

**GÜRÜLTÜ TAHMİN YÖNTEMLERİYLE
KARAYOLLARI KAYNAKLI GÜRÜLTÜ KİRLİLİK
HARİTALARININ OLUŞTURULMASI**

**PRODUCTION OF HIGHWAY NOISE POLLUTION
MAPS BY NOISE PREDICTION METHODS**

ERKAN KALAYCI

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ÇEVRE Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2010

GÜRÜLTÜ TAHMİN YÖNTEMLERİYLE KARAYOLLARI KAYNAKLI GÜRÜLTÜ KİRLİLİK HARİTALARININ OLUŞTURULMASI

ERKAN KALAYCI

ÖZ

Bu çalışmada TEM Trafik Gürültüsü Hesaplama Metodu ve Microsoft Excel programı kullanılarak pratik bir gürültü hesaplama yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntemin geçerliliği de ticari olarak kullanımda olan program yardımıyla aynı bölge ve koşullar için hazırlanmış olan sonuçlar ile kıyaslanarak ortaya konmuştur.

TEM metoduna göre hesaplanan değerler ticari olarak kullanımda olan programla hesaplanan değerlerle uyum içinde olup gürültü hesaplama yönteminin kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Gürültü haritası hazırlama çalışmaları için seçilecek yöntemin belirlenmesinde çalışılacak alanın özelliklerinin, ihtiyaçların ve ekonomik maliyetlerin belirleyici olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: TEM, gürültü haritası.

Danışman: Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

PRODUCTION OF HIGHWAY NOISE POLLUTION MAPS BY NOISE PREDICTION METHODS

ERKAN KALAYCI

ABSTRACT

In this study, development of a practical noise calculation method has been aimed by using the Traffic Noise Calculation Method (TEM) and Microsoft Excel. The validity of the developed method has been demonstrated by comparing the results of the study with the ones prepared by the software which is currently being used commercially for the same zone and conditions.

The data which has been estimated according to TEM method is compatible with the data estimated by the software which is being used commercially. Therefore the estimation method is proven to be useful.

It has been concluded that the specifications of the zone, requirements and the economic cost were the determining factors to fix the method for noise map preparation studies.

Keywords: TEM, Noise Map.

Advisor: Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ, Hacettepe University, Department of Environmental Engineering

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamı yaparken her türlü yönlendirme ve tavsiyelerini esirgemeyen, cömertçe zamanını ayıran değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Gülen Güllü'ye,

Çalışmaya zaman ayırdıkları için Sayın Prof. Dr. A. Cemal Saydam, Sayın Doç Dr. Selim Sanin, Sayın Doç Dr. Murat Köksal ve Sayın Dr. Türkay Onacak'a,

Çalışmam sırasında yararlandığım kaynakların oluşumunu sağlayan kişi, kurum ve kuruluşlara,

Çalışmalarım sırasında sabır ve ilgileriyle beni yalnız bırakmayan iş arkadaşlarıma ve aileme,

Her şey için çok teşekkür ederim...

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
EKLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
FORMÜLLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. BİLGİ BİRİKİMİ.....	2
2.1. Temel Ses Bilgisi.....	2
2.1.1. Ses ve Gürültü Tanımı.....	2
2.1.2. Ses Dalgalarının Özellikleri.....	2
2.1.3. Harmonik Olmayan Ses Dalgaları ve Ses Basıncının rms Değeri	4
2.1.4. Desibel Kavramı	4
2.1.5. Ses Gücü Düzeyi.....	5
2.1.6. Ses Basıncı Düzeyi.....	6
2.1.7. Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi.....	7
2.1.8. Desibelle İşlem	8
2.2. Sesin Yayılımını Etkileyen Faktörler	11
2.2.1. Ses Kaynağından Uzaklaşma.....	11
2.2.2. Meteorolojik Etkenler	11
2.2.2.1. Rüzgar Etkisi	12
2.2.2.2. Sıcaklık	12
2.2.2.3. Bağıl Nem.....	13
2.2.3. Doğal Çevreden Meydana Gelen Yutulma	14
2.2.4. Yansıma	14
2.2.5. Yüzeylerden Meydana Gelen Yutulma	15
2.2.6. Kırılarak Yayılma	15
2.3. Karayolu Ulaşım Gürültüsü.....	16

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam ediyor)

	Sayfa
2.3.1. Taşıtlardaki Gürültü Kaynakları	17
2.3.1.1. Motor Gürültüsü	17
2.3.1.2. Hava Filtresi.....	17
2.3.1.3. Fan Gürültüsü	18
2.3.1.4. Egsoz Gürültüsü	18
2.3.1.5. Vites Kutusu ve Aktarma Organları Gürültüsü	18
2.3.1.6. Tekerlek asılış sistemi Gürültüsü	19
2.3.1.7. Seyir Rüzgarı Gürültüsü	19
2.3.1.8. Lastik Gürültüsü.....	19
2.3.2. İnsan Kaynaklı Gürültüsü.....	22
2.3.3. Karayollarında Gürültü düzeyini etkileyen faktörler.....	23
2.3.3.1. Yolun alçakta veya yüksekte olması	23
2.3.3.2. Yolun kaplaması	24
2.3.3.3. Eğimlerin dikliği.....	24
2.3.3.4. Aracın eskiliği ve yeniliği.....	24
2.3.3.5. Aracın cinsi	24
2.3.3.6. Aracın hızı	24
2.3.3.7. Trafik Hacmi	25
2.3.3.8. İstinat duvarları	25
2.3.3.9. Arazi Yapısı	25
2.3.3.10. İklim koşulları	26
2.3.3.11. Bitki örtüsü	26
2.4. Gürültü Bariyerleri.....	27
2.4.1. Bitkilerin Doğal Perde olarak kullanımı	28
2.4.2. Bitkilerle Perdelemenin diğer kullanımları.....	32
2.4.2.1. Far ışıklarının önlenmesi	33
2.4.2.2. Kazaları önleme yada hafifletme	34
2.4.2.3. Kar ve rüzgar perdesi oluşturma.....	35
2.4.2.4. Sinyalizasyon (Optik yönlendirme)	36
2.4.3. Yapay Gürültü Bariyerleri.....	37
2.4.4. Bariyer Teorisi	38

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam ediyor)

	Sayfa
2.4.5. Gürültü Bariyerlerinin Akustik Performansını Etkileyen Faktörler	41
2.4.5.1. Bariyerin Konumu	41
2.4.5.2. Bariyerin Uzunluğu	41
2.4.5.3. Bariyerin Yansıma ve Yutuculuk Özellikleri	42
2.4.5.4. Yüksek Araçların Bariyer Performansına Etkisi	43
2.4.5.5. Boşluk Etkisi	43
2.4.5.6. Bariyerin Geometrisi	44
2.4.6. Binaların Bariyer Etkisi.....	45
2.5. Avrupa Birliği Direktifi ve Türk Mevzuatı'nın İncelemesi	48
2.5.1. Türkiye'deki Çevresel Gürültü Mevzuatının Tarihçesi.....	48
2.5.2. Avrupa Birliği Gürültü Direktifinin İncelenmesi	49
2.5.2.1. Kapsanan Avrupa Birliği Mevzuatı	49
2.5.2.2. Avrupa Birliği Mevzuatın Gereklere.....	50
2.5.3. Çevresel Gürültü Mevzuatının Avrupa Birliği Direktife Uyumlaştırılması.....	52
2.6. Literatür Çalışmaları	53
2.6.1. Daha önce yapılan çalışmalar	53
2.6.2. Gürültü Tahmin Modelleri	59
2.6.3. Gürültü Modelleme Programları.....	60
2.6.3.1. SoundPLAN.....	60
2.6.3.2. CadnaA.....	61
2.6.3.3. IMMI.....	62
2.6.3.4. Predictor	63
3. TEZİN HEDEFİ	64
4. MATERYAL - METOD	65
4.1. Çalışma Alanı ve Çevresinin Tanımı.....	65
4.2. Referans Gürültü Haritası (RGH).....	67
4.3. Referans Gürültü Haritasının Sayısallaştırılması	68
4.4. TEM Metodu	70
4.4.1. Referans Gürültü Düzeyinin Hesaplanması.....	70
4.4.2. Çevresel Gürültü Düzeyinin Hesaplanması	71
4.4.3. Referans Gürültü Düzeyini Artıran Faktörler.....	72
4.4.3.1. Trafik Akışının Kesilmesi	72

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam ediyor)

	Sayfa
4.4.3.2. Yol Yüzeyinin Pürüzlülüğü	73
4.4.3.3. Yol Kıvrımları	74
4.4.3.4. Yola Dik Yüzeylerden Kaynaklanan Yansıma.....	75
4.4.4. Referans Gürültü Düzeyini Azaltan Faktörler.....	76
4.4.4.1. TEM Hızlarından Daha Az Hız.....	76
4.4.4.2. Alıcının Yolun bir kısmını görmesi	77
4.4.4.3. Sesin Yol Yüzeyi Tarafından Emilmesi	78
4.4.4.4. Sesin Hava Tarafından Emilmesi	78
4.4.4.5. Referans Noktasından Uzaklaşma	79
4.4.4.6. Yer Yüzeyinin Absorbsiyonu	79
4.4.4.7. Belli Genişlikteki Ağaçlık ve Ormanlardan Kaynaklanan Azalım.....	80
4.4.4.8. Her türlü bariyer nedeniyle sesteki azalma	80
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	81
5.1. TEM Metodu ile Gürültü Haritasının Sayısal olarak hazırlanması	83
5.1.1. Referans Gürültü Düzeyinin Hesaplanması.....	83
5.1.2. Gürültü Düzeyin Artıran Faktörlerin Hesaplanması	84
5.1.2.1. İstinat Duvarından Kaynaklanan Yansıma.....	84
5.1.3. Gürültü Düzeyin Azaltan Faktörlerin Hesaplanması	84
5.1.3.1. Alıcının Yolun bir kısmını görmesi	84
5.1.3.2. Sesin Hava Tarafından Emilmesi	88
5.1.3.3. Referans Noktasından Uzaklaşma	88
5.1.3.4. Yer Yüzeyinin Absorbsiyonu	89
5.1.3.5. Her türlü bariyer nedeniyle sesteki azalma	90
5.2. TEM Metoduyla hazırlanan Gürültü Haritasının RGH ile kıyaslanması	97
5.3. Hesap cetvelinin oluşturulması ve başka bir alanda kullanılması	101
6. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER	107
6.1. Sonuçlar	107
6.2. Öneriler.....	109
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	110
EKLER.....	115
ÖZGEÇMİŞ	130

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimini	3
Şekil 2.2. Basit harmonik bir ses dalgasının bir yönde ilerleyişi.....	3
Şekil 2.3. Desibel toplama eğrisi.....	8
Şekil 2.4. Desibel çıkarma eğrisi.....	9
Şekil 2.5. Tipik Atmosferik şartlarda ses ışınları	11
Şekil 2.6. Sınır Bölgede Sesin Kırılması	12
Şekil 2.7. Sıcaklık veYayıma ilişkisi	13
Şekil 2.8. Düzlem Yüzeyden Yansıma.....	14
Şekil 2.9. Kırılarak Yayıma Etkisi	15
Şekil 2.10. Sesin engelsiz ortamda yayılma kabulleri	38
Şekil 2.11. Sesin engelli ortamda yayılma kabulü.....	39
Şekil 2.12. Gürültü Perdesinde Ses Işınlarının Hareketinin Şematik Gösterimi	40
Şekil 2.13. Bariyerin Konumlandırılması	41
Şekil 2.14. Bariyerin uzunluğu	42
Şekil 2.15. Yüksek Araç Etkisi	43
Şekil 2.16. Boşluk Etkisine Karşı Paralel Bariyer Konulması	44
Şekil 2.17. İki kenarlı bariyer.....	44
Şekil 2.18. Gürültü yayılımını engelleyen tek bina	45
Şekil 2.19. Binaların yola bakan yüzeyleri ile gürültü azaltımları arasındaki ilişki	45
Şekil 2.20. Bina arkasındaki gürültünün hesaplanmasın da geleneksel yöntemle GIS tabanlı yöntemin performansları	46
Şekil 2.21. Bariyer etkisi gösteren sıra evler	47
Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresinin kuşbakışı görünümü	65
Şekil 4.2. Çalışma alanı ve çevresinin üç boyutlu görünümü.....	66
Şekil 4.3. Yolun şematik gösterimi.....	66
Şekil 4.4. Referans gürültü haritası.....	67
Şekil 4.5. TEM metodunda üç şeritli iki yönlü bir yolun standardı	70
Şekil 4.6. Birbirini kesen yollarda trafik akışının kesilmesi.....	72
Şekil 4.7. Yol kıvrımının şematik gösterimi	74
Şekil 4.8. Yola dik yüzeylerin şematik gösterimi	75

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.9. Alıcının yolu görme açısının şematik gösterimi	77
Şekil 5.1. Hesaplama sırasını gösteren akış diyagramı	82
Şekil 5.2. Referans çizgisine teğet binaların şematik gösterimi	85
Şekil 5.3. Referans çizgisinden uzaktaki binaların şematik gösterimi	86
Şekil 5.4. Örnek bina sayıları	86
Şekil 5.5. Bina arkalarındaki bariyer etkisini zayıflatan boşluklar	87
Şekil 5.6. Topografik yapıya bağlı tek kırımlı bariyer etkisi	91
Şekil 5.7. δ değerinin hesaplanması için gerekli uzunluklar	92
Şekil 5.8. Alıcının Engeli Görme Açısı	93
Şekil 5.9. Binanın ve serbestlik katsayısının MS Excel’de gösterimi	94
Şekil 5.10. Bariyer etkisi yaratan örnek bir binanın MS Excel’de gösterimi	95
Şekil 5.11. Bariyer etkisi yaratan örnek sıra binanın MS Excel’de gösterimi	96
Şekil 5.12. TAG Otoyolu analiz sonuçları	98
Şekil 5.13. TAG Otoyolu fark haritası	99
Şekil 5.14. Büyükçekmece-Çatalca Yolu üzerinde çalışma sahasının gösterimi	101
Şekil 5.15. Çalışma sahasının Büyükçekmece-Çatalca Yolu projesinde gösterimi	103
Şekil 5.16. Büyükçekmece-Çatalca Yolu üzerindeki çalışma sahası için hesaplama cetvelinin görünümü	104
Şekil 5.17. Büyükçekmece-Çatalca Yolu analiz sonuçları	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Çeşitli Ses ve Gürültü Kaynaklarının Tipik Ses Güçleri ve Ses Gücü Düzeyleri	6
Çizelge 2.2. Gürültü perdelerinde kullanılabilecek bazı bitki türleri ve etkinlikleri .	31
Çizelge 2.3. Gürültü perdelerinin yaklaşık maliyetleri	38
Çizelge 4.1. Gürültü haritasının sayısallaştırmasında kullanılan değerler	68
Çizelge 4.2. Sayısallaştırılan değerlerinin bir bölümünün MS Excel’de yazımı ...	68
Çizelge 4.3. Sayısallaştırılan değerlerinin tümünün MS Excel’de yazımı	69
Çizelge 4.4. TEM Metodunun ortalama trafik hızları	71
Çizelge 4.5. Trafiğin kesilmesi durumunda eklenecek değerler	72
Çizelge 4.6. Farklı tip yol kaplamaları için eklentiler	73
Çizelge 4.7. Yol kıvrımı için eklentiler	74
Çizelge 4.8. Dik yüzeylerden yansıma kaynaklı eklentiler	75
Çizelge 4.9. Farklı Trafik hızları için düzeltme faktörleri	76
Çizelge 4.10. Yolu görme açısına göre düzeltme faktörü	77
Çizelge 4.11. Yol yüzey emilimi için düzeltme faktörleri	78
Çizelge 4.12. Hava absorpsiyonu için düzeltme faktörü	78
Çizelge 4.13. Absorbe Edici Zemin Örtüsü için Düzeltme Faktörü	79
Çizelge 4.14. Orman ve ağaçlık alanlar için düzeltme faktörü	80
Çizelge 5.1. TAG Adana Geçişi Araç Sayımları.....	83
Çizelge 5.2. Referans noktasından uzaklaşma için hesaplanan değerler.....	88
Çizelge 5.3. TAG Otoyolu için hesaplanan fark değerlerinin dağılımı	98
Çizelge 5.4. Büyükçekmece-Çatalca (D-569) Yolu Araç Sayımları	101
Çizelge 5.5. Büyükçekmece-Çatalca Yolu için hesaplanan fark değerlerinin dağılımı	105

EKLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Ek 1. NMPB -Routes-96 (Fransız Ulusal Hesaplama Metodu)	116
Ek 2. Ortalama Trafik Hızı ve Ağır Araç Oranına Göre Düzeltme Abağı (TS10713)	129

SİMGELER VE KISALTMALAR

TEM	Trans-European North-South Motorway
TAG	Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolu
RMS	Ortalama Kare Değerinin Karekoku

FORMÜLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Formül 2.1. Periyot-frekans ilişkisi	3
Formül 2.2. Ses basıncının RMS değeri	4
Formül 2.3. Düzey	4
Formül 2.4. Ses gücü düzeyi	5
Formül 2.5. Ses gücü düzeyi bilinen bir kaynağın ses gücü	5
Formül 2.6. Ses basıncı düzeyi	6
Formül 2.7. Ses şiddeti	7
Formül 2.8. Ses şiddeti düzeyi.....	7
Formül 2.9. Ses şiddeti düzeyi-Ses basıncı düzeyi ilişkisi	7
Formül 2.10. Toplam ses basıncı düzeyi	8
Formül 2.11. İki ses basınç düzeyi arasındaki fark.....	9
Formül 2.12. Ses basıncı kare değerlerinin ortalaması	10
Formül 2.13. Ortalama ses basıncı düzeyi	10
Formül 2.14. 5 dB'den daha küçük farklar için ortalama alma	10
Formül 2.15. 5 -10 dB aralığındaki farklar için ortalama alma.....	10
Formül 2.16. Frensel Sayısı.....	39
Formül 2.17. Bariyer etkisi için yapılan ayarlama faktörü	40
Formül 4.1. Referans gürültü düzeyi.....	70
Formül 4.2. Çevresel gürültü düzeyi	71
Formül 5.1. Referans noktasına teğet binalar için azaltım miktarı	84
Formül 5.2. Referans noktasından uzaktaki binalar için azaltım miktarı	84
Formül 5.3. Sesin yayılma hızı	89
Formül 5.4. Gürültü azaltım katsayısı	89
Formül 5.5. Bariyer hesabı için merkez frekansı.....	89

1. GİRİŞ

Günümüzde sağlığımızı olumsuz yönde etkileyen çevre sorunlarından birisi de gürültüdür. Gürültü genel olarak insanları psikolojik ve fizyolojik olarak rahatsız eden, hoş gitmeyen ve çevrenin doğal özelliklerini bozarak çevre kirliliğine neden olan ses türleri olarak ifade edilebilir. Kulağın algılayabildiği duyu olarak da tanımlanabilen ses enerji olduğundan, hızı, gücü, dalga boyu, basıncı ve yoğunluğu vardır. Her ortamda (katı, sıvı, gaz) farklı yayılma hızına sahiptir (Watts, 1993).

Gürültü kirliliği; gelişmiş ülkelerde diğer çevresel sorunlara göre daha yaygın bir tür olarak; kişisel ve toplumsal yaşam kalitesinde düşüklüğün göstergesi sayılmaktadır. Bir çevre sorunu olarak ele alındığında, öncelikle gürültünün insan ve toplum sağlığı açısından kabul edilebilecek en yüksek düzeylerinin ortaya konması, daha sonra incelenen çevredeki mevcut gürültü koşullarının ölçüm ve tahmin yöntemleri ile belirlenmesi ve buna bağlı olarak da gürültünün bir sistem içinde kontrol altına alınması gerekmektedir (Aktürk vd., 2004).

Gürültü kaynaklarının türlerine bakıldığında bunların endüstri, ulaşım, yol yapım çalışmaları ile yerleşim kaynaklı olduğu görülür. Kişisel ve toplumsal değişiklikler görülmekte birlikte eşdeğer gürültü seviyesi 55 dBA'yı aştığında rahatsızlıkların başladığı, 65 dBA ve üzerinde olduğunda, uyuma eyleminin ciddi biçimde zedelendiği ve insanların büyük bir çoğunluğunun gürültüden rahatsız olduğu kabul edilmektedir (Karabiber, 2002).

85 dBA'nın üzerinde olan devamlı ve yaygın gürültüye uzun süre maruz kalınması işitme kayıplarına neden olabilir. Sürekli işitme kaybı, maruz kalınan gürültünün düzeyine, frekansına ve maruz kalınan süreye göre kişiden kişiye değişebilir (Hofman and Kumar, 1995).

2. BİLGİ BİRİKİMİ

2.1. Temel Ses Bilgisi

Bu bölüm Gürültü Kontrolü kitabından (Özgüven, 2008) özetlenerek alınmıştır.

2.1.1. Ses ve Gürültü Tanımı

Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji şeklidir. Ses, kulak tarafından algılanabilen hava, su ya da benzeri bir ortamdaki basınç değişimidir. Sesin doğuşu ve yayılması, ortamdaki parçacıkların titreşimi ve bu titreşimlerin komşu parçacıklar iletilmesiyle olur. Ortamdaki parçacıkların titreşmesiyle oluşan dalgalar, havada basınç değişiklikleri oluşturur. Bu basınç değişiklikleri kulak tarafından elektrik sinyallerine çevrilir ve beyin tarafından "ses" olarak algılanır. Hava basıncının değişme miktarına ses basıncı denir.

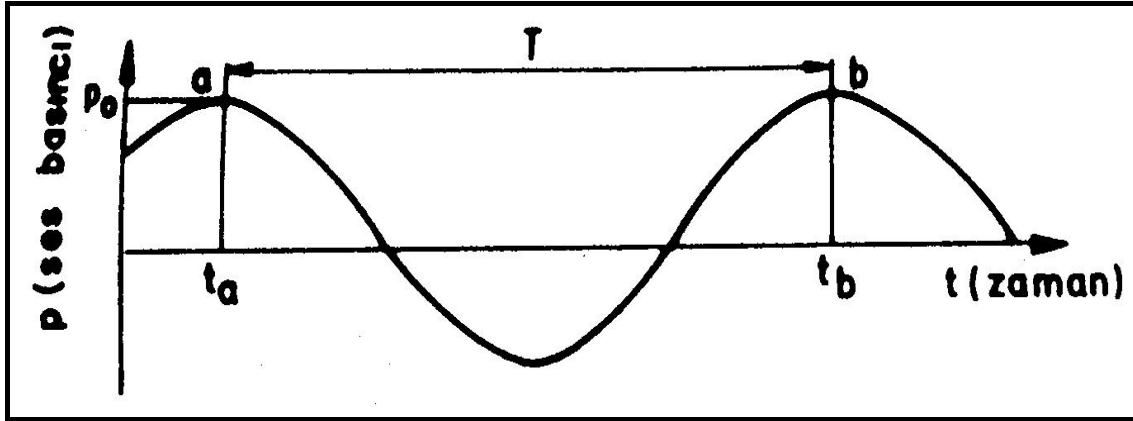
Ses nesnel bir kavramdır. Yani ölçülebilir ve varlığı kişiye bağlı olarak değişmez. Gürültü ise öznel bir kavramdır. Gürültüyü, "hoşa gitmeyen, istenmeyen, rahatsız edici ses" olarak tanımlayabiliriz. Bir sesin gürültü olarak nitelenip nitelenmemesi kişilere bağlı olarak değişebilir. Birçok gürültü tipinin kuşkuyla yer vermeksizin herkes tarafından gürültü olarak kabul edileceği açıktır. Endüstriyel gürültü bu tip bir gürültüdür. Ayrıca çok yüksek sesin, hoşa gitse bile, işitme kaybından birçok fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıklara dek uzanan zararlı etkisi nedeniyle kontrol edilmesi gerekir.

2.1.2. Ses Dalgalarının Özellikleri

Şekil 2.1 basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimini göstermektedir. P_0 ile gösterilen, basıncın en büyük değerine genlik denir. Basıncın, birbirini izleyen en büyük iki değeri arasında geçen zamana (örneğin, $t_b - t_a$) periyot adı verilir. T ile gösterilen periyodun birimi, zaman birimi olan saniyedir. Basınç değişimi her periyotta (T zamanında) aynen tekrarlanmaktadır. Periyodun tersi ($1/T$) frekansıdır (f). Periyot, "bir basınç değişim devri için geçen zaman olarak tanımlanabileceğine göre; frekans, "birim zamandaki basınç değişim

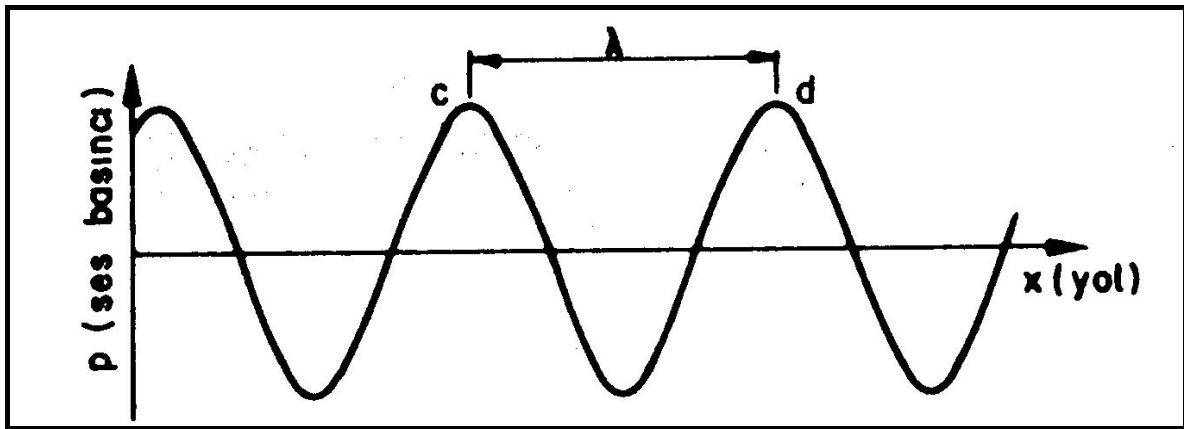
devri sayısıdır. Bu tanımlardaki "basınç delişim devri" ile anlatılmak istenen, basıncın aynı düzey ulaştığı (aynı yönden yaklaşarak) birbirini izleyen iki nokta (örneğin a ve b) arasındaki kısımdır. Frekans, genellikle "bir saniyedeki devir sayısı" (Hertz) ile ölçülür.

$$T = 1 / f \quad (2.1)$$



Şekil 2.1. Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimini

Şekil 2.1 herhangi bir noktadaki basıncın zamanla değişimini göstermektedir. Herhangi bir anda, ses dalgasının yarattığı ses basıncının ses kaynağından olan uzaklıkla değişimi ise Şekil 2.2'de olduğu gibi gösterilebilir. Şekil 2.2'de, yatay eksen yolu gösterdiğinden, birbirini izleyen iki benzer nokta (örneğin c ve d) arasındaki uzaklık dalga boyu (λ) olacaktır.



Şekil 2.2. Basit harmonik bir ses dalgasının bir yönde ilerleyişi

2.1.3. Harmonik Olmayan Ses Dalgaları ve Ses Basıncının RMS değeri

Harmonik bir ses dalgası, periyodunun (ya da frekansının) ve genliğinin bilinmesiyle tanımlanabilir. Çevremizde duyduğumuz seslerin büyük bir çoğunluğu harmonik değildir. Bu durumda, ya ses dalgası periyodik bile değildir, ya da periyodiktir, fakat harmonik değildir. Her iki durumda da ses basıncının yüksekliğini, ses basıncının genliği ile tanımlamak olanaksızdır. Böyle durumlarda, ses basıncı hakkındaki en önemli bilgiyi, ses basıncını rms değeri adı verilen ortalama kare değerinin karekökü verir. Ses basıncının zamanla değişimi $p(t)$ ise, bu ses basıncının T süresindeki rms değeri,

$$P = \left[\frac{1}{T} \int p^2(t) dt \right]^{0,5} \quad (2.2)$$

eşitliğiyle tanımlanır. Periyodik ses dalgaları için, Formül 2.2'de T olarak ses dalgasının periyodu alınır. Periyodik olmayan ses dalgaları için ise, ses basıncının rms değeri ancak söz konusu bir T süresi için bulunabilir. Harmonik bir ses basıncının rms değeri, ses basıncı genliğinin $(2^{0,5})/2$ 'sidir.

2.1.4. Desibel Kavramı

İlk kez elektrik mühendisliğinde kullanılan desibel, bir oranı veya görelî bir değeri gösterir. Alexander Graham Bell'in anısına bel adı verilen birim, iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla 1 bel, oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir. Bu oranın çok yüksek olmasından dolayı desibel adı verilen ve "oranların logaritmasının 10 katı" olarak tanımlanan birim daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayılardan biri bilinen bir sayı olarak alındığından; desibel, söz konusu bir büyüklüğün referans büyüklüğüne oranının logaritmasının 10 katıdır. Desibel, genelde, güç ya da güç eşdeğeri büyüklükleri ölçmekte kullanılır. Desibel (dB) ile ölçtüğümüz büyüklüklere düzey adı verilir. Örneğin, W değerindeki bir gücün W_0 referans değerine göre düzeyi,

$$\text{Düzy (dB)} = 10 \log (W/W_0) \quad (2.3)$$

olarak tanımlanır. Dolayısıyla, referans olarak alınan W_0 'ın değerini bilmeme durumunda, tek başına W 'nin dB cinsinden düzeyi hiçbir anlam taşımaz. Doğrusal bir ölçek yerine logaritmik bir ölçek kullanılışından dolayı, alt ve üst sınır değerleri arasında büyük farklar olan ses ölçümleri için desibel çok uygundur.

2.1.5. Ses Gücü Düzeyi

Bir ses kaynağının yaydığı ses enerjisinin gücüne ses gücü (veya akustik güç), bu gücün düzeyine ise ses gücü düzeyi (L_w) adı verilir. Referans gücü olarak uluslararası referans $W_0=10^{-12}$ W kullanılır.

Ses gücü W olan bir kaynağın ses gücü düzeyi L_w ,

$$L_w = 10 \log (W / 10^{-12}) \quad (2.4)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Örneğin 1 W ses gücü olan bir uçak motorunun ses gücü düzeyi,

$$L_w = 10 \log 10^{12} = 120 \text{ dB'dir.}$$

Bir makinenin ses gücü, bu makinenin toplam gücünün ses olarak yayılan kısmıdır ve genellikle toplam gücün çok küçük bir kısmıdır. Amacı ses üretmek olan hoparlörlerde bile toplam gücün en fazla % 10'u ses gücüdür.

Çizelge 2.1.'de bazı ses ve gürültü kaynaklarının harcadıkları ses güçleri ve ses gücü düzeyleri verilmiştir. Bu çizelgenin incelenmesi, ses ölçümlerinde desibel kullanmanın sağladığı kolaylığı açıkça göstermektedir: Çizelge 2.1'de verilen ses gücü değerleri 10^{-9} W ile $5 \cdot 10^7$ W arasında değişirken, ses gücü düzeyleri sadece 30 dB ile 197 dB arasında kalmaktadır. Desibel kullanılması, bizi çok küçük ya da çok büyük sayılarla uğraşmaktan kurtarmakta ve geniş bir aralığa yayılan sayıları, küçük bir aralıkta toplanmış sayılarla anlatabilmemizi sağlamaktadır. Ses gücü düzeyi bilinen bir kaynağın ses gücü,

$$W = 10^{-12} * 10^{(L_w/10)} \quad (2.5)$$

bağıntısından watt olarak bulunabilir.

Çizelge 2.1. Çeşitli Ses ve Gürültü Kaynaklarının Tipik Ses Güçleri ve Ses Gücü Düzeyleri

Kaynak	Ses gücü (W)	Ses gücü düzey (dB, referans 10^{-12} W)
Fısıltı	10^{-9}	30
Normal konuşma	10^{-5}	70
Bağırarak konuşma	10^{-3}	90
Kamyon kornası	10^{-1}	110
Pervaneli uçak motoru	1	120
Senfoni orkestrası	10	130
Dört pervaneli uçak	100	140
Dört jet motorlu uçak	5×10^4	167
Satürn roketi	5×10^7	197

2.1.6. Ses Basıncı Düzeyi

Ses, kulak zarıyla temasta bulunan havanın basıncının değişmesiyle algılandığından, bir ses kaynağının ses gücünden daha çok, belli bir noktada yarattığı ses basıncı önemlidir. Ses basıncı düzeyi L_p ,

$$L_p = 10 \log (P^2/P_0^2) \quad (2.6)$$

olarak tanımlanır. Burada p ses basıncının ortalama kare değerinin karekökü (rms değeri). P_0 ise uluslararası referans basıncı olarak kabul edilen 20 mikropaskal (20×10^{-6} Pa ya da N/m^2)'dir.

20 mikropaskalın referans olarak seçilme nedeni; ortalama genç bir yetişkinin, frekansı 1000 Hz olan bir ses dalgasını duyabilmesi için en az 20×10^{-6} Pa değerinde bir basıncın gerekmesidir. Yani 1000 Hz'deki duyma eşiği referans alınmıştır. Ses basıncı düzeyinin tanımında basınçların değil de basınçların karelerinin oranının kullanılma nedeni, dB'in genellikle güç oranları için kullanılması ve gücün, basıncın karesiyle orantılı olmasıdır.

2.1.7. Ses Şiddeti ve Ses Şiddeti Düzeyi

Sesin kaynağın bulunduğu ortamın akustik ve geometrik özellikleriyle kaynaktan olan uzaklığa bağlı olarak değişen bir özelliği de ses şiddetidir. Ses şiddetini tanımlamak için W ses gücüne sahip bir ses kaynağından çıkan ses dalgalarının A alanından geçtiği kabul edilirse birim alandaki güç,

$$I = (W / A) \quad (2.7)$$

ses şiddetini verir. Ses şiddeti düzeyi L_I ise, daha önceki düzey tanımlamalarına benzer şekilde,

$$L_I = 10 \log (I / I_0) \quad (2.8)$$

olarak tanımlanır. I_0 olarak 10^{-12} W/m^2 alınmaktadır.

Sesin havada yayılması düşünüldüğünde,

$$L_I = L_p - 0.16 \text{ dB} \quad (2.9)$$

bulunur. 0.16 insan kulağının fark edemeyeceği bir değer olduğundan, havada ilerleyen ses dalgaları için L_I yerine L_p alınabilir. Bu nedenle gürültü analizlerinde ses şiddeti yerine, ölçülmesi çok daha kolay olan ses basıncı kullanılır.

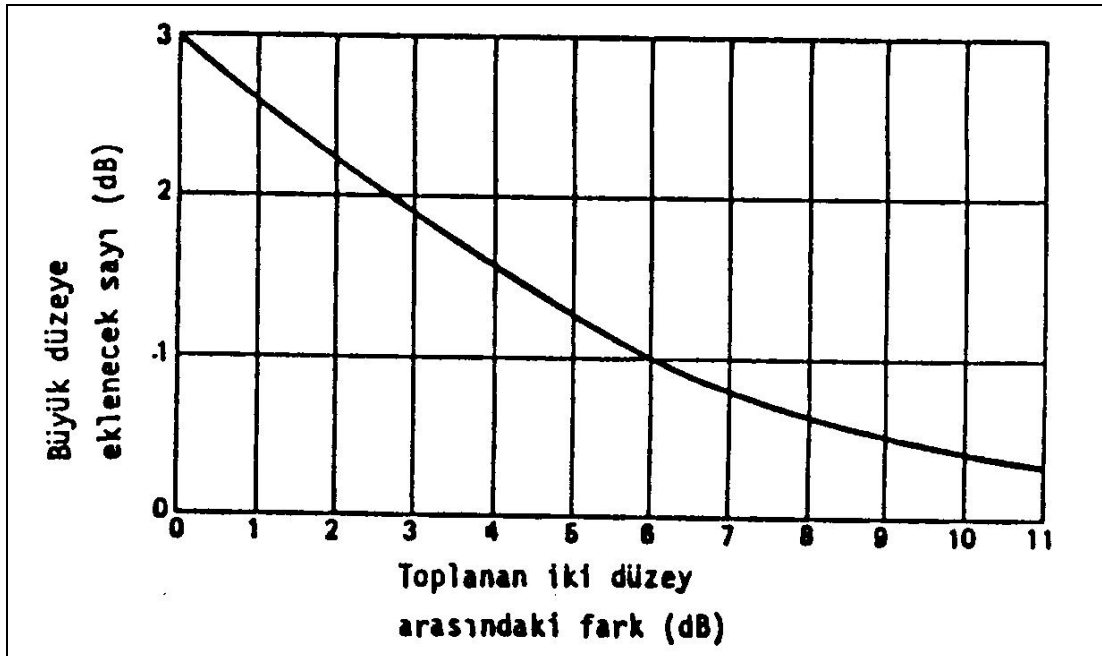
2.1.8. Desibellerle İşlem (Toplama, Çıkarma, Ortalama Alma)

Ses basıncı düzeyleri L_{pi} olan n ayrı ses dalgasının toplam ses basıncı düzeyi, L_{pi} 'lerin aritmetik toplamıyla bulunamaz. Buna karşılık, n ayrı sesin ses basıncının rms değerini bilirsek toplam ses basıncı düzeyini bulabiliriz. Toplam ses basıncı düzeyi,

$$L_{pt} = 10 \log (\sum 10^{(L_{pi}/10)}) \quad (2.10)$$

formülüyle hesaplanır.

İnsan kulağının sese karşı duyarlılığı göz önüne alındığında 1 dB'nin altındaki hassas hesaplamaların pratik bir değeri olmayacağı görülür. Bu nedenle hesaplamalarda tüm değerler, genellikle, en yakın dB'e yuvarlanır. Bu durumda birden fazla ses basıncı düzeyini toplamak için Formül 2.10 yerine, Şekil 2.3'de gösterilen desibel toplama eğrisi kullanılabilir.

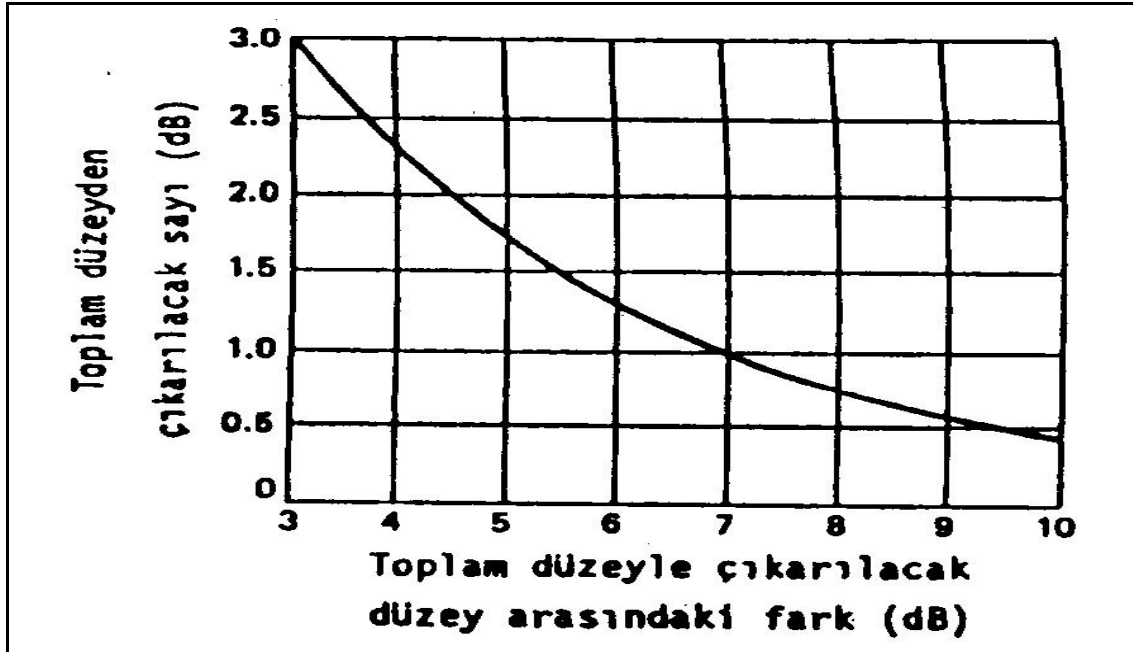


Şekil 2.3. Desibel toplama eğrisi

Desibellerle çıkarma işlemi, ölçülen ses basıncı düzeyinden (L_{pt}) çevre gürültüsünün yarattığı ses basıncı düzeyini (L_{pA}) çıkararak belli bir kaynağın yarattığı ses basıncı düzeyini (L_{pB}) bulmak gerektiği ya da benzeri durumlarda kullanılır. Desibellerle toplama işlemine benzer bir yol izlenerek,

$$L_{pB} = 10 \log [10^{L_{pt}/10} - 10^{L_{pA}/10}] \quad (2.11)$$

denklemini bulunabilir. Benzer bir eşitlik ses gücü düzeyleri veya ses şiddeti düzeyleri için de yazılabilir. Desibellerle çıkarma işlemi için Şekil 2.4'deki eğri de kullanılabilir.



Şekil 2.4. Desibel çıkarma eğrisi

Şekillerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz:

1. Eşit büyüklükteki iki düzey toplandığında, toplam düzey eşit düzeylerden 3 dB daha yüksek olmaktadır.
2. Aralarında 10 dB ya da daha fazla fark olan iki ses düzeyinin toplanması sonucunda elde edilen düzeyin, yüksek düzeyden farkı 0.5 dB'den azdır. Dolayısıyla, yarattıkları ses basıncı düzeyleri arasında 10 dB ya da daha fazla fark bulunan iki ses

kaynağından düzeyi düşük olanın susturulması toplam ses basıncı düzeyini değiştirmemektedir.

Aynı noktada alınan birden fazla ölçümün farklı olması durumunda ortalama değeri bulmak isteyebiliriz. Ya da değişik noktalarda yapılan ölçümlerden yararlanarak ortalama ses basıncı düzeyini (L_p) hesaplamak gerekebilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, ölçülen sayıların ortalamasını değil, ölçülen dB düzeylerinden yararlanarak basınç kare değerlerinin (p^2) ya da güçlerin (W) ortalamasını aldığımızdır. Bu durumda n ayrı L_{pi} değerinden bulunan ses basıncı kare değerlerinin ortalaması,

$$P_{or}^2 = 1/n [P_o^2 \Sigma 10^{(L_{pi}/10)}] \quad (2.12)$$

olur. Ortalama ses basıncı düzeyi ise,

$$L_p = 10 \log (1/n \Sigma 10^{(L_{pi}/10)}) \quad (2.13)$$

olarak bulunur.

Kullanımı daha az olmakla birlikte, benzer eşitlikler ses gücü düzeyleri ya da ses şiddeti düzeyleri için de yazılabilirler. Eşitlik antilog ve log almayı gerektirdiğinden, pratikte, ortalama almak için yaklaşık formüller (Formül 2.14, Formül 2.15) kullanılabilir:

1. En büyük ve en küçük değerler arasındaki fark 5 dB ya da daha küçükse

$$(L_p)_{yak} = 1/n \Sigma L_{pi} \quad (2.14)$$

2. En büyük ve en küçük değerler arasındaki fark 5 -10 dB arasındaysa,

$$(L_p)_{yak} = 1/n \Sigma L_{pi} + 1 \quad (2.15)$$

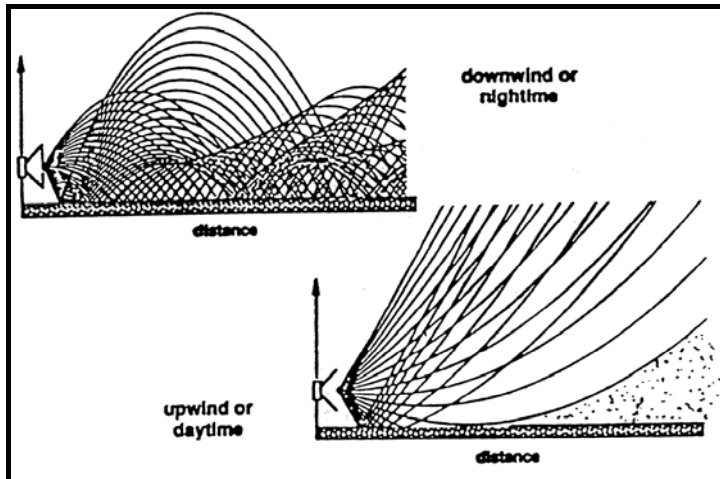
2.2. Sesin Yayılımını Etkileyen Faktörler

2.2.1. Ses Kaynağından Uzaklaşma

Ses enerjisinin yayılımı sonucunda sesin dalga yönünün genişlemesiyle ses düzeyinde azalma olmaktadır. Geometrik yayılma frekanstan bağımsızdır ve bütün koşullarda ses düzeyini önemli bir biçimde etkiler. Dengeli atmosferde ses ışınları düz çizgiler durumunda yayılırlar. Sesin küresel olarak yayıldığı uzaklık nokta kaynağın boyutlarına göre çok büyüktür. Sonuçta; alıcıdaki ses düzeyi uzaklık her iki katına çıktığında 6 dB düşmektedir. Bu durum yalnız nokta veya çizgi kaynağın açık alanda bulunması durumunda doğrudur. Genelde zemine yakın kaynak için doğru değildir. Çünkü direkt ve zeminden yansıyan ses ışınları arasında girişim olmaktadır (Bahçeşehir Üniversitesi, 2006).

2.2.2. Meteorolojik Etkenler

Bir ses dalgası atmosferin içinden geçerken enerjisinin bir kısmını havanın yoğunluğu ve ısı difüzyona bağlı olarak kaybeder. Yüksek frekanslar için uzak mesafelerde bu kayıp daha belirgindir (Muradali and Fyfe, 1999). Şekil 2.5.'de tipik atmosferik şartlarda ses ışınlarının hareket yönü gösterilmektedir.

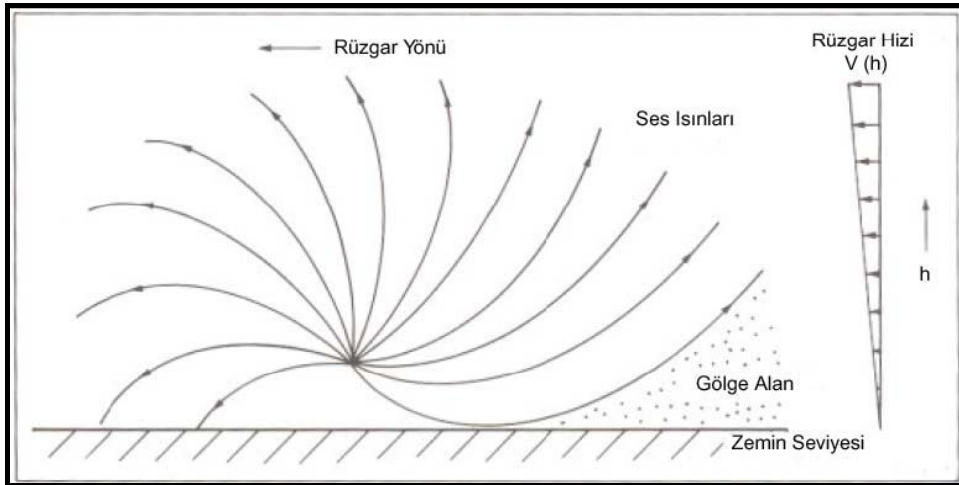


Şekil 2.5. Tipik Atmosferik şartlarda ses ışınları (Muradali and Fyfe,1999)

2.2.2.1. Rüzgar Etkisi

Dünya yüzeyinde atmosfer sürekli hareket halindedir ve normal fiziksel özellikleriyle birlikte viskoziteye sahip bir akışkanlık içerir. Havanın akışkanlığından dolayı zemindeki moleküllerin hızı sıfırdır ve yüzeye yakın yerlerde bir sınır tabakası oluşur. Bu tabakada rüzgar hızı, hava kütesinin hızına erişinceye kadar artar. Bu yüzeyin kalınlığı yüzlerce metre olabilir ve pek çok gürültü kaynağının ölçümlerini etkiler. Ses dalgası farklı bir hıza sahip hava tabakasına çarptığında, dalga yönü değişir. Çünkü sesin hızı dağıldığı ortama bağlıdır. Ortamdaki herhangi bir hareket direk olarak ses dalgasının da hareketini etkiler.

Rüzgar gibi aynı yönde bileşenlere sahip bir ses, ortama girdiğinde yayılma yönünü belirleyen ışın iki farklı hız bölgesi arasında kırılır. Sesin yayılma yönü rüzgar yönünün tersine doğruysa bu etkilerde tam ters şekilde gerçekleşir. Ses şiddetindeki dalgalanmalar 30 dB'e kadar yükselebilir fakat kaynağın rüzgar yönünde bulunma etkisinden meydana gelen yükselme daha düşüktür. Şekil 2.6.'da sesin sınır bölgede kırılarak yayılması gösterilmektedir.



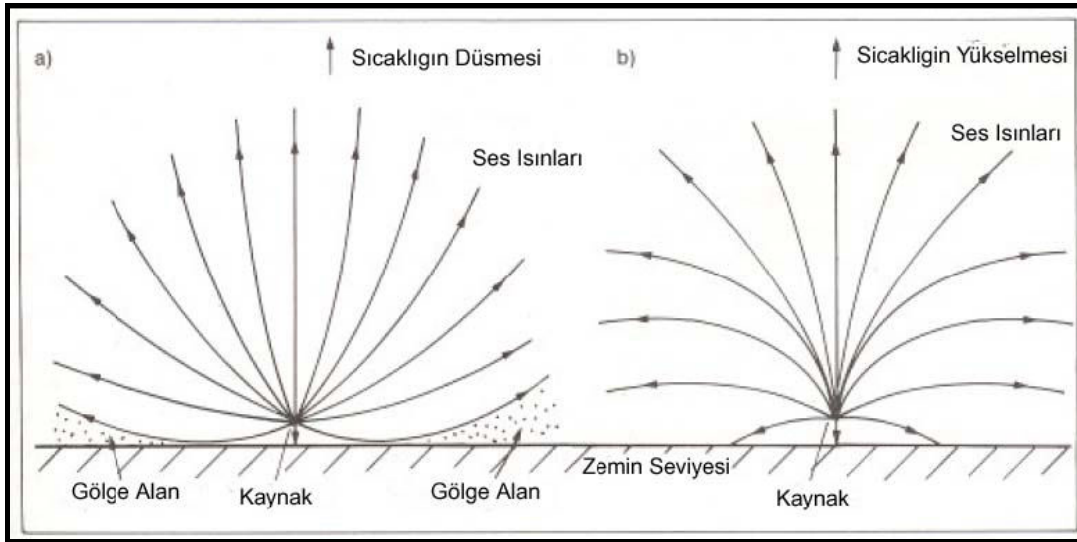
Şekil 2.6. Sınır Bölgede Sesin Kırılması (Foreman,1990).

2.2.2.2.Sıcaklık

Sesin havadaki hızı sıcaklıkla beraber artar ve atmosferde yükseklik arttıkça sıcaklık düşer. Yükselen bir ses ışını; düşük sıcaklıkta bir tabakaya girdiğinde, yayılma hızında bir azalmaya olur ve iki tabaka arasındaki yüzeyde kırılmaya uğrar.

Rüzgarın etkili olmadığı bir zamanda, ses ışınları zemin yüzeyinden sürekli olarak kırılmaya uğrar. Kaynaktan belirli uzaklıklarda sıcaklık değişkenlerine bağlı olarak gölge alanlar oluşur.

Zemine yakın alanlarda sıcaklık değişkenleri pozitif olduğunda sıcaklık normal sapma oranına geri döndüğü noktaya kadar yükselir. Bu duruma “sıcaklık inversiyonu” denir. Zeminden kırılan ses ışını havanın daha sıcak olan tabakasına doğru ilerleyerek yüzeydeki ses alanını güçlendirir ve gölge alanlar oluşmaz. Şekil 2.7.’de sıcaklık değişiminin sesin yayılımına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Sıcaklık ve Yayılma ilişkisi (Foreman,1990)

2.2.2.3. Bağlı Nem

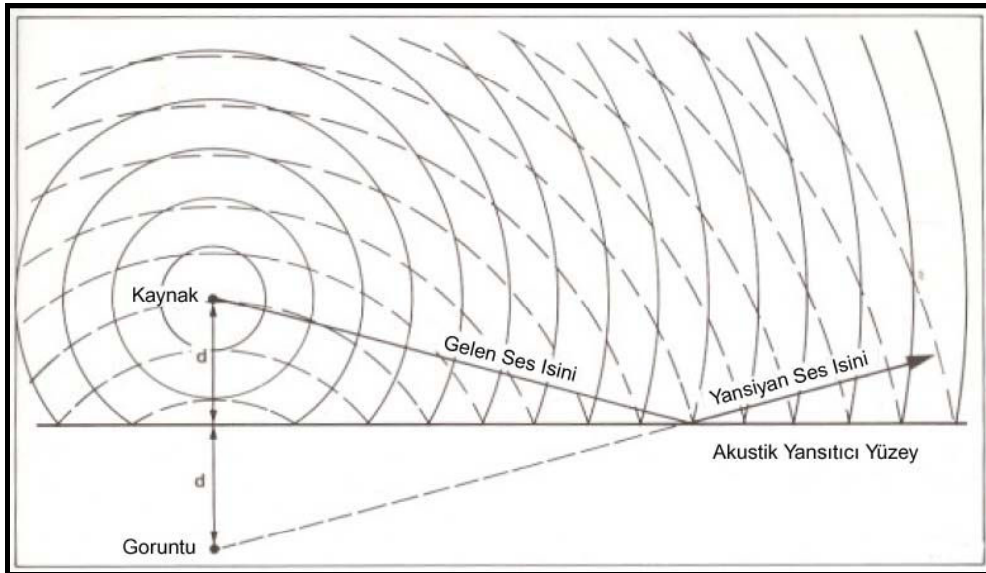
Hava ortamında sesin yutulması sesin frekansına bağlı olarak, nem ve sıcaklıkla değişimlere uğrar. Yüksek frekanslarda yutulma artar. Sıcaklığın arttığı anlarda görülen yükselme bağlı nemin yükselmesiyle düşer.

2.2.3. Doğal Çevreden Meydana Gelen Yutulma

Ses dalgasından daha düşük seviyedeki zemin düzgün ve yansıtıcıysa ses herhangi bir azalmaya uğramadan her noktadan yükselen bir düzeye akustik enerjisini yayar. Beton gibi yansıtıcılık özelliği iyi olmayan sert bir yapay yüzey ve doğal yüzeylerin büyük çoğunluğu önemli yutuculuk değerine sahiptir. Bu tür yüzeylere gelen ses dalgasının şiddetinde azalma meydana gelir. Zeminin pürüzlülük özelliğine, dalga boyu ve zemin düzensizliklerine bağlı olarak yüksek frekanslarda ses şiddetinde azalma daha fazla olur.

2.2.4. Yansım

Ses dalgaları herhangi bir yüzeye geldiğinde enerjinin bir kısmı yansır, bir kısmı iletilir, bir kısmı ise yüzey tarafından yutulur. Serbest alanda, kaynaktan direkt yayılan anlık ses basıncı ve yüzey yansımalarından dolayı olarak yayılan ses enerjisinin bir kısmı yutulur. Eğer yutulma ve iletim düşükse; yüzeye gelen ses enerjisinin büyük bir kısmı yansır. Şekil 2.8.'de sesin bir yüzeyden yansıyarak yayılması gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Düzlem Yüzeyden Yansım (Foreman,1990)

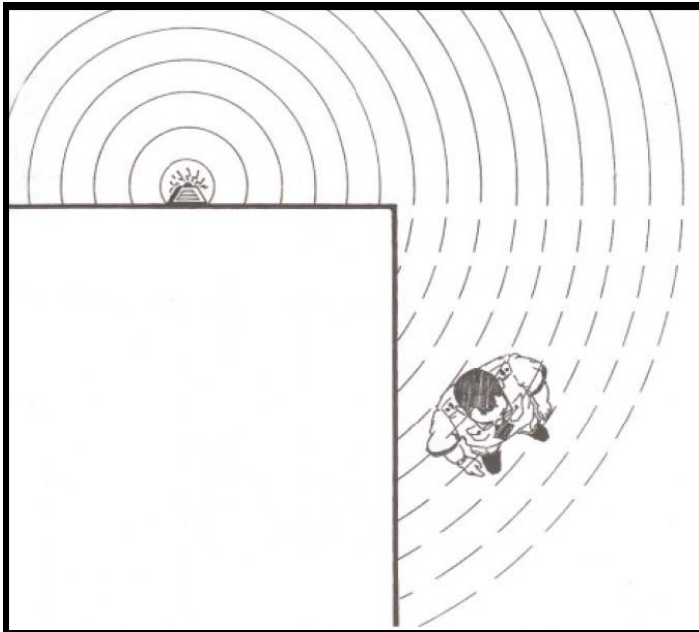
2.2.5. Yüzeylerden Meydana Gelen Yutulma

Ses dalgaları bir yüzeyle karşılaştığında enerjinin bir kısmı kaybolur. Yüzeyin yutuculuğu, pürüzlülük, gözeneklilik, esneklik etkileriyle yutuculuk özelliği değişkenlik gösterir. Yutucu bir yüzeyin verimi 0 ve 1 arasında bir değerle ifade edilir. Buna yutuculuk katsayısı denir. Katsayının 0 olması yutuculuk olmadığını; 1 olması ise tam yutucu olduğunu ifade eder (Foreman, 1990).

2.2.6. Kırılarak Yayılma

Kırılarak yayılma sesin engel etrafındaki geçişi anında meydana gelen yön değişikliğidir. Sesin bir engele çarptığı anda kırılarak yayılma etkisinden dolayı duvarın arkasında bir ses alanı oluşur. Düzlem dalga duvara çarptığı anda engelin kenarı yeni bir ses kaynağı gibi davranır. Buradan duvarın arkasındaki gölge alana doğru yayılma olur. Duvarın arkasında oluşan sesin düzeyi gelen ve yansıyan seslerin düzeylerinden daha azdır. Kırılarak yayılma etkisi frekans kaybı nedeniyle duvar arkasında gölge alanların oluşmasına neden olur (Everest, 2001).

Şekil 2.9.'da sesin kırılarak yayılması gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Kırılarak Yayılma Etkisi (South, 2004)

2.3. Karayolu Ulaşım Gürültüsü

Trafiğin neden olduğu çevre etkilerinin başında gürültü ve hava kirliliği gelmektedir. (Dülgeroğlu, A., 2002) Trafik gürültüsü, çoğunlukla makine-egzoz gürültüsü ile lastik-yol etkileşimi gürültüsüne bağlıdır. Makine-egzoz gürültüsü, sırasıyla taşıt teknolojisine, yolun ve kullanım alışkanlıklarından gelen taşıtın hızına ve vites kullanımına; lastik gürültüsü ise, taşıtın hızına ve yol yüzeyinin kalitesine bağlıdır. Örneğin, dört vitesli bir arabada genellikle motor ve egzoz gürültüsü ilk ve ikinci viteslerde ağır basarken, üçüncü viteste motor, egzoz ve lastik gürültüleri eşit miktarda etkili olmakta ve dördüncü viteste ise, lastik gürültüsü ağır basmaktadır (Bies and Hansen, 2003).

Taşıt sayısı arttıkça ulaşım gürültüsü artmaktadır. Diğer taraftan trafikteki araçların türlerine göre de gürültü seviyesi değişiklik göstermektedir. Kamyon sayılarındaki artış gürültü seviyelerinde artışa neden olup, bir kamyonun neden olduğu gürültü miktarı 4 binek arabasına eşdeğerdir.

Trafikteki araçların seyir hızları da önemli değişkenlerdendir. Düşük hız, düşük gürültü yaratmaktadır.

Taşıt yaşı da gürültü miktarına etki eden faktörlerdendir. Eski araçların yenilere göre daha fazla gürültü çıkarmaktadır.

Daha az kalınlık ve çaptaki lastikler daha az gürültüye neden olmaktadır. Radyal tip lastikler ile farklı sırt yapılarına sahip lastiklerde etkiler de farklı olmaktadır.

Yolun tek veya çift yönlü olmasına, şerit sayısına, orta refüjde engel olmasına vb. göre gürültü seviyelerinde farklılıklar görülmektedir. Yoldaki aşağı eğimin gürültü seviyelerinde azalıma neden olmaktadır. Yokuş yukarı olduğunda ise eşdeğer düzey bir miktar artmaktadır. Yol kaplama malzemelerinin dokusu, boşluk oranı, yoğunluğu, yüzeyin kuru ya da ıslak olması vb. nedenlere bağlı olarak farklı davranışlar meydana gelmektedir.

2.3.1. Taşıtlardaki gürültü kaynakları

Taşıtlarda gürültü kontrolü, kaynaklarının çokluğu ve yayılım yollarının çeşitliliği nedeniyle çözümü zor bir akustik problemdir. Hem ses hem de titreşimler taşıtın bütün gövdesi ve donanımları üzerinden yayılmaktadır. İlk önce yapılması gereken gürültü kaynaklarını tespit etmek ve bunların gürültü seviyelerini azaltmaya veya uygun frekanslara kaydırmaya çalışmaktır. Dolayısıyla önce taşıttaki gürültü kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir (Güney, 1994). Taşıtlardaki başlıca gürültü kaynakları 8 tanedir.

2.3.1.1. Motor gürültüsü

Genel olarak, araç gürültüsünün ana nedeni motor gürültüsüdür. Motorun titreşen aksamaları, yanma olayı ve bu olayı gerçekleştiren enjeksiyon pompası, egzoz sistemi, kompresör ve benzeri parçaların tümünden oluşan gürültü motor gürültüsü olarak adlandırılmaktadır. Motor gürültüsü, kararlı harmonik yapılı bir gürültü ile değişken, insan sesine benzeyen yapılı bir gürültüden meydana gelir ve değişken yapılı kısmından daha güçlü olan bu kararlı harmonik yapılı gürültü, motordaki yanma olayından kaynaklanmaktadır (McClellan et al., 2006).

Motor silindirindeki yanma olayı ani bir basınç darbesi yaratır. Bu darbe silindir duvarlarının ve motor kafesi aracılığı ile motor yan duvarlarının titreşmesine sebep olur. Bu titreşimler havanın basınç salınımları yapmasına bir ses oluşmasına sebebiyet verir. Motor devir sayısının düşürülmesi, silindir sayısının artırılması ve motor gövdesinin kalınlaştırılması gibi önlemlerin gerçekleştirilmesi yakıt tüketimine, maliyete, performansa ve vergi oranlarına getireceği ek yükler nedeniyle üretici ve kullanıcılar tarafından tercih edilmeyen yöntemlerdir. Daha çok motordan yayılan gürültünün yalıtımı yoluna gidilmektedir (Çetin vd., 2002).

2.3.1.2. Hava filtresi

Hava emme ağzı, filtre haznesi boyun uzunluğu ve filtreye bağlantısı hava akış tekniğine uygun tasarlanmalıdır. Sistem titreşim açısından incelenmeli, hava filtresi

haznesi mümkün olduğunca büyük tutularak hava filtresi emme gürültüsü en aza indirilmelidir.

2.3.1.3. Fan Gürültüsü

Motor suyunun soğutulması amacıyla kullanılan fanın gürültüsünü azaltmak için pervane kanatlarının asimetrik tasarlanması ve iyi dengelenmesi gibi önlemler alınmalıdır (Akalp vd., 2002).

2.3.1.4. Egzoz gürültüsü

İyi tasarlanmamış bir egzoz sistemi en önemli gürültü kaynağıdır. Egzoz gürültüsünün araçlardan yayılan toplam gürültüye payı, araç ve kullanılan susturucu tipine bağlı olarak değişmekle beraber, % 40 oranındadır. Bu nedenle, motorlu araçlardan yayılan gürültünün azaltılması için üzerinde çalışılması gereken önemli konulardan bir tanesi de egzoz sistemi olmaktadır.

Egzoz sisteminin yapması gereken esas görevi, yanma sonrası oluşan gazları en az kayıpla atmosfere atmak, ikinci görevi ise motordan gelen gürültünün çevreye yayılmasını engellemektir. Söz konusu görevleri oluşturan bu iki olay birbirine zıt yönde etki ederler. Gürültünün düşürülmesi demek gazın bir iş yapması demektir. Bunun sonucu olarak basınç kaybı ortaya çıkar ki bu da motor performansında azalma demektir. Bu nedenle iyi bir egzoz tasarımında, gürültü azaltılması ile motor performansı ve yakıt ekonomisi arasında optimum bir noktayı bulmak gerekir (Öge ve Ögüt, 1998).

2.3.1.5. Vites kutusu ve aktarma organları gürültüsü

Vites kutusu gürültüsü takırtı ve uğultu şeklinde tanımlayabileceğimiz iki tipte olur. Bulardan birincisi üzerinde moment bulunmayan dişli gruplarının diş temas değişimi sesidir. Vites kutusu giriş devir sayısı düzgünsüzlüğü, dişli boşlukları, sürtünme kuvvetleri gibi nedenlere bağlıdır. Uğultu olarak algılanan ikinci ses ise o an moment akışında bulunan dişlilerin yarattığı sestir ve seçilen vites kademesine bağlıdır. Dişli

kuvvetlerinin sebep olduğu titreşimler mil ve yataklar vasıtasıyla vites kutusuna iletirler ve gövde panellerinin titreşimiyle gürültü oluşur.

2.3.1.6. Tekerlek asılış sistemi gürültüsü

Yol bozukluklarının yutulması amacıyla tekerlekler taşıta oynak kollar ve yay-sönüm elemanlarıyla bağlanmıştır. Seyir stabilizesi açısından sert olması istenen bu elemanlar, titreşim ve gürültü yalıtımı açısından yumuşak olmalıdır.

2.3.1.7. Seyir rüzgârı gürültüsü

Rüzgâr gürültüsü de ancak yüksek hızlarda önemli olmaktadır. Taşıtin dış çevresinde oluşan hava akımının akışı sırasında oluşan titreşimler ve aracın tüm dış yüzeyinin yol ve motor nedeniyle titreşmesinden ötürü komşu hava kütleinde oluşan hava basınç salınımları gürültü oluşumuna neden olmaktadır. İyi bir kaporta tasarımı, aracın çevresindeki hava kütleinin daha kolay akmasına dolayısıyla oluşacak gürültü miktarının da azalmasına neden olur (McClellan et al., 2006).

2.3.1.8. Lastik gürültüsü

Taşıtların şehir içindeki düşük hızda ve ivmeli hareketlerinde motor, aktarma organları ve egzoz sistemi gürültüleri en önemli gürültü kaynaklarını oluştururken, yüksek hızlı otoyollardaki trafikte lastik yol etkileşiminden kaynaklanan gürültü en yüksek gürültü emisyonunu oluşturmaktadır. Genel olarak, dizel motorlu büyük kamyonlar hariç tüm taşıtlarda 100 km/saat ve üzeri hızlarda lastik-yol gürültü en etkin kaynaktır. Modern küçük taşıtlar için bu değer 60 km/saat seviyesine kadar düşmektedir. Islak zeminde ise aynı lastik gürültüsü seviyesi daha düşük hızlarda oluşmaktadır.

Tekerlek yol temas yüzeyinde bulunan profil elemanlarının boylarının kısılmasıyla, profiller arasında bulunan hava sıkışmaya uğrar. Sıkışma sonucu bu hava lastik profilleri arasındaki kanallardan ve yol kaplamasının gözenekleri arasından kaçmaya zorlanır. Profil elemanları temas yüzeyinin arkasında serbest kalırken ise, profil elemanlarının uzunluklarının tekrar artmasıyla profiller arasında oluşan vakumunda

etkisiyle bu sefer ters yönde bir hava hareketi oluşur. Profil elemanları arasında oluşan bu hava hareketleri, yüksek frekanslı bir gürültüye sebep olur (1000 Hz'den büyük). Bu olaya "hava pompalama" denir. Havanın pompalanması sonucu oluşan bu gürültü profillerin cinsine, geometrisine ve yol kaplamasının özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır.

Lastik gürültüsü oluşumundaki bir diğer etken de, temas yüzeyinin ön ve arka kısımlarında, yol yüzeyi ile eğri lastik yüzeyi arasında bulunan havada oluşan rezonanstır. Bu hava rezonansları oluşan gürültünün artmasına neden olur. "Horn effect" olarak adlandırılan bu etkinin en belirgin olduğu bölge 700-1000 Hz aralığıdır. Akustik yutturuculuğu yüksek olan yüzey kaplamaları bu etkiyi azaltmaktadır.

Lastik profilleri ile yol yüzeyinin çarpışmaları ve yol kaplamasının pürüzlülüğü, lastik profillerinin titreşmesine ve belli bir gürültü oluşmasına neden olur. Ancak bu titreşimlerin asıl etkisi lastik yanaklarında oluşmaktadır. Bu titreşimler lastik yanaklarına iletildiklerinde en etkili bölgesi 400-1000 Hz civarında olan bir gürültü oluşmasına neden olur. Lastik yanaklarının bu titreşimleri, lastik-yol gürültüsünün ana kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Eğer lastik sırt yüzeyinde çevresel düz kanallar bulunuyorsa, bu kanalların temas yüzeyinde bulunan kısımları oluşan gürültüyü artırıcı etkide bulunabilir. Profil elemanlarının titreşimleriyle oluşan gürültünün frekansı, elemanların boyutuna ve lastik dönüş hızına bağlıdır. Temas yüzeyindeki bu kanalların frekansı ise temas yüzeyi uzunluğuna bağlıdır ve profil elemanlarının frekansı ile çakıştığı durumlarda, gürültü seviyesinde belirgin bir artış oluşur.

Tekerleğe uygulanan tahrik ve fren momentleri, temas yüzeyinde kayma oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumda lastik-yol gürültüsünde büyük ölçüde arttırmaktadır.

Lastik yapısı; radyal lastikler, çapraz katlı lastiklerden 1-3 dB kadar daha sessizdir. Lastik karkasını katılığı artırılarak lastik yanaklarının titreşimi kontrol edilebilmektedir.

Lastik boyutları; lastik taban genişliği arttıkça profil elemanlarının sayısı da arttığı için gürültü seviyesi daha fazla olmaktadır. Tekerlek çapının artışı ise gürültü seviyesinin azalmasına neden olmaktadır.

Gözenekli zeminler üzerinde, pürüzlülük sebebiyle artan lastik titreşimleri düşük frekanslı bir gürültü oluşturmaktadır.

Akustik yutuculuk; lastik gürültüsü zemine çok yakın bir yerde olduğundan, gürültü seviyesi üzerinde özellikle etkili olmaktadır. Yol kaplamasının akustik yutuculuğu arttıkça gürültü seviyesi azalmaktadır.

Mekanik katılık arttıkça genel olarak gürültü seviyesi de artacaktır.

Tekerlek yükünün artması gürültü seviyesinin artmasına sebep olmaktadır.

Lastik basıncının artması sert lastik etkisi yaratır ve özellikle yüksek frekanslı gürültü seviyesinin artmasına neden olur.

Taşıtın ivmelenmesi sırasında tekerleğe uygulanan tahrik momenti, temas yüzeyinde kayma oluşmasına neden olmaktadır. Temas yüzeyinde oluşan bu kayma ve farklılaşan temas yüzeyi etkileşimi sonucunda lastik-yol gürültüsü lastik ve yol kaplamasının yüzey özellikleri ve ivmenin büyüklüğu ile bağlantılı olarak artmaktadır (Bay ve Güney, 1998).

2.3.2. İnsan kaynaklı gürültü

Bu tür gürültü genelde aracın hatalı kullanılmasından dolayı oluşur. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nden (2002/49/EC) yola çıkılarak aşağıdaki durumlar sunulabilir.

Hiç kimse susturucu veya ses giderici diğer parçaları olmadan bir motorlu kara taşıtını çalıştıramaz veya çalışmasına sebep olamaz, bakım onarım veya diğer değiştirme amacı dışında bir motorlu araç veya motosiklet üzerindeki susturucu veya ses giderici parça çıkarılmaz, çalışamaz hale getirilmez.

Bir motorlu araç üzerinde veya içinde; korna veya ses çıkaran başka bir cihazın zorunlu haller dışında gürültü rahatsızlığına neden olacak şekilde çalınması yasaktır.

Radyo, televizyon, müzik seti ve her türlü müzik aletlerini çok hassas kullanımların bulunduğu alanlar ile toplu taşıma araçlarında çalmak yasaktır.

Çok hassas kullanımların bulunduğu alanlarda; yüksek sesle konuşarak, bağırarak, anons sistemleri gibi ses yükseltici araçlar kullanılarak ve darbeli düzenli veya düzensiz sesler çıkararak propaganda, reklâm, duyuru, tanıtım ve satış yapmak yasaktır.

2.3.3. Karayollarında gürültü düzeyini etkileyen faktörler

2.3.3.1. Yolun alçakta veya yüksekte olması

Yolun yakınında bulunan bir noktaya nazaran aşağıda veya yüksekte bulunması, o noktadaki gürültüyü azaltır. Çevresindeki araziye göre aşağıda bulunan bir yoldan ne kadar uzaklaşırsa, gürültü de o kadar azalır.

Yolun, yarma ile geçilen kesimleri, gürültünün azaltılmasında oldukça etkilidir. Zemin seviyesinde geçilen kesimlerle karşılaştırıldığında gürültü seviyesinin 5 ya da 10 dBA daha az olduğu görülmüştür. Yarma kesimlerde şev eğiminin maksimum koruma vermesi için, mümkün olduğunca dik olması önerilmektedir. Bu uygulama şehirler ve yeni yerleşim yerleri için pahalı bir çözüm yaratabilir ve drenajın sağlanması için özel teknik düzenlemeler gerekebilir. Diğer taraftan böyle bir uygulama şevde stabilite sorunu yaratabileceğinden uygun çözüm gürültü ve stabilite sorununun araziye bağlı olarak optimize edilmesiyle bulunabilir. Yarmaların üst kısımlarındaki gürültü perdeleri, gürültü azaltma etkisini artırdığı için faydalı olmakta ve maliyeti de düşürmektedir.

Dolgu ile geçilen kesimlerde ise, dolgu seviyesinin gürültüyü azaltmada etkili olabilmesi için 2.5 m den daha yüksek olması gerekmektedir. Gürültünün azaltılması için şevlerin en üst kısımlarına yerleştirilecek gürültü perdeleri estetik değildir ancak oldukça iyi çözüm getirirler.

Şehirlerde ve yeni yerleşim yerlerinde, gürültüyü önleme ve arazi kullanımı açısından en etkili çözüm yolun tünel içerisinden geçirilmesidir. Ayrıca arazi kullanımı gereksiniminin minimum olması nedeniyle tüneller tercih edilmektedir. Ancak tünel yapım ve bakım maliyeti çok yüksek olmaktadır.

Viyadükler ise, dizayn aşamasında ele alındığında ve özellikle kalın yanal panellere sahipse, derzler mevcut değilse ya da derzler yapım sırasında kapatıldıysa gürültüyü oldukça etkili azalmaktadırlar.

2.3.3.2. Yolun kaplaması

Düzgün bir örtme tabakası ile kaplı yüzeylerde gürültü düzeyi normal asfalt veya beton yüzeye göre 10 dB daha düşük olabilir. Çakıllı-cürüflu beton gibi kaba bir yüzeyde ise gürültü 10 dB kadar normalden fazladır.

2.3.3.3. Eğimlerin dikliği

Yollardaki gürültüye etki eden faktörlerden birisi de ağır taşıtların dik eğimlerden çıkması durumudur. %2 veya daha az eğimlerde bu durum fazla önem taşımamaktadır. Eğim %2 yi aşınca gürültünün kaynağındaki artışlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

% 3-4 eğimde	2 dBA
% 5-6 eğimde	3 dBA
% 7 ve daha fazla eğimde	5 dBA

2.3.3.4. Aracın eskiliği ve yeniliği

Araçlar her ne kadar kusursuz ve sağlam olsa da eski bir araçla yeni bir araç arasında çıkardığı gürültü açısından fark vardır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte bu fark azalmaktadır.

2.3.3.5. Aracın cinsi

Her araç tipine göre farklı ses çıkarır. Özellikle kamyonlar, dizel motorlu araçlar oldukça fazla gürültü çıkarırlar. Ayrıca araçların yokuş yukarı veya aşağı giderken çıkardıkları gürültü miktarı da farklıdır.

2.3.3.6. Aracın Hızı

Otomobil hızı arttıkça sebep olduğu gürültü de büyük oranda çoğalır, fakat kamyonlarda fazla bir değişim daha azdır.

Çevresindeki arazi ile aynı yükseklikte olan bir yoldan 30.5 m mesafede çeşitli hızlar için tespit edilen gürültü düzeyleri şöyledir:

Tek araba	32 km/saat hızda	50 dBA
Tek araba	64 “	58 dBA
Tek araba	96 “	64 dBA
Tek kamyon	40 “	76 dBA
Tek kamyon	80 “	85 dBA

2.3.3.7. Trafik Hacmi

Yoldan 30.5 m uzaklıkta ve yolla aynı seviyedeki bir noktada, 90 km/saat hız için değişik trafik hacimlerinde tespit edilen gürültü seviyeleri şöyledir;

Tek araç	64 dBA
Saatte 2000 araç	66 dBA
Saatte 6000 araç	71 dBA

2.3.3.8. İstinat duvarları

Trafik güvenliği ve yol emniyetini sağlamak amacıyla yapılmış istinat duvarlarından birinin arkasında duran bir kişi yol seviyesinin düşük olmasından kaynaklanan yararı daha iyi anlayacaktır.

Ancak, yolun karşı tarafında, istinat duvarlarından sesin yansıması ve şiddetlenmesiyle normal gürültü düzeyinden daha yüksek ses duyulur.

2.3.3.9. Arazinin yapısı

Yolun geçtiği arazinin topografyası, toprak yapısı, jeomorfolojisi taşıt trafiğinin oluşturduğu gürültünün yansıtılması sırasında farklılıklar yaratır.

2.3.3.10. İklim koşulları

Atmosferik olaylar özellikle dar yollarda trafik gürültüsünün düzeyini etkileyebilmektedir. Rüzgâr hızı, havanın yağışlı olup olmaması ve sıcaklık gürültüyü etkileyen iklimsel faktörlerdir. Yağmurlu bir havada, düzgün bir yolda çıkan sesin düzeyi kuru havada çıkan sestən yaklaşık 15 dB(A) daha fazladır. Pürüzlü bir yolda bu oran yaklaşık 8 dB(A) dır.

2.3.3.11. Bitki örtüsü

Yol boyundaki bitki örtüsünün sık olması yolun gürültüsünü azaltmakta etkilidir. Aslında ağaçlar ve diğer bitkiler yoldan gelen gürültüyü emme ve yayma yoluyla azaltırlar. Ancak, bitkilerin gürültüyü iyi azaltması için gereken boy ve sıklıkta olmaları gerekir. Ayrıca yol kenarlarına dikilen bitkiler estetik olarak olduğu kadar psikolojik olarak da fayda sağlarlar.

2.4. Gürültü Bariyerleri

Trafikten kaynaklanan gürültü, yol ile bitişindeki alan arasına gürültü perdeleri yapılarak azaltılabilir. Bir gürültü perdesi, ses dalgalarının yoldan alıcıya dağılmasına önemli oranda engel olmaktadır. Ses dalgaları perdenin üzerinden kırılarak perdenin arkasında etkili bir alan oluştururlar. Her farklı koşula uygun olarak değişik gürültü perdeleri oluşturulması gerekmektedir.

Bir gürültü perdesinin yola göre yüksekliği ve yeri tasarım aşamasında rol oynayan önemli akustik etkenlerdir. Yoldan sabit bir uzaklıkta, perdenin yüksekliğinin artırılması gürültüyü azaltma etkinliğini de arttıracaktır. Görüş çizgisini (gürültü kaynağı ile gürültüye maruz kalan alıcı arasındaki düz çizgi) kıran bir gürültü perdesinin 5 dB(A)'lık bir azalma sağladığı varsayılırsa, gürültüde istenen azaltmayı sağlamak için gerekli perde yüksekliğini tahmin etmek üzere perdenin her 1m yükseltilmesiyle 1.5 dB(A)'lık gürültü azaltma değeri kullanılabilir.

Perde yüksekliği sabit olduğunda ise perdenin alıcıya yakın ya da gürültü kaynağına doğru daha yakın olması gürültüyü azaltma etkinliğini artırır. Fakat uygulamada perdenin yerleştirileceği bölgenin arazi koşullarından yararlanılarak gürültü perdesinin yerinin saptanması mümkündür. Tepelik bir arazi üzerine yerleştirilen kısa bir gürültü perdesi, yola yakın olarak yerleştirilen daha yüksek bir perdeden daha fazla etkili olmaktadır.

Yoldan kaynaklanan gürültü, perdenin bittiği yerde yoğunlaşır ve gürültü perdesi çok kısa ise gürültü alıcıya ulaşır. Pratik olarak, gürültü perdesinin uzunluğu alıcı ile perde arasındaki uzaklığın 4 katı olmalıdır.

2.4.1. Bitkilerin Doğal Perde olarak kullanımı

Ses engelleri yapay maddelerle sağlanabilirse de bu malzemelerin maliyetinin yüksek olması ve bitkilerin daha estetik olmaları nedeniyle bitkisel materyal tercih edilmektedir.

Özellikle şehirler arası yolların yerleşim alanlarına yakın geçtiği yerlerde bitkilerle gürültü perdeleri tesisi günümüzde önem kazanmaktadır. Yol kenarında oluşturulan setler üzerine yer alan gürültü perdeleri gürültüyü azaltmada daha etkindir. Buna göre, yol ile hemzemin olarak yapılan set az etkili iken, setin yukarıda olduğu bir çözüm daha etkilidir (Altan, 1992). Etkili bir gürültü perdesinin gürültü yüzeyini yarı yarıya indirmektedir.

Doğal perdeler en az 10 m ve değişik genişliklerde bitkisel kuşaklardan oluşturulur. Gürültü perdelerinde kullanılacak bitkilerin;

- Yüksekliği (çim, çalı, funda, ağaç)
- Yapraklarının türü (herdemyeşil veya değil)
- Bölge koşullarına uygunluğu (iklim, toprak)

önem taşır.

Gürültü önlemede iğne yapraklı bitkiler geniş yapraklı olanlara göre daha etkilidir (Selimoğlu, 1994).

Gürültüyü önlemede şeridin genişliğinden çok şeritte yer alan bitkilerin yapısı önemlidir. Sık tepe yapısına sahip boylu ağaçların çalılarla kombinasyonu ile bu kombinasyonun yerleşimi önemlidir. Bu perdelerin gürültü kaynağına yakınlığı, koruduğu alana uzaklığı ölçüsünde başarı sağlanır.

Trafik şeridine 15 m mesafeden başlayarak 30 m genişliğinde oluşturulan bir ağaç kümesinin sesi kesmekteki etkisi aşağıdaki gibidir:

30 m mesafede 5 dB(A)

46 m mesafede 8 dB(A)

69 m mesafede 10 dB(A)

Kırsal kesimde yoldan geçen yüksek hızda araba ve kamyonların meydana getirdiği gürültüyü azaltmak için en etkin yol ağaç ve çalılardan oluşan 20-30 m genişlikte şeritlerin oluşturulmasıdır.

Kent içinde genellikle orta hızda seyreden araçların gürültüsünü azaltmak için ağaç ve çalılardan oluşan 6-16 m genişlikte bir şerit etkili olur. Bu şeridin dış kenarı, en yakın trafik hattının merkezinden 5-16 m mesafede olmalıdır.

Gürültüyü önlemede şeridin genişliğinden çok şeritte yer alan bitkilerin yapısı önemlidir. Sık tepe yapısına sahip boylu ağaçların çalılarla kombinasyonu ile bu kombinasyonun yerleşimi önemlidir. Gürültü perdesi gürültü kaynağına yakınlığı ve korunacak alana olan uzaklığı ölçüsünde etkindir (Selimoğlu, 1994).

Doğal gürültü perdelerinin etkinliği; seçilen bitki türüne; bitkilerin yansıtma özellikleri ve gürültünün bitkiler tarafından emilmesi türlere göre büyük farklılıklar gösterir.

Seçilen bitkilerin,

- Büyük, güçlü ve sert yapıya sahip olması,
- Yapraklarının birbirini örtecek şekilde dizilmesi,
- Sık yaprak ve dal dokusuna sahip olması,
- Yaprakların gürültünün geliş yönüne dik olması,
- Yerden itibaren, sık dallanan ve her dem yeşil türler olması

gürültü azalmada etkinliği artırmaktadır.

Gürültü perdeleri olarak doğal bitki örtüsünden de yararlanıldığında, bunlar daha geniş yer kaplamasına rağmen bakım ve giderleri azdır. Kısmen doğal kısmen de dikimlerle oluşturulan gürültü perdelerinde ise, daha az yer kaplamalarına karşın tesis ve bakım giderleri daha yüksek olmaktadır.

Tamamen dikimlerle tesis edilen perdeler, tırmanıcılarla da takviye edilerek daha dar yapılabilir ve daha etkili olurlar fakat ilk tesis maliyetleri ile bakım giderleri yüksek olmaktadır.

Mümkün olduğunca uzun boy yapan, aynı zamanda sık yapraklanma gösteren ve nispeten uniform olarak dikey uzantıdan yapraklarını yayan ağaç türleri ve varyeteleri ile onlarla iyi bir kombinasyon oluşturan çalılar kullanılmalıdır.

Ağaç ve çalılar devamlı ve sık bir engel oluşturacak şekilde mümkün olduğu kadar birbirine yakın dikilmelidir. Aralıklar her bir tür için o yerdeki yetişme koşullarına uygun olarak yerleştirilmelidir.

Herdemyeşil bitkiler gürültüyü önlemede bütün yıl etkili olduğundan tercih edilmelidirler.

Kullanılan gürültü perdesinde şerit boyu korunacak alanda kaynağa göre iki misli mesafede olmalı, yola paralel olarak tesis edilmeli ve yol boyunca ana yola ve koruduğu alana daima eşit uzaklıkta devam etmelidir.

Kamulaştırma alanının yeterli genişlikte olmadığı ve bitkisel perdelemenin yeterli olgunluğa ulaşmadığı periyotta, yapay akustik perdeler önüne sarılıcı bitkiler sık dikilmelidir.

20 m genişliğindeki ağaçlandırma kuşağının yol boyunca sesi azaltma etkisi 3-4 dBA'dır. Ses kaynağına bağlı olarak bu değer yolda 4-5 dBA'ya çıkabilir. Ağaçlandırma kuşaklarından beklenen ise 7-9 dBA değerinde ses azaltma yetisidir. Tek sıralı bir çitin ses azaltma etkisi en fazla 2-3 dBA'dır.

Çizelge 2.2.'de doğal gürültü perdelerinde kullanılacak bazı bitki türleri ve etkinlik dereceleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Gürültü perdelerinde kullanılacak bazı bitki türleri ve etkinlikleri

I 0-2 dB(A)	II 2-4 dB(A)	III 4-6 dB(A)	IV 6-8 dB(A)	V 8-10 dB(A)	VI 10-12 dB(A)
Salix elaeagnos	Chamaecyparis obtusa nana Ligustrum	Juniperus chinensis Pfitzeriana	Philadelphus pubescens Carpinus	Populus x berolinensis Viburnum	Acer pseudoplatanus
Chamaecyparis lawsoniana glauca	vulgare Caragana	Betula pendula Alnus incana	betulus Syringa vulgaris	lantana V. rhytidophyllum	
Thujopsis dolabrata	arborescens Prunus	Cornus alba Cornus	Fagus sylvatica Ilex aquifolium	Tilia platyphyllos	
Buxus sempervirens	mahaleb Lonicera	sanguinea Pterocarya	Ribes divaricanum		
Taxus baccata	korolkowii Lonicera	fraxinifolia Forsythia x	Quercus robur Rhododendron		
Picea glauca conica	tatarica Crataegus	intermedia Sambucus nigra	sp.		
Salix alba vitelina	monogyna Pyracantha	Lonicera ledebourii			
Cotoneaster multiflorus	coccinea Spiraea	Acer negundo Populus			
Spiraea vanhouttei	Rosa multiflora Sorbaria	canadensis Coryllus avellana			
	sorbifolia	Tilia cordata			

2.4.2. Bitkilerle perdelemenin diğer kullanımları

Kent içerisindeki yol ağaştırılmaları trafik tekniği yönünden; yönlendirme, kimi noktaların vurgulanması, sürücünün ilgi alanını sınırlama, duran trafiğin gölgelenmesi, yayaların güvenliği, dikey ve yatay yöndeki olumsuz görünümüleri önleme, yol boyunca yapı ve mekânları bağlama/ayırma konularında işlevler üstlenirler:

- Ağaçlar, yapılarla kesin bir kontrast oluşturduklarından anımsanmaları kolaydır. Böylece kentte yabancı olanların yön bulması kolaylaşır.
- Kent içerisinde özellikle hıza olanak veren yollarda sürücüler için güvenlik ve yön bulma açısından önemlidir.
- Sürücüler trafik işaretlerinden önce ağaçlar tarafından uyarılırlar ve hızlarını zamanında ayarlama olanağı bulurlar. Bu etki yol ağaştırılmasında farklı tür ya da dikim aralıkları kullanarak sağlanabilir.
- Çıkma sokak, kavşak, yol ayrımı ve yaya geçitlerinin ağaçlarla belirtilmesi mümkündür.
- Kentlerde ana caddelerde ilan levhaları, ışıklı panolar, vitrinler gibi karışıklık yaratan unsurları maskeleyerek, sürücünün dikkatini yol üzerinde toplamasına yardımcı olurlar.
- Kent içi yollarda araç trafiğinin olumsuz etkilerinden uzak olması gereken yaya mekânlarını ve diğer kullanımları ayırmada etkilidir.
- Araç ve yaya trafiğini ayırmada kullanılan, özellikle çalı türündeki bitkiler herhangi bir kaza anında yoldan çıkabilecek olan araçların hızını keserek yayalar açısından güvenlik unsuru oluştururlar.
- Yan yana sıralı olarak dikilmiş ağaçlar koridor etkisi yaratır.
- Özellikle otopark alanlarında araçlara gölge sağlarlar.
- Yapılarla çevrili ve ağaçtan yoksun mekânlarda gürültünün mekân içerisinde yankılanmasını engellerler.

Yol ağaştırılmasında sık dikilmiş geniş taçlı ağaçlar tavan etkisi yaratır. Ayrıca yaprağını döken ağaçlar mekânı genişletme özelliğine sahiptir (Aslanboğa, 1986).

Kent dışı alanlarda ise en eski ağaçlandırma yöntemi "alle"dir. İki yanı düzgün sıra biçiminde ağaçlandırılmış yol anlamına gelen alleler, çoğu Avrupa ülkesinde ulaşımın atlı posta arabaları ile sağlandığı dönemlere ait olduğundan bugünün yoğun kullanımı dolayısıyla genişleme zorunluluğunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Eşit aralıklarla yapılan alleler uzun mesafelerde tekdüze bir etki oluşturmaktadır (Koç ve Şahin, 1999).

Ayrıca hız gerektiren yollarda ağaçların yol üzerine düşen gölgeleri, yağmur ve karda, çabuk kuruması ve donun eriyerek yumuşayıp çözülmesi olgusunu da geciktirir. Bu yollarda yola yakın ağaçlardan düşen yaprakların sebep olduğu patinaj ve fırtınalı havalarda yola düşen dallar da kazalara neden olabilmektedir. Orta refüjler ne kadar geniş olurlarsa olsunlar, buralara ağaç dikilmemesi de gittikçe kurallaşmaktadır (Ürgeç, 2000).

Yol kenarı ağaçlandırma çalışmalarında yoldan çıkan araçların ağaçlara çarpması şeklinde kazalar da ortaya çıkabilir. Bu gibi sebeplerden dolayı ağaçlar yol kenarından en az 4,5 m uzaklığa dikilmelidirler (Koç ve Şahin, 1999).

Yolun iki tarafında sık sıralar oluşturularak yapılan bir yol ağaçlandırmasında ağaç sıralarının görünümü sürücünün hızına göre değişmekle birlikte ona iki taraftan görünüm vermeyen bir duvar gibi görünür. Bu durumda sürücü, ağaçların arasından bir insan veya bir bisikletliyi önceden göremez ve ani olarak karşısında bulur. Bu tür ağaçlandırmada ağaçların arasında en az 10 m aralıklar öngörülmektedir (Ürgeç, 2000).

Bitkilendirmenin trafik tekniği yönünden işlevleri şöyle özetlenebilir:

2.4.2.1. Far ışıklarının önlenmesi

Çift şeritli yollarda, tek şeritli yolların virajlarında, birbirlerine çok yakın olan karayolu ve demiryollarında karşıdan gelen araçların far ışıkları daima sürücünün gözlerini rahatsız ederek, trafik emniyetini tehlikeye düşürür. Buna engel olmak için, orta refüjlerde, virajlarda ve yan yana seyreden demiryolu ve karayolu arasında sık bir şekilde bitkilendirme yapılır (Tenik,1994). Bitkilendirmede bir tek türün kullanımından

kaçınılmalı, yerden itibaren dallanan ve yoğun bir yeşil doku oluşturan ve kışın yapraklarını dökmeyen, en fazla 2,2-3 m boylanan, egzoz gazlarına, tuza, yüksek sıcaklığa, toza ve budamaya dayanıklı türler seçilmeli, yolu optik olarak tamamen bölmek için kesintisiz olarak yapılmış bir bitkisel düzenlemeden çok, belirli aralıklarla ve zikzaklı bir bitkilendirme tercih edilmelidir (Koç ve Şahin, 1999).

Çukur kısımlarda yukarıdan inen araçların far ışıklarının, oluşturulan perdeyi aşmaması için bu kısımlarda daha boylu ağaç ve çalılarının kullanılması yerinde olur (Ürgeç, 2000).

Far ışıklarına karşı daha etkili bir koruma sağlamak için yükseltilmiş orta refüjlerde de koruyucu bitki sistemleri oluşturulabilir. Bu refüjler aynı zamanda aracın yoldan çıkma tehlikesini de azaltırlar. Ancak bu refüjlerdeki çalı demetleri tuzlanmaya karşı dayanıklı olmadıklarından, çok fazla kar yağışı almayan ılıman bölgelerde kullanılmalıdırlar (Çelem, 1988).

Bitkiler göz kamaşmasını önleyici metal perdelerle kıyaslanırsa daha etkin bir koruma görevi yaptıkları görülür. Çünkü bitkiler trafik emniyetini sağlama yönünden daha fazla işleve sahiptirler.

2.4.2.2. Kazaları Önleme ya da Hafifletme

Orta refüj kazaları az olmakla birlikte, olduğu zaman, herhangi bir barikatın bulunmadığı durumlarda sıklıkla ölümlerle sonuçlanmaktadır. İyi bir refüj bitkilendirmesi, aracın hızını azaltır, karşı yola geçmesini önler, geriye doğru savrulmasına engel olur. Kullanılacak bitkilerin ne fazla elastiki ne de çok sert ve kırılabilir olmaları istenmemektedir.

Yolun iki tarafındaki şevlerde yer alan bitkilendirme de çarpma etkisini azaltır, araçların uçarak vadi tabanı, nehir gibi alanlara düşmesini engeller. Keskin virajların dış kısımları ve uçurum kenarları bu amaçla sık bir şekilde büyük bitkilerle kapatılır.

2.4.2.3. Kar ve Rüzgar Perdesi Oluşturma

Yol güzergahının hakim rüzgar yönüne dik olarak geçirilmiş olması, yarma şevlerinin çok dik olması gibi sebeplerden dolayı yollarda kar birikmesi olmaktadır.

Bu birikmeyi önlemek için canlı ve cansız kar perdeleri tesis edilmelidir. Ağaç ve çalılardan oluşan canlı kar perdelerinde yükseklikleri sabit tutulabilen türler seçilmelidir (TCK, 1998). Ayrıca genel olarak canlı kar perdelerinin yoldan 20-25 m uzaklıkta tesis edilmeleri uygun olmaktadır.

Kazalara sebep olan kar birikimini önlemek için yapılacak olan kar perdeleri, ağaç ve çalılarının yolun iki yanında uygun bir şekilde dikimi ile sağlanır. Bitkisel kar perdeleri, yazın kaldırılan ahşap perdelerle göre daha ekonomik, sürekli ve estetikdir. Rüzgar yönüne dik ve eşyükselti eğrilerine paralel olarak ağaç, ağaççık ve çalılarla oluşturulurlar (Selimoğlu,1994). Yapracağını dökmeyen ağaçlarla yapraklarını döken ağaç ve çalılardan oluşan bir kombinasyon en iyi sonucu vermektedir.

Rüzgar ise özellikle virajlardan geçen araçlar üzerinde savurucu etki yapabilmektedir. Rüzgar perdelerinin etkili olabilmesi için yörenin rüzgar akımları ve arazinin topografyası iyi değerlendirilmelidir. Perdenin yola olan mesafesi, yönü ve yüksekliği önem taşımaktadır (Ürgeç, 2000).

Orman gibi kapalı kesimlere giriş ve çıkışlarda yer yer yüksek ve alçak kitleli bitkilendirme ile rüzgarın etkisi azaltılabilmekte, güvenli bir geçiş sağlanabilmektedir.

Kar ve rüzgar perdelerini oluşturulacağı yollarda kamulaştırma şeridinin çevre peyzajına uygun bir bitkilendirmeye izin verecek genişlikte olması gerekmektedir. Bununla birlikte, yoldan başlayarak görüş alanı içerisine giren güzel görünümlerin maskelenmemesi gerekmektedir (Koç ve Şahin, 1999).

2.4.2.4. Sinyalizasyon (Optik Yönlendirme)

Sürücü, yolun içinden geçtiği peyzaja ait özelliklerle birlikte yolun kendisini ilgilendiren bazı özelliklerini önceden hissetmek ister. Yol şeritlerinin peyzaj içerisindeki güzergahlarını, uygun bir bitkilendirme ile optik yönden daha güçlü, etkili ve belirgin bir hale getirmek mümkündür. Bu amaçla yapılacak olan bitkilendirme sürücüye örneğin bir yerleşim alanına, kavşağa ya da köprüye yaklaştığını, işaret edebilir. Bilinçli yapılmış bir kavşak bitkilendirmesi, sinyal etkisi ile sürücüleri yavaşlatacak ya da durduracak, kavşak trafiğini güvenli hale getirecektir (Akpınar ve Odabaşı, 1993). Kavşaklarda bitkilendirme kavşağın şekli hakkında bilgi verebilmeli, yollar sürücünün görüşüne açık tutulmalı, ağaç grupları kavşağa çok yaklaştırılmamalıdır (Tenik, 1994).

İlerisi görünmeyen dalgalı arazilerde de, özellikle virajlarda sürücü yolun doğrultusu konusunda uyarılmış olacaktır (Koç ve Şahin, 1999). Virajlarda grup halindeki bitkilendirmelerde bitkilerin karşı görüntüyü kapatacak şekilde iç tarafa gelmemesine dikkat edilmeli buralarda çim, ya da diğer yer örtücü bitkiler kullanılmalıdır. Köprü başlarında ve üst geçitlerde yapılacak sinyal etkili bitkilendirmeler özellikle karanlıkta, sisli, karlı ve yağmurlu havalarda optik yönden emniyetli bir trafik akışı sağlar.

2.4.3. Yapay Gürültü Bariyerleri

Yapay perdeler geometrileri ve şekillerine göre;

Sürekli yapıda perdeler

Kesikli yapıda perdeler

Sürekli/Kesikli yapıda perdeler

Mimari perdeler şeklinde sınıflandırılabilir.

Yapay perdelerde kullanılan malzemeler genellikle beton, ahşap ve metaldir. Çoğunlukla yapay perdeler bitkilendirilerek, gürültünün daha çok azaltılması ve trafikten kaynaklanan hava kirletici emisyonların, partiküllerin ve ağır metallerin emilmesi sağlanabilir. Sıkışık durumlarda yani gürültü kaynağıyla korunması istenen alan arasındaki mesafe çok kısa ise perdeler bir vejetasyonla örtülerek etkin bir gürültü önleyici oluşturulabilir. Akustik perdeler çeşitli materyalle yapıp önlerine tesis edilen sık dikimlerle çok kısa sürede yeşil bir perde ile takviye edilmiş olarak daha etkin hale getirilebilir. Bu konuda daha çok tırmanıcı bitkiler (*Hedera helix*, *Rubus fruticosus*, *Polygonum aubertii*, *Parthenocissus quinquefolia* v.b.) önerilmekte ve kullanılmaktadır. Bu tırmanıcılarla takviye edilmiş yapay perdeler, dar alanlarda etkin olarak kullanıldığı gibi daha geniş alanlarda da asıl yeşil gürültü perdesi gürültü azaltma hizmetini vermeye başlayana kadar da fonksiyon görerek etkinliği hemen sağlayabilir. Bu konuda birbirine paralel birkaç perde kullanımı daha etkili olur. Ancak bunlarda perde genişliği hep aynı kalmalı ve gürültü kaynağı boyunca perdelerin birbirlerine paralelliği bozulmamalıdır.

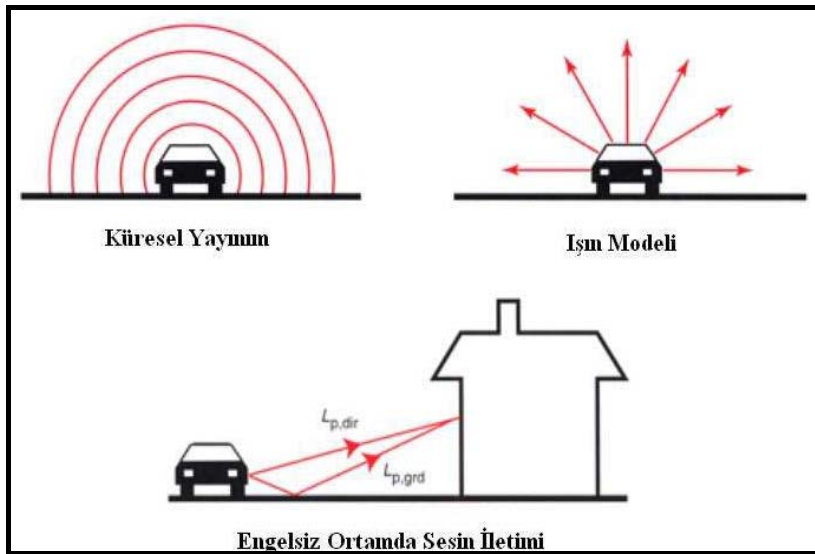
Kullanılacak gürültü perdesinin maliyeti kullanılacak malzeme ve perdenin türüne göre değişir. Bitkisel perde ve toprak sedde uygulamalarında geniş arazi kamulaştırması gerektiğinden kamulaştırma bedeli perdenin maliyetini de arttırmaktadır. Çizelge 2.3.'de gürültü perdelerinin yaklaşık maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Gürültü perdelerinin yaklaşık maliyetleri

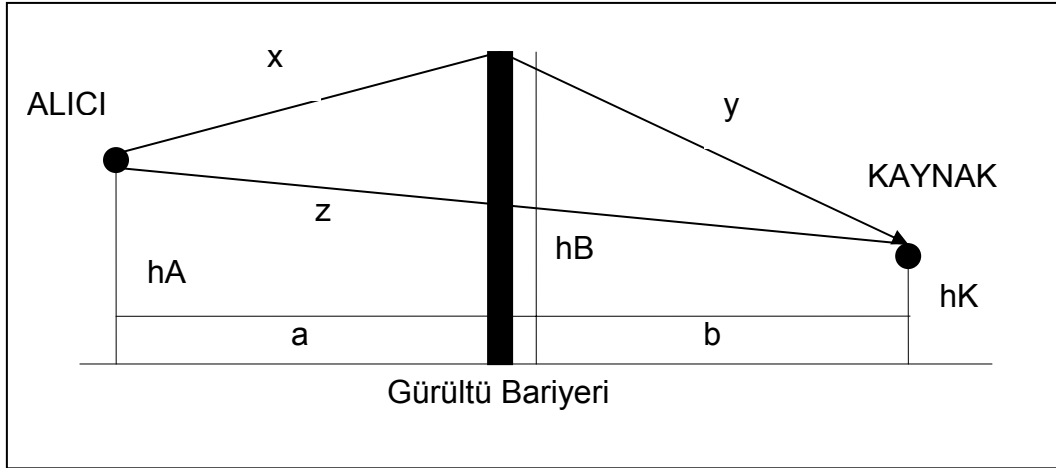
Gürültü Perdesinin Çeşidi	Metrekare Maliyeti (\$)
Beton	75-300
Ahşap	60-260 (sesi emen perdeler için 430)
Alüminyum ya da çelik	110-240
Metilmet akrilik ya da polikarbonat	250-470
Bitkilendirme (Biyolojik perdeler)	240-270
Beton (New Jersey)	125-220
Viyadükte ekoteknik perde	190-215

2.4.4. Bariyer Teorisi

Bir çok gürültü perdesi yapıma amacının aksine çok az veya hiç gürültü koruması sağlayamamaktadır. Bunun nedeni tasarım aşamasında iyi bir çalışma yapılmamasıdır. Bu nedenle daha iyi tasarımlar yapabilmek için gürültü perdeleri ile ilgili akustik performansın nasıl sağlandığını, bir başka deyişle akustik bariyer teorisinin bazı temel prensiplerini bilmek gerekir. Ses, kaynaktan küresel bir şekilde, düzensiz, değişken basınç dalgaları şeklinde yayılır. Ancak, bu küresel yayılım düz çizgiler veya ışınlar şeklinde modellenir. Şekil 2.10.'da sesin engelsiz ortamda yayılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Sesin engelsiz ortamda yayılma kabulleri



Şekil 2.12. Gürültü Perdesinde Ses Işınlarnın Hareketinin Şematik Gösterimi

- a** : Alıcının istinat duvarına yanal uzaklığı (metre)
- b** : Kaynağın istinat duvarına yanal uzaklığı (metre)
- h_i** : İstinat Duvarının yoldan yüksekliği (metre)
- h_A** : Alıcının yoldan yüksekliği (metre)
- h_K** : Kaynağın yoldan yüksekliği (metre)

$$x = [a^2 + (h_B - h_A)^2]^{0,5}$$

$$y = [b^2 + (h_B - h_K)^2]^{0,5}$$

$$z = [(a+b)^2 + (h_A - h_K)^2]^{0,5}$$

$$\delta = x+y-z$$

Bariyerin konulmasıyla gerçekleşecek kayıp trafik gürültü için aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

C_b = bariyer etkisi için yapılan ayarlama faktörü

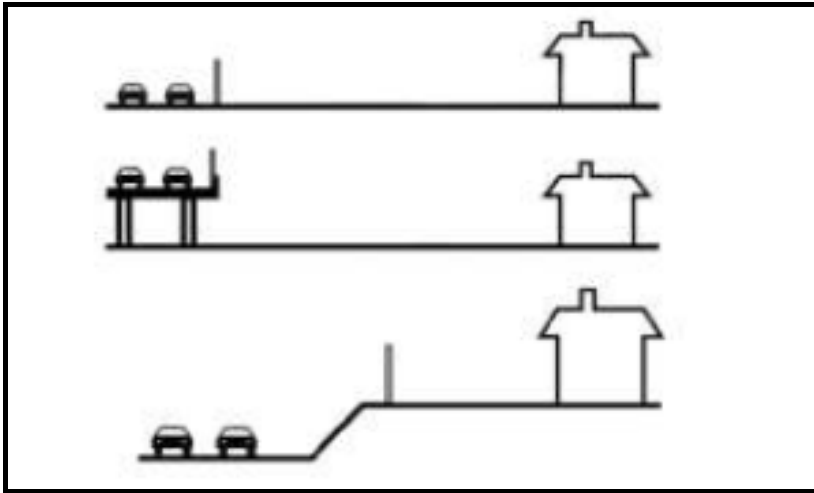
$$C_b = 10 \log (3+20*N) \quad (2.17)$$

2.4.5. Gürültü Bariyerlerinin Akustik Performansını Etkileyen Faktörler

2.4.5.1. Bariyerin Konumu

Bir bariyerin iyi bir performans sağlayabilmesi için kaynağa, yani yola olabildiğince yakın yerleştirilmelidir. Bu durum, kaynak ve yolun aynı seviyede olması veya yolun daha üst bir kotta bulunması (viyadük veya köprü üzeri) halinde geçerlidir.

Geleneksel yaklaşımda bariyer kaynağa oldukça yakın yerleşmelidir, yol alıcıya göre daha alt seviyede olmalıdır veya yükseltilmiş bir toprak yapısı (sed) aralarında bulunmalıdır. Bu durumda gürültü perdesinin en iyi yerleşim yeri eğimli bölgenin en üst noktası olacaktır. Şekil 2.13.'de bariyerin konumlandırılması gösterilmektedir.



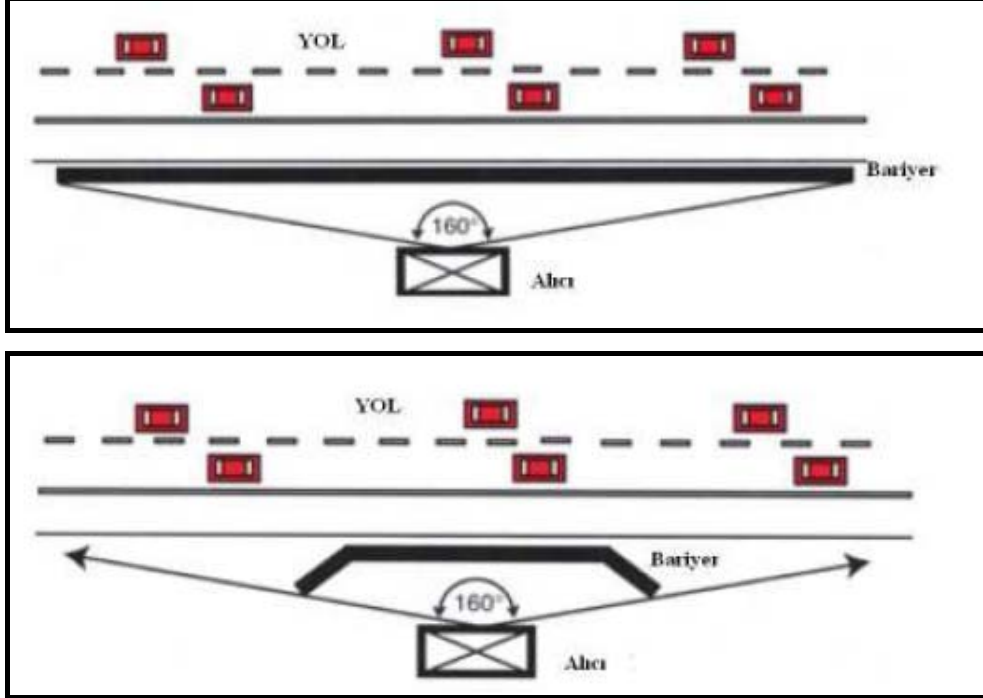
Şekil 2.13. Bariyerin Konumlandırılması (Kotzen and English, 1999)

2.4.5.2. Bariyerin Uzunluğu

Sesin kırınımı yalnızca bariyerin üst noktasında gerçekleşmez. Bir bariyerin kenar noktalarında da ses kırılır. Bu durumda, bariyerin uç noktalarında da girişim oluşacaktır. Ancak bu kırınımdan oluşan girişim, bariyerin üst noktasında oluşan kırınım sonucu oluşan girişime göre daha az etkilidir.

Alıcıyı gürültü kaynağından 160 derece ile koruyan bariyerlerde kenar kırınımlar dikkate alınmamaktadır. Bariyer uzunluğu ise alıcıyı 160 derecelik korumayı

sürdürecek şekilde kısaltılabilir. Böylelikle hem inşa maliyeti açısından hem de görsel açıdan olumsuz uzun bariyerlerden sakınılmış olur. Şekil 2.14.'de bariyerin etkinliğini azaltmadan uzunluğunun azaltılması gösterilmektedir.



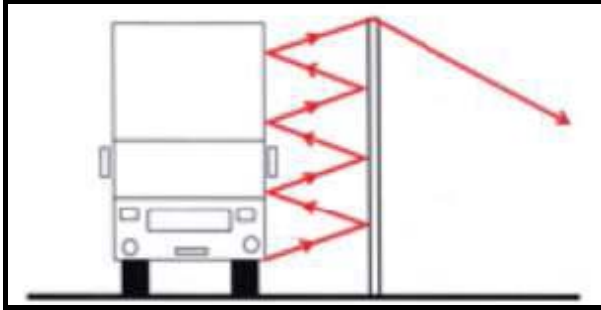
Şekil 2.14. Bariyerin uzunluğu (Kotzen and English,1999)

2.4.5.3. Bariyerin Yansımaya ve Yutuculuk Özellikleri

Kaynak ve alıcı arasında bir bariyer konulduğunda kaynaktan gelen direkt gürültüde önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Bu azalma iki şekilde gerçekleşmektedir. Birincisi, bariyer üzerine gelen ses enerjisi yansıtılabilir. İkincisi de bu enerji bir ölçüde soğurulabilir. İkinci durumda dahi az bir ses enerjisi bariyerin arkasına iletilmektedir. Ahşap ve beton gibi malzemelerden yapılan bariyerler genellikle yansıtıcı özelliktedir. Gürültü yüzü ses emici özellikteki boşluklu (poroz) malzemeler, örneğin mineral lif veya köpük kaplamalar ile kaplanır. Bu tür malzemeler sesin büyük bölümünü emer ve kalan küçük bir bölümünü yansır. (Kotzen and English,1999)

2.4.5.4. Yüksek Araçların Bariyer Performansına Etkisi

Bariyer performansını etkileyen faktörlerden biri de yüksek araçlardır. Bu tip araçların motor güçlerinin yüksek olması, tekerlek sayılarının ve yük taşıma kapasitelerinin fazlalığı nedeniyle oluşturdukları gürültü miktarı da normal araçlardan daha fazla olmaktadır. Bunun dışında yüksek araçlar genellikle en sağ şeridi kullandıklarından bariyere en yakın araç grubunu oluşturmaktadırlar. Bu durumda, araç ile perde arasında bir ses rezonansı meydana gelmekte ve bariyerin üst bölümünde meydana gelen kırılma nedeniyle oluşan gürültü bariyerin arkasına rahatlıkla geçebilmektedir. Şekil 2.15.'de yüksek araç etkisi nedeniyle sesin yansıması gösterilmektedir.



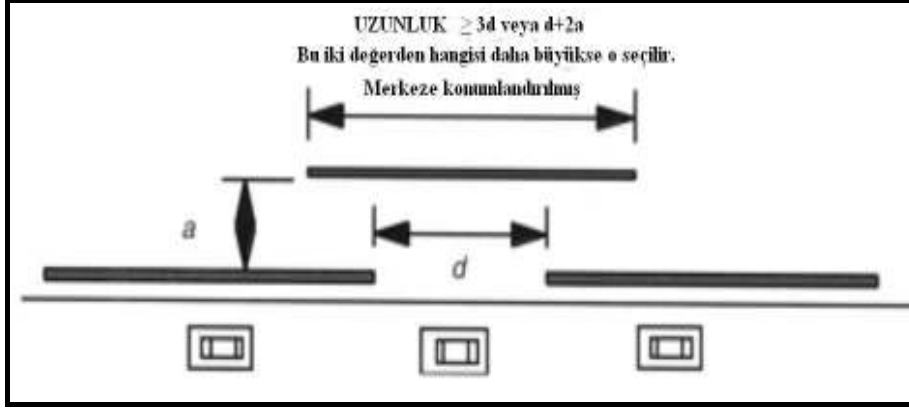
Şekil 2.15. Yüksek Araç Etkisi (Kotzen and English, 1999)

2.4.5.5. Boşluk Etkisi

Bariyerler arasında kimi zaman yan yoldan ana yola katılım, ana yoldan ayrılma, yaya geçişleri gibi nedenlerle boşluk bırakmak gerekebilir. Bu boşluklar gürültünün bariyerin yanlarından ve üst kısmından kırılmasına, dolayısıyla önemli girişimlere neden olurlar.

Bu tip bariyerlerde birincil bariyerin tipi ne olursa olsun arkadaki paralel bariyer mutlaka yutucu bariyer tipinde olmalıdır. Bunun nedeni, yansıtıcı bariyer kullanıldığında yansıyacak ses ışınlarının öndeki bariyerlerden yansiyarak girişimde bulunmasıdır. Bu durumda bariyerin gürültü azaltma performansında önemli derecede azalma meydana gelecektir.

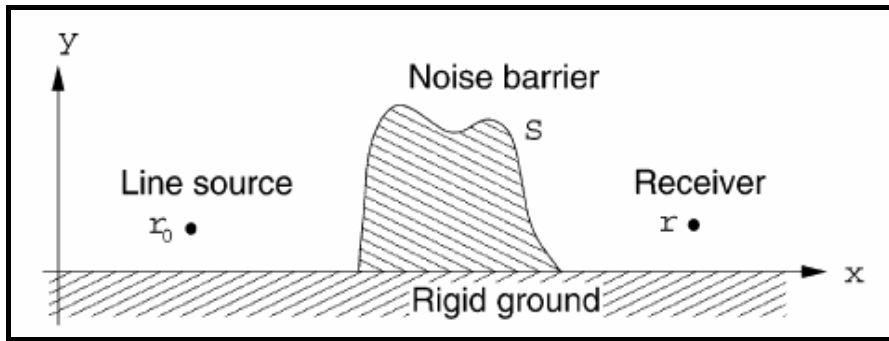
Şekil 2.16.'da boşluk etkisine karşı paralel bariyer kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Boşluk Etkisine Karşı Paralel Bariyer Konulması (Kotzen and English, 1999)

2.4.5.6. Bariyerin Geometrisi

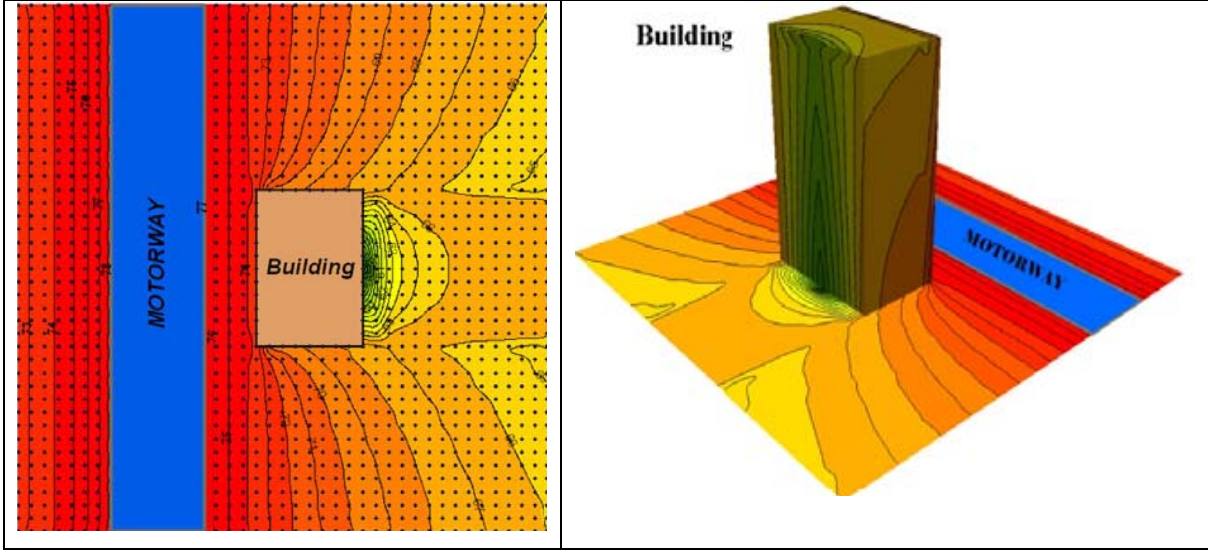
Gürültü bariyerlerinin geometrik şeklinde değişiklik yapmak bariyerlerinin yüksekliğini artırmadan performansını artırmak için en önemli yollardan biridir. T şekilli bariyerlerin ve 2 yada daha fazla kenarlı bariyerlerin gürültü azaltmadaki performansları yüksek olmaktadır. Emici ve yumuşak kenarlar belirgin bir şekilde bariyer etkisini arttırmakta olup yumuşak T şekilli duvar yüksek performans göstermektedir. 3 m yüksekliğindeki T şekilli duvar 10 m yüksekliğindeki düz bir duvarla aynı performansı gösterebilmektedir. Bariyerlerinin yüksekliğini artırmadan performansını artırmak için ikinci yol bariyerin yüzeyine yumuşak ve emici bir madde ekleyerek ses basıncını duvarın kenarında toplamaktır. Duvara eklenen emici madde duvarın etkisini arttırarak duvarın arkasındaki yayılma alanını daraltmaktadır. Akustik olarak yumuşak bir yüzeye ve akustik boşluklara sahip olan bir nesne ses basıncını daha fazla azaltabilmektedir. (Ishizuka and Fujiwara, 2004)



Şekil 2.17. İki kenarlı bariyer (Ishizuka and Fujiwara, 2004)

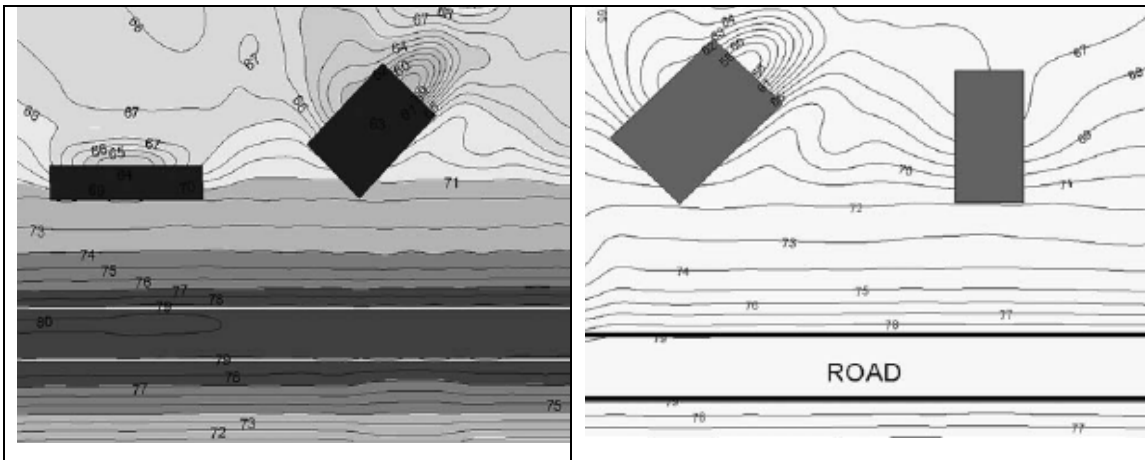
2.4.6. Binaların Bariyer Etkisi

Binalar trafikten kaynaklanan gürültünün yayılımını engelleyerek binaların arka yüzeylerinde klasik yöntemlerle tespiti zor gölge alanlar oluşturmaktadır. (Pamanikabud and Tansatcha, 2009) Şekil 2.18'de binanın arkasında oluşan gölge alanın içindeki farklı ses düzeyleri görülmektedir.



Şekil 2.18. Gürültü yayılımını engelleyen tek bina

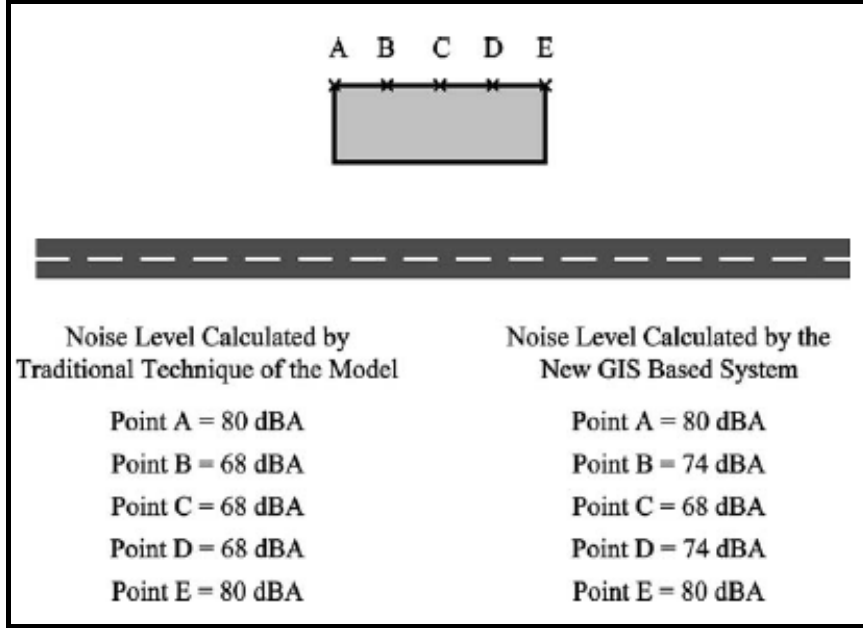
Binaların yola bakan yüzeylerinin genişliği gürültü azaltmadaki etkinliklerini doğrudan etkilemektedir. (Pamanikabud and Tansatcha, 2009) Şekil 2.19'da farklı boyutlardaki binaların yola bakan yüzeylerinin gürültüyü azaltmadaki etkinliği görülmektedir.



Şekil 2.19. Binaların yola bakan yüzeyleri ile gürültü azaltımları arasındaki ilişki

Trafik gürültüsünün araştırılmasında coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı daha etkin sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır (Pamanikabud and Tansatcha, 2003).

Şekil 2.20’de bina arkasındaki gürültünün hesaplanmasın da geleneksel yöntemle GIS tabanlı yöntemin karşılaştırılması görülmektedir. Coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.20. Bina arkasındaki gürültünün hesaplanmasın da geleneksel yöntemle GIS tabanlı yöntemin performansları (Pamanikabud and Tansatcha, 2003)

Tek başlarına gürültüyü engelleyemeyen binalar bir araya gelerek bazen bir bariyer gibi sesi engelleyebilir. Bir araya gelen bu bina grubuna sıra evler (sıra binalar) denmektedir.

Bu binaların etkisi, yüksekliği az ve uzunlamasına bariyerlerin siper etkisine benzemektedir. Sıra evler uzun bariyerler gibi davranabilir fakat binalar arasındaki boşluklardan alıcıya doğru ses sızıntısının dikkate alınması gerekmektedir.

Sıra evlerin alanının sıra alanın % 20’ sinden daha az olması durumunda binanın arkasındaki alıcıdaki ses azalmasının az olduğu yada hiç olmadığı kabul edilir.

Genel olarak, sıra evlerin alanı sıra alanın %40-60 arasında olursa binanın arkasındaki alıcıdaki ses azaltımı yaklaşık 3 dBA'dır. Ayrıca, eklenen sıra ev bir başka 1,5 dBA gürültü azaltımı sağlamaktadır.

Sıra evlerin alanının sıra alanın % 80' sinden daha büyük olması durumunda binaların arasındaki boşlukların meydana getirdiği sızıntı minimum kabul edilmektedir. Bu durumda ise bina arkaları için sıra evlerin gürültü azaltımı gürültü bariyeri gibi olacaktır. (www.fhwa.dot.gov)

Bariyer etkisi gösteren sıra evlere bir örnek Şekil 2.21.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.21. Bariyer etkisi gösteren sıra evler

2.5. Avrupa Birliği Direktifi ve Türk Mevzuatı'nın İncelemesi

2.5.1. Türkiye'deki Çevresel Gürültü Mevzuatının Tarihçesi

Gürültü mevzuatı 07.11.1982 tarih ve 2709 sayılı Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın 56. maddesine dayandırılmaktadır. Anayasanın bu maddesi "Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek Devletin ve vatandaşların ödevidir." şeklindedir.

Türkiye'de gürültü kirliliğinin kontrol altına alınmasına ilişkin ilk yasal düzenleme 09.08.1983 tarihinde kabul edilen 2872 sayılı Çevre Kanunu kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu kanunun 14. maddesinde "Kişilerin huzur ve sükununu, beden ve ruh sağlığını bozacak şekilde yönetmelikte belirlenen standartlar üzerinde gürültü çıkarılması yasaktır. Fabrika, atölye, işyeri, eğlence yeri, hizmet binaları, konutlar ve ulaşım araçlarında gürültünün asgariye indirilmesi için gerekli önlemler alınır." denilmektedir.

Çevre Kanunu kapsamında ilk teknik düzenleme ise 11.12.1986 tarihinde Gürültü Kontrol Yönetmeliği kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu yönetmelik ile kaynak, alıcı ve çevresel gürültüye yönelik esas ve kriterler belirlenmiştir.

Türkiye'deki mevzuatın Avrupa Birliği mevzuatına uyumlu hale getirilmesi aşamasında Avrupa Birliğinin 2002/49/EC sayılı Çevresel Gürültü Yönetimi hakkındaki direktifi dikkate alınarak Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği hazırlanmış ve 01.07.2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Üye bir ülkenin AB Çevresel Gürültü direktifini kendi mevzuatına uyarlaması ve uygulamasına yönelik tecrübelerinden yararlanmak üzere, 2004 yılı Mali İşbirliği Programı çerçevesinde, "Çevresel Gürültü Yönetimi Hakkındaki Direktifinin Uyumlaştırılması ve Uygulanması" Eşleştirme Projesi gerçekleştirilmiştir. Bu proje kapsamında 01.07.2005 tarihli Yönetmelik revizyona tabi tutulmuştur.

Eşleştirme Projesi Mart 2006 -Haziran 2008 tarihleri arasında yürütülmüş ve Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği revize edilmiş haliyle 07.03.2008 tarihinde 26809 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır.

2.5.2. Avrupa Birliği Gürültü Direktifinin İncelenmesi

2.5.2.1. Kapsanan Avrupa Birliği Mevzuatı

Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi hakkındaki 2002/49/EC sayılı Konsey Direktifi, çevresel gürültüye maruz kalmanın etkileriyle belirli öncelikler esasına göre mücadele etmeye yönelik müşterek bir yaklaşım belirlenmesini amaçlanmaktadır.

Bu amaca yönelik olarak direktifin Madde 1.1.’de bahsedilen eylemlerin kademeli olarak uygulamaya konması gerektiği belirtilmiştir. Bu eylemler aşağıdaki gibidir.

- (a) Üye ülkelerin tamamında, kullanılan değerlendirme yöntemleri yardımıyla gürültü haritalarının hazırlanarak çevresel gürültüye maruz kalma dereceleri belirlenmelidir.
- (b) Çevresel gürültü ve etkileri hakkında kamuoyunun bilgilendirilmesi sağlanmalıdır.
- (c) Üye ülkeler tarafından, gereken her yerde (özellikle maruz kalma düzeylerinin insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere yol açmasının mümkün olduğu yerlerde) ve çevresel gürültü kalitesini korumanın iyi olabileceği yerlerde; gürültüyü önleme ve azaltma düşüncesinden hareket ederek gürültü haritalarına göre eylem planlarının hazırlanması ve uygulanması gerekmektedir.

Direktif aynı zamanda, özellikle ulaşım araçları (karayolu ve demiryolu taşıtları ve altyapısı, hava taşıtları) ve açık havada kullanılan teçhizat (endüstriyel ekipman ve hareketli makineler gibi) olmak üzere, belirli kaynaklar tarafından yayılan gürültüyü

azaltmak için Topluluk düzeyinde önlemler geliştirmek için bir temel sağlamayı da amaçlamaktadır.

2.5.2.2. Avrupa Birliği Mevzuatın Gerekleri

Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetilmesi direktifinin temel gerekleri aşağıdaki gibidir:

1) Üye ülkeler tarafından bu direktifin yürütülmesi sorumluluğunu yüklenecek uygun düzeyde yetkili otorite ve kuruluşların belirlenmesi, **(Madde 4)**.

Bu otoritenin sorumluluklar şunlardır:

- Aglomerasyonlar, ana karayolları, ana demiryolları ve ana hava limanları için gürültü haritaları hazırlamak, eylem planları yapmak ve uygun hallerde bu harita ve planları onaylamak,
- Gürültü haritalarını ve eylem planlarını toplamak.

2) Gürültü göstergelerinin seşilmesi ve yürürlükte olan veya hazırlıkları sürmekte olan ilgili her türlü sınır değeri hakkında Komisyona bilgi verilmesi. **(Madde 3 ve 5)**

3) Müşterek 'çevresel gürültü' değerlendirme yöntemlerinin tespit edilmesi, **(Madde 6)**

4) Stratejik gürültü haritalarının hazırlanması (250.000'den fazla yerleşik nüfusu olan aglomerasyonlar, yılda en az altı milyon aracın geçtiği ana karayolları, yılda 60.000'den fazla sayıda trenin geçtiği ana demiryolları ve ana hava limanları için) ve uygun hallerde bu haritaların yetkili otoriteler tarafından onaylanması, **(Madde 7)**

5) Eylem planlarının hazırlanması **(Madde 8)**.

Direktif, gürültünün etkileri ile baş etmek için yetkili otoriteler tarafından eylem planlarının tasarlanmış olmasını temin edecektir. Bu planlar sakin alanları gürültü düzeyinin yükselmesine karşı korumayı da amaçlayacaktır. **(Madde 8.1)**

Eylem planlarının aşağıdakiler için hazırlanmasını öngörmektedir:

- Yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana karayolları ve yılda 60.000'den fazla trenin geçtiği demiryolları ile ana hava limanları yakınındaki yerler,
- 250.000'den fazla yerleşik nüfusu olan aglomerasyonlar,

Eylem planları özellikle stratejik gürültü haritalama ile tespit edilen en önemli alanlar için uygulanmalıdır. Eylem planlarının öngörülen asgari gereksinimleri karşılaması gerekmektedir. **(Madde 8.4)**

Eylem planlarının hazırlanması ve gözden geçirilmesi esnasında, kamuoyu katılımının sağlanması için yeterli zamanın ayrılması da dahil olmak üzere etkili fırsatların oluşturulması sağlanmalıdır. **(Madde 8.7)**

6) Birbirlerine komşu konumda olan üye ülkelerin, sınırlara yakın bölgeler için stratejik gürültü haritalarının ve eylem planlarının hazırlanmasında işbirliği yoluna gitmesi gerekmektedir. **(Madde7.4 ve 8.6)**

7) Kamuya bilgi sağlanmalıdır. **(Madde 9)**

- Üye ülkeler bu Direktifin IV ve V' inci Eklerinde yer alan hükümlere uygun olarak ve başta çevre ile ilgili bilgilere erişim özgürlüğü hakkındaki 7 Haziran 1990 tarihli Konsey Yönergesi 90/ 313 /EEC olmak üzere ilgili Topluluk mevzuatı gereği yapmış oldukları stratejik gürültü haritaları ve uygun olduğu düşünülen hallerde tasarlamış oldukları eylem planlarını kamuoyunun kullanımına açması ve bu amaçla kullanılacak bilgi teknolojilerinden de yararlanarak yayınlanmasını temin etmelidir.

- Bu bilgiler tam, anlaşılabilir ve rahat erişilebilir nitelikte olması ve en önemli noktaların belirtildiği bir özetin hazırlanması gerekmektedir.

8) Stratejik gürültü haritalarından alınan bilgiler ile eylem planı özetlerinin Komisyona gönderilmesi gerekmektedir. **(Madde 10)**

9) Direktifin koşullarına uyum sağlamak için gereken yasaları, düzenlemeleri ve yönetsel tedbirleri vaktinde yürürlüğe sokulması ve bu konudaki gelişmeler hakkında Komisyona bilgi verilmelidir. **(Madde 14)**

2.5.3. Çevresel Gürültü Mevzuatının Avrupa Birliği Direktife Uyumlaştırılması

07.03.2008 tarih 26809 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (2002/49/EC) AB Çevresel Gürültü Direktifi'ne tam uyumlu olarak yayımlanmıştır.

2.6. Literatür Çalışmaları

2.6.1. Daha önce yapılan çalışmalar

McNerney vd., yaptıkları çalışmada Teksas'da bulunan 15 farklı asfalt çeşidi üzerinde alan testleri yapılmıştır. Bu testler aynı zamanda Güney Afrika'daki 6 asfalt çeşidi üzerinde de yapılmıştır. Test, yol kıyılarına monte edilen mikrofonların kayıtları ve asfalt lastik gürültüsündeki farklılıklar analiz edilerek gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda diğer değişkenler sabit tutularak asfaltlar arasındaki karşılaştırmaların gelişimleri çizilerek incelemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda 7 dBA varan gürültü seviyesi farklılıkları tespit edilmiştir (McNerney and Landsberger, 1998).

Wetzel vd., Almanya'da, yol kenarı gürültü yayılımını modellemek için birçok standardın geliştirildiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada DIN 18005, RLS-90 ve VDI 2714 standartlarını karşılaştırmışlardır. Bu standartlar, trafik gürültüsünü modellemekte elverişli bir çeşit ses çizgisi sağlamaktadır. Bu standartlar arasındaki farklılıklar tespit edilmiştir. Çalışmalar Belçika'nın Arlon bölgesindeki Uluslararası N4 yolu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan sonuçlar, yol boyunca bulunan kritik noktalar üzerinde yapılan ölçümlerle karşılaştırılmıştır (Wetzel et al., 1999).

Suksaard vd., Tayland'da, yol trafik gürültü tahmin modelini, çevresel etki değerlerinin ölçülmesi için geliştirmiştir. Model, bazı varsayımlar altında çalışmaktadır. Buna göre araçlar iki grupta sınıflandırılmış ve sonra her bir grubun ortalama gürültü seviyesi, pek çok aracın oluşturmuş olduğu gürültü ölçümünden belirlenmiştir. Her bir grubun güç seviyesi, hareket halindeki araçların gürültü seviyesinin ölçümüyle belirlenmiştir. Hareket halindeki araçların ortalama güç seviyesi, güç seviyesi ve araç hızının logaritması arasındaki ilişki tarafından izah edilmiştir. Tahmin edilen gürültü seviyeleri, sonra, 2, 4, 6, 8 ve 10 şeritli yollar gibi farklı yollardan alınarak ölçülmüş trafik gürültü seviyeleriyle karşılaştırılmıştır. Modelin ± 3 dB(A) için doğru, tam, uygun olduğuna karar verilmiştir ve model aynı zamanda, 2, 4, 6, 8 ve 10 şeritli yollarda zemin yol trafik gürültü tahmininde kullanılabilirdiği gibi araçların uygulanabilir hızları 30 km/sa ve 140 km/sa arasında olması halinde trafik gürültü seviyelerini, yol kenarından 80 metre ve zeminden 1'den 12 metreye dek yüksekliğe kadar tahmin edilebilir olduğunu açıklamışlardır (Suksaard et al., 1999).

Pamanikabud vd., şehir merkezindeki trafik gürültüsünü, mevcut yol şebekesini dikkate alarak, stop-go matematiksel modeli yardımıyla incelemiştir (Pamanikabud and Tharasawatpipat, 1999).

Kumar vd., ses basınç seviyelerini (dBA), yoğun araç trafiğinin çevresinde 10 s aralıklarla hesaplamışlardır. Bileşke zaman serilerini, ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) modelleme tekniği kullanarak analiz etmişlerdir. Zaman serileri, değişken olarak kaydedilmiştir (Kumar and Jain, 1999).

Gürültü bariyerlerinden yansıyan gürültüyü azaltmak için bariyerlerde sesi emen materyaller kullanılabilir. Watts ve Godfrey, ses emici maddelerin uygulandığı yol kenarındaki gürültü seviyelerinin, trafik yönüne olan etkilerini belirlemiştir. Yüzeyi ses emici malzemeyle kaplanmış ve 3,7 m yüksekliğindeki bariyerler 34 m arayla, yolun her iki yanına dikilmiştir. Diğer mahalde, tek bir 3 m yüksekliğinde bariyer, sekiz şeritli otoyola bitişik olarak dikilmiştir. Her iki mahalde, paneller özdeş üretilmiş ve bir tarafta sesi oldukça emici, diğer tarafta sesi yansıtıcı durumda yerleştirilmiştir. Trafik gürültü ölçümü, hem arkasında hem de ters tarafında bariyerler olmak üzere yollara yakın olarak yapılmıştır. Sonra ölçümler, paneller ters çevrildikten yani yansıtıcı taraf trafiğe doğru çevrildikten sonra tekrarlanmıştır. Sonuç olarak, her iki mahalde, bariyer yönü ses emiciden ses yansıtıcıya çevrildiğinde, genel olarak 1 dB'den az gürültü artışı olduğunu tespit edilmiştir (Watts and Godfrey, 1999).

Bendtsen, trafik gürültüsü modellenmesinde Nordic tahmin metodunu araştırmıştır. Ağırlıklı sürekli eşdeğer gürültü seviyesine bağlı olarak trafik ve topografya parametreleri tahmin edilmiştir (Bendtsen, 1999).

Watts vd., gözenekli asfaltlarla gözeneksiz asfalt arasındaki gürültü farklarını BEM metodunu kullanarak araştırmıştır (Watts et al., 1999).

Steensberg, Danimarka'da halk sağlığı açısından gürültüyü kirliliğinin etkilerini analiz etmiştir. Yapılan analizler sonucuna göre, gürültünün kirliliğinin kontrolü için merkezi seviyede gelişmiş bir koordinasyona ihtiyaç olduğunu tespit etmiştir (Steensberg, 1999).

Sato vd., trafik gürültüsünün sebep olduğu zararın derecesini, trafikte ve evlerde, farklı mesafeler ve çok değişik araçlarla, 15 alanda araştırmışlardır (Sato et al., 1999).

Harris vd., trafik gürültü modeli ile Stamina modelini gürültü ölçümleri yaparak karşılaştırmıştır. Trafik gürültüsü modeli ve Stamina adlı modeli aynı mekânda ses ölçümleri kullanılarak uygulanmışlar ve sonuçları analiz etmişlerdir (Harris et al., 2000).

Probst vd., CadnaA (Computer Aided Noise Abatement A) programını kullanarak gürültü haritaları hazırlamışlardır. Programda gürültü haritaları uygun veri dosyaları kullanılarak, tüm pratik durumlar için mümkün olan alternatifler dikkate alınarak hazırlanmıştır (Probst and Huber, 2000).

Clench vd., Oslo'da, yerleşim yerlerindeki trafik gürültüsü ve hava kirliliği göstergeleri üzerinde karşılaştırmalı olarak çalışmış ve insanları rahatsız eden çevresel faktörleri alternatif bütünleşik bir yaklaşım benimseyerek incelemişlerdir. İnsanların egzoz kokusundan ve yol trafik gürültüsünden zarar görme ihtimalleri ortaya konmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki yol trafik gürültü seviyelerine insanlar ne kadar maruz kalırlarsa, spesifik hava kirliliği seviyesinden, egzoz kokusundan zarar görme olasılıkları da o kadar yüksektir. Diğer taraftan insanlar ne kadar hava kirliliği seviyelerine maruz kalırlarsa, spesifik gürültü seviyesinden, yol trafik gürültüsünden o ölçüde zarar göreceklerdir (Clench et al., 2000).

Guzejev vd., maruz kalınan gürültüye ilişkin rapor hazırlamışlardır. Çalışmada, insanların gürültüye olan duyarlılıkları ve gürültüden rahatsızlık seviyeleri belirlenmiş ve gürültü haritalarının ortaya koyduğu verilerle karşılaştırılmıştır (Guzejev et al., 2000).

Moehler vd., demiryolu ve karayolu trafik gürültüleri arasındaki farkları incelemişlerdir. 1994–1998 yılları arasında gerçekleştirilen bu alan çalışmasında dört bölgede 1600 kişi üzerinde hem demiryolu hem de karayolu trafik gürültüsünün psikolojik etkileri ölçülmüştür (Moehler et al., 2000).

Akçay, yoğun trafik gürültüsünün zararlarını istatistiksel olarak inceleyerek çözüm yolları önermiştir (Akçay, 2001).

Akdoğan, kavşak trafiğinin kontrolü için bir sinyal zamanlama algoritması geliştirmiştir. Delphi 5.0 programlama dili ile gerçekleştirilen çalışmayla akım parametrelerine dayalı analiz yapılmıştır (Akdoğan, 2002).

Calixto ve arkadaşları, Brezilyanın Curitiba şehrinde trafik gürültüsü üzerine çalışmışlardır. Çok yakındaki okul, hastane ve konutlar gözetilerek hız limitlerinin azaltılması gerektiğini ortaya koymuşlar, araçlardan kaynaklanan gürültü emisyonlarının azaltılması amacıyla yeni kanun tekliflerinin ortaya konması ses gücü azaltılmış yeni sistemlerin geliştirilerek taşıtlara adapte edilmesini tavsiye etmişlerdir. Gürültüye hassas bölgelerden geçen taşıtların içindeki ağır taşıtların azaltılmasını ve ağır taşıtların şehrin etrafından dolaştırılmasını istemişlerdir (Calixto et al., 2003).

Manoel vd., Brezilya'da yapmış oldukları çalışmada, trafik kompozisyonunun cadde gürültüsüne olan etkisi araştırılmıştır. Üç tipik Brezilya Caddesi üzerinde Pazartesî' den Cuma' ya kadar 6.00' dan 10.10' a kadar 146 ölçüm yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmıştır ve bu farklılığın, şehirde bulunan araç çeşitleri ve sürücü farklılıklarından yani trafik kompozisyonundan kaynaklandığı ortaya konmuştur. Brezilya'da; araçların hızları, egzoz sistemlerinin standartlarının olmayışı, trafik ışıklarında beklerken gereksiz korna kullanımı gibi nedenlere bağlı olarak gürültü seviyelerinin yüksek olduğu anlaşılmıştır (Manoel et al.,2003).

Ramis ve arkadaşları İspanya'da A-3 Otoyolu ve buna bağlı yolların gürültü kirliliğini araştırmışlardır. Şehrin içinden geçen yollarda yol boyunca gerçekleşen gürültü kirliliğinin Dünya Sağlık Örgütü tarafında tavsiye edilen 65 dbA'lik ses düzeyinin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Şehirlerde yaşayan insanların hayat kalitelerinin artırılması için gürültü düzeylerinin azaltılması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Endüstriyel alanların ve yerleşim alanlarının kapladığı yüz ölçümler dikkate alınarak trafikten kaynaklı gürültü ile kentsel alanlardaki diğer faaliyetlerden kaynaklı gürültü arasındaki ayrımın yapılmasının önemine değinmişlerdir (Ramis et al., 2003).

Aktürk vd., çalışmalarında Karayolu ulaşımının önemli yan etkilerinden birisi olan çevresel ulaşım gürültüsünün kaynakları, insanlar üzerindeki etkileri ve bu tür gürültünün trafik ışık süresi ile değişimini incelemişlerdir. Karayolu ulaşım gürültüsünün modellenmesinde Community Noise Model (CNM) isimli bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Ankara'daki Kızılay ve Ulus kavşakları modellenerek, bu kavşaklar etrafında seçilen tipik bazı noktalardaki eşdeğer gürültü seviyeleri hesaplanmıştır. Aynı işlemler daha sonra ışık bekleme süreleri model üzerinde değiştirilerek bunun gürültüye etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar trafik ışık sürelerinin planlamasında yapılan hataların gürültüye neden olduğunu göstermiştir (Aktürk vd., 2003).

Eskişar ve Kıncal, İzmir'de coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak trafiğin kilitletiği yolları ve kavşakları tespit etmişlerdir. Kent trafiğini; sinyalizasyon, araçların bakım durumları, sürücü hataları gibi iç faktörler ile hava, yol şartları gibi dış faktörlerin etkilediği ortaya konmuştur. İzmir kent alanında mevcut problemlerin oluşmasına neden olan faktörler, Geomedia Professional 4.0 Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı ile araştırılmıştır (Eskişar ve Kıncal, 2003).

Lee ve arkadaşları, 2020 Seul Master Planı (2004 yılında Seul Konseyi şehirlerinin dünya çapında bir şehir olabilmesi için hızlı ve verimli bir yönetim anlayışının oluşması; iskan, eğitim, çevre ve diğer alanlarda yaşam kalitesini artırılması için "2020 Seul Master Planını" yasalaştırmıştır.) kapsamında gürültü haritaları konusunda çalışmışlardır. Önceki yıllarda ÇED uygulamaları gürültü düzeylerini uzaklık-azalım ilişkisiyle söylemekte ve akustik yayılımın ayrıntılarını tamamiyle yansıtmamaktaydı. Gürültü haritaları ile probleme çözüm yolu açılmıştır. Gürültü haritaları sadece şimdiki gürültü düzeylerini göstermekle kalmayıp şehrin gelecekteki gelişme planlarına bağlı gürültü düzeylerini de ortaya koymuştur. Bu çalışma ile Çevresel Etki Değerlendirmenin (ÇED) önemi yanında Gürültü Etki Değerlendirmenin de (GED) öneminden bahsedilmiştir (Lee et al., 2008).

Xie ve Kang, Londra şehrinin gürültü haritalarının sonuçlarını analiz etmiş Milli Sağlık Hizmetlerine ait hastanelerin ortalama gürültü düzeylerini karşılaştırmıştır. Londra'nın iç mahallelerindeki hastanelerin gürültü değerlerinin Londra'nın dış

mahallelerindeki hastanelerin gürültü değerlerinden 5.4 dBA fazla olduğunu tespit etmiştir (Xie and Kang, 2009).

Tsai ve arkadaşları, Tayvan'da Tainan Şehrini gürültü haritalarını hazırlamış ve çevresel gürültünün araştırılması için haritaların önemini belirtmişlerdir. Bu haritalar yardımıyla Tainan Şehrini nüfusunun %90'dan fazlasının kabul edilemez düzeyde çevresel gürültüye maruz kaldığını tespit etmişlerdir. Gürültünün kontrolü amacıyla acilen bir stratejinin geliştirmesini önermişlerdir (Tsai et al., 2009).

Mun ve Cho, en iyi bariyer boyutlarını tespit etmek amacıyla, alıcı noktalarında belirli çevresel ihtiyaçları da tatmin edecek şekilde, SA algoritmasını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bariyerlerin en uygun boyutlarda dizaynı için SA algoritmasının arzu edilen esnekliği gösterdiği sonucuna varmışlardır (Mun and Cho, 2009).

2.6.2. Gürültü Tahmin Modelleri

Karayolu ulaşım araçlarından kaynaklanan gürültünün kurumsal olarak saptanması için 1950'lerde ve 1960'larda trafik gürültü tahmin modelleri, yol kenarında, tek bir aracın ses basınç seviyesini tahmin etmek için tertip edilmiştir. Bu modeller, sabit hız deneylerine dayanmaktadır. Daha sonra tahmin edilen seviyeler sıfır ivmeyle hız fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Bundan sonra gerçekleştirilen modeller, tek bir aracın seviyesini tahmin etmek amacıyla değildir. Bunlar, trafikte seçilmiş bir devirde, eşdeğer sürekli seviyeyi tahmin etmek için tasarlanmıştır. Sonraki modeller, kesintiye uğrayan ve değişen trafik akış şartları altında tahmin yürütmektedir (Steele, 2001).

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler gürültü kirliliği haritalarının daha pratik ve daha kolay yapılmasını sağlamaktadır. Gürültü haritalarının doğruluğu akustik modellerin doğruluğuna bağlıdır (Asensio et al., 2009).

Karayolu gürültüsünün hesaplanması için kullanılan başlıca gürültü tahmin modelleri aşağıdaki gibidir.

- Avusturya ÖAL 23/ RVS 3.114
- Fransa NMPB
- Japonya Road Model B
- Birleşik Krallık Calculation of Road Traffic Noise (CoRTN)
- Almanya RLS 90 and DIN 18005
- İskandinavya Statens Planverk 48 (Nordic Road Noise Prediction)
- İskandinavya Road Traffic Noise 1996:525
- İsviçre, EMPA (StL-86)
- ABD, Federal Highway Model (FHWA)

07.03.2008 tarih 26809 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (2002/49/EC) gereği karayollarından kaynaklı çevresel gürültü düzeyinin tayin edilmesinde Fransız ulusal hesaplama yöntemi olan NMPB metodu kullanılmaktadır. NMPB metodu ile ilgili geniş bilgi EK 1'de verilmiştir.

2.6.3. Gürültü Modelleme Programları

2.6.3.1. SoundPLAN

SoundPLAN, Braunstein and Berndt GmbH tarafından geliştirilmiştir. Gürültü planlaması için gerekli önerilerin ortaya çıkarılabilmesi, zaman, toplumsal veri tabanına erişim, analitik gereksinimlerle ve günümüzün sürekli değişen yasal çerçeveleri ile birlikte gelişip genişleyebilecek bir yazılım olma iddiasındadır.

SoundPLAN, yükselti hatlarını yaratmak için işlenmiş yükselti verilerini kullanır. Yükselti hatlı üçgenleştirilmiş ağ, gürültü modelinin omurgasını oluşturur.

Binalar, DXF veya Shapefiles aracılığı ile belediye veri tabanlarından alınan kat planlarından programa aktarılabilir.

Hava fotoğrafları verileri varsa, bina yüksekliklerini, dijital arazi modeli ile arazi arasındaki fark alınarak hesaplanabilir.

Eğer varsa, adresler, konut, sanayi, hastane vs. bölgeleme, sakinlerin sayısı gibi ek bina bilgileri de alınabilir. Bilgi, biçim dosyalarında ise, doğrudan binaya da aktarılabilir. Çeşitli kaynaklardan veriler, kullanıcı tarafından tanımlanabilen ASCII arabirimi ile toplanıp, işlenebilir (SoundPLAN Kullanım Kılavuzu).

2.6.3.2.CadnaA

CadnaA (Computer Aided Noise Abatement – Bilgisayar Destekli Gürültü Azaltma); seçilen çeşitli bölgelerde çevre gürültüsü kaynaklarından ses yayılımının modellenmesi ve ses düzeylerinin tahmin edilmesi amacıyla Datakustik firması tarafından geliştirilmiş 32 bitlik Windows ortamında çalışan bir yazılımdır.

Yazılımın kullanılabileceği alanlar:

- Endüstri bölgeleri
- Spor ve Eğlence kompleksleri
- Otoyollar ve Demiryolları
- Havaalanları
- Diğer gürültü yaratan ekipmanlar

Mevcut bir alanda; binaların biçimi, yerleşim düzeni, arazi topografyası, gürültü perdeleri, zemin kaplaması türü, meteorolojik özellikler (rüzgar, sıcaklık ,nem) gibi ses düzeylerini etkileyen tüm faktörleri hesaba katar.

- Gürültü haritaları; günümüzün standardlarına uygun olarak elde edilebilir.
- Kaynaklar için ses gücü hesaplamaları da yapar.
- Yüksek hızlı trenler ve havaalanları için ayrı bir modül bulunmaktadır.
- Otomatik olarak gürültü perdelerinin tasarımını yapar.
- Hareketli kaynakların zamana göre değişim grafiklerini verir.

Yaklaşık 30 standart ve yönergeye uygun hesap yapabilir. İstenildiği kadar çok sayıda sabit alıcı noktası için, kaynağa bağlı kısmi seviyelerin tümü hesaplanabilir ve kaydedilebilir. (www.dbkes.com.tr)

2.6.3.3.IMMI

Wolfel firması tarafından üretilmekte olan IMMI, her tipteki gürültü kaynağı için (karayolu, demiryolu, endüstri, eğlence tesisleri, havaalanı) ve küçükten geniş ölçeğe kadar tüm ölçeklerdeki gürültü tahmini yapabilir ve gürültü haritası çıkarabilir.

IMMI'de 20 farklı Avrupa ve uluslararası hesaplama metodu mevcuttur. Yazılım, açık alanlardaki gürültünün yayılımını, yayılım hattı üzerindeki tüm fiziksel etkileri dikkate alarak hesaplar. Sonuçlar hem grafiksel olarak gürültü haritaları şeklinde veya numerik olarak detaylı sonuç listeleri şeklinde gösterilebilir. (www.pnt-grp.com)

2.6.3.4. Predictor

Brüel&Kjær firması tarafından üretilen Predictor programı çevresel gürültüyü hesaplamak için kullanılan bir yazılım olup farklı gürültü hesaplama yöntemlerini içermektedir. Sanayi veya trafik gibi farklı kaynaklardan oluşan gürültüyü hesaplamaya ve analiz etmeye izin vermektedir. Küçük ölçekli etki değerlendirmelerinden geniş yığın haritalarına kadar bütün uygulamalar için de kullanılabilir.

Modelleri inşaa etmek için bir veya daha fazla küçük haritalar (Bitmap) arka plan olarak getirilebilir, ölçeklendirilebilir ve doğru olarak yönlendirilebilir.

Alternatif olarak, modeller, DXF ara yüzeyleri boyunca, Auto CAD dosyalarından yapılabilir. Böylece modellerin Auto CAD'e geri dönmesini veya GIS'e aktarılmasına izin verir.

Ayrıca, sonuçlardaki kullanıcı tanımlı maksimum tolerans, önemsiz kaynakları önemsememesini sağlar. Predictor, aynı zamanda, hesaplama zamanını arttırmak için, arazi modellerini ve binaları basitleştirebilir. Ayrıca, elde edilen sonuçların kalitesi, düzensiz çizgi (grid) pozisyonlarındaki, az sayıda yüksek kaliteli tekrar hesaplamalarla, sonuçları karşılaştırarak istatistiksel olarak analiz edilebilir. Predictor, gürültü hesabı gerektiren çok sayıda uygulamalarda kullanılabilir.

Programın modüler dizaynı ve ASCII, veri değişimi, onun diğer yazılım paketlerine entegre olmasını sağlamaktadır. Böylece, hesaplama modülleri, çevresel yönetim, trafik yönetimi ve GIS'e, gürültü hesabı özü (önemli yer merkez) kadar entegre edilebilir (www.bksv.com)

3. TEZİN HEDEFİ

Karayollarında seyreden taşıtlardan kaynaklanan gürültünün karayollarına yakın yerleşimlere etkilerini ortaya koyabilmek için yol ve çevresini içeren gürültü haritalarının hazırlanması gerekmektedir. Gürültü haritalarının hazırlanması esnasında SoundPLAN gibi lisanslı programlar kullanılmaktadır. Bu programlar tek bir bilgisayar için lisanslandırılmakta olup Türkiye genelinde çalışmak için birçok lisans almak gerekmektedir. Bu durum mali açıdan zorluklar yaratmaktadır. Yerleşim yerlerinden gelen şikâyetlerden dolayı bazen küçük yerleşimlerden geçen yollar için gürültü haritalarının hazırlanması gerekmektedir. Fakat lisanslı programların satın alınmasında yaşanan güçlükler dolayısıyla mali yük getirmeyen yöntemlerin kullanılması çıkar yol olarak görülmüştür.

Hazırlanan gürültü haritasının doğruluğunu denetlemek için daha önce SoundPLAN programı ile gürültü haritası hazırlanmış olan bir alan seçilmiştir. NMPB metoduna göre SoundPLAN yazılımı ile hazırlanan harita ile TEM metodu ile Microsoft Excel yardımıyla manuel olarak hazırlanan harita karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada TEM Trafik Gürültüsü Hesaplama Metodu ve Microsoft Excel programı kullanılarak pratik bir gürültü hesaplama yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntemin geçerliliği de ticari olarak kullanımda olan program yardımıyla aynı bölge ve koşullar için hazırlanmış olan sonuçlar ile kıyaslanarak ortaya konmuştur.

4. MATERYAL-METOD

4.1. Çalışma Alanı ve Çevresinin Tanımı

Çalışma alanı olarak Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolu Adana şehir içi geçişinin Doğu Tünel giriş kısmı Km: 78+275 – 78+975 arası ele alınmıştır. Çalışma alanı ve çevresi Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de gösterilmektedir.

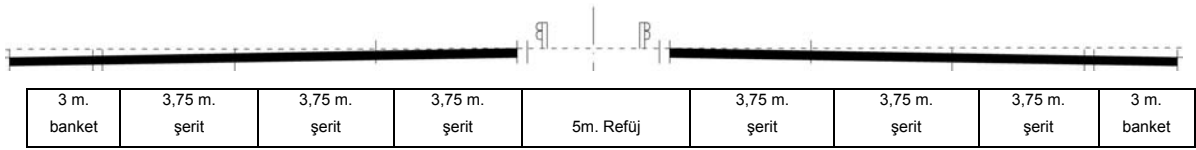


Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresinin kuşbakışı görünümü (Google Earth)



Şekil 4.2. Çalışma alanı ve çevresinin üç boyutlu görünümü (Google Earth)

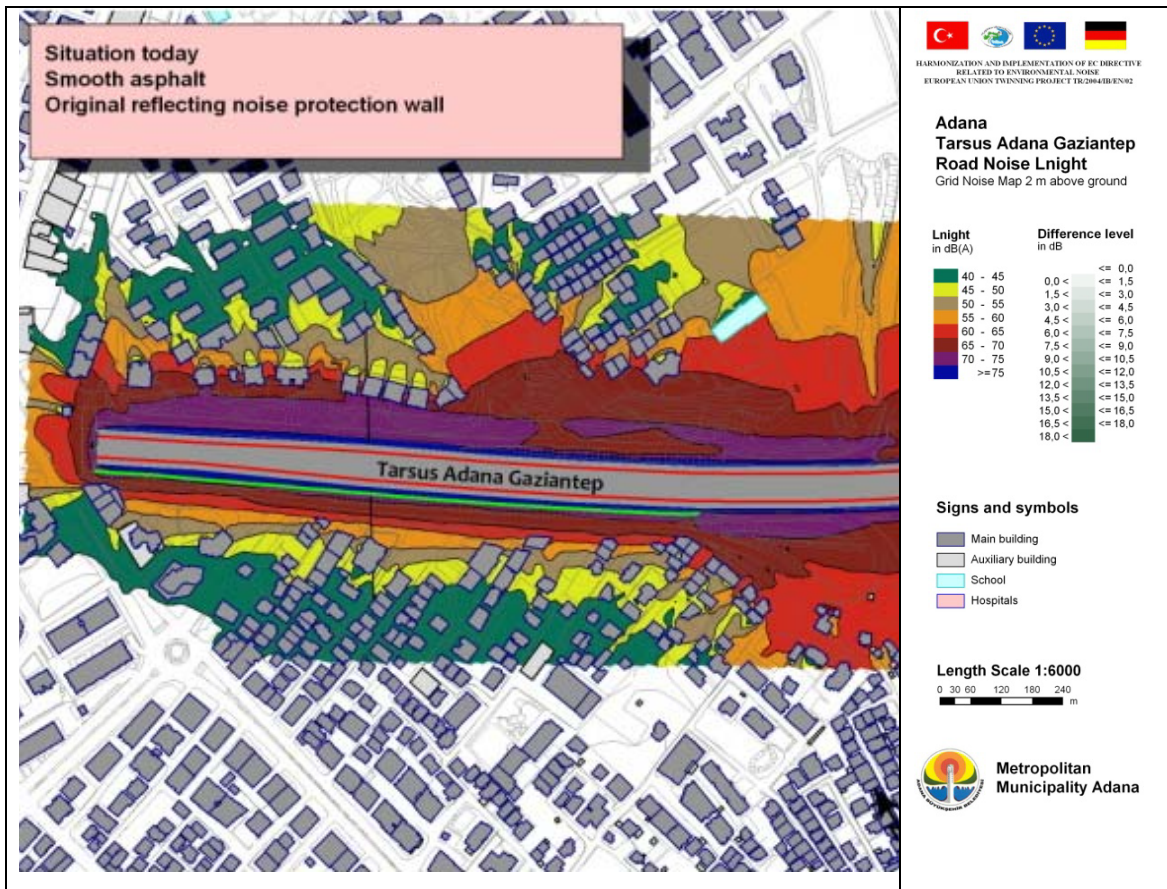
Mevcut durumda söz konusu yolun güney tarafında toprak kaymasını önlemek amacı ile yapılan ve yaklaşık 10 metre yükseklikte bulunan istinat duvarı yer almakta olup bu duvarın karşı kısmı ise doğal şev şeklindedir. Yolun ortalama eğimi %1 dir. Yolun şematik gösterimi Şekil 4.3.'de verilmektedir.



Şekil 4.3. Yolun şematik gösterimi

4.2. Referans Gürültü Haritası (RGH)

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ve Federal Almanya Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı arasında imzalanan Gürültü Yönetimi Alanında Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Kapasitesinin Güçlendirilmesine İlişkin Proje kapsamında Adana İli Trafik Gürültüsü Eylem Planı hazırlanmıştır. Bu eylem planı içerisinde SoundPLAN programı ile Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolunun bir kısmına (Adana şehir içi geçişinin Doğu Tünel girişi) gürültü haritası hazırlanmıştır. Sözkonusu gürültü haritası Şekil 4.4.'de verilmektedir.



Şekil 4.4. Referans gürültü haritası (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı)

TAG Otoyoluna ait gürültü haritasının referans gürültü haritası olarak seçilmesinin temel nedeni haritanın T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ve Federal Almanya Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı'nın ortak çalışması sonucunda hazırlanmış olması nedeniyle güvenilir bulunmasıdır. Bu alan, topografik yapısının çeşitliliği ve yoğun yerleşim alanları içermesi nedeniyle TEM metodunu denemek için uygun bir alandır.

4.3. Referans Gürültü Haritasının Sayısallaştırılması

Bu gürültü haritasının otoyol merkezde olmak üzere düşeyde 400 metre, yatayda 700 metrelik kısmı alınarak 400×700 m²lik bir çalışma alanı tanımlanmış ve bu alan 6,25 m * 6,25 m boyutlarında gridlere ayrılmıştır. Çalışma alanı içinde 7345 nokta çalışma alanının etrafında ise 2780 olmak üzere toplam 10125 nokta okunmuştur. Daha sonra bu gridlerin kesişme noktalarındaki ses düzeylerinin alt sınır değerleri MS Excel programında yazılmıştır. Sayısallaştırma için kullanılan değerler Çizelge 4.1.'de bu değerlerin MS Excel'de yazımı Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Gürültü haritasının sayısallaştırmasında kullanılan değerler

75 ≤ x < 80 dBA aralığındaki alanlar	75
70 ≤ x < 75 dBA aralığındaki alanlar	70
65 ≤ x < 70 dBA aralığındaki alanlar	65
60 ≤ x < 65 dBA aralığındaki alanlar	60
55 ≤ x < 60 dBA aralığındaki alanlar	55
50 ≤ x < 55 dBA aralığındaki alanlar	50
45 ≤ x < 50 dBA aralığındaki alanlar	45
40 ≤ x < 45 dBA aralığındaki alanlar	40
x < 40 dBA aralığındaki alanlar	39
Binaların bulunduğu alanlar	25
Yolun bulunduğu alanlar	80

Çizelge 4.2. Sayısallaştırılan değerlerinin bir bölümünün MS Excel'de yazımı

39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40	40	39	40	25	40	40	40	
25	25	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40	
25	25	25	40	39	39	39	40	40	40	40	39	40	40	40	40	40	40	40	40	
50	25	45	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	25	
50	45	45	40	40	40	40	40	25	25	25	40	40	40	40	40	40	25	25	25	
50	45	45	40	40	40	40	40	25	25	40	40	40	40	40	40	25	25	45	45	
50	50	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	25	40	40	40	40	40	45	45	
50	50	50	25	25	40	40	40	45	45	25	25	25	40	40	40	40	40	45	45	
55	55	50	50	50	40	40	40	45	45	25	40	40	40	40	40	40	25	25	45	50
55	55	55	55	50	55	25	25	25	45	45	45	45	25	25	25	25	25	25	50	50
55	55	55	55	55	55	55	55	55	45	45	45	45	25	25	50	50	50	50	50	50
55	55	55	50	55	55	55	55	55	25	25	25	25	55	55	55	55	55	55	55	50
60	55	25	25	25	60	60	60	60	25	60	60	55	50	50	55	55	55	55	55	55
60	60	25	25	25	60	60	60	60	60	60	60	25	25	25	60	25	25	55	55	55
60	60	25	25	25	60	60	60	60	60	60	60	25	25	25	60	25	25	60	60	60
65	65	25	25	25	65	65	65	65	65	65	65	25	25	25	65	65	65	65	65	65
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	70	65	65	65	65	65	65	65
65	65	65	65	65	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	75	75	75	75	75	75	75	75	75
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Çizelge 4.3. Sayısallaştırılan değerlerinin tümünün MS Excel'de yazımı

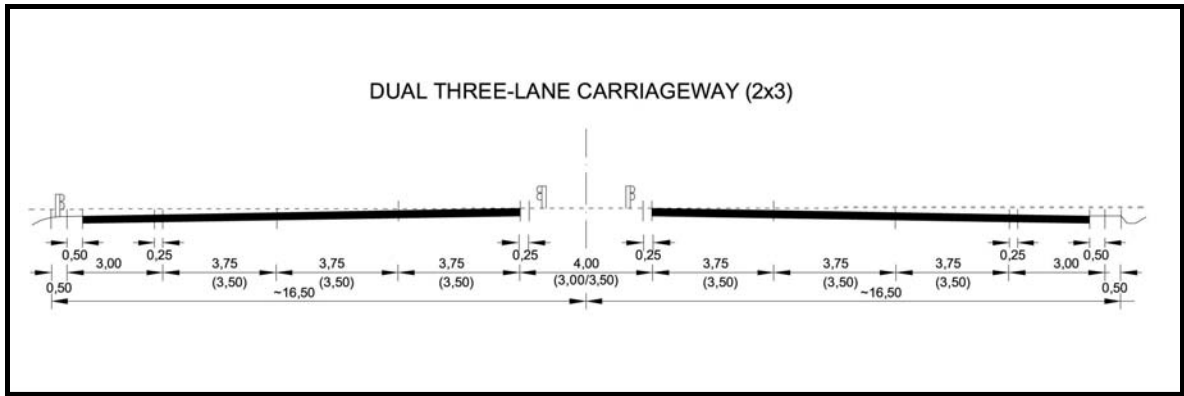
The image displays a dense grid of numerical data, likely generated from a spreadsheet application like MS Excel. The grid consists of approximately 50 columns and 100 rows. The numbers are arranged in a pattern that suggests a mathematical or statistical calculation, with some rows and columns containing repeating sequences of numbers. The grid is filled with small, black text on a white background, with some cells highlighted in light blue or light orange. The overall appearance is that of a large, complex data table.

4.4. TEM Metodu

Bu bölüm TEM Group of Expert tarafından hazırlanan “TEM Traffic and Construction Noise Control” rehberinden alınmıştır.

4.4.1. Referans Gürültü Düzeyinin Hesaplanması

Formül 4.1 ile banketten 15 metre mesafedeki bir referans noktasında yol yüzeyinden 1,5 metre yükseklikte, eşdeğer gürültü düzeyi maksimum saatlik trafik değerleri için hesaplanabilir. Başlangıçta yer yüzeyi düz ve akustik olarak yansıtıcı bir yüzey olarak kabul edilmektedir. Referans gürültü düzeyi hesaplanırken yolun her iki yönündeki trafik akışı dikkate alınmaktadır.



Şekil 4.5. TEM metodunda üç şeritli iki yönlü bir yolun standardı

$$L_{eq}(\text{referans}) = 8.57 \log Q + 3.70 \log P - 0.48 G + 45.28 \quad (4.1)$$

Q : Maksimum saatlik trafik hacmi (taşıt/saat)

P : Ağır taşıt yüzdesi (tamsayı olarak)

G : Yolun ortalama eğimi (tamsayı olarak)

Maksimum saatlik trafik hacmi (Q): Yolun her iki yönündeki trafik akışının dahil edildiği yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) değerlerinin %14'ü olarak ifade edilir ve gün içindeki en yoğun trafiğin hesaplanmasını sağlar.

Formül 4.1 trafik hacminin (her iki yön toplamı) 368-9187 (taşıt/saat) aralığı için geçerlidir.

Ağır taşıt yüzdesi (P): Trafikte seyreden araçların içindeki ağır araçların yüzdesinin tamsayı olarak değeridir. Formül 4.1 bu değer için 5-40 aralığı için güvenli sınırlarda kalır.

Yolun ortalama eğimi (G): TEM yolları eğimine göre üç sınıfta tanımlar ve bu sınıflardaki hafif ve ağır taşıtların ortalama hızlarını belirtir.

Çizelge 4.4. TEM Metodunun ortalama trafik hızları

Arazi Tipi ve Eğimi	Ortalama Hız (km/saat)	
	Hafif Taşıtlar	Ağır Taşıtlar
Düz (% 0-2)	120	90
Dalgalı (% 2-4)	100	70
Dağlık (% 4-6)	80	50

Formül 4.1 asfalt-beton kaplamalı yolun gürültü değerini hesaplar.

4.4.2. Çevresel Gürültü Düzeyinin Hesaplanması

Referans gürültü düzeyinin hesaplanması esnasında çeşitli kabuller yapılmış olup bu şartların değişmesi durumunda referans gürültü düzeyinde düzeltme yapmak gerekmektedir. Yapılması gereken düzeltmeler referans gürültü düzeyini artırıcı veya azaltıcı yönde olabilmektedir.

$$L_{eq} = L_{eq}(\text{referans}) + i_{\text{toplam}} - d_{\text{toplam}} \quad (4.2)$$

L_{eq} = Saatlik eşdeğer ses seviyesi, herhangi bir uzaklıkta (dBA)

i_{toplam} = Referans gürültü düzeyini artıran değerlerin toplamı

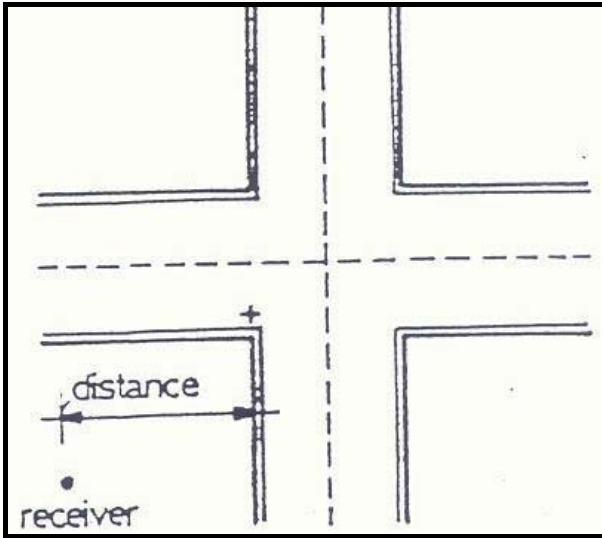
d_{toplam} = Referans gürültü düzeyini azaltan değerlerin toplamı

4.4.3. Referans Gürültü Düzeyini Artıran Faktörler (i_{toplam})

Referans gürültü düzeyini artıran etkenler dört tane olup bunların ilk üçü yola bağlı etkenler olup sonuncusu ise yolun çevresine bağlı bir etkindir.

4.4.3.1. Trafik Akışının Kesilmesi (i_1)

Trafik akışının herhangi bir nedenle durması durumunda belli noktalarda trafik yoğunluğunda bir artış yaşanacaktır. Örneğin trafik ışıklarında bekleyen araçlar belli bir bölgede gürültüde artışa neden olacaktır. Trafiğin durduğu yoldan belli mesafede ve farklı ağır taşıt oranlarında eklenmesi gereken değerler Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Söz konusu artış yoldan 150 metre uzaklıkta sonlandırılır.



Şekil 4.6. Birbirini kesen yollarda trafik akışının kesilmesi

Çizelge 4.5. Trafiğin kesilmesi durumunda eklenecek değerler (dBA)

Ağır Taşıt Oranı (P %)	Trafik Sinyaline veya Kesişme Noktasına Mesafe (metre), dBA				
	0-60	61-90	91-120	121-150	150+
0-10	+2	+1	+1	+1	0
11-12	+3	+2	+2	+1	0
23 +	+4	+3	+2	+1	0

Çalışma alanında trafik akışının kesilmesine neden olan herhangi bir engel olmadığından bu faktör hesaplanmamıştır.

4.4.3.2. Yol Yüzeyinin Pürüzlülüğü (i_2)

Yol yüzeyinin pürüzlülüğü klasik asfalt-beton kaplamaların pürüzlülüğünden fazla ise referans gürültü değerine ekleme yapılması gerekir. Farklı tip yol kaplamaları için eklentiler Çizelge 4.6.' da verilmektedir.

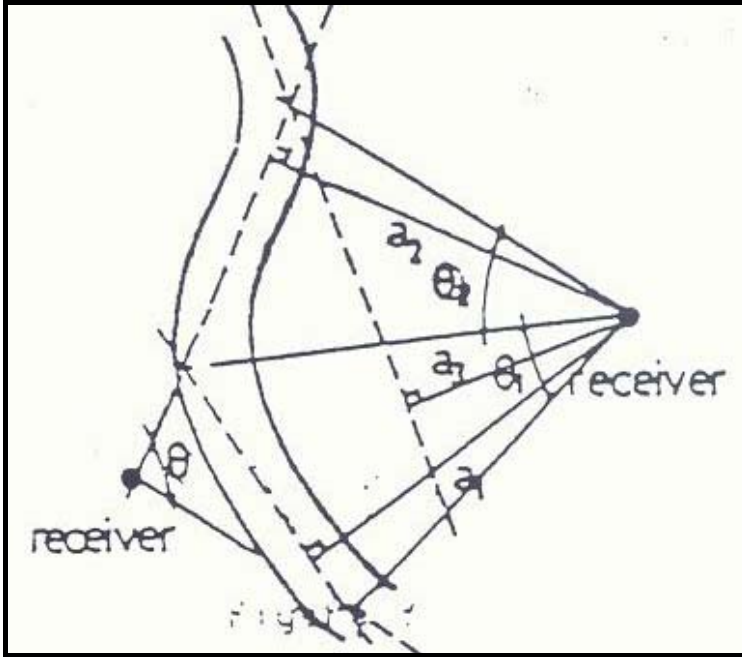
Çizelge 4.6. Farklı tip yol kaplamaları için eklentiler

Yüzey Tipi	(i_2), dBA
Klasik Asfalt	0
Kaba Asfalt – Beton Asfalt	+1
Sert Beton Asfalt, oluklu (6*6 mm)	(+1,5) – (+2)
Pürüzsüz Parke Taşı	+2
Pürüzlü Parke Taşı	+4

Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolunun yüzey kaplama tipi klasik asfalt olup gürültü düzey artış faktörü sıfırdır.

4.4.3.3. Yol Kıvrımları (Viraj) (i_3)

Şayet yolda keskin bir viraj varsa, her iki yöndeki trafik akışı ve ortalama hızlar aynı farz edilerek referans gürültü düzeyine ekleme yapılmalıdır. Eklenecek değerleri hesaplamak için kullanılan eklentiler Çizelge 4.7.' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Yol kıvrımının şematik gösterimi

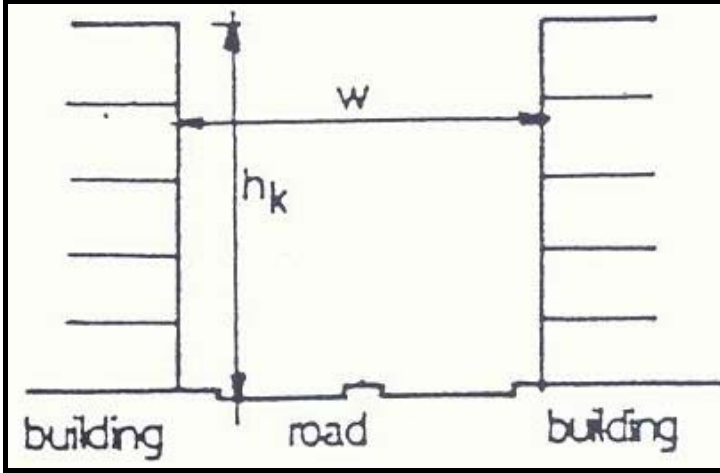
Çizelge 4.7. Yol kıvrımı için eklentiler (dBA)

Alıcı Konumu	(i_3), dBA
İçyüz kavis	+ 3 log (180/görüş açısı)
Dışyüz kavis	+10 log (180/görüş açısı)

Çalışma alanındaki yol platformunda herhangi bir viraj bulunmadığından bu faktör hesaplanmamıştır.

4.4.3.4. Yola Dik Yüzeylerden Kaynaklanan Yansıma (i_4)

Yolun her iki yanında dik yüzeylerin bulunması durumunda referans gürültü düzeyine yola dik yüzeylerin birbirlerine uzaklıkları ve ortak yüksekliklerine bağlı olarak bir ekleme yapılır. Yola dik yüzeylerin şematik gösterimi Şekil 4.8.'de, dik yüzeylerden yansıma kaynaklı eklentiler Çizelge 4.8.'de verilmektedir.



Şekil 4.8. Yola dik yüzeylerin şematik gösterimi

Çizelge 4.8. Dik yüzeylerden yansıma kaynaklı eklentiler (dBA)

h_k/w	(i_4), dBA
0,1	+0,2
0,2	+0,6
0,3	+1,1
0,4	+1,6
0,5	+2
0,6	+2,4
0,7	+2,9
0,8	+3,4
0,9	+3,9
>1	+4,3

w: Yolun iki yanındaki binaların arasındaki mesafe

h_k : Yolun iki yanındaki binaların ortak yükseklikleri

Çalışma alanındaki yol platformunun sadece bir yüzeyinde yola dik bir engel bulunduğundan bu faktör hesaplanmamıştır. Ancak yolun tünel çıkışına göre sağ

tarafında bulunan 520 metre uzunluğundaki istinat duvarı için yansıma hesabı yapılmıştır.

4.4.4. Referans Gürültü Düzeyini Azaltan Faktörler (d_{toplam})

Referans gürültü düzeyini azaltan etkenler sekiz tane olup bunlar yolun yapısı, trafik durumu, çevresel faktörler gibi değiştirilmesi zor mevcuttaki faktörlerle ile gürültü kontrol elemanları gibi değişebilir dizayn faktörleri olarak iki ana başlıkta düşünülebilir.

4.4.4.1. TEM Hızlarından Daha Az Hız (d_1)

Gerçek hızlar, referans gürültü düzeyinin hesaplandığı ortalama hızlardan daha düşük ise arazi tipine ve ağır taşıt oranına göre referans gürültü düzeyinden azaltıma gidilmelidir. Farklı trafik hızları için düzeltme faktörleri Çizelge 4.9.'da verilmektedir.

Hız Farkı = TEM Hızı – Gerçek Hız

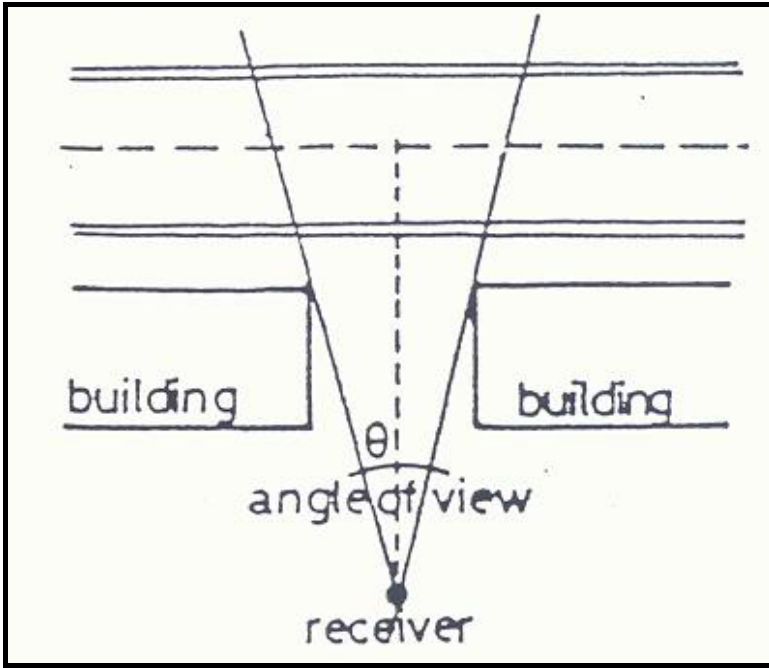
Çizelge 4.9. Farklı Trafik hızları için düzeltme faktörleri (dBA)

Düz Arazi (120 km/saat)						Dalgalı Arazi (100 km/saat)						Dağlık Arazi (80 km/saat)					
Hız Farkı	Ağır Taşıt Oranı %					Hız Farkı	Ağır Taşıt Oranı %					Hız Farkı	Ağır Taşıt Oranı %				
	10	20	30	40	50		10	20	30	40	50		10	20	30	40	50
< 10						< 10	-1					<10	-1	-1	-1		
20						20	-2	-1				18	-2	-2	-2	-1	
30	-1					30	-3	-2	-1			25	-3	-3	-3	-2	
40	-2	-1				38	-4	-3	-2	-1		30	-4	-4	-4	-3	-2
50	-3	-2	-1			45	-5	-4	-3	-2	-1						
58	-4	-3	-2	-1		50	-6	-5	-4	-3	-2						
65	-5	-4	-3	-2	-1												
90	-6	-5	-4	-3	-2												

Çalışma alanında yolun ortalama eğimi %1'dir. Hız değerleri TEM Hızlarıyla uyuşmakta olup hafif taşıtlar için 120 km/saat ve ağır taşıtlar için 90 km/saat'tir. Bu sebeple herhangi bir düzeltmeye ihtiyaç duyulmamıştır.

4.4.4.2. Alıcının Yolun bir kısmını görmesi (d_2)

Alıcının bulunduğu noktanın yolun bir kısmını görmesi dolayısıyla yolun etkisi kısmen engellenmektedir. Bu durumda alıcının yolu görme açısına göre referans gürültü düzeyi $[- 10 \log (180/\text{görüş açısı})]$ dBA kadar düzeltilmelidir. Alıcının yolu görme açısının şematik gösterimi Şekil 4.9.'da, yolu görme açısına göre düzeltme faktörü Çizelge 4.10.'da verilmektedir.



Şekil 4.9. Alıcının yolu görme açısının şematik gösterimi

Çizelge 4.10. Yolu görme açısına göre düzeltme faktörü (dBA)

Görüş Açısı	(d_2), dBA
143	-1
114	-2
90	-3
72	-4
57	-5
45	-6
36	-7
29	-8
23	-9
18	-10

4.4.4.3. Sesin Yol Yüzeyi Tarafından Emilmesi (d_3)

Yol yüzeyinin özellikle gürültü kontrolü amacıyla dizayn edildiği yerlerde referans gürültü düzeylerinden yolun üstyapısına göre belli azaltımlar yapılır. Çizelge 4.11.'de farklı emilim özelliklerine sahip üstyapı çeşitlerine ait azaltım değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.11. Yol yüzey emilimi için düzeltme faktörleri (dBA)

Yüzey Kaplama Tipi	(d_3), dBA
Rulo Üstyapı	-2
Dokulu Üstyapı	-4
Kauçuk Üstyapı	-6

Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolunun yüzey kaplama tipi klasik asfalt olup herhangi bir gürültü azaltıcı özel kaplama bulunmamaktadır.

4.4.4.4. Sesin Hava Tarafından Emilmesi (d_4)

Havanın moleküler absorpsiyonu sıcaklık ve bağıl nem gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Gürültünün özellikle uzun mesafeli yayılımı için referans gürültü düzeyinin azaltımında etkili olan sesin frekans bandının ve yoldan uzaklığın tespit edilmiş olması gerekir. Kural olarak her 100 metre mesafe için 0,15 dBA azaltım yapılır. Hava absorpsiyonu için düzeltme faktörü Çizelge 4.12.'de verilmektedir.

Çizelge 4.12. Hava absorpsiyonu için düzeltme faktörü (dBA)

Yola Uzaklık (m.)	(d_4), dBA
100	-0,15
200	-0,3
300	-0,45

Not: 15 °C ve % 70 bağıl nem

4.4.4.5. Referans Noktasından Uzaklaşma (d_5)

Referans gürültü düzeyinin hesaplandığı noktadan uzaklaşmaya bağlı olarak ses dalgasındaki sapmadan kaynaklı ses seviyelerinde zayıflama olacaktır. Ses seviyelerinin zayıflaması, yansıtıcı zemin üzerindeki mesafenin iki misli için 3 dBA'dır. Bu yansıtıcı zemin, başlangıçta alıcı ve yol arasındaki zemin tipi olarak kabul edilir. Dolayısıyla hesaplanmış olan TEM referans gürültü seviyeleri [$-10 \log (d/15)$] dBA kadar düzeltilmelidir. (d: alıcıdan referans noktasına uzaklık)

4.4.4.6. Yer Yüzeyinin Absorbsiyonu (d_6)

Yol ile referans noktası arasındaki zemin örtüsü akustik olarak doğal absorbe edici ise yukarıda belirtilen uzaklık düzeltmesi ek zemin etkisine uygun olacak şekilde [$-15 \log (d/15)$] olarak alınmalıdır.

Bununla birlikte otlak arazi üzerindeki aşırı zayıflama, kritik bir şekilde yayılma yoluna (kaynak, alıcı yükseklikleri ve uzaklık) bağlı olduğu için Çizelge 4.13.'de verilen düzeltme faktörleri öngörülen TEM gürültü seviyelerini azaltmak için kullanılabilir. 1.5 metrelik alıcı yüksekliklerinde; otlak, anız ve kumlu arazi üzerindeki aşırı zayıflama mesafenin iki katı için 3 dBA olarak alınırken, kar ve ormanlık arazide bu değer 1.5 dBA'dır.

Çizelge 4.13. Absorbe Edici Zemin Örtüsü için Düzeltme Faktörü (dBA)

Kaynağa uzaklığa bağlı alıcı yüksekliği (m)	(d_6), dBA
0,12 d	-1
0,08 d	-2
0,05 d	-3
0,04 d	-4
0,02 d	-5
0,01 d	-6

4.4.4.7. Belli Genişlikteki Ağaçlık ve Ormanlardan Kaynaklanan Azalım (d₇)

Yaprağını dökmeyen ağaçlardan oluşan 6-7 metre yükseklikte ve 30 metreden daha fazla genişlikte ağaç kuşağı, ağaç yoğunluğuna göre referans gürültü düzeyinde belli azaltımlar sağlamaktadır. Orman ve ağaçlık alanlar için düzeltme faktörü Çizelge 4.14.'de verilmektedir.

Çizelge 4.14. Orman ve ağaçlık alanlar için düzeltme faktörü (dBA)

Karakter	Metre başına (d₇) , dBA
Yüksek Yoğunluk	-0,16 (maksimum 0,3)
Orta Yoğunluk	-0,1
Düşük Yoğunluk	-0,06

Çalışma alanındaki bitki örtüsü incelenmiş olup bu faktöre uygun herhangi bir alan bulunmamaktadır.

4.4.4.8. Her türlü bariyer nedeniyle sesteki azalma (d₈)

Topografyaya bağlı doğal engeller veya alıcı ile kaynak arasına inşaa edilmiş yapılar referans gürültü düzeyinde fazladan azaltımlar sağlamaktadır. Bu azaltım bariyer türüne bağlı olarak 3-30 dBA arasında olabilir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gürültü haritasının hazırlanmasına referans gürültü düzeyinin hesaplanmasıyla başlanmış ve diğer etkiler bu değere eklenerek yada çıkartılarak işleme devam edilmiştir. Bu adımlar aşağıdaki sırayla uygulanmıştır.

- İstinat duvarından kaynaklanan yansıma hesaplanmış ve istinat duvarı boyunca yolun karşısındaki referans noktalarına eklenmiştir.
- Referans noktasından uzaklaşma nedeniyle gerçekleşen azalmalar; bariyer etkisi altındaki noktalarda gerçek uzaklık değerleri üzerinden, diğer noktalarda ise topografya düz kabul edilerek hesaplanmıştır.
- Zemin etkisi (Yer Yüzeyinin Absorbsiyonu) bariyer etkisi altındaki noktalar dışında hesaplanmıştır.
- Sesin hava tarafından Emilimi hesaplanmıştır.
- Alıcının yolun bir kısmını gördüğü durum (bina boşluklarından meydana gelen azalım) için öncelikle binaların izdüşümleri referans çizgine taşınmış ve görüş açısı Arktanjant fonksiyonu kullanılarak uzunluklar üzerinden hesaplanmıştır. Daha sonra görüş açısına denk gelen azaltım değerleri hesaplanmıştır.
- Bariyer etkisi altındaki alanlar (istinat duvarının arkası, binaların arkası, yükselti değerlerinin ani olarak düştüğü yerler) sınıflandırılmış ve bariyer etkisi için kullanılan ayarlama faktörü bu alanlar için hesaplanmıştır.

Hesaplama sırasını gösteren akış diyagramı Şekil 5.1.'de verilmektedir.



Şekil 5.1. Hesaplama sırasını gösteren akış diyagramı

5.1. TEM Metodu ile Gürültü Haritasının Sayısal Olarak Hazırlanması

5.1.1. Referans Gürültü Düzeyinin Hesaplanması

Çizelge 5.1.'de Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolu taşıt sayımları incelendiğinde ağır taşıt oranının % 65 olduğu görülmektedir. Çalışma alanında yolun ortalama eğimi %1'dir.

Çizelge 5.1. TAG Adana Geçişi Araç Sayımları

Araç Türü	Gece(Adet/saat)	Oran (%)
Hafif	178	35
Ağır	331	65
Toplam	509	100

Formül 4.1 ise ağır taşıt oranının % 5-40 aralığı için güvenli sınırlarda kalmaktadır. Bu yüzden formüle TS 10713 (Ortalama Trafik Hızı ve Ağır Araç Oranına Göre Düzeltme Abağı) referans alınarak düzeltme yapılmıştır. (TSE, 1993) Söz konusu abak **Ek 2**'de verilmektedir.

$$\begin{aligned}L_{\text{referans}} &= 8.57 \cdot \log 509 + 3.7 \cdot \log 40 - 0.48 \cdot 1 + 45.28 - 0,3 \\ &= 23.2 + 5,9 - 0.48 + 45.28 - 0,3 \\ &= 73,6 \text{ dBA}\end{aligned}$$

5.1.2. Gürültü Düzeyin Artıran Faktörlerin Hesaplanması (i_{toplam})

5.1.2.1. İstinat Duvarından Kaynaklanan Yansıma (i_y)

Yolun tünel çıkışına göre sağ tarafında bulunan 520 metre uzunluğundaki istinat duvarı yoldan kaynaklanan gürültüyü geriye yansıtmaktadır. Yansıma sonucunda istinat duvarının yola bakan tarafındaki gürültü düzeyleri artmaktadır. İstinat duvarına çarpan sesin hepsinin yansıdığı kabul edilirse bu alanda 3 dBA'lık bir artış söz konusu olacaktır. Bu artışın tünel çıkışının sol tarafındaki alıcılara etkisini bulmak için Formül 2.13 kullanılmıştır.

$$L_P = 10 \log \left(\frac{1}{2} \left(10^{(73,6/10)} + 10^{(76,6/10)} \right) \right) \\ = 75,2 \text{ dBA}$$

Tünel çıkışının sol tarafında, istinat duvarının karşısındaki noktalar için referans gürültü düzeyi 75,2 dBA olarak alınmıştır.

5.1.3. Gürültü Düzeyin Azaltan Faktörlerin Hesaplanması (d_{toplam})

5.1.3.1. Alıcının Yolun bir kısmını görmesi (d_2)

Bu faktör binalar arasındaki boşluğun neden olduğu ses düzeyindeki değişimlerin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Alıcı bulunduğu nokta itibarıyla yolun bir kısmını görebiliyorsa düzeltme faktörünü hesaplayabilmek için alıcının yolu görme açısını bulmak gerekmektedir. Yolu görme açısını bulmak için engeller arasındaki alanda önce alıcıdan yol parçasına doğru X eksenine dik bir doğru çizilmiş daha sonra engellerin yola en yakın noktalarından doğruya dik iki doğru daha çizilerek doğruların uzunlukları üzerinden hesaplama yapılmıştır (Şekil 5.2). Bu hesaplama için **Arktanjan Fonksiyonu** kullanılmıştır.

Engeller referans noktasına teğet ise yolu görme açısı ve azalım miktarı Formül 5.1 ile hesaplanmıştır.

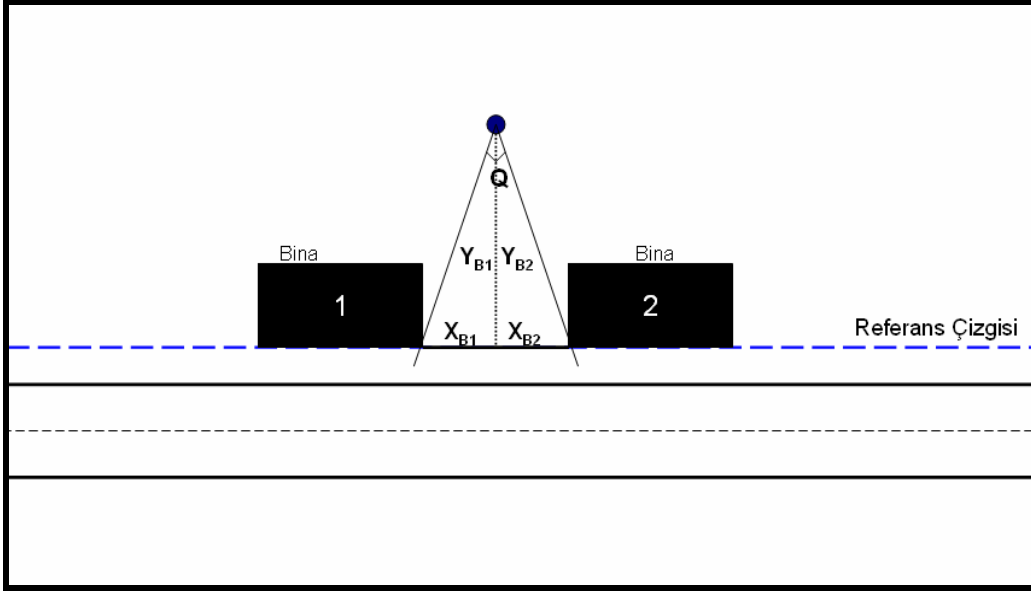
$$10 \cdot \log \left[\frac{180}{57,3 \cdot (\text{ATAN}(X_{B1}/Y_{B1}) + \text{ATAN}(X_{B2}/Y_{B2}))} \right] \quad (5.1)$$

X_{B1} : X ekseninde 1. nolu binaya mesafe (m.)

X_{B2} : X ekseninde 2. nolu binaya mesafe (m.)

Y_{B1} : Y ekseninde 1. nolu binanın yola en yakın noktasına mesafe (m.)

Y_{B2} : Y ekseninde 2. nolu binanın yola en yakın noktasına mesafe (m.)



Şekil 5.2. Referans çizgisine teğet binaların şematik gösterimi

Referans noktasından uzaktaki engeller için görme çizgisi referans çizgisine kadar uzatılmış engeller görme alanının dışına referans noktasına teğet olarak tekrar konumlandırılmış ve yeni konumlandırmaya göre hesap yapılmıştır (Şekil 5.3). Bu durumda ise Formül 5.2 kullanılmıştır.

$$10 \cdot \log \left[\frac{180}{57,3 \cdot (\text{ATAN}((X_{B1}/Y_{B1}) \cdot (Y_{rB1}/Y_{B1})) + \text{ATAN}((X_{B2}/Y_{B2}) \cdot (Y_{rB2}/Y_{B2}))} \right] \quad (5.2)$$

X_{B1} : X ekseninde 1. nolu binaya mesafe (m.)

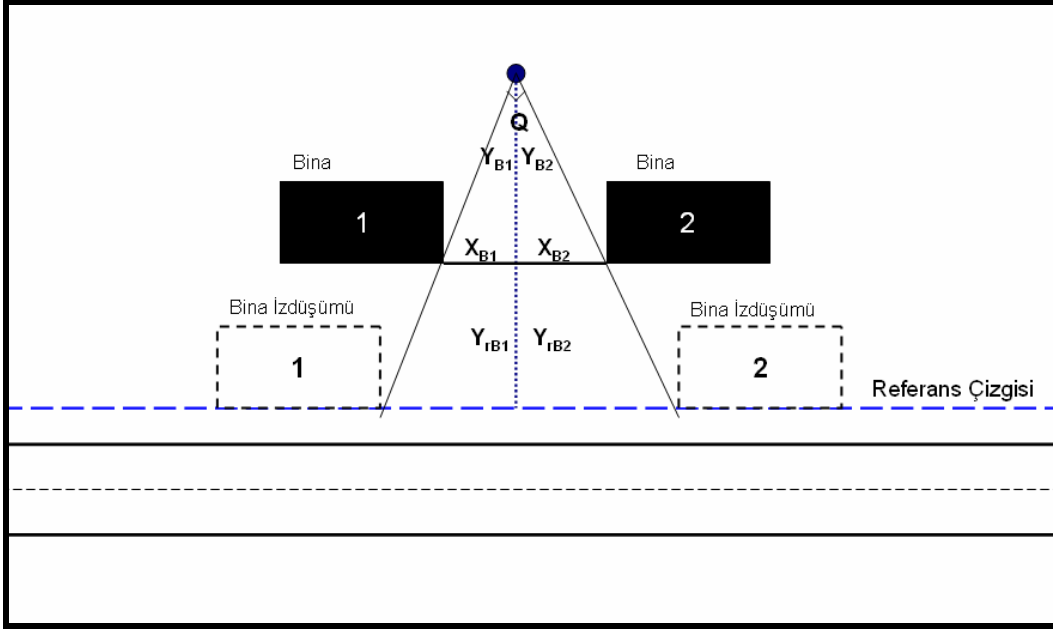
X_{B2} : X ekseninde 2. nolu binaya mesafe (m.)

Y_{B1} : Y ekseninde 1. nolu binanın yola en yakın noktasına mesafe (m.)

Y_{B2} : Y ekseninde 2. nolu binanın yola en yakın noktasına mesafe (m.)

Y_{rB1} : Y ekseninde 1. nolu binanın izdüşümünün yola en yakın noktasına mesafe (m.)

Y_{rB2} : Y ekseninde 2. nolu binanın izdüşümünün yola en yakın noktasına mesafe (m.)



Şekil 5.3. Referans çizgisinden uzaktaki binaların şematik gösterimi



Şekil 5.4. Örnek bina sayıları

Alınıcının yolu görme açısı eğer üçüncü bir engel tarafından kesiliyorsa o nokta için engel tanımları yeniden yapılmıştır.

Bazı durumlarda binalar arasındaki boşluklar hesaplama çizgisi boyunca azalan gürültünün artmasına sebep olabilmektedir.

Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi binalar arası boşluklar bariyer etkisini zayıflatmış olup azalan gürültünün tekrar artmasına neden olmuştur.



Şekil 5.5. Bina arkalarındaki bariyer etkisini zayıflatan boşluklar

Böyle durumlar için bina arkasında hesaplanan gürültü değerlerinde düzeltme yapılması gerekmektedir. Düzeltme değeri karşılaşılan iki gürültü düzeyinin arasındaki farka, binalar arası açıklığa, topografik yapıya ve hesaplama çizgisine göre girişim yönünün açısına bağlıdır. Bina arkasındaki gölge alanların bozulması bölgesel olup gürültü haritasının geneli düşünülerek bu ayrıntıda hesaba gerek duyulmamıştır. İnsan kulağının ses artışını algılama sınırı olan 3 dBA değeri düzeltme değeri olarak seçilmiştir. (Çalışkan, M., 2004)

5.1.3.2. Sesin Hava Tarafından Emilmesi (d_4)

Bu faktör her 100 metre mesafede 0,15 dBA azaltım sağlamaktadır. Çalışma alanında yola en uzak mesafe 218,75 metre olup bu faktörün ulaşacağı en büyük azaltım değeri ($218,75 \cdot 0,0015 =$) 0,33 dBA olacaktır.

5.1.3.3. Referans Noktasından Uzaklaşma (d_5)

Referans noktasından uzaklaşma sebebiyle ses basıncında oluşan zayıflama $10 \cdot \log(d/15)$ formülüyle hesaplanmıştır. Referans noktasından uzaklaşma için hesaplanan değerler Çizelge 5.2.'de verilmektedir.

Çizelge 5.2. Referans noktasından uzaklaşma için hesaplanan değerler

d	do	d/do	log (d/do)	10 log (d/do)	73,6-10log(d/do)
15,00	15	1,00	0,00	0,00	73,60
21,25	15	1,42	0,15	1,51	72,09
27,50	15	1,83	0,26	2,63	70,97
33,75	15	2,25	0,35	3,52	70,08
40,00	15	2,67	0,43	4,26	69,34
46,25	15	3,08	0,49	4,89	68,71
52,50	15	3,50	0,54	5,44	68,16
58,75	15	3,92	0,59	5,93	67,67
65,00	15	4,33	0,64	6,37	67,23
71,25	15	4,75	0,68	6,77	66,83
77,50	15	5,17	0,71	7,13	66,47
83,75	15	5,58	0,75	7,47	66,13
90,00	15	6,00	0,78	7,78	65,82
96,25	15	6,42	0,81	8,07	65,53
102,50	15	6,83	0,83	8,35	65,25
108,75	15	7,25	0,86	8,60	65,00
115,00	15	7,67	0,88	8,85	64,75
121,25	15	8,08	0,91	9,08	64,52
127,50	15	8,50	0,93	9,29	64,31
133,75	15	8,92	0,95	9,50	64,10
140,00	15	9,33	0,97	9,70	63,90
146,25	15	9,75	0,99	9,89	63,71
152,50	15	10,17	1,01	10,07	63,53
158,75	15	10,58	1,02	10,25	63,35
165,00	15	11,00	1,04	10,41	63,19
171,25	15	11,42	1,06	10,58	63,02
177,50	15	11,83	1,07	10,73	62,87
183,75	15	12,25	1,09	10,88	62,72

Ancak bu değerler çalışma alanının düz olması durumu için geçerlidir. Çalışma alanındaki topografik yapıya bağlı olarak her yükseklik için mesafe değişecektir. Bu değişimlerin önemi yoldan uzaklařtıķa azalmaktadır. Referans çizgisine yakın noktalarda oluşan yükseklik farkları uzaklaşma faktörünü daha çok etkilemektedir. Bu yüzden bariyer etkisine maruz alanlar dışında kalan noktalar için örnek hesaplamalar yapılmış ve topografyanın yükselmesinin etkisi 0,01-0,03 dBA aralığında tespit edilmiştir. Bu değerler önemsiz kabul edilmiş ve bariyer etkisi altındaki alanlar dışında çalışma alanı düz kabul edilmiştir. rnek bir hesaplama aşağıdadır.

Yoldan 27,5 metre mesafede ve 2 metre daha yüksekte bulunan bir nokta için oluşan fark:

$$\text{Yol} = (((27,5*27,5)+(2*2))^{0,5})=27,57 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned}\text{Fark} &= 10*\log(27,57/15)- 10*\log(27,5/15) \\ &= 2,644-2,632 \\ &= 0,012 \text{ dBA}\end{aligned}$$

Yoldan 190 metre mesafede ve 14 metre daha yüksekte bulunan bir nokta için oluşan fark:

$$\text{Yol} = (((190*190)+(14*14))^{0,5})=190,52 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned}\text{Fark} &= 10*\log(190,52/15)- 10*\log(190/15) \\ &= 11,038-11,027 \\ &= 0,009 \text{ dBA}\end{aligned}$$

5.1.3.4. Yer Yüzeyinin Absorbsiyonu (d_6)

Çalışma alanındaki zemin örtüsü akustik olarak doğal absorbe edici özellikte olup yukarıda belirtilen uzaklık düzeltmesi ek zemin etkisine uygun olacak şekilde [$-15 \log(d/15)$] olarak alınmıştır. Bariyer etkisi altındaki alanlarda bu faktör uygulanmamıştır.

5.1.3.5. Her türlü bariyer nedeniyle sesteki azalma (d_8)

Bariyer etkisinin hesaplanabilmesi için sesin hız, dalga boyu ve frekans değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. (Sesin hızı, % 70 bağıl nemde ve 15 °C sıcaklıkta hesaplanmıştır.)

$$\begin{aligned}\text{Sesin yayılma hızı (C)} &= 332 + 0,6 * \text{sıcaklık} & (5.3) \\ &= 332 + 0,6 * 15 \\ &= 341 \text{ m/sn}\end{aligned}$$

Karayolunda seyreden araçlardan kaynaklanan ses arı bir ses olmayıp birçok dalga boyunda ses içermektedir. Bu sebeple dalga boyu, yayılma hızı ve frekans ($\lambda = C / f$) üzerinden hesaplanamamıştır.

Trafikten kaynaklanan sesimizin dalga boyunu bulmak için Gürültü Azaltım Katsayısı (NRC) formülü kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}\text{NRC} &= (\lambda_{250} + \lambda_{500} + \lambda_{1000} + \lambda_{2000})/4 & (5.4) \\ &= ((341/250) + (341/500) + (341/1000) + (341/2000))/4 \\ &= 0,639375 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Merkez frekansı} &= \text{Sesin yayılma hızı (C)} / \text{NRC} & (5.5) \\ &= 341 / 0,639375 \\ &= 533,3 \text{ sn}^{-1} \text{ (Hz)}\end{aligned}$$

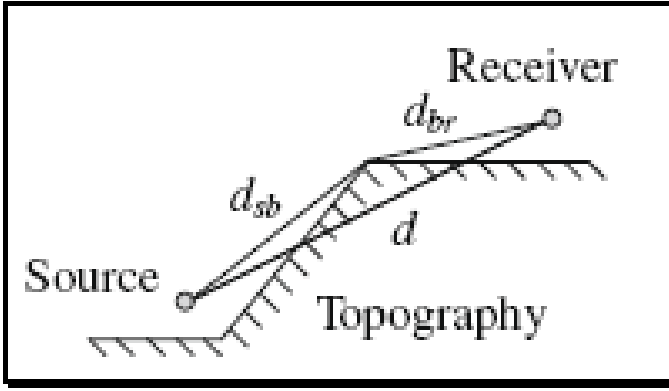
Bariyer etkisi hesaplanırken sesin frekansı 533,3 Hz alınmıştır.

$10 \log (3 + 20 * N)$ formülü ve $N = 2 * \delta / \lambda$ formülü birleştirilip değerler yerine yazılırsa **$10 \log (3 + (62,56 * \delta))$** formülü elde edilir.

Temel değerler hesaplandıktan sonra çalışma alanında topografyaya bağlı doğal engeller ve alıcı ile kaynak arasına inşaa edilmiş yapılar ayrı ayrı incelenmiştir.

İstinat Duvarı:

Çalışma alanındaki yolun bir kısmında (tünel çıkışının sağ tarafında) yaklaşık 520 metre uzunlukta bir istinat duvarı bulunmaktadır. İstinat duvarı; sesin yansıması, kırılması ve kaynak ile alıcı arasındaki yolun uzaması nedeniyle ses üzerinde azaltıcı bir etki yapmaktadır (Şekil 5.6). İstinat duvarı yol ile referans çizgisi arasında kalmakta olup istinat duvarının arkasındaki bütün noktalar için referans çizgisindeki değerlerin azaltılarak düzeltilmesi gerekir. Bu nedenle istinat duvarının arkasındaki bütün noktalara bariyer etkisi uygulanmıştır.



Şekil 5.6. Topografik yapıya bağlı tek kırımlı bariyer etkisi (Mun and Cho, 2009)

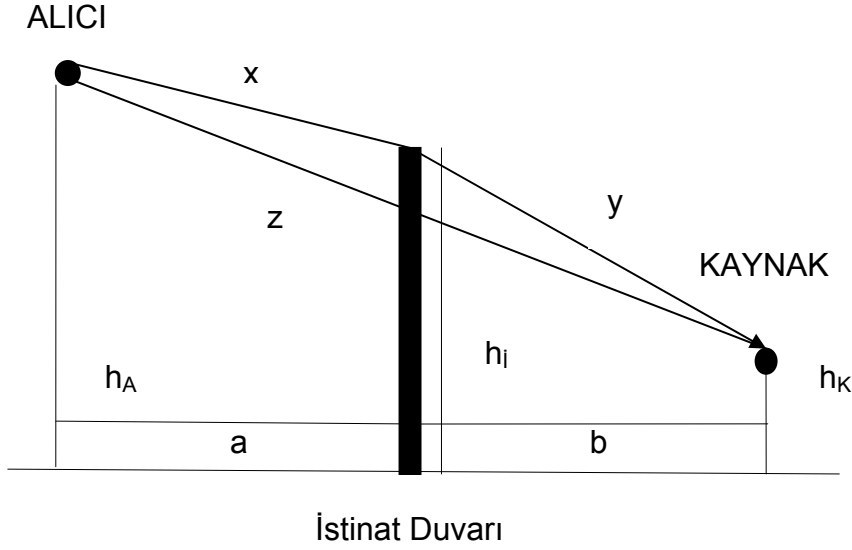
Ancak binalar ile istinat duvarı arasındaki noktalarda ses ışını yere çok yakın gittiğinden zemin sert zemin kabul edilmiş ve 3 dBA yansıma alınarak bu noktalar için bariyer etkisi zayıflatılmıştır (Bahçeşehir Üniversitesi, 2006).

Binaların arkasındaki noktalar için bariyer etkisinde düzeltme yapılmamıştır.

İstinat duvarının ses yayılımı üzerindeki etkisi $10 \log (3+(62,56*\delta))$ formülü ile hesaplanmıştır. Burada her alıcı için (δ) değerinin hesaplanması gerekmektedir.

Ses dalgasının yörüngesinin uzunluğunda oluşan farklar (δ) ve azalım değerleri İstinat duvarının arkasındaki noktalar için MS Excel yardımıyla hesaplanmıştır.

Örnek bir hesap aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.7. δ değerinin hesaplanması için gerekli uzunluklar

$a = 2,5$ m, $b = 12,5$ m, $h_i = 8,8$ m, $h_A = 10,5$ m, $h_K = 1,5$ m değerleri için:

$$x = [(2,5)^2 + (10,5 - 8,8)^2]^{0,5} = 3,02 \text{ m}$$

$$y = [(12,5)^2 + (8,8 - 1,5)^2]^{0,5} = 14,48 \text{ m}$$

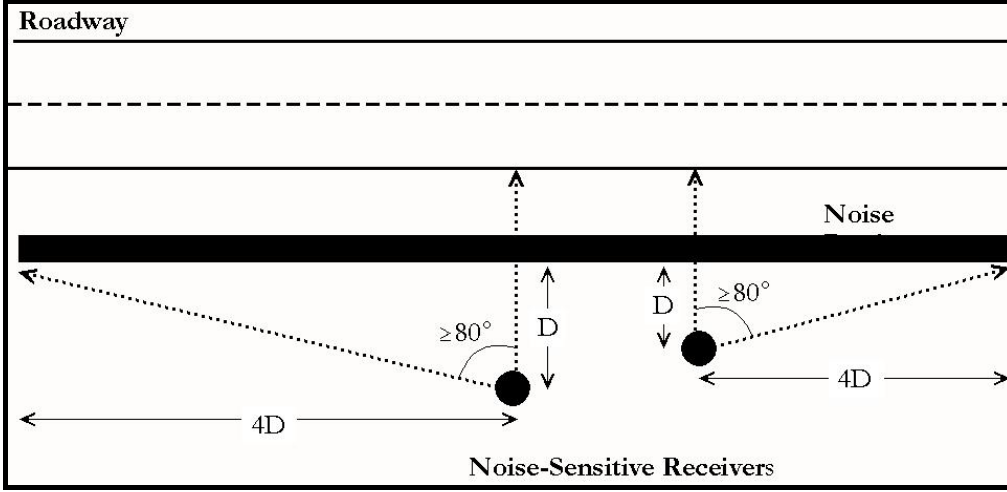
$$z = [(2,5 + 12,5)^2 + (10,5 - 1,5)^2]^{0,5} = 17,49 \text{ m}$$

$$\delta = x + y - z = 3,02 + 14,48 - 17,49 = 0,018 \text{ m}$$

$$d_{8i} = 10 \log (3 + (62,56 \cdot 0,018))$$

$$= 5,27 \text{ dBA}$$

İstinat duvarının gürültüyü azaltma etkisi, alıcının istinat duvarını görme açısının azalmasıyla azalacaktır. Bu açı istinat duvarın arkasına doğru ve tünelden duvarın sonuna doğru gidildikçe azalır. Engellemenin tam kalabilmesi için alıcının, istinat duvarının ucuna X eksenindeki mesafesinin Y eksenindeki mesafesinin 4 katı olması gerekir (sola ve sağa en az 80'er derece açı olmalıdır). Şekil 5.8.'de alıcının engeli görme açısı gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Alıcının Engeli Görme Açısı (www.fhwa.dot.gov)

Alıcının engeli görme açısının 80'den az olduğu yerlerde istinat duvarının etkisinin azaltılması gerekmektedir ancak istinat duvarının bittiği yerde bariyer etkisi yaratan binalar bulunduğu için bu azaltıma gerek duyulmamıştır.

Binalar:

Binalar gürültüyü azaltmadaki etkinliklerine göre tek bina ve sıra binalar (sıra evler) olarak iki gruba ayrılmıştır. Binaların genişlikleri, kapladığı alanlar, bina arası boşlukların alanları ve bina yükseklikleri incelenmiştir.

Özellikle binaların yükseklikleri ile binaların yola dik genişlikleri karşılaştırılmıştır.

B_H : Bina yüksekliği (m.)

B_G : Binanın yola dik genişliği (m.)

K_h : Kaynağın yerden yüksekliği (metre)

A_h : Alıcının yerden yüksekliği (metre)

$(2*B_H - K_h - A_h) \geq (0,5*B_G)$ olması durumunda ses binanın etrafından dolaştırılmıştır.

Tek Bina :

Tek binalar, bariyer etkisi oluşturanlar ve oluşturmayanlar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

Bariyer etkisi oluşturmayan tek binalar için ses azalımı $10*\log[1+((2*S_K*G_x)+B_y)/A_{RN}]$ formülüyle MS Excel yardımıyla hesaplanmıştır. Örnek bir hesap aşağıda gösterilmektedir.

S_K : Hesaplama çizgisine dik ekseninde serbestlik katsayısı

G_x : X ekseninde grid uzunluğu (metre)

B_y : Y ekseninde binanın uzunluğu (metre)

A_{RN} : Alıcının referans noktasına uzaklığı (metre)

	0	1	0	

Şekil 5.9. Binanın ve serbestlik katsayısının MS Excel'de gösterimi

$S_K=1$, $B_y= 12,5$ m, $A_{RN} = 62,5$ m

$$\begin{aligned}d_{8TB} &= 10 \cdot \log[1 + (((2 \cdot S_K \cdot G_x) + B_y + G_h) / A_{RN})] \\ &= 10 \cdot \log[1 + (((2 \cdot 1 \cdot 6,25) + 12,5) / 62,5)] \\ &= 1,46 \text{ dBA}\end{aligned}$$

Bariyer etkisi oluşturan tek binalar için ses azalımı **10 log (3+(62,56*δ))** formülü ile hesaplanmıştır.

Ses dalgasının yörüngesinin uzunluğunda oluşan farklar (δ) hesaplanırken bina arkasındaki alıcılar için hem sesin binanın etrafından dolaşmasıyla oluşan kayıplar hem de binanın üstünden geçmesiyle oluşan kayıplar hesaplanmış bu iki değer küçük olanı alınmıştır.

Ses binanın etrafından dolaşırken (δ) değerinin hesaplanması için $[((B_{ÖÇ}^2 + (A_h - K_h)^2)^{0,5}) + B_y + (B_x^2 + B_{AÇ}^2)^{0,5} - ((A_{RN}^2 + (A_h - K_h)^2)^{0,5})]$ formülü kullanılmıştır.

$B_{ÖÇ}$: Y ekseninde binanın ön cephesinin referans noktasına uzaklığı (metre)

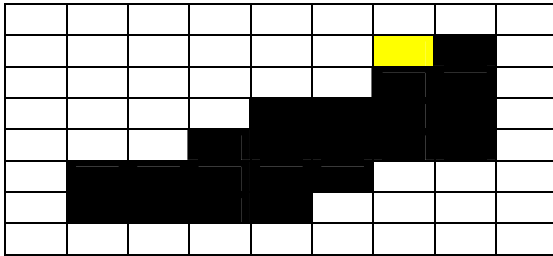
$B_{AÇ}$: Y ekseninde alıcının binanın arka cephesine mesafesi (metre)

B_y : Y ekseninde binanın uzunluğu (metre)

A_{RN} : Alıcının referans noktasına uzaklığı (metre)

A_h : Alıcının yerden yüksekliği (metre)

B_x : X ekseninde bina arkasında hareket edilen mesafe (metre)



Şekil 5.10. Bariyer etkisi yaratan örnek bir binanın MS Excel'de gösterimi

$B_{ÖÇ} = 100$ m, $B_y = 18,75$ m, $B_x = 6,25$ m, $B_{AÇ} = 6,25$ m, $A_{RN} = 125$ m,

$A_h = 1,5$ m, $K_h = 1,5$ m,

$$\begin{aligned}
d_{8TB} &= 10 \log(3+(62,56*[B_{\text{öç}}+ B_y + (B_x^2+B_{Aç}^2)^{0,5} - A_{RN}])) \\
&= 10 \log(3+(62,56*(100 +18,75 + (6,25^2+6,25^2)^{0,5} - 125)))) \\
&= 22,17 \text{ dBA}
\end{aligned}$$

Sıra Binalar (Sıra evler):

Sıra evlerin bina arkalarındaki azalimler $10 \log (3+(62,56*\delta))$ formülüyle hesaplanmıştır.

Ses binanın etrafından dolaşırken (δ) değerinin hesaplanması için $[((B_{\text{öç}}^2+(A_h-K_h)^2)^{0,5})+B_y+(G_x^2+B_{Aç}^2)^{0,5} - ((A_{RN}^2+(A_h-K_h)^2)^{0,5})]$ formülü kullanılmıştır.

$B_{\text{öç}}$: Binanın ön cephesinin referans noktasına mesafesi (metre)

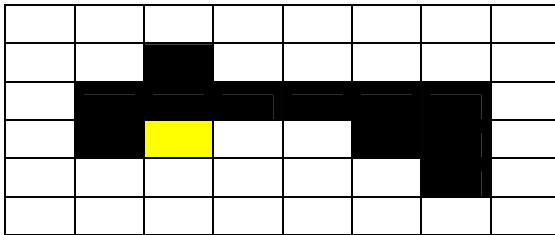
$B_{Aç}$: Alıcının binanın arka cephesine mesafesi (metre)

B_y : Y ekseninde binanın uzunluğu (metre)

A_{RN} : Alıcının referans noktasına uzaklığı (metre)

A_h : Alıcının yerden yüksekliği (metre)

Azalım değerleri binaların arkasındaki noktalar için MS Excel yardımıyla hesaplanmıştır. Örnek bir hesap aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.11. Bariyer etkisi yaratan örnek sıra binanın MS Excel'de gösterimi

$B_{\text{öç}} = 106,25 \text{ m}$, $B_H = 5 \text{ m}$, $K_h = 1,5 \text{ m}$, $B_y = 6,25 \text{ m}$, $B_{Aç} = 6,25 \text{ m}$, $A_h = 1,5 \text{ m}$, $K_h = 1,5 \text{ m}$,
 $A_{RN} = 118,75 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
d_{8SB} &= 10 \log(3+(62,56*[((B_{\text{öç}}^2+(B_H-K_h)^2)^{0,5})+B_y+((B_{Aç}^2+(B_H-A_h)^2)^{0,5})-A_{RN}])) \\
&= 10 \log(3+(62,56*[((106,25^2+(5-1,5)^2)^{0,5})+6,25+((6,25^2+(5-1,5)^2)^{0,5})-118,75])) \\
&= 18,05 \text{ dBA}
\end{aligned}$$

5.2. TEM Metoduyla Hazırlanan Gürültü Haritasının Referans Gürültü Haritasıyla Kıyaslanması

TEM Trafik Gürültüsü Hesaplama Metodu ve Microsoft Excel programı kullanılarak çalışma alanına ait gürültü haritasının verileri hesaplanmıştır.

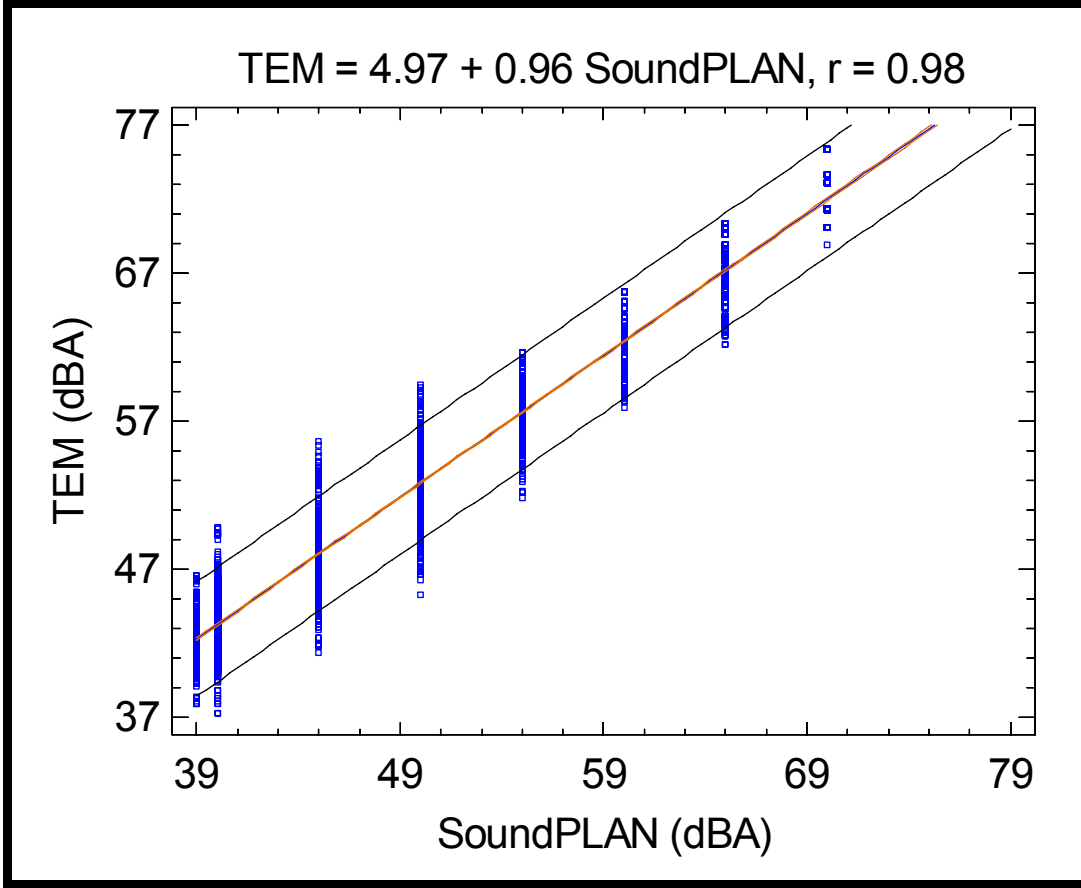
400×700 m²'lik çalışma alanında referans gürültü haritası üzerinde 7345 noktanın gürültü değerleri okunmuş ancak TEM Trafik Gürültüsü Hesaplama Metodu ile 5210 noktanın gürültü değeri hesaplanmıştır. Çalışma alanının bir kısmında yoğun yapılaşma olduğundan 1085 nokta binalara denk gelmiştir. Yol platformuna ise 638 nokta denk gelmiştir.

Ayrıca referans çizgisiyle yol platformu arasındaki 452 nokta içinde hesaplama yapılmamıştır. Bunun sebebi referans gürültü düzeyinin yoldan 15 metre uzaklıkta hesaplanmasıdır. Referans gürültü çizgisiyle yol arasındaki noktaların hesaplanabilmesi için yoldan 1 metre uzaklıkta bir referans gürültü düzeyinin hesaplanması gereklidir. Bu TEM formülasyonu açısından mümkün görülmemiştir.

Referans gürültü değerleri ile TEM metoduna göre hesaplanmış olan gürültü değerleri karşılaştırılarak elde edilen sonuçların kıyaslanması yapılmıştır.

Şekil 5.12.'de görüldüğü gibi TEM metoduna göre hesaplanan değerler SoundPLAN programıyla hesaplanan değerlerle büyük bir uyum içindedir.

($r^2= 0,96$, $p= 0,0000$)

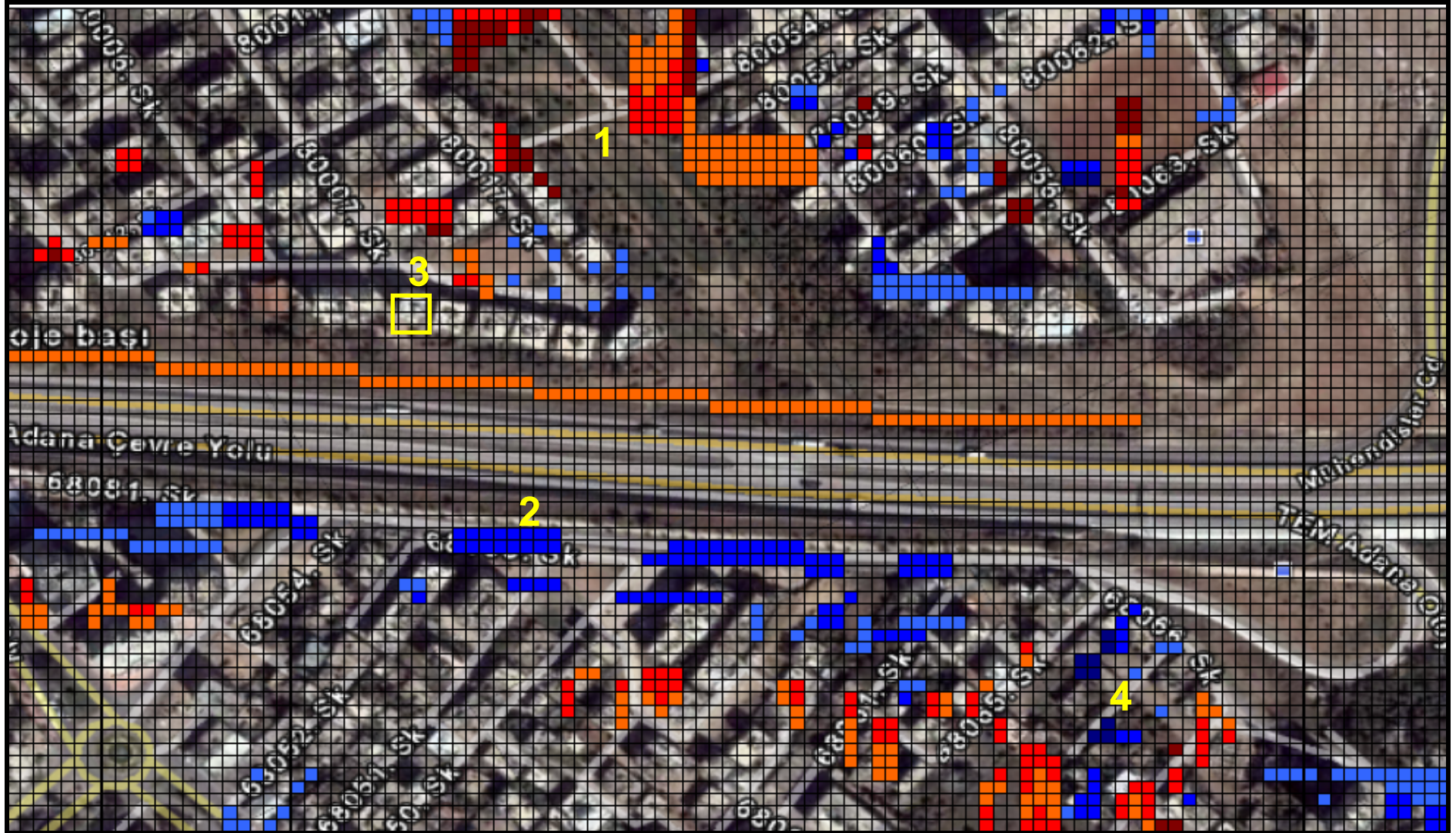


Şekil 5.12. TAG Otoyolu analiz sonuçları

Hesaplanan gürültü değerlerinden referans gürültü haritasındaki değerler çıkartılmış olup oluşan farklar Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. TAG Otoyolu için hesaplanan fark değerlerinin dağılımı

Aralık	Adet	Oran	Renk
$x < -3$	13	%0,3	Koyu Mavi
$-3 \leq x < -1$	161	% 3,1	Mavi
$-1 \leq x < 0$	201	% 3,9	Açık Mavi
$0 \leq x < 5$	4157	% 79,8	
$5 \leq x < 6$	439	% 8,4	Turuncu
$6 \leq x < 8$	190	% 3,6	Kırmızı
$x \geq 8$	49	% 0,9	Koyu Kırmızı
	5210	% 100	



Şekil 5.13.TAG Otoyolu fark haritası

Şekil 5.13 incelendiğinde :

1 rakamıyla numaralandırılan bölgede 5 dBA'dan daha büyük fark değerlerin yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölge iki bina grubu tarafından sınırlandırılmıştır. Binalar gürültünün bu alandan geçişine direnç göstererek gürültüyü azaltıcı bir etkide bulunmuştur. Yine aynı bölgede sıkışan gürültü en yakın boşluklardan sızarak bina arkalarında (bina arkasındaki gölge alanların bozulması) ve binaların oluşturduğu koridorunun girişinde gürültünün artmasına neden olarak sıfırdan küçük fark değerlerin çıkmasına neden olmuştur.

2 rakamıyla numaralandırılan bölgede istinat duvarıyla binalar arasındaki noktalarda yansıma nedeniyle bariyer etkisinin 3 dBA'dan daha fazla zayıfladığı sonucuna varılmıştır.

3 rakamıyla numaralandırılan bölgede çerçeve içine alınan ev referans gürültü haritası hazırlanırken mevcut olmayıp yerinde bina için açılmış bir çukur bulunmaktaydı. Bina için açılmış çukur binanın kendisi kadar gürültü azaltmasa da arkasındaki noktalar için bariyer etkisine neden olabilmektedir. Bu bölge için bariyer etkisi hesaba katılmadığından 5 dBA'dan daha büyük fark değerleri hesaplanmıştır.

4 rakamıyla numaralandırılan bölgede bariyer etkisi zayıflamakta olup yapılan 3 dBA'lık düzeltme yeterli olmamıştır.

5.3. TEM Metodu ve Microsoft Excel Programı Kullanılarak Hesap Cetvelinin Oluşturulması ve Başka Bir Alanda Kullanılması

Çalışma alanından edinilen deneyim ile bir hesaplama cetveli oluşturulmuştur. Bu cetvel yardımıyla düşeyde 200 metre, yatayda 100 metrelik bir yolun gürültü haritası hazırlanmıştır. Seçilen alan Büyükçekmece-Çatalca (D-569) Yolu Km:9+300-9+400 arasında yolun sağ tarafıdır (41.090094 enlem, 28.513856 boylam). Yolun eksenini başlangıç noktası alınarak alan 6,25 m * 6,25 m boyutlarında gridlere ayrılmıştır. Büyükçekmece-Çatalca Yolu üzerindeki çalışma alanı ve çevresi Şekil 5.14.'de gösterilmektedir.



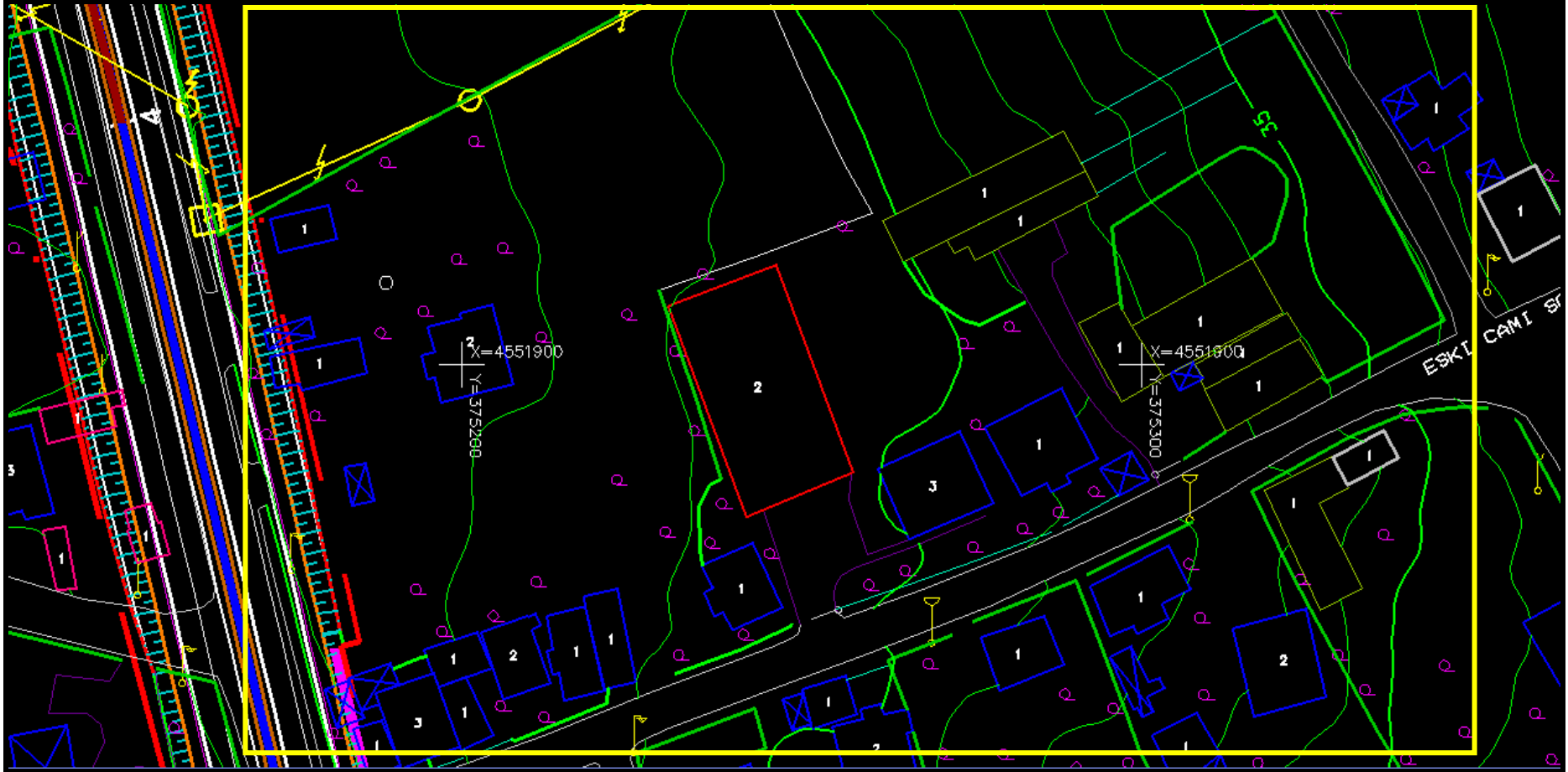
Şekil 5.14. Büyükçekmece-Çatalca Yolu üzerindeki çalışma sahasının gösterimi

Çizelge 5.4. Büyükçekmece-Çatalca (D-569) Yolu Araç Sayımları

Araç Türü	YOGT (Adet/saat)	Oran (%)
Hafif	11200	77
Ağır	3345	23
Toplam	14545	100

Büyükçekmece-Çatalca (D-569) Yolu taşıt sayımları incelendiğinde ağır taşıt oranının % 23 olduğu Çizelge 5.4.'de görülmektedir. Çalışma alanında yolun ortalama eğimi %1'dir.

$$\begin{aligned}L_{\text{referans}} &= 8.57 \cdot \log 14545 + 3.7 \cdot \log 23 - 0.48 \cdot 1 + 45.28 \\ &= 35,67 + 5,04 - 0.48 + 45.28 \\ &= 85,5 \text{ dBA}\end{aligned}$$



Şekil 5.15. Çalışma sahasının Büyükçekmece-Çatalca (D-569) Yolu projesinde gösterimi

Grid No	Yatay	Düsey	Lp,d	Q	P	G	RNG dBA	i1	i2	i3	i4	d1	Binaara d2	d3	Hava d4	RNU d5	Zemin Kat.	Zemin d61	Bitki Kat.	Ağaç-Çalı d7	Engelleme d81	Böc	By	Bac	Sk	Kh	Ah	Bh	ARN	Bina d82	Banket (Y)	Kontrol Listesi	Fark TEM-SP
1	0	200,00	68,71	14545	23	1	85,5							0,263	11,03	5	5,51													10	65	3,71	
2	0	193,75	68,94	14545	23	1	85,5							0,253	10,88	5	5,44													10	65	3,94	
3	0	187,50	69,17	14545	23	1	85,5							0,244	10,73	5	5,37												10	65	4,17		
4	0	181,25	69,42	14545	23	1	85,5							0,234	10,58	5	5,29												10	65	4,42		
5	0	175,00	69,67	14545	23	1	85,5							0,225	10,41	5	5,21												10	65	4,67		
6	0	168,75	69,93	14545	23	1	85,5							0,216	10,25	5	5,12												10	65	4,93		
7	0	162,50	70,20	14545	23	1	85,5							0,206	10,07	5	5,04												10	70	0,20		
8	0	156,25	70,48	14545	23	1	85,5							0,197	9,89	5	4,95												10	70	0,48		
9	0	150,00	70,77	14545	23	1	85,5							0,188	9,70	5	4,85												10	70	0,77		
10	0	143,75	71,08	14545	23	1	85,5							0,178	9,50	5	4,75												10	70	1,08		
11	0	137,50	71,40	14545	23	1	85,5							0,169	9,29	5	4,65												10	70	1,40		
12	0	131,25	71,74	14545	23	1	85,5							0,159	9,08	5	4,54												10	70	1,74		
13	0	125,00	72,09	14545	23	1	85,5							0,15	8,85	5	4,42												10	70	2,09		
14	0	118,75	72,47	14545	23	1	85,5							0,141	8,60	5	4,30												10	70	2,47		
15	0	112,50	72,86	14545	23	1	85,5							0,131	8,35	5	4,17												10	70	2,86		
16	0	106,25	73,28	14545	23	1	85,5							0,122	8,07	5	4,04												10	70	3,28		
17	0	100,00	73,73	14545	23	1	85,5							0,113	7,78	5	3,89												10	70	3,73		
18	0	93,75	74,21	14545	23	1	85,5							0,103	7,47	5	3,73												10	75	-0,79		
19	0	87,50	74,72	14545	23	1	85,5							0,094	7,13	5	3,57												10	75	-0,28		
20	0	81,25	75,28	14545	23	1	85,5							0,084	6,77	5	3,38												10	75	0,28		
21	0	75,00	75,89	14545	23	1	85,5							0,075	6,37	5	3,18												10	75	0,89		
22	0	68,75	76,55	14545	23	1	85,5							0,066	5,93	5	2,96												10	75	1,55		
23	0	62,50	77,30	14545	23	1	85,5							0,056	5,44	5	2,72												10	75	2,30		
24	0	56,25	78,13	14545	23	1	85,5							0,047	4,89	5	2,45												10	80	-1,87		
25	0	50,00	79,09	14545	23	1	85,5							0,038	4,26	5	2,13												10	80	-0,91		
26	0	43,75	80,20	14545	23	1	85,5							0,028	3,52	5	1,76												10	80	0,20		
27	0	37,50	81,55	14545	23	1	85,5							0,019	2,63	5	1,32												10	80	1,55		
28	0	31,25	83,23	14545	23	1	85,5							0,009	1,51	5	0,76												10	80	3,23		
29	0	25,00	85,51	14545	23	1	85,5							0	0,00	5	0,00												10	85	0,51		
30	0	18,75	0,00																												85		
31	0	12,50	0,00																												90		
32	0	6,25	0,00																														
33	0	0,00	0,00																														

Şekil 5.16. Büyükçekmece-Çatalca (D-569) Yolu üzerindeki çalışma sahası için hesaplama cetvelinin bir bölümünün görünümü

TEM Trafik Gürültüsü Hesaplama Metodu ve Microsoft Excel programı kullanılarak çalışma alanına ait gürültü haritasının çizilmesi için gerekli veriler hesaplanmıştır.

100×200 m²lik çalışma alanında referans gürültü haritası üzerinde 561 noktanın gürültü değerleri okunmuş ancak TEM Trafik Gürültüsü Hesaplama Metodu ile 433 noktanın gürültü değeri hesaplanmıştır. Hesaplanmayan noktaların 69 nokta binalara denk gelmiştir. Yol platformuna ise 34 nokta denk gelmiştir. Ayrıca referans çizgisiyle yol platformu arasındaki 25 nokta içinde hesaplama yapılmamıştır.

Hesaplanan gürültü değerlerinden aynı saha için SoundPLAN'da hazırlanan gürültü haritasının değerleri çıkartılmış olup oluşan farklar Çizelge 5.5'de verilmiştir.

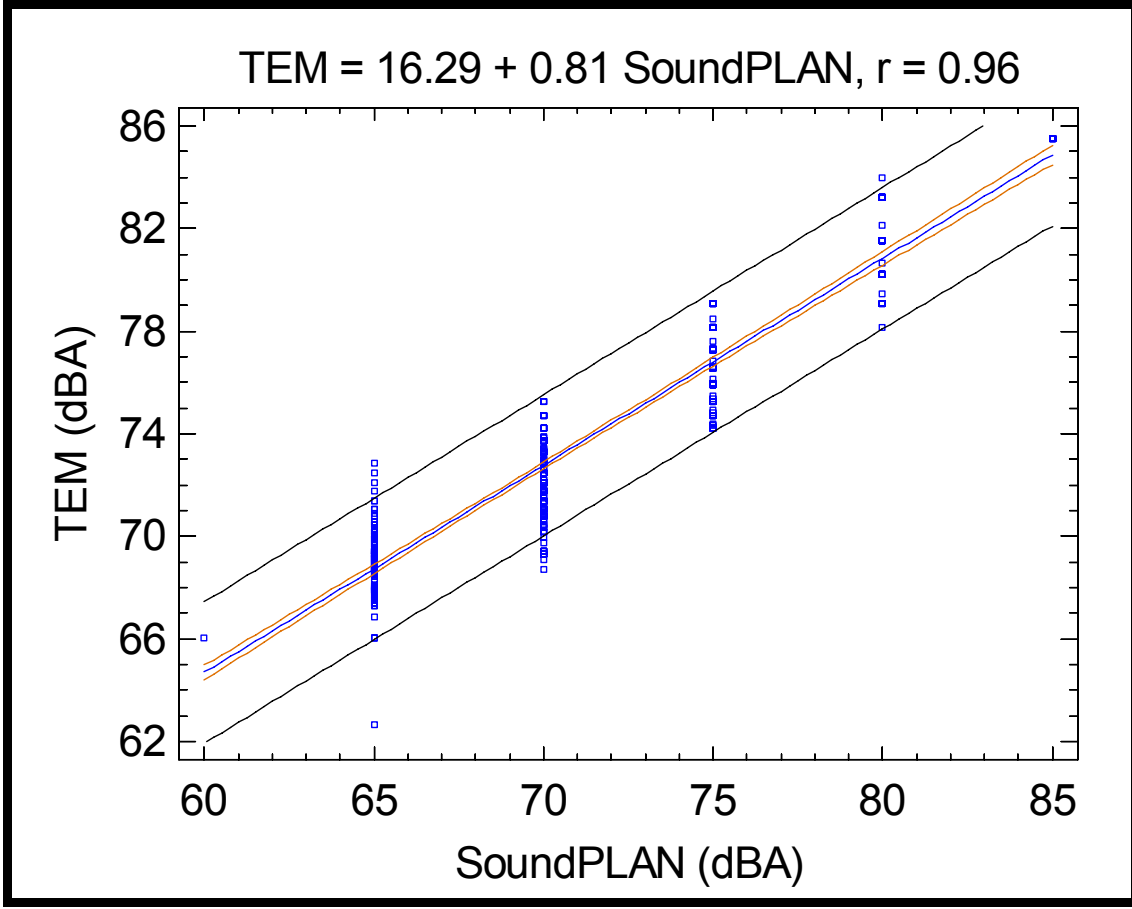
Çizelge 5.5. Büyükçekmece-Çatalca Yolu için hesaplanan fark değerlerinin dağılımı

Aralık	Adet	Oran
$-3 \leq x < -1$	3	% 0,7
$-1 \leq x < 0$	28	% 6,5
$0 \leq x < 5$	372	% 85,9
$5 \leq x < 6$	20	% 4,6
$6 \leq x < 8$	10	% 2,3
	433	% 100

SoundPLAN'da hazırlanan gürültü haritasının değerleri ile TEM metoduna göre hesaplanmış olan gürültü değerleri karşılaştırılarak elde edilen sonuçların kıyaslaması yapılmıştır.

Şekil 5.17'de görüldüğü gibi TEM metoduna göre hesaplanan değerler SoundPLAN programıyla hesaplanan değerlerle büyük bir uyum içindedir.

($r^2 = 0,91$, $p = 0,0000$)



Şekil 5.17. Büyükçekmece-Çatalca (D-569) Yolu analiz sonuçları

6. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar

TEM metoduna göre hesaplanan değerler SoundPLAN programıyla hesaplanan değerlerle uyum içinde olup gürültü hesaplama yönteminin işe yaradığını göstermektedir.

Ancak birinci çalışma alanındaki hesaplamalar çok vakit almış yoğun emek gerektirmiştir. Bunun nedeni alanda yoğun yapılaşmanın olması ve topografik yapının içerdiği zorluklardır. Bu tip alanlarda; binaların boyutlarını, binalar arasındaki boşlukları, topografyadaki engelleri ve buna benzer gürültünün yayılımını ciddi oranda etkileyen faktörleri doğru tespit etmek için daha küçük grid uzunluklarının kullanılması gerekmektedir. Bu durum grid sayısını artıracığından hesaplanması gereken nokta sayısı da artacaktır.

Emeğin ve zamanın ekonomik kullanımı için hesap yapılacak noktaların sayısını kabul edilebilir bir değerde tutmak gerekmektedir. Makul sayıda grid noktası demek ise çalışma alanı büyüdükçe grid boyunun da büyümesi demektir. Oysa çalışma alanında binaların yoğunluğu yada topografyanın zorluğu artıkça grid boyunun küçülmesi gerekmektedir. Bu durum çalışma alanının da küçültülmesi anlamına gelir ki bu yöntemin geniş alanlarda kullanımını sınırlandıran önemli bir etkendir.

İkinci çalışma alanında ki hesaplamalar topografik yapının daha kolay olması ve yapılaşmanın daha düşük olması nedeniyle daha kolay yapılmıştır. İkinci çalışma alanı birincine göre oldukça küçük olup bu alanda yoğun yapılaşma yada topografik zorluklar bulunsa bile grid sayısını kabul edilebilir bir değerde tutarak grid boyu yeterince küçültülebilir.

Bu durumda küçük yerleşimlerden geçen yollar için gürültü haritalarının hazırlanması hedefi geçerliliğini korumaktadır.

Geniş alanların gürültü haritalarının hazırlanmasında yazılımların kullanılması, daha kullanışlı bir yöntem geliştirilmediği sürece, emeğin ve zamanın maliyeti ile yazılım

maliyeti açısından bakıldığında çıkar bir yol olarak görülmektedir. Ancak yazılımların kullanımını ve yaygınlaşmasını zorlaştıran faktörlerin varlığı gözden kaçırılmamalıdır. Özellikle gürültü haritaları hazırlanırken yazılımların ihtiyaç duyduğu bazı bilgiler ya bulunamamakta yada yeterli derecede güvenli olmamaktadır. Bu yüzden bir yazılım ile gürültü haritası hazırlanacaksa yazılımın ihtiyaç duyduğu kalitede verinin üretilmesi gerekecektir. Bu verilerin üretilmesi için emek ve zaman ihtiyacı ortaya çıkar ki bu yazılım lehine olan durumu zayıflatmaktadır.

Bir başka husus ise manuel hesaplamaların kişilerden doğacak hatalara daha açık olmasıdır.

6.2. Öneriler

Gürültü haritası hazırlama çalışmalarının ilk adımı çalışılacak alanın özelliklerini ve ihtiyaçlarımızı saptamak olacaktır. Bundan sonra kesin olarak istediğimiz şeyler (olmazsa olmazlar) tespit edilmelidir. Kabul edilebilir emek ve zaman kullanımı ortaya konulmalıdır.

Küçük alanlarda çalışılacaksa manuel hesaplama yöntemi seçilmelidir.

Geniş ve zorluk derecesi yüksek alanlarda çalışılacaksa ve yeterli kalitede veri sağlanabiliyorsa gürültü haritası için geliştirilmiş yazılımlar kullanılmalıdır.

Bunun mali açıdan mümkün olmadığı durumlarda geniş ve zorluk derecesi yüksek alanlar kendi içinde özelliklerine göre alt bölgelere ayrılmalı ve her alt bölge için farklı grid boyutu seçilmelidir. Böylece grid sayısı azaltılabilir ve çalışma süremiz kısaltılır. Böyle durumlarda gürültü haritasını bir bütün haline getirirken işimizi kolaylaştırmak için farklı grid boylarından büyük olanının küçük olanına oranı 2 yada katları olmalıdır.

Geniş ve zorluk derecesi düşük alanlar için tek grid boyu ile manuel hesaplama yöntemi seçilmelidir.

Bu çalışmanın sonucunda verebileceğimiz en temel öneri gürültü haritası hazırlanmasında kullanılmak üzere daha kullanışlı bir yöntemin geliştirilmesi için çalışmaların devam edilmesidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akalp, M.K., Eroğlu, M. ve Aktürk, N., 2002, Taşıtlardaki Kabin Gürültüsünün Yalıtımı, Uluslararası I.Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Ankara, 196-206s.
- Akdoğan, E., 2002, Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zaman Algoritması ve Uzman Sistem Yaklaşımında Kullanılması, Uluslar arası 1. Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Ankara, 271-276s.
- Aktürk, N., Ürküt, İ., Karaçay, T., 2004, evresel Karayolu Gürültüsü Ölçümü ve Modellenmesi, Proje Kodu: 06/2001-14, Gazi Üniversitesi.
- Aktürk, N., Akdemir, O., Üzkurt, İ., 2003, Trafik Işık Sürelerinin Neden Olduğu evresel Taşıt Gürültüsü, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Ankara, 18 , 71-87.
- Akpınar ve Odabaşı, 1993, Karayolları Peyzaj Planlama alışmalarında Bitkilendirme İlkeleri, Karayolları Vakfı Dergisi. Yıl 5, Sayı 56, Ankara.
- Akçay, İ.H., 2001, Yoğun Trafik ve Toplu Taşımacılık, 1. Kentiçi Ulaşım ve Trafik Sempozyumu, Antalya, 164-169.
- Altan T., 1992, Biyolojik Onarım Tekniği, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, Ü, Adana, 108-115s.
- Asensio C., Lopez J.M., Pagan R., Pavon I., Ausejo M., 2009, GPS-based speed collection method for road traffic noise mapping,Transportation Research Part D 14, 360–366
- Aslanboğa, İ.,1986, Kentlerde Yol Ağalaması, TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara, 1,11,19s.
- Bahçeşehir Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Birimi, 2006, evresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi(GDY), A Tipi Sertifika Programı, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- Bay, F. ve Güney, A. 1998, Lastik-Yol Gürültüsü, Dördüncü Ulusal Akustik Kongresi, Kaş/Antalya.
- Bendtsen, H., 1999, The Nordic prediction method for road traffic noise, The Science of the Total Environment, 235, 331-338
- Bies, A.D., Hansen, C.H., 2003, Engineering Noise Control: Theory and Practice, Spon Press, New York
- Braunstein and Berndt GmbH, 2007, SoundPLAN Kullanım Kılavuzu

- Calixto A., Diniz F. B., Zannin P.H.T., 2003, The statistical modeling of road traffic noise in an urban setting, Laboratorio de Acustica Ambiental, CEP. 81531-990, Curitiba, Parana, Brazil Cities, 20, 23–29.
- Clench, J., Bartonova, a., Klabeo, R., Kolbenstvedt, M., 2000, Oslo traffic study-part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance, Atmospheric Environmental, 34, 4727-4736.
- Çalışkan. M., 2004, Uygulamalı Gürültü Denetimi Eğitimi Kitabı Çizelge 1.3. (Ses Basıncı Düzeyindeki Değişimlerin Öznel Etkisi), , Çevre ve Orman Bakanlığı-İYEM
- Çelem, H., 1988, Sorunlu Alanlarda Bitkilendirme Tekniği, A. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Sf. 59, 63-69,Ankara.
- Çetin, İ., Eroğlu, M. ve Aktürk, N., 8-10 Mayıs 2002, Taşıt Motorlarının Neden Olduğu Gürültü, Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi ve Fuarı.
- Dülgeroğlu, A., 2002, Trafik ve Çevre Etkisi, Uluslararası 1. Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Ankara, 190-195s.
- Eskişar, T., Kıncal, C., 2003, İzmir Kentinde Karayolu Ulaşımı Problemlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Aracılığıyla Değerlendirilmesi,Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Kongresi, Ankara 127-133s.
- Everest, F.A., 2001. The Master Handbook of Acoustics, Mc Graw-Hill, New York.
- Foreman J.E.K., 1990. Sound Analysis and Noise Control, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Guzejev, M., Vuorinen, H.S., Kaprio, J., Heikkilä, K., Rauhamaa, H., 2000, Self-report of transportation noise exposure, annoyance and noise sensitivity in relation to noise map information, Journal of Sound and Vibration, 234,191-206.
- Güney, A., 1994, Taşıt Gürültüsü Ölçümü ve Yönetmelikleri, I Ulusal Mekanik Sempozyumu, İTÜ, 151,160.
- Harris, R., Cohn, L., Knudson, S.,2000, “Evaluation of the federal Highway Administration’s Traffic Noise Model”, Journal of Transportation Engineering-Asce, 126, 513-520.
- Hofman, W.R., Kumar, A., 1995, Caedia Reaktivite to Traffic Noise During Step in Man, Journal of Sound and Vibration, 179, 577-589
- Ishizuka T., Fujiwara K., 2004, Performance of Noise Barriers with various edge shapes and acoustical conditions, Applied Acoustics, 65, 125-141.
- Karabiber, Z., 2002, Gürültü Kirliliği ve Yapılarda Ses Yalıtımı. İzolasyon Dünyası Dergisi Eylül Sayısı.
- Koç N., Şahin Ş., 1999, Kırsal Peyzaj Planlaması, A. Ü. Basımevi, Ankara,172-176 s.

- Kotzen, B., English, C., 1999, Environmental Noise Barriers: A Guide to Their Acoustic and Visual Design, E&FN Spon, London, New York.
- Kumar, K., Jain, V.K., 1999, "Autoregressive integrated moving averages (ARIMA) modelling of a traffic noise time series", Applied Acoustics, 58, 283-294.
- Lee, S., Chang, S., Park, Y., 2008, Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea, Applied Acoustics, 69, 704-714
- Manoel, J., Filho, A., Lenzi, A. ve Henrique, P., 2003, Trafik Kompozisyonunun Cadde Gürültüsüne Olan Etkisi, Journal of Sound and Vibration, Brezilya, 1-23
- McClellan, J. H., Chelloppa, R. ve Cevher, V., 2006. Joint Acoustic-Video Fingerprinting of Vehicles Part-I., IC ASSP Conference, Hawaii.
- McNerney, M., Landsberger, B., Turen, T. and Pandelides, A., 1998, "Comparative field measurements of tire pavement noise of selected Texas pavements", Environmental and Social Effects of Transportation, 16, 78-84
- Moehler, U., Liepert, M., Schuemer, R., Griefahn, B., 2000, Differences between railway and road traffic noise", Journal of Sound and Vibration, 231, 853-864.
- Muradali A., Fyfe K.R., 1999, Accurate barrier modeling in the presence of atmospheric effects, Applied Acoustics, 56, 157-182
- Mun, S., Cho, Y., 2009, Noise barrier optimization using a simulated annealing algorithm, Applied Acoustics, 70, 1094-1098
- Öge, A., Öğüt, T., 29-31 Ekim, 1998, Bir Otomobil Egzoz Sisteminin İç Performans Analizi, Dördüncü Ulusal Akustik Kongresi, Kaş/Antalya.
- Özguven, H.N., 2008, Gürültü Kontrolü, Türk Akustik Derneği, Ankara.
- Pamanikabud P., Tansatcha M., 2009, Geoinformatic Prediction of Motorway Noise on Buildings in 3D GIS, Transportation Research Part D, 14, 367-372
- Pamanikabud P., Tansatcha M., 2003, Geographical information system for traffic noise analysis and forecasting with the appearance of barriers, Environmental Modelling & Software 18, 959-973
- Pamanikabud, P., Tharasawatpipat, C., 1999, Modeling of urban area stop-and-go traffic noise", Journal of Transportation Engineering-Asce, 125, 152-159
- Probst, B., Huber, B., 2000 Calculation and assessment of traffic noise exposure, Sound and Vibration, 34, 16-20.
- Ramis J., Alba J., Garcia D., Hernandez F., 2003, Noise effects of reducing traffic flow through a Spanish city, Applied Acoustics 64, 343-364

Resmi Gazete, 07.03.2008 tarih 26809 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (2002/49/EC)

Sato, T., Yano, T., Björkman, M., Rylander, R., 1999, Road traffic noise annoyance in relation to average noise level, number of events and maximum noise level, Journal of Sound and Vibration, 223, 775- 784.

Selimoğlu B., 1994, Ülkemiz Otoyollarında Çevre Düzenleme İlkelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora tezi. A. Ü. Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara, 103-107s.

SoundPLAN Kullanım Kılavuzu

South, T., 2004, Managing Noise and Vibration at Work, Elsevier Butterworth - Heinemann, Oxford.

Steele, C., 2001, A critical review of some traffic noise prediction models, Applied Acoustics, 62, 271-287.

Steensberg, J., 1999, Community noise policy in Denmark, Journal of Public Health Policy, 1, 109-117.

Suksaard, T., Sukasem, P., Tabucanoo, M., Aoi, I., Shirai, K. And Tanaka, H., 1999, "Road traffic noise prediction modelin Thailand, Applied Acoustics, 58, 123-130

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ve Federal Almanya Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı, 2008, Adana İli Trafik Gürültüsü Eylem Planı, Adana Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı Yayınları

TCK, 1998, Karayolu Bakım El Kitabı,. Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara, 285-287s.

TEM Group of Expert (TEMGEX), 1990, TEM Traffic and Construction Noise Control, Trans-European North-South Motorway Project, Ninth Session, UNDP/ECE

Tenik, E., 1994, Karayollarının Bitkilendirilmesi, (Eski) İzmir,- Aydın Karayolu ile (Yeni) İzmir-Aydın Otoyolu Proje ve Uygulamalarının Karşılaştırılması Üzerinde Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, İzmir , 34-37s.

The French National Computation Method, 1996, NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB), Prediction of Road Traffic Noise.

TS 10713, 1993, Şehiriçi Yollar-Trafik Gürültüsü Tespit Ve Önlemleri, Türk Standartları Enstitüsü

Tsai, K., Lin, M., Chen, Y., 2009, Noise Mapping in Urban Environments: A Taiwan study, Applied Acoustics, 70, 964-972

Ürgenç, S., 2000, Kırsal Peyzaj, YTÜ. Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, YTÜ. Basım yayın Merkezi, İstanbul, 173,188.

Watts, G.R., Godfrey, N.S., 1999, "Effects on roadside noise levels of sound absorptive materials in noise barriers", Applied Acoustics, 58,385-402.

Watts, G.R., Chandler, S.N., Morgan, P.A., 1999, "The combined effects of porous asphalt surfacing and barriers on traffic noise", Applied Acoustics, 58, 351-371.

Watts, G.R., 1993, A Comparasion of Noise Measures for Assesing Vehicle Noisines, Journal of Sound and Vibration, 180, 493-512.

Wetzel, E., Nicolas, J., Andre, Ph., Boreux, J., 1999, Modelling the propagation pathway of street-traffic noise: practical comparison of German guidelines and real-world measurements, Applied Acoustics, 57, 97-107.

Xie, H., Kang, J.,2009, Relationships between environmental noise and social-economic factors: Case studies based on NHS hospitals in Greater London, Renewable Energy, 34, 2044–2053.

Fleming, G. G., Knauer, H. S., Lee, C. S.Y., Pedersen, S., Highway Noise Barrier Design Handbook, www.fhwa.dot.gov

www.bksv.com

www.dbkes.com.tr

www.pnt-grp.com

<http://earth.google.com>

EKLER

EK 1:

FRANSIZ ULUSAL HESAPLAMA YÖNTEMİ (NMPB)

Bu bölüm Honorar-Professor Dipl.-Ing. Dr. techn. Judith LANG tarafından hazırlanmış olup NMBP Hesaplama Metodunun Tanımlanmasını, END ile NMPB'nin benzerlikleri ve farklılıkları üzerine ve END için Ara Metod olarak olası kullanım üzerine genel açıklamaları içermektedir.

Meteorolojik etkileri de içeren NMPB – Yollar 96 " Yol Trafik Gürültüsü Yeni Fransız Hesaplama Metodu" (tali yollara dik olan), yoldan en fazla 800 m mesafedeki bölgelerden kaynaklanan, zeminden en az 2 m yükseklikteki, ses seviyelerini hesaplamak için ayrıntılı bir prosedür tanımı yapar. Bu metod bir grup Fransız uzman tarafından hazırlanmıştır.

2001 yılında meteorolojik etkiler içeren dış yayılım sırasında ses azalım hesabı için Fransız standardı XP S 31 – 133 Akustik – Yol ve demiryolu Trafik Gürültüsü yayınlanmıştır. Bu standard NMPB ile aynı hesaplama prosedürünü tanımlar. END Ek 2'de ara hesaplama metodları için Fransız ulusal hesaplama metodu NMPB – Yollar – 96 ve Fransız standardı XP S 31-133 tavsiye edilir. Aşağıda prensip olarak Fransız Hesaplama Prosedürünün tanımı, END ile arasındaki benzerlikler ve farklılıklara ait bir görüş ile birlikte verilmiştir.

1. Gürültü Göstergesi

NMPB – Yol 96 da ve Fransız Standardı "XP S 31 -133" de yolların yanındaki ses emisyonlarını tanımlamak için temel nicelik; uzun dönem eşit, sürekli A – ağırlıklı ses basıç düzeyleridir. Seçilen iki zaman periyodu vardır: gündüz (6 – 22s) ve gece (22 – 6s).

Uzun dönem eşit ses seviyesi yıl boyunca trafik akışı ve hakim olan meteorolojik koşulları (rüzgar hızının dikey gradyanı ve sıcaklığın dikey gradyanı) dikkate alır. Uzun dönem ortalama ses seviyesine göre meteorolojik koşulların etkisine, hem farklı ses düzeylerini kabul ederek 2 farklı tipteki ses yayılımının tanımı ile hemde (hemen

hemen) Fransa'nın tamamı için bir haritada sunulan ses düzeylerinin uzun dönemdeki oluşumuna ait yüzde oranlarının tanımı ile birlikte değinilir. Standad XP S 31 – 133 de bu haritanın yerini, 40 şehir (bölge) için bir tablo almıştır.

END' e göre Gürültü İndikatörleri

- L_{gag} (gündüz-akşam-gece gürültü indikatörü)
- $L_{gündüz}$ (gündüz gürültü indikatörü)
- $L_{akşam}$ (akşam gürültü indikatörü)
- L_{gece} (gece gürültü indikatörü)

Kaynak yol trafiğindeki varyasyonlar sözkonusu yıl içerisindeki araç sayısı ile kolayca hesaba katılabilirken, ses yayılımı ile oluşan ve meteorolojik koşullarda gözlenen varyasyonlar bu kadar kolay ele alınamaz.

ISO 1996-2 ve ISO 1996-1, ISO 1996-2'de meteorolojik düzene göre aktarılsa da, detaylı öneriler sunmaz. 10 yıldan eski olan bu ISO standartları, öncelikle hesaplamalara değil, ölçümlere işaret eder. Sadece (meteorolojik koşullara ait aralığın üstündeki ortalamaya göre) uzun dönem ortalama ses seviyesinin, ölçüm pozisyonunda bulunan meteorolojik koşullara ait aralığın üzerinde belirlendiği bir yolla ölçüm zaman aralıklarının seçildiği yazmaktadır. Başka bir olasılık, kaynaktan ölçüm pozisyonuna doğru önemli bir pozitif rüzgar bileşenine sahip, normal olarak en kararlı (sabit) ses yayılımı ile dikkatle belirlenmiş meteorolojik koşullar altında yapılan ölçümlerle ve elde edilen değere bir düzeltme değeri (sayısı) uygulanarak verilir. Bu standartta düzeltmenin miktarı ile veya bu düzeltmenin nasıl belirleneceğine dair herhangi bir öneri yoktur. Bundan dolayı burada gürültü haritalama için hesaplama üzerinde çok az söylem vardır.

END' deki göstergeleri yorumlamak, ses yayılımını etkileyen ses kaynağındaki ve meteorolojik koşullardaki varyasyonlara göre yıllık ortalaması alınan, eşit kesintisiz A – ağırlıklı ses basınç seviyesine dayanır.

Bu yüzden temel miktar NMPB ve END' de aynıdır; indikatöre bakıldığında, END'e göre yapılan hesaplamalar için NMPB'yi kullanmakta herhangi bir zorluk yoktur.

Yalnızca kullanılan zaman periyotları farklıdır: END'de gündüz,akşam ve gece ve NMPB'de gündüz ve gece, fakat bu genelde hesaplama modelini etkilemez.

2. Emisyon Noktası

END' de Emisyon Noktası'nın yüksekliği 4 m ile tanımlanmıştır.

NMPB'de sadece, zemin üstünde alıcı noktasının yüksekliğinin en az 2 m olması gerektiği söylenmiştir. Bu yüzden END'e göre yapılan hesaplamalar için emisyon noktasının yüksekliği 4 m olarak seçilebilir.

3. Kaynak

NMPB'de kaynak, ses emisyonu ile değil, geometri ile tanımlanır. Ses emisyonuna göre Guide de bruit'e ait veriler kullanılmalıdır. (EN 1793-3'e göre) Ses emisyonu, öngörülen bir oktav bant spektrumuna sahip, metre başına düşen A – ağırlıklı ses gücü ile tanımlanmıştır.

Kaynağın yeri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Model, yolu veya yolun herbir şeridini eş açılar halinde (genelde 10° ' ye eşit veya 10° 'den az adımlar) temel nokta ses kaynaklarına bölmeye yada sabit adımlar (genelde 20 m'den az adımlar, herhangi bir oranda şerit ve alıcı noktalar arasındaki düz açılı mesafenin yarısından az) ile bilmeye dayanır. Nokta kaynak yol yüzeyinin 0,5 m üstünde söz konusu adımın ortasına yerleştirilmiştir.

Yolun nokta kaynaklara ayrılması aynı zamanda bütün ulusal hesaplama modellerinde kullanılır.

Ses emisyonu verileri farklı ulusal hesaplama modellerinde farklı yollarla verilmiştir ve ulusal yol yüzeylerinde ulusal araç filoları için NMPB modeli ile yapılan hesaplamalarda kullanılması gereken ses emisyon verilerini tanımlamaya yarayan metodu açıklamak gerekecektir.

4. Ses Yayılımı

NMPB'de ses yayılımının hesabı 125'den 4000 Hz'e kadar olan oktav bantlarında yürütülür.

Hesaplama metodu farklı meteorolojik koşullara bağlı olarak ses yayılımının iki tipini ayırır ve Fransa'nın hangi bölgelerinde, gece ve gündüz için hangi yayılım tipinin hangi oranda kullanılması gerektiği üzerine detaylı tavsiyeler sunar.

END'e göre indikatörleri hesaplamak üzere NMPB metodunu kullanmak için, meteorolojik koşulları ve buna ek olarak akşam periyodu için ses yayılım tipini tanımlamak ve tüm Avrupa ülkelerindeki ses yayılımı tipleri için tanımlamalar vermek gerekli olacaktır.

END'de ses yayılımı için kullanılması gereken hesaplama metodu üzerine herhangi bir özel şey söylenmemiştir. Ek 2'deki gibi ulusal Fransız Hesaplama Metodu NMPB ve Fransız standardı XPS 31 – 133 tavsiye edilmiştir, bu metodun kullanılacağı açıktır.

Elbette, Fransız Metodu, diğer Avrupa Ülkeleri için kullanılmayan özel niteliklerden ayrılmalıdır.

4.1. Ses Yayılımında Meteorolojik Koşulların Etkisi

Yerin üstündeki havada her zaman sıcaklık ve rüzgar hızı farklı yüksekliklerde farklıdır; farklılıklar, sıcaklıktaki değişimler (pozitif ya da negatif) ve yerin üstündeki yükseklikte rüzgar hızının artışı olarak verilmiştir. Sıcaklıktaki ve rüzgar hızındaki bu değişimler, ses hızındaki pozitif veya negatif değişimlere sebep olur. Genellikle ses yayılımı üç tipe ayrılır: yayılım koşulları homojendir (ses ışınları düzdür), yayılım koşulları uygundur (pozitif dikey ses hız gradyanı, yani aşağı rüzgar ses yayılımı, ses ışınları aşağı doğru eğilir), yayılım koşulları uygun değildir (negatif dikey ses hız gradyanı, ses ışınları yukarı doğru eğilir).

Gerçekte termal ve aerodinamik etkilerin arasında, kaynaktan daha uzak mesafelerde fark edilebilir ses seviyesi varyasyonlarına yol açan, zaman ve alana

bağlı olarak değişebilen kombinasyonlar olasıdır. Ek olarak zemin etkisi ses ışınlarının şeklinden etkilenir. Meteorolojik koşulların olası etkilerini özetlemek için gözlenebilir meteorolojik faktörlere göre, uzun aralıkta ses seviyesinin nitel varyasyonunu veren çift girişli grid gösterilmiştir.

NMPB'de bir uzun dönem ses seviyesinin hesaplanmasında bu etkilerin hesaba katılması için aşağıdaki yaklaşım seçilir: ses düzeyleri yayılımın iki sıradan koşulu için hesaplanır: homojen ve uygun koşullar. Bu iki farklı koşulla hesaplanan 2 ses seviyesi ortalama uzun dönem ses seviyesi ile birleştirilir, burada iki farklı koşulun oluşumu gece ile gündüz için, kaynak alıcı yönü için ve farklı alanlar için farklıdır.

NMPB'de, tüm Fransa'ya yayılan 40 meteoroloji istasyonuna ait verilere dayanan, gece ve gündüz için 20 derecelik yön adımlarında ses yayılımına uygun meteorolojik koşullar için uzun dönem oluşum yüzdesini veren 18 Fransa haritası ve 2 tablo eklenmiştir. Standart XP S – 31 – 133'de haritalar olmaksızın sadece tablolar verilmiştir.

Genelde NMPB'deki düşünceler, meteorolojik koşulların etkisinin, kaynak ve alıcı arasındaki mesafe yaklaşık 100 m'den yüksek olunca ölçülebilir olduğundan bahseder. Ayrıca "5 Mayıs 1995 Fransız Yönetmeliği" yoldan 250m uzağa yerleşik olan alıcılar için yol tahmininde gerçek meteorolojik koşulları hesaba katmayı gerektiren çalışmalardan bahseder. Bununla birlikte burada hesaplama için hangi mesafede uygun yayılıma bakılacağına dair açık bir ifade yoktur. Standart XP S 31.133'de uygun ses yayılımının gözönüne alınması gerektiğinde, mesafe hakkında herhangi bir spesifikasyon verilmemektedir.

Her iki dökümanda da uygun ses yayılımının oluşumundaki verilerin kullanımı için bazı koşullar verilmiştir:

- Sadece çok yüksek olmayan bitkilere sahip oldukça düz arazi (münferit ağaçlar kabul edilebilir)
- Çimle kaplanmış zemin (bitkinin optimum yüksekliği: 10 cm)
- Herhangi bir büyük yüzeysel su yok (nehirler, göller)
- Açık yayılma bölgesi: yayılım bölgesinin boyutlarına bağlı olarak büyük boyutlu

nesneler (yüzey veya yükseklik) ve çok fazla küçük nesne yok (dağınık halde bulunan bazı nesneler kabul edilebilir).

- Arazinin maksimum yüksekliği: 500 m

Buradan, veri mevcut olsa dahi birçok durumda kullanılamayabilir sonucu ortaya çıkıyor.

Bir sahanın bu kriterlere uymadığı durumlar için aşağıdaki olasılıklar belirlenmiştir:

- Yerel mevcut meteorolojik verileri kullanın; çalışma Ek-1'de gösterilen grid'e dayandırılabilir ve mikro meteoroloji alanında uzmanlara ihtiyaç vardır.
- Özellikle proje ihtiyaçları için elde edilen yerel meteorolojik verileri kullanın; daha önce bahsedilenden daha kompleks çalışma.
- Abartılmış kapsamlı değerleri kullanın (sabit değerler); bu durumda (insanlara en iyi korumayı getiren) uzun dönem seviyesini tahmin etmeye yol açacak olan uygun koşulların meydana gelişi maksimize edilmiştir; örneğin aşağıdaki değerler herhangi bir yönde seçilmiş olabilir.

gece periyodu için uygun oluşumun 100 % ü

gündüz periyodu için uygun oluşumun 50 % si

END tanımları uyarınca stratejik gürültü haritalaması için yol trafik gürültüsünü hesaplamak üzere, NMPB modelinin kullanımına bakıldığında uygun ses yayılımının ne zaman ve hangi oranda hesaba katılacağına değinilmelidir. NMPB dokümanında bu soru hakkında daha önce açıklanan detaylardan faydalanılmalıdır.

- Metod yalnızca ara metod olarak kullanılabilir, dolayısıyla işler karmaşık ve pahalı olmamalıdır.
- NMPB'de tanımlanan meteorolojik veriler, yalnızca 500m'nin altındaki düz alanların bazı tipleri için kullanılır, dağlık ülkelerin bütününde kullanılmaz. (Avusturya ve kuzey İtalya gibi Alpler'den geçen başlıca bütün ulaşım yolları)

Bundan dolayı END ara metodu için en iyi çözüm sabit değerli metodu seçmektir, yani aşağıdakiler için hesaplamaları yapmak

Gece periyodu için uygun oluşumun %100 ü

Gündüz periyodu için uygun oluşumunun %50 si

Akşam periyodu ilaveten hesaba katılmalıdır: Meteorolojik görüş açısından olduğu gibi akşam periyodu kış için “gece” ve yaz için “gündüz” dür.

- Akşam periyodu için uygun oluşumun %75 ini hesaplamak için önerilir.

$L_{uzundönem}$ uzun dönem seviyesi, uygun ses yayılım koşulları için hesaplanan LF ve homojen ses yayılım koşulları için hesaplanan LH seviyelerinin enerjetik bazda toplanması ile hesaplanmıştır.

$$L_{longterm} = 10 \cdot \lg \left[p \cdot 10^{L_F / 10} + (1-p) \cdot 10^{L_H / 10} \right]$$

Burada

p ses yayılımı için uygun olan meteorolojik koşullarda uzun dönemli ortaya çıkıştır.

Uygun koşullara sahip ses seviyesi, yol için, yol üzerindeki tek nokta kaynaktan (her oktav bant için) alıcıya aşağıdaki formülle hesaplanmıştır

$$L = L_w - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,F} - A_{dif,F}$$

Ses azalımı, ayrılma ile A_{div} , hava absorpsiyonu ile A_{atm} , uygun koşullar altında zemin etkisi ile $A_{grd,f}$ ve uygun koşullar altında kırınım ile $A_{dif F}$ birlikte hesaba katılmalıdır.

Homojen koşullara sahip ses seviyesi, yol için, yol üzerindeki tek nokta kaynaktan alıcıya (her oktav bant için) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$L = L_w - A_{div} - A_{atm} - A_{grd H} - A_{dif H}$$

4.2. Geometrik Sapma

Geometrik sapma A_{div} 'e bağılı ses azalımı (yayılim mesafesine bağılı ses azalımı), (küresel yayılıma dayanan) genel yolla hesaplanır.

4.3. Atmosferik Absorbsiyon

Atmosferik absorbsiyona bağılı A_{atm} ses azalımı genel yolla hesaplanmıştır. 15°C sıcaklık ve %70 bağılı nem için hava azalım katsayısı NMPB ye eklenmiştir. Bu değerler Fransa için tipiktir, fakat bütün Avrupa ülkeleri için kullanılamaz.

NMPB yi bütün Avrupa ülkelerinde kullanmak için ISO 9613 – 1 e göre hava azalım katsayıları tablosu, Ek – 2 de gösterildiği gibi Avrupa için tipik olan bazı sıcaklık ve bağılı nem grupları için verilmelidir. İlgili veriler ulusal esasa dayanılarak bu tablodan seçilmelidir.

4.4. Zemin Etkisi

Zeminden yansıyan ses ve doğrudan kaynaktan alıcıya yayılan ses arasındaki karışım nedeniyle oluşan zemin etkisine A_{grd} bağılı ses azalımı, meteorolojik koşulların neden olduğu ses yayılıminın tipine dayanan iki farklı yolla hesaba katılır.

Uygun koşullar için azalım $A_{grd,F}$, bazı Avrupa ülkelerinde kullanılan, ISO 9613 – 2 de verilen metoda göre hesaplanır.

Homojen koşullar için azalım $A_{grd,H}$ zemin katsayısını (G) hesaba katan bir formüle göre hesaplanır. Eğer $G = 0$ (yansıtmalı zemin) ise $A_{grd,H} = - 3$ dB.

Bir ses yayılım güzergâhı boyunca arazi ıslahının gerçekleştirilmesini hesaba katmak için gerçek yükseklik yerine uygulama için iyi bir çözüm olan eş yükseklik düşüncesi ortaya çıkar.

NMPB'de verilen zemin etkisinden dolayı azalım için bütün hesaplama prosedürleri END'e dayanan hesaplamalar için kullanılabilir.

4.5. Kırınım

Ses azalımının kırınım ile hesaplanması ses yayılımının 2 tipi için ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Kırınımın etkili olma olasılığına karşı alan azalımı 4.4'de tanımlandığı gibi hesaba katılmamalıdır, fakat bu kırınım ile azalımın hesabına dâhil edilmiştir. Aynı zamanda bu hesaplamada zemin düzlüğü eşit yükseklikler kullanılarak hesaba katılmıştır. Hesaplama prosedürü, ince ve kalın bariyerlerden, binalardan, bir toprak setin sınırları gibi doğal ve yapay tümseklerden kesmeden veya viyadükten kaynaklanan, kırınımı ele almayı sağlar.

Birinci adımda kırınımın meydana geldiği göz önüne alınmalıdır. Kaynak – alıcı bağlantısı ile engel üzerinden geçen güzergah arasındaki yol farkı miktara ($- l/20$) bağlı olarak karşılaştırılmalıdır (l , 500 Hz için dalga uzunluğudur, yani $- l/20 = - 0,034$ m); Eğer yol farkı az ise kırınım hesabı yapmaya gerek yoktur.

Bazı taslaklar, homojen koşullar(kaynak alıcı arasındaki yol düzdür) ve uygun koşullar için (yol kavislidir) yol farklılıklarının nasıl hesaplanacağını gösterir. Kırınıma bağlı azalım, yol farkı kullanılarak bir grup formül ile hesaplanmıştır.

Hesaplama prosedürü NMPB ve XP S 31-133 de aynıdır. Yalnızca bir fark vardır: NMPB'de dikey kenarlardaki kırınımın nasıl hesaplanacağına dair uyarı XP S 31-133 de ayrı bir paragraftır.

Kırınım ile azalım için hesaplama prosedürü, tüm Avrupa ülkelerinde herhangi bir değişiklik veya ekleme olmaksızın kullanılabilir; son standart, eski NMPB'den elde edilen dikey sınırlar üzerine bir uyarı içerdiğinden, bu uyarı END ara metodunda da tam metin olarak ele alınmalıdır.

4.6. Yansıma

Dikey engellerde yansıma çeşitli ulusal hesaplama metodlarında kullanıldığı gibi görüntü kaynağının yardımıyla beraber ele alınmıştır. Eğimi dikey yöne göre 15° nin altında olan engel dikey kabul edilir. Eğer çok eğimli engeller üzerinde yansımaya ihtiyaç varsa o zaman mevcut metod 3 boyutlu olarak uygulanmalıdır. Dalga

uzunluğuna göre küçük boyutları olan engeller yansımanın hesabında ihmal edilmelidir. Görüntü kaynağının ses gücü seviyesi, yansıma yüzeyinin absorpsiyon katsayısını hesaba katmalıdır. Bazı ulusal kılavuzlarda verildiği gibi absorpsiyon katsayıları için örnekler yoktur.

Yansımanın etkilerini hesaplamak için metod, herhangi bir değişiklik veya ekleme olmadan END ara metodunda kullanılabilir.

NMPB'ye ve özdeş Fransız standardına göre ses yayılımını hesaplamak için kullanılan metodun her yönüyle pratik göründüğü ve 2001'deki Fransız standartları 1996'da düzenlenen metodun yerini aldığı için uygulamada daha güvenilir göründüğü vurgulanmalıdır. Buna rağmen, endüstriyel gürültü için ara hesaplama metodu olarak tavsiye edilen bu metod ISO 9613 – 2 ile aynı değildir.

Eğer metod, yol trafik gürültüsünün yayılımını hesaplamak için kullanılıyorsa, aynı zamanda demiryolu gürültüsünün ve endüstriyel gürültünün yayılımını hesaplamak için de kullanılabilir. Farklı yayılım Őemalarıyla, farklı kaynakların sesinin yayılımını hesaplamak makul görülmemektedir (ses yayılımının hesabı için bütün kaynaklar nokta kaynaklara ayrıldığından).

NMPB ve END arasındaki farklılıklar ve benzerlikler bulunmuş ve gerekli düzeltmeler veya ilaveler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

konu	Karşılaştırma sonucu – çalışma
Gürültü indikatörü	emisyon ve transmisyondaki varyasyonlar hesaba katılarak, yıl boyunca belirlenen, A – ağırlıklı uzun dönem ortalama ses düzeyi özdeş gündüz,akşam ve gece periyotları ortaya konmalıdır.
Emisyon noktası	END'e göre zeminin 4m üstü kullanılabilir.
Kaynak	Kaynak verileri tespit edilmelidir veya daha da iyisi ulusal yol yüzeyleri üzerindeki ulusal araç filoları için NMPB modeli ile birlikte hesaplamada kullanılması gereken ses emisyon verilerini belirlemek üzere kullanılan metod tanımlanmalıdır.yolun basit nokta kaynaklara bölüştürülmesi talimatı kullanılabilir, o.k.
Yayıma ■ meteorolojik koşulların etkisi	2 yayılım tipi: homojen ve uygun koşulların ortaya çıkma yüzdesini belirle: Genel öngörü gündüz için %50, akşam için %75, gece için %100
■ geometrik sapma	o.k
■ atmosferik absorpsiyon	Hava azalım katsayısına karşı Avrupa'daki bölgeler için tipik sıcaklık ve bağıl nem çizelgesi eklenmelidir ve ulusal bazda ilgili veriler seçilmelidir.
■ zemin etkisi	o.k.
■ kırınım	o.k., Dikey kenarlar üzerine, XP S 31 – 133'e göre tam metin şeklinde uyarı ekleyin.
yansıma	o.k.

Gözlemlenebilir meteorolojik faktörlere göre uzun aralıklarda ses seviyesinin nitel varyasyonlarını gösteren çift girişli grid,

U1: şiddetli rüzgâr (3 den 5 m/s) alıcı – verici yönünde rüzgâra karşı	T1: gündüz ve şiddetli yayılma ve kuru yüzey ve durgun rüzgar
U2: ortalama durgun rüzgar (1 den 3 m/s) rüzgara karşı veya şiddetli rüzgar, çokaz rüzgara karşı	T2: T1 deki koşullar fakat en az bir tanesi uygulanmaz
U3: sıfır rüzgar veya yandan esen rüzgar	T3: gün doğumu veya sabah veya (bulutlu ve rüzgarlı ve çok nemli olmayan yüzey)
U4: ortalama rüzgar çokaz rüzgar yönünde veya hemen hemen rüzgar yönünde olmayan şiddetli rüzgar ($\cong 45^\circ$)	T4: gece ve (bulutlu veya rüzgarlı)
U5: rüzgar yönünde	T5: gece ve açık gökyüzü ve durgun rüzgar

U_i ve T_i koşullarının kombinasyonu ses yayılımının koşullarının aşağıdaki sınıflarını verir. Gri bölgeler mümkün olmayan meteorolojik durumlara karşılık gelir.

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		--	-	-	
T2	--	-	-	Z	+
T3	-	-	Z	+	+
T4	-	Z	+	+	++
T5		+	+	++	

-- : Ağırlıklı olarak yukarı doğru eğri ses ışınları çok güçlü azalıma neden olur (uygun olmayan durum)

- : Yukarı doğru – eğri ses ışınları nispeten şiddetli azalıma neden olur (uygun olmayan durum)

Z : Meteorolojik etkilerin tesiri olmadan ses ışınları düz çizgilerle yayılır (homojen durum) .

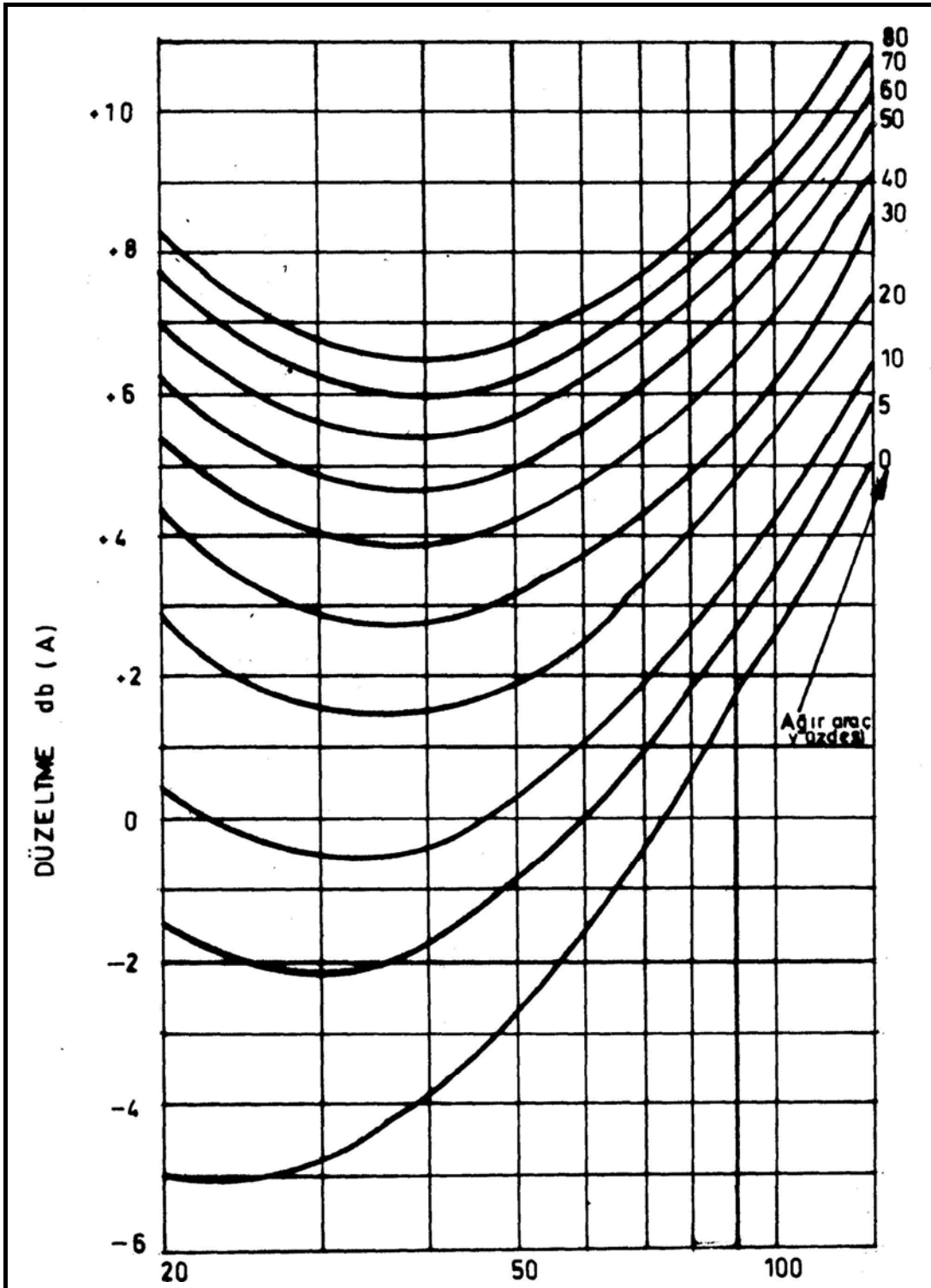
+ : Aşağı doğru – eğri ses ışınları ses düzeyinde az artışa neden olur ("uygun" durum)

+ **+** : Şiddetli aşağı doğru – eğri ses ışınları ses düzeylerinde nispeten şiddetli artışa neden olur ("uygun" durum) .

Sıcaklık ve bağıl neme karşı dB/km cinsinden atmosferik-absorbsiyon azalım katsayıları

sıcaklık °C	Bağıl nem %	Frekans(Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
0	40	0,43	0,92	2,63	9,00	29,8	75,2
	50	0,41	0,82	2,08	6,83	23,8	71,0
	60	0,40	0,78	1,78	5,50	19,3	63,3
	70	0,39	0,76	1,61	4,64	16,1	55,5
	80	0,38	0,76	1,51	4,06	13,8	48,8
	90	0,37	0,76	1,45	3,66	12,1	43,2
5	40	0,47	0,92	2,10	6,48	22,7	72,5
	50	0,46	0,89	1,82	5,08	17,5	60,2
	60	0,44	0,89	1,69	4,29	14,2	50,2
	70	0,42	0,90	1,64	3,80	12,0	42,7
	80	0,39	0,90	1,63	3,50	10,5	37,0
	90	0,37	0,90	1,64	3,31	9,39	32,7
10	40	0,52	1,04	1,98	5,07	16,8	59,0
	50	0,49	1,05	1,90	4,26	13,2	46,7
	60	0,45	1,05	1,90	3,86	11,0	38,4
	70	0,41	1,04	1,93	3,66	9,66	32,8
	80	0,38	1,02	1,97	3,57	8,76	28,7
	90	0,35	1,00	2,00	3,54	8,14	25,7
15	40	0,54	1,23	2,18	4,51	13,1	45,7
	50	0,48	1,22	2,24	4,16	10,8	36,2
	60	0,43	1,18	2,31	4,06	9,50	30,3
	70	0,38	1,13	2,36	4,08	8,75	26,4
	80	0,34	1,07	2,40	4,15	8,31	23,7
	90	0,31	1,02	2,41	4,25	8,07	21,7
20	40	0,52	1,39	2,63	4,65	11,2	36,1
	50	0,45	1,32	2,73	4,66	9,86	29,4
	60	0,39	1,23	2,79	4,80	9,25	25,4
	70	0,34	1,13	2,80	4,98	9,02	22,9
	80	0,30	1,04	2,77	5,15	8,98	21,3
	90	0,27	0,97	2,71	5,30	9,06	20,2

EK 2: ORTALAMA TRAFİK HIZLARI VE AGIR TAŞIT ORANINA GÖRE DÜZELTME
ABAĞI (TS 10713)



Ortalama Trafik Hızı (km/s)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erkan KALAYCI

Doğum Yeri : Torul/GÜMÜŞHANE

Doğum Yılı : 1976

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1990–1993 Torul Lisesi

Lisans : 1993–1997 Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi: 2000–2010 Karayolları Genel Müdürlüğü, ÇED Şubesi Müdürlüğü,
ÇED Proje Şefi, Ankara