçme için yeterli alanların olmayışından dolayı, sosyal ölçmelerle ilgili çalışmalar da vardır.

Yamashita et al. (67), ağaç kuşaklarının yol trafiği gürültüsüne etkisini, ağaç kuşağı olan ve olmayan yerde toplumun gürültüye karşı verdiği cevapla karşılaştırmayı amaçlamışlardır.

Kuzey Japonya'da, Tomakomai'deki trafik yolu boyunca, halkın yol trafik gürültüsü hakkındaki görüşleriyle ilgili sosyal ölçüm yapılmıştır. Yolu sadece kuzey kısmında 17 m genişliğinde ağaç kuşağı vardır. Yaya yolları ağaç kuşağının içinde yer alıyordu. Günlük 24500 olan trafik hacmi, 24 saat boyunca el ile sayılmıştır. Bu trafik hacminde ağır taşıtların yüzdesi % 10.2'dir.

Anket kişisel faktörler, çevresel faktörler, çevresel kirlilik faktörleri, evsel faktörleri ve yol trafik gürültüsü etkileri ile ilgili sorular içermektedir. Evlerin hepsi yoldan ayrıdır ve yolla karşı karşıyadır veya yoldan bir veya iki evle ayrılmıştır. 18-65 yaş arasında 290 kişi her evden bir kişi olacak şekilde rastgele seçilmiştir. Yolla karşı karşıya olan veya yoldan bir veya iki evle ayrılan 184 anketörün cevapları analizde kullanılmıştır. Yani, anketörlerden 100'ü ağaç kuşağı olan tarafta (yolun kuzey kısmında) ve 84'ü ağaç kuşağı olmayan taraftadır (yolun güney kısmında).

Gün boyunca gürültü ölçümü yolun ortasında yol banketindeki referans noktada yapılmıştır. Yoldan eve kadar olan gürültünün azalmasını belirlemek için 5 dakikalık eş zamanlı ölçümler eve yakın yol banketlerinde ve evin önünde yapılmıştır. L_{eq} , L_{dn} , L_{max} gibi gürültü göstergeleri, her dakikada örneklenen tüm-gün verileriyle hesaplanmıştır. Gürültü azaltma ölçümlerinde her alan 6 parçaya bölünmüş ve her bir parçadaki 10 evde eş zamanlı ölçümler yapılmıştır.

Her iki tarafta da cevaplayıcıların yaş dağılımı çok farklı değildir. Ağaç kuşağı olan kuzey kısımda gürültü miktarı ağaç kuşağı olmayan güney kısımdan daha azdır. Her iki tarafta da anketörlerin gürültüye karşı duyarlılığında sistematik bir farklılık bulunmamıştır. Yol güvenliği ve doğal çevrenin değerlendirilmesi kuzey kısımda güney kısımdan daha iyidir. Bu, ağaç kuşakları ve içinde yer alan yaya yollarının iyi değerlendirildiğini göstermektedir.

Güney kısımda kuzey kısma göre yol trafiği gürültüsünden çok rahatsız olan anketörler daha çoktur. Hava kirliliği için her iki tarafta da fark bulunmamış olmasına rağmen, taşıtların eksozundan “oldukça rahatsız” ve “çok rahatsız” olan cevaplayıcılar oranı güney kısımda kuzey kısımdan daha çoktur. Bunun ağaç kuşaklarının psikolojik etkisinden kaynaklanıyor olabileceği görüşündedirler.

Yolla karşı karşıya olan evlerde yaşayanlar ya da yolun karşısında olmayan evlerde yaşayanlar ve ağaç kuşakları ile karşı karşıya olan evlerde yaşayanlar ya da ağaç kuşakları ile karşı karşıya olmayan evlerde yaşayanların cevapları karşılaştırılmıştır. Çok rahatsız olanların oranı evleri direk olarak yolun karşısında olanlarda en fazla ve ağaç kuşakları ile karşı karşıya olan evlerde en az bulunmuştur. Fakat yolun karşısında olmayan evlerde ve ağaç kuşaklarının karşısında olmayan evlerde verilen cevaplar benzer ilişki göstermiştir. Cevaplar evlerin yolla ve ağaç kuşağı ile karşı karşıya olma durumuna göre değişmiştir. Rahatsızlığın gürültü kaynağını saklamakla ve ayrıca ağaçlarla karşı karşıya olmakla daha az etkili olabileceği ileri sürülmüştür. Uyku kalitesi, gürültüye duyarlılık ve L_{eq} , rahatsızlığı güney kısımda daha çok etkilerken ağaç kuşağı olan kuzey kısımda yol güvenliği güçlü bir şekilde rahatsızlığı etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu, gürültüyü değişik faktörlerin nasıl etkilediğini gösterir. Bu evlerin etrafında güvenlik etkisi ağaçlarla karşı karşıya olmakla artar. Gürültü rahatsızlığı kuzey kısımda azalır. Analizlerden; 1) Verilen cevaplardan rahatsızlığın ağaç kuşakları ile psikolojik olarak daha az olabileceği,

2) Taşıt eksozu ve titreşim her iki kısımda da gürültü rahatsızlığı üzerinde oldukça etkilidir ve bunlara karşı ölçümlerin çok önemli olduğu,

3) Yolla karşı karşıya olan ve ağaç kuşağı olmayan güney kısımda, gürültü kaynağı ile ilgili olan etkenler rahatsızlığı güçlü bir biçimde etkilediği, güvenlik etkisi ağaçlı olan kuzey kısımda rahatsızlığı daha çok etkilediği sonucuna varılmıştır (67).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitkilerin gürültü azaltmaları ile ilgili yapılan ölçümler sonucunda meydana gelen azalmalar, sadece kullanılan bitkilerdeki farklılıklardan kaynaklanmaz. Farklı alıcı çizgisel kaynak konumları, gürültü kaynaklarının farklı spektraları, kontrol ve deney alanlarındaki yüzeyin farklılaşması, meteorolojik durumlar arasındaki farklılıklar, farklı sonuçlara neden olabilmektedir. Yapılan çalışmalar bu açılardan tartışılacaktır.

Aylor, mısır ürünü, yoğun sert odunlu fundalıkta, çam ormanında ve bozulmamış suga plantasyonunda, sesin iletimine yaprak alanı, gövde çapı ve gövde yoğunluğunun etkilerinin araştırmak için gelişmiş güzel gürültü üreten gürültü kaynağı ile alan ölçümleri yapmıştır.

Sesin iletiminde yaprak alanının yoğunluğunu belirlemek açısından kaynak ve mikrofon yüksekliği, sesin yaprakların içinden geçecek şekilde yükseltilebilirdi. Çünkü, özellikle çam ve suga plantasyonunda, kaynak ve mikrofonun yer aldığı 1.3 m mesafede iğne yapraklar yer almıyordu. Bu yükseklikte yapılan ölçümler ancak gövde çapı ve yoğunluğunun sesi azaltması ile ilgili yapılmış ölçümler olabilir. Bu amaçla, farklı alıcı-kaynak yüksekliğinde ölçümler tekrarlanabilirdi.

Ölçümlerin fundalık alan için, yazın ve sonbaharda yapılmış olması yaprakların sesin iletimine etkisini ortaya koymak açısından yararlı olmuştur.

Çalışmada, rüzgar, sıcaklık ve bağıl nem ile ilgili ölçümler yapılmış ve ölçülen toplam iletim kaynağından hesaplanan sapma ve atmosferik yutulmanın çıkarılması ile aşırı azaltım hesaplanmıştır. En az 100 m uzaklıkta hava moleküllerinin sesin frekansına, hava sıcaklığına ve bağıl neme bağlı olarak sesi yuttuğu bilinmektedir (7). Dolayısıyla bu mesafede aşırı azaltımın atmosferik yutulmaya bağlı olarak hesaplanmış olması doğru bir yaklaşımdır.

100-500 Hz frekansta çam ile ilgili 30.5 ve 61 m mesafelerde olmak üzere iki ölçüm yapılmıştır. Azalmanın mesafe ile doğrusal olmadığı ortaya koyulmuştur. Bu çalışma orta ve yüksek frekanslarda da yapılarak, azalmanın mesafeyle beraber frekansa bağlı olup olmadığı karşılaştırılabilirdi. Çünkü alçak frekanslarda ses ancak zemin örtüsü tarafından yutulacaktır. Yüksek frekanslı seslerde ise yapraklar ve dallar etkili

olacaktır. Azalmanın, mesafenin artması ile değişip değişmediği sonucuna yüksek frekanslı ses kullanılarak da varılabilirdi.

Ölçümler sonucunda, yaprak yoğunluğunun artması ile yaprak etkisinin arttığı, yaprak genişliği ve yaprak kalınlığının da bu etkiyi arttırdığı belirtilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı bu alanlar içinde gürültünün azaltılmasında en etkili alan olarak mısır ürünlerinin olduğu alan bulunmuştur. Mısır ürününün bulunduğu alanın bu kadar yüksek düzeyde gürültü azaltma sağlamanın nedeni de mısırın birim hacimdeki yaprak alanına bağlıdır.

Ancak gürültü probleminin çözümünde bitkisel materyal ile çözüm aranmak istendiğinde, mısır ürününün bir çözüm önerisi olarak kullanılıp kullanılmayacağı tartışılır.

Harris ve Cohn, Harris'in çalışmalarının amacı; seçilen her dem yeşil bitki örtüsü kuşaklarının gürültü azaltma etkisini incelemektir. Bu kapsamda karayolu boyunca yer alan üç farklı alanda ölçümler yapılmıştır.

Harris ve Cohn, her dem yeşil, dar bitki örtüsü engellerinin karayolu gürültü düzeylerinde ölçülebilir azalmalar sağlayacağını ve bu engellerin bazı durumlarda geleneksel engellere alternatif olarak kullanılabileceğini açıklamak amacıyla karayolu yakınında yer alan üç farklı alanda görsel perdeleme amacıyla yetiştirilmiş bitki örtüsü alanları kullanıldı. Bu alandaki türler çam, kamış ve kurtbağrından oluşmaktaydı. Referans gürültü düzeyini ölçmek amacıyla bitki örtüsünün önüne ve bitki örtüsünün meydana getirdiği azalmaları hesaplamak için bitki örtüsünün arkasında farklı iki mesafeye mikrofonlar yerleştirilerek 1 ve 2. mikrofonlar için ek azalmalar hesaplandı.

Atmosferik durumlardaki değişikliklerin etkisini en az seviyeye indirmek için rüzgar-sıcaklık-bağıl nem verileri her bir gürültü ölçümü zaman periyodu için çıkarıldı. Elde edilen verilerin ölçümleri etkilemeyeceği düşünülerek hesaba katılmadı. Kaynak ve alıcı arasındaki mesafeler çok fazla olmadığından hava tarafından yutulma da olmayacaktır. Dolayısıyla gürültü düzeylerinin hesaplanmasında hava tarafından yutulma göz önüne alınmamıştır.

Üç alanın kesitlerine bakıldığında topografyanın tamamen düz olmadığı görülmektedir. Fakat gürültü düzeylerinin hesaplanmasında topografyanın meydana getirebileceği azalma hesaba katılmamıştır ve 1. mikrofon düzeyindeki ek azalmaların bitki örtüsü engelini etkisi sonucu olduğu belirtilmiştir.

1. ve 2. mikrofon konumunda, bitki örtüsü engelleri arada yokmuş gibi gürültü düzeyini hesaplamak için model kullanılmıştır. Engelsiz ölçümler, bu üç alanda aynı kaynak, mikrofon yüksekliğinde ve aynı mesafelerde yapılarak modelde hesaplanan gürültü düzeyleri ile karşılaştırma yapılabilir.

Sonuçta 0.3 m derinlikte 0.1-0.2 dB(A) arasında değişen ek azalmalar hesaplanmıştır. Başka araştırmacılar tarafından da 0.3 m derinlikte 0.3-0.4 dB(A) ek azalmalar bulunduğunu ve uygun şekilde dikilen ve her dem yeşil olması sağlanan bitkisel engellerden 0.3 m derinlikte 0.2-0.3 dB(A) ek azalma beklenebileceği ileri sürülmüştür. Ancak böyle bir genelleştirme yapabilmek için seçilen bitki örtülerinin benzer özellikte olması gerekir. Farklı boylarda farklı tepe tacına sahip her türlü bitki örtüsünden aynı azalmayı beklemek mümkün olmayabilir.

Seçilen alanlardaki mevcut türler gürültü kontrolü amacıyla dikilmiş türleri içermediğinden sonuçlar önemsenmeyecek düzeyde değildir. Ancak kamış türü gürültü kontrolü amacıyla gerek ekolojik istekleri açısından gerekse estetik açıdan tüm mekanlarda kullanılabilir bir tür olmayabilir.

Martens et al., gürültünün nokta kaynaktan mı yoksa çizgisel kaynaktan mı yayıldığını karşılaştırabilmek için çalışmalar yapmışlardır. Daha önce ladin ormanında durgun ses kaynağı kullanarak elde edilen sonuçlar bu defa karayolu boyunca bir kaç tane kayın ağacı ile beraber küçük huş ve meşe ağaçlarının yer aldığı çam ormanında elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Sonuçta, bitki örtülerinin akustik özelliklerini karşılaştırabilmek için daha az karmaşık olan sabit ses kaynağı kullanılmasının tercih edilebileceği ileri sürülmektedir. Mitscherlich ve Scholzke ise nokta kaynak olarak hoparlör ve çizgisel kaynak olarak yol trafiği gürültüsünü kullanarak yaptıkları araştırmada ormanlar tarafından trafik gürültüsünün azalma oranının nokta kaynak durumundan daha az olduğunu bulmuşlardır (53).

Alçak frekanslarda ladin ormanında maksimum azalma görülmüştür. Bunun nedeni de alçak frekanslardaki azalmanın zeminden yansıyan ses dalgaları arasındaki girişimden meydana gelmesinden kaynaklanabilir.

Böyle bir karşılaştırma yapabilmek için, ölçüm yapılan iki alandaki bitki örtüsü engelinin benzer özellikte olmasında yarar vardır (bitki örtüsünün kapladığı alan,

bitkilerin ortalama boyu). Seçilen iki türden ladin türü, yerden itibaren dallandığı için çam türüne göre daha etkili gürültü perdesi olabilecektir.

Çam ormanı yaprağını döken türler içerdiğinden, bu ormanın gürültü azaltma etkisi yazın ve kışın değişecektir. Ölçümlerin farklı mevsimlerde sürdürülerek gürültü azalmaları arasındaki farkın da ortaya koyulması gerekir. Aynı hava koşullarında, aynı bitki örtüsü engeli ve aynı ölçüm aleti kullanılarak hem nokta kaynak, hem de çizgisel kaynaktan ölçüm yapıldığında, gürültünün nokta kaynaktan mı, yoksa çizgisel kaynaktan mı yayıldığı karşılaştırılabilir.

Schuller ve Zeeuw, farklı iki alanda engellerin perdeleme etkisine bağlı olarak ağaçların etkisini araştırmak için model ölçümleri ve tam ölçekli ölçümler yapmışlardır.

Model ölçmeleriyle tek başına engelin çam ve yapraklı ağaçla beraber engel etkisinden daha etkili olduğu bulunmuştur.

Engelin üzerinde çam ağacı olduğunda azalma, engel üzerinde yapraklı ağaç olduğundaki azalmadan daha çoktur. Çünkü, yapraklı ağaçlar özellikle yapraksız olduğu dönemde ses enerjisini yayarak gürültü azalmasını düşüreceklerdir (17).

Tam ölçekli ölçümlerde yapraklı ağaçlarla, ağacın yapraklarının olmadığı, tomurcuklu olduğu ve tamamen yapraklı olduğu mevsimlerde ölçümler yapılmıştır. Ağaçların, yapraklar yokken etkili olmadığı, tomurcuklu iken dalların tomurcukların dağıtma etkisiyle etkinin tüm frekanslarda az olduğu, yapraklı olduğunda orta frekanslarda engelin azaltma etkisinde artma, dağılma ile yüksek frekanslarda azalma olduğu sonucuna varılmıştır.

Böyle bir çalışma her dem yeşil, alttan itibaren yoğun dallanan türlerle de denenerek, farklı frekanslarda bu türlerin gürültüyü azaltmaları ile ilgili sonuçlar ortaya koyulabilirdi. Böylece bir gürültü probleminin çözümünde engelle beraber kullanılacak türlerin hangi özellikte olması gerektiği ortaya koyulabilirdi. Ayrıca kaynak-alıcı mesafeleri de değiştirilerek, farklı kaynak-alıcı mesafelerinde engel-bitki örtüsü etkisi ölçülebilirdi.

Cook ve Haverbeke, tarafından ağaç ve çalılıkların ses azaltma etkilerini belirlemede, kırsal ve kentsel deney alanlarında 1969-1971 yılları arasında ölçümler yapıldı.

Gerçek trafik gürültüsü ile teybe kaydedilen trafik gürültüsü, ağaç ve çalı kuşağının ötesinde değişik mesafelerde ölçüldü. Daha sonra ağaçsız benzer yüzeylerden aynı sesler gönderildi. Böylece ağaç ve çalı kuşaklarının ne kadar azalma sağladıkları hesaplandı.

Ses kaynağından farklı mesafelerde ağaçların ötesinde ölçülen gürültü düzeylerinin hesaplanmasında, mesafe, atmosferik yutulma, zemin tarafından yutulma ve diğer etkenlerden dolayı azalma hesaba katılmamıştır. Hava tarafından yutulma 100 m'den az mesafelerde, zemin etkisi de 30 m'den az mesafelerde önemsizdir. Ancak burada yaklaşık 140 m mesafeye kadar ölçümler yapılmıştır. Dolayısıyla atmosferik yutulma zemin tarafından yutulmanın göz önüne alınması gerekir.

Daha sonra yüzey çeşidinin gürültü azaltmadaki etkisini belirlemek amacıyla sert yüzey, orta yüzey ve yumuşak yüzeyle ilgili ölçümler yapıldı.

Kent içinde, çalılarla destekli ağaçların gürültü azaltma etkisini belirlemede yine gerçek trafik gürültüsü ve teybe kaydedilen trafik gürültüsü kullanılarak aynı kaynak ve alıcı mesafesinde hem ağaçların arkasında hem de asfalt yol üzerinde ölçümler yapıldı. Ağaçların arkasında gürültü düzeyinde belirgin azalmalar olduğu ölçümler sonucu ortaya koyuldu.

Ağaç kuşaklarının gürültü azaltmaları ile ilgili ölçümlerde, hem ağaçların arkasında hem de ağaçlar olmadan düz sert zemin üzerinde yapılacak ölçümler ile ağaç kuşaklarının gürültü azaltmaları ile ilgili bir sonuca varılabilir. Aynı alanda düz sert yüzey yerine pürüzlü çim yüzeyde ölçümler yapılmış olsa idi azalma sert yüzeye göre daha fazla olabilirdi.

Yine Cook ve Haverbeke, tarafından alan formları ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Sonuçta bitkilerle beraber kullanılan alan formlarının bunların tek başına kullanılmasından çok daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Daha önceden bu alan formların üzerine dikilecek yapraklı ağaçların sesin iletimini yayarak engel etkisini azaltacağı üzerinde durulmuştur (60, 64). Ancak bu alan formlarının tümünü kaplayacak şekilde yoğun her dem yeşil bitkiler kullanıldığında engelin her tarafında, ses, bu bitkiler tarafından yutulacaktır; böylece alan formu ve bitki etkisi artacaktır.

Heisler et al., çalışma alanlarının biri, periyodik budamalardan dolayı geniş ölçüde farklılık gösteren ağaç yaşı ve büyüklüklerine sahip çoğu yaprağını döken karışık

ağaç türlerinden meydana gelen doğal bir orman, diğeri de sonradan dikilmiş ve hep aynı büyüklükte 32 yaşındaki çam ormanı idi. Çam ormanında alt örtüde bir kaç küçük ağaçlar ve çalılar vardı. Ayrıca ormanın iyi gelişmiş orman zemin katmanı da vardı.

Karışık orman yoldan yaklaşık 30 m mesafede, çam ormanı ise 10 m mesafede idi. Karışık orman alanında ağır kamyon yüzdesi diğer orman alanından daha fazlaydı.

Meteorolojik durumla ilgili ölçümler (rüzgar hızı, sıcaklık, nem) her iki ormanda da ölçüldü. Gürültü düzeylerinin hesaplanmasında bu durumlar da göz önüne alındı. Hava tarafından yutulma, ölçülen sıcaklık ve nem de çam ormanında karışık ormandan 1dB(A) fazla azaltım meydana getirdi. Bunun nedeni de, ölçümler sırasında her iki ormanda rüzgar hızının farklılaşmasından kaynaklanıyor olabilir. Karışık ormanda rüzgar hızının değişmesinden dolayı referans mikrofon ile 91.4 m deki mikrofon arasındaki azalma sadece 2 dB'dir. Çam ormanında ise 3-10 dB azalma hesaplanmıştır.

Ölçümler yapraklı ağaçların yapraklarını döktükten sonra yapıldığı için azalma yapraklardan çok gövde tarafından sağlanacaktır. Dolayısıyla yapraklar olmadığı için azalma önemsiz olacaktır. Ağaçlar tamamen yapraklı olduğu zaman da ölçümler yapılarak, gürültü azaltma ile ilgili olarak ağaçların yapraklı olma ve yapraksız olma durumları arasındaki fark ortaya koyulabilirdi.

Çam ormanı, karışık ormana göre gürültü kaynağına daha çok yakındır. Bitki örtüsü engeli kaynağa yakın olduğu için de azalmanın daha çok olması beklenen bir sonuçtur.

İki orman arasında yapılan karşılaştırmanın daha sağlıklı olması açısından aynı hava şartlarında, aynı kaynak özelliği ve mesafesinde ölçümler yapılmalıdır.

Lyon et al., gürültü kontrolünde bitkilerin gürültü azaltma etkilerini açıklamada bir grup laboratuvar ölçek model deneyleri ve alan çalışmaları yapmışlardır.

Yaprak alanı etkisini belirlemede yapılan, tüm alan ölçümlerinde 1.8 m alıcı kaynak yüksekliğinde alçak frekanslarda meydana gelen azalma, 7.3 m'deki alıcı kaynak yüksekliğindeki azalmadan zemin etkisinden dolayı daha fazladır. 7.3 m alıcı kaynak yüksekliğinde 2 kHz civarında azalma en yüksek değere ulaşmıştır. 2 kHz'den sonra azaltım düşmeye başlar. Bunu nedeni 1.8 m yüksekliğinde hem gövde hem yapraklar ham de zemin tarafından azalma olabileceken 7.3 m yüksekliğinde daha ince dalların

yer almasından dolayı olabilir. Ancak yaprak etkisini belirlemek amacıyla daha farklı alıcı-kaynak yüksekliklerinde ölçümler yapılabilir.

Model çalışmalarında, model akçaağaç kullanılarak engel ağaç-etkisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Engel etkisinin engel üzerine dikilecek tek bir sıra ağaç ile az olacağı engelin arkasına dikilen ağacın ise engel etkisini fazla değiştirmeyeceği ölçümler sonucu ortaya koyulmuştur. Daha önce engel üzerine dikilen tek bir ağacın engel etkisini azalttığı sonucu ile ilgili Schuller ve Zeeuw'in çalışmasından bahsedilmiştir. Engel üzerindeki ağacın yaprakları ses iletimini aşağı doğru dağıtacağından engel etkisi azalmakta idi. Ancak engel üzerini tamamen kapatacak materyal kullanıldığında bu etkinin tek engel ya da tek ağaç etkisinden çok daha fazla olduğu da ölçümler sonucu ortaya koyulmuştur.

Gürültünün bir yapma çevrede dağılımı konusundaki modellemede başlıca temel gereksinimler şunlardır (26):

- Ölçek faktörünün seçilmesi
- Model ses kaynağının saptanması
- Sesin yayılma ortamının benzetilmesi

Çalışmada 1/20 ölçek seçilerek 4.3 m boyundaki çam ve 9.1 m boyundaki akçaağacın modeli yapılmıştır. Gürültü kaynağı olarak da elektrik boşaltan kıvılcım kullanılmıştır. Alan ölçümlerinde ise gürültü kaynağı olarak tüfek kullanılmıştır. Ölçümlerin doğru değerlendirilebilmesi açısından alan ölçmelerinde kullanılan aracın benzerleri kullanılmalıdır. Model ölçümlerinde sesin yayıldığı fiziksel çevredeki atmosferik koşullar, yer örtüsü ve arazi biçiminin de gerçek koşulları belirtmesi gerekir. Ölçümlerin yapıldığı laboratuvarın standart serbest alan koşullarının sağlandığı, tam-yansısız ya da yarı-yansız bir hacim olması gerekir. Ancak bu çalışma böyle bir laboratuvar koşulunda yapılmadığı için ve atmosferik koşullar göz ardı edildiği için sonuçlar yanıltıcı olabilir.

Ölçüm sonuçlarında tek başına engelin en etkili olduğu, engel-üzerinde çam ağacı olduğunda bu etkinin biraz azaldığı, engel üzerinde ağaçlar yapraksız olduğunda etkinin oldukça azaldığı ve engel üzerinde yapraklı ağaç olduğunda etkinin tamamen azaldığı sonucuna varılmıştır. Modeli yapılan ağaçların gerçek durumu yansıtmış olup olmaması

önemlidir. Ağaçların gerçekteki, gövde, dal yapısı dallanma sıklığı ve yaprak yoğunluğunun modelde de verilmesi gerekir.

Bitkisel materyal kullanılarak yapılacak model çalışmaları ile ilgili bir sonuca varabilmek için daha çok araştırma gerekir.

Cook ve Haverbeke, 1972-1976 yılları arasında bitki materyallerinin gürültüyü azaltmada etkili olabileceklerini açıklamak amacıyla farklı iki alanda deneyler yapmışlardır. Bunlardan biri yoğun trafiğin yer aldığı varoş alan, diğeri de Nebraska Üniversitesi Orman Bölümü' nün kontrolü altındaki ağaç çiftliğidir.

Varoş alanda her biri farklı bitki perdesi ve/veya engele sahip on yerleşim alanında, trafik gürültüsü kullanılarak ölçümler yapıldı. Ölçümler, yerleşim alanlarında bitki örtülerinden farklı mesafelerde ve çalı-ağaç olmayan bitişik alanlarda yerden 1.5 m mesafede yapıldı.

Karışık iğne yapraklı kuşağın ve kontrol amacı ile kullanılacak benzer zemin özelliğine sahip açık alanın yer aldığı ağaç çiftliğinde, karşılaştırma yapabilmek amacıyla tek ve ağaç kombinasyonları ile birlikte duvarlar kullanıldı. Bu alanda gürültü kaynağı olarak çim biçme makinesi kullanıldı.

Çalışma alanlarındaki her bir ölçümün, benzer zemin özelliğine sahip açık alanlarda da yapılmış olması, bitkilerin etkilerini değerlendirmek açısından yararlı olmuştur.

Bütün ölçümlerde, basit ve genellikle geniş bant gürültüsünün ölçüm için kabul edilebilir ölçekte olduğundan A ağırlıklı desibel ölçeği kullanıldı. Yani gürültü kaynaklarının detaylı spektral analizleri yapılmadı. Bitki örtülerinin frekansa bağlı olarak gürültüyü azaltma etkileri analiz edilebilirdi. Burada, bitki örtülerinin gürültü azaltmaları sadece mesafeye bağlı olarak verildi.

Trafik gürültüsü kullanılarak ölçüm yapılan alanlarda bitki örtüleri ve bitki örtüleri ile birlikte kullanılan duvarların 5-10 dB(A) azaltma sağladıkları ölçümler sonucu bulundu. Her geçen gün araç sayısının arttığı düşünülürse, bu bitki örtülerinin etkilerinin her zaman geçerli olması beklenemeyebilir.

Varoшта yapılan ölçümde gürültü kaynağı olarak trafik gürültüsü kullanıldığından kaynak özelliği her alan için aynıdır. Ancak meteorolojik faktörlerin, gürültü düzeylerini etkilediği bilinmektedir. Ölçüm yapılan alanlarda karşılaştırma yapılabilmesi açısından

meteorolojik faktörlerin her alanda aynı olması gerekir. Çalışmada meteorolojik durumun her bir alan ölçümünde nasıl olduğu ile ilgili bilgi yoktur.

Ağaç çiftliğinde iğne yapraklı ağaçlarla birlikte kullanılan duvarların, duvarlar kaynağa yakın olduğunda en etkili, bitkilerin arasında yer aldığı etkilere azaldığı ölçümler sonucunda gözlemlenmiştir. Ancak rijit bir engele gelen ses dalgalarının engelin yüzeyine çarpıp yansması ve yansımış sesin kırılmış sese eklenmesi, engelin kenarında engelsiz duruma göre ses basınç düzeyinin 6 dB kadar artmasına neden olmaktadır (68). Bu nedenle kullanılacak duvarların, engellerin azaltımlarını artıracak şekilde yutucu yüzeylerden oluşması gerekir.

Kellomaki et al., kent gürültü kontrolü için ağaç meşcerelerinin özellikleri ve bunların kent ormanına uygulanması ile ilgili çalışmışlardır.

Çalışmada Finlandiya'ya özgü ağaç türlerinin gürültü azaltma kapasiteleri ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Gürültü düzeylerinin sıcaklık, rüzgar ve neme bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Ancak bu çalışmada, meteorolojik faktörler kontrol altına alınamayacağı düşünülerek çalışma alanının dışında tutulmuştur.

Çalışmaların bitki örtüsünün gürültü azaltma kapasitesini belirlemede bitki örtüsünün yoğun olduğu yaz mevsiminde tamamlandığı bildiriliyor. Ancak, yaprağını döken ağaçlar yapraksız olduğu dönemde etkili gürültü perdesi özelliği göstermeyecektir. Yıl boyunca gürültünün önlenmesi isteneceğinden karşılaştırma yapılabilmesi açısından ölçümlerin farklı mevsimlerde de yapılmasında yarar vardır.

Bu çalışma, ağaç türü kompozisyonu, gelişme bölümü, dikey meşçere yapısı, meşçerenin yoğunluğu, bitki yüzeyi yüksekliği, meşçere hacmine bağlı olarak gürültü düzeylerinin hesaplanmasını içerdiğinden, her birinin sonuçlarını istatistiksel analizler sonucu ortaya koyduğundan diğer çalışmalara göre çok daha kapsamlı bir çalışma sayılabilmektedir.

Çalışmanın eksik kalan yönleri de araştırmacılar tarafından ortaya koyulmuştur. Çalışmanın, zemin ve taç düzeyi arasındaki taç kütlesi ve hacmine bağlı olarak çalışmanın yoğunlaştırılması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Gürültü kaynağının, bitki materyali kullanarak perdelenmesinin psikolojik etkisi olduğu bilinmektedir. Karayolu görüntüsünü ya da herhangi bir gürültü kaynağının görüntüsünü kesen bitkisel materyal çok etkili bir şekilde gürültü düzeyinde azaltma

meydana getirmese de, insanlar kaynağı görmediği için gürültüden rahatsızlık duymayabilmektedirler.

Bu düşünce ile Yamashita, Japonya'da ağaç kuşaklarının yol trafiği gürültüsüne ağaçların etkisini belirlemek için ağaç kuşağı olan ve ağaç kuşağı olmayan yerde yaşayan halkla anketler yapmıştır. Anket sonuçları, rahatsızlığın ağaç kuşakları ile psikolojik olarak daha az olabileceğini göstermiştir.

Gürültünün önlenmesinde bitkisel materyalin kullanılması ile ilgili literatür taraması sonucu elde edilen diğer çalışmalar alan ya da model çalışmaları ile ilgili detaylar içermediğinden, sadece sonuçlara dayalı çalışmalar olduğundan, bu çalışmalara bu bölümde yer verilmedi.



4. SONUÇLAR

Bitkilerin gürültü azaltmalarını belirlemede gerek tam ölçekli alan ölçmelerine, gerekse laboratuarda yapılan ölçekli model ölçmelerine bakarak tür bazında kesin bir sonuca varmak oldukça zordur.

Bu çalışmalarda, farklı yüzey yapısına sahip alanlarda, farklı kompozisyonda bitki örtülerinin (değişen tür, boy, genişlikte...), değişen alıcı kaynak yüksekliğinin ve farklı gürültü kaynaklarının kullanılmış olmasından, ölçümlerin yapıldığı sırada meteorolojik faktörlerin göz önüne alınmamış olmasından ve ölçümlerin uzun zaman periyotlarını içermemesinden dolayı tür bazında kesin bir yargıya varılamamaktadır.

Ancak tüm bu farklılıklara rağmen genel olarak bitki örtülerinin gürültü azaltmada etkili olabileceği görülmüştür. Ölçümler özellikle gürültü kontrolü amacıyla dikilmiş alanlardan çok görsel amaçlarla dikilmiş ya da doğal olarak var olan bitki örtülerinin olduğu alanlarda yapıldığından sonuçlar küçümsenecek gibi değildir.

Tüm bu çalışmalar incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır.

Araştırmacılar, özellikle trafiğin çok yoğun olmadığı alanlarda dar, her dem yeşil olması sağlanan bitki örtülerinin tek başına gürültü düzeylerinde farkedilir bir azalma meydana getirdiği sonucuna varmışlardır. Ancak trafik yoğunluğunun her geçen gün arttığı düşünüldüğünde, gürültüyü azaltması amacıyla düzenlenen bir alan bir süre sonra önemini kaybedebilecektir. Yani gürültü tekrar sorun olmaya başlayacaktır. Bu nedenle alanın imkan verdiği ölçüde bitkilendirme çalışmalarına gidilmelidir.

Geniş alanlardaki bitki örtüleriyle yapılan ölçümler, bu bitkilerin gürültü azaltmada etkili olduklarını ortaya koymaktadır. Yani daha geniş alanlarda, daha yoğun bitkilendirme yapıldığı takdirde sonuç daha etkili olabilir. Ancak, giderek yeşil alan bakımından fakirleşen günümüz kentleri düşünüldüğünde, bu alanlarda gürültünün azaltılmasının zorlaştığı görülmektedir.

Bitkilerin yaprak yoğunluğuna bağlı olarak gürültü azaltma kapasitelerini belirlemek için yapılan çalışmalarda, çok yoğun dikilen otsu bitkilerin etkili bir biçimde gürültü azalttıkları görülmüştür. Ancak bunlar, herhangi bir alandaki gürültü probleminin giderilmesinde alternatif olarak sunulabilecek türler değildir. Bu türler kısa bir dönem için kırsal alanlarda fonksiyonel olabilirler ancak kent içinde ve kent yakın çevresinde, tüm yıl boyunca gürültünün azaltılması istendiğinde ne fonksiyonel ne de estetik olacaktır.

Özellikle kent alanlarında yeterli yeşil alanların olmayışından dolayı bitkiler önemli gürültü azaltma sağlayamasa da, gürültü kaynağının bitkiler tarafından gizlendiği yerlerde gürültü kaynağı görülemediği için psikolojik olarak gürültünün olmadığı düşünülecektir. Yani bitki örtüsünün perdeleme etkisi psikolojik olarak herhangi bir fiziksel etkiden çok daha önemli olacaktır.

Yapılan çalışmalarda meydana gelen farklılıklar ve eksikliklerin giderilebilmesi için ölçmelerde dikkat edilmesi gereken durumlar genel olarak şöyle sıralanabilir:

- Alan ölçmelerinde kaynak ve alıcı konumu gürültü ölçüm sonuçlarını değiştirebileceğinden, kaynak ve alıcının bitki topluluklarından uzaklığı ve yerden yüksekliğinin bildirilmesi gerekmektedir. Aynı alanda farklı alıcı-kaynak yüksekliğinde ve mesafelerde yapılacak ölçümlerle, gürültü ölçüm sonuçlarının nasıl değiştiği ortaya koyulabilir.

- Farklı iki alanda, farklı gürültü içeren kaynaklarla yapılan ölçümlerin karşılaştırılması yerine aynı alanda farklı gürültü kaynağı kullanılarak (nokta kaynak-çizgisel kaynak) yapılacak ölçümlerle gürültü düzeyinde meydana gelebilecek farklılık karşılaştırılabilir.

- Meteorolojik koşullar gürültü düzeylerini değiştireceğinden yapılacak ölçmelerde sıcaklık, nem ve rüzgarın durumu ile ilgili veriler de alınmalıdır. Farklı alanlarda, farklı günlerde yapılan ölçümlerde meteorolojik koşulların aynı olmasına dikkat edilmelidir.

- Ölçüm çalışmaları kısa süreli çalışmalar olmamalıdır. Değişen mevsimlerde bitkilerin değişmelerine paralel olarak ölçüm çalışmaları devam ettirilmelidir.

- Bitlilerin gürültü azaltmalarını belirtmek amacıyla yapılacak ölçümler deney alanlarıyla aynı yüzeye sahip açık alanlarda, aynı hava şartları ve aynı ölçüm araçlarıyla da yapılmalıdır.

- Zemin yüzeyi kaplamasının ve topografyanın gürültü düzeyini değiştirdiği bilindiğinden, bunların sonuçlarını değiştireceği göz önünde tutulmalıdır.

5. ÖNERİLER

Gürültünün azaltılmasında bitkisel materyal kullanılarak yapılan ölçüm çalışmalarından, bitkilerin gürültü azaltmaları ile ilgili bilgi edinebilmek için daha çok literatür taraması yapılabilir. Bitkilerin gürültü azaltmada etkili olabileceği üzerinde fazla durulmadığı için bu konu hakkında yeterli sayıda kaynak yoktur ve var olan kaynakların büyük bir kısmı da genellikle aynı araştırmacılar tarafından yapılmış önceki tarihli çalışmalardır.

Bitkilerin gürültü azaltmaları ile ilgili daha çok tür bazında çalışmalar yapılmak istendiğinde aynı bitki örtüsünde, farklı kaynak ve alıcı yüksekliğinde, değişen frekans spektralarında gürültü üreten gürültü kaynağı kullanılarak, uzun zaman periyotlarında meteorolojik faktörler de göz önünde bulundurularak seçilen bitkinin gürültü azaltma özelliği ölçümler sonucu ortaya koyulabilir. Bu çalışmada aynı anda mikrofon sayıları artırılarak farklı mesafelerdeki sonuçlar da elde edilebilir. Bu çalışmalar, standartlara uygun ölçüm setleri kullanılarak yapılmalıdır.

Dış ortamın kontrol altına alınmadığı durumlarda uygun laboratuvar koşullarında (tam-yansımaz ya da yarı-yansımaz odalarda) ölçekli model çalışmaları geliştirilebilir. Bu durumda, modeli yapılacak olan bitkinin gerçek durumu yansıtmasına özellikle dikkat edilmelidir. Laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilebildiği takdirde açık alanda yapılan ölçme çalışmaları ile laboratuvar çalışmaları arasında karşılaştırma yapma imkanı olabilecektir.

Bitkilerin gürültü azaltmadaki psikolojik etkileriyle ilgili çalışmalar artırılabilir da yapılabilir. Trafik yolu üzerinde bitki örtülerinin bulunduğu alanlarda ve bitki örtülerinin olmadığı alanlarda haftanın ve günün değişen saatlerinde gürültü ölçümleri yapılarak, bitkilerin gürültü azaltmada etkili olup olmadığı ortaya koyulabilir. Bunun için de ölçümlerin yapıldığı sırada burada yer alan konutlarda yaşayan insanlarla gürültü sorunu hakkında anket yapılarak bitki örtülerinin olup olmama durumunda ve haftanın ve günün değişen saatlerine göre insanların gürültüden nasıl etkilendikleri ortaya koyulabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Keleş, R., Hamamcı, C., Çevrebilim, 2. Baskı İmge Kitapevi, Ankara, 1997.
2. Karabiber, Z., Gürültü-İnsan Etkileşimi, B.Ü., Çevre Bilimleri Enstitüsü, Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikli Sempozyumu, 1991, Bebek-Istanbul, 1. Bildiriler, 1.Cilt, 458-470.
3. Ergun, O.N., Kulein A., Samsun Şehir Merkezinde Yanlış Şehirleşmeden Kaynaklanan Gürültü Kirlenmesi, Türk Devletleri Arasında 1. İlimi İşbirliği Konferansı 22-24 Haziran 1992, Lefkoşe, KKTC, 227-236.
4. Krugman, S.L., Windbreaks and Shelterbelts for on Improved Urban Environment, Eight World Forestry Congress, FQL/28-4, 16-28 Oct 1978, Jakarta.
5. Erdem, Ü., Alparslan, E., Gürültü Sorunu, Peyzaj Mimarlığı Çalışmaları İçinde Karayolları İle İlgili Örnekler," Çevre '87" Sempozyumu, 26-28 Ekim 1987, EBSO, İzmir.
6. Kurra, S., Ses Fiziği ve Gürültü Kavramı, Eğitim Semineri, Çevre, Yapı ve Endüstri'de Akustik Sorunlar ve Gürültü Kontrolü, Akustik Derneği ve İTÜ, YTÜ, İÜ Katkılarıyla, 31 Mayıs-3 Haziran 1994, İstanbul, 1-9.
7. Özdeniz, M.B., Mimarlıkta Işık ve Ses Denetimi, Erfan Ofset Matbaacılık, Trabzon, 1992.
8. Kurra, S., Ses Fiziği, Analiz ve Teknikleri, Ders Notları (Yayınlanmamış).
9. Lawrence, A., Acoustics and the Built Environment, Elsevier Applied Science, London, 1989.
10. Koenigsberger, O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A., Szokolay, S.V., Noise and Noise Control, Manuel of Tropical Housing and Building, Part One: Climatic Design, London, 1973.
11. Cowan, J.P., Handbook of Environmental Acoustics, Von Nostrand Reinhold, Newyork, 1994.
12. Franken, P.A., The Behavior of Sound Waves, Noise and Vibration Control, Beranek, L.L., McGraw-Hill Book Company, London , 1971.

13. Karabiber, Z., Mimari Akustikle İlgili Başlıca Tanım, Terim, Formül ve Büyüklükler, YTÜ, Mim. Fak., Mim. Böl., Yayın No: 210, İstanbul, 1991.
14. Harris, C.M., Sound and Sound Levels, Handbook of Noise Control, Harris, C.M., Second Edition, McGraw-Hill Book Company, USA, 1979.
15. Doelle, L.L., Environmental Acoustics, McGraw-Hill Book Company, USA, 1972.
16. Karabiber, Z., Mimari Akustikle Ses Ölçmeleri, YTÜ, Mim.Fak., Mim. Böl., Yayın No: 249, İstanbul, 1992.
17. Egan, M.D., Architectural Acoustics, McGraw-Hill Book Company, USA, 1988.
18. Parkins, P.H., Humphreys, H.R., Acoustics Noise And Buildings, Faber and Faber Ltd, London, 1958.
19. Piercy, J.E., Embleton, T.F., Sound Propagation in the Open Air, Handbook of Noise Control, Harris, C.M., Second Edition, McGraw-Hill Book Company, USA, 1979.
20. Maekawa, Z., Lord, P., Environmental and Arhitectural Acoustics, E&FN SPON, London, 1994.
21. Kurze, U., Beranek, L.L., Sound Propagation Outdoors, Noise and Vibration Control, Beranek, L.L., McGraw-Hill Book Company, London, 1971.
22. Moore, J.E., Design For Good Acoustics and Noise Control, Macmillan Education, Hong Kong, 1988.
23. Anderson, G.S., Kurze, U.J., Outdoor Sound Propagation, Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Application, Beranek, L.L., Vér, I.L., John Wiley & Sons, Inc, Newyork, 1992.
24. Özer, M., Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı, Arpaz Matbaacılığı, İstanbul, 1979.
25. Köroğlu, H., Denel Fizik, Fen Yayınevi, Ankara, 1975.
26. Kurra, S., Çevre ve Yapı Tasarımında Kent Gürültüsü Kontrolü ve İstanbul Örneği, Doçentlik Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1982.
27. T.C. Resmi Gazete, Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 11 Aralık 1986.

28. Gales, R.S., Hearing Characteristics, Handbook of Noise Control, Harris, C.M., Second Edition, McGraw-Hill Book Company, USA, 1979.
29. Yazgan, M.E., Karayolları Peyzajında Trafik Gürültüsü Sorunu, Peyzaj Mim. Dergisi Özel Sayı TPMDYO, Ankara, 1979.
30. Çelem, H., Halepliöglu, N., Gürültünün Önlenmesinde Bitkisel Materyalin Rolü ve Önemi, T.C. Fırat Üniversitesi, Fırat Havzası Birinci Çevre Sempozyumu, Ekim 1988, Elazığ Tebliğler,77-84.
31. Melnick, W., Hearing Loss From Noise Exposure, Handbook of Noise Control, Harris, C..M., Second Edition, McGraw-Hill Book Company, USA, 1979.
32. Kural, E., Gürültü ve Çevre, Bilim ve Teknik, Cilt: 23, Sayı 271, Ankara, 1990.
33. Özer, Z., Gürültü Kirliliği, Bilim ve Teknik, Sayı: 337, Aralık 95, Ankara, 72-77.
34. Sound Research Laboratories Ltd., Noise Control in Industry, Third Edition, E & FN Spon, An Imprint of Chapman and Holl, London, 1991.
35. Sirel, Ş., Gürültü, Yaum No:1Yapı Fiziği Uzmanlık Uygulamaları Sanayii ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 1988.
36. Hasgür, İ., Gürültü Kirliliğın Türk Mevzuatındaki Yeri, Ekoloji ve Çevre Dergisi, Yıl 1 Sayı 4, Temmuz-Ağustos-Eylül 1992, İzmir , 31-34.
37. Kurra, S., Çevre Gürültüsü Kaynakları, Eğitim Semineri,Çevre, Yapı ve Endüstri'de Akustik Sorunlar ve Gürültü Kontrolü, 31 Mayıs- 3 Haziran, 1994, İstanbul, 75-90.
38. Freeborn, P.T., Turner, S.W., Environmental Noise and Vibration, Roberts, J., Fairhall, D., Noise Control in the Built Environment, Gower Technical,1988.
39. Stephens, RWB, Noise Pollution-Introductory Survey, Noise Pollution, Lara Saenz A., Stephens, RWB Effects and Control, John Wiley & Sons, 1986.
40. Alparslan, E., Karayollarında Gürültüye Karşı Peyzaj Mimarlığı Açısından Alınabilecek Önlemler, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Bornova, İzmir, 1987.
41. Harris, R.A., Cohn, L.F., Use of Vegetation for Abatement of Highway Traffic Noise, Journal of Urban Plannig and Development, Vol :111, No: 1, 1985, 34-48.

42. Peucker, G.H., Massnahmen Der Landschaftsplege, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 1983.
43. Harris, R.A., Vegetative Barriers: An Alternative Highway Noise Abatement Measure, Noise Control Engineering Journal, Vol: 27, No: 1, July-August 1986, 4-8.
44. Knudsen, V.D., Harris C.M., Acoustical Designing in Architecture, Acoustical Society of America, USA, 1978.
45. Bayraktar, A., Karayollarının Ekolojik Baskılarının Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi ve İzmir-Ankara Karayolunda Bir Örnekleme Üzerinde Araştırmalar, Ege Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları No: 423, Bornova-İzmir, 1980.
46. Çepel, N., Kentsel Yeşil Alanların Ekolojik İşlevleri, TMMOB Orman Mühendisliği Dergisi, Sayı 4, Nisan 1991.
47. Bernatzky, A., Tree Ecology and Preservation, Elsevier Scientific Publishing Company, Newyork, 1978.
48. Barner, J., Experimentelle Landschaftsökologie, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1983.
49. Visnapuu, M., Margus, M., Noise Abatement by Trees, Metsanduslikud-Uurimused, 13, 1977, 312-337.
50. Reethof, G., Effect of Plantings on Radiation of Highway Noise, Journal of the Air Pollution Control Association, 23:3, 1973, 185-189.
51. Schaudinischky, L.H., Schiller, G., Keller, Y., Acoustic Properties of Individual Trees and Forest Strips, Forstarchiv, 53:2, 1982, 52-57.
52. Ozimek, E., Kobek, W., Noise Reduction in Selected Types of Planted Areas, Slywan 114(10), 1970, 49-63.
53. Mitscherlich G., Scholzke, D., Schalldämmung Durch Wald, Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 148:7,148:7, 125-143.
54. Supuka, J., Noise-Insulation Effect of Selected Model Units of Verdure, Folia-Dendrologica, 11, 1984, 375-403.

55. Kim, Y.S., Chang, H.G., Kim, Y.H., Noise Attenuation by Landscape Woody Plants. Comparisons as a Hedge Species Between Japanese Spindletree and Oriental Arbor Vitae. Journal of Korean Forestry Society, 78:1, 1989, 30-34.
56. Décourt, N., The Attenuation of Noise by Vegetation, Revue, Forestiere, Francolise, 27:6, 1975, 419-429.
57. Aylor, D.E., How Plants and Soil Muffle Noise, Frontiers of Plant Science, New Haven Conn, 23(2), 1971, 6-7.
58. Aylor, D.E., Noise Reduction by Vegetation and Ground, The Journal of the Acoustical Society of America, V51, N1(Part 2), USA, 1972, 197-205.
59. Martens, M.J.M., Hulshof, P., Huys, L., Konings, J.G.B., Olders, J. and Walraven, M., Comparison of Noise Attenuation in Vegetations with Stationary and Moving Sound Sources, Inter.Noise 1981, Vol:1, Amsterdam, 1981, 253, 256.
60. Schuller, W.M., Zeeuw, J.H., Acoustic Effect of Trees on Barriers, Inter.Noise 81, Vol:1, 253-256, Amsterdam, 1981, 249-252.
61. Haverbeke, D.F., Trees and Shrubs for Noise Abatement, Research Bulletin Agricultural Experiment Station-University of Nebraska, No: 246, 1971.
62. Cook, I.D., Haverbeke, D.F. Trees, Shrubs and Land-Forms for Noise Control Journal of Soil and Water Conversation, November-December, 1972, 252-261.
63. Heisler, G.M., McDaniel, O.H., Hodgdon, K.K., Partelli, J.J., Gleason, S.B., Highway Noise Abatement in Two Forests, Noise-Con 87, June 8-10, 1987, Pennsylvania, 465-470.
64. Lyon, R.H., Blair, C.N., DeJong, R.G., Evaluating the Effects of Vegetation on the Acoustical Environment by Physical Scale Modeling, Proceedings of the Conference on the Metropolitan Physical Environment, USDA Forest Service, 1977, 218-225.
65. Cook, D.I., Haverbeke, D.F., Suburban Noise Control With Plantings and Solid Barrier Combinations, Research Bulletin EM: 100, Lincoln, 1977.
66. Kellomaki, S., Haapanen, A., Salonen, H., Tree Stands in Urban Noise Abatement, Silva Fennica, Vol.10 No:3, 1976, 237-256.

67. Yamashita, T., Yano, T., Izumi, K., Effects of a Belt of Trees on Road Traffic Noise Abatement, Inter.Noise 96., 25th Anniversary Congress- Liverpool, 1996.
68. Kurra, S., Binalardan Gürültü Engeli Olarak Faydalanmada Trafik Gürültüsüne İlişkin Kriter Birimlerinin Saptanmasında Kullanılabilecek Bir Yöntem, Doktora Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, 1978.



7. ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Trabzon'da doğdu. 1991 yılında Trabzon Anadolu Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümünü kazandı. Dört yıllık lisans öğrenimini 1995 yılında bölüm ikincisi olarak tamamladı. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 1996 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü 50/d kadrosuna Araştırma Görevlisi olarak atandı. İngilizce ve Almanca bilmektedir.

