

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜ  
VE  
GÜRÜLTÜ PERDELERİNİN EKONOMİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnşaat ve Çevre Müh. Metehan ÇALIŞ**

**Anabilim dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı: Ulaştırma Mühendisliği**

**HAZİRAN 2007**

**HIGHWAY NOISE  
AND  
ECONOMIC EVALUATION OF NOISE BARRIERS**

**M. Sc. Thesis by  
Metehan ÇALIŞ, B. Sc.**

**(501041412)**

**Date of submission : 7 May 2007**

**Date of defence examination: 12 June 2007**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**

**Members of the Examining Committee: Prof. Dr. Tülay Aksu ÖZKUL (İTÜ)**

**Assoc. Prof. Dr. Necdet TORUNBALCI  
(İTÜ)**

**JUNE 2007**

**KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜ  
VE  
GÜRÜLTÜ PERDELERİNİN EKONOMİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnşaat ve Çevre Müh. Metehan ÇALIŞ  
(501041412)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007  
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**

**Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Tülay Aksu ÖZKUL (İTÜ)**

**Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI (İTÜ)**

**HAZİRAN 2007**

## ÖNSÖZ

Öncelikle, bu çalışmamda bana sürekli destek olup cesaret veren, bilgi ve tecrübesi ile yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürler. Kendisine verdiğim söz olmasaydı bu çalışma tamamlanamazdı.

İkinci olarak, kendisinden ders alma şansına nail olduğum ve benim karayolu konusunda çalışmamda en önemli etkiye sahip lisans bitirme danışman hocalarımdan yakın zamanda kaybettiğimiz Prof. Dr. GÜVEN ÖZTAŞ'a minnettarım.

Yalnızca bu tez çalışması süresince değil tüm yaşamım boyunca zor anlarımda maddi ve manevi olarak desteklerini eksik etmeyen, varlığımı borç bildiğim ve sanırım bu çalışmanın tamamlanmasını benden çok isteyen babam Erol ÇALIŞ, annem Ayşe ÇALIŞ'a minnettarlığımı bildiririm.

Son olarak bu çalışmam sırasında geçirdiğim uykusuz gecelerin ardından iş yerinde beni tahammülle dinleyen, beni destekleyen ve her konuda yardımcı olmaya çalışan başta Türk Standardları Enstitüsü Yapı Malz. Lab. Müdürü Önder KUNT olmak üzere diğer tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

HAZİRAN 2007

Metehan ÇALIŞ

## İÇİNDEKİLER

|                                                              |             |
|--------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                           | <b>vii</b>  |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                         | <b>viii</b> |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                         | <b>ix</b>   |
| <b>ÖZET</b>                                                  | <b>xii</b>  |
| <b>SUMMARY</b>                                               | <b>xi</b>   |
| <b>GİRİŞ</b>                                                 | <b>1</b>    |
| <b>1. SES VE GÜRÜLTÜ</b>                                     | <b>4</b>    |
| 1.1 Temel Ses Kavramları                                     | 4           |
| 1.1.1 Genlik                                                 | 4           |
| 1.1.2 Frekans                                                | 5           |
| 1.1.3 Devir Süresi                                           | 5           |
| 1.1.4 Dalgaboyu                                              | 5           |
| 1.1.5 Hız                                                    | 5           |
| 1.2 Ses Düzeyi                                               | 7           |
| 1.2.1 Ses Düzeyi İle İlgili Bazı Tanımlar                    | 7           |
| 1.2.2 Ses Basınç Seviyesi                                    | 16          |
| 1.2.3 Ses Güç Seviyesi                                       | 17          |
| 1.2.4 Ses Basınç Seviyesi ve Ses Güç Seviyesinin Örneklemesi | 18          |
| 1.2.5 Ses Seviyelerinin Toplanması ve Çıkarılması            | 19          |
| 1.3 Sesin Yayılması                                          | 20          |
| 1.4 Ses Dalgalarının Yüzeylerle Etkileşimi                   | 21          |
| 1.5 Ses Kaynakları                                           | 24          |
| 1.5.1 Noktasal Kaynaklar                                     | 24          |
| 1.5.2 Çizgisel Kaynaklar                                     | 25          |
| 1.5.3 Alan Kaynaklar                                         | 25          |
| <b>2. GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI</b>                                 | <b>27</b>   |
| 2.1 Karayolu Trafîği Kaynaklı Gürültüler                     | 28          |
| 2.2 Havayolu Trafîği Kaynaklı Gürültüler                     | 29          |
| 2.3 Demiryolu Trafîği Kaynaklı Gürültüler                    | 29          |
| <b>3. KARAYOLU TRAFİĞİ KAYNAKLI GÜRÜLTÜ</b>                  | <b>30</b>   |
| 3.1 Motor ve Egzoz Gürültüsü                                 | 33          |
| 3.2 Aerodinamik Gürültü                                      | 34          |
| 3.3 Yol Yüzeyi Gürültüsü                                     | 34          |
| 3.3.1 Hava Pompalama ve Hava Rezonansları                    | 35          |
| 3.3.2 Lastik Titreşimleri ve Moment Altında Kayma ve Yapışma | 35          |

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. KARAYOLU TRAFİĞİ KAYNAKLI GÜRÜLTÜNÜN AZALTIMASI</b>                                           | <b>36</b> |
| 4.1 Gürültü ile Mücadelede Mevcut Mevzuat                                                           | 36        |
| 4.2 Karayolu Kaynaklı Gürültüyü Azaltmaya Yönelik Bazı Önlemler                                     | 37        |
| 4.2.1 Sed İnşası                                                                                    | 39        |
| 4.2.2 Ağaçlandırma ve Bitkilendirme                                                                 | 42        |
| 4.2.3 Gürültü Perdeleri                                                                             | 44        |
| 4.2.3.1 Ahşap Gürültü Perdeleri                                                                     | 44        |
| 4.2.3.2 Metal Levha Gürültü Perdeleri                                                               | 46        |
| 4.2.3.3 Beton Gürültü Perdeleri                                                                     | 48        |
| 4.2.3.4 Plastik, PVC ve Fiberglas Gürültü Perdeleri                                                 | 50        |
| 4.2.3.5 Şeffaf Gürültü Perdeleri                                                                    | 51        |
| 4.2.4 Biyo-bariyerler                                                                               | 52        |
| 4.2.4.1 A-Çerçeve Bariyer                                                                           | 54        |
| 4.2.4.2 Kutu Duvar Biyo-bariyerleri                                                                 | 54        |
| 4.2.4.3 Söğüt Örgüsü Biyo-Bariyerler                                                                | 55        |
| 4.2.4.4 Yığın Biyo-Bariyerler                                                                       | 55        |
| 4.2.5 Diğer Bariyer Türleri                                                                         | 55        |
| 4.2.5.1 Sundurma (Cantilever) Bariyerler                                                            | 56        |
| 4.2.5.2 Tünel Yapıları                                                                              | 57        |
| <b>5. GÜRÜLTÜ PERDELERİNİN AKUSTİĞİ</b>                                                             | <b>59</b> |
| 5.1 Gürültü Perdelerinin Akustik Performansı                                                        | 59        |
| 5.1.1 Bariyer Teorisi                                                                               | 59        |
| 5.1.2 Bariyerlerin Konumlandırılması                                                                | 62        |
| 5.1.3 Bariyer Uzunluğu                                                                              | 63        |
| 5.1.4 Bariyerlerde Yansıma ve Yutuculuk                                                             | 64        |
| 5.1.4.1 Poroz Yapılı Malzemeler                                                                     | 66        |
| 5.1.4.2 Membran Malzemeler                                                                          | 66        |
| 5.1.4.3 Delikli (Cavity) Ses Yutucu Malzemeler                                                      | 67        |
| 5.1.4.4 Delikli Panel Ses Yutucu Malzemeler                                                         | 68        |
| 5.2 Bariyer Akustik Etkileyen Faktörler                                                             | 69        |
| 5.2.1 Yüksek Araç Etkisi                                                                            | 69        |
| 5.2.2 Boşluk Etkisi                                                                                 | 70        |
| <b>6. GÜRÜLTÜ PERDELERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA</b>                                                     | <b>71</b> |
| 6.1 Değişkenlerin Gürültü Seviyesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi                                  | 72        |
| 6.1.1 Araç Sayılarının Değişimi                                                                     | 72        |
| 6.1.1.1 Hafif Araç Sayısındaki Değişim                                                              | 73        |
| 6.1.1.2 Ağır Araç Sayısındaki Değişim                                                               | 73        |
| 6.1.1.3 Ağır ve Hafif Taşıt Sayılarındaki Oransal Değişim                                           | 74        |
| 6.1.2 Hız Değişimi                                                                                  | 75        |
| 6.1.2.1 Hafif Araç Hızındaki Değişim                                                                | 75        |
| 6.1.2.2 Ağır Araç Hızındaki Değişim                                                                 | 77        |
| 6.1.2.3 Ağır Araç Oranındaki Değişim ile Ortalama Trafik Hızındaki Değişimin Gürültü Üzerine Etkisi | 78        |
| 6.1.3 Alıcının Konumunun Değişimi İle Gürültünün Değişimi                                           | 79        |
| 6.1.3.1 Tamamı Hafif Taşıt Trafik Hızından Oluşan Durum                                             | 79        |
| 6.1.3.2 Tamamı Ağır Taşıt Trafik Hızından Oluşan Durum                                              | 80        |
| 6.1.3.3 Ağır Taşıt Oranı Değişen Bir Trafik Olması Durumunda                                        | 81        |
| 6.1.4 Alıcının Bakış Açısının Değişimi İle Gürültünün Değişimi                                      | 82        |

|           |                                                                              |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.2       | Gürültü Bariyerleri İle Gürültünün Azaltılması Çalışması                     | 83         |
| 6.2.1     | Bariyer Yerinin Değiştirilmesi ile Sağlanan Gürültü Azalması Çalışması       | 84         |
| 6.2.1.1   | Bariyerin Gürültü Kaynağına Yakın Konumlandırıldığı Durum                    | 84         |
| 6.2.1.2   | Bariyerin Gürültü Kaynağı ile Alıcı arasında Konumlandırıldığı Durum         | 84         |
| 6.2.1.3   | Bariyerin Alıcıya Yakın Konumlandırıldığı Durum                              | 85         |
| 6.2.2     | Bariyer Yüksekliğinin Değiştirilmesi ile Sağlanan Gürültü Azalması Çalışması | 85         |
| 6.2.2.1   | Bariyerin Kaynağa Yakın Konumlandırıldığı Durum                              | 86         |
| 6.2.2.2   | Bariyerin Alıcıya Yakın Konumlandırıldığı Durum                              | 87         |
| 6.2.3     | Bariyer Malzemesinin Seçimi                                                  | 89         |
| 6.3       | Gürültü Bariyerlerinin Performansı Üzerine Örnek Çalışma                     | 90         |
| 6.3.1     | Bariyer İnşa Maliyetinin Hesaplanması                                        | 92         |
| <b>7.</b> | <b>GÜRÜLTÜNÜN EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ</b>                                 | <b>95</b>  |
| 7.1       | Çevresel Etkilerin Ekonomik Analizi                                          | 95         |
| 7.2       | Karayolu Gürültüsünü Azaltma Projelerinin Ekonomik Değerlendirme Prosedürü   | 99         |
| <b>8.</b> | <b>SONUÇ</b>                                                                 | <b>100</b> |
|           | <b>REFERANSLAR</b>                                                           | <b>103</b> |
|           | <b>BİYOĞRAFI</b>                                                             | <b>105</b> |

## **KISALTMALAR**

|            |                                                           |
|------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>SPL</b> | : Ses Basınç Seviyesi (Sound Pressure Level)              |
| <b>SWL</b> | : Ses Güç Seviyesi (Sound Power Level)                    |
| <b>AT</b>  | : Ağır Taşıt                                              |
| <b>ATO</b> | : Ağır Taşıt Oranı                                        |
| <b>HT</b>  | : Hafif Taşıt                                             |
| <b>HTO</b> | : Hafif Taşıt Oranı                                       |
| <b>TTS</b> | : Toplam Taşıt Sayısı                                     |
| <b>GK</b>  | : Geçiş Kaybı (Transmission Loss)                         |
| <b>IL</b>  | : Bariyerin Oluşturduğu Gürültü Azalması (Insertion Loss) |
| <b>ZM</b>  | : Zarar Maliyeti                                          |

## TABLO LİSTESİ

|                   | <u>Sayfa</u>                                                                             |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tablo 1.1</b>  | Bazı Seslerin Güç Seviyeleri ve Ses Düzeyleri 18                                         |
| <b>Tablo 1.2</b>  | İki Ses Kaynağının Toplanması İfadesi 20                                                 |
| <b>Tablo 1.3</b>  | Bazı Malzemelerin Ses Yutma Katsayı Değerleri 23                                         |
| <b>Tablo 4.1</b>  | Karayolu Çevresel Gürültü Sınır Değerleri 37                                             |
| <b>Tablo 6.1</b>  | Hafif Taşıt Sayısındaki Artış ile Oluşan Gürültü Değişim Değerleri 73                    |
| <b>Tablo 6.2</b>  | Ağır Taşıt Sayısındaki Artış ile Oluşan Gürültü Değişim Değerleri 73                     |
| <b>Tablo 6.3</b>  | Gürültünün Trafik Hacmi Artışı ve Ağır Taşıt Oranındaki Artış İle Değişimi 75            |
| <b>Tablo 6.4</b>  | Hafif Taşıt Ortalama Hız Artışı ile Oluşan Gürültü Değişimi 76                           |
| <b>Tablo 6.5</b>  | Hafif Taşıt Sayısı ve Ortalama Hız Artışı İle Oluşan Gürültü Değişimi 76                 |
| <b>Tablo 6.6</b>  | Araç Tipine Göre Şehir İçi ve Dışı Hız Limitleri 76                                      |
| <b>Tablo 6.7</b>  | Ağır Taşıt Ortalama Hız Artışı İle Oluşan Gürültü Değişimi 77                            |
| <b>Tablo 6.8</b>  | Ağır Taşıt Oranındaki Artışın Ortalama Trafik Hızı Artışı İle Oluşan Gürültü Değişimi 78 |
| <b>Tablo 6.9</b>  | Tamamı Hafif Taşıt Olan Bir Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafenin Gürültü Değişimi 79    |
| <b>Tablo 6.10</b> | Tamamı Ağır Taşıt Olan Bir Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafenin Gürültü Değişimi 80     |
| <b>Tablo 6.11</b> | Ağır Taşıt Oranı Değişen Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafe ile Gürültü Değişimi 81      |
| <b>Tablo 6.12</b> | Yolun Görülme Açısının Değişimi İle Gürültü Seviyesindeki Değişim 82                     |
| <b>Tablo 6.13</b> | Bariyerin Kaynağa Yakın Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler 83                        |
| <b>Tablo 6.14</b> | Bariyerin Kaynak ve Alıcı Arasında Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler 84             |
| <b>Tablo 6.15</b> | Bariyerin Alıcıya Yakın Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler 85                        |
| <b>Tablo 6.16</b> | Bariyerin Kaynağa Yakın Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler 86                        |
| <b>Tablo 6.17</b> | Bariyerin Alıcıya Yakın Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler 88                        |
| <b>Tablo 6.18</b> | Bariyer Yüzey Kütlesine Göre Sağladığı GK Değerleri 89                                   |
| <b>Tablo 6.19</b> | Bariyer Yüzey Kütlesine Göre Sağladığı GK Değerleri 90                                   |
| <b>Tablo 6.20</b> | Değişkenlere Göre Bariyer Yüksekliği Seçimi 91                                           |
| <b>Tablo 6.21</b> | Değişkenlere Göre Bariyer Malzemesi Seçimi 92                                            |
| <b>Tablo 6.22</b> | . Betonarme Gürültü Bariyeri (7 m) İnşa Maliyeti 92                                      |
| <b>Tablo 6.23</b> | Plywood Gürültü Bariyeri (7 m) İnşa Maliyeti 93                                          |
| <b>Tablo 6.24</b> | Plywood Gürültü Bariyeri (5 m) İnşa Maliyeti 93                                          |
| <b>Tablo 6.25</b> | Betonarme Gürültü Bariyeri (5 m) İnşa Maliyeti 94                                        |
| <b>Tablo 7.1</b>  | Betonarme Gürültü Bariyeri İnşa Maliyetleri Tablosu 97                                   |
| <b>Tablo 7.2</b>  | Zarar Maliyetleri Tablosu 98                                                             |
| <b>Tablo 7.3</b>  | Toplam Maliyet Tablosu 98                                                                |

## ŞEKİL LİSTESİ

|              | <u>Sayfa</u>                                                                                                              |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 1.1 :  | Ses Karakteristikleri 4                                                                                                   |
| Şekil 1.2 :  | Ses Şiddeti Vektörü 6                                                                                                     |
| Şekil 1.3 :  | Ses Basıncının Değişim Aralığı 8                                                                                          |
| Şekil 1.4 :  | Dalga Formları ve Frekanslar 8                                                                                            |
| Şekil 1.5 :  | Filtreler 9                                                                                                               |
| Şekil 1.6 :  | Bant Geçirgen Filtreler ve Bant Genişliği 9                                                                               |
| Şekil 1.7 :  | 1/1 ve 1/3 Oktav Filtreleri 10                                                                                            |
| Şekil 1.8 :  | İşitme Sınırları 11                                                                                                       |
| Şekil 1.9 :  | Arı Sesler İçin Eşdeğer Gürültü Eğrileri “Equal Loudness Contours” 12                                                     |
| Şekil 1.10 : | 40 dB Eşdeğer Gürültü Eğrisi ve A-ağırlıklı Filtre 13                                                                     |
| Şekil 1.11 : | Frekans Ağırlık Eğrileri 14                                                                                               |
| Şekil 1.12 : | Ses Düzeyi Parametreleri 15                                                                                               |
| Şekil 1.13 : | Ses Basınç Seviyelerinin Kaynaktan Mesafe İle Azalması 17                                                                 |
| Şekil 1.14 : | Ses Isı Benzerliği 19                                                                                                     |
| Şekil 1.15 : | Sesin Yayılması 20                                                                                                        |
| Şekil 1.16 : | Sesin Havada Yayılması 21                                                                                                 |
| Şekil 1.17 : | Malzeme Yüzeyine Gelen Ses Enerjisinin Emilmesinin Şematik Gösterimi 21                                                   |
| Şekil 1.18 : | Noktasal Ses Kaynağının Şematik Gösterimi 24                                                                              |
| Şekil 1.19 : | Çizgisel Ses Kaynağının Şematik Gösterimi 25                                                                              |
| Şekil 1.20 : | Düzlemsel Ses Kaynağının Şematik Gösterimi 25                                                                             |
| Şekil 4.1 :  | Sedlerin Uygulama Şekli 39                                                                                                |
| Şekil 4.2 :  | Sed / Düşey Bariyer Karşılaştırması 42                                                                                    |
| Şekil 4.3 :  | Sedlerde Bitkilendirmenin Uygulama Şekli 44                                                                               |
| Şekil 4.4 :  | Ahşap Bariyer ve Kutu Tipi Bariyerin Kesişim Noktası 45                                                                   |
| Şekil 4.5 :  | Ön Yüzde 6 mm Çaplı Delikler Olan Profilli Metal Bariyer 46                                                               |
| Şekil 4.6 :  | New Jersey “Laghi” Duvarı Üzerine Monte Edilmiş Şeffaf Basamaklı Pencere Olan Ses Yutucu Özellikteki Alüminyum Bariyer 47 |
| Şekil 4.7 :  | Alüminyumda Serbest Akım Fonksiyonel Tasarım Örneği 47                                                                    |
| Şekil 4.8 :  | Görsel Çeşitlilik Oluşturmak Amacıyla Gürültü Bariyerine Eklenen Yükselen Çerçeveler Ve Yatay Pencere 48                  |
| Şekil 4.9 :  | Görsel Olarak İstenmeyen, Tekdüze Beton Gürültü Perdesi 49                                                                |
| Şekil 4.10 : | Ahşap Lifli (Solda) Ve Tanecikli (Sağda) Malzemedan İmal Edilmiş, Değişik Formlardaki Beton Gürültü Perdeleri 50          |
| Şekil 4.11 : | Paris’te Uygulanan Renkli, Plastik Gürültü Perde Örneği 50                                                                |
| Şekil 4.12 : | Akrilik Plakaların Estetik ve Fonksiyonel Birer Örneği 51                                                                 |
| Şekil 4.13 : | Biyo-bariyer Kesitleri 53                                                                                                 |

|                     |                                                                                             |    |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.14 :</b> | Biyo-bariyer Sed Karşılaştırması                                                            | 54 |
| <b>Şekil 4.15 :</b> | Sundurma Bariyerlerin Uygulama Örnekleri, Zeist ve Dordrecht, Hollanda                      | 56 |
| <b>Şekil 4.16 :</b> | Yolların Kapatılması Örnekleri                                                              | 57 |
| <b>Şekil 4.17 :</b> | Genoa, İtalya, Tünel Uygulaması Örneği                                                      | 58 |
| <b>Şekil 5.1 :</b>  | Sesin Yayınım Kabulleri                                                                     | 59 |
| <b>Şekil 5.2 :</b>  | Sesin Yayınım Kabulleri (Engelli)                                                           | 60 |
| <b>Şekil 5.3 :</b>  | Gürültü Perdesinde Ses Işınlarnının Hareketinin Şematik Gösterimi                           | 60 |
| <b>Şekil 5.4 :</b>  | Mesafe Farkı ve Potansiyel Bariyer Düzeltmesi                                               | 61 |
| <b>Şekil 5.5 :</b>  | Bariyerin Konumlandırılması                                                                 | 63 |
| <b>Şekil 5.6 :</b>  | Bariyerin Uzunluğu                                                                          | 64 |
| <b>Şekil 5.7 :</b>  | Bariyerde Yansıma                                                                           | 65 |
| <b>Şekil 5.8 :</b>  | Poroz Yapılı Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı                                | 66 |
| <b>Şekil 5.9 :</b>  | Poroz Membran Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı                               | 67 |
| <b>Şekil 5.10 :</b> | Helmholtz Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı                                   | 68 |
| <b>Şekil 5.11 :</b> | Delikli Panel Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı                                          | 68 |
| <b>Şekil 5.12 :</b> | Yüksek Araç Etkisi                                                                          | 69 |
| <b>Şekil 5.13 :</b> | Yüksek Araç Etkisi ve Bariyer Tipi                                                          | 69 |
| <b>Şekil 5.14 :</b> | Boşluk Etkisine Karşı Paralel Bariyer Konulması                                             | 70 |
| <b>Şekil 6.1 :</b>  | Hafif Taşıt Sayısındaki Artışın Gürültü ile Değişim Grafiği                                 | 73 |
| <b>Şekil 6.2 :</b>  | Ağır Taşıt Sayısındaki Artışın Gürültü ile Değişim Grafiği                                  | 74 |
| <b>Şekil 6.3 :</b>  | Ağır Taşıt Oranındaki Artışın Gürültü ile Değişim Grafiği                                   | 74 |
| <b>Şekil 6.4 :</b>  | Ortalama Hız Artışı ile Oluşan Gürültünün Değişimi (HT)                                     | 75 |
| <b>Şekil 6.5 :</b>  | Ortalama Hız Artışı ile Oluşan Gürültü Değişimi (AT)                                        | 77 |
| <b>Şekil 6.6 :</b>  | ATO Değişimine Karşılık Ortalama Hız Artışı ile Oluşan Gürültü Değişimi                     | 78 |
| <b>Şekil 6.7 :</b>  | Tamamı Hafif Taşıt Olan Bir Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafe ile Gürültü Değişimi Grafiği | 79 |
| <b>Şekil 6.8 :</b>  | Tamamı Ağır Taşıt Olan Bir Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafe ile Gürültü Değişimi Grafiği  | 80 |
| <b>Şekil 6.9 :</b>  | Ağır Taşıt Oranı Değişen Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafe ile Gürültü Değişimi Grafiği    | 81 |
| <b>Şekil 6.10 :</b> | Alıcı ve Kaynak Arasındaki Açının Şematik Gösterimi                                         | 82 |
| <b>Şekil 6.11 :</b> | Bariyer, Alıcı ve Kaynağa Ait Mesafe ve Yüksekliklerin Gösterimi                            | 83 |
| <b>Şekil 6.12 :</b> | Bariyerin Konumuna Göre Gürültü Azalma Miktarları                                           | 85 |
| <b>Şekil 6.13 :</b> | Bariyer Yüksekliğine Göre Bariyerin Konumu ve Gürültü Azalma Miktarı Grafiği                | 87 |
| <b>Şekil 6.14 :</b> | Bariyer Yüksekliğine Göre Bariyerin Konumu ve Gürültü Azalma Miktarı Grafiği                | 88 |
| <b>Şekil 7.1 :</b>  | İki Maliyet Eğrisinin Klasik Optimizasyonu                                                  | 96 |
| <b>Şekil 7.2 :</b>  | Örnek çalışma Maliyet Eğrilerinin Klasik Optimizasyon Sonuç Grafiği                         | 98 |

## **KARAYOLU GÜRÜLTÜSÜ VE GÜRÜLTÜ PERDELERİNİN EKONOMİK ANALİZİ**

### **ÖZET**

**Bu çalışmada, öncelikle tezin amacına yönelik temel bilgileri sağlamak amacıyla temel ses kavramları, sesin fiziksel özellikleri, ses düzeyi tanımları, sesin yayılması ve ses kaynak türleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, çeşitli ulaşım türlerinden kaynaklanan gürültü türleri belirtildikten sonra karayolu kaynaklı gürültü türleri ve bu tür bir gürültüyü oluşturan faktörler incelenmiştir. Gürültü bariyerlerinin akustik davranışı ve bu davranışı etkileyen faktörler incelenerek tez çalışmasının temeli oluşturulmuştur.**

**Gürültü bariyerlerinin performansını etkileyen değişkenlerin etkileri sırasıyla araştırıldıktan sonra örnek bir çalışma ile Bayındırlık Bakanlığı'na yayımlanan poz birim fiyatlarına göre gürültü bariyerlerinin inşaa maliyeti araştırması ve Hedonik fiyat tekniğı ile ekonomik değerdendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bariyer yüksekliğı, trafik kompozisyonuna ve miktarına göre belirlenmelidir. Belirlenen bariyer olabildiğince gürültü kaynağına yakın yerleştirilmelidir. Bariyerde kullanılacak malzeme seçiminde ise bariyerin konumu, yolun trafik hacmi ve bariyerin inşaa edileceğı alanın ekonomik değeri etkilidir. Sonuç olarak gürültü üzerinde yapılması gereken çalışmaların yolların planlanması aşamasında göz önünde bulundurulması gerektiğı ve mevcut yollarda yapılacak çalışmalarda ise gürültü bariyerinin akustik davranışlarının dikkate alınarak karar verilmesi gerektiğı sonucuna varılmıştır.**

## **HIGHWAY NOISE AND ECONOMIC EVALUATION OF NOISE BARRIERS**

### **SUMMARY**

**In this study first, it is given some information about sound terminology, physical properties of sound, sound level definitions, sound propagation and noise source types to supply a basis for this thesis. Moreover, after explaining the types of transportation noise sources on vehicles, highway noise and other main sources are explained in detail. The main subject of the thesis, noise barriers, is examined about their acoustic performance and factors that effect their performance.**

**After a detail study about the performance factors was made, a cost analysis of a barrier according to pose numbers announced by Turkish Ministry of Public Works and an economic evaluation according to Hedonic price method was made. Results of the study show that, the height of the barrier must be decided according to composition and volume of the traffic. The barrier should be placed as possibly as near to the source of the noise. Material used in the barrier construction must be chosen according to location of the barrier, traffic volume of the road and the value of the site where the barrier located on. As a result, all study shows that highway noise must be taken into consideration during highway planning studies and to make a decision about noise barrier construction on existing highways, noise barrier acoustic behavior must be considered as well.**

## GİRİŞ

Hayat, çevre denilen sistem bütünü içersindeki canlı ve cansızların birbirleri ile etkileşimi olarak tanımlanabilir. Bu sistem içersinde canlıların yaşamları ile ilgili her konu çevre ile bağıntılıdır. Ulaşım da bu etkileşimlerden biridir. Ulaşım, hayatın devamı için gerekli olan hareketlilik olarak tanımlanabilir. Bu basit ulaşım tanımı içersinde sosyal, ticari ve diğer her türlü amaç taşıyan hareketlilik yer almaktadır.

Karayolu ulaşımı, ulaşımın tüm türleri içersinde en fazla kullanılan ve çevre ile ilişkisi en fazla olanıdır. Ulaşım için gereken ulaşım yapıları ve teknolojiler, yerleşim alanları arasındaki bağları kurar ve sosyal, kültürel ve ekonomik olarak sosyal yaşamda etkili bir rol oynayarak hayatın devam etmesine önemli bir katkıda bulunur.

Karayolu ve çevre arasındaki ilişkilerin kapsamı ve etkileri araştırılırken, o karayolunun geometrik özellikleri ile kapasitesi incelenmelidir. Yolun standardının ve kapasitesinin ne olacağı, alternatif yol güzergâhları, seçilen yol güzergâhı üzerinde yapılacak olan toplam toprak işi miktarı ve bu yol güzergâhının geçtiği bölgenin fiziki, iklimsel, sosyal, kültürel ve ekonomik özellikleri, yapılacak olan yolun çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde göz önüne alınan ana faktörlerdir.

Bir karayolunun çevresel etki incelemesini iki aşamalı değerlendirmek gerekir. Bunlardan ilki yolun inşası sırasında çevreye olan etkileridir. Bunlar kısaca yol güzergâhı üzerindeki habitatların bozulması, inşası sırasında kullanılan araçlardan çıkan kirletici emisyonlar ve gürültü, sızıntılar, artıklar olarak özetlenebilir. İkincisi ise yolun hizmet ömrü süresince çevreye olan etkileridir. Bu etkilerin en önemleri o yol üzerinde işleyen araçlardan kaynaklanan etkilerdir. Havaya salınan yanma artığı olan kirletici emisyonlar ve bu yolu kullanan taşıtların meydana getirdiği taşıt gürültüsü bu etkilerin başlıcalarıdır.

Günümüzde yaşadığımız ortamların bir parçası haline gelen gürültü, insanlar için tam bir tehlike kaynağı olup, var olan doğal sesin kirlenmiş hali olarak tanımlanmaktadır. Bu yönüyle rahatsız edici olarak karşımıza çıkar. Rahatsızlık kavramı sadece sesin

kalitesine değil, bizim bu olaya gösterdiğimiz tepkiye de bağlıdır. Örneğin bazı kişilerin hoşuna giden müzik türü, özellikle yüksek sesli ise, başkaları tarafından gürültü olarak nitelendirilebilir. Ancak trafik gürültüsünün algı olarak hiç kimseye hoş geldiği söylenemez, burada yalnızca algıda seçicilik ön plandadır. Kimi insanlar arka plan trafik gürültüsünün farkına dahi varmaz.

Sosyal hayatta yaşanan gelişimler, teknolojik ilerleme ve bunlara bağlı olan hareketlilik artışı, gürültünün de kaçınılmaz olarak insan hayatına girmesine sebep olmuştur. Geçmişe nazaran otoyolların uzunluğunun ve sayısının artması ve değişen hayat standartları nedeniyle trafikteki hızlı artışlar ve yoğunlaşmalar, şehir ve anayollardan kaynaklanan rahatsızlığın şehir merkezlerinden kırsallarla ve köylere doğru yayılmasına neden olmaktadır. Metropol yaşamın kaçınılmaz sonuçlarından biri olan ve ülkemizde de büyükşehirlerde karşımıza çıkan yoğun trafik yollarına yakın bölgelerde yaşama durumu, bazıları için ulaşım kolaylığı açısından çekici olmakla beraber, o bölgede oluşan trafik gürültüsünün yaşam alanlarını, hastane ve ibadethaneleri olumsuz şekilde etkilemesi nedeniyle kişilerin hayat standardının bozulmasına neden olmaktadır.

Hayatımızda çok çeşitli görünümlerle karşımıza çıkan yol trafiği gürültüsü sorunu, ulaşım mühendisliği ve şehir bölge planlaması açısından araştırılması ve çözülmesi gereken önemli bir konu oluşturmakta, gürültünün neden olduğu rahatsızlık ulaşım mühendisleri ve şehir bölge planlamacılarının kesinlikle planlama aşamasında göz önünde bulundurması gereken bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsanlar planlama aşamasında göz önünde bulundurulmayan trafik gürültüsünün olumsuz etkileri nedeniyle bu gürültü ile yaşamaya zorlanmaktadırlar. Trafiğin kaçınılmaz olduğu noktalarda ise diğer çözüm yollarına başvurulmalıdır. Uykusuzluk, stres ve diğer ruhsal hastalıklar, gürültü nedeniyle şehir yaşamının alışılmış rahatsızlıkları olarak karşılanmaktadır.

Diğer kirlenme türlerinde olduğu gibi kirlenmiş sesin artırılması da çok uğraşı gerektirmektedir. Günümüzde bu problemin çözümü olarak sunulan çalışmalar, böyle bir sesin alıcıya ulaşmasını engellemek yönünde olmaktadır. Böyle bir çalışma da hem fiziksel hem de ekonomik açıdan oldukça ağır bir yük teşkil etmektedir. Dolayısıyla, gürültü ile mücadeleye planlama aşamasında iken başlanması gerekmektedir.

Kabul edilebilir maliyet sınırları içinde, kabul edilebilir gürültü miktarı oluşturma amacına yönelik ve değişkenleri performans ve maliyet, elemanları ise kaynak, çevre ve insan (kullanıcı) olan gürültü kontrolü; gerçekte bir sistem problemidir. Gürültünün fiziksel özellikleriyle kullanıcılar üzerinde etkileri arasındaki ilişkileri vermekte olan tasarı kriterlerinin belirlenmesi yoluyla sistemin değişkenleri arasında optimum bir çözüm elde edilebilmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda gürültü ve önlemleri konusunda teorik ve ekonomik analizler yapılmıştır. Bu çalışmada ise, karayolu ulaşımından kaynaklanan gürültü problemi, etkili faktörler ve bu problemin gürültü bariyerleri ile azaltılmasında ekonomik açıdan optimum çözüm incelenmektedir. Bu inceleme sırasında önce bariyer boyutlandırması ve buna bağlı olarak maliyet analizi yapılmaktadır. Bu analizlerde Bayındırlık Bakanlığı'nın birim fiyat tarifesinden yararlanılmıştır.

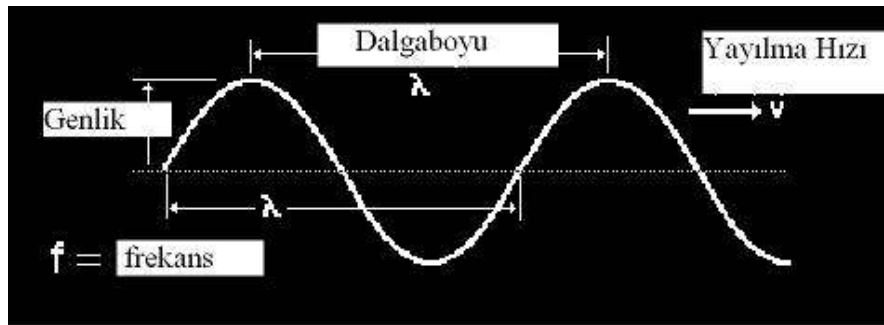
## 1. SES VE GÜRÜLTÜ

Ses, titreşen bir kaynaktan yayılan hava basıncı dalgalarının oluşturduğu ve insanda işitme duygusunu uyaran fiziksel bir olgu olarak tanımlanır. Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji türü olup, tamamen fiziksel bir olaydır. Fiziksel olarak ses, bir basınç altında hava gibi elastik bir ortamdaki parçacıkların yer değiştirmesidir. Gürültü ise basit bir ifadeyle istenmeyen ses olarak tanımlanabilir. Bir başka ifade ile gürültü, gelişigüzel bir yapısı olan ve bağımsız frekans bileşenleri olmayan bir spektrum olarak tanımlanabilir (Haris,1979).

Ses dalgalarının oluşumu, iletimi, etkileri ve işitme ile ilgili konuları inceleyen ve uygulama olanaklarını araştıran bilim “Akustik” olarak adlandırılır.

### 1.1 Temel Ses Kavramları

Saf ton bir ses dalgasının hareketi, matematiksel olarak sinüs veya kosinüs fonksiyonu biçiminde, temel bir frekansla kendini tekrarlayan ve basit harmonik hareket oluşturan periyodik bir dalga olup; “Genlik”, “Frekans”, “Hız” ve “Dalga boyu” terimleri ile açıklanabilir. Ses ile ilgili tanımlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.1: Ses Karakteristikleri

#### 1.1.1 Genlik

Maksimum ve minimum basınç düzeyleri arasındaki farktır. Sinüs veya kosinüs şeklindeki kendini tekrarlayan periyodik dalganın herhangi bir anındaki genlik (uzanım),  $r$  genlik,  $f$  frekans,  $t$  zaman,  $x$  dalganın aldığı yol,  $c$  ses hızı,  $2\pi f$  açısal hız olmak üzere şu bağıntı ile hesaplanır:

$$y = r.Sin[2\pi f(t - x/c)] \quad (1.1)$$

### 1.1.2 Frekans

Birim zamandaki (sn) titreşim sayısıdır.  $f$  ile gösterilir. Frekans birimi Hertz (Hz)dir. 1 Hz, saniyede bir titreşim demektir. Yüksek frekans değerleri için Hertz'in bin katı olan kilohertz (kHz) birimi kullanılır. İnsan kulağının duyabildiği ses frekans değerleri 16 ile 20000 Hz arasında olan titreşimlerdir. Eğer bir frekans 16 Hz'in altında ise bu tür titreşimlere ses altı titreşimler, frekansı 20 kHz'in üzerindeki titreşimlere ise ses üstü titreşimler denilmektedir.

Frekans yükseldikçe, yani saniyedeki titreşim sayısı arttıkça ses inceler. 16 Hz işitilebilen en kalın ses, 20.000 Hz ise en ince sestir.

### 1.1.3 Devir Süresi

Devir süresi, bir titreşimin süresidir. Birimi saniyedir. İnsan kulağı tarafından duyulan seslerin titreşimi 1/16 ile 1/16000 sn arasındadır.

Devir süresi T ile gösterilirse;

$T = 1/f$  şeklinde ifade edilebilir.

### 1.1.4 Dalgaboyu

İki dalga tepesi arasındaki dik mesafedir. Bir başka deyişle, titreşimin yayılışında, titreşimin bir devir süresi içinde gittiği yola verilen isimdir. Dolayısıyla dalga boyu sesin titreşim hareketi özellikleriyle ortamın özelliklerine bağlıdır. Sesin ortamlara göre yayılma hızı farklı olacağından doğal olarak dalga boyu da farklı olacaktır. Lamda ( $\lambda$ ) ile gösterilir. Frekans ( $f$ ) ve sesin hızına ( $c$ ) bağlıdır.

$$\lambda.f = c \quad (1.2)$$

### 1.1.5 Hız

Ses dalgasının ortamda yayılma hızını (m/sn) ifade eder. İletildiği ortama ve o ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Havanın ideal gaz gibi davrandığı varsayımı ile sesin hızı (m/sn) ve havanın sıcaklığı ( $T$  °C) arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$V = 331,5 + (0,6 * T) \quad \text{m/sn} \quad (1.3)$$

Yaklaşık olarak 21°C sıcaklıkta sesin hızı 344 m/sn dir.

Duyduğumuz sesler genellikle birbiri üzerine binmiş birçok frekanstan oluşur. Bir noktasal kaynaktan yayılan ses dalgası, serbest alanda, (başka bir ses kaynağı veya yansıtıcı yüzey olmaksızın) giderek büyüyerek, küresel olarak yayılır. Bir ses kaynağı tarafından P gibi bir ses gücü üretildiğinde, kaynaktan komşu hava moleküllerine doğru bir enerji akışı meydana gelir. Bu şekilde enerji, gölde dalgaların büyüyen daireler şeklinde uzaklaşmasına benzer şekilde ortama yayılır. Yayılmakta olan enerji, geçtiği her noktada ses basıncına sebebiyet verir. Yayılan bu enerjinin belli bir yönde birim zamanda birim alandan geçen miktarına “Ses Şiddeti” denir. Birimi Watt/m<sup>2</sup> dir. Bir dalganın ses kaynağına uzaklığı iki kat arttığında, küresel alanı dört kat artar. Ses şiddeti uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalır.

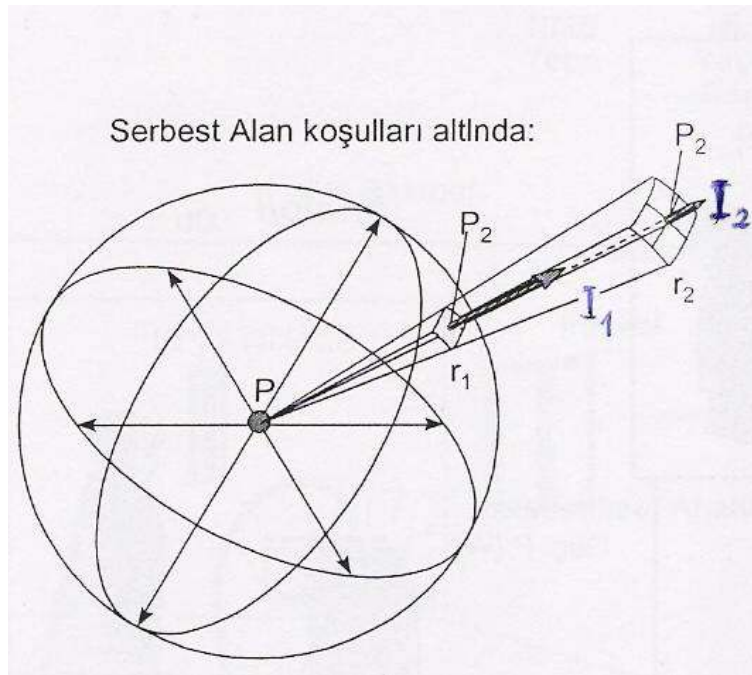
$\rho$  havanın yoğunluğu, c ses hızı ve r kaynağa olan uzaklık olmak üzere üç temel parametreyi birbirine bağlayan formül aşağıda verilmiştir.

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (1.4)$$

Güç : P (W)

Şiddet : I (J/s/m<sup>2</sup>)=(W/ m<sup>2</sup>)

Basınç : p (Pa=N/ m<sup>2</sup>)



Şekil 1.2: Ses Şiddeti Vektörü (IYEM-Brüel&Kjær)

Ses şiddeti ve ses basıncı uygun enstrümanlar kullanılarak ölçülebilmektedir. Ses gücü, ölçülen ses basıncı veya ses şiddeti değerleri ve ölçülen yüzey büyüklüğü yardımıyla hesaplanabilir.

Ses gücü, makinelerin çıkardıkları gürültüye göre sıralandırılmasında, ses şiddeti ise gürültü kaynaklarının tespitinde kullanılmaktadır. Gürültü kaynaklarının tahribat ve kötü etkiler için izlenmesi gereken en önemli parametre ise ses basıncıdır.

## 1.2 Ses Düzeyi

### 1.2.1 Ses Düzeyi İle İlgili Bazı Tanımlar

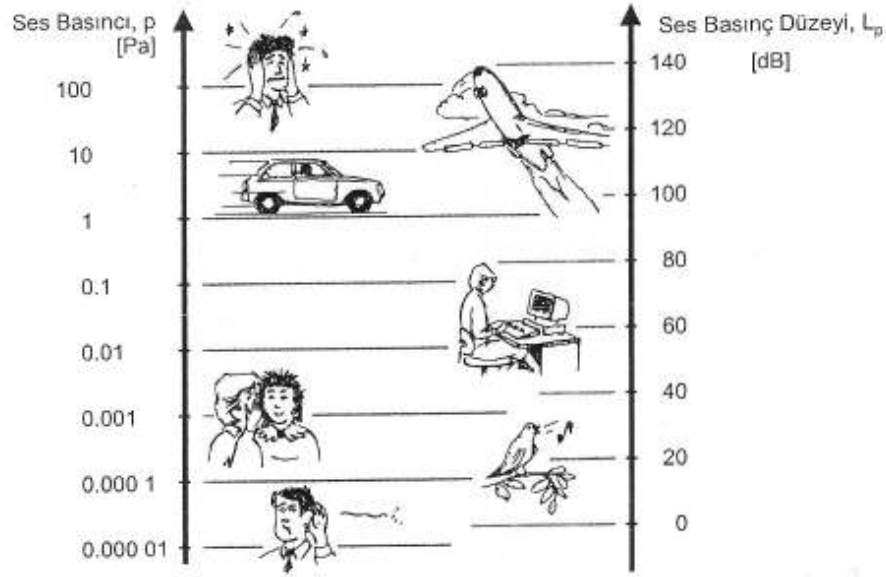
**dB:** Desibel, bir oranı veya görelî bir değeri gösterir. Alexander Graham Bell'in anısına bel adı verilen birim, iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Yani 1 bel, oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir. Bu oranın çok büyük olmasından dolayı "Desibel" adı verilen ve oranların 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.

20 mikropaskal ( $\mu\text{Pa}$ ) ile 100 Paskal (Pa) arasındaki duyulabilir ses basınç değişimleri statik hava basıncına (yaklaşık değeri 100.000 Pa olan atmosfer basıncı) nazaran düşük seviyeli değişikliklerdir.

20  $\mu\text{Pa}$  ortalama bir kişi tarafından duyulabilecek en düşük ses seviyesi olarak kabul edilmiştir ve bu nedenle DUYUM EŞİĞİ olarak adlandırılır.

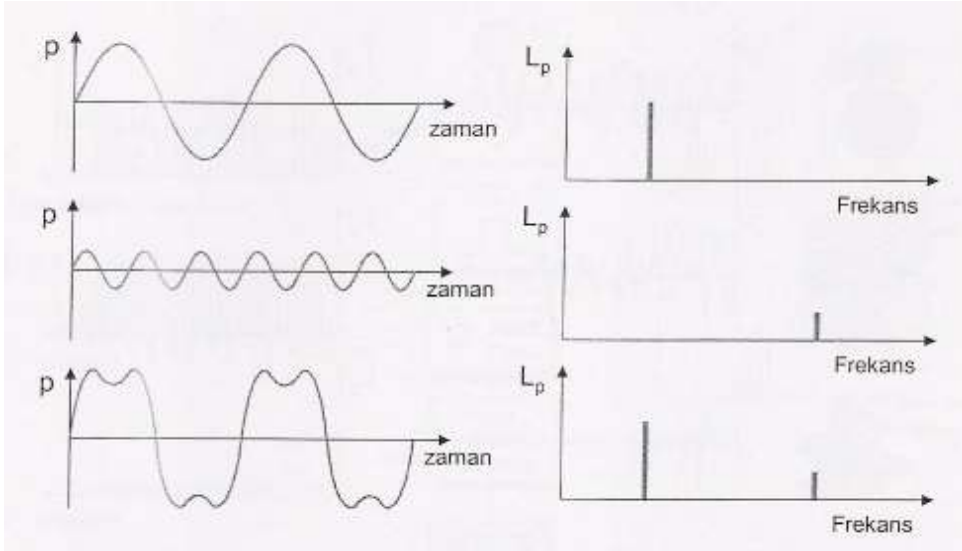
100 Pa ise acı veren çok yüksek bir seviyedir ve bu nedenle ACI EŞİĞİ olarak adlandırılır.

Bu iki seviye arasındaki oran milyon mertebesinde ve kullanılacak olan Pa cinsinden bir lineer skalanın aralığı çok büyük olacaktır. Bu nedenle kullanılan skala lineer değil logaritmiktir. Ölçüm değişim aralıkları daha kolay izlenebilir olmaktadır.



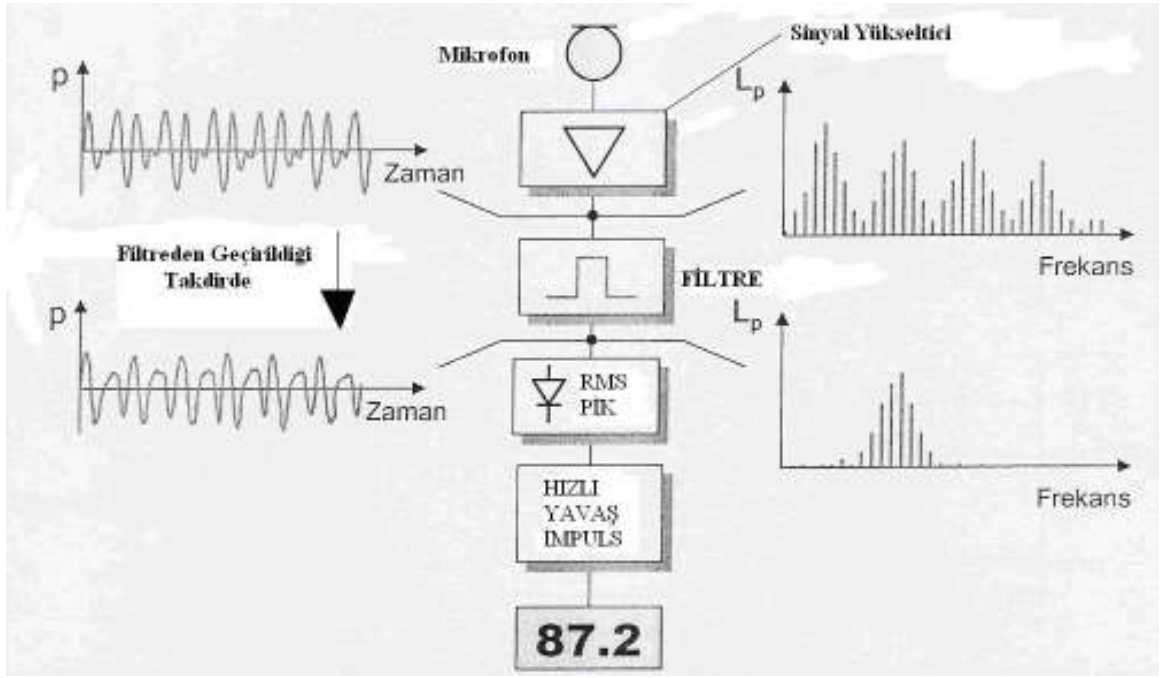
**Şekil 1.3:** Ses Basıncının Değişim Aralığı (IYEM-Brüel&Kjær)

#### **Frekans Analizi ve dB(A):**



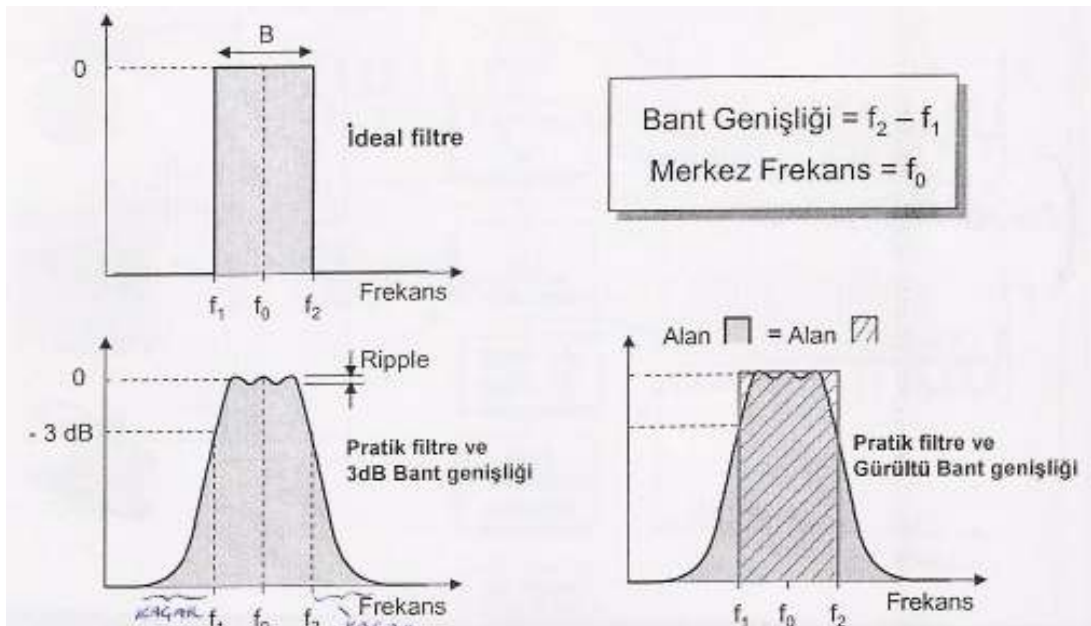
**Şekil 1.4:** Dalga Formları ve Frekanslar (IYEM-Brüel&Kjær)

Yukarıda iki farklı frekanstaki ses ile bunların toplamına ilişkin zaman ve frekans eksenlerinde nasıl görüldüğü tariflenmiştir. Çevre gürültüsünün pek çok ses sinyalinin karmaşık yapısından oluştuğunu düşündüğümüzde, frekans analizinin bize kazandırdığı şey, bir sinyalin hangi büyüklükteki hangi frekans bileşenlerinden meydana geldiğini göstermesidir. Elde edilen frekans bileşenlerinin sayısı (spektrumdaki çizgi sayısı), analizin hassasiyetini belirleyen bir faktördür ve kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir.



Şekil 1.5: Filtreler (IYEM-Brüel&Kjær)

Ses sinyallerini analiz edebilmek için frekans filtrelerine ihtiyaç vardır. Yukarıda gösterilen akış diyagramı basit bir ses ölçüm cihazındaki elemanları göstermektedir. Bu akış şemasına göre ilk başta alıcı görevinde bir mikrofon yer alır ve sinyal yükseltici vasıtasıyla sinyalin seviyesi yükseltilir. Frekans filtrelerinden geçen sinyal standart zaman sabitlerine (hızlı, yavaş, darbe) sahip olacak şekilde rektifiye edilir ve dB'e çevrilerek ekrana aktarılır.



Şekil 1.6: Bant Geçirgen Filtreler ve Bant Genişliği (IYEM-Brüel&Kjær)

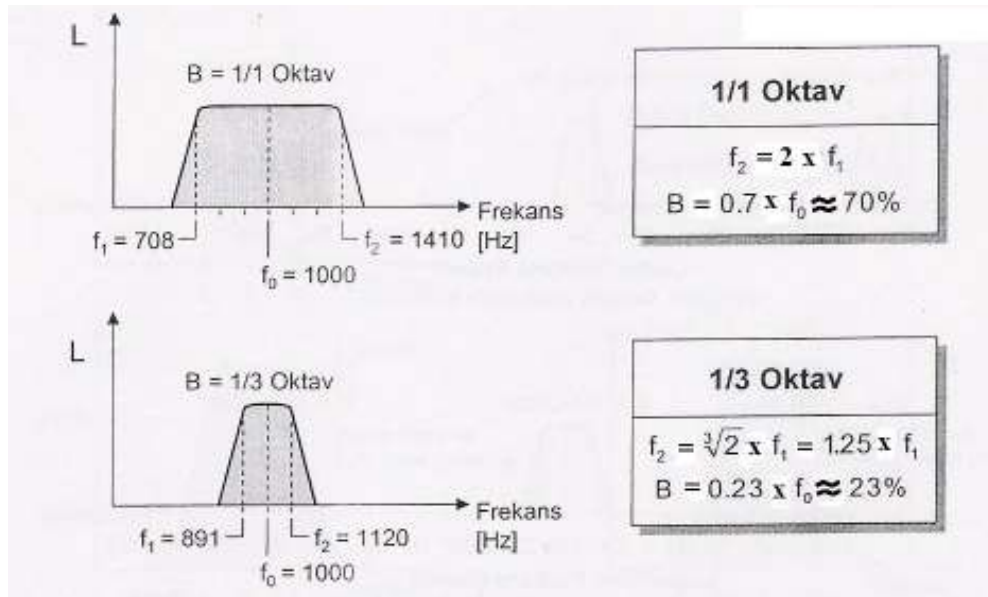
İdeal filtreler sadece matematiksel olarak kabul edilirler, ancak gerçekte kullanılan filtrelerin düzgün bir şekli yoktur. Matematiksel kabul halindeki tepesi düzgün bir filtre ile gerçek filtrelerin birbirinden farkı “Ripple” (dalgalanma faktörü) olarak adlandırılır.

Bir filtrenin “Bantgenişliği”, seviyenin 3 dB (metrik olarak 0,707’sine) düştüğü noktadaki frekansların farkı olarak tarif edilir.

Bir filtrenin “gürültü bantgenişliği” ise gerçek filtrenin taradığı alana eş alan tarayan ideal bir filtrenin bantgenişliğidir.

Bantgenişliği sabit olan (örneğin 400 Hz gibi) filtreler lineer bir frekans ekseninde gösterilir. Bu tip filtreler çoğunlukla titreşim sinyallerinin analizi sırasında kullanılmaktadır.

Bantgenişliğinin merkez frekansa oranı sabit olan filtreler ise logaritmik bir eksende gösterilirler. Bu tip filtreler insan kulağının filtreleme yapısına en yakın karakteristiğe sahip olduğundan akustik uygulamalarda daha çok kullanılır (örneğin oktav filtreleri).



Şekil 1.7: 1/1 ve 1/3 Oktav Filtreleri (IYEM-Brüel&Kjær)

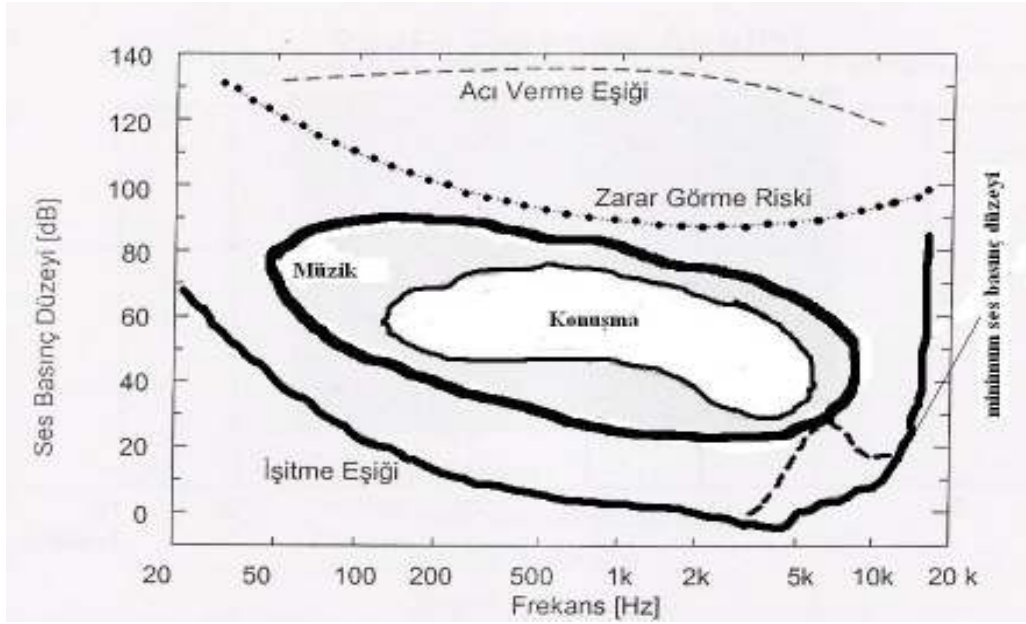
Kullanılan en geniş oktav filtresinin bantgenişliği 1 oktavdır. Bunun dışında 1/3 veya 1/12 gibi daha dar genişlikte oktav bantları bulunmaktadır. Bu tip filtrelere “sabit oranlı bant genişliği” filtreleri denilmektedir. Burada orandan kasıt bantgenişliğinin merkez frekansına oranının sabit olmasıdır. Örneğin 1/1 oktav filtresinde bantgenişliğinin merkez frekansına oranı yaklaşık olarak %70’dir.

En popüler olanlar ise 1/3 oktav filtreleridir. Bu filtrelerin en büyük avantajı, özellikle 500 Hz üzerindeki bantların insan duyu sisteminde yer alan frekans filtrelerine benzemesidir.

Bugüne kadar geliştirilen en dar banda sahip filtre 1/96 oktavdır.

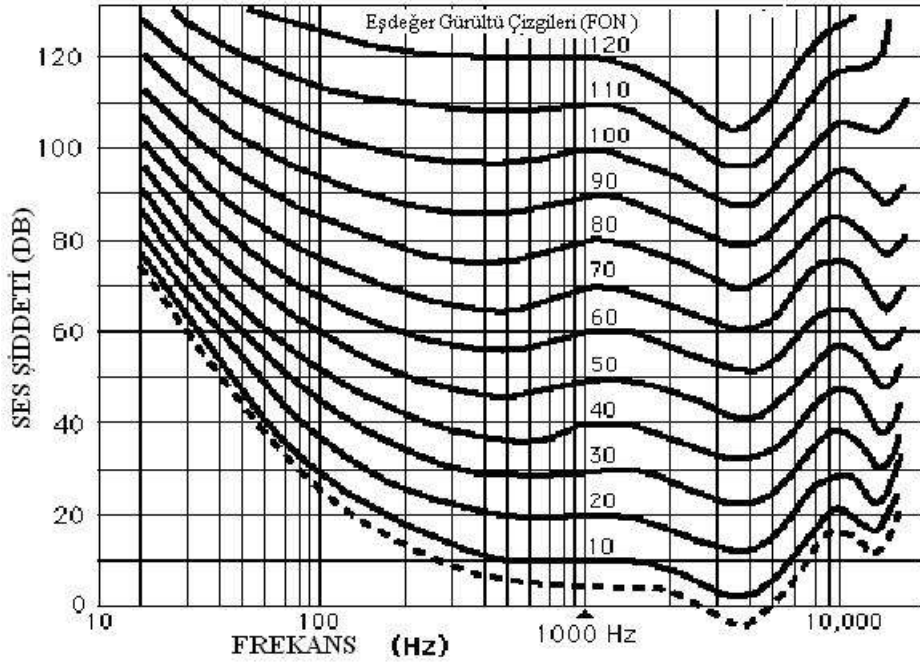
Sabit oranlı bantgenişliğine sahip filtrelerin bir avantajı, komşu iki filtrenin birleşerek bant genişliği her bir filtrenin iki katı olan tek ve düzgün bir filtre meydana getirebilmek özelliğidir. Birbirine komşu 1/3 oktavlık üç oktav bandı birleştiğinde 101 oktav filtresi oluşturur.

Sonuç olarak, 1/3 oktav bant filtreleri kullanılsa dahi bir “frekans aralığından” söz edilmektedir. Gürültünün tam olarak hangi frekansta olduğunu söyleyebilmek için daha ayrıntılı çözünürlüğe sahip ölçümler yapmak gerekir. Bu da hem pahalıdır hem de daha çok zaman gerektirir.



**Şekil 1.8:** İşitme Sınırları (IYEM-Brüel&Kjær)

Yukarıda bir insanın işitebileceği sesin limitleri gösterilmektedir. En altta yer alan sınır çizgisi arı sesin duyulmaya başladığı en düşük seviyeye karşılık gelmektedir. En üstteki kesik çizgi sınırı ise acı verme eşiğini belirler. Ayrıca zarar görme sınırı üzerinde belirli süre gürültüye maruz kalındığında kalıcı ses kayıpları meydana gelebilir. Yüksek frekanslarda işitme eşiği sağ alttaki gibi yükselebilir.



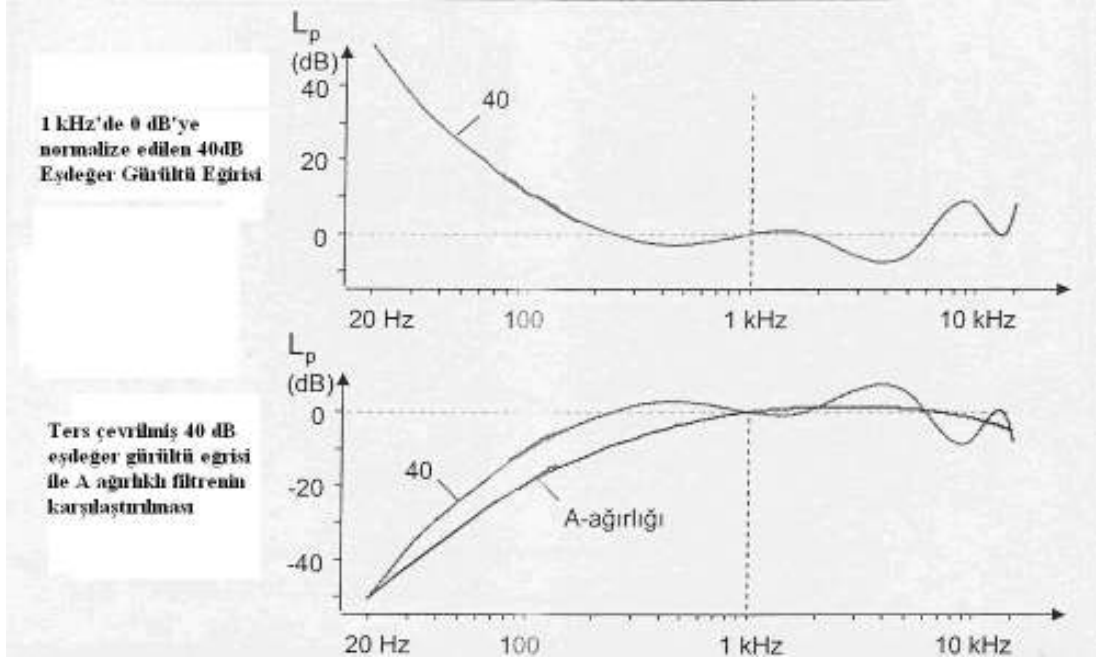
**Şekil 1.9:** Arı Sesler İçin Eşdeğer Gürültü Eğrileri “Equal Loudness Contours” (Marsh, 1999)

İnsan kulağı en fazla 500 Hz ile 4000 Hz frekans aralığına sahip seslere duyarlıdır. Bu değerler konturları dışında yer alan seslere ise daha az duyarlıdır. Yukarıda arı sesler için eşdeğer gürültü eğrileri gösterilmiştir. En altta yer alan kesik çizgiler duyulabilirlik sınırına karşılık gelmektedir.

Bu grafik, insan işitme sisteminin ne kadar değişken bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin, 1-2 kHz de duyduğumuz bir ses ile 20 Hz’de duyduğumuz bir sesin aynı yüksekliğe sahip olabilmesi için 20 Hz’deki sesin yaklaşık 80 dB daha yüksek bir ses basınç düzeyine ihtiyacı vardır.

Basınçları aynı, fakat frekansları farklı olan sesler, insan kulağı ile farklı algılanmaktadır. Örneğin; 50 dB düzeyindeki iki sestten 70 Hz frekanslı olanı ancak işitilebilirken 1000 Hz frekanslı olanı yüksek bir ses olarak algılanmaktadır. Frekansı da değişken olarak kabul eden ses değerlendirme ölçütü yeğinlik ve bunun birimi de Phon'dur.

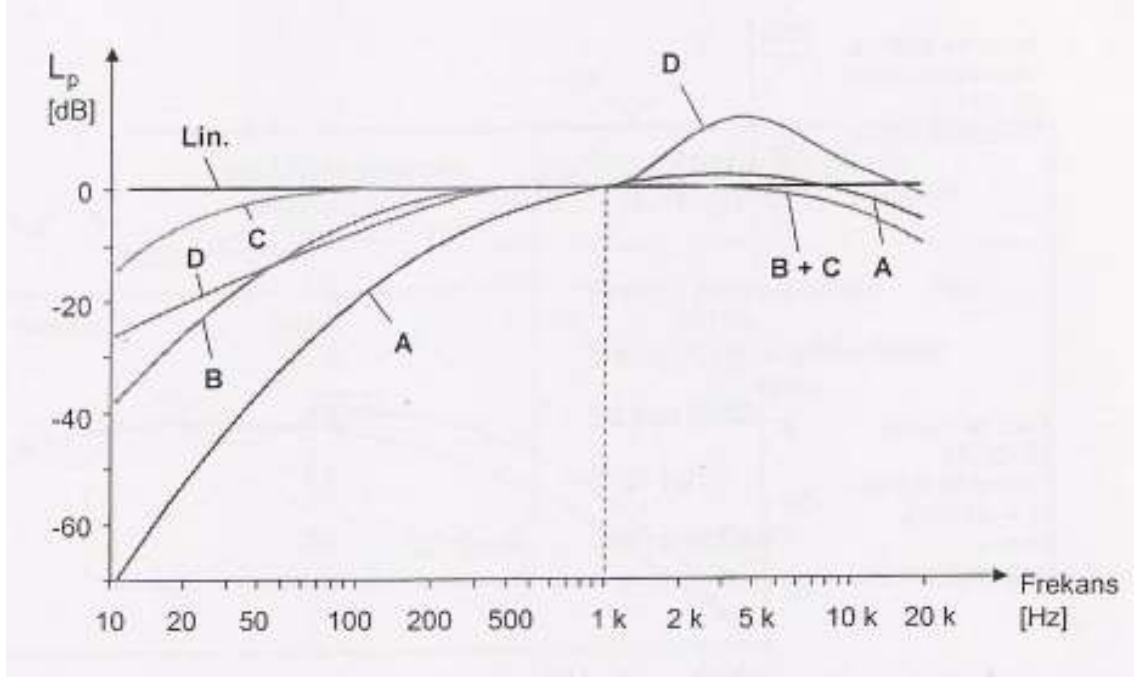
Yukarıdaki grafik 1kHz referans alınarak hazırlanmıştır. Eşdeğer gürültü eğrilerinin birimi fon “phon” dur. 1 kHz’de dB ve fon özdeşdir. Eğer bir frekanstaki sese ait ses düzeyi biliniyorsa, enterpolasyon ile onun gürültü değeri (loudness) bulunabilir. Böylelikle değişik frekanslara ait sesler karşılaştırılabilir.



**Şekil 1.10:** 40 dB Eşdeğer Gürültü Eğrisi ve A-ağırlıklı Filtre (IYEM-Brüel&Kjær)

Daha önce de belirtildiği üzere 1 kHz de dB ve fon özdeşdir. Genel anlamda dBA, A filtresinden geçirilmiş gürültü düzeyi anlamı taşır. Gürültü azaltması veya kontrolünde çok kullanılan dBA birimi, ses yüksekliğinin subjektif değerlendirmesi ile ilişkili bir kavramdır.

Her bir filtrenin hassaslık gösterdiği frekans farklı olduğundan amaca yönelik belirli ölçümler için belirli ağırlık eğrileri kullanılır. Örneğin A ağırlık eğrisi insan kulağının en çok hassas olduğu orta ve yüksek frekansların özellikle vurgulandığı bir ses değerlendirmesi birimidir ve genellikle ortamın gürültü düzeyinin ölçülmesinde kullanılır. Bunun dışında, çevre gürültüsünün (rüzgar tribünü, doğal hayat, vs) ölçümünde C ağırlık eğrisi, Havaalanı gürültüsü için yüksek frekanslara hassas olan (1-10 kHz) ve uçak motorlarından çıkan gürültü düzeyinin de bu aralıkta bulunduğu D eğrisi kullanılmaktadır.



**Şekil 1.11:** Frekans Ağırlık Eğrileri (IYEM-Brüel&Kjær)

**Eşdeğer Gürültü Seviyesi (Leq):** Belirli bir T zaman aralığında düzenli veya düzensiz olarak süreklilik gösteren toplam ses enerjisinin veya ses basınçlarının ölçüm süresine bölünmesiyle elde edilen dBA biriminde bir gürültü ölçөгüdür. Simgesi (Leq) olup, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Başka bir deyişle, ortamda değişen gürültü ile aynı akustik enerjiye sahip olan sabit ses düzeyi olarak tanımlanabilir.

$$Leq = 10 * \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \text{ dBA} \quad (1.5)$$

T = Toplam Ölçüm Süresi

p(t)= anlık ses basıncı

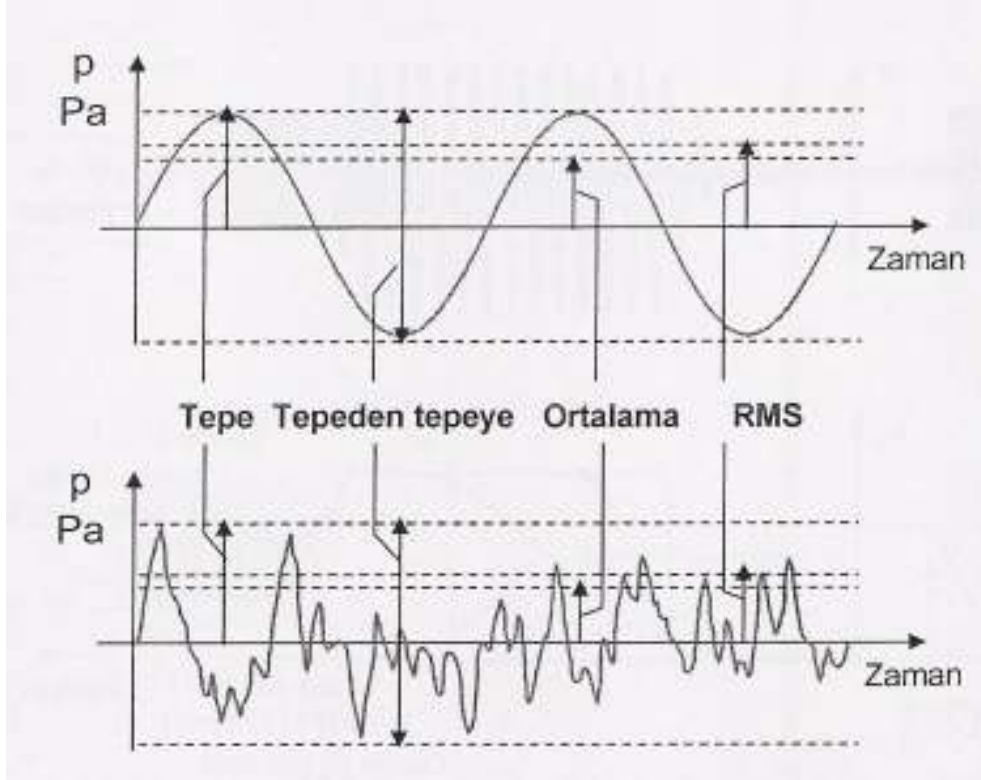
p<sub>0</sub>= referans ses basıncı (20 µPa)

**En Yüksek Ses Seviyesi (Lmax):** Tepe Düzeyi = Üst Düzey (Lmax): Zamana göre değişen gürültünün herhangi bir anda sahip olduğu en yüksek değerdır.

**En Düşük Ses Seviyesi (Lmin):** Zamana göre değişen gürültünün herhangi bir anında sahip olduğu en düşük gürültü değeri.

### Ses Düzeyi Parametreleri:

Bir sinyalin tanımlanmasında RMS (Root Mean Square), Ortalama ve Tepe (Peak) en çok kullanılan parametrelerdir.



**Şekil 1.12:** Ses Düzeyi Parametreleri (IYEM-Brüel&Kjær)

Ortalama değer bir sinyal hakkında çok fazla bilgi vermediği için kullanılmaz. Tepe ve RMS en çok kullanılan değerlerdir. Tepe bir sinyalin ulaştığı en yüksek (pozitif veya negatif) değeri gösterirken Tepe Faktörü ise bir sinyalin sinüzoidalliğini gösterir. Örneğin içersinde sadece birkaç tane tepe yer alan sinyalin tepe faktörü oldukça büyüktür.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (1.6)$$

$$TepeFaktörü = \frac{Tepe}{RMS} \quad (\text{crest factor})$$

**Lgag (Gündüz, akşam, gece gürültü göstergesi):** A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, günlük rahatsızlık düzeyini,

**Lgündüz (Gündüz gürültü göstergesi):** A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın gündüz sürelerinin tamamına göre belirlenir ve gündüz süresince rahatsızlık düzeyini,

**Lakşam (Akşam gürültü göstergesi):** A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın akşam sürelerinin tamamına göre belirlenir ve akşam süresince rahatsızlık düzeyini,

**Lgece (Gece gürültü göstergesi):** A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın gece sürelerinin tamamına göre belirlenir ve gece süresince uyku kaçırıcı rahatsızlık düzeyini,

**LA max:** Ölçüm süresi içerisinde A ağırlıklı ses düzeyinin en büyük değerini (dBA olarak ölçülür.) gösterir.

### 1.2.2 Ses Basınç Seviyesi (Sound Pressure Level, SPL)

Ses basınç seviyesi yaşadığımız çevre ortamında gürültü şiddetinin bir ölçüsüdür ve dB olarak ifade edilir. Ses basınç seviyesi denildiğinde, sesin azlığı/çokluğu, nicelik boyutu ve şiddeti akla gelmektedir. Ses basınç seviyesi kaynaktaki ses güç seviyesinin, sesin geçtiği ortama ve mesafeye bağlı olarak değişimini ifade eden bir parametredir. Ses basınç seviyesi, SPL veya  $L_p$  olarak gösterilir.

Desibel (dB), ölçülen bir basınç değerinin referans kabul edilen seviyeye oranının logaritması olarak tanımlanır.

Referans ses basınç ( $p_0$ ) düzeyi 20  $\mu$ Pa olan duyum eşiği kabul edilmiştir.

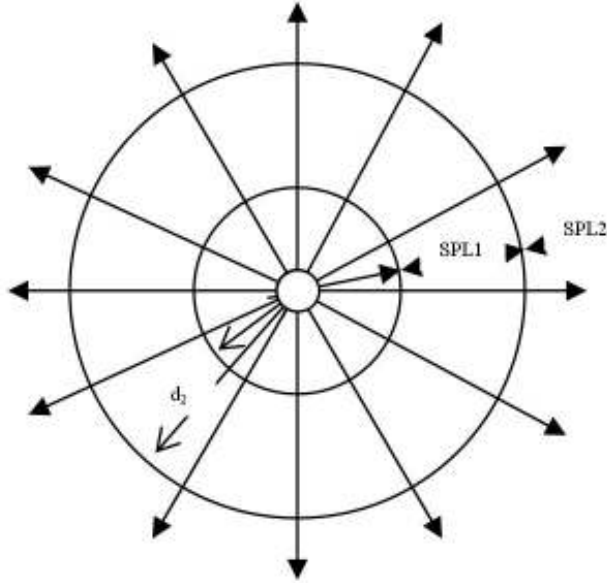
$$L_p = 20 \cdot \log(p/p_0) \quad \text{dB} \quad (1.7)$$

$L_p$  : dB cinsinden ses basınç düzeyi

$p$  : Ölçülen ses basınç düzeyi

$p_0$  : Referans ses basınç düzeyi ( $20 \times 10^{-6}$  Pa)

Bu tanımda dikkat edilmesi gereken “ses basıncı”nın yanına bir referansa göre belli bir düzeye sahip olduğunu belirten “düzeyi” kelimesinin getirilmesidir.



**Şekil 1.13:** Ses Basınç Seviyelerinin Kaynaktan Mesafe İle Azalması

$$d_2 = 2 \times d_1 \text{ ve } SPL_2 = SPL_1 - 6 \text{ dB} \quad (1.6)$$

Ses düzeyindeki 3dB’lik bir değişim (1,4 kat artış/azalış) ancak hissedilebilir bir düzeydir. 10 dB’lik bir değişim ise (3,16 kat artış/azalış) sesin bir kat daha gürleştği hissini uyandırır. Buradan anlaşıldığı üzere dB cinsinden belirtilen ses seviyesi düzeyi ile insanların algıladığı ses seviyesi arasında doğrusal bir bağıntı bulunmamaktadır.

### 1.2.3 Ses Güç Seviyesi (Sound Power Level, SWL)

Ses güç seviyesi, ses kaynağından çıkan ses miktarına verilen isimdir. Dolayısıyla kaynağın ses kapasitesinin doğrudan bir ölçüsüdür. Referans seviyesi genelde  $1.10^{-12}$  Watt' tır.

Ses güç seviyesi kaynaktaki sesin gücüne (W) bağlıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$SWL = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ (dB)} \quad (1.7)$$

W = Kaynaktaki ölçülen sesin gücü

$W_0 = 1.10^{-12}$  Watt

Yukarıdaki tanıma göre bazı seslerin referans güç seviyesi ile buna karşılık gelen ses düzeyi değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 1.1:** Bazı Seslerin Ses Güç Seviyeleri Ve Ses Düzeyleri

| KAYNAK                        | SES GÜCÜ (Watt) | SES GÜÇ DÜZEYİ (dB) |
|-------------------------------|-----------------|---------------------|
| Satürn roketi                 | $1 * 10^8$      | 200                 |
| Dört motorlu jet uçak         | $5 * 10^4$      | 140                 |
| Boeing 707 (Tam güç)          | $1 * 10^4$      | 160                 |
| Dört pervaneli uçak           | 100             | 140                 |
| 75 parçalı senfoni orkestrası | 10              | 130                 |
| Pervaneli uçak motoru         | 1               | 120                 |
| Kamyon kornası                | $10^{-1}$       | 110                 |
| Bağırtılı konuşma             | $10^{-3}$       | 90                  |
| Normal konuşma                | $10^{-5}$       | 70                  |
| Fısıltı                       | $10^{-9}$       | 30                  |

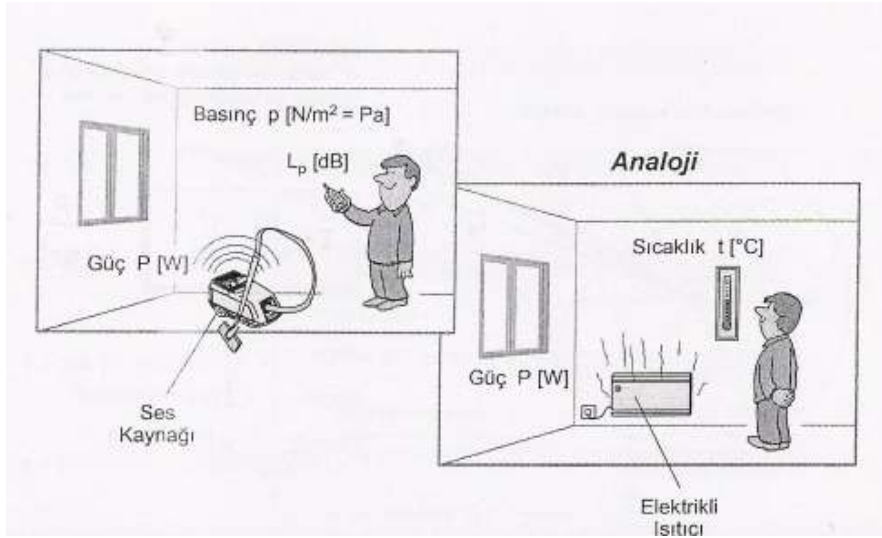
#### 1.2.4 Ses Basınç Seviyesi ve Ses Güç Seviyesinin Örnekleme

Ses Basınç Seviyesi ( $L_p$ ) ile Ses Güç Seviyesi ( $L_w$ ) birbirine karıştırılmamalıdır. Ses güç seviyesi kaynaktan yayılan toplam akustik gücün logaritmik bir ifadesidir. Ses basınç seviyesi ise bir noktada üretilen akustik rahatsızlık ölçüsüdür. Ses basınç düzeyi kaynaktan olan uzaklığa, hav nedeniyle oluşan kayıplara, (kapalı mekânlarda) mekân etkisine vb bağlı olarak değişir.

Bu iki ifadenin birbiri ile karışması, aynı şekilde benzerliği olan ısı-sıcaklık ile giderilebilir. Bir elektrikli ısıtıcı, örneğin bir radyatör, belli bir güze sahiptir, yani belli bir zamanda belli bir enerji yayar. Bu, o radyatörün diğer kaynaklardan ayrı olarak tek başına ne kadar ısı üretebileceğinin ölçüsüdür. Üretilen ısı ile oda sıcaklığı artar ve bu odanın sıcaklığı bir termometre ile ölçülebilir, fakat odanın her noktasındaki sıcaklık aynı değildir. Kaynağa yakın olan noktalardaki sıcaklık, odanın kaynağa en uzak noktasında ölçülen sıcaklıktan daha fazla olacaktır. Ayrıca sıcaklık, odadaki camdan kaynaklanan ısı kayıpları, duvarlar tarafından emilen ısı miktarına ve diğer kayıplara bağlı olarak değişecektir.

Aynı şekilde, bir ses kaynağı birim zamanda belli bir ses enerjisi açığa çıkarır, yani bir güce sahiptir. Bu, o ses kaynağının tek başına ne kadar akustik enerji üretebileceğinin ölçüsüdür. Üretilen enerji, odadaki ses basıncını yükselterek ortama yayılır. Fakat bir noktadaki ses basıncı sadece kaynağın gücüne ve noktanın ses

kaynağına uzaklığına değil, ortam tarafından emilen veya yansıtılan ses enerjisine bağlı olarak değişir.



**Şekil 1.14:** Ses Isı Benzerliği (IYEM-Brüel&Kjær)

### 1.2.5 Ses Seviyelerinin Toplanması ve Çıkarılması

dB ölçüm birimleri logaritmik olarak ifade edildiğinden, ses basınç seviyesi ve ses güç seviyesi ile aritmetik olarak işlem yapılamaz. 150'şer dB'lık A ve B adlı iki kaynağın toplam oluşturacağı gürültü seviyesini hesaplarsak:

Kaynak A: 150 dB ve referans seviyesi  $1.10^{-12}$  alınırsa, buna göre;

$$SWL_1 = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ formülünden,}$$

$$150 = 10 \log \frac{W}{1.10^{-12}} \Rightarrow W = 1000 \text{ Watt olur.}$$

Kaynak B: 150 dB ve referans yine  $1.10^{-12}$  olsun, buda

$$150 = 10 \log \frac{W}{1.10^{-12}} \Rightarrow W = 1000 \text{ Watt olur.}$$

Kaynak A ve Kaynak B' nin toplam gücü  $1000 + 1000 = 2000$  Watt olur.

Buna göre iki kaynağın toplam ses güç seviyesi:

$$\text{Toplam SWL} = 10 \log \frac{2000}{1.10^{-12}} \text{ 'den 153 dB olarak bulunur.}$$

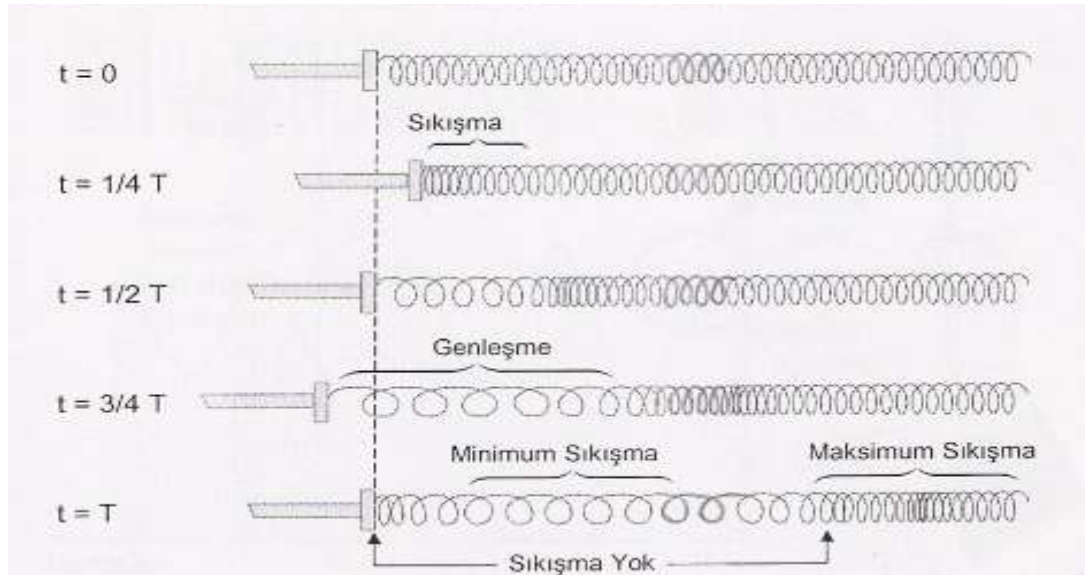
Dolayısıyla  $150 \text{ dB} + 150 \text{ dB} = 153 \text{ dB}$  olmaktadır.

Bu prosedürden yola çıkarak, eğer eşit ses güç seviyesine sahip iki kaynak varsa bunların toplamı, sadece birisinin değerine 3 dB'lik bir ek değer ekleyerek toplam ses güç seviyesi bulunabileceğini göstermektedir. Aşağıdaki tabloda iki kaynak arasındaki farka bağlı olarak toplam ses güç seviyesi değerleri verilmiştir.

**Tablo 1.2:** İki Ses Kaynağının Toplanması İfadesi

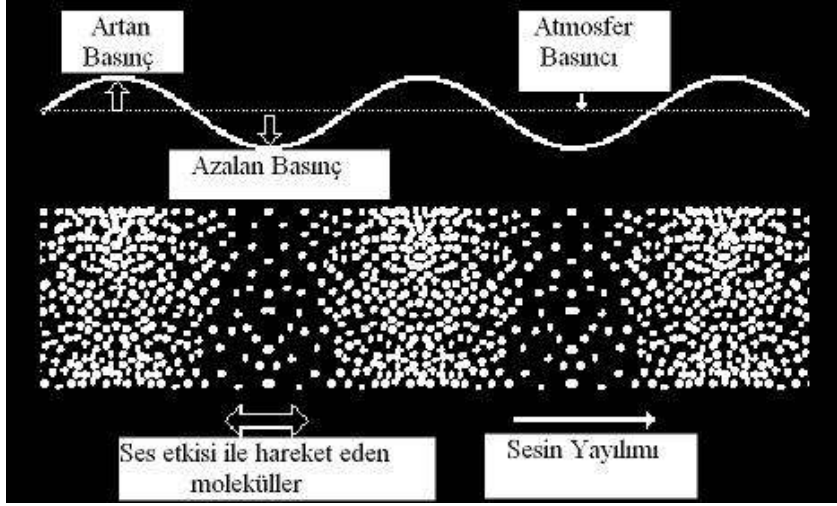
| Kaynaklar arası dB farkı | Değerlerin en büyüğüne eklenecek fark değeri (dB) |
|--------------------------|---------------------------------------------------|
| 0dB -1dB                 | 3                                                 |
| 2dB -3dB                 | 2                                                 |
| 4dB -9dB                 | 1                                                 |
| >10dB                    | 0                                                 |

### 1.3 Sesin Yayılması



**Şekil 1.15:** Sesin Yayılması (IYEM-Brüel&Kjær)

Sesin yayılışı yay üzerinde bir dalga hareketi ile benzerlik gösterir. Bir yay sıkıştırıldığında oluşan “sıkışma” yay boyunca ilerler. Hava molekülleri sıkışıp genleştiğinde de aynı olay meydana gelir. Bu “sıkışma-genleşme” hareketi hava moleküllerinin sıkışıp genleşmesine benzer ve bu basınç değişiklikleri hava içersinde yayılır. Ses dalgaları adı verilen bu titreşimler, komşu moleküller arasında enerji naklederek, fakat cisimlerde bir hareket olmadan katı, sıvı ya da gaz ortamdan geçebilmektedir. Su örneğinde olduğu gibi, dalgalar taşın suya girdiği noktadan başlar. Halbuki ilerleyen suyun kendisi değildir. Su sadece yüzeyindeki periyodik dalgaları oluşturacak şekilde aşağı-yukarı hareket etmektedir.



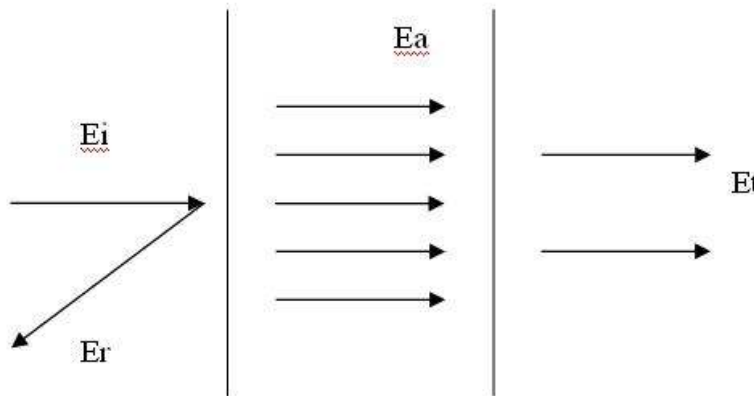
Şekil 1.16: Sesin Havada Yayılması

#### 1.4 Ses Dalgalarının Yüzeylerle Etkileşimi

Ses dalgaları yayılırken karşılaştıkları yüzeylerle etkileşim içinde bulunurlar. Ses dalgalarının bu etkileşimi yansıma, yutma ve geçirme şeklinde olur.

Yansıma; sesin ışığın yansımasında olduğu gibi, düz yüzeylerde yüzeye bir normal oluşturacak şekilde, konkav (iç bükey) yüzeylerde toplayıcı, konveks (dış bükey) yüzeylerde ise dağıtıcı şekilde yayılmasıdır.

Ses yutumu; ses enerjisinin sesin çarptığı yüzeyler üzerinde yâda sesin yayıldığı ortamda ısı enerjisine dönüşerek azaltılmasıdır. Ortamda yayılan sesin ortam tarafından yutulması ortamın sıcaklığına, nemine ve sesin frekansına bağlıdır. Yüzey tarafından yutulan ses enerjisinin yüzeye çarpan sesin enerjisine oranı, “**Ses Yutma Katsayısı**” ( $\alpha$ ) olarak adlandırılır. Bu katsayı, yutulan sesin enerjisinin gelen ses enerjisine oranla daha küçük olmasından dolayı 0 ve 1 arasında değer alır.



Şekil 1.17: Malzeme Yüzeyine Gelen Ses Enerjisinin Emilmesinin Şematik Gösterimi

$$\alpha = \frac{E_i - E_r}{E_i} \quad (1.8)$$

$\alpha$  = Malzemelerin sesi yutma katsayısı

$E_i$  = Sesin ilk enerjisi

$E_r$  = Yansıyan sesin enerjisi

Malzemelerin ses yutma katsayılarını etkileyen faktörler şunlardır:

- Frekans; ses yutma katsayısı genellikle frekans ile artar.
- Malzeme; malzemenin kalınlığı ve yoğunluğu arttıkça ses yutma katsayısı artar. Malzemenin gözenekli yapısı ses yutma katsayısını artırır.
- Sesin Gelme Açısı; ses dalgalarının yutucu özellikteki yüzeye çarptıklarında yaptıkları açı ses yutma katsayısını etkilemektedir.

Eğer ses dalgaları içinde yol aldıkları ortamdan farklı yoğunlukta veya esneklikte bir engelle karşılaşılırsa enerjinin bir kısmı yansıtılır, bir kısmı da yutulur (veya ısıya dönüştürülür) ve kalan bölümü de yoluna devam eder. Diğer tarafa geçen sesin enerjisinin duvara çarpan sesin enerjisine oranı “**Ses İletim Katsayısı**” ( $\tau$ ) olarak adlandırılır. Bu katsayı, pratik hayatta karşılaşılan olaylar için çok küçük değerler aldığından dolayı “**ses iletim kaybı**” (Transmission Loss: GK) olarak adlandırılan dB cinsinden ölçülebilen şekli kullanılmaktadır.

Ses iletim kaybı aşağıdaki formülle tanımlanır:

$$TL = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\tau}\right) = -10 \cdot \log(\tau) \quad (1.9)$$

Membran absorplayıcılar veya panel absorplayıcılar, ses enerjisini ısıya çevirirler. Kullanılan membran absorplayıcıların ses emme katsayısı düşük frekanslarda maksimum değerdedir. Maksimum absorpsiyon frekansı panelin birim yüzey kütlesi, sertliği ve pencerelerdeki çift cam arasında bırakılan boşluk gibi hava boşluğunun derinliği ile alakalıdır. Bunun ifadesi aşağıdaki gibi formülize edilebilir.

$$f = \frac{60}{\sqrt{md}} \quad (1.10)$$

Burada:

$f$ = Maksimum absorpsiyon frekansı

$m$ =Panelin birim yüzey ağırlığı ( $\text{kg/m}^2$ )

$d$ = İki yüzey arasındaki hava boşluğunun derinliği (m)

Bazı malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri gösteren tablo aşağıda verilmiştir (Ekinci, 2004).

**Tablo 1.3:** Bazı Malzemelerin Ses Yutma Katsayısı Değerleri

| Malzeme Türü             | Ses Yutma Değeri<br>(500 Hz) |
|--------------------------|------------------------------|
| Beton, Mermer, Su Yüzeyi | 0,01                         |
| Sıva                     | 0,02                         |
| Cam                      | 0,03                         |
| Tuğla, Linolyum          | 0,04                         |
| Duvar Kağıdı             | 0,04                         |
| Suni Taşlar              | 0,05                         |
| Ahşap                    | 0,10                         |
| Poliüretan Malzeme       | 0,90                         |

Açıklıklar, sesin diğer tarafa taşınmasında önemli rol oynar. Örneğin, kapı altındaki boşluk ısı kayıpları açısından bir problem oluşturmazken ses iletimi bakımından bir ses kaynağı gibi davranabilmektedir. Boşluklar, sesi enerji kaybı olmadan diğer tarafa taşırlar. Ses, esneklik modülü çok farklı ortamlardan geçerken (hava-duvar-hava) çok büyük (50 dB civarında) kayıplara uğrar. Bu tür açıklıkları ortadan kaldırmak, ses yalıtımı açısından önemli kazançlar sağlar.

Cidar titreşimi ile sesin diğer tarafa geçmesi de mümkündür. Herhangi bir cidarın (döşeme, duvar, cam vb.) bir yanında oluşan ses titreşimleri hava basıncında ufak değişiklikler oluşturur ve bu değişiklikler çok ufak genliklerle cidarı titreştirir. Bu durumda cidar bir hoparlör gibi davranır ve diğer yandaki havayı titreştirir. Ses böylelikle iletilmiş olur. Bu tip bir geçiş biçiminde azalma cidarın kütlesine bağlıdır. Ağırlığı fazla olan cidarlar, kendisini titreştirmeye çalışan akustik basınca daha kolay karşı koyacaktır. Buna “Berger Yasası” veya “Kütle Yasası” denir.  $R$ , ses geçiş kaybını (dB) ve  $M$  cidar ağırlığını ( $\text{kg/m}^2$ ) ifade etmek üzere aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$R = 15,4 \cdot \log M + 10 \quad \text{dB} \quad (1.11)$$

Berger Yasası'na göre bölmenin  $m^2$  ağırlığının artması ses geçiş kaybını logaritmik olarak etkilemektedir. Diğer bir deyişle, bölme kütesindeki önemli artışlar ses yalıtımında kayda değer kazanç sağlamamaktadır. Cidarın  $m^2$  ağırlığının 2 katına çıkarılması 4 dB civarında bir yalıtım kazancı sağlayabilir. Örneğin  $m^2$  ağırlığı 100kg olan bir cidardan geçen seste 41 dB azalma gözlenirken,  $m^2$  ağırlığı 200kg olan bir cidar 45,5 dB bir azalma sağlar.

## 1.5 Ses Kaynakları

Bilindiği üzere ideal ses kaynakları noktasal, çizgisel ve alansal olarak ayrılmaktadır. Sesin davranışının belirlenmesinde sesin homojen bir ortamda yayıldığı ve kaynaktan yayılırken tamamen dairesel yayılım gösterdiği kabul edilir.

### 1.5.1 Noktasal Kaynaklar



**Şekil 1.18:** Noktasal Ses Kaynağının Şematik Gösterimi (Marsh, 1999)

Tek noktadan ibaret olan bu ideal kaynak türünde, herhangi bir yöndeki birim küresel alandan geçen ses enerjisi ile kaynaktan uzaklık arasında ters orantı vardır. Eğer SWL kaynaktan 1 m. uzaklıktaki sürekli bir noktasal ses kaynağının gücünü ifade ederse, kaynaktan “r” kadar uzaklıktaki ses basınç seviyesi

$$SPL = SWL_{point} - 10 \log(4\pi r^2) \quad (1.12)$$

$$I = W / (4\pi r^2) \quad (1.13)$$

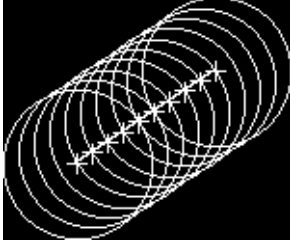
ise

$$SPL = SWL_{point} - 20 \log(r) - 11 \quad (1.14)$$

Eğer zemin oldukça sert ve yansıtıcı özellikte ise bu tür zeminler için bir ses artışı etkisi oluşmaktadır. Bu nedenle bu tür zeminlerde formüldeki 11 dB yerine 8 dB kullanılır.

Bu tür kaynaklardan yayılan sesin basıncı, kaynakla arasındaki uzaklık iki katına çıktığında yarıya düşmektedir. Bu düşüş ses basınç düzeyinde 6 dB’lik bir azalmaya karşılık gelmektedir.

### 1.5.2 Çizgisel Kaynaklar



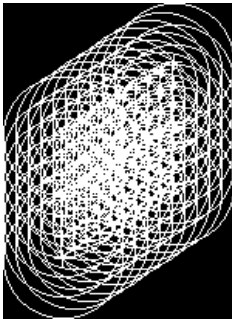
Şekil 1.19: Çizgisel Ses Kaynağının Şematik Gösterimi (Marsh, 1999)

Sonsuz sayıdaki tekil ses kaynağının bir doğrultuda dizilişiyle meydana gelen ses kaynağıdır. Bu tür kaynağın toplam davranışı, tekil kaynakların etkilerinin tüm uzunluk üzerinden integralinin alınmasıyla bulunur. Bunun sonucunda kaynağın silindirselsel bir yayılım davranışı gösterdiği ortaya çıkar. Ses kaynağından yayılan ses enerjisi silindirin merkezine dik doğrultuda uzaklaştıkça azalır. Bu durumda ses basınç seviyesi:

$$SPL = SWL_{line} - 10 \log(4\pi r) \quad (1.15)$$

Sıvı taşıyan boru veya trafik gürültüsü çizgisel ses kaynağına örnek verilebilir. Bu tip kaynaklardan yayılan ses basıncı, kaynaktan uzaklık iki katına çıktığında yaklaşık olarak 3 dB’lik düşüş göstermektedir.

### 1.5.3 Alan Kaynaklar



Şekil 1.20: Düzlemsel Ses Kaynağının Şematik Gösterimi (Marsh, 1999)

Sonsuz sayıdaki noktasal ses kaynağının iki boyutta birleştirilmesiyle ortaya bir düzlem çıkmaktadır. Dolayısıyla kaynaktan düzlemsel ses dalgaları açığa çıkmaktadır. Her bir noktasal kaynağın ses enerjisi için oluşan düzleme dik doğrusal bir çizgi üzerinde yayıldığı kabul edilir. Bir başka deyişle, geometriye bağlı bir dağılım söz konusu değildir. Dolayısıyla, bir doğrultuda ilerledikçe ses basınç seviyesinde azalma veya artış gözlenmez.

$$SPL = SWL_{plane} \quad (1.16)$$

Bu tip kaynaklara günlük hayatta çok sık rastlanmaz. Klima kanallarındaki ses iletimi bu davranışa örnek verilebilir. Diğer bir örnek olarak enerji yayan bir piston verilebilir. Tüp çeperlerinde enerji kaybı olmadığı varsayılırsa, tüp içinde akmakta olan enerji (ses şiddeti) kaynağa olan uzaklıktan bağımsızdır. Bir başka deyişle tüpün her noktasındaki ses basınç seviyesi aynıdır.

## 2. GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI

11 Aralık 1986 tarihinde 19308 sayılı Resmi Gazete ile yürürlüğe giren Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nin 4. maddesinde gürültü “Gelişigüzel bir yapısı olan bir ses spektrumudur ki, subjektif olarak, istenmeyen ses” biçiminde tanımlanır. Gürültünün insanoğlunun kendini bildiği tarihten bu yana var olduğunu düşünürsek, ilk olarak akla şu soru gelebilir: “Gürültü son zamanlarda mı arttı?” Gürültü, hayatımıza giren makineler ve toplu yerleşimle birlikte hayatımızda daha büyük ölçüde yer almaya başladı. Gürültü kaynakları hızla çoğaldığından ve bu çoğalmanın gürültüyü azaltma çabalarının yanında daha büyük ivmeye sahip olmasından dolayı, yapılan önleyici faaliyetler yetersiz kalmıştır. Gürültünün artış nedenleri kısaca şöyle sıralanabilir:

- Kara, hava, deniz trafiği, endüstri, inşaat makineleri gibi dış gürültü kaynakları ile yapı içinde türlü tesisat, konut ve iş yerlerinde kullanılan çok sayıdaki çeşitli gürültü kaynakları, gürültünün çok büyük oranda artmasına neden olmuştur.
- Yapılarda kullanılan malzemelerinin kullanımında uzun yıllar gürültü etkisi dikkate alınmamıştır. Ayrıca iskelet sistemli yapılar, eski yığma yapılara oranla daha fazla ses titreşimlerinin yayılmasına olanak vermektedirler.
- Müzik, oyun, sinema gibi hayata ait bazı değerlerde etkileme amaçlı ses yapısı nedeniyle gürültü ön plana çıkmış olup kapalı mekânlarda da iç gürültü seviyesi dışta olduğu kadar yükselmiştir.
- Yerleşim alanlarının darlığı sebebiyle yatay dağılım yerini şehirlerde dikey yapılanmaya bırakmıştır. Düşey yoğunluk artışı dolayısıyla insanlar insanlara ve gürültü kaynakları da birbirine yaklaşmıştır.
- Fiziksel çalışmanın yerini makineler almış, zihinsel çalışmalar daha çok önem kazanmıştır. Makinelerin yaydığı gürültünün artmasının yanı sıra çalışma koşullarının daha çok zihinsel yoğunlaşma ve berraklık gerektirmesi insanların gürültü konusundaki hassasiyetini arttırmıştır.

Yapılan araştırmalar neticesinde genel olarak yapı içi ve yapı dışı olarak sınıflandırmanın dışında, gürültü kaynakları etki kaynağı bakımından şu şekilde sınıflandırılmıştır:

a) Endüstri Kaynaklı Gürültüler

- Fanların neden oldukları gürültüler
- Çeşitli elektrik motorlarının gürültüsü
- Pompa gürültüleri
- Dişli gürültüleri

b) Ulaşım Kaynaklı Gürültüler

- Karayolu Trafiğı
- Havayolu Trafiğı
- Demiryolu Trafiğı

c) Yol ve Yapı alışmaları Sonucu Oluşan Gürültüler

d) Yerleşim Kaynaklı Oluşan Gürültüler

Her türlü kirlilik ile yapılan mücadelede kirliliğın devamını önlemek için kirliliğı kaynağında çözmek prensibi esastır. Yayılmaya devam eden bir kirlilikte, yayılan kirlilik ile uğraşmak kaynaktaki kirliliğı önlemeye nazaran daha çok zahmet ve maddi güç gerektirmektedir.

Ulaşım kaynaklı gürültü, araç motorlarının hareketi, teker-yol yüzeyi teması, aerodinamik etkiler ve diğeri titreşen yapıardan kaynaklanır. Ulaşım kaynaklı gürültünün önlenmesi konusunda da hem kaynakta hem de yayılan gürültünün önlenmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Başlıca ulaşım kaynaklı gürültü kaynakları şunlardır:

## **2.1 Karayolu Trafiğı Kaynaklı Gürültüler**

Karayolunun olduğı her yerde aynı zamanda karayolu kaynaklı gürültü de söz konusudur. Genellikle izgisel kaynak olarak değerlendirilir. Özellikle kentsel yaşam alanlarında yaşayanları en fazla rahatsız eden gürültü türüdür. Karayolu trafiğindeki gürültü; taşıtların motor aksanlarından kaynaklanan, taşıtların hızından kaynaklanan,

yolun niteliğinden kaynaklanan ve trafiğin yoğunluğundan kaynaklanan gürültü biçiminde sıralanabilir.

## **2.2 Havayolu Trafiği Kaynaklı Gürültüler**

Havayolu trafiği, konforu, zamandan kazanımı ve güvenliği nedeni ile günümüzün en gözde ulaşım yollarından biri haline gelmiştir. Bu avantajların yanı sıra güçlü uçak motorlarının yeterli itme kuvvetini sağlayabilmeleri için çalışmaları sırasında çıkardıkları gürültü, havaalanı çevre yakınlarında ikamet eden insanlar için bir kâbusa dönüşmektedir. Özellikle hava trafiği yüksek olan havaalanlarının yakınlarında oturan insanlarda uyku düzensizliği, verimsiz uyku, stres, baş ağrısı gibi etkiler oluşturmaktadır.

## **2.3 Demiryolu Trafiği Kaynaklı Gürültüler**

Ulaşım kaynaklı kirlilikler arasında raylı sistem ağı yaygın olmayan ülkeler için en az etkiye sahip ulaşım türüdür. Genellikle yerleşimi demiryolu çevresinde bulunan yaşam alanları hem gürültü hem de titreşimden etkilenir. Demiryolunda kullanılan teknolojiye göre oluşan gürültü seviyeleri değişiklik gösterir. Son yıllarda hızlı trenlerin hayatımıza girmesiyle, bu tür trenlerin hızından kaynaklanan gürültü de gürültü kaynakları arasında önemli yer tutmaktadır. Viyadüklerde veya açık alandan geçen raylı sistem yolundan 25 m mesafeden ölçülen değerlere göre, tren viyadüklerden geçerken, viyadüklerin titreşimi düşük frekanslı gürültü seviyesini artırıcı bir rol oynamakta ve rüzgar temaslı gürültünün de hissedilebilir derecede artmasına neden olmaktadır (Aktürk ve diğ.,2003).

### 3. KARAYOLU TRAFİĞİ KAYNAKLI GÜRÜLTÜ

Karayolunun sosyal, kültürel ve ticari boyutta şehirleri ve hatta ülkeleri birbirine bağladığını düşünürsek, karayolu en önemli mühendislik yapılarından biri haline gelir. Karayolunun inşa aşamasında oluşan çevresel etkileri bir kenara bıraktığımızda işletim ömrü boyunca bir karayolunun en önemli iki boyutta direkt çevresel etkiye sahiptir; hava kirliliği ve gürültü. Bunların dışında dolaylı olarak oluşan, kazalarla birlikte meydana gelen can kayıpları ve maddi hasarlar da vardır.

Araçların karayolunda yer değiştirmesini sağlayan itme gücünü araç, yakıt enerjisini mekanik enerjiye çevirerek sağlar. Bu enerjinin harekete çevrilmesi sırasındaki süreçte çeşitli parçaların hareketinden veya yanma olayından dolayı gürültü meydana gelir. Dolayısıyla her bir araç noktasal bir gürültü kaynağı olarak değerlendirilir. Akan bir trafikte bu noktasal kaynaklar bir çizgi kaynağına dönüşür. Bu çizgisel kaynak, şehir içersinde bilinen tüm gelişigüzel gürültü kaynakları arasında en sürekli olanıdır.

Karayolu kaynaklı gürültüyü etkileyen bazı fiziksel faktörler şunlardır:

1. Yol Ekseninden İtibaren Mesafe: Yol ekseninden uzaklaştıkça gürültü miktarında azalma meydana gelmektedir. Örneğin çevresindeki arazi ile aynı seviyede ve 96 km/h hızlı 6000 taşıt/şerit-h kapasiteli bir yolda mesafeye bağlı olarak değişim aşağıdaki şekilde olmaktadır:

30,5 m 76 dB

61,0 m 71 dB

152.0 m 62 dB

2. Taşıt Tipleri: Gürültü emisyonu açısından taşıtların 3 grupta toplanması mümkündür, bu gruplara giren taşıtlar birbirine yakın gürültü oluşturmaktadır.
  - a. Hafif Taşıtlar: Otomobiller, kamyonetler ve ağırlığı 3000 kg. az veya eşit iki akslı ticari taşıtlar.
  - b. Orta Taşıtlar: Boş ağırlığı 3000 kg. fazla ve iki akslı ticari taşıtlar, otobüsler.

- c. Ağır Taşıtlar: üç veya daha fazla akslı tüm ticari taşıtlar.

Bu gruplara giren taşıt gürültüleri arasında bir miktar fark olmakla birlikte gruplar arasında daha büyük farklar vardır. Taşıt gürültüsünün oluşmasında etkili faktörler ağırlık, işletim özellikleri (hız, gaz pedalı, ivme, vites) ve yapısal bileşenlerdir (egzoz, soğutma fanı, motor, motor kılıfı, iletim elemanları, Lastikler vs.).

3. Trafik Koşulları: Bir trafik akımında taşıt hareketine ilişkin parametrelerin gürültüyü etkileme özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- a. Akım Cinsi: Trafik gürültüsü serbest veya serbest olmayan akım koşullarına bağlıdır. Serbest trafik akımı, uzun süre ve mesafede sürekli bir sabit hız ve hacme sahip olan akım olduğu için bu tip akımda değerlendirme yapmak daha kolaydır. İkinci tür akımda ise sinyal sistemleri nedeniyle taşıtların yığılması ve duraklamalar nedeniyle hız ve yoğunluktaki değişimlere de bağlı olarak değerlendirmede değişkenler arttığı için daha kompleks bir durum vardır.

- b. Trafik Hacmi: Bir trafik akımındaki taşıt sayısı, ulaşım gürültüsünü etkileyen temel faktörlerden birisidir. Trafik çizgisi, yol üzerinde gelişigüzel dağılmış ve akustik olarak farklı güçlere sahip nokta kaynak dizilerinden oluşan bir çizgi olarak kabul edilir ve toplam akustik enerji taşıt sayısı ile direkt orantılıdır. Yapılan araştırmalar, trafik hacmindeki artışın gürültü artışını belli bir miktara kadar etkilediğini ve bu üst sınırın 85 dB(A) olduğunu ortaya koymaktadır. Bazı yayınlarda bu sınır değere L10 için (Ele alınan sürenin % 10'unda aşılacak gürültü düzeyi) 4000 taşıt/sa 'te ulaşıldığı belirtilmektedir.

- c. Ortalama Trafik Hızı: Gürültü oluşmasında trafik akımının ortalama hızının etkisi, trafik gürültüsü kontrolünde oldukça önemli bir yer tutar. Genel olarak, bir trafik akımının ortalama hızındaki bir azalma, gürültü düzeyinde de azalmaya neden olmaktadır. Ancak, taşıt hızına bağlı gürültü oluşumu, düşük hızlarda taşıtın kısmi gürültü kaynaklarına bağlı olan çok sayıda değişkeni içerdiğinden oldukça karmaşıktır. Değişik tip taşıtların hızı ile gürültü artışı 10-15 dB(A) kadar değişebilmektedir. Hızın iki kat artması halinde gürültü düzeyi yaklaşık 6 dB(A) artmaktadır.

- d. Trafik Kompozisyonu: Bir trafik akımındaki değişik tipteki taşıtların karışımı, trafik kompozisyonu olarak tanımlanır ve toplam akım içinde ağır taşıtların

yüzdesi olarak belirtilir. Genel olarak ağır taşıt yüzdesindeki artışa bağlı olarak gürültü düzeyi de artmaktadır.

Şehiriçi trafiğinde düzensiz trafik akışı ve binalarda sesin yansması ile 4-10 dB(A)'lık bir artış görülmektedir, özellikle sinyal önlerinde kırmızıdan yeşile geçiş anında bu artışın 18 dB(A)'ya kadar yükseldiği gözlenmiştir.

Otoyolda yansıma ve tıkanma azalmasına rağmen yüksek hızdan dolayı sürtünme gürültüsü artmaktadır.

4. Lastik Türü: Kullanılan Lastiklerin konstrüksiyonu, yüzey şekli, örüntüsü (cepli, dairesel ve uzunluğuna kaburgalı, çelik radyal, çapraz yivli vd.) ve eskime durumu gürültü üzerinde etkilidir. Aşınmış ve düzleşmiş lastiklerin gürültüyü artırıcı etkisi vardır. Beton yüzeyde yıpranmış lastikler, yeni lastiklere göre 14 dB(A) daha gürültülüdür ve en iyi durumun 30-80 km/h hız aralığında dairesel kaburgalı lastiklerde olduğu görülmüştür.

Ulaşım yolunun kendi özellikleri de yakın çevresine yayılan toplam gürültüyü etkilemektedir ve yol özellikleri aşağıdaki şekilde gruplara ayrılabilir.

5. Yol Genişliği ve Şerit Sayısı: Trafik hızı ve hacmini belirleyen parametreler olarak yolun geometrik özellikleri, trafik gürültü seviyesini etkiler. Yol genişliği, çeşitli yöntemlerde temel alınan uzaklığı etkilemektedir.
6. Yol Yüzeyi: Karayolu taşıtlarında yol yüzeyi kaplaması ve lastik cinsi gürültüyü büyük oranda etkilemektedir. Belli bir hıza kadar lastik gürültüsü, daha sonra da aerodinamik gürültü etkili olmaktadır. İngiltere'de bu sınır 70-80 km/h olarak bulunmuştur.
7. Yol Eğimi: Özellikle ağır taşıt üzerinde eğimin etkisi ihmal edilemeyecek kadar yüksektir. Tahminler %7'lik bir eğimin gürültüyü 5 dB(A) artırdığını, % 2'den daha az bir eğimin ise etkili olmadığını göstermiştir. Ağır taşıtların iniş eğiminde de düşük vites kullanımı nedeniyle, düz yola göre daha çok ve daha geniş bir alana gürültü yaydıkları görülmüştür.
8. Yatay Kurplar ve Kesişmeler: Yolda yapılması zorunlu olan kurplar, hız değişmelerine neden olmaktadır. Ayrıca, kurbda daha büyük bir alan kullanıldığından yakın çevrede gürültünün bozucu etkileri yaygınlaşmaktadır.

9. Yol Altyapısı: Yol kotunun çevre zemin seviyesinin altında olması durumunda, gerek gürültü düzeyleri ve gerekse ses dalgalarında bozulmalar görülmektedir. Yolun iki tarafındaki toprak setler veya yarmalar, üstlerinden iletilen ses dalgalarını kırarak arkalarında ve hatta uzak mesafelerde önemli bir azalmaya neden olan gürültü engelleri olarak rol oynarlar. Ancak, setlerin yüzey kaplaması yüksek derecede yansıtıcı olduğu zaman, yarmanın eğim açısına bağlı olarak yansıyan ses yolun her iki tarafında belirli noktalarda düzeyi artırabilmektedir. Yükseltilmiş yollar da gürültü yayılmasında olumsuz koşullar ortaya koymaktadır.

Taşıt trafiği gürültüsünü etkileyen faktörlerin esas sebebi olan, trafik gürültüsünü oluşturan taşıt üzerindeki başlıca kaynaklar kısaca aşağıda incelenmiştir:

### **3.1 Motor ve Egzoz Gürültüsü**

Genel olarak, araç gürültüsünün ana nedeni motor gürültüsüdür. Motorun titreşen aksanları, 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 yapı bir gürültü ile stokastik, insan sesine benzeyen yapı bir gürültüden meydana gelir ve stokastik yapı kısmından daha güçlü olan bu kararlı harmonik yapı gürültü, motordaki yanma olayından kaynaklanmaktadır (McClellan ve diğ., 2006).

Motor silindirindeki yanma olayı ile oluşan basınç silindirin içindeki pistonları iterek silindirde ve dolayısıyla motorda bir titreşim oluşturur. Titreşen her cismin oluşturduğu gibi bu titreşim de havada basınç salınımları olarak yayılır ve gürültüyü oluşturur. Çevre gürültüsünün önlenmesi çalışmalarında yanmalı motorların ses izolasyonu konusu da önemli yer tutmakta, firmalar bu konuda önemli Ar-Ge çalışmaları yapmaktadırlar.

Düşük (motor devri yüksek) hızlarda motor birincil gürültü kaynağı iken, yüksek (motor devri düşük) hızlarda aerodinamik gürültü ve yol-lastik yüzeyi sürtünme sesi ön plana çıkmaktadır (Akalp ve diğ., 2002).

Deney sonuçlarına göre, araçların sağ tarafı sol tarafından daha fazla gürültüye neden olmuştur. Marş dinamosu ve kayışın yani motor gürültü kaynağının etkin parçalarının aracın sağ tarafında bulunması bu farklılığın ana sebebi olduğu

düşünülmektedir (Çetin ve diğ.,2002). Ayrıca, araçların dizel motorlu olan türleri benzinli olanlara nazaran daha fazla gürültü çıkarırlar.

İyi bir egzoz sistemi tasarımı, taşıt kaynaklı çevresel gürültünün kaynaktan önlenmesi ile ilgili önemli bir adımdır. Egzoz gürültüsünün araçlardan yayılan toplam gürültüye oranı, araç ve kullanılan susturucu tipine bağlı olarak değişmekle beraber, %40 mertebelerinde olduğu bilinmektedir (Akalp ve diğ.,2002).

### **3.2 Aerodinamik Gürültü**

Aerodinamik gürültü de yüksek hızlarda önemli olmaktadır. Taşıtın dış çevresinde oluşan hava akımının akışı sırasında oluşan titreşimler ve aracın tüm dış yüzeyinin yol ve motor nedeniyle titreşmesinden ötürü komşu hava kütlelerinde oluşan hava basınç salınımları gürültü oluşumuna neden olmaktadır. İyi bir kaporta tasarımı, aracın çevresindeki hava kütlelerinin daha kolay akmasına dolayısıyla oluşacak gürültü miktarının da azalmasına yardımcı olacaktır. Bu tip gürültü, aracın aerodinamik yapısının yanı sıra, çevre rüzgâr hızı ve yönelimine de bağlıdır (McClellan ve diğ., 2006).

### **3.3 Yol Yüzeyi Gürültüsü**

Araç tekerleğinin yol ile sürtünmesinden kaynaklanan gürültü diğer önemli kaynaklardan biridir. Genel olarak dizel motorlu büyük kamyonlar hariç tüm taşıtlarda 100 km/saat ve üzerindeki hızlarda lastik-yol gürültüsü en etkin kaynaktır. Modern küçük taşıtlar için ise bu değer 60 km/saat seviyesine kadar düşmektedir. Diğer bir deyişle, araç hızı 60 km/saat'i geçerse sürtünmeden dolayı oluşacak gürültü, motor gürültüsünden daha fazla olmaktadır.

Lastikte gürültü oluşmasını sağlayan başlıca oluşum mekanizmaları; lastiğin elastikliği nedeniyle temas sırasında havanın lastik profil kanallarında sıkışması ve yol yüzeyinden lastik ayrılırken serbest kalan kanallara havanın yeniden dolması hareketi (Hava Pompalama), lastiğin ön ve arka kısımlarındaki yol ve lastik arasında kalan hava kütlelerinin oluşturduğu rezonans (Horn Effect), lastik titreşimleri ve tekerliğe uygulanan tahrik veya fren etkilerinin neden olduğu kayma ve yapışma (Bay, Güney, 1998). Tekerleğin bir yüzeye temas etmeden serbest dönüşü sırasında dahi çevresinde oluşturduğu türbülanslı hava hareketi nedeniyle oluşan aerodinamik

gürültü, diğer kaynaklardan oluşan gürültü dikkate alındığında tamamen ihmal edilebilecek önemsiz bir kaynaktır.

### **3.3.1 Hava Pompalama (Air Pumping) ve Hava Rezonansları (Horn Effect)**

Teker-yol temas yüzeyindeki lastik profillerin ağırlık ve kauçuk yapıları sebebiyle boylarının kısılması sonucu lastik yüzey kanalları arasındaki hava sıkışır. Sıkışan hava lastik su iletim kanalları arasından yol bularak basıncın az olduğu diğer bölgelere kaçmaya zorlanır. Teker hareket halinde bulunduğundan ağırlık taşıyan kısım bir anda boşa çıkar ve kanal profillerinin boyu eski haline gelir. Bu durumda ters yönlü bir hava akımı oluşur. Kısa süreli bu kısılma ve uzama hareketinin teker çevresinde, hareket süresince sürekli olarak gerçekleşmesi yüksek frekanslı bir gürültüye ( $>1000$  Hz) neden olur. Bu olaya “Hava Pompalama” adı verilir (Bay, Güney, 1998).

Diğer bir lastik gürültüsü etkeni de temas yüzeyinin hemen önünde ve arkasında lastik ve yol yüzeyi arasındaki hacimde oluşan, akustik yutuculuğu yüksek olan yollarda etkisi az olan, rezonanslardır. En etkili olduğu bölge 700-1000 Hz aralığıdır.

### **3.3.2 Lastik Titreşimleri ve Moment Altında Kayma ve Yapışma**

Lastik profilleriyle 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 İletildiklerinde, en etkili bölgesi 400-1000 Hz civarında olan bir gürültü oluşmasına neden olurlar. 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 arttırıcı 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 oluşacaktır.

Ayrıca, tekerliğe uygulanan tahrik ve fren momentleri, temas yüzeyinde kayma oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum da lastik-yol gürültüsünü büyük ölçüde arttırmaktadır.

#### 4. KARAYOLU TRAFİĞİ KAYNAKLI GÜRÜLTÜNÜN AZALTILMASI

##### 4.1 Gürültü ile Mücadelede Mevcut Mevzuat

Gürültü ile mücadele konusunda mevcut mevzuat içerisinde Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan 01.07.2005 tarih ve 25862 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” bulunmaktadır. Bu yönetmeliğin amacı, ilgili yönetmelikte “Kişilerin huzur ve sükûnunu beden ve ruh sağlığını gürültü ile bozmayacak bir çevrenin geliştirilmesini için çevresel gürültüye maruz kalmanın etkileriyle mücadele etmeye yönelik esas ve kriterleri belirlemek ve bu kriterlerin gürültü kaynakları bazında uygulanması için;

- a) Değerlendirme yöntemleri kullanılarak hazırlanan gürültü haritaları ve akustik raporlar ile çevresel gürültüye maruz kalma düzeylerinin belirlenmesi,
- b) Çevresel gürültü ve etkileri hakkında kamuoyunun bilgilendirilmesi,
- c) Gürültü haritaları ve akustik rapor sonuçları esas alınarak; özellikle çevresel gürültüye maruz kalma düzeylerinin insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere yol açmasının mümkün olduğu ve çevresel gürültü kalitesini korumanın gerekli olduğu yerlerde, gürültüyü önleme ve azaltmaya yönelik eylem planlarının hazırlanması ve bu planların uygulanması,
- d) Gürültü haritası ve akustik rapor hazırlanması zorunlu olmayan diğer gürültü kaynaklarından yayılan çevresel gürültüyü azaltmaya yönelik kontrol tedbirlerinin alınması,

amacıyla hazırlanmıştır” şeklinde ifade edilir ve bu yönetmeliğin kanuni dayanağı 1.5.2003 tarih ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkındaki Kanun’un 9 uncu maddesinin birinci fıkrasının (b) bendi, 9.8.1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu’nun 14 üncü maddesi ve 25.6.2002 tarihli 2002/49/EC Çevresel Gürültünün Yönetimi ve Değerlendirilmesi Direktifidir.

Söz konusu Yönetmelikte “Karayolu Çevresel Gürültü Kriterleri” Madde 21.de karayolundan kaynaklanan çevresel gürültü düzeyi ve gürültünün önlenmesine ilişkin

kriterler belirtilmiştir. Buna göre, stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olan kara yollarının geçtiği alana ve zaman dilimine bağlı olarak, bu Yönetmelik EK 1’de tanımlı gürültü göstergelerinin ilgili EK 2 değerlendirme yöntemleri aracılığı ile yapılan değerlendirme sonuçlarına göre kara yolu çevresel gürültü düzeyi  $L_{gündüz}$  ve  $L_{gece}$  cinsinden Tablo 4’te verilen sınır değerleri aşamaz.

**Tablo 4.1: Karayolu Çevresel Gürültü Sınır Değerleri**

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

Ayrıca gürültü bariyerlerinin kullanılabilmesi için gerekli kriter, “Yılda üç milyonun altında taşıtın geçtiği kara yolunun bulunduğu alanın nüfus yoğunluğu ve kara yolundan kaynaklanan gürültü nedeniyle yaşanan şikayetin yoğunluğu dikkate alınarak kara yollarının maksimum çevresel gürültü düzeyinin  $L_{gündüz}$  68 dBA’yı aştığı yerlerde, işletmecisi kurum/kuruluş tarafından, karayolu civarında var olan evlerin mevcut yollardan etkilenmemesi için; kara yolu ve çevresinde trafik akışı, yol kaplaması ve benzeri veya yol kenarlarına TS EN 1793-1, TS EN 1793-2 ve TS EN 1793-3 standartlarına uygun gürültü perdeleme teknikleri dikkate alınarak etkin ve uygulanabilir tedbirler alınır. Alınan tedbirlerin etkinliğinin ölçüm ve performans testleri yaptırılır” fıkrasındaki şarta bağlanmaktadır.

#### 4.2 Karayolu Kaynaklı Gürültüyü Azaltmaya Yönelik Bazı Önlemler

Karayolu kaynaklı gürültünün önlenmesi amacıyla alınacak önlemleri kaynaktan alınacak önlemler ve çevrede alınacak önlemler olarak iki ana grup içerisinde değerlendirilebilir. Ana başlıklar şeklinde sıralanacak olursa bu önlemler şu şekilde gösterilebilir (Öztürk, Z., 1992);

##### 1- Taşıtlar üzerinde önlem

- Motor ve motor kılıfında,

- İletimde, hava-fan ve soğutma sisteminde,
- Egzoz ve Lastiklerde sessizleştirme sağlanması

## **2- Trafik akımında önlem**

- Hacim sınırlandırması
- Motosiklet kullanımının kontrolü,
- Ağır taşıt kullanımının kontrolü,
- Hız kontrolü,
- Serbest akımın sağlanması,
- Trafiğin yeniden düzenlenmesi,

## **3- Yolda önlem**

- Uygun yüzey kaplaması,
- Uygun eğim,
- Uygun kurp yarıçapı verilmesi,
- Yol seviyesinin çöktürülmesi,
- Tünel yapımı,

## **4-Trafik gürültüsünün çevrede kontrolü için ise;**

### **a) Kent planlamasında**

- Uygun arazi kullanım kararları,
- Topografik olanaklardan yararlanma,
- Yola minimum uzaklıkların bırakılması
- Mevcut yollar üzerinde gürültü engelleyici yapıların kullanılması

### **b) Yerleşmelerin planlanmasında**

- Gürültüye duyarlı olanlar için uygun yer seçimi,
- Tampon alanların bırakılması,
- Yapıların otoyollara göre en uygun şekilde konumlandırılması, yönlendirilmesi

- Ses yutucu zemin kaplamalarının kullanımı,
- Karşılıklı yansımaların önlenmesi

#### c) Bina tasarımında

- Fonksiyonel hacimlerin bina içinde yer ve yönleri,
- Dış duvarların uygun tasarlanması

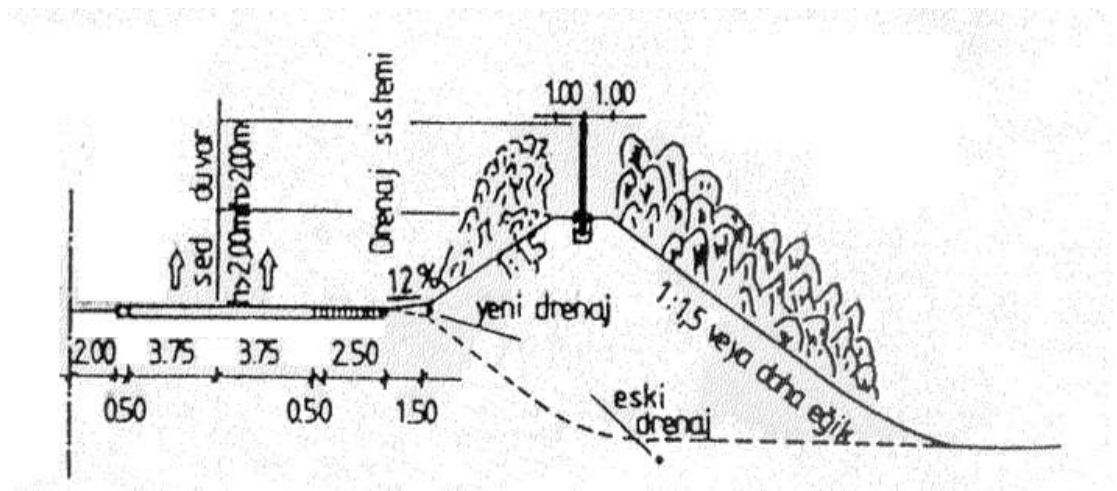
#### d) Yapı elemanı tasarımında

- Dış yapı elemanlarında uygun malzeme seçimi,
- Uygun yapı türünün seçimi

Bu çalışmada yol çevresindeki gürültü önleyici yapıların türleri ve çalışma mekanizmaları hakkında bilgi verilecektir. Bu tip önlemler taşıttan birkaç metre mesafede alındığı için maliyet direkt taşıt üzerinde alınan önlemlere göre daha fazla olup, bunları şu şekilde gruplandırmak mümkündür:

- 1- Yol kenarında sesten korunma duvarlarının yapılması(Gürültü Perdesi)
- 2- Yolun yanlarında toprak tepeciklerin (sed) oluşturulması ile sesin azaltılması
- 3- Ağaçlandırma ve bitkilendirme
- 4- Yol kesitinde alınabilecek önlemler.

#### 4.2.1 Sed İnşası



Şekil 4.1: Sedlerin Uygulama Şekli

Bu tip gürültü önleyici yapılar arazinin geniş olduğu, uygulama alanı bulunabilecek ve yoğun trafiğin olduğu yerlerde kullanılır. 1/1,5 oranındaki şev eğimleri bu tip sedler için genellikle yeterli olmaktadır. Bu tip gürültü önleyiciye, oldukça yer kapladığı için şehir içi kullanımda ve kamulaştırmanın yapılamadığı alanlarda rastlanmaz. Genellikle yarmalarda ve düz alanlarda kullanılır. Yol inşaatı sırasında yeterli genişlik mevcut ise özellikle yarmalarda kolaylıkla ortaya çıkabilir. Yukarıdaki şekilde, yarma şevi aynı zamanda bir seddin de eğimli yüzeyini oluşturmakta ve yeterli yüksekliği sağlayabilmek ve bu sırada genişliği az tutmak için sed ortasına koruma duvarı uygulanmaktadır (Öztürk, Z., 1992).

Sedlerin kullanımı konusunda birçok ülkede doğal görünümlerinden dolayı bir engel bulunmamaktadır ancak, gürültü duvarları için aynı durumdan bahsedilemez. Birçok ülkede estetik açıdan problem oluşturduğu düşüncesiyle gürültü duvarlarına yükseklik sınırlandırması (genellikle 3 m.) getirilmektedir. Dolayısıyla arazinin müsait olduğu durumlarda, düşük bakım maliyetlerinden dolayı da sedler kullanılmaktadır.

Sedler genellikle tek başına kullanılmaz. Estetik amaçlı veya sed eğim stabilitesinin sağlanması amacıyla da olsa bitkilendirme ile veya daha kısa gürültü duvarları ile birlikte kullanılır. Kanada British Columbia Karayolları ve Ulaştırma Bakanlığı “Gürültü Kontrolünde Sed Yapıları” adlı raporunda (1997) sedler çimlendirildiği takdirde aynı yükseklik ve konumdaki çimlendirilmemiş bir sede göre 2 dBA’lık bir gürültü kazancı sağlamaktadır. Aşağıda, adı geçen raporun yazılmasını sağlayan deneyler için oluşturulan 1/31,5 ölçeğindeki deney modelinden elde edilen diğer sonuçlar listelenmiştir:

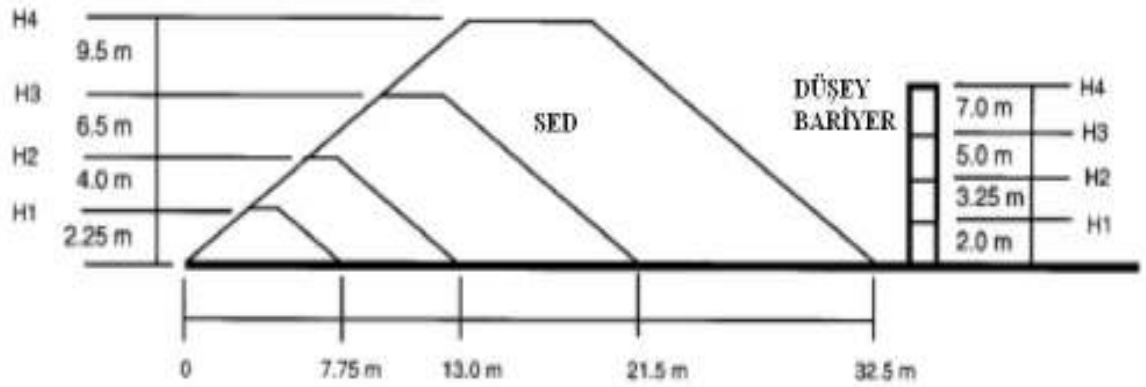
1. 3:1 veya daha az eğimli yüze sahip olan sedler, 1,5:1 veya 2:1 veya bunlardan daha dik eğime sahip yüzeyi olan, aynı yükseklik ve konumdaki sedlere göre gürültü düzeyinde 0,5 - 1,0 dBA’lık daha az azalma meydana getirirler.
2. Sedlerin tepe şekilleri gürültünün azaltılmasında önemli bir rol oynamamaktadır. düz veya dairesel tepeli olan sedlerin kama şeklinde tepeye sahip olan sedler üzerinde 0,5 dBA düzeyinde bir avantajı bulunmaktadır.
3. Yüksek gürültü emme özelliğine sahip yüzeyi bulunan sedler, normal çim yüzeyli sedlere göre 4-5 dBA daha fazla gürültüyü keserler. Bu ölçüdeki bir azalma,

ancak yansıyan gürültünün azaltılmasından ve setin üstünden geçen gürültünün üst yüzey tarafından emiliminden kaynaklanmaktadır.

4. Çok sık bahsedilen “yumuşak-tepe düzeltmesinin (soft-top correction)” çim yüzeyli sedlerden öte sadece yüzeyi yüksek gürültü emiciliği özelliği taşıyan sedlerde geçerli olduğu görülmüştür.
5. Normal sedlerin üzerine bariyer duvarları eklendiğinde, çeşitli boyut ve eğim kombinasyonlarına göre yapılan deneylere göre aynı yüksekliğe sahip sedlere göre bu tip kombine sedlerin ortalama 1,5 dBA daha fazla gürültüyü azalttığı görülmüştür. Bu tip, bir duvar yardımıyla yükseltilmiş sedlerde, yansıyan/saçılan ses dalgalar, sed üzerinden direkt geçen dalgaları yok etme, en azından güçlendirmeme eğilimindedirler.
6. Optimal duvar/sed performansı, duvarın yüksekliğinin sed yüksekliğinin yarısından daha az olduğu durumlarda sağlanmıştır.
7. Duvar/sed kombine gürültü perdeleri, normal gürültü emici yüzey özellikteki sedlerden, hatta bazı durumlarda yalnız duvardan ibaret olan gürültü perdelerinden daha iyi performans sağlamışlardır.
8. Madde 6’da açıklanan duruma ait bir istisna olarak, eğer 3 m.lik, yüksek gürültü emici özellikli yüzeye sahip bir sed, 1 m.lik bir duvar ile yükseltilirse, üzerine 1 m.lik duvarla yükseltilmesine rağmen sadece sede nazaran bariyerin toplam performansı 10,4 dBA’dan 9,9 dBA’ya azalmıştır. Aşırı ses yutucu bir yüzeye sahip bir sedin bir duvarla yükseltilmesi durumunda, bu iki sistemin ayrı ayrı kullanıldığı durumda elde edilen performans kazanımlarının toplamının birlikte kullanıldığı sistemin toplam performansına eşit olmayacağı görülmüştür.
9. Sed veya duvara ait yüzeyin trafik gürültüsünü emici veya dağıtıcı özellikte olmasına rağmen bitkilendirilmesi, sedin toplam performansına çok küçük bir değer kazandırmaktadır. Hatta yüksek frekanslı durumlarda, bitkilendirmenin sedin üzerinden aşmasına izin vermek, gürültünün sedin tepe noktasında bitkiler sebebiyle daha fazla kırılmasından dolayı gürültünün sedin arkasına geçmesine izin verir. Bu durumda sedin sadece kendisi dahi bitkilendirilmiş halinden daha iyi performans sağlamaktadır.

Sedlerin, arazi koşulları uygun olduğu takdirde, diğer türler üzerinde bazı avantajları vardır. Bunlar:

1. Sedlerin doğal görünümleri vardır.
2. Sedler, gürültü duvarlarının aksine açıklık hissi uyandırır.
3. İnşaat hafriyatlarından gelen toprak kullanıldığında inşa maliyeti daha da azalmaktadır.
4. Bakım maliyeti işletme ömrü boyunca gürültü duvarlarına nazaran daha azdır.
5. Belirli bir kullanım ömrü yoktur.



**Şekil 4.2:** Sed / Düşey Bariyer Karşılaştırması (Kotzen, English, 1999)

Sedlerin perdeleyici yüzeyi ses kaynağına yeterince yakın olmadığından, sedlerin yüksekliği perdelerin yüksekliğinden daha fazla olmalıdır.

#### 4.2.2 Ağaçlandırma ve Bitkilendirme

Kent içerisindeki yol ağaçlamaları trafik tekniği yönünden; yönlendirme, kimi noktaların vurgulanması, sürücünün ilgi alanını sınırlama, duran trafiğin gölgelenmesi, yayaların güvenliği, dikey ve yatay yöndeki olumsuz görünümleri önleme, yol boyunca yapı ve mekanları bağlama/ayırma konularında işlevler üstlenirler (Öztürk, B., 2002).

Karayolu ulaşımı açısından bakıldığında yalnızca ağaçlandırmadan söz etmenin mümkün olmadığı görülmektedir. Ağaçlandırmanın yanı sıra değişik bitki türleri de bir kompozisyon halinde kullanılabildiğinden, bir bitkilendirmeden bahsetmek daha doğru olur. Dolayısıyla, karayolu için “ağaçlandırma” yerine “bitkilendirme” sözcüğünün kullanılması gerekir.

Gürültü önlemede iğne yapraklı, her dem yeşil (koniferler) bitkiler geniş yapraklı olanlara göre daha etkilidir. 100 m genişliğindeki iğne yapraklı bir bitki şeridi ile

gürültü düzeyi yarıya indirilir. Almanya'da 10-25 m genişliğinde şeritler halinde tesis edilen gürültü perdeleri ile, gürültü 0,7-10,7 desibel arasındaki ölçülerde azaltılabilmektedir (Selimoğlu, 1994). Demirel ve diğerleri (1996) ise, bu genişliği 20-30 m olarak vermektedir ve buradaki ağaçların boyunun 14 m.ye ulaşması gerektiğini, şeridin kenarının trafik hattı merkezinden 16-20 m bir mesafede yer alması gerektiğini belirtmiştir. Aynı çalışmaya göre trafik hızının daha düşük olması nedeniyle kent içi uygulamalarında, ağaç ve çalılardan oluşan 6-16 m.lik bir şerit ve bu şeride ait dış kenarın en yakın trafik hattının merkezine 5-16 m mesafede bulunması etkili gürültü azalımı için yeterli görülmüştür.

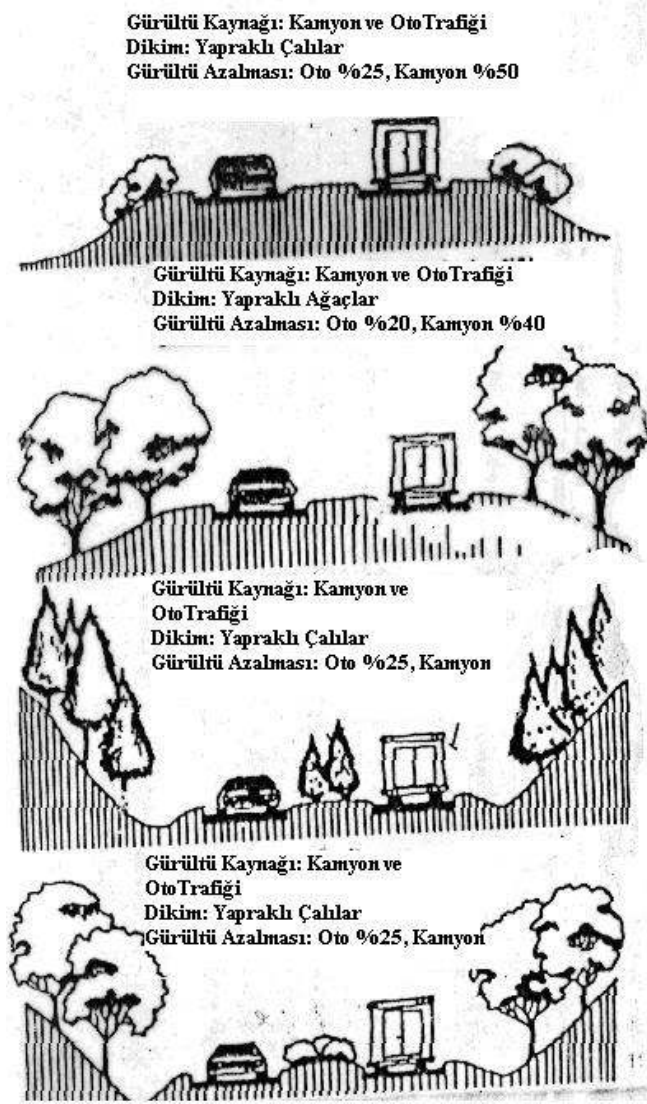
Gürültüyü önlemede şeridin genişliğinden çok şeritte yer alan bitkilerin yapısı önemlidir. Sık tepe yapısına sahip boylu ağaçların çalılarla kombinasyonu ile bu kombinasyonun yerleşimi önemlidir. Gürültü perdesi gürültü kaynağına yakınlığı ve korunacak alana olan uzaklığı ölçüsünde etkindir (Selimoğlu,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

Trafik şeridine 15 m mesafeden başlayarak 30 m genişliğinde oluşturulan bir ağaç kümesinin sesi kesmekteki etkisi şu şekildedir (Demirel ve diğ., 1996) :

30 m mesafede 5 dB(A)

46 m mesafede 8 dB(A)

69 m mesafede 10 dB(A).



Şekil 4.3: Sedlerde Bitkilendirmenin Uygulama Şekli (Demirel ve diğ., 1996)

#### 4.2.3 Gürültü Perdeleri

Gürültü perdeleri kullanılan malzeme tipine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

##### 4.2.3.1 Ahşap Gürültü Perdeleri

Ahşap bariyerler İngiltere’de genellikle yol boyu bariyerleri olarak kullanılmaktadır. Hatta giderek bahçe duvarı görevini üstlenmektedirler ve bu nedenle tam bir bariyer tasarımı kimliğine sahip olamamışlardır. Kırsal alan yerleşimlerine çok kolay uyum göstermektedir. Yaya yolu kenarlarına ve bahçe çitlerine yakın inşa edilen bariyerlerde dikkat edilmesi gereken şey, bu tip bariyerlerin insan boyutlarında olması ve olabildiğince az karanlık pasaj oluşturmalarıdır. Karanlık bölgelerin oluşması durumunda aydınlatma sağlanmalıdır.

Ahşap bariyerlerin kullanılmasının sakıncalı olduğu yerler de vardır. Özellikle viyadük ve köprülerde kullanılmaması önerilir. Bunun nedeni akustik olarak yetersiz veya zayıf malzeme oluşu değildir. Asıl nedeni ahşabın kırsal alana uygun bir görünüme sahip olmasından dolayı, betonarme veya çelik yapılar üzerinde kullanıldığında görünüş bakımından uyum göstermemesidir. Ahşabın organik doğası gereği iyi bir manzara arka planında veya bitkiler ile birlikte kullanılmalıdır. Ahşabın kullanılamayacağı bir yer de, yansıtıcı duvar olarak kullanılacağı yerlerdir. Yansıtıcı yüzeyler genellikle eğik olarak konumlandırılırlar. Araştırmalar göstermiştir ki ahşabın kullanımına ait görsel beklenti dik kullanılması yönündedir.

Ahşabın yapısından kaynaklanan dikey kullanım durumu, görsel olarak tekdüzelik oluşturduğundan sürüş sırasında sürücü açısından tehlike oluşturmaktadır. Bu nedenle uzun mesafeler için kullanıldığında diğer bariyer tipleri ile veya uygun bitkilendirme ile birlikte kullanılması planlanır.



**Şekil 4.4:** Ahşap Bariyer ve Kutu Tipi Bariyerin Kesişim Noktası (Kotzen, English, 1999)

Avrupa’da ahşap bariyerler oldukça yaygın olmakla birlikte 4-5 m yüksekliğindedirler, ancak İngiltere’de 2-3 m yi geçmez. Dolayısıyla İngiltere’deki kullanım şekli dikeydir ve bahçe çitine benzer ancak diğerleri yatay ve eğik olarak konumlandırılırlar.

Bu tip bariyerler genellikle yoğun trafik akımı olan kırsal alan yollarında kullanılır. Genellikle arkasında betonarme gibi katı bir yüzey kullanılırken, ince uzun ahşap tahtaların çitalar ile birleştirilmesiyle bir ön yüzey oluşturulur. Bu ikisi arasında ise ses yutucu mineral yünden oluşan bir katman bulunur. Birçok ahşap bariyer I-profil

metal kolonlar ile desteklenir. Birçok yerde bunun yerini betonarme veya ahşap yapılar da alabilir.

#### 4.2.3.2 Metal Levha Gürültü Perdeleri

Metal bariyerler genellikle yutucu tiptedirler ancak yansıtıcı tipte olanlar da mevcuttur. Bu tip perdelerde ön yüzdeki metal sıralı deliklidir ve arka yüzde delikli olmayan alüminyum bir panel bulunur. Alüminyumun tercih edilmesinin sebebi daha hafif olması ve paslanmamasıdır. Ara kesitte ise mineral yün veya diğer ses emici malzemelerden bulunur. Ön yüzde genellikle profil malzeme kullanılır, böylelikle ön yüze ait mukavemet arttırılırken kolonlar arasındaki açıklıklar arttırılmış olur.



**Şekil 4.5** Ön Yüzde 6 mm Çaplı Delikler Olan Profilli Metal Bariyer (Kotzen, English, 1999)

Metal bariyerler, 15 yılı aşkın süredir başta Almanya olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde kullanılmaktadır. 4-5 m yüksekliğindeki bu bariyerler test ömürlerini tamamlamışlardır, çünkü metal bariyerler bu süre içerisinde her türlü iklim şartına maruz kaldığından renk değişimi veya materyalin bozulması gibi bir görsel bozulma durumuyla karşılaşılmamıştır. Yüzey renk olarak koyudan açığa doğru istenilen şekilde derecelendirilebileceği gibi bitki kullanımı ile de yumuşatılabilir. En uygun kullanım alanları şehir içi bölgelerdir. Arkitektonik (mimariye ait) öğeler yardımıyla şehir içi kullanımlarda iyi görsel etkiler oluşturulabilir.

Ses emici bu metal bariyerler genellikle şeffaf bariyerlerle birlikte kullanılır. Aşağıdaki resimde, İtalya'nın Milan şehrindeki bir otobanda gürültü emici New Jersey "Laghi" bariyer duvarı üzerine monte edilmiş metal bariyer üzerindeki

basamaklandırılmış şeffaf pencerelerden oluşan kombine bir sistem uygulaması görülmektedir.



**Şekil 4.6:** New Jersey “Laghi” Duvarı Üzerine Monte Edilmiş Şeffaf Basamaklı Pencereleri Olan Ses Yutucu Özellikteki Alüminyum Bariyer (Kotzen, English, 1999)

Oldukça geniş ve görsel olarak etkileyici olan emici özellikteki metal gürültü duvarlarından biri de Amsterdam çevresindeki A10 Ring yolu üzerindedir. Kesiti uçak kanadına benzeyen bu bariyerler, yolun şeklini izleyen dinamik bir görünüme sahiptir. Modern görünümlü bu bariyerler genellikle kent çevresindeki önemli ana yollara uygulanır.



**Şekil 4.7:** Alüminyumda Serbest Akım Fonksiyonel Tasarım Örneği (Kotzen, English, 1999)

Eklentisiz, sürekli bir görünüm sürdürmeye dayalı bu konseptte, daha sonraları dar, uzunlamasına yatay pencereler eklenerek, düzgün sürekliliği olan duvarların tekdüzeliğini aşmak amacıyla zenginleştirildi. Bir ileri aşamada bu tip bariyerlere, bitkilendirmede kullanılmak üzere yükselen büyük kafes çerçeveler eklenerek, yatay vurguyu dağıtıcı odak noktaları oluşturuldu.



**Şekil 4.8:** Görsel Çeşitlilik Oluşturmak Amacıyla Gürültü Bariyerine Eklenen Yükselen Çerçeveler Ve Yatay Pencereler (Kotzen, English, 1999)

#### **4.2.3.3 Beton Gürültü Perdeleri**

Metal gürültü perdelerinde olduğu gibi, beton bariyerler de gürültüyü yansıtıp emme özelliğine göre iki sınıfa ayrılır.

Yansıtıcı beton paneller ve yerinde imal olunmuş (in situ) beton bariyerler, eğer tasarım aşaması iyi düşünülmüş, orantılar iyi seçilmiş ve bitkilendirme çalışmaları organik ve karışıklık oluşturacak yapıda kullanılmış ise diğer bariyerler kadar efektif olarak kullanılabilir. Sadece beton yığınının oluştuğu yapılar görünüş açısından biçimsiz, göze hoş gözükmeyen büyük beton alanlar oluşturmaktadır.



**Şekil 4.9:** Görsel Olarak İstenmeyen, Tekdüze Beton Gürültü Perdesi (Kotzen, English, 1999)

Bitkilendirme kullanılmayan veya tasarımda değişiklik oluşturmeyen masif beton perdelerden sakınılmalıdır. Beton bloklarda kullanılan betonun rengi belirli aralıklarla değiştirilerek görsel tekdüzelikten kaçınılmış olur.

Birçok beton bariyer, I profilli çelik kolonlar arasına yerleştirilerek kullanılır. Bu kolonlar tabanda beton zemine ankraflanmış veya beton içindeki yuvalarına yerleştirilmiş olduğundan daha az genişlikte beton ayak gerektirir ve bu sayede yapının düşey stabilitesini artırması dolayısıyla güvenilirliği artmaktadır. Bu sistemde kıvrımlı yapıdaki beton paneller kullanılabilir ve paneller 10 m veya daha fazla yükseklikte olabilmektedir.

Emici özellikteki beton gürültü bariyerleri de kendi içersinde ikiye ayrılır; ahşap lifli (woodfibre) beton bariyerler ve taneli (granüler) beton bariyerler. İki tip bariyer de fabrikada istenilen boyut ve renkte imal edilir ve yerinde çelik kolonlar arasına monte edilir. Bu tip betonda ahşap lifler veya küçük çimentolu taneler agrega olarak kullanılır.

Paneller genellikle 4-5 m uzunluğunda ve bir yüzü veya iki yüzünün emici özellikte olup olmamasına göre değişen 140-190 mm kalınlığındadır. Genellikle tek yönlü özelliği olan bir panelin genişliğinin üçte ikilik bölümü emici özelliktedir. Kalan kısmı ise katı betondan oluşur. Emici yüzeyin alanını arttırmak, dolayısıyla emilen gürültü miktarını arttırmak için bu bölüme oldukça sık olacak şekilde profil şekli verilir. Bu şekil yatay veya dikey olarak ve hatta değişik formlarda fabrikada üretim sırasında verilebilir. Bunun yanı sıra renk pigmentleri de fabrika imalat sırasında betona karıştırılabilir.



**Şekil 4.10:** Ahşap Lifli (Solda) Ve Tanecikli (Sağda) Malzemedan İmal Edilmiş, Değişik Formlardaki Beton Gürültü Perdeleri (Kotzen, English, 1999)

#### **4.2.3.4 Plastik, PVC ve Fiberglas Gürültü Perdeleri**

Bu tür malzemelerin geri dönüşümden kullanımı arttıkça, dayanımları, kullanılabilirlikleri ve fiyatları dolayısıyla önümüzdeki yıllarda daha da fazla kullanılabileceği öngörülmektedir. Plastikte kullanılabilecek renklerin fazlalığı ve şekil vermedeki serbestlik bariyer olarak kullanım açısından bu malzemeleri önemli kılmaktadır. Aşağıdaki şekilde Paris’te 5 m yüksekliğindeki bariyerde kullanılan akrilik panel üzerine yerleştirilmiş canlı renklerdeki plastik tüpler görülmektedir.



**Şekil 4.11:** Paris’te Uygulanan Renkli, Plastik Gürültü Perde Örneği (Kotzen, English, 1999)

Plastik bariyerlerin bir diğ er avantajı da g or n m olarak diğ er bariyer türlerine benzeyebilmeleridir.

#### 4.2.3.5 Şeffaf Gürültü Perdeleri

Bu tip bariyerler, lamine edilmiş (ince tabakayla kaplanmış), sıkıştırılmış veya g   lendirilmiş cam veya akrilik veya polikarbonat plakadan imal edilir. Belirli bir mesafeden bu malzemeler arasındaki kullanım farkı belli olmamaktadır. Plaka kalınlığı cam için 8-19 mm ve akrilik ve polikarbonat plakalar için 15-20 mm dir. Plaka kalınlıkları üreticiden üreticiye değişse de akrilik plakalar uygulama sahasında kesilip şekil verilebilir, ancak cam için bu söz konusu değildir.

Akrilik plakalar panele belli bir sertlik kazandırmak için bir miktar eğilerek yerleştirilebilir. Böylelikle kolonlar arasındaki mesafe arttırılmış ve üst başlık kullanımına gerek kalmamış olur. Ayrıca, kullanılan alanlarda ışık geçirgenliği sağlandığı için ışıklandırmadan kaynaklanacak yükseklik sınırı kaldırılmış olur.

Cam bariyerler ve akrilik bariyerler boyanabilir. Bu boyamanın derecesi üretim sırasında belirlenebilir. Ayrıca bu tip bariyerlerin üzerine istenilen şekil çizilebilir.



**Şekil 4.12:** Akrilik Plakaların Estetik ve Fonksiyonel Birer  rneği (Kotzen, English, 1999)

Bu tip bariyerlerde görsel açıdan nötrlük söz konusu olduğundan görsel girişimin önemli olduğu trafik alanlarında ve görsel manzaranın engellenmek istenmediği bölgelerde kullanılır.

Akrilik ve cam plakaların seçiminde dikkat edilen iki husus söz konusudur: Şiddete dayanım ve şeffaflık. Şeffaf bir plaka şiddet yanlısı insanlar için kırılmak üzere dikkat çekecektir. Şiddete dayanımın ön planda olduğu alanlarda daha çok akrilik plakalar kullanılırken kullanım ömrü içindeki şeffaflık ön plana çıktığında cam tercih edilmektedir. Son yıllardaki gelişmeler, akrilik üreticilerinin 10 yıl boyunca şeffaflıkları garantileyebilen akrilik malzemeler ürettiklerini göstermektedir.

Genellikle şeffaf bariyerler viyadük ve köprülerde kullanılmaktadır. Bunun nedeni mühendislik hesaplarında dikkate alınmayacak ölçüde hafif olmaları ve çevreye ve yapıya görsel açıdan uyum sağlayabilmeleridir. Bunun dışında, bir yola yakın ancak manzaraya sahip yerleşim alanlarında ve diğer bariyerler üzerinde pencere veya bariyer ardı aydınlık ortam ihtiyacını karşılamak üzere kullanılır. Şeffaf bariyerlerin diğer bariyer türleri üzerindeki avantajları:

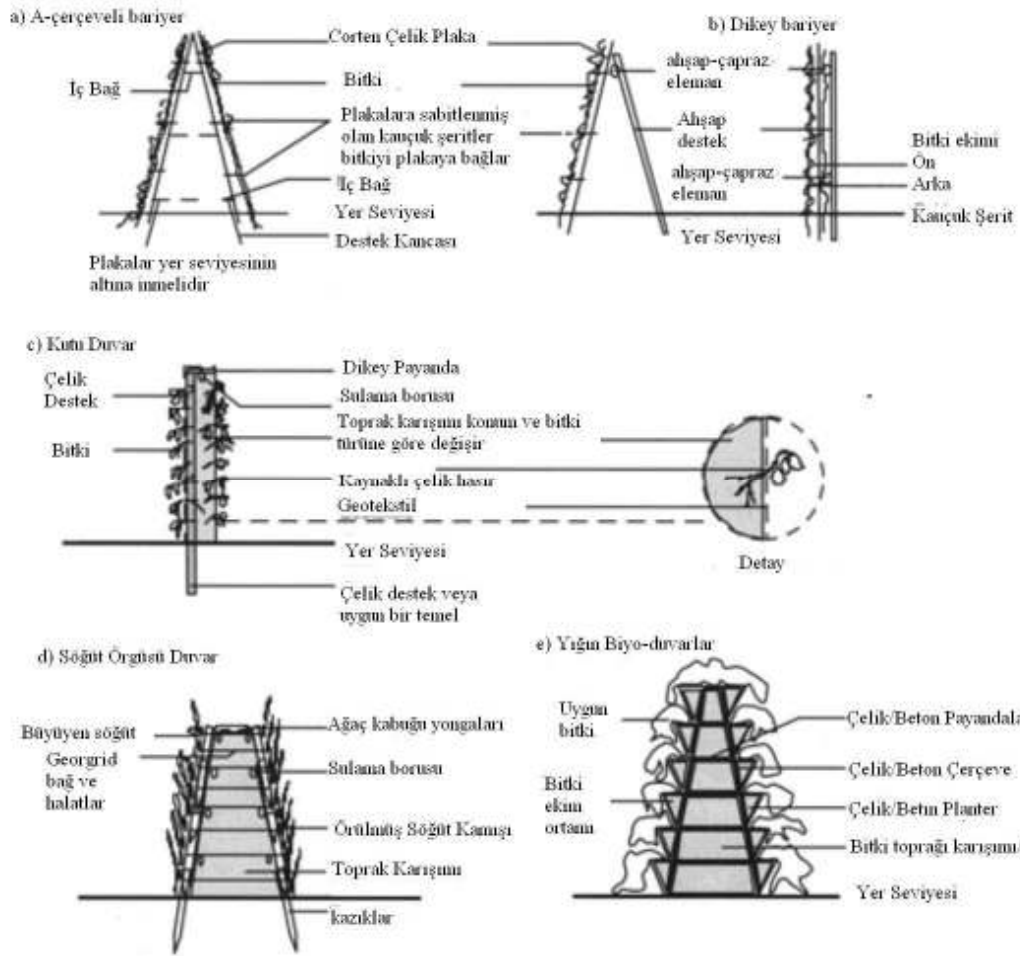
- Görsel engel oluşturmaması, dolayısıyla klostrofobi hissi uyandırmaması
- Işığı geçirerek bariyer ardında doğal ışık şartlarının sağlanması
- Hafif yapıda olması
- Daha estetik ve modern formlar oluşturabilmesi
- Maliyetlerinin nispeten daha az olması
- Montajının ve taşınmasının daha kolay olması

Şeffaf bariyerlerin bazı dezavantajları da mevcuttur:

- Her zaman şeffaf değildir; örneğin güneş bariyer üzerindeki çığ zerreciklerini buharlaştırmaya kadar, sabahları bu bariyerler yarı opaktır.
- Şiddete maruz kalıp kırılma ihtimalleri yüksektir.
- Grafiti gibi nedenlerle şeffaflıklarını yitirebilirler.
- Bu gibi sebeplerle sürekli değiştirilmesi veya yenilenmesi gerektiğinden servis ömrü kullanım maliyeti artabilir.

#### **4.2.4 Biyo-bariyerler**

Biyo-bariyerler, bitkilendirmenin gürültüyü azaltması ve estetik amaçlarla kullanıldığı gürültü bariyeri türüdür. Aynı zamanda ulaşım kaynaklı CO<sub>2</sub> gibi hava kirlетici emisyonların, partiküllerin ve ağır metallerin emilmesi sağlanabilir.

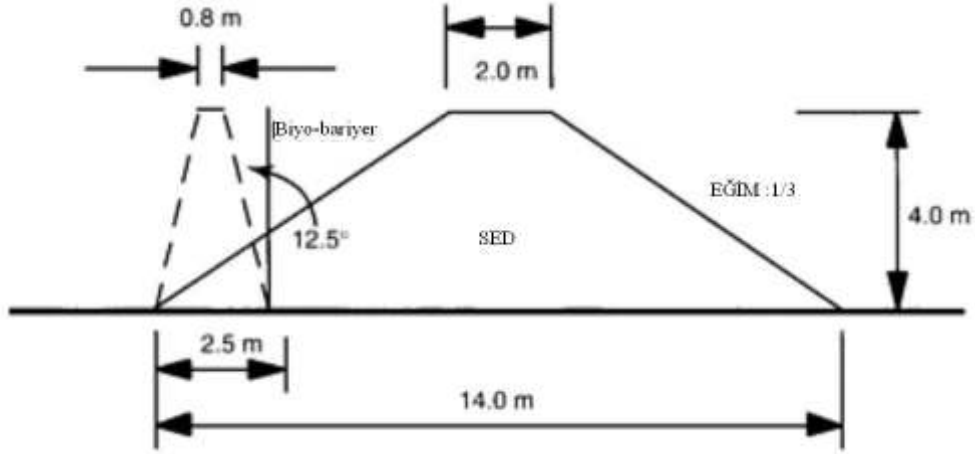


**Şekil 4.13:** Biyo-bariyer Kesitleri (Kotzen, English, 1999)

Bu tip bariyerler, başlangıçta bakım ve sulama gibi konularda problem yaşamasına rağmen yeni tasarımlarla bu problemler aşıldı. Son zamanlarda sedlere rakip olarak doğal görünümlü birçok biyo-bariyer tasarlanmıştır. Avantaj olarak sedlerin gerektirdiği alanın çok daha azını kullanmaları ve aynı zamanda doğal yaşam koridorları oluşturarak küçük memeliler ve böcekler için habitatlar oluşturmalarıdır.

Aşağıdaki şekilde, 4 m yüksekliğinde biyo-bariyer ve aynı yükseklikteki sedin kapladıkları alan bakımından karşılaştırılması yapılmaktadır.

Biyo-bariyerlerde kullanılan bitkiler karayolu kaynaklı gürültünün yanı sıra hava kirliliğini önleyici özelliğe de sahiptir. Örneğin, *Ailanthus glandulosus* gibi kurşun yiyen bitkiler mevcuttur ve gürültünün önlenmesi hususunda ise bu tip bariyerlerde tırmanıcı tipte bitkiler (*Hedera helix*, *Rubus fruticosus*, *Polygonum aubertii* ve *Parthenocissus quinquefolia*) kullanılmaktadır (Demirel ve diğ., 1996).



**Şekil 4.14:** Biyo-bariyer Sed Karşılaştırması (Kotzen, English, 1999)

Biyo-bariyerler genel olarak ana yapısına veya tasarım prensibine göre adlandırılan 4 alt grupta incelenebilir.

#### 4.2.4.1 A-Çerçeveseli Bariyer

Bu tip biyo-bariyerler, temelde işlenmiş delikli ahşap üzerine tepe şekli verilecek şekilde içe doğru eğilmiş olan oluklu korten (cor-ten) çelik levha üzerine temeldeki toprağa kökü dikilen bitkiler kauçuk şeritlerle bağlanarak oluşturulur. Korten çelik antikorozyf bir pas tabaka oluşturarak ana iç çekirdek çeliğinin paslanmasını önler ve gürültüyü yansıtıcı bir görev üstlenir. Bitkiler bu sistemin hemen yakınına dikilir ve rüzgar gibi dış etkilerle yıpranmasını önlemek için kauçuk şeritlerle sisteme bağlanır. Bu sistemin faydalı kullanım ömrü yaklaşık 20 yıldır.

Hollanda’da bu tip bariyerlerde bariyerin bulunduğu yere ve buna göre türü değişen şu bitkiler genellikle kullanılmaktadır: söğüt, dilbudak, kıızılağaç, isfendan, kurt baharı, misket limonu, sarmaşık.

#### 4.2.4.2 Kutu Duvar Biyo-bariyerleri

Bu tip biyo-bariyerler çelik hasır ile desteklenmiş sedler gibidirler. Bunun içersinde, toprak karışımı bir polietilen veya geotekstil içersinde bulunur. Eğer UV hassas polietilen örtü kullanılacaksa bitki seçiminde toprağı tutacak güçte kök gelişimi olan bitkiler kullanılmalıdır. Böylelikle polietilen örtü eridikçe kök toprağı tutmaya devam edecektir. Geotekstil kullanılması durumunda, geotekstil UV hassas bir malzeme olmadığından kullanım ömrü daha uzun olacaktır.

Toprak karışımı kullanılacak bitki türüne göre hazırlanır. Bitkiler, hasır çeliğin boşlukları üzerinde geotekstil veya polietilen üzerinde açılan deliklerden içerdeki toprak karışımına dikilir. Toprak karışım yerine, içinde mineral yün çekirdek bulunduran ve kapiller etkilerle topraktan su ve nemi çekebilen ve bu yün çekirdek kısıma bitkilerin ekildiği türde olan biyo-bariyerler de mevcuttur. Bu tipteki bariyerlere yine de sulama sistemi konulması önerilir. Bitkilendirme bu tip duvarlarda duvarın topuk kısmından başlar ve bitki, yukarı doğru büyümesine olanak verilecek şekilde yönlendirilir.

Hollanda’da bu tip biyo-duvarlarda genellikle alttaki yapıyı tamamen örten ve dikkat çekici yeşillikte bir duvar oluşturan bir bitki türü olan sarmaşık kullanılmaktadır.

#### **4.2.4.3 Söğüt Örgüsü Biyo-Bariyerler**

Bu tip bariyerin patenti Hollanda kaynaklıdır. Dikey çomaklar arasından geçirilen söğüt dalları ile örgü yapılır. Bu büyük çubuk kafes içersine kum veya uygun karışım konulur. Yapı, bağ, diğer çubuk ve halatlarla desteklenerek kuvvetlendirilir. Sulama sistemi sistem içersinde kurulur. Söğüt, hızlı bir şekilde her sezon 2 m uzama eğilimindedir. Uzamanın yavaş olduğu dönemde uzayan bu dallar budanmalıdır. En önemli nokta sistemin sağlam kurulmasıdır. Hollanda’da yapılan araştırmalar göstermiştir ki söğüt kamışlar köklerini geliştiremedikleri için yapıya ekstra bir stabilite sağlayamamaktadırlar. İngilizler bu problemi kullandıkları ekstra bağ ve desteklerle aşmışlardır.

#### **4.2.4.4 Yığın Biyo-Bariyerler**

Bu tür bariyerlerde, prekast yapılar birbiri üzerine konularak oluşturulan yığın duvarlardır. Tabanda en geniş halde bulunan yapı yükseldikçe daralır. Bu yapının ortasında bitkinin ekiminin yapıldığı balast veya uygun karışım bulunur. Bu tip duvarların görünümü kullanılan bitki ve prekast yapının türüne bağlıdır. En yaygın bariyer türlerinden biridir. Türkiye’de özellikle köprülü kavşakların bulunduğu bölgelerde, şev kenarlarına uygulanarak hem bitkilendirme ile görsel olarak yapı zenginleştirilmiş olur hem de gürültü emici görev üstlenirler.

#### **4.2.5 Diğer Bariyer Türleri**

Yukarıda anlatılan bariyer türlerinin dışında yolun üstten yarım veya tamamen kapatılması ile sağlanan bariyer sistemleri de bulunmaktadır. Bu tip önlemler

oldukça etkili yöntemlerden olup, bu şekilde ulaşım kaynaklı gürültüde 25 dBA'ya ulaşan gürültü azalması sağlanabilmektedir (Öztürk, Z., 1998).

#### 4.2.5.1 Sundurma (Cantilever) Bariyerler

Sundurma bariyerler, yolun üzerine doğru çıkma yapan bariyer türüdür. Bu tip bariyerlerin normal dikey bariyer türleri üzerinde bazı avantajları vardır.

- Üst kısım yol üzerine doğru kıvrıldığından dolayı, aynı azalmayı sağlayacak düşey bir bariyere göre toplam bariyer yüksekliğinde kazanç sağlanır.
- Yol güzergâhı üzerindeki yaşam alanlarındaki insanlar için düşey bariyerin oluşturduğu görsel kısıtlayıcılık etkisi bariyerin yol üzerinde kıvrılması nedeniyle azalmaktadır.
- Sundurmalı yapının yol üzerinde kalan kısmı, kısmi yarma oluşturan topografyaya sahip arazilerde farklı amaçlarda kullanılmak üzere düzenlenebilir.

Sundurma bariyerler de çeşitli tiplerde malzemeden inşa edilebilir ve ses emici veya sesi yansıtıcı özellikte inşa edilebilir. Danimarka'daki tüm tren yollarında Danimarka gürültü mevzuatının öngördüğü küçük ölçekli, 2,5–3 m yüksekliğinde çelik yapıda sundurmalı bariyerler kullanılmaktadır, ancak Hollanda, Zeist şehri A28 yolu üzerinde büyük ölçekli 10 m yüksekliğinde yüksek yapıları gürültüden koruyan beton sundurmalı bariyerler de kullanılmaktadır (Kotzen, English, 1999).



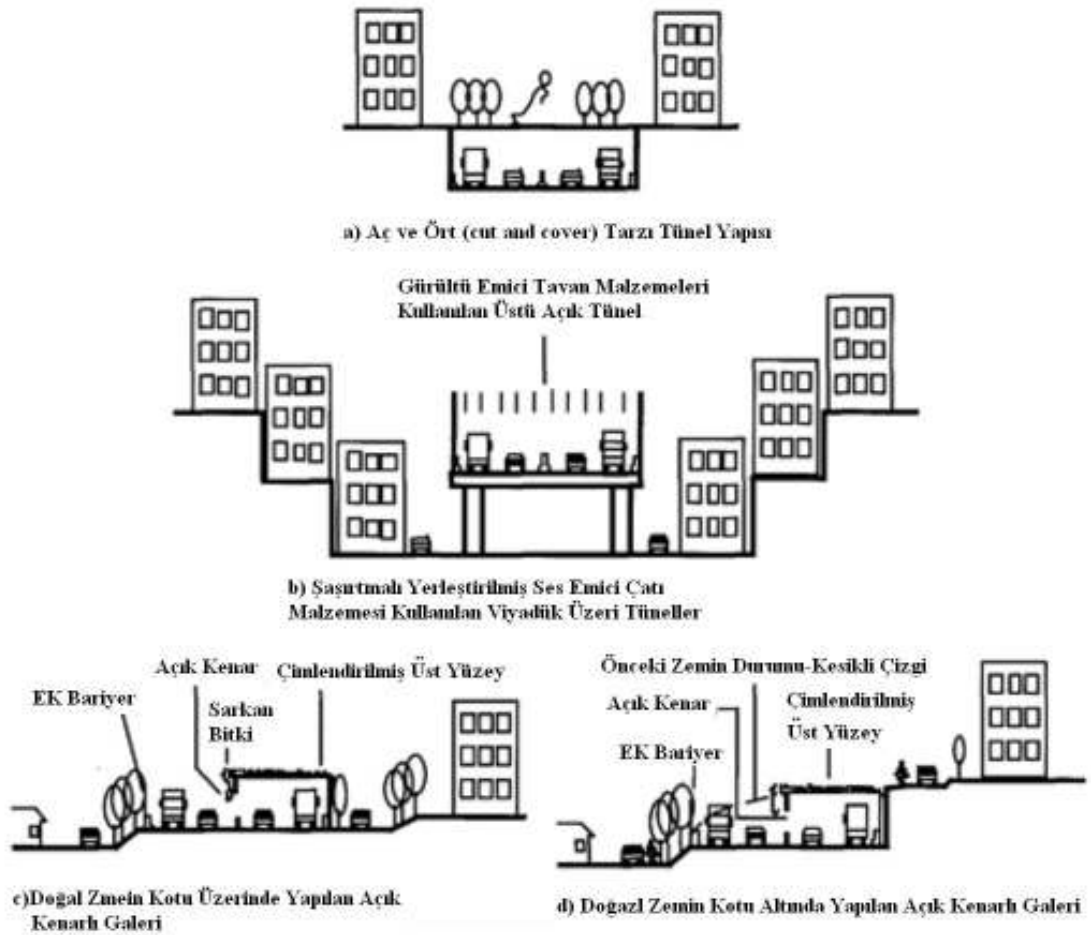
**Şekil 4.15:** Sundurma Bariyerlerin Uygulama Örnekleri, Zeist ve Dordrecht, Hollanda (Kotzen, English, 1999)

Biçim açısından incelendiğinde bu tip bariyerlerin başarısı, bariyerin çatı tasarımı ile ilişkilidir. Özellikle yay şeklinde gökyüzüne doğru kıvrılarak yükselen ve yolun kurbuna göre yatay eğimle konumlandırılmış yapılar bu konuda başarılı bulunan tasarımlardır. Bu tasarımlarda toprak ile temas sağlayan bölgelerdeki keskin şekilleri

yumuşatmak için bodur bitkiler kullanılabilir. Bu çalışma aynı zamanda, bariyerin kullanıldığı alana göre çevreye uyum sağlamasına yardımcı olur.

#### 4.2.5.2 Tünel Yapıları

En iyi gürültü azaltma metotlarından biridir, ancak sesin madde ile iletimi ve yankılanma özellikleri de göz önünde bulundurularak tasarım yapılması gerekmektedir. Bir tarafı açık bırakılan yapılarda, 25 dBA lık bir gürültü azalması sağlanamazken aydınlatma ve havalandırma gibi maliyetli uygulamalardan tasarruf sağlanmış bulunmaktadır, ancak ses yutucu malzemeler kullanılarak bu gürültü azalması miktarı artırılabilir (Öztürk, Z., 1998).



Şekil 4.16: Yolların Kapatılması Örnekleri (Kotzen, English, 1999)

Doğal zemin kotu altında yapılan tünel yapılarının bir avantajı da, bu tünellerin üstlerinin park, bahçe gibi farklı amaçlar için yeniden düzenlenip kullanılabilmesidir. Ancak şu var ki, tünel yapıları tamamıyla kapalı olmak veya yeraltında olmak zorunda değildir.

Yer üstünde yapılan büyük tünel örneklerinden biri İtalya, Genoa'nın merkezindedir. Burası çok yoğun bir yaşam alanı olduğu için tasarım seçenekleri kısıtlıdır. 1930larda Mussolini tarafından yaptırılan bu viyadüğün birkaç metre uzağındaki alana yüksek katlı yapılar yapılmıştır. Yüksek trafik hacminden dolayı bu viyadük 270 m uzunluğunda, 6 m yüksekliğinde ve üstü kısmen açık olan bir tünel ile örtülmüştür. Tünelin yanlarında New Jersey duvarı üzerine kurulu ses emici panellerde kullanılmıştır. Tünel hafif malzemelerden inşa olmuştur. I profilili kolonlar arasına çelik çubuk ve kablolar konularak sabitlenmiştir. Autostrade, bu otoyolun işletilmesinden sorumlu olan firma, bu yüksek apartmanlarda oturan insanların gürültü azalmasından dolayı memnun olduklarını ancak tünel ve daha aşağı seviyenin aşağısındaki katlarda oturan insanların yeterince ışık almadıklarından dolayı şikâyetçi oldukları belirtilmektedir (Kotzen, English, 1999).



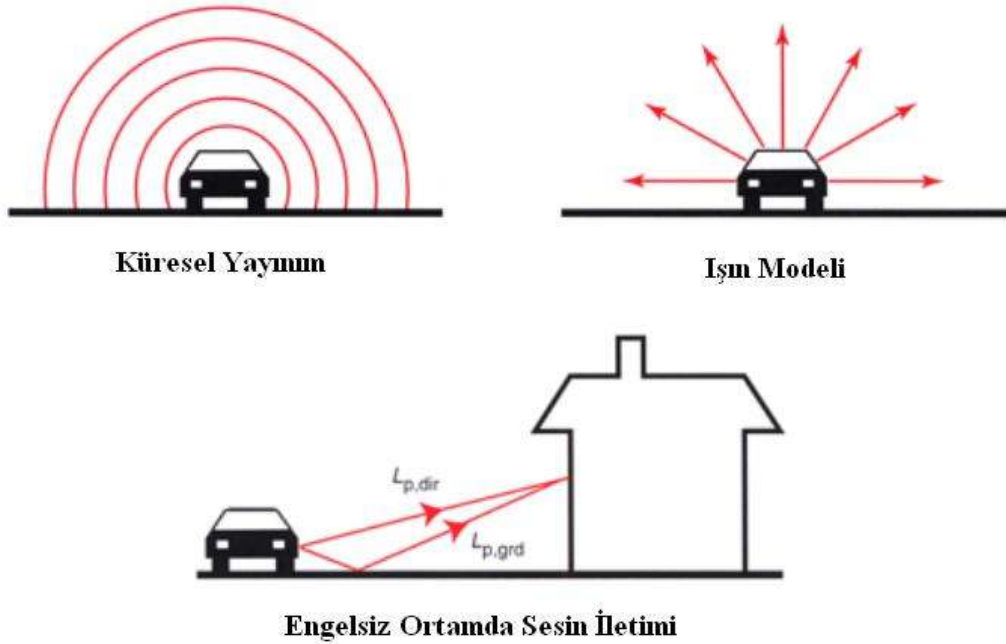
**Şekil 4.17:** Genoa, İtalya, Tünel Uygulaması Örneği (Kotzen, English, 1999)

## 5. GÜRÜLTÜ PERDELERİNİN AKUSTİĞİ

### 5.1 Gürültü Perdelerinin Akustik Performansı

Birçok gürültü perdesi yapılma 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.

Daha önce de belirtildiği gibi ses, kaynaktan küresel bir şekilde, düzensiz, değişken basınç dalgaları şeklinde yayılır. Ancak, bu küresel yayılımı biz düz çizgiler veya ışınlar şeklinde modelleriz.



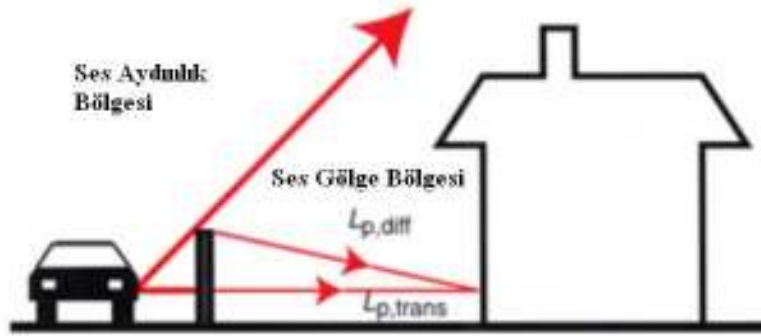
Şekil 5.1: Sesin Yayılımı Kabulleri (Engelsiz)

#### 5.1.1 Bariyer Teorisi

Perdelenmemiş bir yolda en önemli ses iletim yolu, kaynak ile alıcı arasındaki direkt ses ışınıdır ( $L_{p,dir}$ ). Diğeri ise zeminden yansiyarak alıcıya ulaşan ışındır ( $L_{p,grd}$ ). Bu

iki ses ışınından direkt olan, yansıyarak gelene göre daha etkilidir. Bu azalmanın mekanizması tamamıyla anlaşılmasa da, bu fark yumuşak zeminlerde, örneğin çim alanlar, daha fazladır ve 500 Hz frekansı civarında daha belirgindir.

Bir bariyerin kaynak ve alıcı arasına konumlandırılması direkt ışının gücünü oldukça azaltır, fakat buna rağmen bu ışın birçok bariyer için potansiyel bir iletim yoludur ( $L_{P,trans}$ ). Diğer bir önemli ışın da bariyerin üst kısmında kırılan kırınım ışınıdır ( $L_{P,diff}$ ).



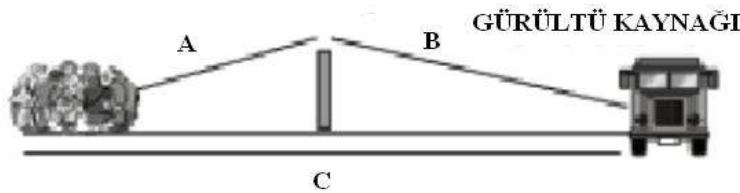
**Şekil 5.2:** Sesin Yayınım Kabulleri (Engelli)

Bariyer, zeminden yansıyarak gelen ışınları önemli ölçüde azaltır. Direkt ışın ile kırılan ışın arasındaki farkların araştırılması çalışmalarından en önemlisi Maekawa tarafından yürütülmüştür (1968). Bu çalışma bariyerin performans ölçümü için basit ve pratik metotlar içerir. Geliştirilen teoride, düşey bir bariyerin akustik performansı “Fresnel Sayısı (N)” olarak hesaplanır.

$$N = 2 \cdot \frac{\delta}{\lambda} \quad (5.1)$$

$\delta$  : Sesin direkt ve kırılarak aldığı yollar arasındaki mesafe farkı ( $L_{P,diff}$ ) - ( $L_{P,trans}$ )

$\lambda$  : Sesin havadaki dalgaboyu



**Şekil 5.3:** Gürültü Perdesinde Ses Işınlarının Hareketinin Şematik Gösterimi

$$L_{P,diff} : A+B$$

$$L_{P,trans} : C$$

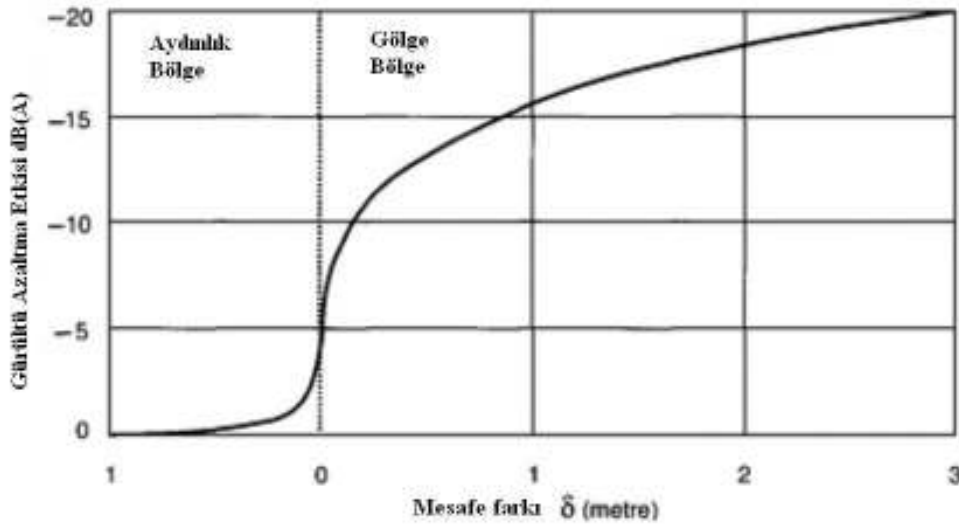
$$\delta : (L_{P,diff}) - (L_{P,trans}) = A + B - C$$

Bariyerin konulmasıyla gerçekleşecek kayıp (Insertion Loss) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$IL = 5 + 20 \cdot \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \text{ dB} \quad -0,2 < N < 12,5 \quad (5.2)$$

$$IL = 25 \text{ dB} \quad N > 12,5 \quad (5.3)$$

Yukarıdaki formül bir tek araç ve bu aracın en yakın noktası dikkate alınarak oluşturulmuştur. İngiltere’de kullanılan trafik gürültüsünün gürültü perdesi ile azaltılma değerini bulmak için aşağıda yer alan tablo kullanılmaktadır. Bu tabloya göre bir bariyerin, gölge bölge için, teorik azaltma değeri 20 dB(A)’dır. Ancak, gerekli  $\delta$  değerleri çok nadiren sağlandığı için gerçek uygulamalarda bu azaltma değeri limiti 15 dB(A)’dır.



**Şekil 5.4:** Mesafeye Göre Bariyerin Gürültü Azaltma Etkisi (Kotzen, English, 1999)

Aydınlık bölgede  $\delta \leq -0,6$  m değerine yaklaştığında bariyerin azaltma etkisi sıfıra yaklaşır ve bu bölgede şekilde görüldüğü üzere az da olsa bir azaltma sağlanmış olur. Gölge bölgede her 3 dB(A) azalma sağlayabilmek için  $\delta \geq 0,5$  m olmalıdır. Buradaki hesap metotları frekansa dayalı hesaplardan kaçınmak için N’nin kompozit değerlerini kullanmışlardır. Bunlar bilinen trafik spektrumlarından, bariyerlerin

akustik performansı ve tipik kompozit 300-500 Hz aralığına denk gelen N değerlerinden türetilmiştir. N'nin kompozit değerlerinin kullanılması, bariyer gürültü azaltması hesaplarında A-ağırlıklı ses basınç seviyelerinin [dB(A)] kullanılmasını sağlar. Frensel katsayısının bulunmasını sağlayan (5.1) denkleminde görüleceği üzere, bir bariyerin performansı frekansa bağlıdır. Bariyerin konulmasıyla birlikte alıcı ortamındaki orta frekanslı yerden yansıyan sesler ( $L_{P,grd}$ ) azalacak ve algılanan ses giderek düşük frekanslı olacaktır.

Eğer  $L_{P,trans}$ , alıcıyı etkileyen tüm ses seviyesi üzerinde önemli bir etkiye sahip değilse yeterli gürültü azaltması ince bir duvar ile sağlanabilir.  $L_{P,trans}$ 'ın tüm ses seviyesi üzerinde 0,5 dB(A)'lık bir etkisi kabul edilebilir sayılmaktadır. Bunun için aşağıdaki kısıt getirilmektedir.

$$L_{P,trans} = L_{P,diff} + 10 \text{ dB(A)} \quad (5.4)$$

Ses bariyerinin sağladığı azaltma birçok faktöre bağlıdır; yüzey kütlesi ( $\text{kg/m}^2$ ), rijitlik (stiffness), sesin gelme açısı gibi. Bunların içinde en önemli olanı yüzey kütlesidir. Daha önce (1.1) formülü ile verilen Berger yasasının yerine İngiltere Ulaştırma Bakanlığı minimum yüzey kütlesi için aşağıdaki formülü kullanmaktadır:

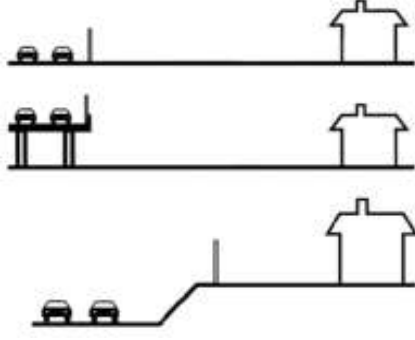
$$M = 3.10^{\left(\frac{A-10}{14}\right)} \text{ kg/m}^2 \quad (5.5)$$

A: Bir bariyerin potansiyel azaltma miktarı dB(A) [  $A = L_{P,dir} - L_{P,diff}$  ]

Burada sadece panelin yüzey kütlesi dikkate alınmaktadır. Yüzeye uygulanan destek olarak yapıştırılan malzemelerin yüzey kütlesi dikkate alınmaz.

### 5.1.2 Bariyerlerin Konumlandırılması

Bariyerlerde ses sızıntılarının yaşanmaması için bariyer boyunca hiçbir boşluğun olmaması gerekir. Geniş açıklıklarda ses herhangi bir azalmaya maruz kalmadan geçerken, dar açıklıklardan ses geçerken bu açıklıklar ses kir kaynağı gibi davranıp sesi yükselterek diğer tarafa iletirler.



**Şekil 5.5:** Bariyerin Konumlandırılması (Kotzen, English, 1999)

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

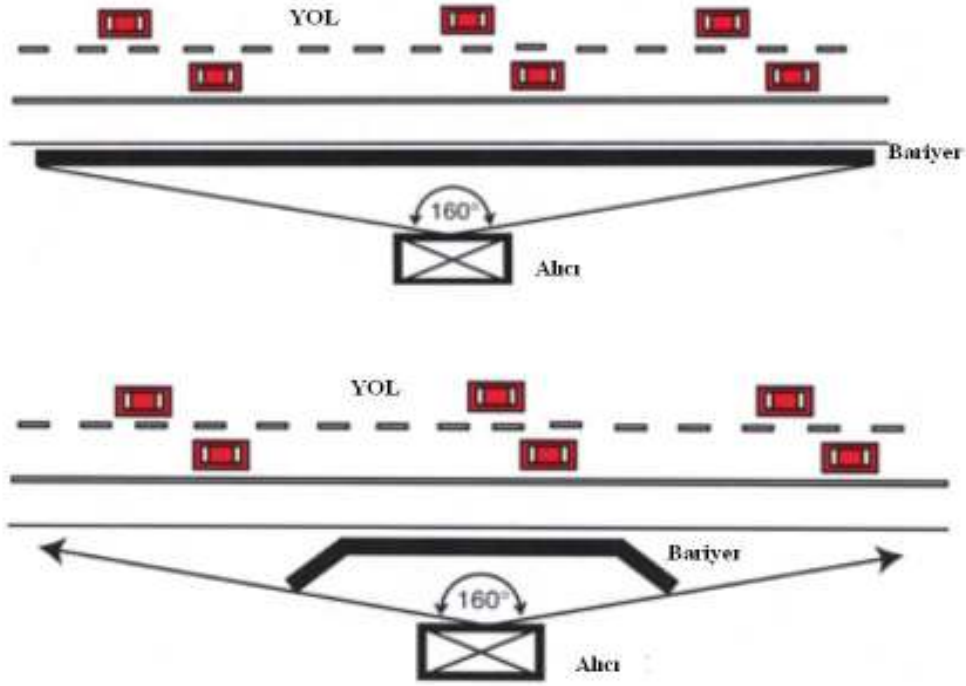
Geleneksel yaklaşımda bariyer kaynağa oldukça yakın yerleşmelidir, yol alıcıya göre daha alt seviyede olmalıdır veya yükseltilmiş bir toprak yapısı (sed) aralarında bulunmalıdır. Bu durumda gürültü perdesinin en iyi yerleşim yeri eğimli bölgenin en üst noktası olacaktır.

Bariyerden uzaklaştıkça yolun her bir şeridi için, mesafe farkı ( $\delta$ ) giderek azalacaktır. Dolayısıyla alıcı üzerindeki en baskın etkiyi en uzaktaki yol şeridi belirleyerek gölge alanın şeklini ve alan büyüklüğünü etkileyecektir. Bariyerin yüksekliğinin artırılması çözümü ise baskın olan şeridin en sol şerit olmasını değiştirmeyecektir ve kabul edilemez yükseklikte bariyer kullanılması neden olacaktır. Bu durumda ikinci bir bariyer kullanılması, özellikle gidiş-geliş yönleri arasına yerleştirilenler, önemli avantaj sağlayacaktır. Böylelikle her iki bariyer de, her iki şerit ayrı ayrı kaynak olarak düşünüldüğünde, her iki kaynağa da en yakın konumda yerleştirilmiş olacaktır. Bu teknik sayesinde bariyer yüksekliği azaltılmış olmakla birlikte çok geniş, çok şeritli yollar ile alıcının yol kot seviyesinin üstünde olduğu durumlarda önemli gürültü azalması oluşturacaktır.

### 5.1.3 Bariyer Uzunluğu

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

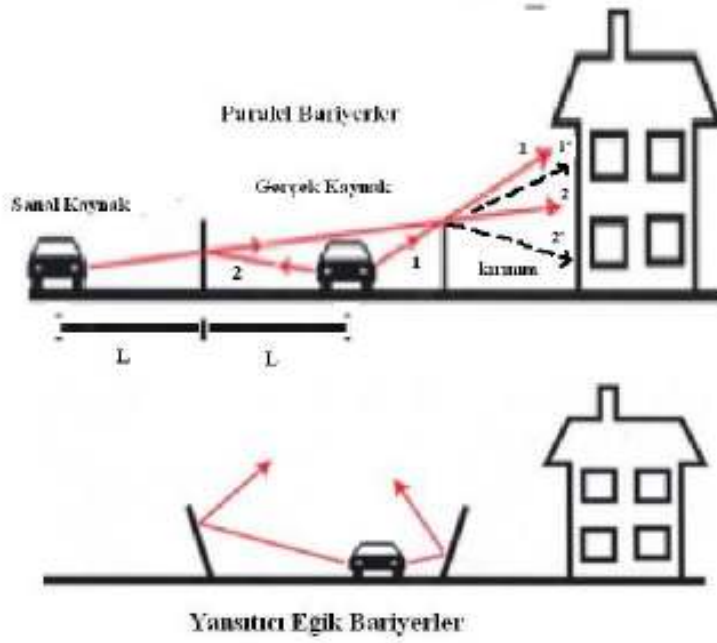
Alıcıyı gürültü kaynağından  $160^\circ$  ile koruyan bariyerlerde kenar kırınımlar dikkate alınmamaktadır. Bariyer uzunluğu ise alıcıyı  $160^\circ$ lik korumayı sürdürecektir şekilde kısaltılabilir. Böylelikle hem inşa maliyeti açısından hem de görsel açıdan olumsuz uzun bariyerlerden sakınılmış olur.



Şekil 5.6: Bariyerin Uzunluğu (Kotzen, English, 1999)

#### 5.1.4 Bariyerlerde Yansıma ve Yutuculuk

Bariyer teorisinde görüldüğü üzere, kaynak ve alıcı arasına bir bariyer konulduğundan kaynaktan gelen direkt gürültüde ( $L_{P,dir}$ ) önemli ölçüde azalma meydana gelmektedir. Bu durumdaki azalmanın nedenleri iki şekilde gerçekleşmektedir. Birincisi, bariyer üzerine gelen ses enerjisi yansıtılabilir. İkincisi de bu enerji bir ölçüde soğurulabilir. İkinci durumda dahi az bir bölüm ses enerjisi bariyerin arkasına iletilmektedir. Ahşap ve beton gibi malzemelerden yapılan bariyerler genellikle yansıtıcı özelliktedir. Gürültü emici özellikteki bariyerlerde ise, bariyerlerin trafik akımının olduğu yöne bakan 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 yansıtır.



**Şekil 5.7:** Bariyerde Yansıma (Kotzen, English, 1999)

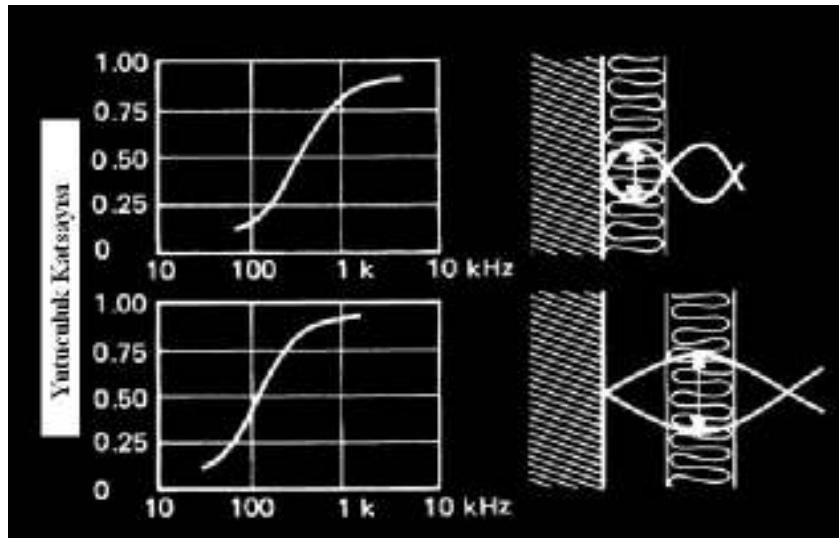
Paralel bariyerlerde, kaynağa en uzak olan bariyerin bir ayna görevi gördüğü ve dolayısıyla sanal bir gürültü kaynağı oluşturduğu kabul edilir. Yukarıdaki şekilde 2 ve 2' numaralı ışınların kaynağı sanal kaynaktır ve bu  $L_{P,img}$  olarak gösterilir. Hayali kaynak, gerçek kaynaktan daha uzakta yer almasına karşın 1 numaralı kırına ışından daha az perdeleme ile karşılaşacaktır. Kimi durumlarda ise hiçbir perdelemeye dahi maruz kalmayabilir. Bu durumda gürültü perdesinin performansında azalma meydana gelecektir. Bu yükseklikler veya aradaki mesafe artarsa veya azaltılırsa, kayıp daha da artmaktadır. Örneğin, 2 m yüksekliğinde yansıtıcı özellikteki iki paralel bariyer aralarında 34 m olacak şekilde yerleştirildiğinde, öndeki bariyerin performansında 4 dB(A) bir azalma meydana gelirken aradaki mesafe 18 m.ye indirildiğinde ve yükseklikler 4,5 m.ye çıkarıldığında bu kayıp 6 dB(A) olmaktadır (Kotzen, English, 1999). Paralel bariyerlerin kullanımının gerekli olduğu yerlerde, yutucu özellikte yüzeye sahip bariyer kullanımı ve sadece öndeki bariyerin yüksekliğinin artırılması bu problemin çözümünde yeterli olacaktır ancak, yüksekliğin artması ile birlikte hem inşaa maliyeti artacak hem de görsel problemler ortaya çıkacaktır. Bu durumda en genel çözüm metodu ise bariyerlerin dışa doğru eğik olarak yerleştirilmesi olacaktır. Böylelikle ikinci perdeden yansıyan ışınının alıcının çok daha üstünden yansıtılması mümkün olacaktır. Eğim açısı bariyerin açıklığına bağlıdır. 45 m açıklıktaki paralel bariyerlerin her birine 3° eğim

verildiğinde sağlanan gürültü azalması performansı, alıcıya yakın olan bariyerin tek başına ve eğimsiz iken sağladığı performansa eşit olduğu görülürken bu açıklık 18 m.ye indiğinde gerekli olan eğimin 10-15° olduğu belirlenmiştir (Kotzen, English, 1999).

Gürültü yutucu özellikte yüzeye sahip bariyerlerin kullanımında ise özellikli olan yüzeylerin trafik akımı yönünde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sesin yutulma miktarı yansıyan kısmına göre çok büyüktür. Bu tip bariyerlerin üç tür mekanizması vardır.

#### 5.1.4.1 Poroz Yapılı Malzemeler

Mineral yünü, fibreboard veya plastik köpükler bu sınıfa girmektedir. Titreşen hava moleküllerinin porlara girmeye çalışması sırasında, por duvarları ile etkileşimi sonucu zorlanması ile ses enerjisi sürtünme nedeni ile ısı enerjisine çevrilir. Poroz yapılı gürültü emiciler kısa dalgaboylu, yüksek frekanslı seslerde etkilidir. Eğer emici yüzeyin kalınlığı dalgaboyu uzunluğunun dörtte birinden daha az ise, bu yüzeyin ses yutuculuğu çok az olacaktır.



Şekil 5.8: Poroz Yapılı Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı (Marsh, 1999)

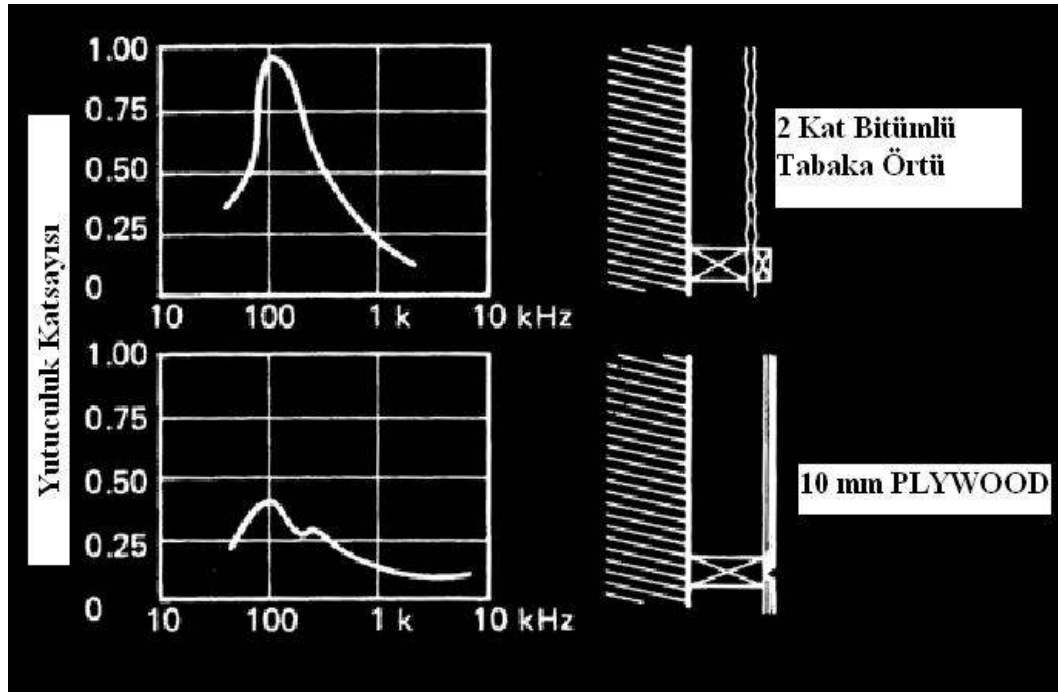
#### 5.1.4.2 Membran Malzemeler

Bu tür ses yutucular, esas ana duvar üzerine konulan destekler veya rijit paneller üzerine gerilerek monte edilir. Membranın içindeki hava katmanının basınca gösterdiği direnç ve membranın kendisinin esnekliğe gösterdiği direnç sonucunda ses enerjisi, ısı enerjisine çevrilir. Membranın yüzey kütlesi ( $M$ ;  $\text{kg/m}^2$ ) ve duvar ile

katman arasında kalan hava boşluğunun kalınlığı (b; m) ses yutuculuk katsayısının belirlenmesinde önemli yer oynar.

$$Fr = 60/(M.b)^{0,5} \quad (5.6)$$

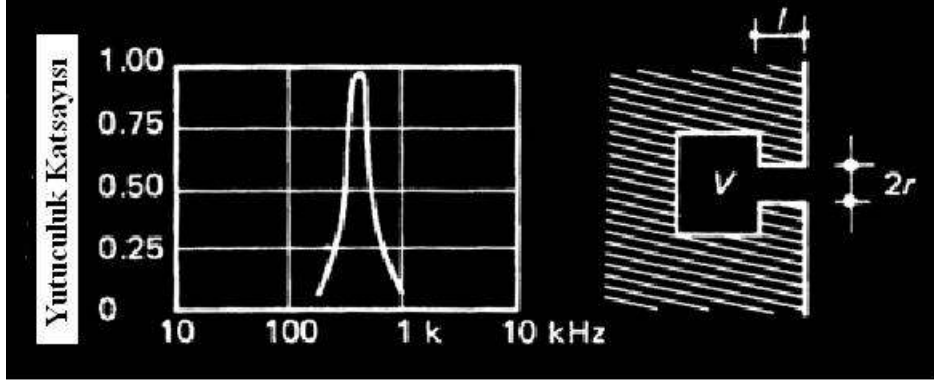
Uygulamada, panellerin rijitliği ve monte edilme metotları, panelin kendisi de titremeyebileceğinden panelin performansını etkileyecektir. Diğer bir deyişle bu tip ses yutucu sistemlerin kendisi de ses yayıcı (radiator) gibi davranabileceğinden bu tür sistemlerin yutuculuk katsayısı genellikle 0,5 üzerine çıkmaz. Membran ses yutucu malzemeler en fazla düşük frekanslarda etkilidir.



Şekil 5.9: Poroz Membran Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı (Marsh, 1999)

#### 5.1.4.3 Delikli (Cavity) Ses Yutucu Malzemeler

Helmholtz ses yutucular olarak da adlandırılırlar. Dar bir boynu olan küçük kapalı odacıklı malzemelerdir. Bu oda içersindeki hava belirli bir frekansta bir yay gibi davranarak sesi yutar.



Şekil 5.10: Helmholtz Ses Yutucu Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı (Marsh, 1999)

$$Fr = (340/2\pi) \cdot (S/V \cdot L)^{0,5} \quad (5.7)$$

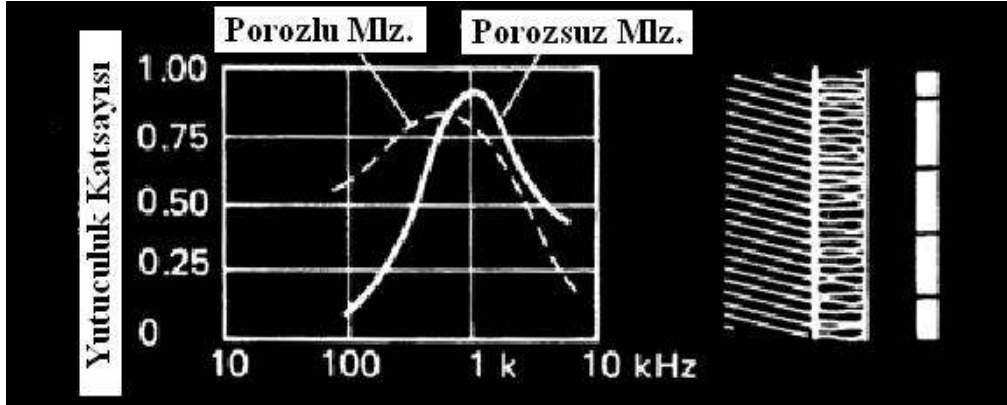
S: Boyun kısmının kesit alanı (m<sup>2</sup>)

V: Kapalı alanın hacmi (m<sup>3</sup>)

L: Boyun kısmının derinliği

Dar frekans bant aralıklarında çok yüksek ses yutuculuk katsayısına sahiptirler. Bu dar frekans aralığı boşluk içersine ses yutucu özellikte poroz malzemeler kullanılarak genişletilebilir.

#### 5.1.4.4 Delikli Panel Ses Yutucu Malzemeler

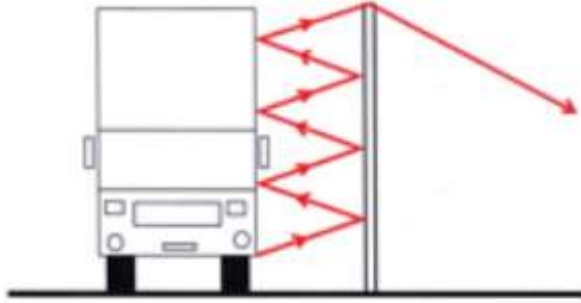


Şekil 5.11: Delikli Panel Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayısı (Marsh, 1999)

Yukarıdaki üç maddeyi de içeren özelliktedirler. Panelin kendisi plywood, plasterboard veya metal olabilir ve membran ses yutucu gibi davranabilir. Delikler ve yuvalar(slot), sistemin delikli ses yutucu gibi davranmasını sağlayacaktır. En alt katman olarak kullanılan porozlu ses yutucu da boşluk içersindeki sesin yutulmasını sağlayacaktır.

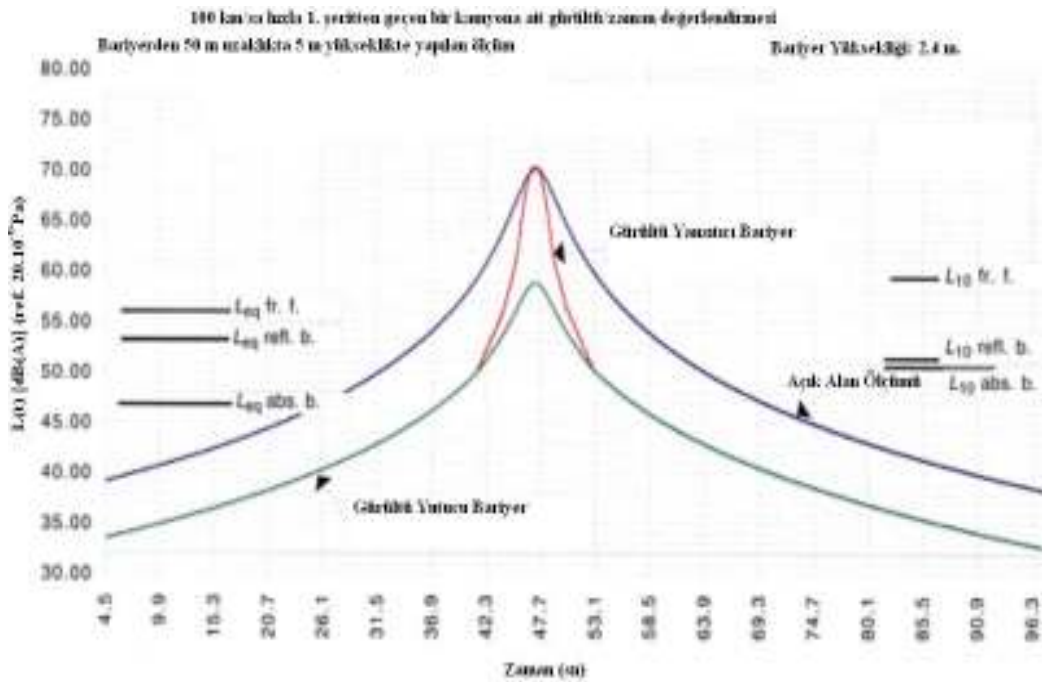
## 5.2 Bariyer Akustiğini Etkileyen Faktörler

### 5.2.1 Yüksek Araç Etkisi



Şekil 5.12: Yüksek Araç Etkisi (Kotzen, English, 1999)

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 kırılma nedeniyle oluşan gürültü bariyerin arkasına rahatlıkla geçebilmektedir.



Şekil 5.13: Yüksek Araç Etkisi ve Bariyer Tipi (Kotzen, English, 1999)

$L_{fr.f.}$  : Açık Alan Ölçümü (free field)

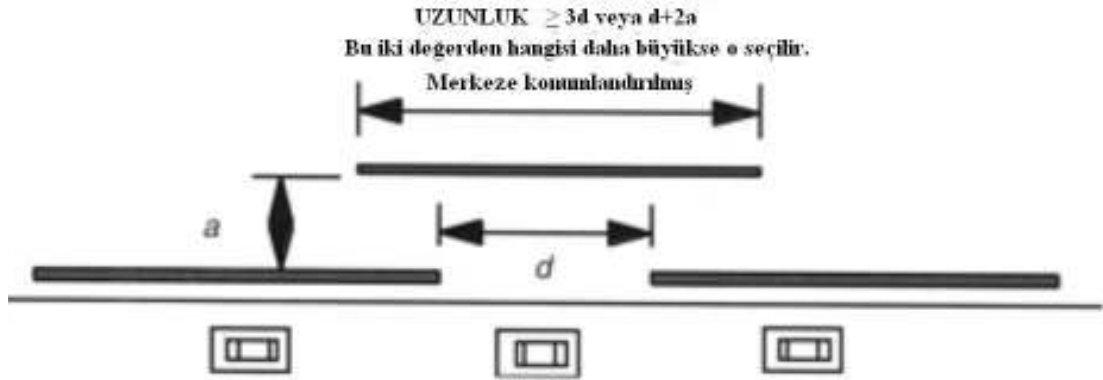
$L_{ref. b.}$  : Yansıtıcı Bariyer Kullanılması Durumundaki Ölçüm

$L_{abs. b.}$  : Yutucu Bariyer Kullanılması Durumundaki Ölçüm

Yukarıdaki grafik, tek bir kamyonun 100 km/sa sabit hız ile en sağdaki ilk şeridi kullanması durumunda 2.4 m yüksekliğindeki bariyerin 50 m uzağında ve 5 m yükseklikte yapılan ölçümlere aittir. Yutucu ve yansıtıcı tür bariyerlerin karşılaştırıldığı bu çalışmada, yansıtıcı bariyer kullanılması durumunda, kaynak, bariyer ve alıcının aynı hizaya geldiğinde bariyersiz durum ile aynı etkinin olduğu görülmektedir (Kotzen, English, 1999).

### 5.2.2 Boşluk Etkisi

Bariyerler arasında kimi zaman yan yoldan ana yola katılım, ana yoldan ayrılma, yaya geçişleri gibi nedenlerle boşluk bırakmak gerekebilir. Daha önce belirtildiği üzere bu boşluklar gürültünün bariyerin yanlarından ve üst kısmından kırılması dolayısıyla önemli girişimlere neden olurlar.



**Şekil 5.14:** Boşluk Etkisine Karşı Paralel Bariyer Konulması (Kotzen, English, 1999)

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 yansıyarak girişimde bulunmasıdır. Bu durumda bariyerin gürültü azaltma performansında önemli derecede azalma meydana gelecektir.

## 6. GÜRÜLTÜ PERDELERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Bu çalışmada gürültü perdelerinin performans değerlendirmelerinin yapılabilmesi için bazı kabuller altında ampirik bir formül ile belirli bir gürültü oluşturulacak ve bu formüle göre oluşan gürültünün ilgili değişkenlerle değişimi incelenecektir. Bu bölümde OECD uzmanları (OECD Group of Experts) tarafından 1995'te yayımlanan "Yol Gürültüsünün Azaltılması" başlıklı araştırma kaynak olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada mevcut ve yeni yollar üzerinde gürültünün azaltılması için kullanılabilecek modern ve uluslararası teknikler uzmanların tecrübeleri de göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Bu yayının ölçüm ve değerlendirme bölümünde, trafik gürültüsü için matematiksel modeller verilmektedir. Bu matematik modeller aslında birbirine benzemektedir. En basit haliyle bu formüllerin oluşturulma şekli anlatılacak olursa, belirli bir mesafede belirli sabit koşullar altında ilerleyen bir araçtan alınan gürültü değeri deneysel olarak elde edilir ve bir sabit değer olarak formül içersine yerleştirilir. Düzeltme faktörleri araç tipi, ortalama hız, trafik akım tipi, yol kaplama tipi, zemin absorblama miktarı, yol eğimi, perdeleyici elemanlar vb gibi etmenlere bağlı olarak belirlenir ve formül içersine yerleştirilir. Bu değişkenler modelden modele değişim göstermektedir.

İyi bir matematiksel ifade, değişkenleri olabildiğince gerçekçi yansıtabilmelidir. Kullanılan parametreler ülkeden ülkeye ve kullanıldığı alanın özelliklerine göre değiştiği için ampirik formülün uygulanacağı alanı matematiksel olarak iyi tanımlanmalıdır. Özellikle gürültü kaynağı, gürültü azaltıcı faktörler (yer ve havanın gürültü azaltıcı etkisi) yüzey şekilleri gibi ana etmenler formülde parametre olarak yer almalıdır.

Son zamanlarda, bilgisayarlarda hazırlanan programlarla bu tahmin metotları daha da geliştirildi. Özellikle yol planlama / tasarım aşamasında bu programlar kullanılarak yeni yolların ve buralarda kullanılacak bariyerlerin akustik performansları hakkında önceden bilgi sahibi olunabilmektedir.

Bu çalışmamızda, “Yol Gürültüsünün Azaltılması” raporunda yer alan matematik formüllerden özellikle yeni yapılmış yollar için Fransa’da kullanılan ve “Gürültü Rehberi”nde (Guide du Bruit) yayımlanan aşağıdaki formül kullanılacaktır. Bunun nedeni Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nde EK-II Gürültü Göstergeleri Değerlendirme Yöntemleri başlıklı bölümünde, karayolu gürültüsünün hesaplama bölümünde kabul edilen yöntem Fransız ulusal hesaplama yöntemi olan “NMPB – Routes – 96 (SETRA – CERTU – LCPC –CSTB)” ve Fransız standardı olan “XPS 31- 133” ve emisyonlarla ilgili veri girdileri için bu belgelerde “Guide du bruit des transports terrestres, fasciculeprevision des niveaux sonores CETUR 1980 kılavuzu olarak gösterilmiştir.

$$L_{eq} = 20 + 10 \cdot \log(Q_{VL} + E \cdot Q_{VP}) + 20 \cdot \log(V) - 12 \cdot \log(d + \frac{l_C}{3}) + 10 \cdot \log(\frac{\theta}{180}) \quad (6.1)$$

$L_{eq}$  : Yol kenarına d mesafede oluşan gürültü seviyesi

$Q_{VL}$  : Hafif taşıt sayısı

$Q_{VP}$  : Ağır taşıt sayısı

$E$  : Faktör

$V$  : Ortalama hız km/sa

$d$  : Yolun yakın kenarına olan uzaklık

$l_C$  : Yol genişliği

$\theta$  : Yolun görülme açısı

## 6.1 Değişkenlerin Gürültü Seviyesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Bu bölümde yukarıda yer alan formüldeki parametrelerin belirli kabuller altında oluşan gürültü seviyesi üzerindeki etkileri incelenecektir.

### 6.1.1 Araç Sayılarının Değişimi

Bu bölümde yapılan incelemelerdeki kabuller:

Ortalama Trafik Akımı Hızı :80 km/sa

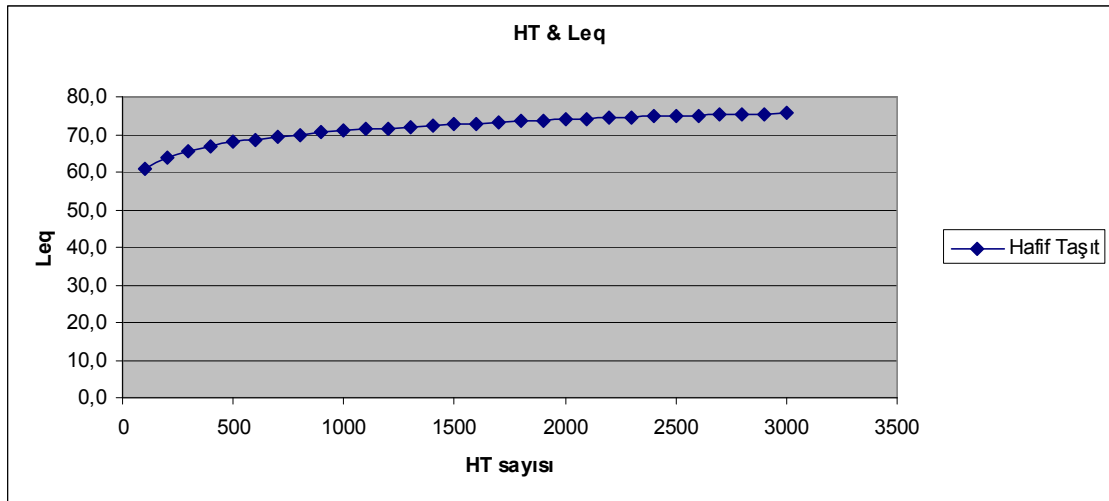
%2 veya daha az eğime sahip 6 m genişliğinde çift şeritli yol

### 6.1.1.1 Hafif Araç Sayısındaki Değişim

**Tablo 6.1:** Hafif Taşıt Sayısındaki Artış İle Oluşan Gürültü Değişim Değerleri

| Araç Say  | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Leq dB(A) | 60,9 | 63,9 | 65,7 | 66,9 | 67,9 | 70,9 | 72,6 | 73,9 | 74,9 | 75,7 |

Aşağıdaki grafikte görüldüğü üzere araç sayısı arttıkça oluşan gürültü artım miktarında büyük değişimler yaşanmamaktadır. İlk 1000 araca kadar olan gürültü artım miktarları 3 dB(A)'dan 0,5 dB(A)'ya kadar azalmakta, daha sonraki değişimler yaklaşık 0,2 dB(A) düzeyinde kalmaktadır. Sonuçlar  $L_{eq}$  cinsinden belirtildiğinden ölçüm süresini 1 saat alındığında ve yukarıdaki kabuller altında, saatte 1000 taşıt kadar araç geçen bir yoldaki gürültü artışı 10 dB(A) iken bu sayının 3000'e çıkması durumunda oluşan gürültü miktarındaki değişim 15 dB(A) olmaktadır.



**Şekil 6.1:** Hafif Taşıt Sayısındaki Artışın Gürültü ile Değişim Grafiği

Ayrıca, Gürültü Kontrol Yönetmeliği uyarınca  $L_{gündüz}$  gürültü düzeyi 68 dB(A)'yı geçtiği yerler için gürültü önlemi alınması öngörülmektedir. Hafif taşıtlar için yaptığımız gürültü oluşumuna göre, bu seviyede bir gürültüyü oluşturacak yol kapasitesi yaklaşık 500 taşıt/saattir.

### 6.1.1.2 Ağır Araç Sayısındaki Değişim

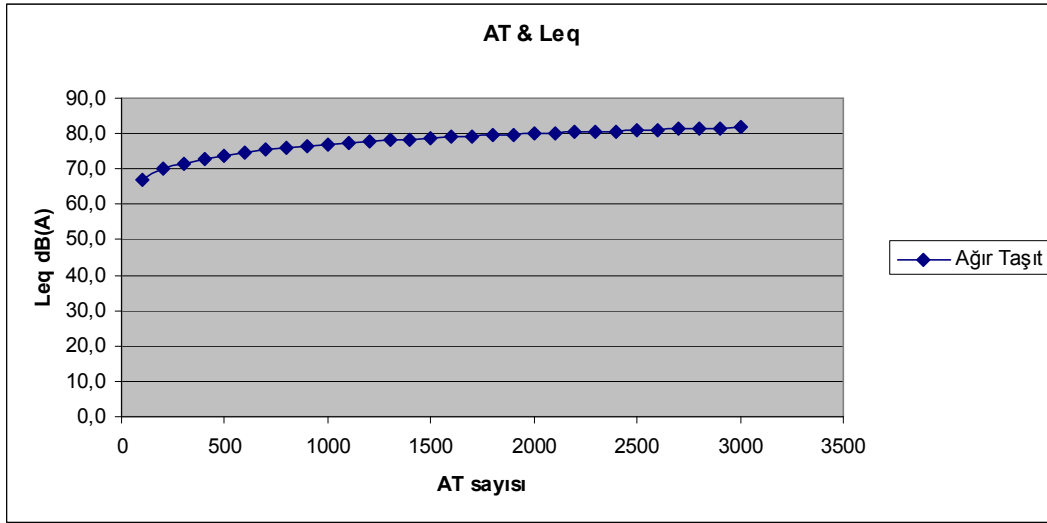
**Tablo 6.2:** Ağır Taşıt Sayısındaki Artış İle Oluşan Gürültü Değişim Değerleri

| Araç Say  | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Leq dB(A) | 66,9 | 69,9 | 71,7 | 72,9 | 73,9 | 76,9 | 78,7 | 79,9 | 80,9 | 81,7 |

Formülde ağır taşıt sayısına bağlı oluşan gürültü miktarı, hafif taşıt sayısına bağlı olarak oluşan gürültü miktarına göre yol eğimi ve şerit sayısına göre değişen bir E katsayısı ile arttırılmaktadır. Diğer bir deyişle bir adet ağır taşıtın oluşturduğu gürültü

ile bir adet hafif taşıtın oluşturacağı gürültü aynı olamayacağından, oluşacak gürültü bir E katsayısı ile arttırılarak gerçek değerine yaklaşması amaçlanmaktadır.

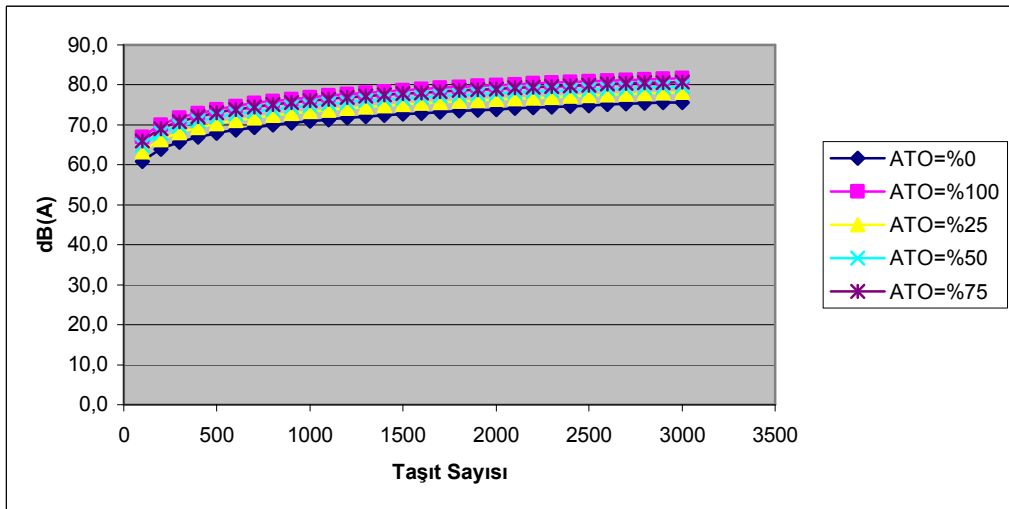
Hem hafif hem de ağır taşıtlar için kabul edilen şartlar aynı olduğu için taşıt sayılarındaki değişim ile sadece gürültünün başlangıç değerleri değişmiştir. Dolayısıyla birim araç miktarındaki artıma karşılık gelen gürültü artımları da aynı kalmıştır. Ancak yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere Gürültü Kontrol Yönetmeliği içinde yer alan 68 dB(A) lık gürültü değerine ulaşmak için gerekli taşıt sayısı 500'den yaklaşık olarak 130'a düşmüştür.



Şekil 6.2: Ağır Taşıt Sayısındaki Artışın Gürültü ile Değişim Grafiği

### 6.1.1.3 Ağır ve Hafif Taşıt Sayılarındaki Oransal Değişim

Burada ağır taşıt sayısını toplam taşıt sayısının belli bir oranı olarak aldığımızda gürültü seviyesindeki değişim izlenecektir.



Şekil 6.3: Ağır Taşıt Oranındaki Artışın Gürültü ile Değişim Grafiği

Yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere toplam trafik miktarındaki ağır taşıt sayısının oranının artması oluşan gürültü miktarında önemli artışlara neden olmaktadır. Ağır taşıt oranı, %30'lara yaklaştığında tamamı hafif taşıt olan duruma göre yaklaşık 3 dB(A)lık bir gürültü artışı gözlenirken bu fark %100 olduğunda 6 dB(A) olmaktadır. Yine görüldüğü üzere ağır taşıt oranı arttıkça birim gürültü miktarındaki artış azalmakta ve eğriler birbirine yaklaşmaktadır.

**Tablo 6.3:** Gürültünün Trafik Hacmi Artışı ve Ağır Taşıt Oranındaki Artış ile Değişimi

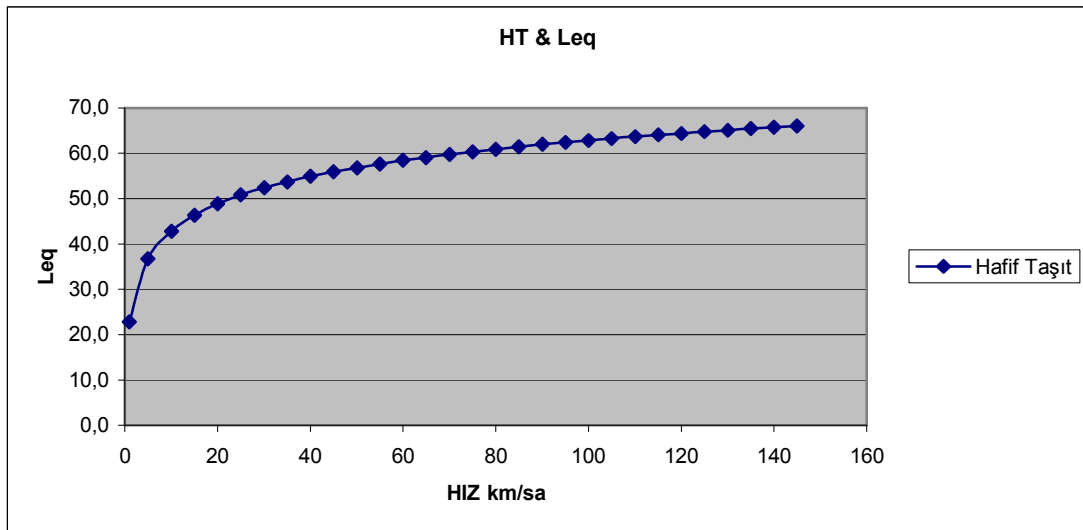
| Araç Sayısı | Ağır Taşıt Oranı |      |      |      |      |
|-------------|------------------|------|------|------|------|
|             | 0%               | 25%  | 50%  | 75%  | 100% |
| 100         | 60,9             | 63,3 | 64,9 | 66,0 | 66,9 |
| 200         | 63,9             | 66,3 | 67,9 | 69,0 | 69,9 |
| 300         | 65,7             | 68,1 | 69,6 | 70,8 | 71,7 |
| 400         | 66,9             | 69,3 | 70,9 | 72,0 | 72,9 |
| 500         | 67,9             | 70,3 | 71,9 | 73,0 | 73,9 |
| 1000        | 70,9             | 73,3 | 74,9 | 76,0 | 76,9 |
| 1500        | 72,6             | 75,1 | 76,6 | 77,8 | 78,7 |
| 2000        | 73,9             | 76,3 | 77,9 | 79,0 | 79,9 |
| 2500        | 74,9             | 77,3 | 78,8 | 80,0 | 80,9 |
| 3000        | 75,7             | 78,1 | 79,6 | 80,8 | 81,7 |

## 6.1.2 Hız Değişimi

### 6.1.2.1 Hafif Araç Hızındaki Değişim

Bu bölümde yapılan incelemelerdeki kabuller:

%2 veya daha az eğime sahip 6 m genişliğinde çift şeritli yol ve hafif taşıt sayısı 100 adettir.



**Şekil 6.4:** Ortalama Hız Artışı ile Oluşan Gürültünün Değişimi (HT)

Sabit hafif taşıt sayısına karşılık ortalama trafik hızını arttırdığımızda, 80 km/sa ortalama trafik hızına kadar birim hız değişimine karşılık gelen gürültü miktarında önemli değişiklikler olduğu görülmektedir. Tablo geneline bakıldığında ise, Gürültü Kontrol Yönetmeliği içinde yer alan 68 dB(A) lık gürültü değerine ulaşmak için 100 adet hafif taşıtın formülde kullanımının yeterli olmadığı belirlenmiştir.

**Tablo 6.4:** Hafif Taşıt Ortalama Hız Artışı İle Oluşan Gürültü Değişimi

| Ort Hız   | 1    | 15   | 25   | 35   | 50   | 75   | 100  | 115  | 125  | 145  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Leq dB(A) | 22,8 | 46,3 | 50,8 | 53,7 | 56,8 | 60,3 | 62,8 | 64,0 | 64,8 | 66,1 |

Bu nedenle hafif taşıt sayısı diğer değerlendirmeler için arttırılarak 68 dB(A)'ya ulaşmak için 1000 taşıta kadar değerlendirmeler yapılmıştır. Bununla ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

**Tablo 6.5:** Hafif Taşıt Sayısı ve Ortalama Hız Artışı İle Oluşan Gürültü Değişimi

| Ort Hız km/sa<br>dB(A) | 1    | 15   | 25   | 35   | 50   | 75   | 100  | 115  | 125  | 145  |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 125 taşıt              | 23,8 | 47,3 | 51,8 | 54,7 | 57,8 | 61,3 | 63,8 | 65,0 | 65,7 | 67,0 |
| 150 taşıt              | 24,6 | 48,1 | 52,5 | 55,5 | 58,6 | 62,1 | 64,6 | 65,8 | 66,5 | 67,8 |
| 175 taşıt              | 25,3 | 48,8 | 53,2 | 56,1 | 59,2 | 62,8 | 65,3 | 66,5 | 67,2 | 68,5 |
| 200 taşıt              | 25,8 | 49,4 | 53,8 | 56,7 | 59,8 | 63,3 | 65,8 | 67,0 | 67,8 | 69,1 |
| 225 taşıt              | 26,3 | 49,9 | 54,3 | 57,2 | 60,3 | 63,8 | 66,3 | 67,6 | 68,3 | 69,6 |
| 250 taşıt              | 26,8 | 50,3 | 54,8 | 57,7 | 60,8 | 64,3 | 66,8 | 68,0 | 68,7 | 70,0 |
| 275 taşıt              | 27,2 | 50,7 | 55,2 | 58,1 | 61,2 | 64,7 | 67,2 | 68,4 | 69,2 | 70,4 |
| 300 taşıt              | 27,6 | 51,1 | 55,6 | 58,5 | 61,6 | 65,1 | 67,6 | 68,8 | 69,5 | 70,8 |
| 400 taşıt              | 28,8 | 52,4 | 56,8 | 59,7 | 62,8 | 66,3 | 68,8 | 70,1 | 70,8 | 72,1 |
| 500 taşıt              | 29,8 | 53,3 | 57,8 | 60,7 | 63,8 | 67,3 | 69,8 | 71,0 | 71,8 | 73,0 |
| 750 taşıt              | 31,6 | 55,1 | 59,5 | 62,5 | 65,6 | 69,1 | 71,6 | 72,8 | 73,5 | 74,8 |
| 1000 taşıt             | 32,8 | 56,3 | 60,8 | 63,7 | 66,8 | 70,3 | 72,8 | 74,0 | 74,8 | 76,1 |

Emniyet Genel Müdürlüğü'nün belirlediği hız limitleri aşağıdaki gibidir.

**Tablo 6.6:** Araç Tipine Göre Şehir İçi ve Dışı Hız Limitleri

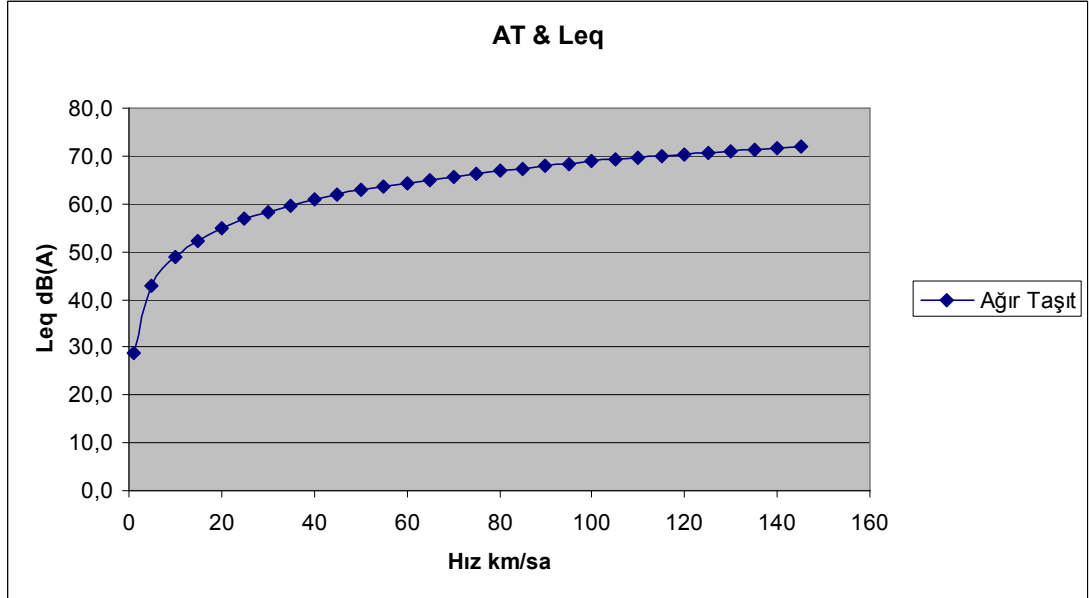
| ŞEHİR İÇİ ve ŞEHİR DIŞI HIZ LİMİTLERİ |           |            |          |
|---------------------------------------|-----------|------------|----------|
| ARAÇ CİNSİ                            | Şehir İçi | Şehir Dışı | Otoyol   |
| Otomobil                              | 50 Km/s   | 90 Km/s    | 120 Km/s |
| Otobüs                                | 50 Km/s   | 80 Km/s    | 100 Km/s |
| Minibüs, Kamyon, Kamyonet             | 50 Km/s   | 80 Km/s    | 90 Km/s  |
| Arazi Taşıtı, Motosiklet              | 50 Km/s   | 70 Km/s    | 80 Km/s  |

Bu tablodaki değerler de göz önünde bulundurulduğunda, ortalama hızı yüksek olan trafik akımlarında taşıt sayısı az iken limit gürültü değerine ulaşılırken, hafif taşıt sayısı arttıkça limit gürültü değerine ulaşılan ortalama trafik akım hızı da düşmektedir.

### 6.1.2.2 Ağır Araç Hızındaki Değişim

Bu bölümde yapılan incelemelerdeki kabuller:

%2 veya daha az eğime sahip 6 m genişliğinde çift şeritli yol ve ağır taşıt sayısı 100 adettir.



Şekil 6.5: Ortalama Hız Artışı ile Oluşan Gürültü Değişimi (AT)

Hafif taşıt hızının gürültü üzerindeki etkisinde olduğu gibi ağır taşıt hızında da 80 km/sa hızına kadar birim hız değişimine karşılık gelen gürültü miktarında büyük değişimler görülmektedir.

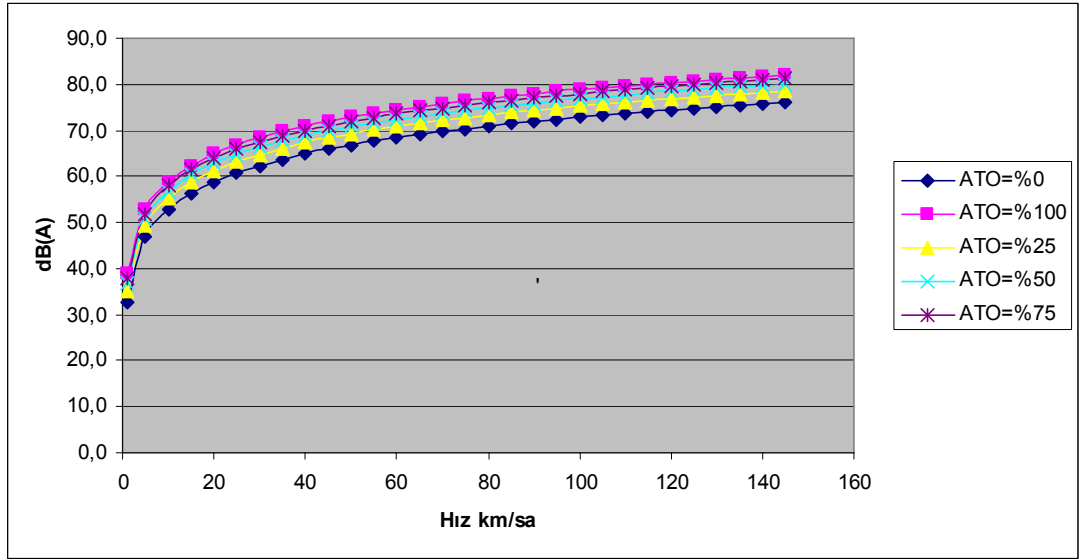
Tablo 6.7: Ağır Taşıt Ortalama Hız Artışı İle Oluşan Gürültü Değişimi

| Ort Hız   | 1    | 15   | 25   | 35   | 50   | 75   | 100  | 115  | 125  | 145  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Leq dB(A) | 28,8 | 52,4 | 56,8 | 59,7 | 62,8 | 66,3 | 68,8 | 70,1 | 70,8 | 72,1 |

Hafif taşıtlar ile ortalama trafik akım hızı bakımından karşılaştırıldığında, hafif araç ve ağır araç sayısı 100 olarak alındığında hafif araç hızının değişimi ile oluşan gürültü ile limit gürültü düzeyine ulaşamazken, ağır araçlarda bu sayı yeterli olmakla kalmayıp daha yüksek gürültü oluşumuna neden olmaktadır.

### 6.1.2.3 Ağır Araç Oranındaki Değişim ile Ortalama Trafik Hızındaki Değişimin Gürültü Üzerine Etkisi

Bu bölümde yapılan incelemelerdeki kabuller; %2 veya daha az eğime sahip 6 m genişliğinde çift şeritli yol ve toplam taşıt sayısı 1000 adettir.



**Şekil 6.6:** ATO Değişimine Karşılık Ortalama Hız Artışı ile Oluşan Gürültü Değişimi

**Tablo 6.8:** Ağır Taşıt Oranındaki Artışın Ortalama Trafik Hızı Artışı İle Oluşan Gürültü Değişimi

| 1000 adet araç | Ağır Taşıt Oranı |      |      |      |      |
|----------------|------------------|------|------|------|------|
| ATO \ dB(A)    | 0%               | 25%  | 50%  | 75%  | 100% |
| 1 km/sa        | 32,8             | 35,3 | 36,8 | 37,9 | 38,8 |
| 25 km/sa       | 60,8             | 63,2 | 64,8 | 65,9 | 66,8 |
| 30 km/sa       | 62,4             | 64,8 | 66,3 | 67,5 | 68,4 |
| 35 km/sa       | 63,7             | 66,1 | 67,7 | 68,8 | 69,7 |
| 40 km/sa       | 64,9             | 67,3 | 68,8 | 70,0 | 70,9 |
| 45 km/sa       | 65,9             | 68,3 | 69,9 | 71,0 | 71,9 |
| 50 km/sa       | 66,8             | 69,2 | 70,8 | 71,9 | 72,8 |
| 55 km/sa       | 67,6             | 70,1 | 71,6 | 72,7 | 73,7 |
| 60 km/sa       | 68,4             | 70,8 | 72,4 | 73,5 | 74,4 |
| 65 km/sa       | 69,1             | 71,5 | 73,1 | 74,2 | 75,1 |
| 70 km/sa       | 69,7             | 72,2 | 73,7 | 74,8 | 75,7 |
| 95 km/sa       | 72,4             | 74,8 | 76,4 | 77,5 | 78,4 |
| 120 km/sa      | 74,4             | 76,8 | 78,4 | 79,5 | 80,4 |
| 145 km/sa      | 76,1             | 78,5 | 80,0 | 81,2 | 82,1 |

Tablodan görüldüğü üzere ağır taşıt oranı arttıkça limit gürültü değerine çok daha az bir hız ile ulaşılmaktadır. Eğimi %2 veya daha az olan bir yol için, tamamıyla hafif araçtan oluşan bir trafikteki araç hızı tamamıyla ağır taşıttan oluşan bir trafikteki araç hızının yarısından daha az bir değerde gürültü limit değerine ulaşıldığı görülmektedir.

### 6.1.3 Alıcının Konumunun Değişimi İle Gürültünün Değişimi

Bu durumda, sabit bir gürültü kaynağı oluşturulduğunda alıcının konumunun değişimine bağlı olarak alıcının algılayacağı gürültü miktarının değişimi incelenecektir. Bu araştırmada yapılan kabuller; %2 veya daha az eğime sahip 7,5 m

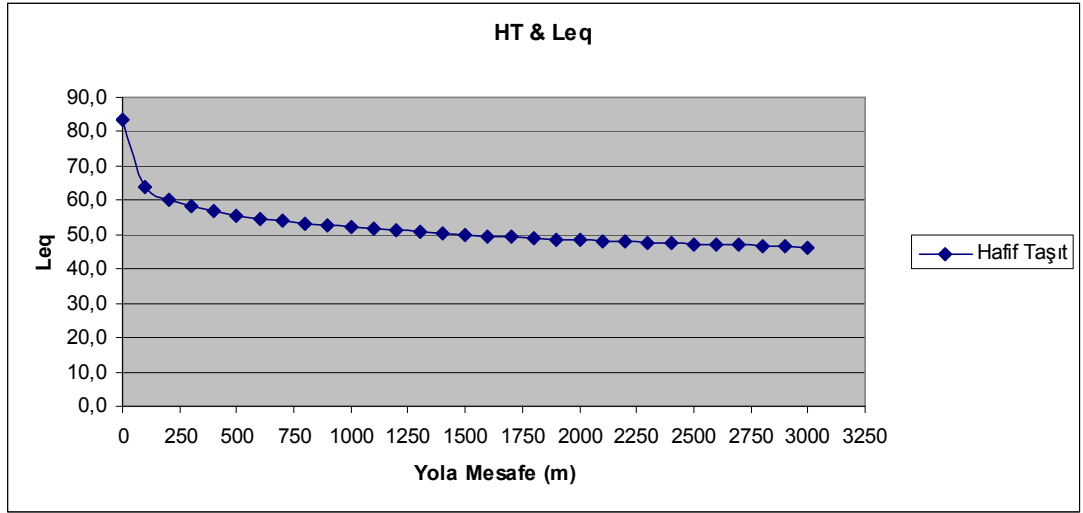
genişliğinde çift şeritli bir yol ve bu yol üzerindeki ortalama 80 km/sa akım hızına sahip trafiği oluşturan toplam taşıt sayısı 1000 adettir.

Bu çalışmada elde edilen değerler, rüzgâr hızı ve yönü, havanın sıcaklığı gibi gürültünün açık havada yayılımını etkileyen değişkenlerden bağımsız olarak her yönde eşit dağıldığı kabul edilerek bulunmuştur.

Yol platformu genişlikleri, ana yollar ve ikinci derece yollarda 10,0 – 13,0 m arasında değişirken, tali yollarda bu değer 7,5 - 8,0 m arasındadır (Yayla, 2002). Bu değerlerin içerisinde 1,0 - 1,5 m.lik banket genişlikleri de bulunmaktadır.

### 6.1.3.1 Tamamı Hafif Taşıt Trafiğinden Oluşan Durum

Bu durumda 1000 aracın tamamının hafif araç olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda oluşan gürültü miktarları aşağıda verilmiştir.



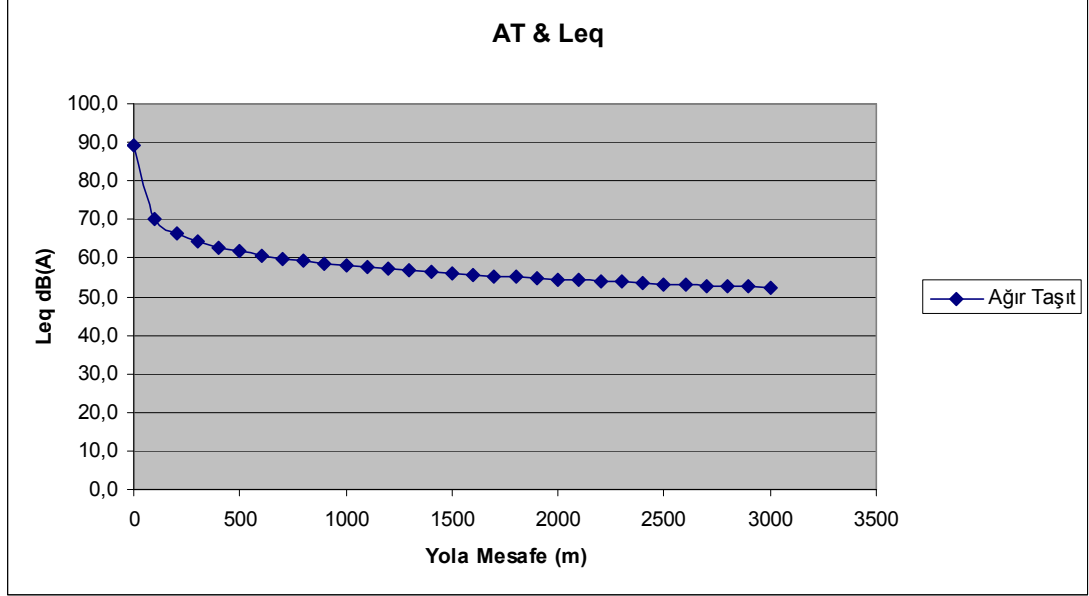
**Şekil 6.7:** Tamamı Hafif Taşıt Olan Bir Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafe ile Gürültü Değişimi Grafiği

**Tablo 6.9:** Tamamı Hafif Taşıt Olan Bir Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafenin Gürültü Değişimi

| d (metre)             | 0    | 15   | 30   | 45   | 60   | 75   | 90   | 105  | 120  | 135  | 150  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L <sub>eq</sub> dB(A) | 83,3 | 73,1 | 69,9 | 67,9 | 66,5 | 65,4 | 64,5 | 63,7 | 63,0 | 62,4 | 61,9 |
| d (metre)             | 100  | 300  | 600  | 900  | 1200 | 1500 | 1800 | 2100 | 2400 | 2700 | 3000 |
| L <sub>eq</sub> dB(A) | 63,9 | 58,3 | 54,7 | 52,6 | 51,1 | 49,9 | 49,0 | 48,2 | 47,5 | 46,9 | 46,3 |

### 6.1.3.2 Tamamı Ağır Taşıt Trafiklerinden Oluşan Durum

Bu durumda 1000 aracın tamamının ağır araç olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda oluşan gürültü miktarları aşağıda verilmiştir.



**Şekil 6.8:** Tamamı Ağır Taşıt Olan Bir Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafe ile Gürültü Değişimi Grafiği

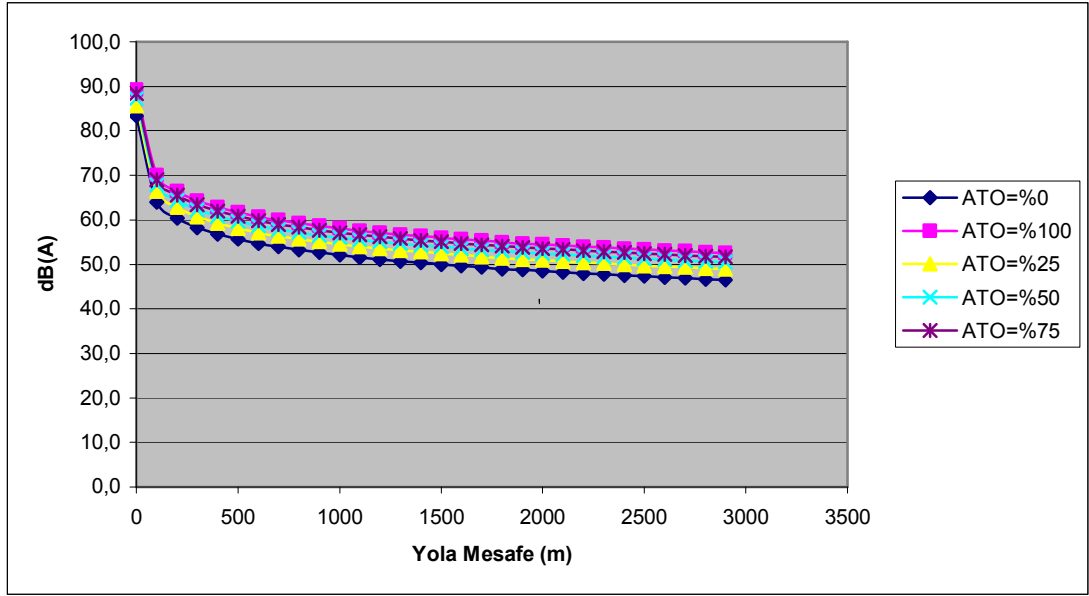
**Tablo 6.10:** Tamamı Ağır Taşıt Olan Bir Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafenin Gürültü Değişimi

| d (metre)             | 0    | 15   | 30   | 45   | 60   | 75   | 90   | 105  | 120  | 135  | 150  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L <sub>eq</sub> dB(A) | 89,3 | 79,2 | 75,9 | 74,0 | 72,5 | 71,4 | 70,5 | 69,7 | 69,0 | 68,4 | 67,9 |
| d (metre)             | 100  | 300  | 600  | 900  | 1200 | 1500 | 1800 | 2100 | 2400 | 2700 | 3000 |
| L <sub>eq</sub> dB(A) | 70,0 | 64,3 | 60,7 | 58,6 | 57,1 | 56,0 | 55,0 | 54,2 | 53,5 | 52,9 | 52,4 |

Yukarıdaki tablo ve grafikte görüldüğü üzere, kaynak ile aynı seviyede olan bir alıcı kaynaktan uzaklaştıkça algıladığı gürültü seviyesi azalmaktadır. Ağır taşıt trafiğinde oluşan gürültü, hafif taşıt trafiğine nazaran 6 dB(A) daha fazla gürültü oluşturmaktadır.

### 6.1.3.3 Ağır Taşıt Oranı Değişen Bir Trafik Olması Durumunda

Bu durumda 1000 araç içerisindeki ağır araç oranı değişmektedir ve buna karşılık oluşan gürültü miktarları aşağıda verilmiştir.



**Şekil 6.9:** Ağır Taşıt Oranı Değişen Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafe ile Gürültü Değişimi Grafiği

**Tablo 6.11:** Ağır Taşıt Oranı Değişen Trafik Akımı İçin Yola Olan Mesafe ile Gürültü Değişimi

|                  | Ağır Taşıt Oranı |      |      |      |      |
|------------------|------------------|------|------|------|------|
| Yola Olan Mesafe | 0%               | 25%  | 50%  | 75%  | 100% |
| 100              | 83,3             | 85,7 | 87,3 | 88,4 | 89,3 |
| 200              | 63,9             | 66,4 | 67,9 | 69,1 | 70,0 |
| 300              | 60,4             | 62,8 | 64,4 | 65,5 | 66,4 |
| 400              | 58,3             | 60,7 | 62,3 | 63,4 | 64,3 |
| 500              | 56,8             | 59,2 | 60,8 | 61,9 | 62,8 |
| 1000             | 52,6             | 55,0 | 56,6 | 57,7 | 58,6 |
| 1500             | 50,3             | 52,7 | 54,3 | 55,4 | 56,3 |
| 2000             | 48,7             | 51,1 | 52,7 | 53,8 | 54,7 |
| 2500             | 47,5             | 49,9 | 51,5 | 52,6 | 53,5 |
| 3000             | 46,5             | 48,9 | 50,5 | 51,6 | 52,5 |

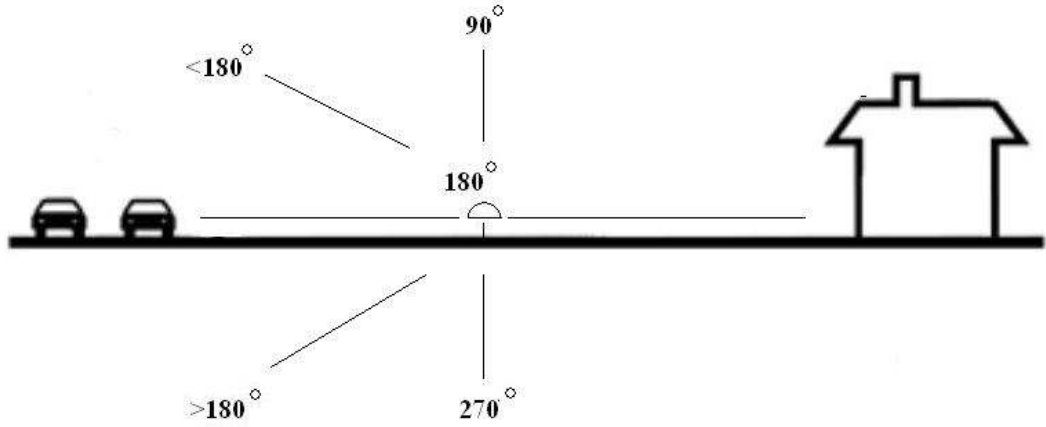
Kabul şartları altında ağır taşıt oranı arttıkça 6 dB(A)'e varan gürültü artışı gözlenmektedir. Görüldüğü üzere yoldan uzaklaşılan ilk 500 m mesafe içerisinde önemli miktarda azalma meydana gelmektedir. Ayrıca yoldan uzaklaşılan ilk 300 m mesafe içerisinde gürültü limit değeri olan 68 dB(A)'nın altına düştüğü görülmektedir. Yola yakın olan yapıların bu mesafe içerisinde yer aldıkları düşünüldüğünde önemli miktarda gürültüye maruz kaldıkları görülmektedir.

#### 6.1.4 Alıcının Bakış Açısının Değişimi İle Gürültünün Değişimi

Bu matematiksel ifadede yer alan yolun görülme açısının ( $\theta$ ) ne olduğu ve nasıl hesaplanacağı, ilgili kaynakta açıklanmamıştır. Ancak, bu değer 180°de aldığı değer 0°de aldığı değeri bilindiğine göre bu değer kaynak ile alıcı arasında bir simetri

düzlemi oluşturulduğunda bu simetri düzleminde kaynağa ve alıcıya çizilen dikmelerin üzerinde kalan açının ölçüsüdür denilebilir. Açıklanması gereken diğer bir nokta alıcı ve kaynağın aynı düzlem üzerinde olmasıdır. Diğer bir deyişle, daha yüksek bir zemine oturan binadaki alıcılar için bu durum geçerli değildir. Çünkü aradaki zemin kot farkından oluşacak bir şev, bariyer vazifesi görecektir, gürültünün yansımaya veya sönümlenmesine neden olacaktır. Burada ise, aynı zemine oturan kaynak ve alıcının arasında hiçbir engel olmaksızın bakış açısının değişiminden bahsedilmektedir.

Bu durumda, bu açının alacağı değerler  $90^{\circ}$ – $270^{\circ}$  arasında olabilecektir. Bunun nedeni her durumda bir simetri eksenini çizilebildiğine göre bu simetri ekseninin minimum ve maksimum alabildiği değerler  $90^{\circ}$  ve  $270^{\circ}$  dir.



**Şekil 6.10:** Alıcı ve Kaynak Arasındaki Açının Şematik Gösterimi

**Tablo 6.12:** Yolun Görülme Açısının Değişimi İle Gürültü Seviyesindeki Değişim

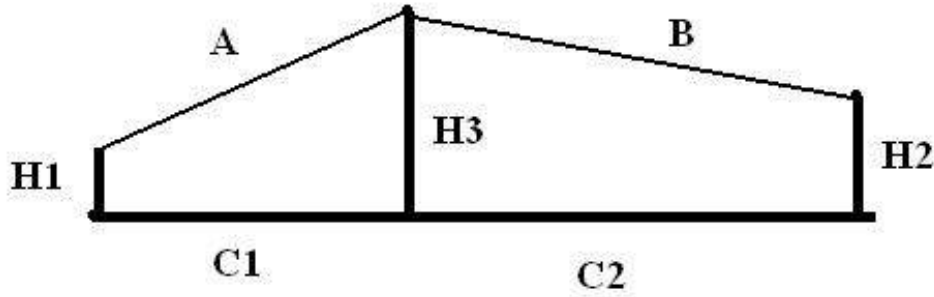
| AÇI           | 90   | 100  | 110  | 120  | 130  | 140  | 150  | 160  | 170  | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 | 260 | 270 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Değişim dB(A) | -3,0 | -2,6 | -2,1 | -1,8 | -1,4 | -1,1 | -0,8 | -0,5 | -0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 |

Bu açının değişimi diğer değişkenler sabit tutulup incelendiğinde yukarıdaki tablo ortaya çıkmaktadır.

Bu tabloda dikkat çeken bir nokta simetri noktaları olan  $90^{\circ}$  ve  $270^{\circ}$  noktaları arasındaki gürültü değişim miktarları mutlak değer olarak aynı değildir. Sonuç olarak, alıcının yol düzeyinin altına alınması ile herhangi bir gürültü önleyici metot kullanılmadan yaklaşık 3 dB(A)'lık bir gürültü azalması sağlanabilmektedir.

Tablodan görüldüğü üzere yol düzeyinden aşağıda yer alan alıcılar gürültüden daha az etkilenirken yol düzeyinden daha üstte yer alan alıcılar gürültüden daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle gürültü önlemleri arasında saydığımız yol seviyesinin viyadükler ile yükseltilmesi metodu ile gürültü kaynağı olan yolun seviyesi yükseltilmekte, binalardaki etkilenen alıcı sayısı daha da azaltılmaktadır.

## 6.2 Gürültü Bariyerleri İle Gürültünün Azaltılması Çalışması



**Şekil 6.11:** Bariyer, Alıcı ve Kaynağa Ait Mesafe ve Yüksekliklerin Gösterimi

H1 : Kaynağın Yerden Yüksekliği

H2 : Alıcının Yerden Yüksekliği

H3 : Bariyerin Yüksekliği

C1 : Kaynak ve Bariyer Arasındaki Mesafe

C2 : Alıcı ve Bariyer Arasındaki Mesafe

A : Kaynak ve Bariyer Tepe Noktaları Arasındaki Mesafe

B : Alıcı ve Bariyer Tepe Noktaları Arasındaki Mesafe

Bir gürültü perdesinin gürültü azaltmasında kullanılacak formüller daha önce 5.1-5.5 ve 1.11 numaralı denklemlerde verilmişti. Yapılan tüm hesaplarda trafik gürültüsünün frekansı 500 Hz olarak alınmıştır. Aşağıdaki incelemelerde alıcının yola olan mesafesi 27 m olarak alınmıştır. Bu formüllere göre aşağıdaki bazı kabuller altında bu azalma miktarları incelenmiştir.

## 6.2.1 Bariyer Yerinin Değiştirilmesi ile Sağlanan Gürültü Azalması Çalışması

### 6.2.1.1 Bariyerin Gürültü Kaynağına Yakın Konumlandırıldığı Durum

**Tablo 6.13:** Bariyerin Kaynağa Yakın Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler

| A (m) | B (m) | C1 (m) | C2 (m) | H1 (m) | H2 (m) | H3 (m) | $\delta$ (m) | N    | IL dB(A) |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|------|----------|
| 2,69  | 26,08 | 1      | 26     | 0,5    | 1      | 3      | 1,76         | 5,20 | 20,15    |
| 3,20  | 25,08 | 2      | 25     | 0,5    | 1      | 3      | 1,28         | 3,77 | 18,75    |
| 3,91  | 25,08 | 3      | 24     | 0,5    | 1      | 3      | 0,99         | 2,91 | 17,62    |
| 4,72  | 23,09 | 4      | 23     | 0,5    | 1      | 3      | 0,80         | 2,36 | 16,73    |
| 5,59  | 22,09 | 5      | 22     | 0,5    | 1      | 3      | 0,68         | 2,00 | 16,01    |

Bir gürültü perdesinin yola 1 m mesafeden başlayarak 1m aralıklarla konumunun değiştirilmesiyle ilk 5 m de gürültü azaltma performansı yukarıdaki gibidir. Buna göre ilk 5 m içersinde bariyerin konumunun değiştirilmesi ile 4 dB(A)lık bir değişim gözlenmektedir.

### 6.2.1.2 Bariyerin Gürültü Kaynağı ile Alıcı arasında Konumlandırıldığı Durum

**Tablo 6.14:** Bariyerin Kaynak ve Alıcı Arasında Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler

| A (m) | B (m) | C1 (m) | C2 (m) | H1 (m) | H2 (m) | H3 (m) | $\delta$ (m) | N    | IL dB(A) |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|------|----------|
| 6,50  | 21,10 | 6      | 21     | 0,5    | 1      | 3      | 0,60         | 1,75 | 15,44    |
| 7,43  | 20,10 | 7      | 20     | 0,5    | 1      | 3      | 0,53         | 1,57 | 14,97    |
| 8,38  | 19,10 | 8      | 19     | 0,5    | 1      | 3      | 0,49         | 1,43 | 14,58    |
| 9,34  | 18,11 | 9      | 18     | 0,5    | 1      | 3      | 0,45         | 1,33 | 14,27    |
| 10,31 | 17,12 | 10     | 17     | 0,5    | 1      | 3      | 0,43         | 1,25 | 14,01    |
| 11,28 | 16,12 | 11     | 16     | 0,5    | 1      | 3      | 0,41         | 1,19 | 13,81    |
| 12,26 | 15,13 | 12     | 15     | 0,5    | 1      | 3      | 0,39         | 1,15 | 13,66    |
| 13,24 | 14,14 | 13     | 14     | 0,5    | 1      | 3      | 0,38         | 1,12 | 13,56    |
| 13,73 | 13,65 | 13,5   | 13,5   | 0,5    | 1      | 3      | 0,38         | 1,11 | 13,52    |
| 14,22 | 13,15 | 14     | 13     | 0,5    | 1      | 3      | 0,37         | 1,10 | 13,49    |
| 15,21 | 12,17 | 15     | 12     | 0,5    | 1      | 3      | 0,37         | 1,10 | 13,47    |
| 16,19 | 11,18 | 16     | 11     | 0,5    | 1      | 3      | 0,37         | 1,10 | 13,49    |
| 17,18 | 10,20 | 17     | 10     | 0,5    | 1      | 3      | 0,38         | 1,12 | 13,56    |
| 18,17 | 9,22  | 18     | 9      | 0,5    | 1      | 3      | 0,39         | 1,15 | 13,68    |
| 19,16 | 8,25  | 19     | 8      | 0,5    | 1      | 3      | 0,41         | 1,21 | 13,87    |
| 20,16 | 7,28  | 20     | 7      | 0,5    | 1      | 3      | 0,44         | 1,28 | 14,12    |
| 21,15 | 6,32  | 21     | 6      | 0,5    | 1      | 3      | 0,47         | 1,39 | 14,46    |

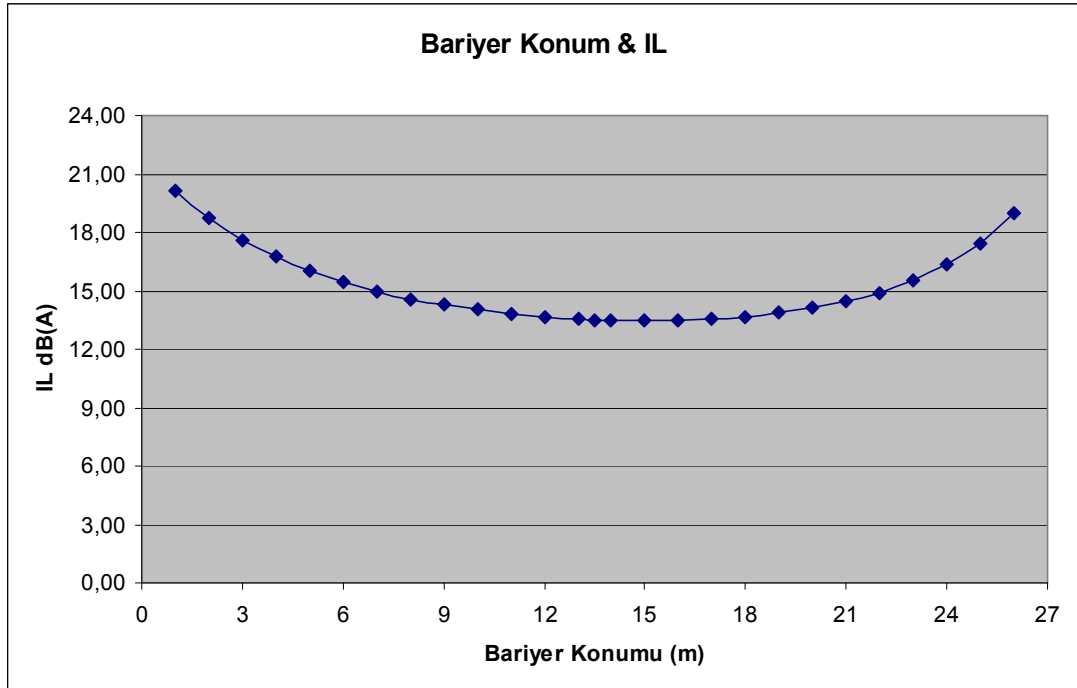
Bariyer gürültü kaynağından uzaklaştıkça performansı azalmakta tam orta nokta yakınlarında tekrar performansında bir artış gözlenmektedir.

### 6.2.1.3 Bariyerin Alıcıya Yakın Konumlandırıldığı Durum

**Tablo 6.15:** Bariyerin Alıcıya Yakın Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler

| A (m) | B (m) | C1 (m) | C2 (m) | H1 (m) | H2 (m) | H3 (m) | $\delta$ (m) | N    | IL<br>dB(A) |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|------|-------------|
| 22,14 | 5,39  | 22     | 5      | 0,5    | 1      | 3      | 0,53         | 1,55 | 14,92       |
| 23,14 | 4,47  | 23     | 4      | 0,5    | 1      | 3      | 0,61         | 1,79 | 15,52       |
| 24,13 | 3,61  | 24     | 3      | 0,5    | 1      | 3      | 0,74         | 2,16 | 16,34       |
| 25,12 | 2,83  | 25     | 2      | 0,5    | 1      | 3      | 0,95         | 2,80 | 17,46       |
| 26,12 | 2,24  | 26     | 1      | 0,5    | 1      | 3      | 1,36         | 3,99 | 18,99       |

Bariyer alıcıya yakın konumlandıkça gürültü azaltma performansı artmaktadır. Dikkati çeken bir nokta, gürültü azalma miktarları bariyerin konumlandırılmasına göre simetrik değildir. Diğer bir deyişle, kaynağa 1 m uzaklıktaki bir bariyerin gürültü azaltma miktarı alıcıya 1 m yakınlıktaki bir bariyerin gürültü azaltma miktarından daha fazladır. Bu tablodaki sonuçlar, “kaynağa daha yakın bariyer, daha çok gürültü azalması” mantığını ile uyushmaktadır.



**Şekil 6.12:** Bariyerin Konumuna Göre Gürültü Azalma Miktarları

### 6.2.2 Bariyer Yüksekliğinin Değiştirilmesi ile Sağlanan Gürültü Azalması Çalışması

Bu bölümde bariyer yüksekliğinin bariyerin gürültü azaltma performansı üzerine etkisi üzerinde çalışılacaktır. Her metre için yükseklik çalışması yerine şekil 6.13’te

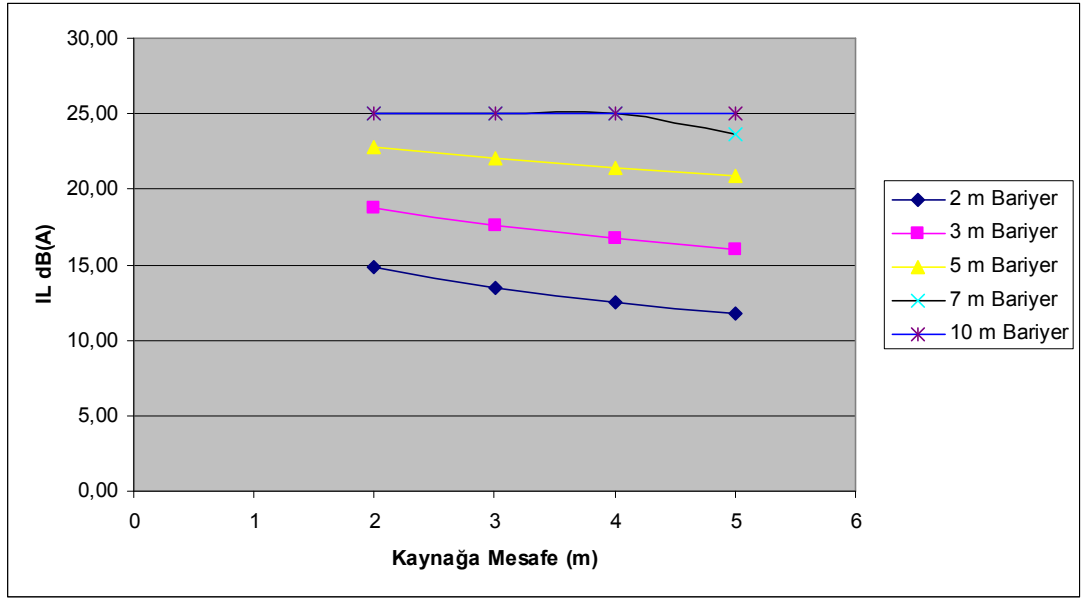
yer alan grafiğin kritik noktaları olan alıcıya yakın ve kaynağa yakın çalışma alanlarında bariyer yüksekliği incelenecektir.

### 6.2.2.1 Bariyerin Kaynağa Yakın Konumlandırıldığı Durum

Bu bölümde bariyerin kaynaktan 2–5 m arasında konumlandırılması sonucunda bariyerin yüksekliğine göre gürültü azaltması incelenmiştir. Her bir mesafe için 4 farklı bariyer yüksekliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlere göre, bariyerin ilk 5 metre içersinde konumlandırılması bariyer teorik olarak kullanabileceği kapasitesinin hepsini kullanmakta ve maksimum gürültü azaltma miktarı olan 25 dB(A)'ya kadar performans göstermektedir. Ancak, tablo 6.16'daki verilere göre 5 m.ye kadar en fazla 7 m.lik bariyerler tam gürültü azalma kapasitesine ulaşırken 5 m. ve sonrasındaki değerler için bu bariyer yüksekliği yeterli olmamaktadır.

**Tablo 6.16:** Bariyerin Kaynağa Yakın Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler

| A (m)        | B (m)        | C1 (m)   | C2 (m)    | H1 (m)     | H2 (m)   | H3 (m)    | $\delta$ (m) | N            | IL<br>dB(A)  |
|--------------|--------------|----------|-----------|------------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 2,50         | 25,02        | 2        | 25        | 0,5        | 1        | 2         | 0,52         | 1,53         | 14,86        |
| 3,20         | 25,08        | 2        | 25        | 0,5        | 1        | 3         | 1,28         | 3,77         | 18,75        |
| 4,92         | 25,32        | 2        | 25        | 0,5        | 1        | 5         | 3,24         | 9,54         | 22,78        |
| <b>6,80</b>  | <b>25,71</b> | <b>2</b> | <b>25</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>7</b>  | <b>5,51</b>  | <b>16,21</b> | <b>25,00</b> |
| 3,35         | 24,02        | 3        | 24        | 0,5        | 1        | 2         | 0,37         | 1,10         | 13,50        |
| 3,91         | 24,08        | 3        | 24        | 0,5        | 1        | 3         | 0,99         | 2,91         | 17,62        |
| 5,41         | 24,33        | 3        | 24        | 0,5        | 1        | 5         | 2,74         | 8,06         | 22,04        |
| <b>7,16</b>  | <b>24,74</b> | <b>3</b> | <b>24</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>7</b>  | <b>4,90</b>  | <b>14,40</b> | <b>25,00</b> |
| 4,27         | 23,02        | 4        | 23        | 0,5        | 1        | 2         | 0,29         | 0,86         | 12,51        |
| 4,72         | 23,09        | 4        | 23        | 0,5        | 1        | 3         | 0,80         | 2,36         | 16,73        |
| 6,02         | 23,35        | 4        | 23        | 0,5        | 1        | 5         | 2,37         | 6,96         | 21,41        |
| <b>7,63</b>  | <b>23,77</b> | <b>4</b> | <b>23</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>7</b>  | <b>4,40</b>  | <b>12,95</b> | <b>25,00</b> |
| 5,22         | 22,02        | 5        | 22        | 0,5        | 1        | 2         | 0,24         | 0,71         | 11,77        |
| 5,59         | 22,09        | 5        | 22        | 0,5        | 1        | 3         | 0,68         | 2,00         | 16,01        |
| 6,73         | 22,36        | 5        | 22        | 0,5        | 1        | 5         | 2,09         | 6,14         | 20,86        |
| 8,20         | 22,80        | 5        | 22        | 0,5        | 1        | 7         | 4,00         | 11,78        | 23,69        |
| <b>10,74</b> | <b>23,77</b> | <b>5</b> | <b>22</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>10</b> | <b>7,51</b>  | <b>22,07</b> | <b>25,00</b> |



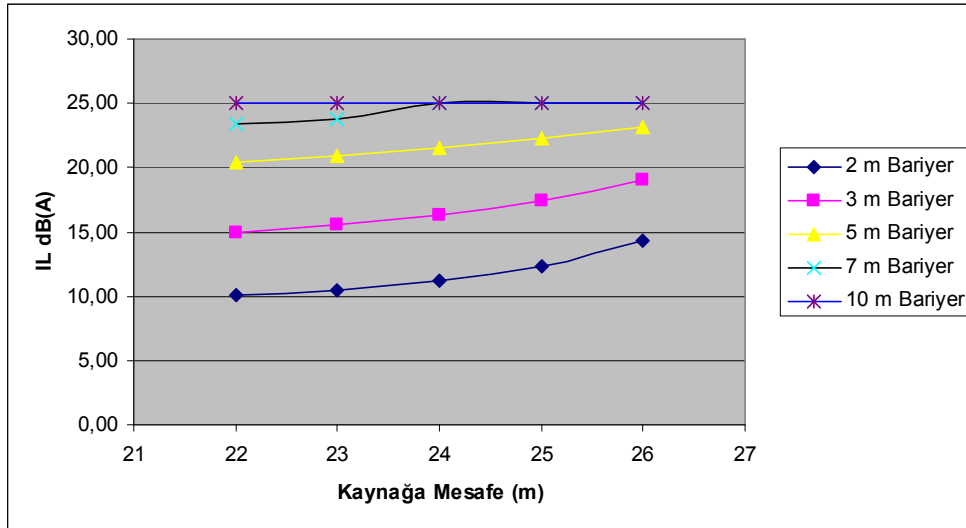
**Şekil 6.13:** Bariyer Yüksekliğine Göre Bariyerin Konumu ve Gürültü Azalma Miktarı Grafiği

#### 6.2.2.2 Bariyerin Alıcıya Yakın Konumlandırıldığı Durum

Bu bölümde bariyerin kaynaktan 22–26 m arasında, alıcıya yakın olarak konumlandırılması sonucunda bariyerin yüksekliğine göre gürültü azaltması incelenmiştir. Her bir mesafe için 5 farklı bariyer yüksekliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Alınan sonuçlar 7 m. Ve 7 m.den yüksek bariyerlerin alıcıya 3 m yakınlıkta konumlandırılması halinde, bariyerin performansının maksimum kapasitede olduğunu göstermektedir.

**Tablo 6.17:** Bariyerin Alıcıya Yakın Konumlandırılması Durumuna Ait Veriler

| A (m)        | B (m)        | C1 (m)    | C2 (m)   | H1 (m)     | H2 (m)   | H3 (m)    | $\delta$ (m) | N            | IL<br>dB(A)  |
|--------------|--------------|-----------|----------|------------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 26,04        | 1,41         | 26        | 1        | 0,5        | 1        | 2         | 0,46         | 1,35         | 14,32        |
| 26,12        | 2,24         | 26        | 1        | 0,5        | 1        | 3         | 1,36         | 3,99         | 18,99        |
| 26,39        | 4,12         | 26        | 1        | 0,5        | 1        | 5         | 3,51         | 10,32        | 23,12        |
| <b>26,80</b> | <b>6,08</b>  | <b>26</b> | <b>1</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>7</b>  | <b>5,88</b>  | <b>17,30</b> | <b>25,00</b> |
| <b>27,68</b> | <b>9,06</b>  | <b>26</b> | <b>1</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>10</b> | <b>9,74</b>  | <b>28,64</b> | <b>25,00</b> |
| 25,04        | 2,24         | 25        | 2        | 0,5        | 1        | 2         | 0,28         | 0,83         | 12,34        |
| 25,12        | 2,83         | 25        | 2        | 0,5        | 1        | 3         | 0,95         | 2,80         | 17,46        |
| 25,40        | 4,47         | 25        | 2        | 0,5        | 1        | 5         | 2,87         | 8,45         | 22,25        |
| <b>25,83</b> | <b>6,32</b>  | <b>25</b> | <b>2</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>7</b>  | <b>5,16</b>  | <b>15,16</b> | <b>25,00</b> |
| <b>26,74</b> | <b>9,22</b>  | <b>25</b> | <b>2</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>10</b> | <b>8,96</b>  | <b>26,36</b> | <b>25,00</b> |
| 24,05        | 3,16         | 24        | 3        | 0,5        | 1        | 2         | 0,21         | 0,62         | 11,21        |
| 24,13        | 3,61         | 24        | 3        | 0,5        | 1        | 3         | 0,74         | 2,16         | 16,34        |
| 24,42        | 5,00         | 24        | 3        | 0,5        | 1        | 5         | 2,42         | 7,11         | 21,50        |
| <b>24,86</b> | <b>6,71</b>  | <b>24</b> | <b>3</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>7</b>  | <b>4,57</b>  | <b>13,45</b> | <b>25,00</b> |
| <b>25,81</b> | <b>9,49</b>  | <b>24</b> | <b>3</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>10</b> | <b>8,30</b>  | <b>24,41</b> | <b>25,00</b> |
| 23,05        | 4,12         | 23        | 4        | 0,5        | 1        | 2         | 0,17         | 0,51         | 10,51        |
| 23,14        | 4,47         | 23        | 4        | 0,5        | 1        | 3         | 0,61         | 1,79         | 15,52        |
| 23,44        | 5,66         | 23        | 4        | 0,5        | 1        | 5         | 2,09         | 6,16         | 20,87        |
| 23,90        | 7,21         | 23        | 4        | 0,5        | 1        | 7         | 4,11         | 12,09        | 23,81        |
| <b>24,88</b> | <b>9,85</b>  | <b>23</b> | <b>4</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>10</b> | <b>7,73</b>  | <b>22,75</b> | <b>25,00</b> |
| 22,05        | 5,10         | 22        | 5        | 0,5        | 1        | 2         | 0,15         | 0,44         | 10,05        |
| 22,14        | 5,39         | 22        | 5        | 0,5        | 1        | 3         | 0,53         | 1,55         | 14,92        |
| 22,46        | 6,40         | 22        | 5        | 0,5        | 1        | 5         | 1,86         | 5,47         | 20,36        |
| 22,94        | 7,81         | 22        | 5        | 0,5        | 1        | 7         | 3,75         | 11,03        | 23,41        |
| <b>23,96</b> | <b>10,30</b> | <b>22</b> | <b>5</b> | <b>0,5</b> | <b>1</b> | <b>10</b> | <b>7,26</b>  | <b>21,35</b> | <b>25,00</b> |

**Şekil 6.14:** Bariyer Yüksekliğine Göre Bariyerin Konumu ve Gürültü Azalma Miktarı Grafiği

### 6.2.3 Bariyer Malzemesinin Seçimi

Bariyer malzemesinin seçiminde kullanılan formül daha önce formül 5.5'te verildi. Buna göre belirli bir geçiş kaybı (GK) sağlayacak malzemenin yüzey kütlesi bulunarak, yüzey kütlesi bilinen malzemeler arasından uygun olan malzeme seçilebilir. Hong Kong Çevre Koruma Bakanlığı'nın kendi internet sitesinde verdiği gürültü bariyerlerinin tasarımında kullanılacak kılavuza göre bir gürültü bariyerinde kullanılacak malzemenin geçiş kaybı (GK) değeri, istenilen gürültü azaltım değeri olan IL'dan 10 dB(A) daha fazla olmalıdır. Örneğin, bir bariyerin arzu edilen azaltma değeri 8 dB(A) ise bu bariyerde kullanılacak malzemenin GK değeri en az 18 dB(A) olmalıdır. Bunun nedeni, kırılan ses ışınlarının oluşturduğu gürültü değerinin ( $L_{diff}$ ), GK değerinden en az 10 dB(A) daha fazla olmasıdır.

**Tablo 6.18:** Bariyer Yüzey Kütlesine Göre Sağladığı GK Değerleri

| Malzeme                                                                                 | Kalınlık<br>mm | Yüzey Kütlesi<br>kg/m <sup>2</sup> | Geçiş Kaybı<br>(GK)*dB(A) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------|---------------------------|
| Polikarbonat                                                                            | 8-12           | 10-14                              | 30-33                     |
| Akrilik [Poli-Metil-Meta- Akrilik (PMMA)]                                               | 15             | 18                                 | 32                        |
| Hafif Beton Blok 200x200x400                                                            | 200            | 151                                | 34                        |
| Yoğun Beton                                                                             | 100            | 244                                | 40                        |
| Hafif Beton                                                                             | 150            | 244                                | 39                        |
| Hafif Beton                                                                             | 100            | 161                                | 36                        |
| Tuğla                                                                                   | 150            | 288                                | 40                        |
| Çelik, 18 gauge                                                                         | 1.27           | 9.8                                | 25                        |
| Çelik, 20 gauge                                                                         | 0.95           | 7.3                                | 22                        |
| Çelik, 22 gauge                                                                         | 0.79           | 6.1                                | 20                        |
| Çelik, 24 gauge                                                                         | 0.64           | 4.9                                | 18                        |
| Aluminyum Levha                                                                         | 1.59           | 4.4                                | 23                        |
| Aluminyum Levha                                                                         | 3.18           | 8.8                                | 25                        |
| Aluminyum Levha                                                                         | 6.35           | 17.1                               | 27                        |
| Ahşap                                                                                   | 25             | 18                                 | 21                        |
| Plywood                                                                                 | 13             | 8.3                                | 20                        |
| Plywood                                                                                 | 25             | 16.1                               | 23                        |
| Arkası Metal Levha Olan Polyester Film Kaplı<br>Gürültü Emici Panel                     | 50-125         | 20-30                              | 30-47                     |
| * Kabul edilen değerler bariyerde boşluk veya açıklık olmadığı durumda elde edilmiştir. |                |                                    |                           |

Burada dikkat edilmesi gereken bir husus, bariyerlerden elde edilebilecek maksimum değer 25 dB(A)'dır. Bu nedenle malzeme seçiminde GK değeri 35 dB(A) veya daha fazla olan bir malzemenin seçilmesi her durum için yeterli olacaktır.

Malzemenin yüzeyinde yapılacak değişiklikler ve kalınlık GK değerini çok büyük ölçüde değiştirmeyecektir. Yüzey alanı kütlesi 10 kg/m<sup>2</sup> olan bir malzeme genel kullanım amaçlı her durum için kullanımı yeterli olsa da bu değer her proje için ayrıca hesaplanması önerilmektedir. Aşağıda değişik IL değerleri için formül 5.5'e göre hesaplanmış bariyer malzemelerinin yüzey kütle değerleri bulunmaktadır ve bu değerlere uygun olarak Tablo 6.18'deki malzemelerden uygun olanları seçilmiştir.

**Tablo 6.19:** Bariyer Yüzey Kütlesine Göre Sağladığı GK Değerleri

| IL dB(A) | GK dB(A) | Yüzey Kütlesi (kg/m <sup>2</sup> ) | En Uygun Malzeme                                                                                       |
|----------|----------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2        | 12       | 0,8                                | 1,59 mm Alüminyum                                                                                      |
| 4        | 14       | 1,1                                | 1,59 mm Alüminyum                                                                                      |
| 6        | 16       | 1,6                                | 1,59 mm Alüminyum                                                                                      |
| 8        | 18       | 2,2                                | 1,59 mm Alüminyum                                                                                      |
| 10       | 20       | 3,0                                | 1,59 mm Alüminyum                                                                                      |
| 12       | 22       | 4,2                                | 1,59 mm Alüminyum                                                                                      |
| 14       | 24       | 5,8                                | 0,8 mm çelik                                                                                           |
| 16       | 26       | 8,0                                | 3,18 mm Alüminyum<br>13 mm Plywood                                                                     |
| 18       | 28       | 11,2                               | 8-12 mm Polikarbonat                                                                                   |
| 20       | 30       | 15,5                               | 25 mm Plywood<br>6,35 mm Alüminyum<br>Arkası Metal Levha Olan Polyester Film Kaplı Gürültü Emici Panel |
| 22       | 32       | 21,6                               | Tüm Beton Türleri<br>Tuğla<br>Arkası Metal Levha Olan Polyester Film Kaplı Gürültü Emici Panel         |
| 24       | 34       | 30,0                               | Tüm Beton Türleri<br>Tuğla<br>Arkası Metal Levha Olan Polyester Film Kaplı Gürültü Emici Panel         |
| 25       | 35       | 35,4                               | Tüm Beton Türleri<br>Tuğla                                                                             |

### 6.3 Gürültü Bariyerlerinin Performansı Üzerine Örnek Çalışma

Bu çalışmada gürültü bariyerlerinin ekonomik analizine temel teşkil edecek bir çalışma yürütülecek, bu çalışma üzerine daha sonra gürültü bariyerinin birim uzunluğu (1 km) için ekonomik analiz yapılacaktır. Yapılacak çalışmada, elimizdeki formüle belli kabuller ile değerler atanacak, bu değerler sonucunda ortaya çıkan gürültünün istenilen değere azaltılması için gerekli IL değeri belirlenecek ve bu IL

değeri bir bariyer konularak sağlanmaya çalışılacaktır. Elde edilen dört farklı yükseklik ve IL değeri için bir malzeme seçilecek ve birim maliyet hesabından gürültü bariyerinin inşa maliyeti çıkarılacaktır. Çalışmalarda kabul edilen trafik gürültü frekansı 500 Hz.dir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nin gürültü bariyeri inşası gerektirme kriteri olan 68 dB(A) dikkate alınırken, bu çalışmamızda ise alıcının rahatsız olmaması için gereken Yönetmelik'te gürültüye duyarlı alanlar olarak tanımlanmış bir alıcı ortam dikkate alınacaktır. Örnek çalışmaya ait kabuller aşağıda verilmiştir:

|                                |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|
| Toplam Taşıt Sayısı (TTS)      | 1000  | araç  |
| Ağır Taşıt Oranı (ATO)         | 20    | %     |
| V=Hız                          | 100   | km/sa |
| Eğim                           | 4,00  | %     |
| l <sub>c</sub> = Yol Genişliği | 15,00 | m     |
| d=Alıcı Yol Kenarına Uzaklığı  | 25,00 | m     |
| Alıcının yüksekliği            | 2,50  | m     |
| Kaynak Yükseklik               | 0,50  | m     |

**Tablo 6.20:** Değişkenlere Göre Bariyer Yüksekliği Seçimi

| DEĞİŞKEN                                                 | Durum 1      | Durum 2      | Durum 3      | Durum 4      |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Bariyerin Yola Mesafesi (m)                              | 1            | 3            | 5            | 7            |
| Oluşan Gürültü dB(A)                                     | 76,7         | 76,7         | 76,7         | 76,7         |
| Gürültüye Duyarlı Alan Gürültü Sınır Değ.                | 60           | 60           | 60           | 60           |
| Gereken IL Değeri dB(A)                                  | <b>16,70</b> | <b>16,70</b> | <b>16,70</b> | <b>16,70</b> |
| Sağlanan IL Değeri dB(A)..... 3 m bariyer                | 14,74        | 13,63        | 12,78        | 12,10        |
| Malzeme Yüzey Kütlesi Kg/m <sup>2</sup> .... 3 m bariyer | 6,54         | 5,45         | 4,74         | 4,24         |
| Sağlanan IL Değeri dB(A)..... 5 m bariyer                | <b>19,79</b> | <b>18,87</b> | <b>18,17</b> | <b>17,62</b> |
| Malzeme Yüzey Kütlesi Kg/m <sup>2</sup> .... 5 m bariyer | 15,01        | 12,91        | 11,49        | 10,51        |
| Sağlanan IL Değeri dB(A)..... 7 m bariyer                | <b>22,80</b> | <b>22,08</b> | <b>21,52</b> | <b>21,09</b> |
| Malzeme Yüzey Kütlesi Kg/m <sup>2</sup> .... 7 m bariyer | 24,65        | 21,88        | 19,94        | 18,60        |

Tabloda gerekli IL değerini sağlayan bariyer yükseklikleri koyu olarak yazılmıştır. Buna göre 3 m yüksekliğindeki bir bariyerin bu kabul şartları altında alıcı ortamda istenilen gürültü seviyesini sağlayamayacağı görülmektedir. Daha önce belirtildiği

üzere, bariyerin IL performansını kullanılan malzemenin yüzey kütlesi değil bariyere ait yükseklik ve ilgili mesafeler belirlemektedir.

**Tablo 6.21:** Değişkenlere Göre Bariyer Malzemesi Seçimi

| DEĞİŞKEN                                                 | Durum 1      | Seçilen Malzeme                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sağlanan IL Değeri dB(A)..... 5 m bariyer                | 19,79        | <b>15,50 Kg/m<sup>2</sup></b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 mm Plywood</li> <li>• 6,35 mm Alüminyum</li> <li>• Arkası Metal Levha Olan Polyester Film Kaplı Gürültü Emici Panel</li> </ul> |
| Malzeme Yüzey Kütlesi Kg/m <sup>2</sup> .... 5 m bariyer | <b>15,01</b> |                                                                                                                                                                                                             |
| Sağlanan IL Değeri dB(A)..... 7 m bariyer                | 22,80        | <b>21,60 Kg/m<sup>2</sup></b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Tüm Beton Türleri</li> <li>• Tuğla</li> <li>• Arkası Metal Levha Olan Polyester Film Kaplı Gürültü Emici Panel</li> </ul>         |
| Malzeme Yüzey Kütlesi Kg/m <sup>2</sup> .... 7 m bariyer | <b>24,65</b> |                                                                                                                                                                                                             |

### 6.3.1 Bariyer İnşa Maliyetinin Hesaplanması

Bu çalışmada Bayındırlık Bakanlığı'nın yayınladığı 2006 yılına ait birim fiyatlar esas alınarak bir gürültü perdesinin inşa maliyeti hesaplanacaktır. Poz numarası bulunmayan malzemeler için piyasa değerleri esas alınacaktır.

**Tablo 6.22:** Betonarme Gürültü Bariyeri (7 m) İnşa Maliyeti

| No             | Birim Fiyat Poz No | İşin Cinsi                                                                 | Miktar | Birim          | Birim Fiyat YTL | TUTAR YTL |
|----------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|-----------------|-----------|
| 1.             | 14.003             | El ile yumuşak küskülük kazılması                                          | 500    | m <sup>3</sup> | 9,71            | 4855      |
| 2.             | SNBF.27            | Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malz. Ve Moloz Nakli                          | 1000   | ton            | 9,15            | 9150      |
| 3.             | SNBF.24            | Hasır Çelik Nakliyesi                                                      | 35     | Ton            | 11,10           | 388,5     |
| 4.             | 04.305/1           | Çelik hasır (Nervürlü) (TS 4559) (m <sup>2</sup> ağırlığı 3.01-10,00 kg)   | 35000  | kg             | 0,67            | 23450     |
| 5.             | 23.011             | Nervürlü hasır çeliğin (3.00-10.00 kg/m <sup>2</sup> ) yerine konulması    | 35     | Ton            | 1120,69         | 39224     |
| 6.             | SNBF.20/B          | Herçeşit betonarme ve profil demir nakliyesi (Rumeli yakasında)            | 5,5    | Ton            | 69,95           | 385       |
| 7.             | 04.253             | Betonçelik çubuğu, nervürlü (BÇIIIa) , (BÇIVa) , Ø8-12 mm                  | 5,5    | Ton            | 530,00          | 2915      |
| 8.             | 23.014             | 8-12 mm'lik ince nervürlü çeliğin bükülmesi, yerine konulması              | 5,5    | Ton            | 1117,50         | 6146      |
| 9.             | 21.017/1           | Plywood (film kaplı) ile yapılan düz yüzeyli çıplak betonarme kalıbı       | 14000  | m <sup>2</sup> | 16,29           | 228060    |
| 10.            | SNBF.29            | Hazır Beton Nakliyesi                                                      | 1900   | m <sup>3</sup> | 13,86           | 26334     |
| 11.            | 16.057/1-B         | BS.16 (B.160 betonu), Satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton | 1900   | m <sup>3</sup> | 79,50           | 151050    |
| TOPLAM (YTL) ≈ |                    |                                                                            |        |                |                 | 491.958   |

**Tablo 6.23: Plywood Gürültü Bariyeri (7 m) İnşa Maliyeti**

| No             | Birim Fiyat Poz No | İşin Cinsi                                                                                           | Miktar | Birim          | Birim Fiyat YTL | TUTAR YTL |
|----------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|-----------------|-----------|
| 1.             | 14.003             | El ile yumuşak küskülük kazılması                                                                    | 50     | m <sup>3</sup> | 9,71            | 485,5     |
| 2.             | SNBF.27            | Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malz. Ve Moloz Nakli                                                    | 50     | ton            | 9,15            | 457,5     |
| 3.             | SNBF.29            | Hazır Beton Nakliyesi                                                                                | 50     | m <sup>3</sup> | 13,86           | 693       |
| 4.             | 16.057/1-B         | BS.16 (B.160 betonu), Satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton                           | 50     | m <sup>3</sup> | 79,50           | 3975      |
| 5.             | 16.070             | 0-20 m (20 m dahil) arasında her türlü zeminde her türlü açıda ve çapta ankraj deliklerinin açılması | 32     | m              | 31,96           | 1022,72   |
| 6.             | 04.264/5B          | Ankraj kon takımı 12 Ø8                                                                              | 135    | Adet           | 13,25           | 1788,75   |
| 7.             | -                  | 25 mm su geçirmez plywood (250x125x2,5 cm)                                                           | 2240   | Adet           | 225             | 504000    |
| 8.             | -                  | NPI 80                                                                                               | 16702  | kg             | 1,1             | 18372     |
| 9.             | -                  | Paslanmaz Sac Ağırlık (800 kg/m <sup>3</sup> -2x1500x3000 cm)                                        | 401    | kg             | 2,00            | 802       |
| 10.            | SNBF.20/B          | Herçeşit betonarme ve profil demir nakliyesi (Rumeli yakasında)                                      | 17     | Ton            | 69,95           | 1189      |
| TOPLAM (YTL) ≈ |                    |                                                                                                      |        |                |                 | 532.786   |

Yukarıdaki çalışmayı 5 m bariyer için gerçekleştirdiğimizde aşağıdaki maliyetler ortaya çıkmaktadır.

**Tablo 6.24: Plywood Gürültü Bariyeri (5 m) İnşa Maliyeti**

| No             | Birim Fiyat Poz No | İşin Cinsi                                                                                           | Miktar | Birim          | Birim Fiyat YTL | TUTAR YTL |
|----------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|-----------------|-----------|
| 1.             | 14.003             | El ile yumuşak küskülük kazılması                                                                    | 50     | m <sup>3</sup> | 9,71            | 485,5     |
| 2.             | SNBF.27            | Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malz. Ve Moloz Nakli                                                    | 50     | ton            | 9,15            | 457,5     |
| 3.             | SNBF.29            | Hazır Beton Nakliyesi                                                                                | 50     | m <sup>3</sup> | 13,86           | 693       |
| 4.             | 16.057/1-B         | BS.16 (B.160 betonu), Satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton                           | 50     | m <sup>3</sup> | 79,50           | 3975      |
| 5.             | 16.070             | 0-20 m (20 m dahil) arasında her türlü zeminde her türlü açıda ve çapta ankraj deliklerinin açılması | 32     | m              | 31,96           | 1022,72   |
| 6.             | 04.264/5B          | Ankraj kon takımı 12 Ø8                                                                              | 135    | Adet           | 13,25           | 1788,75   |
| 7.             | -                  | 25 mm su geçirmez plywood (250x125x2,5 cm)                                                           | 1600   | Adet           | 225             | 360000    |
| 8.             | -                  | NPI 80                                                                                               | 11930  | kg             | 1,1             | 13123     |
| 9.             | -                  | Paslanmaz Sac Ağırlık (800 kg/m <sup>3</sup> -2x1500x3000 cm)                                        | 401    | kg             | 2,00            | 802       |
| 10.            | SNBF.20/B          | Herçeşit betonarme ve profil demir nakliyesi (Rumeli yakasında)                                      | 12     | Ton            | 69,95           | 839,4     |
| TOPLAM (YTL) ≈ |                    |                                                                                                      |        |                |                 | 383.187   |

**Tablo 6.25:** Betonarme Gürültü Bariyeri (5 m) İnşa Maliyeti

| No             | Birim Fiyat Poz No | İşin Cinsi                                                                 | Miktar | Birim          | Birim Fiyat YTL | TUTAR YTL |
|----------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|-----------------|-----------|
| 1.             | 14.003             | El ile yumuşak küskülük kazılması                                          | 500    | m <sup>3</sup> | 9,71            | 4855      |
| 2.             | SNBF.27            | Şantiye Dışına Kamyonla Kazı Malz. Ve Moloz Nakli                          | 1000   | ton            | 9,15            | 9150      |
| 3.             | SNBF.24            | Hasır Çelik Nakliyesi                                                      | 25     | Ton            | 11,10           | 277,5     |
| 4.             | 04.305/1           | Çelik hasır (Nervürlü) (TS 4559) (m <sup>2</sup> ağırlığı 3.01-10,00 kg)   | 25000  | kg             | 0,67            | 16750     |
| 5.             | 23.011             | Nervürlü hasır çeliğin (3.00-10.00 kg/m <sup>2</sup> ) yerine konulması    | 25     | Ton            | 1120,69         | 28017     |
| 6.             | SNBF.20/B          | Herçeşit betonarme ve profil demir nakliyesi (Rumeli yakasında)            | 5,5    | Ton            | 69,95           | 384,73    |
| 7.             | 04.253             | Betonçelik çubuğu, nervürlü (BÇIIIa) , (BÇIVa) , Ø8-12 mm                  | 5,5    | Ton            | 530,00          | 2915      |
| 8.             | 23.014             | 8-12 mm'lik ince nervürlü çeliğin bükülmesi, yerine konulması              | 5,5    | Ton            | 1117,50         | 6146      |
| 9.             | 21.017/1           | Plywood (film kaplı) ile yapılan düz yüzeyli çıplak betonarme kalıbı       | 10000  | m <sup>2</sup> | 16,29           | 162900    |
| 10.            | SNBF.29            | Hazır Beton Nakliyesi                                                      | 1500   | m <sup>3</sup> | 13,86           | 20790     |
| 11.            | 16.057/1-B         | BS.16 (B.160 betonu), Satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton | 1500   | m <sup>3</sup> | 79,50           | 119250    |
| TOPLAM (YTL) ≈ |                    |                                                                            |        |                |                 | 371.476   |

Bu incelemelerde dikkate alınan bariyer uzunluğu her iki bariyer için 1 km ve yükseklik 7 m ve 5 m dir. Maliyet hesapları 2006 yılı Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları dikkate alınarak yapılmıştır.

Tablolar kendi aralarında karşılaştırıldığında aynı boydaki iki bariyer arasında büyük bir maliyet farkı olduğu görülmektedir. İnşa maliyet farkının temel nedeni, su geçirmez özellikte, üzeri film kaplı olmayan standart bir plywoodun oldukça pahalı olmasıdır. Beton perdelerin inşa maliyetini etkileyen ana kalemler ise yine plywooddan yapılmış beton kalıplarıdır. Maliyeti düşürmek için bir çözüm, alınan iş miktarına göre çelik kalıp kullanılmasıdır. Yatırım maliyeti yüksek olsa da, büyük hacimli işlerde çelik kalıplar dayanıklılığı göz önüne alındığında daha avantajlı olmaktadır.

Beton gürültü perdelerinin inşasındaki işçilik ve detay azlığı, durabilitesi, işletme ömrü ve Türkiye'deki betonarme inşaatındaki uzmanlık göz önüne alındığında ekonomik oluşunun yanı sıra sayılan bu avantajlarından dolayı betonarme perdelerin tercihi daha doğru görülmektedir.

## 7. GÜRÜLTÜNÜN EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Trafik gürültüsünü sınırlayan düzenlemelerde, özellikle gürültünün fayda/maliyet analizlerinde aldığı yer çok azdır. Özellikle taşıt kaynaklı gürültünün çevresel etkisi mesken bölgelerinde çok daha büyük önem kazanmaktadır. Bu bölümde bir gürültü analiz metodu ve bir örnek çalışma ile karayolu gürültüsünü azaltma projelerinin ekonomik değerlendirme prosedürü anlatılacaktır.

### 7.1 Çevresel Etkilerin Ekonomik Analizi

Trafik gürültüsünün ulaşım ağı yakınlarında bulunan meskenlerde yaşayan veya çalışan insanlar üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Bu zararlı etki insanın genel sağlığını, psikolojisini, motivasyonunu ve bunlara bağlı olarak davranışını, öğrenme kabiliyetini, verimliliğini ve yaşam kalitesini etkiler. Ekonomik değerlendirmenin temelinde de bir gürültü azalması sağlayacak çalışmaların marjinal maliyetlerini gürültü azalması sonucu oluşan marjinal faydaya eşitlemektir.

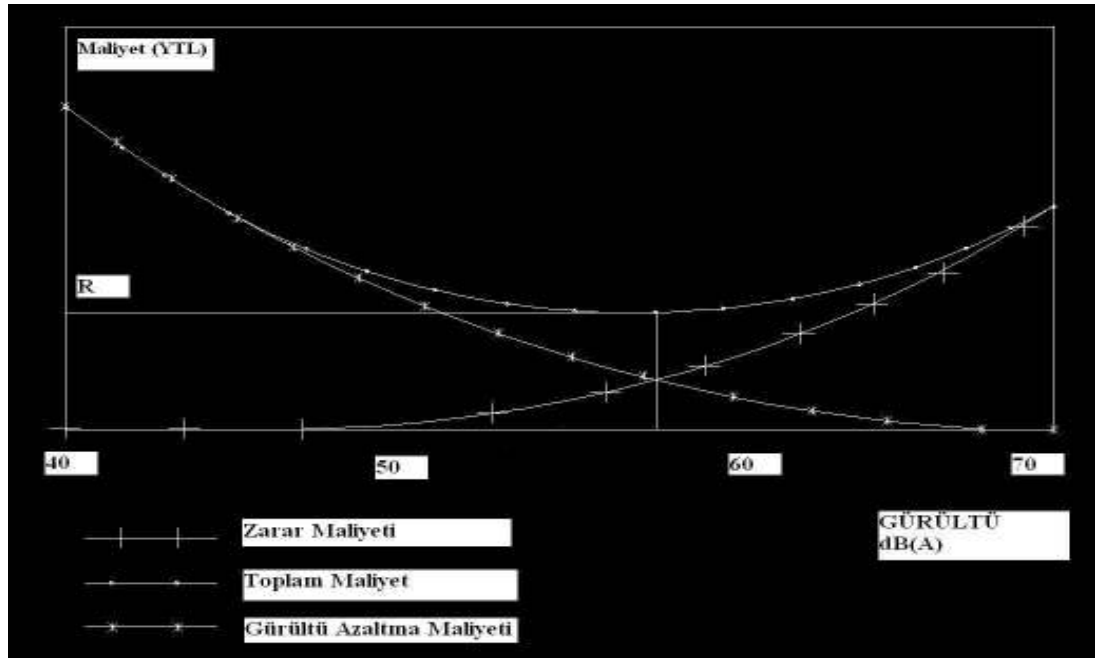
Ekonomik analiz için kullanılacak olan “Hedonik Fiyat Tekniği”ne göre, bir bölgenin değeri bu bölgeden sağlanan faydanın bir fonksiyonudur. Bu faydanın içerisinde bölge ve çevresinin çevresel kalitesi dahildir. Hedonik yaklaşım iki şeyi bulmaya çalışır:

- Özel bir çevresel değişimin bölgenin belli bir özelliğini ne kadar değiştirdiği
- İnsanların çevre kalitesini arttırmak için ödemeye hazır oldukları bedel

Avustralyalı bir bilim adamı olan Streeting’e (1990) göre eşdeğer gürültü seviyesi bir desibel arttığı zaman bir evin değeri 0,08-1,26% oranları arasında azalmaktadır. Yapılan bir analiz sonucunda, evin gürültüden dolayı değer kaybı oranının 0,9% kadar olması uygun bir karardır. Örneğin, 130.000 YTL değerindeki bir gayrimenkulün, eşdeğer trafik gürültü  $L_{eq}$  seviyesindeki 64 dB(A) den 58 dB(A) ya 9 dB(A) bir azalma sayesinde  $0,9\% \times 6dB \times 130.000YTL = 7020 YTL$  kadar değer kazanır.

Gürültü azaltma maliyeti ise gürültünün istenilen düzeye indirilmesi için karayolu çevresinde alınan önlemlerin yapım veya inşa maliyetleridir. Bu önlemler; gürültü perdeleri, toprak setler, ses yutucu yol kaplamaları, gürültüden etkilenen yapıların kamulaştırılması ve yeniden yapılanmaların yapılması olarak sayılabilir.

Bu tip önlemlerin, gürültünün zararları üzerinde yapılan çalışmalar sırasında değerlendirilmemesi neticesinde, ilgili idareye ve yüklenici üzerine olan maliyeti düşüktür, ancak yüksek trafik hızı veya ağır taşıt oranı yüksek olan yollarda topluma olan maliyetleri yüksektir. Bunlar dikkate alınmadan yapılan yollara daha sonra gürültü perdesi inşası, trafiğe hız limiti getirilmesi gibi önlemlerin alınması ile gürültü seviyesinde önemli bir azalma sağlansa da bu önlemlerin topluma olan maliyeti de hala yüksek kalacaktır.



**Şekil 7.1:** İki Maliyet Eğrisinin Klasik Optimizasyonu

Yukarıdaki grafikten de görüldüğü üzere toplam maliyet, gürültü azaltma maliyeti ile zarar maliyetinin toplamıdır. Zarar maliyeti düşük gürültü seviyelerinde ihmal edilmektedir. Bunun nedeni düşük gürültü seviyesine karşı insanların verdikleri tepkinin daha az olmasının yanı sıra bu düzeyde bir gürültü azaltması için alınacak önlemlerin inşası ekonomik olmamaktadır. Gürültü seviyesindeki artış ile birlikte gürültü zarar maliyeti de yükselmektedir. Grafikteki gürültü azaltma maliyeti, istenilen gürültü seviyesine inmek için gerekli maliyeti göstermektedir. Diğer bir deyişle, düşük gürültü seviyesi elde etmek için gereken maliyet daha yüksektir.

Örneğin, Alıcı ortamda 70 dB(A) çevre gürültüsüne sahip bir yolun değerini 65 dB(A)'ya düşürmek için alınacak önlemin maliyeti, bu değeri 50 dB(A)'ya indirmek için gerekli olan önlem maliyetine göre daha düşüktür.

Grafikten görüldüğü üzere, optimum maliyet, toplam maliyet eğrisinin minimum olduğu noktadaki değer olan R'dir. Bu noktada elde edilecek gürültü azalma miktarının maliyeti ile elde edilecek faydanın maliyeti birbirine eşit olmaktadır.

Grafikte gösterilen ideal bir durumdur. Değişken sayısı çok fazla olduğundan, istenilen gürültü düzeylerine ve gürültü maliyetlerine göre seçilebilecek çok fazla malzeme tipi ve önlem türü bulunmaktadır ve bunlarla yapılacak çalışma sonsuz sayıda üretilebilir. Uygulama aşamasında ise, uygulama zorluğu, şiddet ve görsel uyum gibi kısıtlardan dolayı bu sayı azalmaktadır. Bu Hedonoik çalışma tekniğine ait bir çalışma aşağıda verilmiştir.

Örnek çalışmada, kabulleri yapılarak üzerinde daha önce çalışılan trafik değerleri için yol kenarından 1 m uzaklıkta bulunan 1000 m uzunluğundaki betonarme bir bariyerin inşa maliyeti hesaplanarak gayrimenkul olarak değeri 1.800.000 YTL olan bir arazi üzerinde gürültü toplam maliyeti optimizasyonu yapılacaktır. Arka plan gürültü değeri 50 dB(A) ve trafik gürültü değeri 70 dB(A) olarak alınmıştır. Zarar maliyeti için aşağıdaki yıpranma payı (amortisman) kaybı formülü kullanılacaktır:

$$0,9 \% \times \text{Değişim Miktarı (desibel)} \times \text{Arazi Değeri} = \text{Zarar Maliyeti (ZM)} \quad (7.1)$$

**Tablo 7.1:** Betonarme Gürültü Bariyeri İnşa Maliyetleri Tablosu

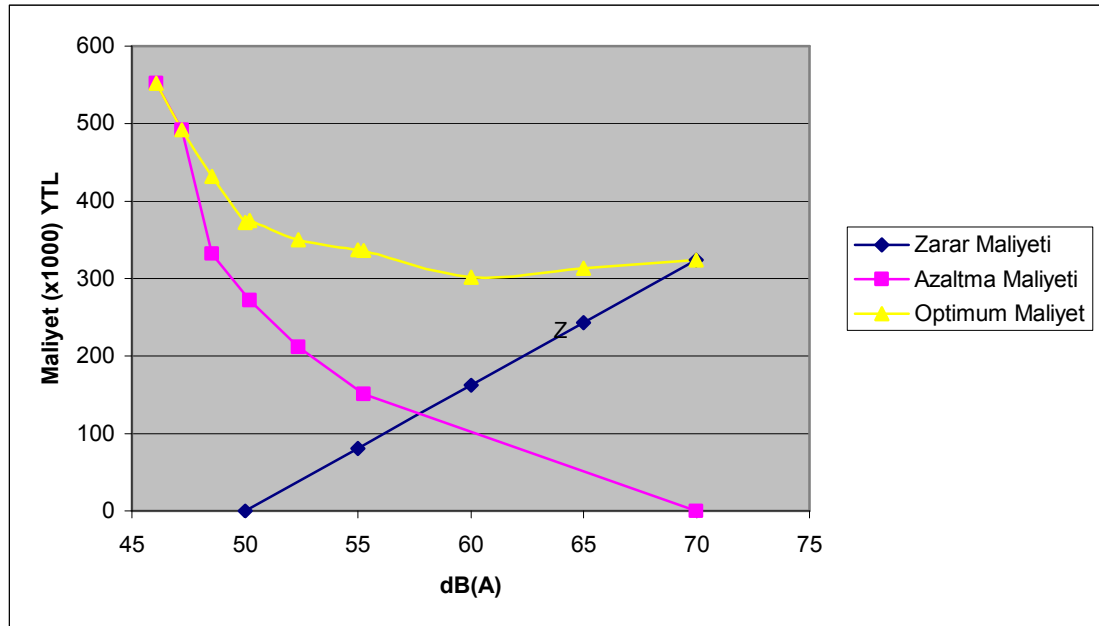
| Bariyer Yüksekliği (m) | IL dB(A) | Gürültü dB(A) | Yaklaşık İnşa Maliyeti (x1000 YTL) |
|------------------------|----------|---------------|------------------------------------|
| 0                      | 0        | 70            | 0                                  |
| 1                      | 5        | 65            | 70                                 |
| 2                      | 10       | 60            | 140                                |
| 3                      | 14,74    | 55,26         | 251                                |
| 4                      | 17,64    | 52,36         | 312                                |
| 5                      | 19,79    | 50,21         | 372                                |
| 6                      | 21,46    | 48,54         | 432                                |
| 7                      | 22,8     | 47,2          | 492                                |
| 8                      | 23,93    | 46,07         | 552                                |

**Tablo 7.2:** Zarar Maliyetleri Tablosu

| Gürültü değişim aralığı dB(A) | Gürültü dB(A) | Zarar Maliyeti (x1000 YTL) |
|-------------------------------|---------------|----------------------------|
| 0                             | 50            | 0                          |
| 5                             | 55            | 81                         |
| 10                            | 60            | 162                        |
| 15                            | 65            | 243                        |
| 20                            | 70            | 324                        |

**Tablo 7.3:** Toplam Maliyet Tablosu

| dB(A) | ZM (x1000 YTL) | İM (x1000 YTL) | TOPLAM (x1000 YTL) | NOKTA | Fayda/Maliyet |
|-------|----------------|----------------|--------------------|-------|---------------|
| 70,00 | 324,00         | 0,00           | 324,00             | -     | -             |
| 65,00 | 243,00         | 70,00          | 313,00             | A     | <b>1,16</b>   |
| 60,00 | 162,00         | 140,00         | 302,00             | B     | <b>1,16</b>   |
| 55,26 | 85,21          | 251,00         | 336,21             | C     | 0,95          |
| 55,00 | 81,00          | 256,47         | 337,47             | D     | 0,95          |
| 52,36 | 38,23          | 312,00         | 350,23             | E     | 0,92          |
| 50,21 | 3,40           | 372,00         | 375,40             | F     | 0,86          |
| 50,00 | 0,00           | 384,18         | 384,18             | G     | 0,84          |
| 48,54 | 0,00           | 432,00         | 432,00             | H     | 0,75          |
| 47,20 | 0,00           | 492,00         | 492,00             | I     | 0,66          |
| 46,07 | 0,00           | 552,00         | 552,00             | J     | 0,59          |

**Şekil 7.2:** Örnek çalışma Maliyet Eğrilerinin Klasik Optimizasyon Sonuç Grafiği

A ve B noktalarında fayda/maliyet analizi yapıldığında, 5 dB(A) lık bir gürültü azalması arazinin değerini 81.000 YTL arttırırken, bunu sağlamak için ödenecek bedel 70.000 YTL olmaktadır. Fayda/maliyet analizine göre uygun sonuçlar bulunmasına rağmen istenilen gürültü azalması sağlanamamaktadır. Bu durumda elde edilen sonuçlar;

- Gürültü bariyer inşasına ait analizler planlama aşamasında yapılmalıdır.
- Mevcut yollarda kimi zaman bariyer inşası fayda/maliyet analizine göre uygun sonuçlar vermeyebilir.
- Uygun olmayan durumlarda sosyal sorumluluk gereği bu bariyerler inşa edilmelidir.
- Gürültü maliyetleri geri dönüşüm malzemeleri kullanılarak çok daha ucuza mal edilerek fayda/maliyet analizine göre uygun sonuçlar elde edilebilir.

## **7.2 Karayolu Gürültüsünü Azaltma Projelerinin Ekonomik Değerlendirme Prosedürü**

Yukarıda uygulaması yapılan çalışmanın tüm projelerde uygulanabileceği adımlar aşağıdaki beş adımlık bir prosedürle kısaca anlatılabilir (ÖZTÜRK, Z., 2004).

1. Projeden etkilenen çevredeki mülklerin değerini belirlenir.
2. Gelecekteki gürültü azaltma seçeneklerinin olma ve olmama olasılıkları durumlarına ait trafik gürültü seviyelerini tahmin edilir.
3. Her seçenek için gürültü seviyesindeki değişikliklerin mülk değerlerini ne kadar değiştirdiği hesaplanır. Her L10(18saat) veya Leq (dB) farkı için değer kaybetme oranı %0,9 dur, (50 dB'in altındaki gürültü değişikliğinin topluma bir etkisi yoktur). Her seçeneğin yapım maliyeti hesaplanır (Hedonik Fiyat Tekniği)
4. Her gürültü azaltma seçeneğinin net bugünkü değeri belirlenir, (Eğer yapım maliyetleri ile gürültü zarar maliyetleri zaman içinde birbirine yaklaşıyorsa tüm net bugünkü değerleri azaltmak veya yıllık enflasyon uygulamak gerekir).
5. Ekonomik olarak optimum gürültü azaltma yöntemi, yani toplam maliyet eğrisinin en düşük değerini veren noktadaki çözümdür.

## 8. SONUÇ

Karayolu gürültüsünün oluşmasında etkili olan faktörler incelendiğinde, başlıca etkilerin trafik akımı, yol fiziksel özellikleri ve araçtan kaynaklandığı görülmektedir.

Bunlardan trafik akımına ait değişkenler ele alınırsa, trafik akımını oluşturan taşıt sayısının ve bu sayı içerisindeki ağır taşıt oranının oluşan gürültü miktarını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Buna göre bu değişkenler arttığında oluşan gürültü eğrisi ikinci dereceden bir fonksiyon oluşturmaktadır. Grafik, azalan ivme ile artan hız grafiğine benzemektedir. Bu durumda, birim taşıt başına düşen gürültü artım miktarı araç sayısı arttıkça azalmaktadır. Ağır taşıt oranındaki artış değişken olarak incelendiğinde de aynı davranışı sergilediği görülmektedir. Trafik akım türünün serbest akım olduğu kabul edilirse, mevcut bir yolda gürültü perdelerinin inşası için trafik hacminin ve içindeki taşıt kompozisyonunun belirlenmesi ve oluşacak gürültü miktarının saptanması gerekmektedir.

Diğer bir değişken olarak ortalama trafik hızı dikkate alındığında, başlangıç hızlarındaki birim değişim başına düşen gürültü artım miktarı hafif taşıtlar için ağır taşıtlara göre oldukça fazladır. Hız ve araç sayılarına ait grafikler karşılaştırılırsa, hız grafiğindeki birim hız değişim başına düşen gürültü değişim miktarı birim araç sayısına düşen gürültü değişim miktarından fazla olmaktadır. Dolayısıyla oluşan grafiğin eğrilik yarıçapının daha fazla olduğu görülmektedir. Taşıt sayısı ve ortalama trafik hızı birlikte değerlendirildiğinde ise, ortalama trafik akım hızı yüksek olan yollarda taşıt sayısı az iken gürültü bariyer inşası gerektiren bir gürültü değerine rahatlıkla ulaşılabilirken, taşıt sayısı çok artınca bu limit gürültü değerine neden olan trafik akım hızı da düşmektedir.

Sesin bir özelliği olarak kaynaktan uzaklaştıkça gücü azalmaktadır. Dolayısıyla karayolundan uzaklaştıkça oluşacak gürültü miktarında önemli azalmalar meydana gelecektir. Buna göre alıcının karayolundan mesafesi de önem kazanmaktadır. Özellikle işlek karayoluna yakın konutlarda gürültü problemi tek başına önemli bir etken iken yansımalar ve akım türünün kesikli olması gibi etkiler nedeniyle daha da belirgin hale gelmektedir.

Bu tez çalışmasında, çalışmanın ana amacı olan gürültü bariyerlerinin iki boyutu üzerinde durulmuştur. Birincisi gürültü azaltma etkisi, ikincisi inşa maliyetidir.

Gürültü azaltma miktarını belirleyen en önemli iki değişken bariyer yüksekliği ve bariyerin konumudur. Gürültü bariyerlerinin gürültü azaltma etkisi değerlendirilirken ortaya çıkan sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Gürültü bariyeri kaynağa yakın konumlandırıldığında elde edilen gürültü azalma miktarı, alıcıya yakın konumlandırıldığı durumdan daha fazladır.
- Gürültü bariyerinin yüksekliği trafik akım kompozisyonuna, alıcının kaynağa uzaklığına ve alıcıda istenilen gürültü azalma miktarına bağlıdır. Tır, kamyon gibi yüksek ve ağır taşıt sınıfına giren taşıtların yoğun olduğu trafik akımlı bir yolda araç-bariyer yansımalarını önlemek amacıyla yüksek bariyerler seçilmelidir.
- Önemli şehir merkezlerinden geçen yollar viyadükler ile yükseltildiğinde elde edilen kazanım, yaya trafiği için konulan trafik ışıklarının gerek olmamasından dolayı trafik akımının serbest akım hızına dönüşmesinin yanı sıra bu yolların kenarına konulan bariyerler sayesinde veya üstlerinin tünel şeklinde kapatılması ile elde edilen önemli gürültü azalmasıdır. Bu durumda yol kotunun altındaki konutlar için önemli gürültü azalması sağlandığından gürültü rahatsız edici bir etki olmaktan çıkmaktadır. Ayrıca, yol kotunda veya daha üst kotlardaki konutlar için bariyer veya tünel önemli bir çözüm olmaktadır. Bu tür bir çözüm metodu İstanbul'da, özellikle Mecidiyeköy'deki viyadüklerde olmak üzere, birçok yol üzerinde uygulanabilir.
- Yan yol katılımlarının olduğu bir yol için paralel bariyer uygulaması yapılmalıdır. Bu durumda iki bariyer arasındaki mesafe ve bariyer uzunlukları gürültü yansımalarını önlemek amacıyla dikkate alınarak boyutlandırılmalı ve tasarlanmalıdır.

Çalışmada ayrıca gürültünün ekonomik analizi yapılmaktadır. Bu konu gürültü bariyerinin inşasında önemli bir konudur. Yapılan analizde bariyer yüksekliği, bariyer inşasında kullanılan malzemenin türü gibi bariyerin inşa maliyetini etkileyen faktörler ve bariyerin kullanıldığı bölgenin gayrimenkul değeridir. Bununla ilgili olarak çalışmada elde edilen değerlendirme sonuçları aşağıda sıralanmıştır:

- Aynı yüksekliğe ve aynı gürültü azaltma özelliklerine sahip iki farklı malzemeden yapılmış bariyerlerin gürültü azaltma miktarları aynıdır. Bu durumda kullanım için seçilecek malzemenin türünü etkileyen faktörler malzemenin maliyet, görsellik ve durabilite özellikleridir. Bu değerler arasında yapılacak sıralamayı ise bariyerin inşa edileceği yolun konumu, yolun trafik hacmi ve arazi kullanım değerleridir. Şehir içindeki bir yol için görsellik, sıralamada maliyetin önüne geçebilmektedir.
- Arazi değeri arttıkça o yoldaki her bir desibel artımına denk gelen gürültünün zarar maliyeti artmaktadır. Diğer bir deyişle inşa edilecek bariyerin önleyeceği her bir desibel için arazi değeri o oranda artacaktır.
- Gürültü bariyeri inşasında ekonomik çözümler elde etmek için geri dönüşümlü malzemeler kullanılmalıdır. Bu çözüm yollarından özellikle plastik ve PVC tarzındaki çözümler ekonomik olmanın yanı sıra yüksek durabiliteye de sahiptirler.
- Gürültü bariyeri inşası her zaman ekonomik bir çözüm olmayabilir. Özellikle mevcut yollarda beklenmedik trafik hacim artışları önemli gürültü artışına sebep olacağından, bu değerler hastane, okul gibi gürültüye hassas alanlar için dikkate alınarak ve maliyetler düşünülmeden sosyal sorumluluk gereği gürültü bariyerleri inşa edilmelidirler.
- Bir yolun planlanması aşamasında yapılacak potansiyel gürültü araştırma çalışmalarının dikkate alınması, toplam maliyetler üzerinde önemli ölçüde azaltıcı bir etki oluşturabilir.

Sonuç olarak, gürültünün bütün olumsuz etkileri göz önüne alınarak yapılacak bir bariyerle elde edilecek kazanımlar ekonomik olarak elde edilemeyecek faydalar olabilir. Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde çevresel problemlere önem verilmesi ve bu kapsamda, gürültüye duyulan hassasiyetin artması, dolayısıyla gürültü önleyici çözümlerin inşasında önemli artışlar olması gelişmişliği gösteren bir durum olacaktır.

## REFERANSLAR

- AKTÜRK, N., TOPRAK, R., ASİLOĞULLARI, E., 2003.** Hızlı Raylı Ulaşım Sistem Kaynaklı Çevresel Gürültü, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt:18 No:3, 15-25.
- ANSI Standard S1.8, 1969.** Preferred Reference Quantities for Acoustical Levels, American National Standards Institute, USA.
- BAY, F., GÜNEY, A., 1998.** Lastik Yol Gürültüsü, *4. Akustik ve Gürültü Kongresi*, Kaş, Antalya, Türkiye, Ekim 29-31.
- BERANEK, L. L., 1971.** Noise and Vibration Control, McGraw-Hill, New York.
- ÇETİN, İ., EROĞLU, M. ve AKTÜRK, N., 2002.** Taşıt Motorlarının Neden Olduğu Gürültü, *Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, Mayıs 8-12.
- DEMİREL, G., SELİMOĞLU, B. ve KIRICI, M., 1996.** Gürültü Azaltıcı Önlemler ve Karayollarındaki Uygulamaları, *2. Akustik ve Gürültü Kongresi*, Antalya, Türkiye, Ekim 23-25.
- EKİNCİ, C. E., 2004.** Bordo Kitap Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, Üniversite Kitapevi, Elazığ.
- HODGSON, M., BUSCH, T., 1997.** Noise Control Earthberms: Guidelines for the Use of Earthberms to Control Highway Noise, Ministry of Transportation and Highways, Highway Engineering Branch Technical Report, British Columbia, Canada.
- HONG KONG Environmental Protection Government, 2005.** Noise Guidelines and References: Guidelines On Design of Noise Barriers [Online], [http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide\\_ref/design\\_barriers\\_content2.html#2\\_2](http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/design_barriers_content2.html#2_2) [Ziyaret tarihi: 12 Nisan 2007]
- İYEM Brüel&Kjær, 1998.** Akustik ve Titreşim Ölçümleri (SES-F) Ders Notu.
- KOTZEN, B., ENGLISH, C., 1999.** Environmental Noise Barriers: A Guide to Their Acoustic and Visual Design, E&FN Spon, London, New York.
- MAEKAWA, Z., 1968.** Noise Reduction by Screens, *Journal of Applied Acoustics*, 1:157-173.

- MARSH, A., 1999.** Acoustics [Online], School of Architecture and Fine Arts, The University of Western Australia, [http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT320\\_EA/\\_web/Online\\_Course\\_on\\_Acoustics/index\\_acoustics.html](http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT320_EA/_web/Online_Course_on_Acoustics/index_acoustics.html) [Ziyaret tarihi: 12 Nisan 2007]
- McCLELLAN, J. H., CHELLOPPA, R. ve CEVHER, V., 2006.** Joint Acoustic-Video Fingerprinting of Vehicles Part-I., *IC ASSP 2007 Conference*, Hawai, Nisan 15-20
- ÖZTÜRK, B., 2002.** Kent İçi ve Kent Dışı Karayolu Ulaşım Sistemlerinde Bitkilendirmenin trafik Tekniği Yönünden İşlevleri, *Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, Mayıs 8-12.
- ÖZTÜRK, Z., 1998.** Karayolu ve Demiryolunda Yol Yakınında Alınabilecek Gürültü Önlemlerinin İncelenmesi, *4. Akustik ve Gürültü Kongresi*, Kaş, Antalya, Türkiye, Ekim 29-31.
- ÖZTÜRK, Z., 2004.** Trafik Gürültüsünü Azaltma Önlemlerinin Ekonomik Analizi, *6. Uluslar arası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, Ekim 6-8.
- ÖZTÜRK, Z., 1992.** Ulaşım Kaynaklı Gürültü Azaltmaya Yönelik Bazı Önlemlerin incelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, Cilt:50 No:4, 1-9.
- REYNOLDS, Q., 1992.** Economic Evaluation of Noise, *Road and Transport Research Magazine* , Cilt:1 No:2, 36-48.
- SELİMOĞLU, B., 1994.** Ülkemiz Otoyollarında Çevre Düzenleme İlkelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, *Doktora Tezi*, A. Ü. Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara.
- WU, W., 1999.** Impacts of noise Barriers On Metropolitan Communities, *PhD Thesis*, Universite Laval, Canada.
- YAYLA, N., 2002.** Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.

## **BİYOĞRAFI**

Metehan ÇALIŞ, İzmir Atatürk Lisesi'ni 1999 yılında bitirdikten sonra İstanbul Teknik Üniversitesi'nden İnşaat Mühendisliği ve Çevre Mühendisliği (ÇAP) lisans derecelerini 2004 ve 2005 yıllarında aldı. 2004 yılında ulaştırma mühendisliğine duyduğu ilgi ve ailesinin asfalt plant konusunda imalat yapan firması olması sebebiyle Ulaştırma Mühendisliği programına kaydoldu. Çevre mühendisliği ile ilgisini ulaştırma mühendisliği programı ile birleştirerek ulaştırmanın çevresel boyutları üzerine çalışmalarını sürdürmeyi planlayan Metehan ÇALIŞ şu an Türk Standardları Enstitüsü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda görev yapmaktadır.