

T.C.

BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

**DEMİRYOLLARINDA
GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ VE BERTARAF
YÖNTEMLERİ,
İLGİLİ MEVZUATIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

AYŞE KABLAN

İSTANBUL, 2012

T.C.

BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ PROGRAMI

**DEMİRYOLLARINDA
GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ VE BERTARAF
YÖNTEMLERİ,
İLGİLİ MEVZUATIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

AYŞE KABLAN

Tez Danışmanı: Doç. Dr. GÖKSEL DEMİR

İSTANBUL, 2012

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında bana büyük destek veren bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Değerli Hocam Doç. Dr. Göksel DEMİR'e, Yüksek Lisans Programımı gerçekleştirme imkânını veren Prof. Dr. Mustafa ILICALI ve Uygur çalışanlarına ve tez çalışmalarımda bana sabır gösteren aileme teşekkür ederim

İstanbul, 2012

Ayşe KABLAN

ÖZET

DEMİRYOLLARINDA GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ VE BERTARAF YÖNTEMLERİ, İLGİLİ MEVZUATIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayşe Kablan

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Göksel Demir

Ocak 2012, 105 sayfa

4-Haziran-2010 tarihli, Resmi Gazete Sayı: 27601 ile yayımlanan çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yöneltmesi yönetmeliği' inde demiryolları gürültüsünün önlenmesi ile alınacak önlemler incelenerek, bunların uygulama aşamaları değerlendirilmiştir. Yönetmelik gereği önümüzdeki yıllar içerisinde, akustik raporların, stratejik gürültü haritalarının ve eylem planlarının hazırlanmasından sonra ulaşımdan kaynaklanan gürültünün azaltılması yolunda daha somut adımlar atılabilecektir. Ülkemizde demiryollarına son birkaç yılda büyük önem verilerek makro düzeyde yatırımlar yapılmaktadır. Yenilenen alt yapı ve üst yapılar ile çeken ve çekilen taşıtların getirdiği konfor da gürültü ile mücadelede önemli etken olmaktadır. Şehir içindeki banliyö hatları ve üniteleri de önümüzdeki birkaç yıl içinde tamamen modernize edilmesi beklenilmektedir. Bu yenilenmenin getirdiği konfor içinde gürültünün azalması da hissedilecek ve yönetmeliklerle belirtilen tüm önlemlerin kısa bir süre içerisinde yerine getirilmesi halinde, demiryollarının gürültüsüz bir ulaşım sistemi oluşturması mümkün olabilecektir.

Bu tezde; ses ve gürültü ile ilgili genel ve teknik bilgiler verilmiş ve ulaşımdan kaynaklanan gürültülerden demiryolları gürültüsü incelenmiştir. Demiryolu gürültülerini meydana getiren faktörler üzerinde durulmuş, bunların önlemleri anlatılmıştır. Gürültü engel tasarımı ile ilgili olarak *SoundPlan* yazılımı ile bir örnekleme yapılmıştır. Demiryolu güzergâhına yakın çevrelerde yaşayan çeşitli yaş, meslek ve cinsiyet gruplarından 60 kişi üzerinde bir anket yapılmıştır. Bu ankette demiryolu ulaşımından kaynaklı en çok rahatsız eden etkenler üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akustik Rapor, Stratejik Gürültü Haritası, Eylem Planları, SoundPlan Engel Tasarımı

ABSTRACT

NOISE POLLUTION AT RAILWAYS AND DISPOSAL METHODS, EVALUATION OF THE RELATED LEGISLATION

Ayşe Kablan

Urban Systems and Transportation Management

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Göksel Demir

January 2012, 105 pages

The preventives which are taken to avoid the Railways noises - mentioned in the Regulation of çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetilmesi which was published on the official journal number: 27601 dated 4-June 2010 are investigated and interpreted the application stages of them. In the coming years, according to this Regulation, after preparing the acoustic reports, the strategic noise maps and the action plan, the concrete steps can be taken by reducing the noises arisen from transport. In Turkey, in the last few years, great importance is given to the railways and the investments are made at the macro level. The renewed infrastructure and superstructures and comfort of the locomotives and railway cars are the most important factors in the fight against to noise. Within the next few years, it is expected that the commuter lines and units in the city will be completely modernized. In the comfort of this modernization noise reduction will be felt and there can be managed to create a noiseless transportation system at the railways if all preventives which are mentioned in the Regulation are applied in a short time.

In this thesis, general and technical information related with voice and noise is given and the Railways noise of the noise types arisen from transport is investigated. In this thesis, the factor which creates the Railways noise is focused and the preventives which are taken for these factors are tried to explain. A sampling is made with *Sound plan* software in connection with the design of the noise barrier. There is made a questionnaire on the sixty peoples of various ages, professions, and gender groups who lives in the environment where is near to the areas which the route of the railway. The most disturbing factors caused by the railway transportation are focused in this questionnaire.

Keywords: Acoustic Reports, Strategic Noise Maps, Action Plans, SoundPlan, Design of the Noise Barrier

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ŞEKİLLER | xi |
| TABLOLAR..... | xii |
| KISALTMALAR | xiii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER..... | 2 |
| 2.1 SES..... | 2 |
| 2.2 SES İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR | 4 |
| 2.2.1 Sesin Şiddeti ve Basıncı..... | 8 |
| 2.3 SESİN YAYILMASI | 11 |
| 2.3.1 Geometrik Yayılma | 11 |
| 2.3.3 Atmosferik Emilim..... | 12 |
| 2.3.4 Bariyer ile Kırınım | 12 |
| 2.3.5 Rüzgâr ve Hava Sıcaklığı Değişimi..... | 12 |
| 2.4 SESİN GÜRÜLTÜ OLARAK ALGILANMASI..... | 14 |
| 2.4.1 Ses Basınç Seviyesi (Sound Pressure Level, SPL) | 23 |
| 2.4.2 Ses Gücü Seviyesi (Sound Power Level, SWL)..... | 25 |
| 2.4.3 Ses Basınç Seviyesi ve Ses Gücü Seviyesinin Örneklenmesi | 25 |
| 2.4.4 Ses seviyelerinin Toplanması ve Çıkarılması | 26 |
| 2.5 SES KAYNAKLARI | 27 |
| 2.5.1 Noktasal Kaynaklar | 27 |
| 2.5.2 Çizgisel Kaynaklar | 28 |
| 2.5.3 Alansal Kaynaklar | 29 |
| 3. DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜ | 31 |
| 3.1 DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜ TAHMİNİ..... | 33 |
| 3.2 DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN TOPLUMA ETKİSİ | 38 |
| 3.3 ÇEŞİTLİ TREN HIZLARI İÇİN EŞDEĞER GÜRÜLTÜ SEVİYELERİ | 40 |

| | |
|---|-----------|
| 4. DEMİRYOLLARINDA GÜRÜLTÜ NEDENLERİNE GÖRE | |
| ÖNLEMLER..... | 43 |
| 4.1 ALIYMANDA VAGON GÜRÜLTÜSÜ | 43 |
| 4.1.2 Lokomotifler..... | 44 |
| 4.1.3 Lokomotifler İçin Gürültü Seviyeleri ve Spektrum..... | 44 |
| 4.1.4 Lokomotif Sinyal ve Uyarı Aletleri..... | 45 |
| 4.1.5 Araçla Yolun Etkileşiminden Kaynaklanan Gürültüler..... | 45 |
| 4.1.6 Aliymanda Tekerlek/Ray Gürültüsü ve Kontrolü | 45 |
| 4.1.7 Normal Yuvarlanma Gürültüsü | 47 |
| 4.1.8 Gürültünün Yayılımı..... | 48 |
| 4.1.9 Mesafe İle Güç Yitimi | 48 |
| 4.2 NORMAL YUVARLANMA GÜRÜLTÜSÜ KONTROL | |
| YÖNTEMLERİ | 49 |
| 4.2.1 Araç Üzerindeki Uygulamalar | 49 |
| 4.2.2 Yol Üzerindeki Uygulamalar | 50 |
| 4.2.3 Hat Kenarındaki Uygulamalar | 51 |
| 4.2.4 Gürültü Emici Bariyerler | 52 |
| 4.2.5 Yapı Üzeri Bariyerler..... | 52 |
| 4.2.6 Çevirme, Kuşatma..... | 52 |
| 4.3 AŞIRI YUVARLANMA GÜRÜLTÜSÜ İÇİN ÖNLEMLER..... | 54 |
| 4.3.1 Hat Üzerindeki Uygulamalar..... | 54 |
| 4.3.2 Araç Üzerindeki Uygulamalar | 54 |
| 4.3.3 Hat Kenarındaki Uygulamalar | 55 |
| 4.4 ONDÜLASYON GÜRÜLTÜSÜ ÖNLEMLERİ | 56 |
| 4.4.1 Ondülasyonlu Ray Gürültüsü Kontrol Yöntemleri | 58 |
| 4.4.2 Hat Üzerindeki Uygulamalar..... | 59 |
| 4.4.3 Araç Üzerindeki Uygulamalar | 60 |
| 4.4.4 Yol Kenarındaki Uygulamalar | 61 |
| 4.5 RAYLI SİSTEMLERDE GÜRÜLTÜ ÖNLEMLERİ ÖZETİ | 64 |
| 5. MEVZUATIN DEĞERLENDİRİLMESİ..... | 71 |
| 5.1 AMAÇ, KAPSAM, DAYANAK ve TANIMLAR..... | 71 |

| | |
|---|------------|
| 5.2 GÖREV YETKİ VE SORUMLULUKLAR..... | 81 |
| 5.3 KURUM, KURULUŞ VE İŞLETMELERCE ALINACAK TEDBİRLER | 82 |
| 5.4 ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ ESAS ve KRİTERLERİ | 85 |
| 5.5 GÜRÜLTÜYE HASSAS KULANIMLARIN BULUNDUĞU ALANLAR İÇİN ESAS ve KRİTERLER | 86 |
| 5.6 STRATEJİK GÜRÜLTÜ HARİTALAMA ESAS VE KRİTERLERİ | 86 |
| 5.6.1 Stratejik Gürültü Haritalarının Hazırlanması | 88 |
| 5.6.2 Alıcıdaki gürültü düzeyinin hesaplanması | 89 |
| 5.6.3 Gürültünün yayılması | 90 |
| 5.6.4 Arazi Modellemesi..... | 91 |
| 5.7 EYLEM PLANLARI..... | 93 |
| 5.7.1 Eylem planlarının Hazırlanması..... | 95 |
| 5.7.2 Gürültü Engelleri | 96 |
| 5.7.3 Gürültü Engel Dizaynı yapılması | 97 |
| 5.7.4 Engel Tasarımının Simülasyon Programı Yardımı İle Oluşturulması (SoundPlan V.7,0)..... | 100 |
| 6. SONUÇ | 104 |
| KAYNAKÇA..... | 106 |
| EKLER | |
| Ek 1- Tablo 1 Anket formu | 110 |
| Ek 1- Tablo 2 Anketi cevaplayan kişi sayısı ve gruplar | 111 |
| Ek 1- Tablo 3 Anket cevaplayan: Yaş | 111 |
| Ek 1- Tablo 4 Anket cevaplayan: Cinsiyet | 111 |
| Ek 1- Tablo 5 Anket cevaplayan: Meslek..... | 112 |
| Ek 1- Tablo 6 Anket cevaplayan: Yaşadığı bölge..... | 112 |
| Ek 1- Tablo 7 Anketi cevaplayan: Rahatsız olunan saatler | 112 |
| Ek 1- Tablo 8 Anketi cevaplayan: Çalıştığı bölge | 113 |
| Ek 1- Tablo 9 Rahatsız olunan etken: Saatler..... | 113 |
| Ek 1- Tablo 10 Rahatsız olunan etken: Gürültü | 113 |
| Ek 1- Tablo 11 Rahatsız olunan etken: Koku | 114 |

| | |
|--|-----|
| Ek 1- Tablo 12 Rahatsız olunan etken: Işık | 114 |
| Ek 1- Tablo 13 Rahatsız olunan etken: Titreşim | 114 |
| Ek 1- Tablo 14 Rahatsız olunan etken: Görüntü | 115 |
| Ek 1- Tablo 15 Etkenlere bağlı rahatsızlık: Sinirsel..... | 115 |
| Ek 1- Tablo 16 Etkenlere bağlı rahatsızlık: Bedensel..... | 115 |
| Ek 1- Tablo 17 Sarsıntıda ötürü hasar: Sıva çatlaması | 115 |
| Ek 1- Tablo 18 Sarsıntıda ötürü hasar: Sıva dökülmesi | 115 |
| Ek 1- Tablo 19 Sarsıntıda ötürü hasar: Duvar çatlaması..... | 116 |
| Ek 1- Tablo 20 Sarsıntıda ötürü hasar: Duvar yıkılması..... | 116 |
| Ek 1- Tablo 21 Sarsıntıda ötürü hasar: Diğer..... | 115 |
| Ek 1- Grafik 1 Rahatsız olunan etken: Saatler | 117 |
| Ek 1- Grafik 2 Rahatsız olunan etken: Gürültü..... | 117 |
| Ek 1- Grafik 3 Rahatsız olunan etken: Koku..... | 117 |
| Ek 1- Grafik 4 Rahatsız olunan etken: Işık..... | 117 |
| Ek 1- Grafik 5 Rahatsız olunan etken: Görüntü..... | 118 |
| Ek 1- Grafik 6 Rahatsız olunan etken: Titreşim..... | 118 |
| Ek 1- Grafik 7 Etkenlere bağlı rahatsızlık: Sinirsel..... | 118 |
| Ek 1- Grafik 8 Etkenlere bağlı rahatsızlık: Bedensel | 118 |
| Ek 1- Grafik 9 Sarsıntıdan ötürü hasar: Sıva çatlaması..... | 119 |
| Ek 1- Grafik 10 Sarsıntıdan ötürü hasar: Sıva dökülmesi | 119 |
| Ek 1- Grafik 11 Sarsıntıdan ötürü hasar: Duvar çatlaması | 119 |
| Ek 1- Grafik 12 Sarsıntıdan ötürü hasar: Duvar yıkılması..... | 119 |
| Ek 1- Grafik 13 Anket cevaplayan: Yaş | 120 |
| Ek 1- Grafik 14 Anket cevaplayan: Cinsiyet..... | 120 |
| Ek 1- Grafik 14 Anket cevaplayan: Meslek | 120 |
| Ek 1- Grafik 14 Anket cevaplayan: Yaşadığı bölge | 120 |
| Ek 1- Tablo 22 En çok rahatsız ede etkenlerin cinsiyetlere göre dağılımı ... | 121 |
| Ek 1- Tablo 23 Durumun işlenmiş özeti | 121 |
| Ek 1- Tablo 24 Meslek anket cevaplayan: En çok rahatsız eden etken..... | 122 |
| Ek 1- Tablo 25 Durumun işlenmiş özeti | 122 |

| | |
|---|------------|
| Ek 1- Tablo 26 En çok rahatsız eden etkenlerin saatlere göre durumu özeti..... | 123 |
| Ek 1- Tablo 27 En çok rahatsız eden etkenlerin saatlere göre dağılımı | 123 |
| Ek 1- Grafik 17 Saatlere göre en çok rahatsız eden etken..... | 124 |
| Ek 1- Grafik 18 Yaşadığı bölgeye göre en çok rahatsız eden etken..... | 125 |
| ÖZGEÇMİŞ | 126 |

ŞEKİLLER

| | |
|--|-----|
| Şekil 2.1 : Ses karakteristikleri..... | 5 |
| Şekil 2.2 : Ses şiddeti vektörü..... | 9 |
| Şekil 2.3 : Ses düzeyi parametreleri..... | 10 |
| Şekil 2.4 : 250 Hz ve 300 Hz frekansa sahip iki sinüs dalgasının süperpozisyonu..... | 11 |
| Şekil 2.5 : Ses dalgalarının kırınımı..... | 13 |
| Şekil 2.6 : Sesin yayılmasında atmosferin etkisi..... | 14 |
| Şekil 2.7 : İşitme sınırları..... | 15 |
| Şekil 2.8 : Arı sesler için eşdeğer gürültü eğrileri..... | 15 |
| Şekil 2.9 : Basit dalga formları ve gürültünün karşılaştırılması..... | 18 |
| Şekil 2.10: Dalga formları ve frekanslar..... | 19 |
| Şekil 2.11: Filtreler..... | 20 |
| Şekil 2.12: 1/1 ve 1/3 Oktav filtreleri..... | 21 |
| Şekil 2.13: Ses basınç seviyelerinin kaynaktan olan mesafe ile azalması..... | 24 |
| Şekil 2.14: Noktasal ses kaynağı..... | 28 |
| Şekil 2.15: Çizgisel ses kaynağı..... | 29 |
| Şekil 3.16: Hız artışına bağlı olarak gürültüdeki değişim..... | 32 |
| Şekil 3.17: Ekli ve sürekli raylarda hız artışına göre L_A seviyeleri..... | 33 |
| Şekil 3.18: Çeşitli hızlara göre tek geçiş için açığa çıkan gürültü seviyeleri..... | 42 |
| Şekil 4.19: Yuvarlanma gürültüsü gelişimi..... | 46 |
| Şekil 4.20: 18 m/sn hızla ondülasyonlu rayda hareket eden trenin iç gürültüsü..... | 57 |
| Şekil 4.21: Şehir içi raylı sistem aracının 43 m çapındaki bir kurbadan dönerken çıkardığı çınlama sesinin spektrumu..... | 63 |
| Şekil 4.22: Maliyet ve sağlana faydalar..... | 67 |
| Şekil 5.23: Gürültünün yayılma şekli..... | 90 |
| Şekil 5.24: Yansıma kırınım ve topoğrafya..... | 91 |
| Şekil 5.25: Arazi modellenmesi..... | 92 |
| Şekil 5.26: Stratejik gürültü haritası..... | 92 |
| Şekil 5.27: Bazı gürültü engelleri uygulama örnekleri..... | 99 |
| Şekil 5.28: Optimizasyonlu engel tasarımı..... | 101 |

TABLULAR

| | |
|---|-----|
| Tablo 2.1: İki ses kaynağının toplanması..... | 27 |
| Tablo 3.2: Genel gürültü değerlendirilmesi için normal gündüz gece seviyesi | 35 |
| Tablo 4.3: Frekansın iki katına çıkarılmasıyla değişen oktav bant seviyeleri | 44 |
| Tablo 4.4: Normal yuvarlanma gürültüsü kontrol yöntemleri | 53 |
| Tablo 4.5: Ondülasyonlu olmayan durumlarda aşırı yuvarlanma gürültüsü kontrolü | 56 |
| Tablo 5.6: Optimizasyon sonrası engel alanlarına göre iyileşen gürültü düzeyi..... | 102 |
| Tablo 5.7: SoundPlan engel tasarımı | 103 |

KISALTMALAR

| | | |
|-----|---|--|
| SPL | : | Sound Pressure Level (Ses basınç seviyesi) |
| Hz | : | Hertz |
| kHz | : | Kilo hertz |
| RMS | : | Root Mean Square (Ortalama karekök) |
| dB | : | Desibel |
| NEL | : | Noise Exposure Level (Açığa çıkan gürültü seviyesi) |
| SEL | : | Single event noise Exposure Level (Tek durum gürültü açığa çıkma seviyesi) |

1.GİRİŞ

Gürültü günümüzde toplum üzerinde olumsuz etkiler yaratan psikolojik ve fiziksel rahatsızlıklara sebep olan önemli bir etkidir. Dış ortamda gürültünün birçok kaynağı bulunmaktadır. Bunlar içerisinde ulaşım gürültüleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu tezde ulaşım kaynaklı gürültüler içinde demiryollarından kaynaklanan gürültü ele alınarak; gürültüyü meydana getiren faktörler ile bunlara karşı alınacak etkin önlemler üzerinde durularak demiryolu gürültüsünün mevzuatlar çerçevesinde kabul edilebilir sınırlara getirilmesi amaçlanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde ses ve gürültü üzerine genel ve teknik bilgiler verilmiştir. Tezin üçüncü ve dördüncü bölümlerinde ise demiryolu gürültüsünü meydana getiren faktörlerin incelenmesi ve teknik olarak bunlara karşı alınacak önlemler izah edilmiştir. Tezin beşinci bölümünde en son yayınlanan gürültü yönetmeliğinin değerlendirilmesi yapılmış, stratejik gürültü haritaları, eylem planları anlatılmış ve engel tasarımları üzerine bir örnek çalışma yapılmıştır. Sonuç bölümünde ise gürültü önlemlerinin alınmasındaki önceliklerden bahsedilmiş, yapılması gerekenler üzerinde durulmuş ve yapılan anket çalışmasının sonuçları değerlendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Gürültünün ana unsuru ses kaynakları olup ansiklopedik olarak istenmeyen ses olarak tanımlanmaktadır (Arlı ve Öztürk 2010). Sesin şiddetine ve frekansına bağlı olarak gürültü rahatsız edici olmaktadır.

2.1 SES

Ses, titreşim yapan bir kaynağın hava basıncında yaptığı dalgalanmalar ile oluşan ve insanda işitme duygusunu uyaran fiziksel bir olaydır. Tanım olarak istenmeyen herhangi Ses, havada bulunan partiküllerin ses dalgalarının etkisiyle sıkışıp genişlemesine bağlı olarak ortaya çıkan bir etkidir. Bu durum hava basıncı değerinin frekans ve şiddet farklılıkları yaratabilecek biçimde düşmesine ve yükselmesine yol açmaktadır. Ses, titreşen bir kaynaktan yayılan hava basıncı dalgalarının oluşturduğu ve insanda işitme duygusunu uyaran fiziksel bir olgu olarak tanımlanır. 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.

Sesin iki temel karakteristiği frekans ve şiddettir. Sesin şiddeti doğrudan kulak zarına ulaşan mekanik basınçla ilişkilidir. Frekans saniyedeki titreşim sayısıdır. Sesin yüksek mi yoksa düşük mü olduğunu tanımlamaktadır. Belirli bir yoğunlukta düşük frekansların işitme kayıplarına yol açma olasılığı daha yüksektir. Ses tahmin ve kontrol edilemeyen nitelik kazandıkça, rahatsız edici olma özelliği de artar. Frekans saniyedeki titreşim sayısı veya Hertz olarak ölçülmektedir. İnsanlar genellikle 500-2000 Hz

arasında konuşmaktadır. İnsan kulağı 20-20000 Hz arasındaki sesleri duyar. Bu sınırın dışındaki sesler duyulmasa da zararlı etkileri sürmektedir. Bu seslerin düşük olanlarına infrases, yüksek olanlarına ise ultrases denilmektedir (Arlı ve Öztürk 2010).

Ses düzeyini ölçmek için kullanılan birim, akustik basıncın logaritmik fonksiyonu olup desibel (dB), akustik basıncın duyulabilir sınırı ise dB(A) olarak tanımlanmaktadır. Desibel akustik basıncın logaritmik fonksiyonu olduğu için iki veya daha fazla sesin gürültü düzeyi, geleneksel matematikte olduğu gibi üst üste toplanmamaktadır. Desibel çizelgesinde 0 değeri sağlıklı insan kulağının işitebileceği en düşük ses seviyesini tanımlamaktadır. dB logaritmik bir ifadedir, bu yüzden dB şiddetinde 10 ünitelik artış bir alttakinin 10 katı fazlası anlamına gelir; yani 20 dB, 10 dB'in 10 katıdır. Gürültü zamana göre değiştiği için ölçüm ve tahminler, verilen bir süre içinde ortalama değerler veya diğer göstergeler ile tanımlanmaktadır (Arlı ve Öztürk 2010).

Gürültü seviyesi (L_p) ses basınç oranı (P/P_0) ile hesaplanır, (denklem 2.1) P ölçülen ses basıncı, $P_0=2 \times 10^{-5}$ (Pa) referans ses basıncı olmak üzere;

$$L_p(\text{dBA}) = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

olarak belirlenir. Ses basıncı 2 kat artarsa, gürültü seviyesi 6 dBA artar. Gürültü seviyesi 10 dBA azalır, insanların algıladığı gürültü yüzde elli azalır. Demiryolunda gürültü genelde hat ekseninden 25 m mesafede ve ray kotundan 3.5m yukarıda ölçülür (Lichtberger 2005, Öztürk 1994).

Akustik eşdeğer gürültü seviyesi (L_{eq}) aynı süre içinde değişken gürültü ile aynı enerjiyi içeren stabil gürültünün ses düzeyidir. Bu eşdeğer seviye, gözlem süresinde algılanan akustik enerjinin ortalamasını temsil etmektedir. Gece ve gündüz değerleri birbirinden farklıdır. Gürültü düzeyi sonometre aleti kullanılarak ölçülmektedir.

Demiryolu gürültüsü kesikli gürültü tipine girip, zamana bağlı gürültü diyagramında sivri uçlar oluşturur. Bu tip gürültünün devamlılığı düşüktür, uykuda duyulan rahatsızlık azdır, haberleşme ve konuşma zorluğu fazladır. Tren seyirleri arasında daha uzun bir aralık ve sessizlik vardır, bu nedenle uzun seyir aralıkları demiryolunda bir miktar dinlenme olanağı sağlar. Karayolunda gürültü yayılması benzer tipteki taşıtlarda ve eşit hızlarda bile motorun dönme sayısına bağlı olarak değişirken, demiryolunda benzer tip taşıtlar ve yakın hızlarda gürültü hemen hemen aynıdır. Karayolunda özel araçlar düzensiz seyrederek, seyirleri önceden tahmin edilemez. Buna karşın demiryolunda seyir planına uygun ve düzenli bir seyir şekli vardır. Yapılan araştırmalar bu tür gürültünün uykuyu bölmediğini ve böyle bir gürültü bölgesinde yerleşimlerin olabildiğini göstermiştir. Karayolu gürültüsü havayolu gürültüsüne göre ortalama 5 dBA kadar daha az rahatsızlık vermektedir. Benzer şekilde demiryolu gürültüsünün de karayolu gürültüsüne göre 5 dBA daha az rahatsızlık verdiği belirtilmektedir (Öztürk 2003).

Avrupa'da 20 yıl içinde yolcu trafiğini iki kat ve yük trafiğini üç kat arttırma politikaları vardır ve bu nedenle demiryolu gürültüsünü 10-15 dBA azaltmaya yönelik ciddi önlemlerin alınması gerekmektedir. Avrupalıların yüzde otuzu gün boyu 55 dBA'nın üstünde karayolu gürültüsüne ve yüzde onu demiryolu gürültüsüne maruz kalmaktadır. Almanya'da nüfusun yüzde üç onda biri gündüz 65 dBA'nın üstünde ve yüzde on onda ikisi gece 55 dBA'nın üstünde gürültüye maruz kalmaktadır, (Working Group 2003). Amerika'da yapılan bir araştırmaya göre, demiryolu gürültüsü 70 dBA'yı geçtiğinde nüfusun yüzde otuzu rahatsız olurken, 80 dBA'yı geçtiğinde bu oran yüzde kırk beşe çıkmaktadır. Karayolunda ise 70 dBA'yı geçtiğinde nüfusun yüzde kırk rahatsız olurken, 80 dBA gürültüde bu oran yüzde yetmiş bulmaktadır (Perth Urban Rail Development 2002).

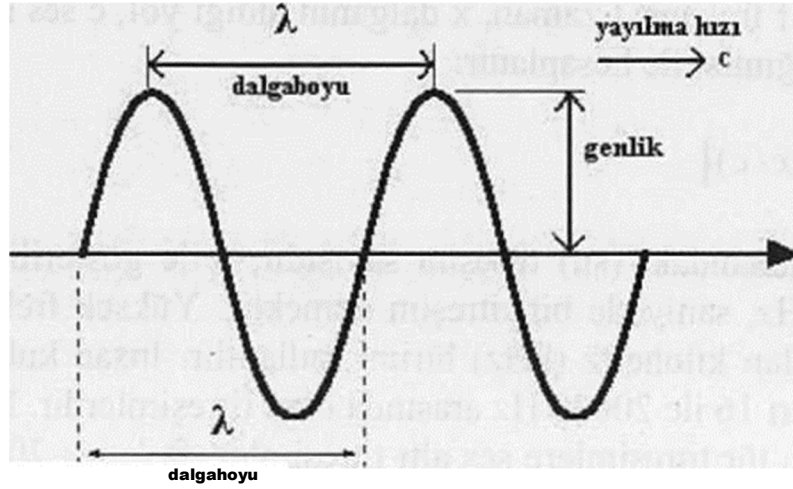
2.2. SES İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

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 dalgaboyu terimleri ile açıklanabilir.

Ses, genlik ve frekans ile tanımlanır, genellikle ses birçok değişik frekans bileşenlerini içerir ve bunların tümü sesin spektrumlarını oluşturur.

Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi, genlik maksimum ve minimum basınç düzeyleri arasındaki farktır.

Şekil 2.1: Ses karakteristikleri



Kaynak : Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu 2010

Aşağıda sinüs veya kosinüs şeklindeki kendini tekrarlayan periyodik dalga'nın herhangi bir anındaki genlik (uzunluk) formülü verilmiştir (denklem 2.2).

$$y = r \cdot \text{Sin}[2\pi f(t - x/c)] \quad (2.2)$$

Formülde r genlik, f frekans, t zaman, x dalga'nın aldığı yol, c ses hızı ve Uf açısal hızı göstermektedir. Frekans birim zamandaki (sn) titreşim sayısıdır, / ile gösterilir. Frekans birimi Hertz'dir (Hz), 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, 20000 Hz ise en ince sestir.

Periyot, bir titreşimin süresidir, birimi saniyedir. İnsan kulağı tarafından duyulan seslerin titreşimi 1/16 ile 1/16000 sn arasındadır.

Periyot T ile gösterilirse, periyotun formülü aşağıdaki şekildedir (denklem 2.3).

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.3)$$

Dalga boyu, iki dalga tepesi arasındaki düz 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. Dalga boyu aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (denklem 2.4). Burada; λ dalga boyunu, f frekansı ve c ses hızını göstermektedir.

$$\lambda \cdot f = c \quad (2.4)$$

Genlik: Maksimum ve minimum basınç düzeyleri arasındaki farktır. Sinüs veya kosinüs şeklinde kendini tekrarlayan periyodik dalganın herhangi bir anındaki genlik (uzanım), r genlik, f frekans, t zaman, x dalganın aldığı yol, c ses hızı, 2π açısal hız olmak üzere (2.5 denklemi) ile hesaplanır:

$$y = r \cdot \text{Sin}[2\pi f(t - x/c)] \quad (2.5)$$

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 incelik, 16 Hz işitilebilen en kalın ses, 20000 Hz ise en ince sestir.

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;

$$T = 1 / f \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Hız: Ses dalgasının ortamda yayılma hızını (m/sn) ifade eder. Sesin hızı frekandan bağımsızdır yalnızca havadaki nem ve basınçtan bir miktar etkilenir. Hava sıcaklığının ses hızı üzerinde önemli bir etkisi vardır, yirmi santigrat hava sıcaklığında ses 344 metre/saniye hızla ilerler her 1 santigrat sıcaklık artışında sesin hızı 0.61 metre/sn artar. Havanın ideal gaz gibi davrandığı varsayımı ile, sesin hızı (m/sn) ve havanın sıcaklığı T (santigrat) arasında aşağıdaki bağıntı vardır (denklem 2.7).

$$V = 331,5 + (0,6 * T) \quad (2.7)$$

Basit harmonik hareket saf ton: Ses, basınç dalgalarının genliği ve frekanslarıyla tanımlanır, en basit dalga formu, sinüs dalgasıdır. Tek frekanslı bir ses dalgası saf ton olarak tanımlanır, bu tür bir ses dalgasının hareketi, temel bir frekansla kendini tekrarlayan ve basit harmonik hareket oluşturan periyodik bir dalgadır.

2.2.1 Sesin Şiddeti ve Basıncı

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 (Şekil 1.2). Bir ses kaynağı tarafından P gibi bir ses gücü üretildiğinde, kaynaktan komşu hava moleküllerine doğru bir enerji akışı meydana gelir. 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/m² dir. Bir dalganın ses kaynağına uzaklığı iki kat arttığında, küresel alanı dört kat artar, ses şiddeti uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalır (denklem 2.8).

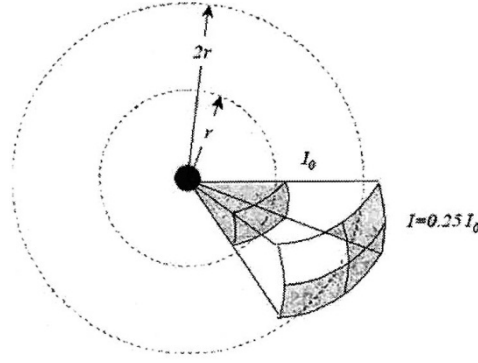
$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (2.8)$$

Formülde Güç: P (W)

Şiddet: I (J/s/m²)=(W/ m²)

Basınç: p (Pa=N/ m²)

Şekil 2.2: Ses şiddet vektörü



Kaynak: İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi (İYEM) Brüel & Kjaer ders notları 1998

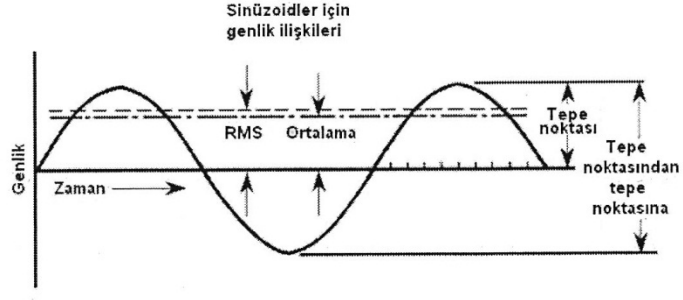
Şekil 2.2' de ses şiddet vektörünün mesafe ile azalması gösterilmiştir. Burada da görüldüğü gibi r yarıçaplı bir kürede şiddet vektörü I_0 olarak kabul edilirse, yarıçap $2r$ olduğundaki ses şiddeti vektörü I_0 'ın dörtte biri olmaktadır.

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.

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.

RMS genlik: Bir sinyalin tanımlanmasında RMS (root mean square), ortalama ve tepe (peak) en çok kullanılan parametrelerdir (Şekil 2.3).

Şekil 2.3: Ses düzeyi parametreleri



Kaynak: Everest & Pohlman 2009

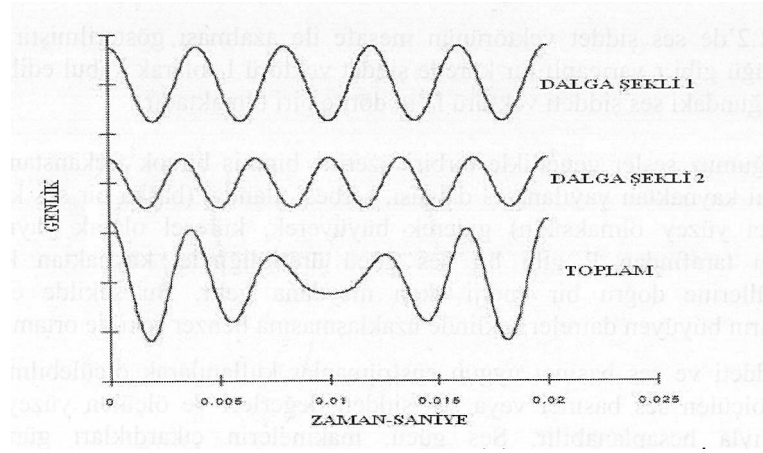
Ortalama değer bir sinyal hakkında çok fazla bilgi vermediği için kullanılmaz. Tepe ve RMS en çok kullanılan değerlerdir. Tepe bir sinyalin ulaştığı en yüksek (pozitif veya negatif) değeri gösterirken, tepe faktörü ise bir sinyalin sinüzoidliliğini gösterir (denklem 2.9), (denklem 2.10). Örneğin içerisinde sadece birkaç tane tepe yer alan sinyalin tepe faktörü oldukça büyüktür.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (2.9)$$

$$TepeFaktörü = \frac{Tepe}{RMS} \quad (2.10)$$

Dalgaların toplanması: Ses farklı frekanslara sahip çeşitli dalgaların birleşiminden oluştuğundan ses seviyesinin frekans değerini bulmak için bu dalgaların frekans değerlerinin toplanması gerekir. Bu da dalgalarının süperpozisyonu ile gerçekleşir, Şekil 2.4 de iki sinüs dalgasının toplanması gösterilmiştir.

Şekil 2.4: 250Hz ve 300Hz frekansa sahip iki sinüs dalgasının süperpozisyonu



Kaynak: Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu 2010

2.3 SESİN YAYILMASI

Sesin yayılımında;

- Geometrik yayılım
- Atmosferik emilim
- Bariyer ile kırınım
- Rüzgâr ve hava sıcaklığı ile değişim faktörleri etken olmaktadır

2.3.1 Geometrik Yayılma

Sesin yayılışı yay üzerinde bir dalga hareketi ile benzerlik gösterir. Bir yay sıkıştırıldığında oluşan sıkışma yay boyunca ilerler. Hava molekülleri sıkışıp genişlediğinde de benzer bir olay meydana gelir. Bu sıkışma-genleşme hareketi hava moleküllerinin sıkışıp genişlemesine yol açar ve bu basınç değişiklikleri hava içerisinde 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,

ilerleyen suyun kendisi değildir. Su sadece yüzeyindeki periyodik dalgaları oluşturacak şekilde aşağı-yukarı hareket etmektedir (Arlı ve Öztürk 2010).

2.3.2 Atmosferik Emilim

Atmosferde ilerleyen ses dalgasının genliği ve enerjisi havanın içsel sürtünmesi nedeniyle azalır. Ses dalgası ilerledikçe mekanik enerji ısı enerjisine çevrilerek dalganın enerjisinin azalmasına neden olur. Yayılma, gürültünün enerji yoğunluğunun azalmasına neden olur, aynı zamanda özellikle yüksek frekanslarda bir kısım akustik dalga enerjisi havanın viskozitesiyle ısı enerjisine dönüştürülür (Arlı, Öztürk 2010).

2.3.4 Bariyerler ile Kırınım

Ses dalgalarının yayılımı suda oluşan dalgalara benzediği için marinalar ve limanlarda bulunan dalgakıranlara benzer şekilde ses dalgalarının yüksekliğinin azalması için de bariyerler kullanılmaktadır. Bu bariyerler kendilerine çarpan ses dalgalarını yansıtarak bariyer arkasındaki ses yüksekliğini azaltır. Ancak bu duvarlar sesin kırınım özelliği nedeniyle tam olarak etkili olamazlar (Arlı ve Öztürk 2010).

Ses dalgaları hem yansıyıp hem de kırılabilirler için ses dalgaları köşelerden dönebilir, merdivenleri çıkabilir, koridorlarda ilerleyebilir (Şekil 2.5). Kırınım ses dalgasının duvarın köşesinden ya da üzerinden bükülerek ilerlemesidir. Kırınım frekansa bağlıdır, düşük frekanslı dalgalar yüksek frekanslı dalgalardan çok daha kolayca köşeleri dönebilirler.

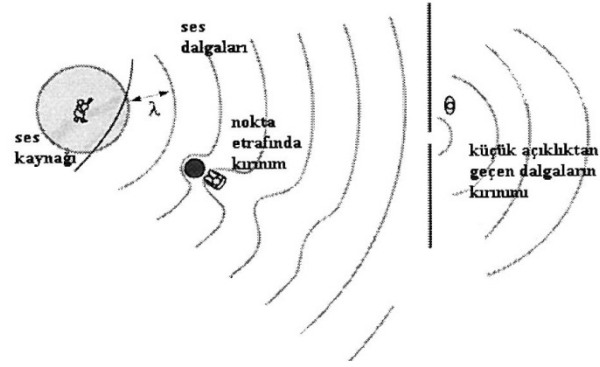
2.3.5 Rüzgâr ve Hava Sıcaklığı Değişimi

Rüzgar sesin yayılmasında değişikliğe neden olur, Şekil 2.6' da rüzgarın ve sıcaklığın ses dalgalarının yayılımındaki etkisi görülmektedir. Genellikle yerden yükseldikçe

rüzgârın hızı artar bu nedenle rüzgâr yukarı eserse ses dalgaları yukarıya doğru, aşağı eserse aşağıya doğru kırılır.

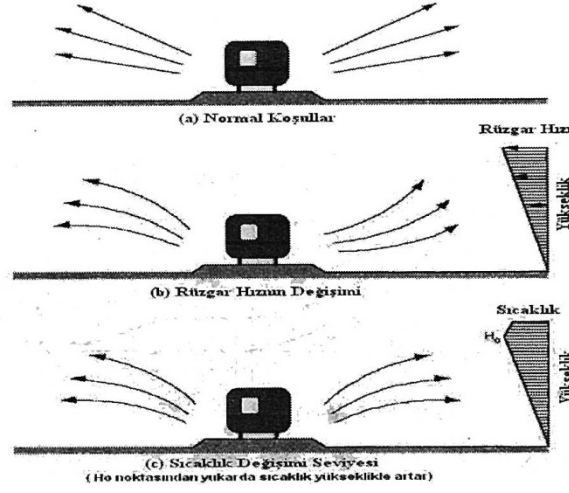
Sıcaklık değişimi de benzer bir etkiye neden olur, yükseklik arttıkça sıcaklık azalır ve ses dalgaları yukarıya doğru kırılır. Ancak sıcaklık yukarıya çıkıldıkça artıyorsa, bu ses dalgalarının aşağıya doğru kırılmasına neden olur. Bu tür bir duruma akşamları ya da günün ilk saatlerinde rastlanabilir (Arlı ve Öztürk 2010).

Şekil 2.5: Ses dalgalarının kırınımı



Kaynak: Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu 2010

Şekil 2.6: Sesin yayılmasında atmosferin etkisi



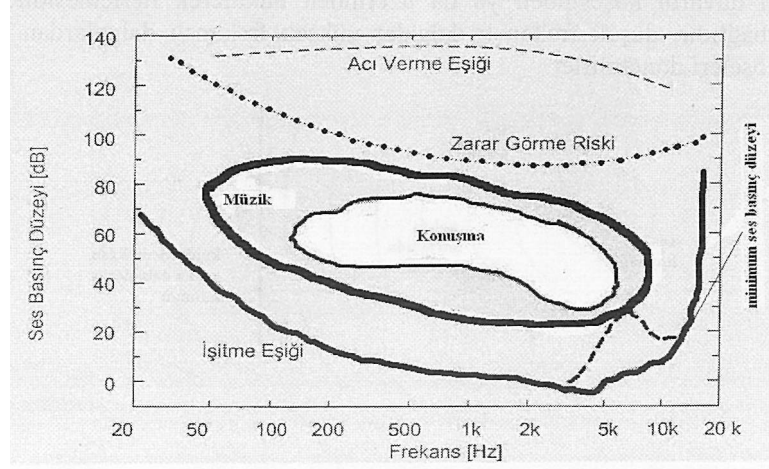
Kaynak: Nelson 1997

2.4. SESİN GÜRÜLTÜ OLARAK ALGILANMASI

Şekil 2.7 de bir insanın işitebileceği ses limitleri gösterilmektedir. En altta yer alan sınır çizgisi arı sesin duyulmaya başladığı *equal loudness contours* 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.

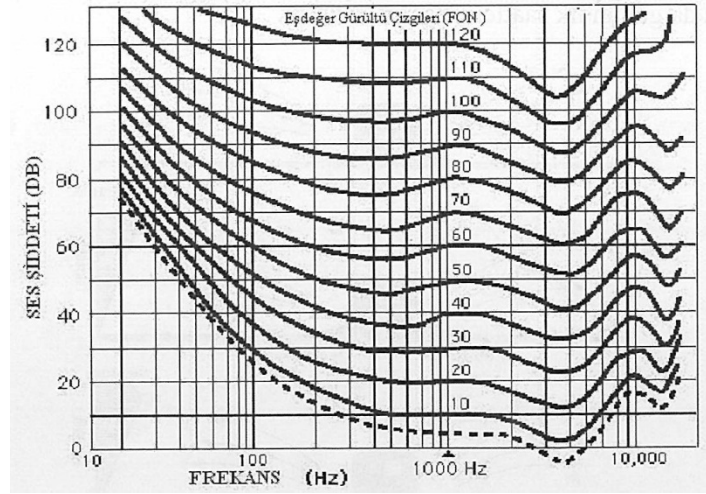
İnsan kulağı en fazla 500-4000 Hz frekans aralığına sahip seslere duyarlıdır. Bu değerlerin konturları dışında yer alan seslere ise daha az duyarlıdır. Şekil 2.8' de arı sesler için eşdeğer gürültü eğrileri gösterilmiştir. En altta yer alan kesik çizgiler duyulabilirlik sınırına karşılık gelmektedir. 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 sahip olması gerekir.

Şekil 2.7: İşitme sınırları



Kaynak: İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi (İYEM) Brüel & Kjaer ders notları 1998

Şekil 2.8: Arı sesler için eşdeğer gürültü eğrileri



Kaynak: Marsh 1999

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

Şekil 2.8' deki grafik 1 kHz referans alınarak hazırlanmıştır, grafikteki eş yükseklik eğrilerinin birimi phon dur, 1 kHz'de dB ve fon özdeştir. Eğer bir frekanstaki sese ait ses düzeyi biliniyorsa, enterpolasyon ile onun gürültü değeri (*loudness*) bulunabilir. Böylelikle değişik frekanslara ait sesler karşılaştırılabilir.

Daha önce de belirtildiği üzere 1 kHz'de dB ve fon özdeştir, genel anlamda dBA, A filtresinden geçirilmiş gürültü düzeyi anlamını taşır. Gürültü azaltması veya kontrolünde çok kullanılan dBA birimi, ses yükseldiğinin sübjektif değerlendirilmesi 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 (rüzgâr tribünü, doğal hayat vb.) 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.

Desibel (dB): 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 oranlarının logaritmasının 10 katı olarak tanımlanan birim daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayılardan birisi bilinen bir sayı olarak alındığından, desibel; söz konusu bir büyüklüğün referans büyüklüğüne oranının logaritmasının 10 katıdır.

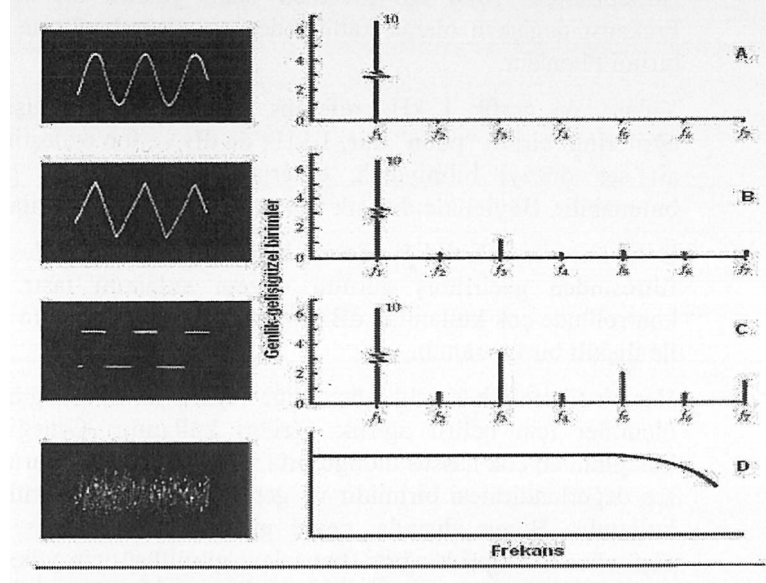
20 mikropaskal (uPa) ile 100 Paskal (Pa) arasındaki duyulabilir ses basınç değişimleri statik hava basıncına (yaklaşık değeri 100 000 Pa olan atmosfer basıncı) göre düşük seviyeli değişikliklerdir. 20 uPa ortalama bir kişi tarafından duyulabilecek en düşük ses

seviyesi olarak kabul edilmiştir ve bu nedenle 'duyum eşiği' olarak adlandırılır. 100 Pa ise acı veren çok yüksek bir seviyedir ve 'acı eşiği' denilmektedir. 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. Böylece değişim aralıkları daha kolay izlenebilir olmaktadır.

Şekil 2.9' da dört farklı frekanstaki sesin nasıl görüldüğü tarif edilmiştir. A; saf sinüzoidal dalga formunu göstermektedir, tek frekans içerir, B üçgensel dalga formunu, C kare dalga formunu göstermektedir, bunların her biri ana frekansa ait çeşitli sayıda harmonik hareket içerir ve D gelişigüzel gürültünün dalga formunu göstermektedir.

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 belirleyen bir faktördür ve kullanıcı tarafından (spektrumdaki çizgi sayısı), analizin hassasiyeti belirlenebilmektedir.

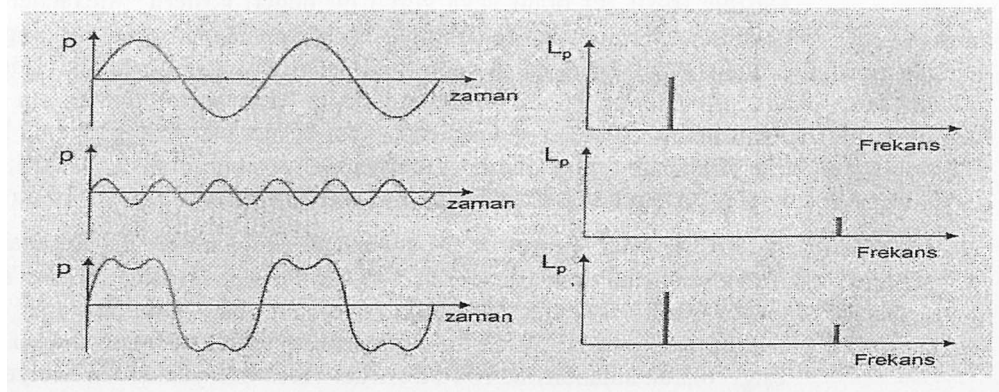
Şekil 2.9: Basit dalga formları ve gürültünün karşılaştırılması



Kaynak: Everest & Pohlman 2009

Frekans Analizi ve dB(A): (Şekil 2.10) da iki farklı frekanstaki ses ile bunların toplamına ilişkin zaman ve frekans eksenlerinde nasıl görüldüğü tarif edilmiştir. 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), analiz hassasiyetini belirleyen bir faktördür ve kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir.

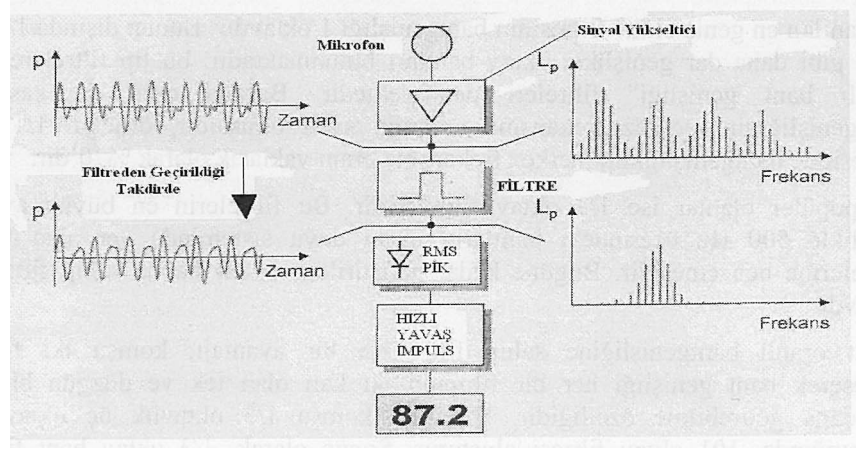
Şekil 2.10: Dalga formları ve frekanslar



Kaynak : İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi (İYEM) Brüel & Kjaer ders notları 1998

Şekil 2.10' da iki farklı frekanstaki ses ile bunların toplamına ilişkin zaman ve frekans eksenlerinde nasıl görüldüğü tarif edilmiştir. 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 2.11: Filtreler



Kaynak : İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi (İYEM) Brüel & Kjaer ders notları 1998

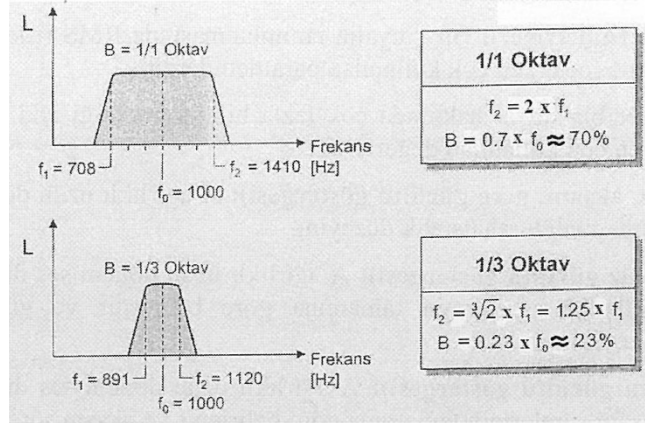
Frekans filtreleri: Ses sinyallerini analiz edebilmek için frekans filtrelerine ihtiyaç vardır (Şekil 2.11). Yukarıda gösterilen akış diyagramı basit bir ses ölçüm cihazındaki elemanları göstermektedir. Bu akış şemasına göre ilk başta alıcı görevinde bir mikrofon yer alır ve sinyal yükseltici vasıtasıyla sinyalin seviyesi yükseltilir. Frekans filtrelerinden geçen sinyal standart zaman sabitlerine (hızlı, yavaş, darbe) sahip olacak şekilde rektifiye edilir ve dB' ye çevrilerek ekrana aktarılır.

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 bant genişliği, seviyenin 3 dB (metrik olarak 0,707'sine) düştüğü noktadaki frekansların farkı olarak tarif edilir. Bir filtrenin gürültü bant genişliği ise gerçek filtrenin taradığı alana eş alan tarayan ideal bir filtrenin bant genişliğidir. Bant genişliği sabit olan (örneğin 400 Hz gibi) filtreler lineer bir frekans ekseninde gösterilir. Bu tip filtreler çoğunlukla titreşim sinyallerinin analizi sırasında kullanılmaktadır.

Oktav filtreleri: Bant genişliğinin merkez frekansa oranı sabit olan filtreler 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 2.12).

Şekil 2.12: 1/1 ve 1/3 oktav filtreleri



Kaynak : İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi (İYEM) Brüel & Kjaer ders notları 1998

Kullanılan en geniş oktav filtresinin bant genişliği 1 oktavdır. Bunun dışında 1/3 veya 1/12 gibi daha dar genişlikte oktav bantları bulunmaktadır, bu tip filtreler "sabit oranlı bant genişliği" filtreleri denilmektedir. Burada oran ile kastedilen bant genişliğinin merkez frekansına oranının sabit olmasıdır, örneğin 1/1 oktav filtresinde bant genişliğinin merkez frekansına oranı yaklaşık olarak yüzde yetmiştir.

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 bant genişliğine sahip filtrelerin bir avantajı, komşu iki filtrenin birleşerek bant genişliği her bir filtrenin iki katı olan tek ve düzgün bir filtre meydana getirebilme özelliğidir. Birbirine komşu 1/3 oktavlık üç oktav bant birleştiğinde, 101 oktav filtresi oluşturur. Sonuç olarak, 1/3 oktav bant filtreleri kullanılsa bile 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.

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, (denklem 2.11)'deki gibi hesaplanmaktadır, başka bir deyişle, ortamda değişen gürültü ile aynı akustik enerjiye sahip olan sabit ses düzeyi olarak tanımlanabilir.

$$L_{eq} = 10 * \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt dBA \quad (2.11)$$

T = Toplam ölçüm süresi

p(t)= anlık ses basıncı

p₀= referans ses basıncı (20 µPa)

En yüksek ses seviyesi (L_{max}): Tepe düzeyi=Üst düzey (L_{max}): Zamana göre değişen gürültünün herhangi bir anda sahip olduğu en yüksek değerdir.

En düşük ses seviyesi (L_{min}): Zamana göre değişen gürültünün herhangi bir anında sahip olduğu en düşük gürültü değeridir.

Ses düzeyi parametreleri: Bir sinyalin tanımlanmasında RMS (root mean square), ortalama ve tepe (peak) en çok kullanılan parametrelerdir.

Ortalama değer bir sinyal hakkında çok fazla bilgi vermediği için kullanılmazken, tepe ve RMS en çok kullanılan değerlerdir.

L_g (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 (dBA olarak ölçülen) A ağırlıklı ses düzeyinin en büyük değerini gösterir.

2.4.1 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 (Şekil 2.12) 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 (denklem 2.12). Referans ses basınç (p_0) düzeyi 20 μ Pa olan duyum eşiği kabul edilmiştir.

$$L_p = 20 \cdot \log(p / p_0) \quad dB \quad (2.12)$$

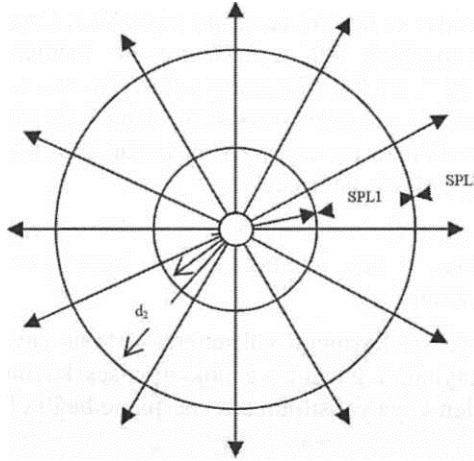
L_p : dB cinsinden ses basınç düzeyi

p : Ölçülen ses basınç düzeyi

p_0 : Referans ses basınç düzeyi (20×10^{-6} μ Pa)

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

Şekil 2.13: Ses basınç seviyelerinin kaynaktan olan mesafe ile azalması



Kaynak: Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu 2010

Kaynaktan uzaklaştıkça gürültünün algılanması azalır (Şekil 2.13) ve (denklem 2.13).

$$d_2 = 2 \times d_1 \quad \text{ve} \quad SPL_2 = SPL_1 - 6 \quad dB \quad (2.13)$$

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 gürleştigi hissini uyandırır. Buradan anlaşıldığı üzere dB cinsinden belirtilen ses seviyesi düzeyi ile insanların algıladığı ses seviyesi arasında doğrusal bir bağıntı bulunmamaktadır.

2.4.2 Ses Gücü Seviyesi (Sound Power Level, SWL)

Ses gücü seviyesi, ses kaynağından çıkan ses miktarına verilen isimdir, dolayısıyla kaynağın ses kapasitesinin doğrudan bir ölçüsüdür. Referans seviyesi genelde 1.10^{-12} Watt' tır. Ses gücü seviyesi kaynaktaki sesin gücüne (W) bağlıdır ve denklem 2.14' deki gibi ifade edilmektedir.

$$SWL = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (\text{dB}) \quad (2.14)$$

W = Kaynaktaki ölçülen sesin gücü

$W_0 = 1.10^{-12}$ Watt

2.4.3 Ses Basınç Seviyesi ve Ses Gücü Seviyesinin Örneklemesi

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, hava nedeniyle oluşan kayıplara, (kapalı mekânlarda) mekân etkisine vb. bağlı olarak değişir.

Bu iki ifadenin birbiri ile karışması, aynı şekilde benzerliği olan ısı-sıcaklık örneği ile anlaşılabilir. Bir elektrikli ısıtıcı, örneğin bir radyatör, belli bir güce 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 kaynağının uzaklığına değil, ortam tarafından emilen veya yansıtılan ses enerjisine bağlı olarak değişir.

2.4.4 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 'lik A ve B adlı iki kaynağın toplam oluşturacağı gürültü seviyesini hesaplırsak:

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

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

$$150 = 10 \log \frac{W}{1.10^{-12}} \Rightarrow W = 1000 \text{ watt,}$$

Kaynak B: 150 dB ve referans yine 1.10^{-12} ise,

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

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

Buna göre iki kaynağın toplam ses güç seviyesi;

toplam $SWL = 10 \log \frac{2000}{1.10^{-12}}$ 'den 153 dB olarak bulunur, yani $150 \text{ dB} + 150 \text{ dB} = 153$ dB olmaktadır.

Bu durum, eğer eşit ses güç seviyesine sahip iki kaynak varsa bunların toplamı için, sadece birisinin değerine 3 dB' lik bir değer ekleyerek toplam ses güç seviyesinin bulunabileceğini göstermektedir.

Tablo 2.1' de iki kaynak arasındaki farka bağlı olarak toplam ses güç seviyesi değerleri verilmektedir

Tablo 2.1: İki ses kaynağının toplanması

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

Kaynak: Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu 2010

2.5 SES KAYNAKLARI

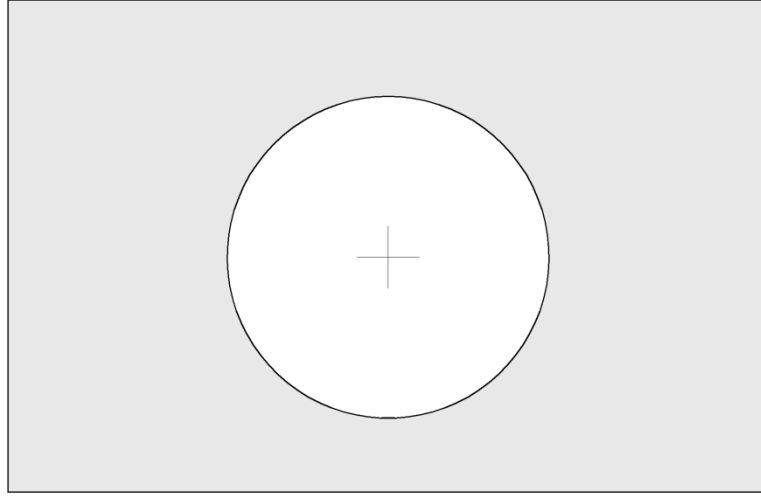
Bilindiği üzere ideal ses kaynakları noktasal, çizgisel ve alansal olarak üçe ayrılmaktadır. Ses davranışının belirlenmesinde, sesin homojen bir ortamda yayıldığı ve kaynaktan yayılırken tamamen dairesel yayılım gösterdiği kabul edilir.

2.5.1 Noktasal Kaynaklar

Tek noktadan oluşan bu ideal kaynak türünde (Şekil 2.14) 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, SPL kaynaktan "r" kadar uzaklıktaki ses basınç seviyesidir. 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 (denklem 2.15-2.17).

Şekil 2.14: Noktasal ses kaynağı



Kaynak: Marsh 1999

$$SPL = SWL_{point} - 10 \log(4\pi r^2) \quad (2.15)$$

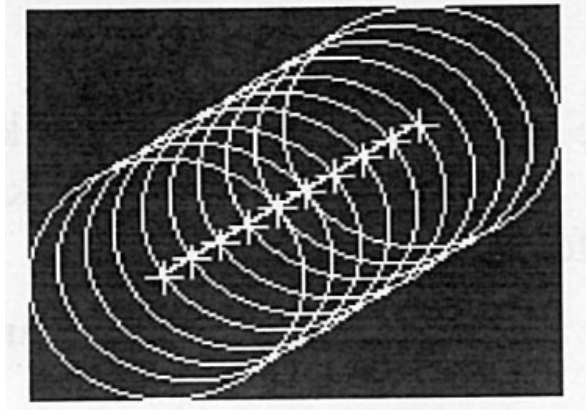
$$I = W / (4\pi r^2) \quad (2.16)$$

$$SPL = SWL_{point} - 20 \log(r) - 11 \quad (2.17)$$

2.5.2 Çizgisel Kaynaklar

Çizgisel ses kaynağı, sonsuz sayıdaki tekil ses kaynağının bir doğrultuda dizilişiyile meydana gelir (Şekil 2.15).

Şekil 2.15: Çizgisel Ses Kaynağı



Kaynak: Marsh 1999

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. Denklem 2.18 ile çizgisel kaynağın ses basınç seviyesi verilmektedir.

$$SPL = SWL_{line} - 10 \log(4\pi r) \quad (2.18)$$

Sıvı taşıyan borudaki gürültü 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.

2.5.3 Alansal Kaynaklar

Sonsuz sayıdaki noktasal ses kaynağının iki boyutta birleştirilmesiyle bir düzlem oluşmakta, dolayısıyla kaynaktan düzlemsel ses dalgaları açığa çıkmaktadır. Her bir noktasal kaynağın ses enerjisi için oluşan düzlemsel dik doğrusal bir çizgi üzerinde

yayıldığı kabul edilir. Bir başka deyişle, geometriye bağılı bir dağılım söz konusu değildir. Dolayısıyla, bir doğrultuda ilerledikçe ses basınç seviyesinde azalma veya artış gözlenmez.

Bu tip kaynaklara günlük hayatta çok sık rastlanmaz. Klima kanallarındaki ses iletimi bu davranışa örnek verilebilir. Diğer bir örnek enerji yayan bir pistondur. Tüp çeperlerinde enerji kaybı olmadığı varsayılırsa, tüp içinde akmakta olan enerji (ses şiddeti) kaynağa olan uzaklıktan bağımsızdır. Bir başka deyişle tüpün her noktasında ses basınç seviyesi aynıdır (Arlı ve Öztürk 2010).

3. DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜ

Demiryolunun gürültü düzeyini belirleyen faktörler:

1. Yol Parametresi:

- a) Demiryolunun tasarımı,
- b) Demiryolunun eğimi ve kavisleri,
- c) Demiryolunun yapısı, (Ahşap-beton travers, yatak tipi, geçit ve makas sayısı, rayların sürekli olması)
- d) Hat sayısı genişliği

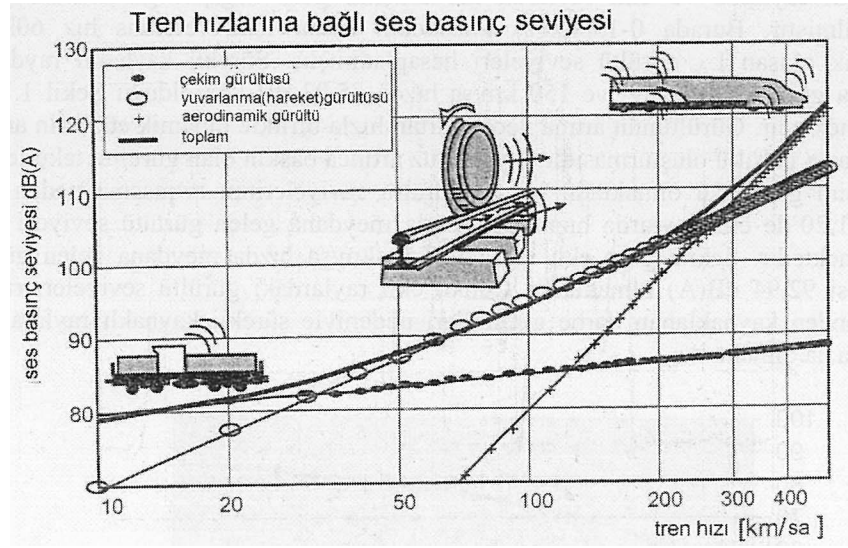
Bazı istinaslar mevcuttur; Tüneller gürültü yayılımını engeller (tünel giriş ve çıkışları hariç), köprü ve viyadükler yüksek binalarla çevrelenmiş dar bir yol, gürültü kanyonudur. Bu tip bölgelerdeki gürültü düzeyi, çevresi açık bir bölgedeki gürültü düzeyinden 6 dBA daha yüksek olabilir.

2. Tren tipleri ve hızları:

Tren tipleri de gürültünün oluşmasında etken olmaktadır. Demiryolu taşıtlarının elektrikli olması gürültünün azalmasında fayda sağlayacaktır.

Taşıtlarda hız artışı, ses basınç seviyesini yani gürültü seviyesini etkilemektedir (Şekil 3.14). Vagonlardan kaynaklanan gürültünün A-ağırlıklı ses seviyelerinin ölçülebilmesi için standart koşullar ortaya koyarak karşılaştırmaya uygun veriler elde edilebilir. Bu nedenle verilen grafiklerde tüm ölçümler hat merkezinden 30 metre uzaklıkta yapılmış, trenler ise uzun tren (uzun tren, uzunluğu ölçüm mesafesinin 3 katından fazla olan trendir) olarak standartlaştırılmıştır.

Şekil 3.16: Hızların artışına bağlı olarak gürültüdeki değişim



Kaynak: Lichtberger 2005

Tren hızlarına bağlı ses basınç seviyesi kaynaklı ray; sürekli kaynaklı ray üzerinde hareket eden çeşitli yolcu vagonlarının hızlarında A-ağırlıklı ses seviyelerinin L_A ölçümleri normalleştirildiklerinde (referans uzaklık ve uzun tren için) elde edilen veriler ± 6 dB aralığında olup, denklem 3.19 deki gibi formülize edilebilir.

$$(normalleştirilmiş)L_A = 74 + 30 \log_{10}(v/v_0) \quad \text{dB(A)} \quad (3.19)$$

Formülde v km/sa cinsinden vagon hızı, v_0 60 km/saatlik referans hızı göstermektedir.

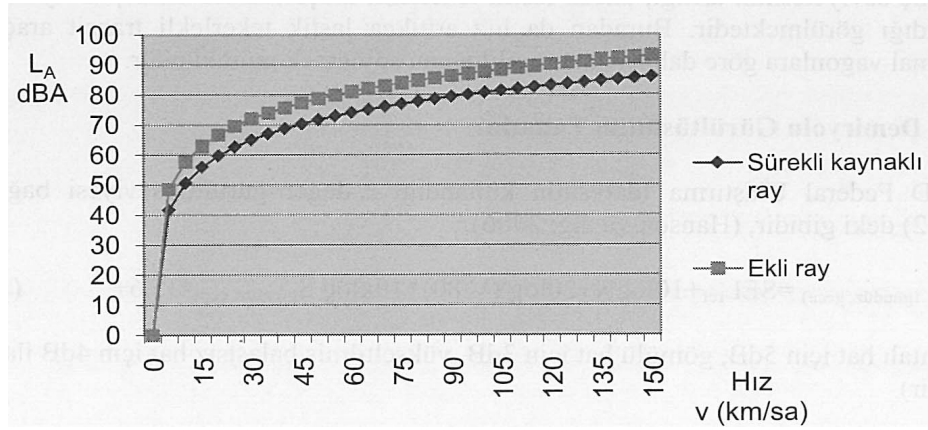
Denklem 3.20'de hız iki katma çıkarılırsa, A-ağırlıklı ses seviyesinin 9 dB(A) arttığı görülmektedir, bu genellikle hıza bağlı olsa da bazı raylı sistemlerde değişik nedenler görülmektedir. Örneğin Japonya Shinkansen hatlarında hızın iki katına çıkmasıyla gürültüdeki artış 6 dB(A) olmaktadır.

Ekli (cebireli) ray; yolcu vagonları için yapılan ekli raylardaki normalleştirilmiş A-ağırlıklı ses seviyesi ölçümlerinde elde edilen verilerin %90'ı ± 6 dB aralığında olup, Bağntı (3.20)'deki gibi formülize edilebilir (denklem 3.20).

$$(normalleştirilmiş)L_A = 81 + 30 \log_{10}(v/v_0) \quad \text{dB(A)} \quad (3.20)$$

Şekil 3.15 de görüldüğü gibi hem sürekli kaynaklı hem de ekli raylarda L_A A-ağırlıklı gürültü seviyesi hız arttıkça artmaktadır. Çeşitli hızlarda ekli raylarda meydana gelen gürültü seviyesi sürekli kaynaklı raylarda meydana gelen gürültü seviyesinden yaklaşık 5dB daha fazla olmaktadır.

Şekil 3.17: Ekli ve sürekli kaynaklı raylardaki hız artışına göre L_A seviyeleri



Kaynak: : Arlı ve Öztürk *Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu* 2010

Ekli rayların sürekli kaynaklı raylarla değiştirilmesiyle gürültü seviyesinde yaklaşık 5 dB(A) azalma sağlanacaktır.

3.1. DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜNÜN TAHMİNİ

Demiryolunun çevresindeki gürültüden etkilenen alanı belirlemek için, tablo 3.2' den gündüz-gece gürültü seviyesi belirlenir ve bu seviyeye göre orta ve ciddi gürültü etki

alanları belirlenir. Mesela İstanbul'da raylı sistemlerinin geçtiği birçok ilçemizde nüfus yoğunluğu 7500 kişi/km²'nin üstünde olduğu için L_{dn}=65 dBA kabul edilir. Bu seviye (hat yakınındaki konutlarda 61-66 dBA gürültü aralığı) orta derecede etkinin olduğu, 66 dBA' nın üstündeki değer ise ciddi etkinin olduğu anlamına gelmektedir. İş yeri, okul gibi alanlarda bu değerler 5 dBA arttırılır. Taşıt özelliklerine ve taşıt hızına göre L_{dn} hesaplanır ve (denklemler 3.21 veya 3.22) mesafeye göre azaltılarak yapıya ulaşan gürültü hesaplanır. Eğer hesaplanan gürültü seviyesi eşik değerinin üstünde ise gürültü perdesi gibi önlemler almak gereklidir.

Gündüz-gece eşdeğer gürültü seviyesini belirlemek için denklem 3.21' de verilmiştir.

$$L_{dn} = 10 \log(15 \times 10^{leq(gündüz)/10} + 9 \times 10^{leq(gece)+10/10}) - 13,8 \quad (3.21)$$

L_{dn} ile L_{eq(sa)} arasında yaklaşık bir ilişki vardır;

L_{dn} = L_{eq(sa)} - 2 ; 07.00-19.00 saatleri arası için

L_{dn} = L_{eq(sa)} + 3 ; 19.0-22.00 saatleri arası için

L_{dn} = L_{eq(Sa)} + 8 ; 22.00-07.00 saatleri arası için kullanılır.

Tablo 3.2: Genel gürültü değerlendirme için nominal gündüz- gece gürültü seviyesi

| Ana hat demiryolu (5-10 tren/gün, V=40-70 km/sa) | Nüfus yoğunluğu (kişi/km ²) | L _{dn} |
|---|--|-----------------|
| 3-9m | | 75 |
| 9-18 | | 70 |
| 18-36 | >7500 | 65 |
| 36-72 | 4000-7500 | 60 |
| 72-150 | 750-4000 | 55 |
| 150-240 | 250-750 | 50 |
| >240 | 75-250 | 45 |
| | 40-75 | 40 |
| | 1-40 | 35 |

Kaynak: Arlı ve Öztürk 2010

Eğer birkaç gürültü kaynağı varsa, birleşik gürültü şöyle hesaplanır;

$$L_{dn,eq} = 10 \log \sum 10^{L_{dn,eq}/10} \quad (3.22)$$

Demiryolu hattından gürültü çevreye doğru yayılırken, mesafeye ve gürültü engellerine (bina, ses perdesi, toprak set, ağaçlık alan) bağlı olarak azalır. Mesafe A (m)'ye bağlı olarak gürültü değeri logaritmik olarak azalmaktadır. Hat kenarındaki gürültünün azalma miktarı denklem 3.23' de,

$$\Delta L = 15.38x \log(A/15) \quad (3.23)$$

İstasyondan yayılan gürültünün azalma miktarı denklem 3.24' de verilmektedir.

$$\Delta L = 24.6x \log(A/15) \quad (3.24)$$

Gürültü perdesinin gürültü azaltımı en fazla 12 dBA'dır ve P mesafesine bağlı olarak değişmektedir. Eğer ses yutucu (absorbif) bir perde varsa, gürültü yalıtımı +3dBA daha fazla olur, ses perdesinin gürültü yalıtımı zemine bağlı olarak bir miktar azalmaktadır.

Eğer zemin beton, asfalt gibi sert zemin ise bir kayıp söz konusu değildir, fakat toprak gibi yumuşak zeminlerde azalma olmaktadır. Ses perdesinin gürültü yalıtımı denklem 3.25' deki gibidir.

$$IL = A - [10(G_{NB} - G_B) \text{Log} D / 15] \quad (3.25)$$

Burada D (m) gürültü kaynağı ile alıcı arasındaki en kısa mesafedir ve A ses perdesinin yalıtım değeridir (denklem 3.26).

$$A = \min \text{imum} \{12 \text{ veya } 5.3x \log P + 6.7\} \quad (3.26)$$

$$P = 0 \text{ ise } A = 6.7 \text{ ve } P \geq 10 \text{ ise } A = 12$$

$$P = A + B - C$$

Hat eksenini (O noktası) ile gürültü ölçüm noktası (X noktası) arasında geometrik ilişkiden P hesaplanır. C ise OX ara mesafesidir. G_{NB} ses perdesi olmaksızın hesaplanan değer, G_B ses perdesi varken hesaplanan değerdir.

$$G = \begin{cases} 0.66 & H_{eff} < 1.5m \end{cases}$$

$$0.75(1 - H_{eff}/13) \quad 1.5m < H_{eff} < 13m$$

$$0 \quad H_{eff} > 13m \text{ veya sert zemin}$$

Ses perdesi raya yakın olmalı ve raydan 1-1,2 metre yükseklikte olmalıdır. Bu şekilde 6-10dBA gürültü azaltılabilir, fakat perde raya uzak olursa bu değer 5 dBA'nın altına inebilir.

Hat yakınlarında bulunan binalar gürültünün arka taraflarına iletilmesine engel olur ve arka taraflara doğru her bina sırası için 1,5 dBA gürültü azalır. Bina sıraları arasındaki mesafe bina genişliğinin yüzde 35'nin altında ise bina sıra sayısı R'ye bağlı olarak gürültüdeki azalma denklem 3.27 ile hesaplanır;

$$A = \min \{10 \text{ veya } 1,5R + 3,5\} \quad (3.27)$$

Bu durumda 4. sıradan sonra gürültüdeki azalma 10dBA olarak sabit kalır.

Bina sıraları arasındaki mesafe bina genişliğinin yüzde 35'i ile yüzde 70'i arasında ise denklem 3.28 ile hesaplanır;

$$A = \min \{10 \text{ veya } 1,5R + 1,5\} \quad (3.28)$$

Bu durumda 5. sıradan sonra gürültüdeki azalma 10 dBA olarak sabit kalır. Bina sıraları arasındaki mesafe bina genişliğinin yüzde 65'den fazla ise A=0 olur.

Hat ile alıcı arasında en az 30 metrelik alanda ve görüş çizgisinin 4,5 m üstünde ağaçlı bir alan varsa, genişliğin W/6 oranında gürültü azalır. Genişlik 60m'den fazla ise azalma miktarı 10 dBA olur.

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (2002/49/EC)'ne göre gündüz-akşam-gece gürültü düzeyi için L_{gag} denklem 3.29' da verilmiştir.

$$L_{gag} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left[12 \times 10^{\frac{L_{gündüz}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{akşam+5}}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{gece+10}}{10}} \right] \right] \quad (3.29)$$

Denklem 3.29 'da;

$L_{gündüz}$: TS 9798 (ISO 1996-2) de tanımlandığı gibi A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın gündüz sürelerinin tamamına göre,

$L_{akşam}$: TS 9798 (ISO 1996-2) de tanımlandığı gibi A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın akşam sürelerinin tamamına göre,

L_{gece} : TS 9798 (ISO 1996-2) de tanımlandığı gibi A ağırlıklı uzun dönem ses düzeyi ortalaması olup, yılın gece sürelerinin tamamına göre belirlenmiştir.

Formülde:

Gündüz: 07.00' den 19.00' a kadar olmak üzere 12 saat,

Akşam : 19.00' dan 23.00' e kadar olmak üzere 4 saat,

Gece : 23.00' den 07.00' ye kadar olmak üzere 8 saattir.

3.2. GÜRÜLTÜNÜN TOPLUMA ETKİSİ

Toplumun raylı ulaşım sistem gürültülerine karşı tepkileri çeşitli yöntemlerle değerlendirilebilir. Bunlar L_{eq24} (24 saatlik eşdeğer gürültü seviyesi), $L_{gü_ge}$ (gündüz-gece ortalama gürültü seviyesi). Kişisel rahatsızlık gürültünün sadece fiziksel özelliklerine ve tren geçiş sayısına değil, bireyin yaşına, oturduğu yere, ailesinin büyüklüğü gibi başka faktörlere de bağlıdır.

NEL (Noise Exposure Level: Açığa çıkan gürültü seviyesidir.

Açığa çıkan gürültü A-ağırlıklı ses basıncının karesinin, referans basıncın (20 mikropascal) karesine oranının integralinin 1 saniyelik referans süresindeki dB

cinsinden değeridir. Trenin bir geçişi için açığa çıkan gürültü seviyesini belirlemek için denklem 3.30' da verilmektedir.

$$NEL_T = 10 \log_{10} (10^{NEL_V/10} + 10^{NEL_L/10}) \quad \text{dB} \quad (3.30)$$

NEL_T ; trenin geçişi sırasında açığa çıkan toplam gürültü seviyesini, NEL_V ; bir ya da daha fazla vagonun geçişi sırasında açığa çıkan gürültü seviyesini, NEL_L ; bir ya da daha fazla lokomotifin geçişi sırasında açığa çıkan gürültü seviyesini göstermektedir.

NEL_V ve NEL_L denklem 3.31 ve 3.32 ile belirlenir.

$$NEL_V = L_{AVmaks} + 10 \log_{10} TE_V \quad \text{dB} \quad (3.31)$$

$$NEL_L = L_{ALmaks} + 10 \log_{10} TE_L \quad \text{dB} \quad (3.32)$$

Denklemdede L_{AVmaks} vagon kaynaklı (tekerlek ray etkisi baskın) oluşan maksimum gürültü seviyesi, L_{ALmaks} lokomotif kaynaklı (tekerlek ray etkisi baskın) oluşan maksimum gürültü seviyesidir. Eğer birden fazla lokomotif varsa bu değer lokomotiflerin ortalama ses enerjinin maksimum A-ağırlıklı gürültü seviyesi olarak hesaplanır.

TE_V ; vagon için efektif geçiş süresini, TE_L ; lokomotif için efektif geçiş süresini göstermektedir. Vagon ve lokomotifler için efektif geçiş süreleri denklem 3.33 ve 3.34' den hesaplanır.

$$T_{EV} \cong \frac{1}{v} \left(1 + 1,2 \frac{d}{1} \right) \quad \text{saniye} \quad (3.33)$$

$$T_{EL} \cong \frac{\pi dn_L}{2v} \quad \text{saniye} \quad (3.34)$$

Eşitliklerde d metre cinsinden hattan uzaklığı, 1 toplam tren uzunluğunu, v tren hızını m/s ve n_L toplam lokomotif sayısını göstermektedir. L_{AVmaks} ve L_{ALmaks} denklem 3.35' den hesaplanabilir.

$$L_A = 74 + 30 \log_{10}(v/v_0) \quad \text{dB(A)} \quad (3.35)$$

Eşitlikte v trenin geçiş hızını, v_0 referans hızı göstermektedir. Verilen herhangi bir tren işletimi için eşdeğer sürekli gürültü seviyeleri L_{eq24} (24 saat için), $L_{güge}$ gündüz-gece ortalama ses seviyesi için aşağıdaki eşitlikler verilmektedir (denklem 3.36).

$$\left. \begin{array}{l} L_{eq}(24) \\ L_{güge} \end{array} \right\} = NEL_T + 10 \log N - 49 \quad \text{dB} \quad (3.36)$$

Burada NEL_T seçilen tren tipi için ortalama enerji seviyesini ve N geçiş sayısını göstermektedir. Geçiş sayıları aşağıdaki denklem 3.37 ile hesaplanır.

$$N = \begin{cases} N_{gü} + N_a + N_{ge} & L_{eq} \text{ için} \\ N_{gü} + N_a + 10N_{ge} & L_{güge} \text{ için} \end{cases} \quad (3.37)$$

$N_{gü}$ 7.00-19.00 saatleri arası, N_a 19.00-22.00 saatleri arası ve N_{ge} 22.00-07.00 saatleri arasındaki geçiş sayılarını göstermektedir.

3.3. ÇEŞİTLİ TREN HIZLARI İÇİN EŞDEĞER GÜRÜLTÜ SEVİYELERİ

Bir trenin geçişi sırasında meydana gelebilecek gürültü seviyeleri tren uzunluğuna ve geçiş sürelerine göre hesaplanarak Şekil 3.18' de gösterilmiştir. Bu hesaplamalar için gerekli olan lokomotif ve vagon uzunlukları Türkiye Vagon Sanayii Anonim Şirketi TÜVASAŞ ve Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi Anonim Şirketi TÜLOMSAŞ' dan alınmıştır. Uzunluğu 18,9 metre, maksimum hızı 120 km/sa olan bir lokomotif (D22000

dizel elektrikli ana hat lokomotifi, TLOMSAS) ve uzunluğu 26,4 metre olan 7 adet vagon dan (Pulman Vagon TVASAS) oluşan bir trenin, 30 metre mesafeden çeşitli tuzlardaki, NEL_T seviyeleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (şekil 3.18).

Ray sürekli kaynaklı ray olarak kabul edilmiş ve (denklem 3.38) ile V_{maks}=120 km/sa (33,3 m/s) hız için maksimum açığa çıkan gürültü, vagonlar için 83 dB olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Burada v; m/s cinsinden hızı, v₀; 60 km/sa referans hızı göstermektedir.

$$L_{Amaks} = 74 + 30 \log_{10}(120 / 60) = 83 \text{ dB(A)} \quad (3.38)$$

Vagon için efektif geçiş süresi; hız; v= 33,3 m/s, hattan uzaklık d= 30 m ve toplam tren uzunluğu l= 203,742 m için;

$$T_{EV} \cong \frac{1}{33,3} \left(1 + 1,2 \frac{30}{203,742} \right) = 0,0353 \text{ saniye olarak hesaplanır.}$$

Aynı şekilde lokomotifler için de efektif geçiş süresi v= 33,3 m/s, d=30 m, n_L = 1 için;

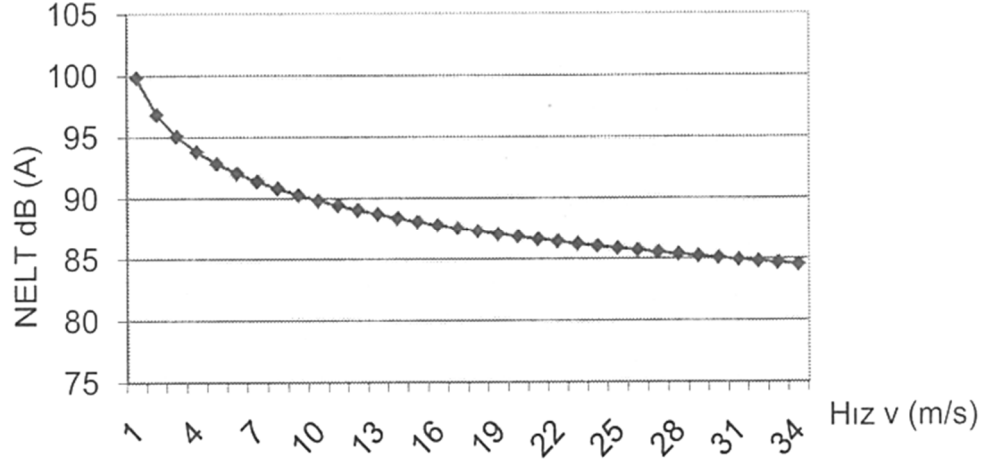
$$T_{EV} \cong \frac{\pi \times 30 \times l}{2 \times 33,3} = 1,415 \text{ saniye olarak hesaplanır.}$$

Bu işlem 0-33,3 m/sn hız aralığındaki tüm hızlar için yapılmıştır. Bu değerler ve L_{Amaks} ile birlikte vagonlar ve lokomotif için açığa çıkan gürültü seviyeleri hesaplanmış ve tek geçiş için toplam açığa çıkan gürültü seviyesi belirlenmiştir.

$$NEL_V = 83 + 10 \log_{10} 0,0353 = 68,48 \text{ dB}$$

$$NEL_L = 83 + 10 \log_{10} 1,415 = 84,50 \text{ dB}$$

Şekil 3.18: Çeşitli hızlara göre tek geçiş için açığa çıkan gürültü seviyesi



Kaynak: Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu 2010

Şekil 3.18 de görüldüğü gibi sabit mesafeden yapılan ölçümlerde hızlar arttıkça açığa çıkan gürültü seviyesi azalmaktadır, bunun nedeni hızın artmasıyla birlikte efektif geçiş sürelerinin azalmasıdır. Çeşitli hızlar için açığa çıkan gürültü seviyesi ortalaması; $NELT_{ort}=88,52$ dB(A) olmaktadır. Bu ortalama ile birlikte L_{eq} eşdeğer gürültü seviyesi farklı tren geçiş sayıları için hesaplanırsa; $N=1$ geçiş için $L_{eq} = 88,52 + 10 \log 1-49 = 39,52$ dB bulunur.

4. DEMİRYOLLARINDA GÜRÜLTÜ NEDENLERİNE GÖRE ÖNLEMLER

Raylı sistemlerden kaynaklanan gürültü kaynakları araç ve ekipman kaynaklı gürültüler ve araç/yol etkileşim kaynaklı gürültüler olarak ikiye ayrılabilir. Gürültü kaynağı olan araçlar; vagonlar (hem kendi kendini çekebilen otomotrisler hem de lokomotif tarafından çekilen vagonlar) ve lokomotiflerdir. Bunun yanında lokomotif uyarı sinyalleri, yük taşımacılığında kullanılan trenlerin yüklerinin toplanarak alındığı alan olan yük sınıflandırma alanları, ilk inşa ve bakım ekipmanları da gürültü kaynağı olarak sayılabilir. Vagonlar ve lokomotiflerin baskın gürültüleri, tekerlek ray etkileşiminden kaynaklanan gürültülerdir, bunun yanında çekim sistemlerinden kaynaklanan gürültüler de kısmen etkilidir.

Raylı sistem gürültü kaynakları hattan standart bir uzaklıkta bulunan ve standart yükseklikteki mikrofonlarla yapılan ölçümlerle tanımlanır (Genellikle gürültü kaynaklarını tanımlamak için kullanılan ses gücü seviyesi lokomotif ve vagonlar gibi geniş kaynaklar için ölçülmesi zor verilerdir).

4.1 ALIYMANDA VAGON GÜRÜLTÜSÜ

Genel olarak 4.41 denklemi uzun trenlerin 30 metre (100 fit) gözlem mesafesinde, A-ağırlıklı ses seviyelerini hesaplamak için direkt olarak kullanılabilir. İyi tasarlanmış ve bakımı yapılan sistemlerde A-ağırlıklı ses seviyeleri bu eşitliklerden tahmin edilen değerlerden 6 dB(A) daha düşük olmaktadır. Diğer sistemlerde ses seviyelerini hesaplamak için daha düşük değerlerden başlanır. Birleştirilmiş durumlardaki toplam etkiyi ölçmede, uzmanlar ölçümün en büyük tekil etki baz alınarak yapılmasını önermektedir. Örnek vermek gerekirse, düzleşmiş (*flatted*) normal tekerleklerin pürüzlü bir ray üzerindeki A-ağırlıklı ses seviyesi ile düzgün elastik tekerleklerin düzgün kaynaklı ray üzerindeki A- ağırlıklı ses seviyesi farkı 12 dB(A) olmaktadır.

Bu yaklaşım takip edilirse 30 metre (100 ft) uzaklıktan, düzleşmiş sıradan tekerlekler ve pürüzlü kaynaklı ray üzerinde 40 km/sa hızla giden uzun elektrik çekimli bir yolcu aracının tipik A-ağırlıklı ses seviyesi aşağıdaki gibidir.

$$L_A = \underbrace{(74 - 6) + 30 \log_{10} \left(\frac{40}{60} \right)}_{40 \text{ km/sahızdasessizsistem}} + \underbrace{12}_{\text{enbüyükteki}} = 75 \text{ dB(A)} \quad (4.41)$$

Tablo 4.3' de elektrikli yolcu trenleri için bu değerin ortalama bağıl spektruma eklenmesiyle hesaplanmış spektrum elde edilir.

Tablo 4.3: Frekansın iki katma çıkarılmasıyla değişen oktav bant ses seviyeleri

| | | | | | | | | |
|-------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Frekans, Hz | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Oktav-bant seviyesi, dB | 68 | 70 | 70 | 71 | 71 | 68 | 62 | 53 |

Kaynak: Arlı ve Öztürk 2010

4.1.2 Lokomotifler

Birkaç istisna ile birlikte, ticari amaçla kullanılan lokomotifler akslara sabitlenmiş elektrik çekimli motorlar tarafından hareket ettirilirlir. Elektrik gücü lokomotifteki dizel veya gaz türbini jeneratörleri tarafından ya da havai elektrik hatlarından sağlanır.

4.1.3 Lokomotifler İçin Gürültü Seviyeleri ve Spektrum

Çok geniş aralıktaki hız, derece ve tipteki hatlarda dizel-elektrikli lokomotifler için 30m mesafeden ölçülen maksimum gürültü seviyelerinin yüzde doksanı 87-96 dB(A) aralığındadır. Bu mesafede bu türdeki bir lokomotifin gürültüsü 129km/sa'e kadar yüksek hızlarda bile genellikle vagon gürültüsünü aşar. Egzoz gürültüsü baskın gürültü olup, motor yüküne bağlıdır ve tekerlek gürültüsünün tersi olarak hızdan bağımsızdır. Susturucular egzoz gürültülerinin A-ağırlıklı ses seviyelerini 10 dB(A) kadar azaltabilirler

Ancak diğer kaynakların varlığı nedeniyle susturucular dizel-elektrikli lokomotiflere takıldıklarında yalnızca 4-8dB(A) kadar bir azalma elde edilmektedir. Bu kaynaklar

motor, gövde vibrasyonu, soğutma vantilatörü (tablo 4.2) genel gürültü değerlendirme için nominal gündüz- gece gürültü seviyesi aerodinamik kaynaklarıdır. Elektrik ve türbin lokomotifler susturucu takılmamış dizel-elektrik lokomotiflere göre ortalama 6-7dB(A) daha düşük gürültü seviyesine sahiptir.

4.1.4 Lokomotif Sinyal ve Uyarı Aletleri

Karakteristik olarak lokomotif korna ve düdüklere lokomotifin 30m önünde yaklaşık 105 dB(A) kadar A-ağırlıklı ses seviyesi üretirler ki, bu hattın kenarındaki ses seviyesinden 5dB (A) daha azdır.

4.1.5 Araçla Yolun Etkileşiminden Kaynaklanan Gürültüler

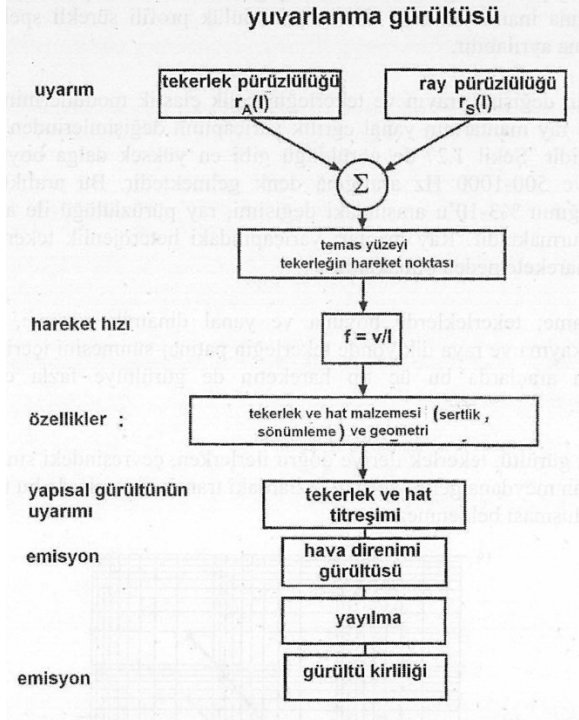
Demiryolunda hareket eden bir araç için en baskın ve rahatsız edici gürültü tekerlek/ray etkileşiminden kaynaklanan gürültüdür. Bu gürültü şiddeti hem araç hem de yol açısından birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle kontrol edilmesi zor bir gürültüdür. En önemli tekerlek/ray gürültü kaynağı tekerlek ve raylarda oluşan bozulmalardır. Yolun yapısı da oluşan gürültüyü etkiler. Kurbada hareket eden bir araç ile alıymanda hareket eden bir araçta oluşan gürültünün türleri farklıdır. Bu nedenle her birinin ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir. Tekerlek ve rayda oluşan çeşitli bozulmalar da gürültünün şeklini etkiler. Bu nedenle bozulmaların ve oluşturdukları gürültülerin ayrı ayrı ele alınması gerekir. Gürültünün oluşmasını ya da yayılımını engellemek için kullanılan çeşitli kontrol yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler gürültünün şekline ve yayılımına göre değişiklik gösterirler.

4.1.6 Aliymanda Tekerlek/Ray Gürültüsü ve Kontrolü:

Aliymanda hareket eden bir demiryolu aracının baskın gürültü kaynağı tekerlek-ray etkileşiminden kaynaklanan gürültüdür. Oluşan bu yuvarlanma gürültüsünün gelişim şeması Şekil 4.19' da gösterilmiştir.

Buna göre aliymanda tekerlek-ray gürültüsü tekerlek ve rayın yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır, bu pürüzlülük rayın dalgalanmasından ve rastgele yüzey bozulmalarından oluşabilir.

Şekil 4.19: Yuvarlanma gürültüsünün gelişimi



Kaynak: Lichtberger Track Compendium 2005

Belirli bir hızdaki raylı sistem aracı gürültüsü verilerindeki dağınıklığın birçoğunun nedeni tekerlek ve raylardaki değişikliklerdir. Pürüzsüz tekerlekler ve pürüzsüz sürekli kaynaklı (eksiz) raylar üzerinde yol alan araçlar kararlı geniş bantlı bir gürültü yayarlar ki, bu bazen yuvarlanma gürültüsü olarak adlandırılır.

Aliymandaki bu gürültü: normal yuvarlanma gürültüsü, aşırı yuvarlanma gürültüsü, ray bozulmalarından, ek yerlerinden ve tekerlek düzlüklerinden kaynaklanan darbe gürültüleri ve ondülasyonlu ray gürültüsü olmak üzere dörde ayrılır.

4.1.7 Normal Yuvarlanma Gürültüsü:

Tekerlek ve rayda herhangi bir bozulma olmaması durumunda meydana gelen gürültüye normal yuvarlanma gürültüsü adı verilir. Birçok transit sistem bu gürültü dikkate alınarak tasarlanır. Düz hatlarda meydana gelen yuvarlanma gürültüsü 250-2000 Hz arasında değişen tepe noktası olan, geniş bantlı bir frekans spektrumuna sahiptir.

Yuvarlanma gürültüsüne neden olan dört temel faktör vardır. Bunlar:

- a) Tekerlek ve ray pürüzlülüğü
- b) Parametrelerin değişimi ve modülün heterojenliği,
- c) Ray sünmesi,
- d) Aerodinamik gürültüdür.

Tekerlek ve ray pürüzlülüğünün tekerlek/ray gürültüsünü etkileyen bilinen en önemli neden olduğuna inanılmaktadır. Yüzey pürüzlülük profili sürekli spektruma sahip dalga boylarına ayrılabilir.

Parametrelerin değişimi, rayın ve tekerleğin çelik elastik modüllerinin, ray mesnet rijitliğinin ve ray mantarının yanal eğrilik yarıçapının değişimlerinden kaynaklanan temas rijitliğidir. En yüksek dalga boyu 25-50 mm arasındadır ve 500-1000 Hz aralığına denk gelmektedir. Bu aralıkta elastikiyet modülü aralığının yüzde 3 ile 10'u arasındaki değişimi, ray pürüzlülüğü ile aynı miktarda gürültü oluşturmaktadır. Ray mantarı yarıçapındaki heterojenlik tekerlek ve rayda dinamik bir harekete neden olmaktadır.

Dinamik sünme; tekerleklerde boyuna ve yanal dinamik yürüme, raya paralel yuvarlanma-kayma ve raya dik yönde tekerleğin patinaj-sünmesini içerir. Aliymanda hareket eden araçlarda bu üç tip hareketin de gürültüye fazla etki etmediği bilinmektedir.

Aerodinamik gürültü, tekerlek ileriye doğru ilerlerken, çevresindeki sınırlı tabakanın türbülansından meydana gelir. Normal tuzlardaki transit sistemlerde bu tür önemli bir gürültünün oluşması beklenmez.

4.1.8 Gürültünün Yayılımı

Ölçülen değerler hem rayın hem de tekerleğin önemli bir gürültü kaynağı olduğunu göstermektedir, bu yüzden hem ray hem de tekerlek için gürültü kontrolü çözümleri düşünülmelidir. Tekerlekten yayılan akustik güç tekerleğin yüzeyinin RMS (root mean square) hızının ve havanın özel empedansının ρc (burada ρ havanın yoğunluğu $1,2 \text{ kg/m}^3$ ve c sesin yayılma hızı 340 m/sn) çarpılmasıyla elde edilir. Raydan yayılan gürültü modellenirken, rayın boyuna eşit uzunlukta yarıçapa sahip bir silindir olduğu kabul edilir. Ray ve tekerleğin temas noktasından yayılan gürültü, tekerlek ve rayın birbirine yakınlığından dolayı kesin olarak hesaplanamamaktadır. Traversler bile belirgin gürültü kaynağı olarak kabul edilebilir. Birçok kaynakta sürekli kaynaklı ray tipleri için raylar ana gürültü kaynağı olarak kabul edilmiştir. Ancak yapılan deneylerde tekerleklerin de raylar kadar gürültü yaydığı tespit edilmiştir.

4.1.9 Mesafe ile Güç Yitimi

Bir şehirlerarası trenden açık alana yayılan gürültünün mesafe ile gücünü yitirmesinin iki ana nedeni vardır, bunlar zeminin ve atmosferin emilimidir. Geometrik yayılma kaybı enerjinin üç yönde dağılması sonucu oluşur ve nokta kaynaklarda çok belirgindir, maksimum ses seviyesi uzaklık her ikiye katlandığında 6 dB kadar azalır. Tren gibi bir çizgisel kaynakta ise trenin uzunluğunun yarısı kadar mesafede bulunan alıcı için, maksimum ses seviyesi mesafe her ikiye katlandığında 3 dB kadar güç yitirir. Daha uzak mesafelerde trenin tümünden kaynaklanan gürültünün mesafenin iki katına çıkmasıyla maksimum ses seviyesindeki güç yitimi 3 dB den daha fazla olur.

L_{eq} (eşdeğer gürültü seviyesi) ve L_{dn} (gündüz-gece seviyesi) trenin uzunluğundan bağımsız olarak, mesafenin iki katına çıkmasıyla geometrik yayılma nedeniyle 3 dB kadar azalır. Aşırı güç yitimi ses enerjisinin zemin tarafından emilmesinden kaynaklanır.

Trene yakın mesafelerde tren bir çizgi gürültü kaynağı olarak davranmakta ve mesafeyle güç yitimi mesafenin iki katına çıkartılmasıyla 3 dB olmaktadır. Daha uzak mesafelerde tren bir nokta kaynak gibi davranmaya başlar ve mesafenin iki katına çıkmasıyla mesafeye bağlı yayılma nedeniyle güç yitimi 6 dB olur.

Uzaklığa bağlı L_{eq} eşdeğer gürültü seviyesi hesabı, gürültü karakteristiğine, tren hızına, uzunluğa ve dolayısıyla SEL'e bağlıdır. L_{eq} (eşdeğer gürültü seviyesi) ve L_{a_n} (gündüz ve gece gürültü seviyesi) zemin etkileri, yapılar tarafından koruma, atmosferik emilim etkilerinin olmadığı durumlarda mesafenin iki katına artmasıyla 3 dB azalır. Bu basit sonuç transit sistem gürültüsünün hesaplanmasında çok büyük kolaylık sağlar.

4.2. NORMAL YUVARLANMA GÜRÜLTÜSÜ KONTROL YÖNTEMLERİ

Araç, yol ve hat kenarındaki uygulamalar olarak gruplandırılır. Gürültü emici bariyerler, yapı üzerindeki bariyerler ve çevirme-kuşatma da etkin kontrol yöntemleridir.

4.2.1 Araç Üzerindeki Uygulamalar

Normal yuvarlanma gürültüsü için araç üzerinde alınabilecek önlemler; araç kenarlarında uygulanan etekler, araç altı gürültü izolasyonu, araçtan yayılan gürültü iletim kaybını artırma olarak sıralanabilir.

Araç kenar etekleri; Araç etekleri eğer eteklerin iç yüzeylerinde ses emilimi de sağlanırsa, yol kenarı gürültüsünü 2dB'e kadar azaltabilir. Etekler tekerlekten yayılan gürültüyü yansıtarak ve emerek engeller. Balastlı hatlarda balast gürültü emiliminde

daha etkili olduğu için kullanılmazlar. Etekler raylardan yayılan gürültüyü engellemekte etkili değildir.

Araç altında gürültü emilimi; en etkili ve en ucuz yöntemdir. Araç altında uygulamanın yapılabilmesi için yeterli alan olmayabilir ya da uygulama araca bakım yapılmasını engelleyebilir, böyle durumlarda uygulanmaz.

Elastik tekerlekler; 1-2 dB' ye kadar gürültüde azalma sağlayabilir, ancak daha etkili oldukları kısım kurbadaki çınlamadır. Elastik tekerlekler sadece yuvarlanma gürültüsünü engellemek için kullanılmazlar.

Araç gövdesinde ses izolasyonu; bu uygulama araç içi gürültünün azaltılması için uygulanan standart bir yöntemdir. Günümüzde üretilen araçlarda gürültü emilimi için iki tabaka arasına cam yünü uygulaması yapılmaktadır.

4.2.2 Yol Üzerinde Uygulamalar

Hat yatağı absorpsiyonu; bu yöntem betonarme üzerine doğrudan bağlanan hatlarda etkilidir. Balastlı hatlar balastın gürültü emici özelliği nedeniyle direkt bağlantılı betonarme hatlara göre 4-5dB daha az gürültüye neden olmaktadır. Yapılan uygulamalar (1) PVF polivinil florlu filmlerle örtülmüş 0,5 kg/cm² basınç dayanımına sahip cam yününün delikli metal ya da fiberle güçlendirilmiş plakalarla korunarak uygulanması, (2) püskürtülebilen çimento bazlı gürültü absorpsiyonu, (3) balast. ray titreşimi emiciler; titreşim emiciler içerilerinde vibrasyon enerjisini emen ve dağıtan sönümlenme elemanları da bulunan yaylı ağırlık sistemleridir. Bunlar raylara kenetlerle bağlanırlar ve balasta değmezler. Ses bariyerlerinin uygulanamadığı ve gürültü seviyesinde birkaç desibel azalma istenen yerlerde bu uygulama yapılabilir.

Hat arası bariyerleri; hatların arasına konan bariyerler istasyon seviyesindeki gürültüyü azaltır, bariyerin iki yüzü de gürültü emici malzeme ile kaplanır. Bariyerin yüksekliği aracın yüksekliğinden fazla olmalıdır.

Elastik ray bağlantıları ray ile travers arasındaki bağlantı elemanlarının elastik malzemelerle tespit edilmesidir. Bu tür elastik bağlantılar genel olarak tekerlek/ray gürültüsü azaltma yöntemi olarak uygulanmazlar. Bu yöntem düşük frekanslı zemin kaynaklı ve yapısal gürültünün azaltılması için uygulanır.

Elastomer yaylar elastik bağlantılarla birlikte kullanılarak tekerlek/ray gürültüsünü azaltmak için kullanılır. Elastik ray bağlantıları gevşmeden raya destek sağlarlar ve trenin geçişi sırasında rayla travers arasında oluşan darbe gürültülerini azaltmaya yardımcı olurlar.

4.2.3 Hat Kenarındaki Uygulamalar

Gürültü bariyerleri; normal yuvarlanma gürültüsü kontrolünde en etkili uygulamadır. Gürültü bariyerlerinin etkisini arttırmak için ses yutucu malzemeler kullanılabilir. Gürültü bariyeri uygulamada alanla ilgili sınırlar; (1) hat seviyesindeki araç bakımları için uygun giriş olmaması, (2) hat ve duvar arasında kalabilecek olan insanların güvenliğini sağlayacak yeterli mesafe olmaması, (3) kaynağın ve alıcının yüksekliklerinin pratik bariyer yüksekliği için gürültü azaltılmasına uygun olmaması, (4) yüksek gürültü bariyerlerinin istenmemesi, (5) yüksek rüzgâr yükleri, dik eğimler ve sağlam temel yapılması gereken zayıf zeminlerdir.

Gürültü bariyeri yapımında çok değişik türde malzeme kullanma olanağı vardır. Örneğin Fransa'da yapılanların yüzde 60'ı prefabrike beton elemandan, yüzde 20'si cam ve plastik kökenli malzemeden, yüzde 10'u metal levhalardan ve yüzde 10'u da pişirilmiş kil ve benzeri malzemeden inşa edilmektedir. Bu malzemelerden en yaygın olarak kullanılanı prefabrike betondur. Prefabrike beton elemanın montaj kolaylığı,

istenilen ölçüde üretilebilmesi, dayanıklılığı ve bakım gerektirmemesi gibi özelliklerinden dolayı diğer tür malzemelerden daha yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Banketler; banketler görsel olarak daha cazip olan gürültü bariyerleridir, deraymana karşı bir güvenlik duvarı oluşturur ve aynı boydaki bir gürültü bariyeriyle aynı derecede gürültü azalması sağladığı düşünülmektedir.

4.2.4 Gürültü Emici Bariyerler

Gürültü bariyerlerinin hat tarafındaki yüzeyine bariyerin performansını arttırmak ve yansımayı engellemek ya da azaltmak için gürültü emici malzeme kullanılması ile oluşur. Absorbe edici bariyerlerin en etkili olduğu durum direkt tespitli betonarme hatlardadır. Balastlı hatlarda bariyer hatta yakınsa, balastın gürültü emici özelliği nedeniyle etkinliği sınırlanabilir.

4.2.5 Yapı Üzeri Bariyerler

Trenin dinamik hareket alanında yapılmış yapıların üzerine konulan bariyerlerdir. Bariyerlerin yüksekliği yolcuların gerektiğinde aracın döşemesinden, bariyeri atlayarak kurtulabilecekleri şekilde tasarlanır. Bariyerin performansını arttırmak için gürültü emici püskürtme çimento malzeme kullanılır.

4.2.6 Çevirme-Kuşatma

Bu yöntemde metrodaki gibi yangın kontrolü, havalandırma ve tahliye gerekmektedir. Gürültü emici malzeme kaplamanın iç yüzeyine uygulanır. Tablo 4.4' de anlatılan yuvarlanma gürültüsü kontrol yöntemleri, yöntemlerin uygulama yerleri, maliyetleri ve uygulamadaki sınırlar özetlenmiştir. Kontrol yönteminin uygulama bölgesi; araç üzerinde, hat üzerinde ve yol kenarında olmak üzere üçe ayrılır.

Tablo 4.4: Normal yuvarlanma gürültüsü kontrol yöntemleri

| KONUM | UYGULAMA SEÇENEĞİ | GÜRÜLTÜ AZALMASI dB | MALİYET | ALANA ÖZEL SINIRLAMALAR |
|---------------|------------------------------------|---------------------|----------------------------|---|
| Araç Üzerinde | Araç altında sönümleme | 3 | 3500 \$ /araç | Balastlı hatlarda etkili değil |
| | Elastik tekerlekler | 1 - 2 | 2400 S-3000 \$ /tekerlek | Takozlu fren sistemlerinde uygun olmayabilir. |
| | Etek ile örtmek | 1 - 2 | 5000 \$-10000\$ /araç | Üçüncü ray açıklığı. Araç altında gürültü absorpsiyonu ile birleşik kullanılabilir. |
| | Araç altında gürültü sönümlemesi | 2 - 3 | 3500 \$ /araç | Araç içinde kullanılabilir. Araç altındaki teçhizata göre sınırlandırılır. |
| | Araç gövdesi yalıtımı | 0 - 5 dB | Orijinal teçhizat | Camlan, gövdeyi ve kapıları kapsar. Alana göre sınırlandırma yoktur. |
| Hat üzerinde | Yol yatağı sönümlemesi | 5 | 100 \$ /m ² | Balastlı hatlarda etkili değil |
| | Hat arası bariyerleri | 3 - 5 | 150\$ -300\$/ metre-hat | Üstü absorpsiyonlu olarak kullanılmalıdır. |
| | Ray titreşimi sönümleyiciler | 1 - 2 | 1500\$/metre | Ray altında boşluk bulunmalıdır. |
| Hat kenarında | Gürültü bariyerleri | 5 - 10 | 150\$-200\$/m ² | Mevcut topografyaya ve görünümüne kötü etkisi olabilir. |
| | Emici bariyerler | 7 - 12 | 250\$ /m ² | Balastlı hatlarda daha az etkili. |
| | Toprak banketler | 7 - 12 | Alana bağlı | Peyzaj düzenlemesine olumlu katkısı var. |
| | Sıkıştırılmış zemin | 5 - 10 | Alana bağlı | |
| | Alıcı ile ilgili uygulamalar | 0 - 10 | 5000\$-10000\$ / alıcı | Havalandırma olması gerekir. Yapısal eksiklikler olabilir. |
| | Çevirme, kuşatma | 10 dB | Bilinmiyor | Yangın kontrolü, tahliye ve havalandırma. |
| | Metro duvarı uygulaması | 5 | 21 \$-30\$ /rrr | |
| | İstasyon uygulaması | 5 - 10 | 21\$-30\$/m ² | |
| | Havalandırma ve havalandırma şaftı | 5 - 15 | 21\$-30\$/m ² | |

Kaynak: Nelson *Journal of Sound and Vibration* 1996

4.3 AŞIRI YUVARLANMA GÜRÜLTÜSÜ İÇİN ÖNLEMLER

Herhangi bir bozulma olmaksızın gerçekleşen aşırı yuvarlanma gürültüsünün nedeni anormal derecede pürüzlü raylar ve tekerleklerdir. Ray taşlama veya tekerlek tornalama sonrasında bile yorulma çatlakları, ray iç kenar metal akması, düzleşmiş ray mantarı, uygunsuz dever uygulaması, taşlama izleri gibi rastgele olan kusurlardan dolayı oluşmaktadır.

4.3.1 Hat Üzerindeki Uygulamalar

Aşırı yuvarlanma gürültüsü için hat üzerindeki temel uygulama rayların taşlanmasıdır. Normal yuvarlanma gürültüsü kontrolü için uygulanan yöntemler de uygundur, ancak bu uygulamalar rayların taşlanmasından sonra yapılmalıdır.

Rayın taşlanması; aşırı yuvarlanma gürültüsü kontrolünde tekerleklerin düzeltilmesiyle birlikte, rayların taşlanması en etkili uygulamadır. Rayların taşlanması yuvarlanma yüzeyi aşınmayacak ve metal yorgunluğunu azaltacak şekilde optimum seviyede tutulmalıdır. Taşlama ekipmanı doğru seçilmeli ve iyi durumda olmalıdır, böylece taşlanan tekerleklerde derin taşlanmış yüzeylere yol açan kırıntıların birikmesi ve çatırdama engellenebilir. Uygulama sırasında oluşabilecek sorunlar; (1) tünellerde taşlama makinesi için yeteri kadar açıklık olmaması, (2) işletimle çakışması sonucu hatta girişin olmaması, (3) hemzemin hatlarda taşlamanın yapılamamasıdır.

4.3.2 Araç Üzerindeki Uygulamalar

Tekerlek düzeltmesi, aşırı yuvarlanma gürültüsü kontrolündeki temel araç üstü uygulamasıdır ve normal yuvarlanma gürültüsü kontrolü için yapılan uygulamalardan önce düşünülmelidir. Tekerlek düzeltmesi tekerlek üzerindeki bozulmalardan kaynaklanan aşırı yuvarlanma gürültüsünün kontrolü için en etkin yöntemdir ve periyodik araç bakımının bir parçası olarak düşünülmelidir.

Düzenli tekerlek düzeltmesi yapılmayan sistemlerde büyük ihtimalle anormal yükseklikte yuvarlanma gürültüsü oluşacaktır. Eğer raylar da taşlanarak düzeltilmiş ise pürüzlü tekerleklerin düzeltilmesiyle birlikte ilk aşamada 7 ile 10 dB arasında gürültü azalması görülebilir gerçek gürültü azalma seviyesi tekerleklerin ve rayların pürüzlülüğüne bağlıdır.

Kullanılan tekerlek düzeltme makinesinin türü (frezeleme ya da torna) elde edilen sonuçta çok az değişikliğe yol açmaktadır. İyi bir ray taşlaması olmadan tekerleklerin düzeltilmesi istenilen En az gürültü seviyesine ulaşmayı sağlayamaz çünkü raydan kaynaklanan gürültü devam eder ancak ray taşlaması olmadan sadece tekerlek düzeltilmesi daha sessiz bir sistem için gereklidir ve yapılmalıdır. Tekerlek düzeltilmesi için alan açısından herhangi bir sınırlama yoktur. Tekerlek düzeltmenin maliyeti, tekerlek düzeltme makinesi maliyetine ve onun bakım maliyetlerine bağlıdır. Bir tekerlek düzeltme makinesinin ortalama maliyeti 1 milyon dolar civarındadır. Frezeleme ile çalışan makineler tornalama ile çalışan makinelere göre daha ucuzdur ancak daha az bulunurlar. Tekerlek düzeltme makinesinin seçimi önemlidir. Tek motorlu araç tiplerinin ön ve arka tekerlekleri arasındaki tekerlek çapı farkı çok az olmalıdır. Tek motorlu araçlar söz konusu olduğunda, seçilen tekerlek düzeltme makinesinin toleransları çok iyi incelenmelidir.

4.3.3 Hat Kenarındaki Uygulamalar

Tekerlek düzeltmesinin; geometrik kısıtlamalar, yetersiz maliyetler ve ekipman eksikliği gibi nedenlerle gerçekleştirilememesi durumunda gürültü bariyerleri ya da banketleri bir seçenek olarak düşünülebilir. Geniş bir alanda yapılması gerekiyorsa bu uygulamalar ray taşlama ve tekerlek düzeltme ekipmanından daha maliyetli olabilirler. Tekerlek ve raylar iyi durumda değilse yol kenarında yapılan uygulama maliyetleri bakımı düzenli yapılan tekerlek ve raylara göre daha fazla olmaktadır. Tablo 4.5 de önlemler maliyetleri ile birlikte sunulmuştur.

Tablo 4.5: Ondülasyon olmayan durumda aşırı yuvarlanma gürültüsü kontrolü

| KONUM | UYGULAMASEÇENEĞİ | GÜRÜLTÜ AZALMASI dB | MALİYET | AÇIKLAMA |
|------------------|--|------------------------|---------------------|--|
| Hat Üzerinde | Rayın taşlanması (tekerleğin düzeltilmesi ile birlikte) | 7-10 | 15 \$/metre/yıl | Gevşek tespit nedeniyle oluşan darbe gürültülerini ve yapısal gürültüleri azaltır. |
| | Bozuklukların kaynakla yada taşlanarak düzeltilmesi | 5 | 200 \$/bozulma | |
| | Ek yerlerin bakımı ve sıkılması | 5 | 6 \$/yıl | |
| | Ek yerlerin kaynaklanması | 5 | 600 \$/set | |
| | Elastik ray bağlantıları | 5-10 dB | 50 \$/set | |
| Araç Üzerinde | Normal yuvarlanma gürültüsü için yukarıda listelenen diğer uygulamalar | | | Tekerlek düzlüklerinin oluşma sıklığını azaltır |
| | Tekerlek düzeltmesi (ray taşlaması ile birlikte) | 7-10 | 60 \$/tekerlek seti | |
| | Kayma kontrolü | | 5000-10000\$/araç | |
| Hat Kenarında | Normal yuvarlanma gürültüsü için yukarıda listelenen diğer uygulamalar | | | |

Kaynak: Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu. 2010

4.4 ONDÜLASYON GÜRÜLTÜSÜ ÖNLEMLERİ

Raylardaki ondülasyon, raylı sistemlerdeki en önemli tekerlek/ray etkileşimi sorunlarından birisidir. Gürültü çok rahatsız edicidir ve sisteme yakın yerleşimlerde zarar verici hale gelebilir.

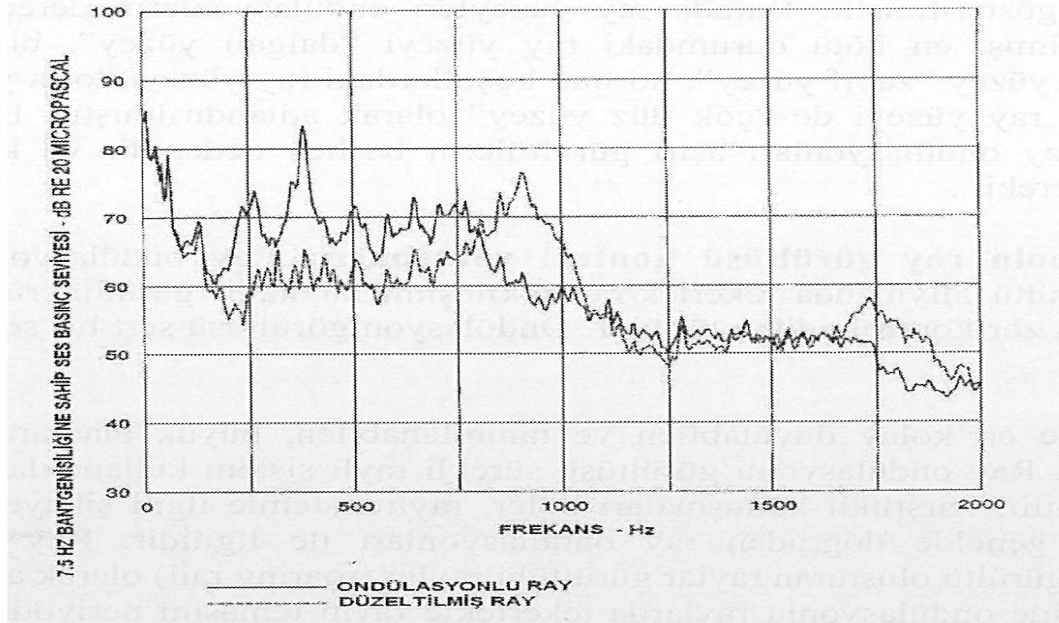
Ray ondülasyonu rayların mantarları profilinin boylamasına periyodik olarak aşınması ya da rayın yuvarlanma yüzeylerinin plastik olarak şekil değiştirmesi olarak tanımlanır. Ray ondülasyonları temel olarak üç temel dalga boyu sistemine sahiptir; Gürültülü raylar 2,5-7,5 cm arasındaki dalga boyuna sahip raylardır. Bu tür dalga boyuna sahip ondülasyonlar genelde hafif raylı taşıma sistemlerinde görülmektedir. Orta dalga boyuna sahip ondülasyonların dalga boyları 15-46 cm arasındadır. Bu tür ondülasyonlar

ağır dingil yüküne sahip yük trenlerinin geçtiği hatlarda özellikle kurbalardaki alçak raylarda görülürler.

Yüksek dalga boyuna sahip ondülasyonların dalga boyları 60cm den büyüktür, bu tür ondülasyonlar yüksek hızlı yolcu trenlerindeki hatlarda görülür. Eğer raylarda ondülasyon varsa, oluşan gürültü normal yuvarlanma gürültüsüne göre oldukça yüksektir ve bu geçiş gürültüsü 1/3 oktav bant filtrelerinden geçirilirse, birçok ayrık frekansa sahip bir spektrumları olduğu görülür.

Ondülasyonlu rayların dalga boyları dar bant gürültü analizleriyle açığa çıkmaktadır. Şekil 4.20 deki grafik de ondülasyonlu ray üzerinde hareket eden treninin içindeki ölçümlerden elde edilen dar bant frekansları gösterilmiştir. Hız arttıkça ray ve tekerlek temas edemez ve ondülasyon frekansları genişler.

Şekil 4.20: 18 m/sn hızla ondülasyonlu rayda hareket eden bir trenin iç gürültüsü



Kaynak: Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu 2010

Rayda bir ondülasyonun varlığında, tekerlek-ray etkileşimi normal yuvarlanma gürültüsünde anlatılan lineer modelden çok daha kompleks bir yapı göstermektedir. Bunun temel nedeni tekerleğin rayın ondülasyonlu yuvarlanma yüzeyini takip edememesinden oluşan temas ayrılmalarıdır. Bir örnek vermek gerekirse yaklaşık 363 kg ağırlığındaki bir tekerleğin ağırlık merkezinin yerini 0,13 mm değiştirmek için gereken kuvvet 4536 kg civarındadır bu da tekerlek rijit olarak kabul edilirse aşığı yukarı tekerleğe etkileyen statik kuvvete eşittir. Temas yüzeyi sertliği, ray uyumu ve tekerlek rezonansı bu hesabı değiştirebilir. Daha yüksek genliğe sahip ondülasyonlar daha yüksek dinamik etkilere yol açarlar, statik yüklerin belirli bir sınırdan durmasının aksine, dinamik yükler tekrar tekrar yüklenip boşalarak bir döngü oluşturabilirler. Böylece daha yüksek genliklerde temas yüzeylerinde ayrılma oluşur. Daha orta derecedeki genliğe sahip ondülasyonlarda bile temas yüzeylerinde ayrılma olması beklenebilir.

Ray yüzeyleri ondülasyonların derecelerine göre sınıflandırılmış, en kötü durumdaki ray yüzeyi "dalgalı yüzey", biraz daha iyi durumdaki yüzey "zayıf yüzey", normal koşullardaki ray yüzeyi "orta yüzey" en iyi durumdaki ray yüzeyi de "çok düz yüzey" olarak adlandırılmıştır. Birçok transit sistemde ray ondülasyonları aşırı gürültülerin başlıca nedenidir ve kontrol altına alınması gerekir.

4.4.1 Ondülasyonlu Ray Gürültüsü Kontrol Yöntemleri

Ray ondülasyonu sebebiyle oluşan gürültü aliyanda tekerlek/ray etkileşimi kaynaklı gürültülerin en rahatsız edici ve en zor kontrol edilen türüdür. Ondülasyon gürültüsü sert bir ses karakterine sahiptir.

Bu nedenle en kolay duyulabilen ve tanımlanabilen, büyük alanlara etkileyen bir gürültüdür. Ray ondülasyonu gürültüsü sürekli raylı sistem kullanıcıları için sıkıntı verici olabilir, karşılıklı konuşmaları böler, raylı sistemle ilgili şikâyet edilen aşırı gürültüler genelde doğrudan ray ondülasyonları ile ilgilidir. Ray ondülasyonu nedeniyle

gürültü oluşturan raylar gürültülü raylar (*roaring rail*) olarak adlandırılırlar. Ciddi şekilde ondülasyonlu raylarda tekerlekle rayın temasını periyodik bir şekilde kaybetmesiyle darbe gürültüleri oluşur, darbe gürültüleriyle ilgili araştırmalar göstermiştir ki raylarda ortalama genlikte bir ondülasyonun varlığı bile ray tekerlek gürültüsü oluşturmaktadır.

4.4.2 Hat Üzerindeki Uygulamalar

Ray ondülasyonu için uygulamalar öncelikle sert ray taşlamasıdır. İkinci bir yöntem de yüzey sertleştirilmesidir. Ek olarak hat değerlendirilerek hat bakımı yapılırken ray desteklerinin sertliğinin azaltılması, rayla destekleri arasındaki boşlukların azaltılması, üst tabakanın sertleştirilmesi ve vibrasyon emiciler konulması gibi uygulamalar ondülasyonların azaltılmasında yardımcı olurlar.

Sert ray taşlaması: Tekrarlanan kronik ray ondülasyonları için en etkili yöntem rayın yuvarlanma yüzeyinin, uzun dönem malzeme kayıplarını en aza indiren ve maliyetleri azaltan bir ray taşlama programı kullanılarak düzeltilmesidir. Ondülasyon oranının üssel olarak arttığı kabul edilirse, ondülasyon oluşmasının ilk aşamalarında genlik temas ayrılmasına neden olmadan ve ondülasyonu gidermek için yeteri kadar metal kaldırıldığında, rayın taşlamna aralığı ondülasyonun oluşma aralığından hesaplanırsa, ondülasyon oluşma aralığı yüzde 170 artar. Hem uzun hem de kısa aralıklarla rayların taşlanması yüksek oranlarda metalin kaldırılmasına ve rayın ömrünün azalmasına neden olur. Eğer rayın taşlanma aralığı yüksek olursa, gürültü artar, sık aralıklarla yapılırsa gürültü azalır ancak maliyetler artar. Rayın taşlanmasından sonra ondülasyonun oluşma hızı görülebilir, bir ondülasyon için yeterli olmayabilir ancak ondülasyonlar duyulabilir bir gürültü seviyesi oluşturdukları bir noktaya ulaştıklarında ondülasyon oluşma hızı yukarıda anlatılan sınırı geçmiş olabilir. Bu nedenle raylar sık sık taşlanmak ve gürültü oluşumuna neden olabilecek görülür ondülasyonlar engellenmelidir. Optimum taşlama aralığını belirlemek zordur, ondülasyon gelişiminin dikkatlice izlenmesi gereklidir. Ray taşlamanın maliyeti, ray taşlama makinesinin maliyeti, yakıt, ray taşlama malzemesi ve çalışanların maliyetlerinden oluşur.

Çıkan malzemenin temizlenmesi için kurulacak olan vakumlu sistemler de bu maliyete dâhil edilebilir.

Yüzey kaplaması: Ray ondülasyonunu kontrol altına almak için Avrupa demiryollarında özellikle hafif raylı sistemlerde uygulanan ray mantarının çok sert bir malzeme ile kaplanmasıdır. Aşırı ondülasyon oluşmuş kısa bölümlerde uygulanabilir, ancak ray üreticileri bu yöntemi önermemektedir. Kaplama ile yüzey sertleştirilmesinin maliyeti 15-36 dolar civarındadır.

Alaşımli ya da sertleştirilmiş raylar, krom, vanadyum gibi metallerin raylarda kullanılarak özellikle ağır yük taşınan hatlarda kurbalardaki ondülasyon kontrolü için uygulanırlar. Alaşımli raylarda sertlikleri ve aşınma karakterleriyle karbon alaşımli normal raylara göre daha az ondülasyon oluşumu görülür. Alaşımli rayların kaynaklana bilirliğinde azalma görülebilir. Bu tür raylar ondülasyon kontrolü için metalürji uzmanlarının görüşü alınarak dikkatli bir değerlendirme ile düşünülebilir.

Hattın destek sertliği; rayın ondülasyon artışı ile hattın destek sertliği arasında kesin bir ilişki kanıtlanamamakla birlikte yumuşak ray desteklerinin bir faydası trenin geçişi sırasında rayların bağlantı elemanlarının hareketinden daha az zarar görmesini sağlar. Ayrıca doğal bir sönümlenme oluşturarak rayların ve tekerleklerin ondülasyon genliklerini azaltır.

4.4.3 Araç Üzerindeki Uygulamalar

Araç üzerinde yapılan uygulamalar ray ondülasyonu nedeniyle oluşan gürültüyü azaltmazlar, ancak ray ondülasyon oluşumunun azalmasına yardımcı olurlar. Araç üzerinde yapılan uygulamalar hala inceleme ve test aşamasındadır, ondülasyona etkileri tam olarak ispatlanamamıştır, ancak ondülasyonun vibrasyon ve dinamik etkilerden oluştuğu göz önüne alınırsa, uygulamaların ondülasyonu etkilediği düşünülebilir.

Tekerlek profili, tekerleğin yuvarlanma yüzeyi ray mantarı ve tekerlek arasındaki etkileşimi doğrudan etkiler. Yüksek tekerlek/ray uygunluğunun dönme-kayma etkisini arttırarak ondülasyonların oluşumunu azalttığı Vancouver Sky tren hattında tanımlanmıştır. Tekerlek konikliğinin korunması için düzenli aralıklarla tekerleklerin düzeltilmesi tekerlek ray uygunluğunu azalttığı için tekerleklerin düzeltilmesiyle birlikte rayların da taşlanması gerekmektedir.

Sürtünme değiştiricilerde, tekerleğin yuvarlanma yüzeyinin yağlanması, yapışarak kaymayı ve dönerek kaymayı azalttığından dolayı ondülasyonları azaltır. Bu uygulamanın maliyeti araç başına yıllık 1500 dolar civarındadır. Tekerleğin ondülasyonlara tepkisini azaltmak için sönümlleme elemanı eklenmesinin, henüz ondülasyonları azalttığına dair bir veri bulunmasa da ilgi çekici bir uygulamadır. Her durumda sönümlleme elemanlı tekerleklerin ondülasyonu arttırmadıkları kesindir.

4.4.4 Yol Kenarındaki Uygulamalar

Normal yuvarlanma gürültüsü kontrolünde anlatılan uygulamalar ondülasyonlu raylardaki gürültülerin kontrolü için de uygundur. Ancak ondülasyonlu raylardaki gürültü şiddeti daha fazla olduğundan uygulama yapılmadan önce incelenmesi gerekir.

Gürültü bariyerleri, banketler, çeşitli gürültü emici malzemeler büyük ihtimalle ondülasyonlu raylardaki gürültüyü engellemede etkili olamayacağı için hat üzerinde yapılacak olan uygulamalara öncelik verilmelidir.

Ondülasyonlar bazen özellikle kurbalarda ve istasyon girişlerinde aşman rayın yuvarlanma yüzeyinde gelişirler. Bunun gibi bir yüzeyde hareket eden tekerlek hemen hemen periyodik uyarıma maruz kalır, bu da ondülasyonsuz (*uncorrugated*) bir rayda hareket eden bir tekerleğe göre büyük ölçüde yüksek A-ağırlıklı ses seviyesi oluşumuyla sonuçlanır. İyi tasarım ve bakım uygulamalarıyla kentlerde ve banliyölerdeki ulaştırma (transit) uygulamalarında özel hat çalışmaları hariç bu darbe

gürültüleri engellenebilir. Ek yeri (conta) gürültüsü sürekli kaynaklı ray kullanılarak engellenebilir. Contalı ray kullanılan sistemlerde contalar düzgün ve doğru bakım yapılarak korunmalıdır. Tekerleklerde düzlükler oluşması tekerleklerin kaymasını engelleyen fren sistemleri kullanılarak engellenebilir, bu düzlükler oluşmuşsa en kısa zamanda düzeltilmelidirler.

Diğer tasarım özellikleri ile daha da sessiz sistemler sağlanabilmektedir, örneğin disk frenlerin kullanıldığı araçlarda tekerlek frenlerinin kullanıldığı araçlara göre (frenler uygulanmasa bile) daha az gürültü oluşmaktadır. Ayrıca araçlarda çok elastik birincil süspansiyon kullanılması yerine orta elastik süspansiyon sağlanmasının araçlarda daha az gürültü seviyesine neden olduğu görülmektedir. Yüksek hızlı hatlara ait kurbalarda yuvarlanma gürültüsü aliymandaki gibi ele alınabilir.

İki tip kurba gürültüsü mevcuttur. Birinci ve en yaygın olanı tekerleğin yanal titreşim hareketinden oluşan tekerlek çınlamasıdır (*wheel squeal*). İkinci ve daha az yaygın olan ise tekerlek uğuldamasıdır (*wheel howl*) tekerleğin dinamik yanal sürünme kuvvetlerine karşı oluşturduğu tepkidir.

Kurba gürültüsünün ikiye ayrılması aşağıdaki nedenlerden kaynaklanır: (1) ikisi aynı sesi çıkarmazlar, (2) tekerlek uğuldaması tren hızıyla artar ancak tekerlek çınlaması yeterli hızlarda kaybolur, (3) tekerlek/ray uğuldaması kurbalardaki kısa ondülasyonlarla yakından ilişkili olabilir.

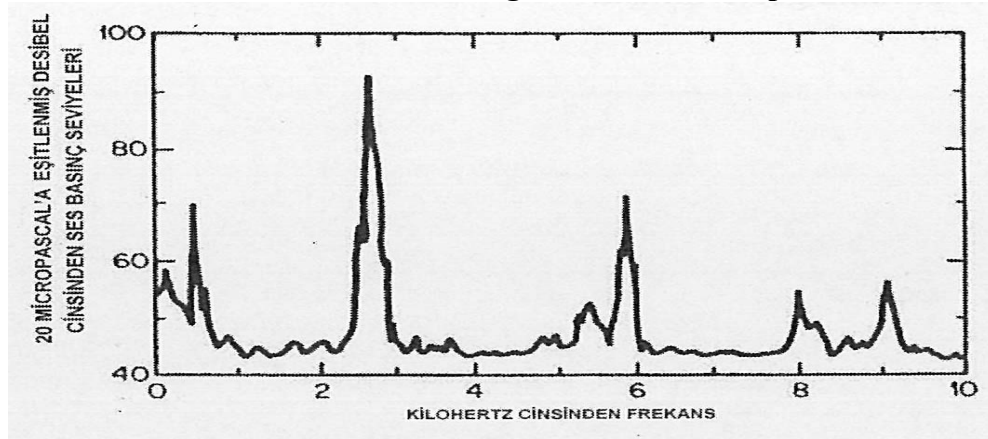
Tekerlek çınlaması: Üç tip yapışma-kayma (*stick-slip*) hareketinin tekerlek çınlamasına neden olduğu düşünülmektedir. Bunlar:

Uzunlamasına yapışma-kayma,

Flaşların açıklık yüzüne temas etmesi.

Tekerleğin sıfırdan farklı bir açıyla ilerlemesiyle ray mantarı üzerinden uzunlamasına sürünmesiyle oluşan yapışma-kayma hareketi Şekil 4.21' de şehir içi raylı sisteme ait bir trenin çınlama sesinin spektrumu gösterilmektedir. Oluşan gürültü çeşitli frekanslara ve ses seviyelerine sahiptir. Maksimum ses seviyesi yaklaşık 93 dB civarındadır ve frekansı yaklaşık 2,7 Hz'dir. Gömülü rayda ise bu değer azalmaktadır.

Şekil 4.21: Şehir içi bir raylı sistem aracının 43m çapındaki bir kurbadan dönerken çıkardığı çınlama sesinin spektrumu



Kaynak: Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu. 2010

Boylamasına yapışma-kayma hareketi yüksek ve alçak raylarda hareket eden tekerlekler arasındaki çevrim hızı farkları nedeniyle oluşur. Bandaj konikliği yaklaşık 610 m.den daha fazla yarıçapa sahip kurbalarda farklılığı telafi edebilmektedir, daha küçük yarıçaplı kurbalarda da ray mantarı profilinin bilenerek düzeltilmesiyle boylamasına kayma giderilebilir. Tüm bu nedenlerden ötürü boylamasına kaymanın tekerlek çınlamasına etkisi olduğu düşünülmemektedir. Flanş sürtünmesi, flanş ile yüksekteki rayın temas etmesi sonucu oluşur. Bu durum birçok kişi tarafından ray çınlamasının nedeni olarak kabul edilmektedir.

Yol kenarında uygulanan yöntemler içerisinde toprak banket uygulamalarının en etkin ve en ekonomik yöntem olduğu görülmektedir.

Tekerlek sönümlemesi dışında diğer gürültü kontrol yöntemleri;

- 1) Kurbalar inşa edilirken, yarıçaplarını 100-150 m.den daha küçük yapmamak,
- 2) Aksları birbirine paralel değil kurba yarıçapına uygun konumda durmasına izin veren vagonlar (bazen radyal vagonlar olarak da isimlendirilirler) kullanmak.

4.5 RAYLI SİSTEMLERDE GÜRÜLTÜ ÖNLEMLERİ ÖZETİ

Gürültüyü azaltmak için yapılan çalışmalar taşıt, yol ve çevre üzerinde olup, taşıt üzerinde alınan önlemler yolcuları ve personeli fazla gürültüden korumaya yöneliktir. Yol üzerinde ve yakınında uygulanan önlemler ise yolu kullananların dışındaki kişiler ve özellikle çevre sakinleri içindir.

Gürültüye karşı önlem alınırken hem gürültü seviyesinin ülkeler ve bölgeler için tanımlanmış olan sınır değerlerin altına indirilmesi hem de bunun en kolay, etkin ve ekonomik şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanır.

Gürültüyü azaltmak için yapılan çalışmaların marjinal maliyeti, gürültünün azalması sonucu oluşan marjinal faydaya eşitlenmelidir. Gürültüyü azaltmanın maliyeti, yolun etrafındaki insanlara gürültünün ulaşmaması için yapılan uygulamaların yapım maliyetleridir. Bunlar gürültü perdeleri, toprak setler, sesi absorbe eden yol kaplamaları, gürültüden etkilenen mülkiyetlerin kamulaştırılması ve yeniden yapılandırılmasıdır. Bu alternatiflerin farklı yapım maliyetleri olup, gürültü azaltma miktarına bağlı olarak fayda sağlar. Yönetmeliğe göre demiryolu gürültüsünü azaltmak için alınacak önlemler şunlardır:

- a) Bütün tren ve lokomotiflerin ses ölçümlerinin yapılması,
- b) Trenlerde gürültü kontrolü amacıyla lokomotiflere susturucu takılması,

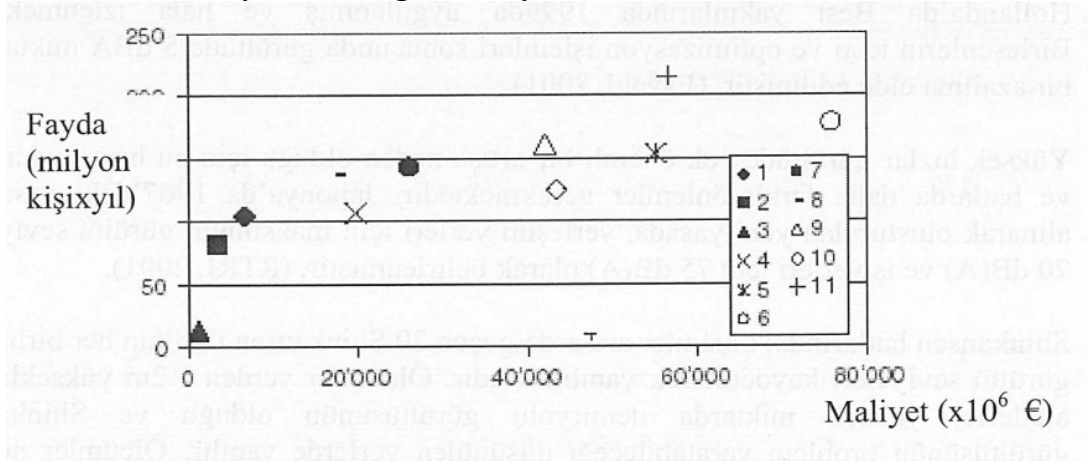
- c) Pik fren pabucu yerine kompozit malzemelerin kullanılması (bu sayede 8-10 dBA gürültüde azalma sağlanmaktadır (Oertli, 2006).
- d) Fren özelliklerinin değiştirilerek diskli frenlerin kullanılması,
- e) Makine yapısında önlemlerin alınması, mesela trenin soğutma fanlarında modifikasyonla ortalama 12 dBA gürültü azalma sağlanmıştır (Oertli, 2006).
- f) Lokomotif ve vagon tekerlek profillerinin düzeltilmesi, yağlanması ve tekerleklerde ses yutucu malzeme kullanımı gibi üstyapı ile ilgili tedbirlerin alınması,
- g) Rayların sık sık düzeltilmesi, taşlanması,
- h) Özel elastik gürültü sönümleyici malzeme kullanılması,
- i) Ray bağlantılarının kaynaklı hale getirilmesi,
- j) Banketlerin titreşim iletmeyen malzeme ile kaplanması,
- k) Tren yolu kodunun çevreye göre ayarlanması,
- l) Tren yolu çevrelerinin iç yüzeylerinde ses yutuculuğunun artırılması,
- m) Binalarda uygun yalıtımın yapılması,

- n) Yol kenarında uygun perdeleme tekniklerinin uygulanması (gürültü perdeleri veya setleri yapılarak, iyi bir bitkilendirme uygulanarak trafik gürültülerinin yol çevresine yayılmasının önlenmesi),
- o) Yeraltı istasyonları içinde yansımış sesleri kontrol etmek üzere duvar ve tavanlarda gerekli akustik önlemlerin alınması,
- p) Fanların ve diğer gürültü ekipmanının bulunduğu alanların, diğer genel kullanım mekânlarından uzaklaştırılması veya bölme duvarlarında ve kapılarında yalıtım yapılması,
- q) Alınacak önlemlerin etkinliğine yönelik ölçüm ve performans testlerin yaptırılması.
- r) En ekonomik ve en efektif önlemler gürültü kaynağında alınan önlemlerdir. Yani, ray-tekerlek temasındaki pürüzlüklerinin giderilmesi, sürtünmenin azaltılması, süreksizliklerin önlenmesi en efektif önlemler olmaktadır.

Eylem planlarına göre gürültü önleme projeleri genelde çok pahalı olduğu için bu durum demiryollarının gelişimini olumsuz etkileyecek bir sonuç olabilir. Bu nedenle gürültü önlemlerinde optimizasyona gidilmesi ve fayda-maliyet oranı en yüksek olan çözümlerin benimsenmesi gereklidir. Bu amaçla AB ve UIC sponsorluğu altında "Demiryolu Sistemleri için Gürültü Azalma Önlemlerinin Değerlendirme ve Uygulama Stratejileri ve Araçları" adında bir proje başlatılmıştır. Yedi Avrupa ülkesindeki toplam 11000 km uzunluğundaki yük hatları için bir çalışma yapılmıştır. Akustikle ilgili tüm geografik, trafik ve hat verileri *Eurano* 2001 programı ile modellenmiş ve özel geliştirilen bir ekstrapolasyon yöntemi ile Avrupa için tek bir değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışmada 3,5-76 milyar € arasında değişen farklı gürültü azaltma yöntemleri değerlendirilmiştir. En efektif yöntemin araçlarda komposit fren bloklarının olduğu ve fayda-maliyet oranı en düşük olan yöntemin gürültü bariyerleri olduğu görülmüştür.

Gürültü önlemlerinin fayda-maliyet grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.22). Fayda, 60 dBA seviyenin üstünde gürültüye maruz kalan insanlardaki azalma olarak ifade edilmiştir. Bu sonuçlar diğer ülkeler için de yük hatlarının az veya çok olmasına göre değişmekle beraber benzer sonuçlar verecektir. 11. nolu önlem ile toplam nüfusun yüzde 95'i için eşik gün boyu gürültü değeri olan $L_{dn}=60\text{dBA}$ 'nın altına inilmiştir. Hat ve araçta alınan önlemler birlikte olursa aynı gürültü azaltma etkisi daha düşük maliyetle sağlanmış olmaktadır (Oertli 2006).

Şekil 4.22: Maliyetler ve sağlanan faydalar



Kaynak. Arlı ve Öztürk Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu 2010

Ulaşım gürültüsünü azaltmak için yol, taşıt ve çevre üzerinde birçok önlem alınabilmektedir.

1. Yük vagonlarını (10 dB) azaltmak
2. Yük vagonlarına kompozit fren bloklarını (K-bloklarını) monte etmek
3. Rayları taşlamak
4. Raylara sönümleyici ilave etmek
5. 2m yüksekliğinde gürültü perdesi
6. 4m yüksekliğinde gürültü perdesi
7. K fren blokları, tekerlek profil optimizasyonu, raylara sönümleyici ilave etmek
8. K fren blokları, raylara sönümleyici ilave etmek

9. K fren blokları ve 2m yüksekliğinde gürültü perdesi
10. Rayları taşlamak ve 2m yüksekliğinde gürültü perdesi
11. K fren blokları, tekerlek profil optimizasyonu, raylara sönümleyici ilave etmek, rayları taşlamak ve 2m yüksekliğinde gürültü perdesi

Gürültü önlemlerinin optimizasyonu için benimsenen strateji (Oertli 2006):

- a) 1/25.000 veya 1/50.000 ölçekli ve pahalı olmayan gürültü haritalarının çıkarılması,
- b) Daha soma ilgili otoritelerle koordineli olarak farklı gürültü azaltma senaryolarının geliştirilmesi ve bu senaryolarının fayda- maiyet analizlerinin yapılması,
- c) Yasal mevzuat çerçevesinde optimum çözümlerin benimsenmesi ve optimal stratejinin geliştirilmesi,
- d) Bu stratejiye göre daha fazla üzerinde durulması gereken sınırlı alanlarda daha pahalı olan 3 boyutlu gürültü haritalarının çıkarılması.

Tren gürültüsünü azaltmaya çalışmadan önce, ilk olarak çeşitli kaynakları tanımlamalı ve her birinin ölçüm noktalarındaki toplam gürültüyü nasıl etkiledikleri belirtilmelidir. Gürültü; pantograf gürültüsü, araç gövdelerinin yarattığı aerodinamik gürültü, alt gövdenin yarattığı hareket gürültüsü ve betonarme yapıların gürültüsü olarak sınıflandırılabilir. Pantograf gürültüsü; pantografda oluşan aerodinamik gürültüyü, katanerdeki toplayıcının sürtünme gürültüsünü ve toplayıcı ile kataner arasındaki gürültüyü içerir. Araç gövdeleri tarafından oluşturulan aerodinamik gürültü vagon dış yüzeyindeki hava akımı sebebiyle oluşur ve tren burnunu, kabloları, pencere bağlantılarını, havalandırma sistemini ve vagonlar arasındaki aralıkları kapsar.

Hareket gürültüsü alt gövde tarafından yaratılır ve dönen tekerliklerin raylardaki gürültüsünü, dişlilerin gürültüsünü ve vagonların altındaki bojilerin yarattığı aerodinamik gürültüyü içerir. Yapıların yarattığı gürültü, betonla yükseltilmiş hattın alt yüzeyinden emilir.

Pantograf gürültüsü, zemindeki ölçüm noktasına aynı düzlemdeki diğer gürültü kaynaklarının hepsinden daha fazla etkir. Her türlü durumda, pantograf özel bir yeri geçtiğinde alınan gürültüye katkıda bulunan tek faktör pantograf gürültüsüdür. Mikrofon dizisi dikey konumlandırılmış mikrofonlardan oluşmadığı için dikey sesleri ayıramaz. Bu yüzden, alt gövdeden yaratılan gürültü seviyesi rayların yakınında ölçülür ve tüm ölçümler üst gövdenin yarattığı aerodinamik gürültüyle alt gövdenin yarattığı gürültüyü ayırt edecek şekilde değerlendirilir. Betonarme yapıların yarattığı gürültü çoğunlukla 100 Hz'in altındaki frekanslardan oluşur ve doğrudan; yükseltilmiş hat yapısının altındaki bir mikrofonla ölçülür.

Ses analizleri şu sonuçları verir:

- a) Aerodinamik gürültü, tren hızının 6. kuvvetiyle orantılıdır,
- b) Tekerlek-ray hareket gürültüsü, tren hızının 2.-3. kuvvetine eşittir
- c) Betonarme yapıların gürültüsü tren hızının 2. kuvvetine eşittir.
- d) Bu gürültü analizi gürültü kaynaklarının Shinkansen gürültüsüne etki miktarını ve tüm gürültü azaltıcı sistemlerin etkisini tayin etmek için kullanılır. Ölçüm noktası hattan 8-10 m aşağıda ve 25m uzaklıktadır. Bazı sonuçlar;
- e) 2 m.lik gürültü bariyeri düz olarak kullanılmakta iken ters L şeklinde ve ses emici malzemeli yapılması ek gürültü azaltması sağlamıştır.

- f) Raylar daha muntazamlaştırılarak taşıt gövde altı seslerinden en etkili olan yuvarlanma sesi büyük ölçüde azaltılmıştır.
- g) Pantograflar arası salınımı engelleyen kablolar bağlanmıştır.
- h) Pantografların üstüne pantograf gürültüsünü azaltmak için özel kalkanlar yerleştirilmiştir. Bu kalkanlar pantograf etrafındaki hava akımını ve pantografin neden olduğu aerodinamik gürültüyü azaltmış, ses emilimini arttırmıştır.
- i) Daha muntazam yapılan aero-dinamik kabuk gürültüyü azaltmıştır.
- j) Düşük gürültülü pantograf ve daha düzgün sürtünme yüzeyleri uygulanarak, pantograf gürültüsü ve aerodinamik gürültü azaltılmıştır.

5. MEVZUATIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve UYGULAMALAR

Kabul edilebilir gürültü düzeyleri, her gürültü kaynağı (Karayolu, demiryolu, endüstri ve uçak gürültüsü) ve yerleşke alanları için söz konusu yönetmelik ile belirlenmiştir. Yönetmelik 4-Haziran-2010 günü Resmi Gazete Sayı:27 601 kapsamında yayınlanarak yürürlüğe girmiştir (Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği, 2010).

5.1 AMAÇ, KAPSAM, DAYANAK VE TANIMLAR

MADDE 1 – (1) Bu Yönetmeliğin amacı; çevresel gürültüye maruz kalınması sonucu kişilerin huzur ve sükûnunun, beden ve ruh sağlığının bozulmaması için gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamak ve kademeli olarak uygulamaya konulmak üzere; değerlendirme yöntemleri kullanılarak çevresel gürültüye maruz kalma seviyelerinin, hazırlanacak gürültü haritaları, akustik rapor ve çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu ile belirlenmesi, çevresel gürültü ve etkileri hakkında kamuoyunun bilgilendirilmesi, gürültü haritaları, akustik rapor ve çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu sonuçları esas alınarak; özellikle çevresel gürültüye maruz kalma seviyelerinin insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere sebep olabileceği ve çevresel gürültü kalitesini korumanın gerekli olduğu yerlerde, gürültüyü önleme ve azaltmaya yönelik eylem planlarının hazırlanması ve bu planların uygulanması ile ilgili usul ve esasları belirlemektir.

MADDE 2 – (1) Bu Yönetmelik; özellikle nüfusun yoğun olduğu alanlarda, parklarda veya yerleşim bölgelerindeki diğer sessiz alanlarda, açık arazideki sessiz alanlarda, okul, hastane ve diğer gürültüye hassas alanlar da dahil olmak üzere insanların maruz kaldığı çevresel gürültüler ile çevresel titreşime yönelik esas ve usulleri kapsar.

(2) Bu Yönetmelik kişinin kendisinden dolayı maruz kaldığı gürültüyü, 26 ncı maddede belirtilen ev faaliyetleri dışındaki gürültüler ile komşuların oluşturduğu gürültüyü,

22/5/2003 tarihli ve 4857 sayılı İş Kanunu kapsamındaki işyerlerinde çalışan işçilerin maruz kaldığı gürültüyü, ulaşım araçlarının iç gürültüsünü ve askeri alanlardaki askeri faaliyetlere bağlı gürültüyü kapsamaz.

MADDE 3 – (1) Bu Yönetmelik; 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 14 üncü maddesi ile 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkındaki Kanunun 9 uncu maddesinin birinci fıkrasının (b) bendine dayanılarak hazırlanmıştır.

MADDE 4 – (1) Bu Yönetmelikte geçen;

a) Açık arazideki sessiz alan: Yetkili idare tarafından ulaşım, sanayi veya rekreasyon faaliyetlerinden kaynaklanan her türlü gürültü rahatsızlığına maruz kalmayacak şekilde ayrılan bir alanı,

b) Ağırlıklama: İnsan işitme sisteminin özelliğinin dikkate alınarak, ses basıncı seviyesinin frekanslara göre farklı şekilde değiştirilmesini,

c) Ağırlıklanmış ses azaltma indeksi (R_w): Malzemelerin ses yalıtım performansının laboratuvar şartlarında ölçülen ve tek bir değer olarak ifade edilen etiket değerini,

ç) Akşam gürültü göstergesi (Lakşam): A ağırlıklı uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalaması olup, yılın akşam sürelerinin tamamına göre belirlenen ve akşam süresindeki rahatsızlığı ifade etmekte kullanılan etkilenim seviyesini,

d) Akustik gölge bölgesi: Ses dalgalarının bir çevrede yayılmaları sırasında engeller, rüzgâr etkisi ve günlük sıcaklık değişimleri gibi dış etkilerle kırılma ve kıvrımlara uğramaları sonucu ortaya çıkan ve içerisinde ses seviyelerinin 10 dB kadar azalma gösterdiği alanları,

e) Akustik planlama: Gelecekte var olabilecek gürültülerin arazi kullanım planlaması, trafik ve trafik planlaması için sistem mühendisliği ile ses yalıtımı tedbirleri ve gürültü kaynaklarının kontrolü gibi planlanmış tedbirler kullanılarak kontrol edilmesini,

f) Akustik rapor: 29/4/2009 tarihli ve 27214 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2’sinde yer alan ve 7/3/2008 tarihinden önce kurulmuş veya bu tarihten sonra planlama ve kurulma aşamasını tamamlayarak faaliyete geçmiş işletmelerin, tesislerin değerlendirme yöntemleri kullanılarak oluşması muhtemel çevresel gürültü seviyelerinin belirlendiği ve sınır değerlerin aşılmış aşılmadığını gösteren raporu,

g) Alıcıda tedbirler: Gürültünün azaltılmadığı ortamlarda özellikle yüksek seviyeli gürültüden korunmak için kişilerin işitme organlarının korunmasına yönelik etkilenen kişi üzerinde alınabilecek tedbirleri,

ğ) Ana kara yolu: Yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği bölgesel, ulusal veya uluslararası bir kara yolunu,

h) Ana demir yolu: Yılda otuz binden fazla trenin geçtiği bir demir yolunu,

ı) Ana hava limanı: Hafif uçaklarla tamamen eğitim maksatlı olarak yapılanlar hariç olmak üzere, yılda elli binden fazla kalkış ve inişin gerçekleştiği sivil hava alanını,

i) Arka plan gürültüsü: Bir çevrede incelenen sesler bastırıldığında, verilen konumdaki ve verilen durumdaki geriye kalan toplam sesi,

j) Atölye: Zanaatçıların veya resim, heykel sanatlarıyla uğraşanların çalıştığı işyerleri ile dokuma, konfeksiyon, torna, demir, doğrama ve benzeri işyerlerini,

k) Bakanlık: Çevre ve Orman Bakanlığını,

l) Canlı müzik: Gerçek enstrüman ve/veya seslerle veya banttan ya da elektronik olarak yükseltilmiş ses kaynağı kullanılarak yapılan müzik türünü,

m) Çevresel gürültü: Ulaşım araçları, kara yolu trafiği, demir yolu trafiği, hava yolu trafiği, deniz yolu trafiği, açık alanda kullanılan teçhizat, şantiye alanları, sanayi tesisleri, atölye, imalathane, işyerleri ve benzeri ile rekreasyon ve eğlence yerlerinden çevreye yayılan gürültü dâhil olmak üzere, insan faaliyetleri neticesinde oluşan zararlı veya istenmeyen açık hava seslerini,

n) Çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu: Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2'sinde yer almayan ve bu Yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden önce kurulmuş veya bu Yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden sonra kurulması planlanan veya kurulup işletmeye geçen işletmelerin, tesislerin, işyerlerinin değerlendirme yöntemleri kullanılarak oluşması muhtemel çevresel gürültü seviyelerinin belirlendiği ve sınır değerlerin aşılmadığını gösteren raporu,

o) Çevresel tedbirler: Yapıların dışında veya içinde yer alan gürültü kaynaklarından doğan seslerin, yapı içindeki kişilere ulaşıncaya kadar yayıldığı ortamda yapılabilecek her türlü gürültü kontrolü çalışmasını,

ö) Çevresel titreşim: Maden ve taş ocakları, ulaşım araçları, sanayi ve inşaat makineleri gibi işlemlerden doğan ve yapılarda kullanım alanı dışında başka maksatlarla kullanılan hacimlerdeki faaliyetler sırasında oluşan genellikle katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılan ve insan vücudunca hissedilen mekanik salınım hareketlerini,

p) ınlama süresi (sn): Bir hacmin akustik özelliğini frekansa bağlı olarak belirleyen parametreyi ve hacim içinde faaliyette olan bir ses kaynağının susmasından itibaren ses basınç seviyesinin 60 dB azalması için geçen süreyi,

r) ok hassas kullanımlar: Konut, yataklı hizmet veren sağlık kurumları, eğitim kurumları, ocuk ve yaşılı bakım evleri, canlı müzik izni almıő olan oteller hariç diğer oteller, açık arazideki ve yerleşim alanı içindeki sessiz alanlar gibi kullanımları,

ő) Darbe gürültüsü: İki kütlenin birbirine çarpması ile ortaya çıkan gürültüyü,

ş) dB: Birbirinden mertebe farklılıkları gösteren, nicelikleri anlamlı olarak ifade etmede kullanılan logaritmik bir leği,

t) dBA: İnsan işitme sisteminin düşük Őiddetteki seslere karşı en çok hassas olduğu orta ve yüksek frekanslara daha fazla ağırlık veren, A ağırlıklı ses seviyesi olarak tabir edilen ve gürültünün etkilenim değerlendirilmesi ve kontrolünde yaygın olarak kullanılan bir ses seviyesi ölçütünü,

u) Değerlendirme: Bir gürültü göstergesi veya ilgili zararlı etkilerin değerini hesaplamak, tayin etmek, öngörmek, tahmin etmek veya ölçmek için kullanılan her türlü yöntemi,

) Doz-etki ilişkisi: Bir zararlı etki ile gürültü gösterge değerı arasındaki iliőkiyi,

v) Eğlence yeri: Bir konaklama tesisi bünyesinde veya müstakil olarak faaliyet gösteren, müőterinin eğlence ihtiyaını karőılamaya yönelik canlı müzik hizmeti veren işyerini,

y) Eşdeğer gürültü seviyesi (Leq): Belli bir süre içinde seviyeleri değişim gösteren, genellikle A ağırlıklanmış ses seviyesi olarak ölçülen, gürültünün enerji açısından eşdeğeri olan sabit seviyeyi,

z) Ev faaliyetleri ve komşuların oluşturduğu gürültü: Konut içerisinde kişilerin kendi davranış ve alışkanlıklarından kaynaklanan; kapı, pencere kapatma, yürüme, konuşma, temizlik yapma, mobilya çekme, televizyon seyretme, radyo dinleme, eğlence amacı dışında kullanılan her türlü müzik aleti, çamaşır makinesi, buzdolabı, elektrik süpürgesi gibi aletleri kullanma, evcil hayvan besleme gibi faaliyetler ile bina içinde yapılacak tadilatı,

aa) Eylem planı: Gerektiğinde gürültü seviyesinin düşürülmesi de dahil olmak üzere gürültü ile ilgili sorunlar ve etkileriyle baş etmek için tasarlanan planları,

bb) Fiziksel çevre faktörleri: Sesin kaynaktan kullanıcıya, yapı veya etkilenen kişilere iletilmesi sırasında geçtiği fiziksel çevrede bulunan ve ses yayılımını etkileyen gürültüyü artırıcı veya azaltıcı her türlü faktörü,

cc) Gündüz, akşam, gece gürültü göstergesi (Lgag): A ağırlıklı uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalaması olup, günlük toplam rahatsızlığı ifade etmekte kullanılan etkilenim seviyesini,

çç) Gündüz gürültü göstergesi (Lgündüz): A ağırlıklı uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalaması olup, yılın gündüz sürelerinin tamamına göre belirlenen ve gündüz süresindeki rahatsızlığı ifade etmekte kullanılan etkilenim seviyesini,

dd) Gece gürültü göstergesi (Lgece): A ağırlıklı uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalaması olup, yılın gece sürelerinin tamamına göre belirlenen ve gece süresindeki uyku kaçıracı rahatsızlığı ifade etmekte kullanılan etkilenim seviyesini,

ee) Gürültü göstergesi: Bir zararlı etki ile ilgili olarak çevresel gürültünün tanımlanmasında kullanılan fiziksel bir ölçeği,

ff) Gürültü haritalama: Yürürlükte bulunan her türlü sınır değerini aşıllp aşıllmadığını göstermek gayesiyle, belirli bir alanda etkilenen kişi ve maruz kalan konut sayısı da dâhil olmak üzere, mevcut veya gelecekte ortaya çıkabilecek bir gürültü durumu hakkındaki verilerin; gürültü göstergesi kullanılarak söz konusu alanın fiziksel haritası üzerinde standartlara uygun olarak belirtilmesini,

gg) Gürültü kontrolü: Herhangi bir ses kaynağından yayılan gürültü niteliğine sahip sesleri, kabul edilebilir seviyeye indirmek, akustik özelliğini değiştirmek, etki süresini azaltmak, hoşa giden veya daha az rahatsız eden bir başka ses ile maskelemek gibi yöntemlerle zararlı etkilerini tamamen veya kısmen yok etmek için yapılan işlemleri,

ğğ) Hassas olmayan kullanımlar: Otoparklar, garajlar, eğlence yerleri, sanayi tesisleri gibi kendisi gürültü kaynağı olabilen alan ve kullanımları,

hh) İç ortam gürültüsü: Yapı içindeki mekanik sistemler ve diğer gürültü kaynaklarından doğan ve mekân içinde bulunan insanları olumsuz etkileyen istenmeyen ve zararlı seslerin bütünü,

ıı) İmalathane: Hammaddeleri işleyerek piyasaya çıkacak duruma getiren işyerini,

ii) İşletme: Tesis ve faaliyetlerin bütünü,

jj) İşyeri: Kamu kurum ve kuruluşları, ticari kuruluşlar, hizmet binaları, spor tesisleri, tabanca ve tüfek poligonları, alışveriş merkezleri, tedavi merkezleri, halı ve oto yıkama yerleri, depolama yerleri, matbaalar gibi yerleri,

kk) Kaynakta tedbirler: Gürültü üreten ses kaynağının yapısı, işletme tekniği, oturduğu zemin, montaj biçimi ve buna benzer doğrudan kaynak ile ilgili olarak alınabilecek tedbirleri,

ll) Kamuoyu: Bu Yönetmeliğin uygulanması açısından, bir veya daha fazla gerçek veya tüzel kişi ile bunların ulusal mevzuat veya uygulamaya uygun olarak oluşturduğu dernek, örgüt veya grupları,

mm) Kesikli titreşim: Delicilerdeki gibi sürekliliği olmayan ya da kazık çakıcılardaki gibi belirli aralıklarla tekrarlanan titreşimi,

nn) LC max: dBC olarak ölçülen, ölçüm süresi içerisinde C ağırlıklı rms tabanlı ses seviyesinin en büyük değerini,

oo) Oktav bant: Gürültü enerjisinin frekansa göre değişimini ortaya çıkarmakta yararlanılan alt ve üst frekans sınırlarının birbirinin iki katı olan frekans bandı ve bant genişliğinin merkez frekansının % 70'ine eşit olduğu bandı,

öö) Orta derecede hassas kullanımlar: İdari ve ticaret binaları, çocuk bahçeleri, oyun alanları ve spor tesisleri gibi kullanımları,

pp) Planlanan faaliyetler için akustik rapor: 17/7/2008 tarihli ve 26939 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinin Ek-I listesinde bulunan ve Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2'sinde yer alan “ * ” işareti bulunmayan kurulması planlanan işletmelerin, tesislerin ve ulaşım kaynaklarının değerlendirme yöntemleri kullanılarak oluşması muhtemel çevresel gürültü seviyelerinin belirlendiği ve sınır değerlerin aşılması halinde alınacak tedbirlerin bütününe içeren raporu,

rr) Rahatsızlık: Alan araştırmaları vasıtasıyla belirlenen toplumsal gürültü veya titreşim rahatsızlığının derecesini,

ss) Rekreasyon alanı: Kişinin fiziksel ve psikolojik olarak kendisini tekrar kazanabilmesini sağlayan dinlenme, eğlenme, gezi, serbest zamanları değerlendirme gibi çeşitli faaliyetleri kapsayan geniş eylem alanlarını,

řř) Ses basıncı seviyesi (L_p): Ortamda belli bir noktada ölçülen ses basıncının, 20×10^{-6} Pa veya 20 μ Pa referans ses basıncına oranının 10 tabanına göre logaritmasının 20 ile çarpılmasıyla bulunan ve dB cinsinden ifade edilen değeri,

tt) Ses gücü seviyesi (L_w): Bir ses kaynağının yaydığı ses gücünün milletlerarası standartlarda tanımlanan referans ses gücüne oranının 10 tabanına göre logaritmasının 10 ile çarpılmasıyla bulunan ve dB cinsinden ifade edilen değeri,

uu) Seviye ayarlaması: Gürültünün türüne ya da belirgin olarak duyulan bir frekansın varlığına bağlı olarak, ölçülen ya da hesaplamayla bulunan eşdeğer gürültü seviyesine eklenecek değeri,

üü) Sınır değer: Yetkili idarece belirlenen, aşılması halinde yetkili idarece dikkate alınan ve azaltıcı tedbirlerin uygulamaya konulmasına yol ačan L_{gag} veya L_{gece} , ve uygun olan hallerde $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} ve L_{eq} değerini,

vv) Stratejik gürültü haritası: Farklı kaynaklar bazında mevcut gürültü durumunun veriler sayesinde sergilenmesini,

yy) Sürekli titreşim: Gündüz veya akşam veya gece vakti gibi belirlenen bir zaman dilimi boyunca engellenmeden devam eden titreşimi,

zz) Tepe değer: Verilen bir zaman aralığındaki en yüksek titreşim değerini,

aaa) Tesis: Bu Yönetmelikte tanımlanan işyeri, atölye, imalathane, eğlence yeri kapsamı dışında kalan ve Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2'sinde yer alan tesisleri,

bbb) Titreşimin yer değiştirme, hız, ivme cinsinden rms değeri: Belirli bir zaman aralığında ölçülen titreşim değerlerinin karelerinin ortalamasının karekökünü,

ccc) Titreşimden etkilenme sınırı: Titreşimin; insan sağlığı, performansı ve konforu üzerinde oluşturduğu hareket hastalığı gibi fizyolojik ve psikolojik etkilerle yapılarda oluşturduğu hasarların başlama sınırlarındaki, titreşim ivmesi, hızı, genliği, frekansları ve etkilenme süresi gibi parametrelerle ortaya konulmuş kriterleri,

ççç) Gürültü haritası hazırlanacak yerleşim alanı: Nüfusu yüz binden fazla olan, şehirleşmiş alan olarak kabul edilen ve nüfus yoğunluğunun kilometre kare başına 1000 kişiden fazla olduğu alanları,

ddd) Yerleşim alanı içindeki sessiz alan: Yetkili idare tarafından gürültü kaynakları için belirlenen sınır değerlerin üstüne veya yetkili idare tarafından konulmuş belli bir değerden daha büyük bir gürültü gösterge değerine maruz kalmayacak şekilde ayrılan bir alanı,

eee) Yetkili idare: İkinci bölümde belirtilen idareleri,

fff) Zararlı etkiler: İnsan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri ifade eder.

5.2 GÖREV, YETKİ VE SORUMLULUKLAR

MADDE 5 – (1) Bakanlık;

a) Kişilerin huzur ve sükûnunu beden ve ruh sağlığını gürültü ile bozmayacak bir çevrenin geliştirilmesi gayesiyle, çevresel gürültüyü azaltacak program ve politikaları belirlemek, buna yönelik mevzuat ve mevzuatın uygulanmasını kolaylaştırıcı her türlü dokümanı hazırlamak, bu Yönetmeliğin uygulanmasında işbirliği ve koordinasyonu sağlamakla,

b) Çevre Kanunu çerçevesinde il çevre ve orman müdürlükleri ve yetki devri yapılan belediyelerle işbirliği ve koordinasyon içinde gürültü kaynaklarını denetlemek, gerektiğinde gürültü kaynakları için akustik rapor veya çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu hazırlattırmak, bu raporları incelemek ve değerlendirmek, bu Yönetmeliğin ihlalinin tespiti halinde idari yaptırım uygulamak, yetki devri yapılacak kurumlarda aranacak esasları belirleyip yetki devri yapmakla,

c) Bu Yönetmeliğin uygulanmasından yetkili ve sorumlu kılınan kurum ve kuruluşlar ile bu Yönetmelik gereği hazırlanacak akustik rapor, çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu, gürültü haritası ve eylem planı hazırlayacak kurum ve kuruluş temsilcilerinin uzmanlaşmasını sağlayıcı programların içeriği ve programların uygulama prosedürünü belirlemekle,

ç) Akustik rapor, çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu, gürültü haritası ve eylem planı hazırlayacak kurum ve kuruluşların sağlaması gereken esasları belirlemek, esasları sağlayanlara ön yeterlik/yeterlik belgesi vermek, ön yeterlik/yeterlik belgesi alan ve bu kapsamda görev yapan kurum ve kuruluşları denetlemek, belgelendirme esaslarına aykırı davranılmasının tespiti halinde gerekli yaptırımın uygulanmasını sağlamak ve gerekirse ön yeterlik/yeterlik belgesini iptal etmekle,

d) Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmeliğin Ek-1’inde yer alan işletme ve tesislere verilecek çevre izin veya çevre izin ve lisans belgesi kapsamında değerlendirme yapmak, bu çerçevede işletmeleri denetlemek, bu Yönetmelikte belirtilen esaslara aykırılık halinde gerekli yaptırımı uygulamak ve uygulanmasını sağlamakla,

e) Stratejik Gürültü Haritaları ve Eylem Planları ile ilgili olarak;

1) Yetkili ve sorumlu kurum ve kuruluşlarca hazırlanan gürültü haritaları ve eylem planlarına görüş vermekle,

2) Yetkili ve sorumlu kurum ve kuruluşlarca hazırlanarak Bakanlığa gönderilen gürültü haritaları ve eylem planları ile Ek-VI’da yer alan her türlü bilgi ve belgeye yönelik veri bankası oluşturmakla yetkili ve sorumludur

5.3 KURUM, KURULUŞ VE İŞLETMELERCE ALINACAK TEDBİRLER

MADDE 8 – (1) Kurum, kuruluş veya işletmelerden;

a) Sağlık Bakanlığı; 13/12/1983 tarihli ve 181 sayılı Sağlık Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname gereği işitme sağlığı ve kritik sağlık etkileri göz önüne alınarak gürültüden etkilenme seviyelerinin belirlenmesi ve izlenmesine ilişkin esas ve usullerin belirlenmesiyle,

b) Diyanet İşleri Başkanlığı; dini tesislerde ses yükseltici kullanımından çevreye yayılan sesin kontrolüne ilişkin esasların belirlenmesiyle,

c) İşletme, tesis (fabrika), işyeri, atölye, imalathane, eğlence yeri ve ulaşım kaynaklarını planlayan ve işletenler;

1) Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2'sinde yer alan işletme ve tesisler için çevre izin veya çevre izin ve lisans belgesine esas olacak akustik raporu hazırlatmak ve bu Yönetmelik ile belirlenen sınır değerlerin sağlanmadığı durumlarda gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamakla,

2) Kurulması planlanan ve Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2'sinde yer alan işletme ve tesisler ile 18, 19, 20 ve 21 inci maddelerinde yer alan ulaşım kaynakları için hazırlanacak çevresel etki değerlendirme raporu veya proje tanıtım dosyasının gürültü ile ilgili bölümünün bu Yönetmelikte yer alan esaslar çerçevesinde hazırlanmasını sağlamakla,

3) Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2'sinde yer almayan işletme, tesis, işyeri, imalathane ve atölyeler ile eğlence yerleri ve benzeri yerlerle ilgili işyeri açma ve çalışma ruhsatı safhasında veya programlı, programsız veya şikâyete istinaden yapılacak denetimlerde, yetkili idarenin talebine istinaden çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu hazırlatmakla,

4) Sanayi tesisi, atölye, imalathane, eğlence yeri gibi işletmeciler ile liman işletmecileri; bu alanların gürültü haritalarının hazırlanmasından sorumlu kurum ve kuruluşun talebi halinde istenen verileri belediyeye veya il özel idarelerine iletmekle,

ç) Ulaştırma Bakanlığı;

1) Devlet yolları ve otoyollardan, ana karayolları sınıfına giren karayollarını, ana demiryolları ve ana havaalanlarını belirleyip listesini Bakanlığa bildirmekle,

2) Yerleşim alanları içindeki devlet yolları ve otoyollar için gürültü haritası hazırlanmasında gerekli olacak verileri Belediyeye iletmekle,

3) Yerleşim alanı dışında devlet yolları ve otopanlardan, ana karayolları sınıfına giren karayollarının gürültü haritasını hazırlamakla,

4) Yerleşim alanı dışında yer alan ana demiryolları ve ana havaalanlarının gürültü haritasını hazırlamakla,

5) Sorumluluk alanlarına göre yerleşim alanı dışında; ana karayolu, ana demiryolu ve ana havaalanı yakınındaki alanlarda yer alan devlet yolları ve otopanlar ile demiryolları ve havaalanlarının gürültü haritasını hazırlamakla,

6) Yerleşim alanı içinde yer alan ve sorumluluk alanına giren demiryollarının ve havaalanlarının gürültü haritasını hazırlamakla,

7) Planlanan karayolları, demiryolları ve havaalanları için mevcut veya ileriye yönelik projelendirme veya başka bir yatırım gerçekleştirme konusunda çalışması olabilecek ilgili tüm kurum ve kuruluşların görüşlerini almak, bu görüşler çerçevesinde gürültü kontrol tedbirlerine ilişkin programlar hazırlamakla,

8) Gürültü haritalarının nihai hali hakkında kamuoyuna bilgi vermekle ve Bakanlığa göndermekle ilgili hususlarda gerekli tedbirleri alır.

Demir yolu ulaşım araçlarında uyulması gereken şartlar

MADDE 10 – (1) Banliyö ve şehirlerarası trenler ile ağır ve hafif metroların dış gürültü seviyeleri ile yolcu ve tren çalışanlarının kulak sağlığı ve konforu açısından iç gürültü ve vagon içi titreşim seviyelerine ilişkin düzenlemeleri 9/4/1987 tarihli ve 3348 sayılı Ulaştırma Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun hükümleri uyarınca Ulaştırma Bakanlığı yapar.

5.4 ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ ESAS VE KRİTERLERİ

MADDE 16 – (1) Çevresel gürültü göstergelerinin seçimine ve bu göstergelerin uygulanmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:

a) Gürültü haritaları ve bunların revizyonu çalışmalarında Ek-I-1.1.1 ve Ek-I-1.1.2’de belirtilen Lgag ve Lgece gürültü göstergeleri kullanılır.

b) Akustik planlama, akustik gölge bölgeleme çalışmaları için Lgag ve Lgece gürültü göstergeleri dışında başka gürültü göstergeleri kullanılabilir.

c) (a) ve (b) bentleri dışındaki özel durumlar için Ek-I-1.2’de listelenen ilave gürültü göstergeleri kullanılabilir.

MADDE 17 – (1) Çevresel gürültü seviyelerinin değerlendirilmesine ilişkin yöntemler aşağıda belirtilmiştir:

a) Ek-I’de tanımlanan çevresel gürültü göstergeleri Ek-II’de belirtilen değerlendirme yöntemleri aracılığı ile belirlenir.

b) Mevcut gürültü seviyesinin toplum üzerindeki etkilenme derecesi ve gürültünün günlük yaşamda çeşitli eylemler üzerinde olabilecek zararlı etkileri Ek-III’de verilen doz-etki ilişkisi kullanılarak tespit edilir. Doz-etki ilişkisine ait etkilenme analizine dair kılavuz Sağlık Bakanlığının uygun görüşü alınarak

MADDE 19 – (1) Raylı sistemlerden kaynaklanan gürültü seviyesi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler aşağıda belirtilmiştir:

a) Raylı ulaşım sistemlerinden çevreye yayılan gürültü seviyesi Lgündüz 65 dBA, Lakşam 60 dBA ve Lgece 55 dBA sınır değerlerini aşamaz.

b) Hafif raylı sistemlerin yer altından geçtiği kapalı alanlar ile yer üstünden geçtiği alanlarda; bekleme, iniş ve binış platformlarında, istasyonlarda ve havalandırma kanallarında zaman dilimine bağılı olarak oluşabilecek Leq cinsinden çevresel gürültü sınır değerleri Ek-VII'de yer alan Tablo-2'deki değerleri aşamaz.

c) Hafif raylı sistemlerin yer altından geçtiği yerlerde istasyon boş iken 500 Hz'de maksimum çnlama süresi proje hedef değeri için 1.4, kabul değeri için ise 1.6 saniye olur. Kent içi ve dışında hafif raylı ulaşım sisteminin gürültüye hassas alanlardan geçtiği yerlerde gürültü perdeleme teknikleri dikkate alınarak etkin ve uygulanabilir tedbirler alınır.

5.5 GÜRÜLTÜYE HASSAS KULLANIMLARIN BULUNDUĞU ALANLAR İÇİN ESAS VE KRİTERLER

Siren, düdük veya benzeri acil ve olağanüstü durum sinyal aletlerinin acil ve olağanüstü durum dışında kasten çalıştırılmaları veya çalıştırılmasına izin verilmesi yasaktır. Olağanüstü durum sinyallerinin denenmesi saat 10.00'dan önce ve 20.00'den sonra olmamak şartıyla uygulanır.

5.6 STRATEJİK GÜRÜLTÜ HARİTALAMA ESAS VE KRİTERLERİ

MADDE 29 – (1) Stratejik gürültü haritalarının hazırlanmasında aşağıdaki esaslara uyulur:

a) En geç 30/6/2013 tarihine kadar;

1) İki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları,

2) Yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları,

3) Yılda altmış binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları,

4) Yılda elli binden fazla hareketin gerçekleştiği ana hava alanları

için bir önceki takvim yılındaki durumu gösteren stratejik gürültü haritaları hazırlanır.

b) En geç 30/6/2011 tarihine kadar ve daha sonra her beş yılda bir stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olan; yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda altmış binden fazla sayıda trenin geçtiği ana demir yolları, ana hava alanları ve iki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları Bakanlığa bildirilir.

c) 30/6/2018 tarihine kadar ve bu tarihten sonra her beş yılda bir;

1) Yüz binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları,

2) Yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları,

3) Yılda otuz binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları

için bir önceki yıldaki durumu gösteren stratejik gürültü haritaları hazırlanır.

ç) En geç 30/6/2014 tarihine kadar ve daha sonra her beş yılda bir stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olan; yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda otuz binden fazla sayıda trenin geçtiği ana demir yolları ve yüz binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları Bakanlığa bildirilir.

d) Stratejik gürültü haritaları Ek-IV'te yer alan stratejik gürültü haritalama için asgari gereksinimleri karşılayacak nitelikte hazırlanır.

e) Komşu konumda olan ülkelerin sınırlarına yakın bölgelerin stratejik gürültü haritalarının hazırlanmasında, Dışişleri Bakanlığı koordinasyonunda işbirliği yoluna gidilir.

f) Stratejik gürültü haritaları hazırlandıkları tarihten sonra en az beş yılda bir gözden geçirilir ve gerektiğinde revize edilir.

g) Bu maddenin birinci fıkrasının (a) bendinin (1) numaralı alt bendi ile (c) bendinin (1) numaralı alt bendinde verilen yerleşim alanları için hazırlanacak gürültü haritaları; kara yolu, demir yolu, hava yolu trafik gürültüsü ile limanlar, sanayi alanları, atölye-imalathane-eğlence yerleri ve benzeri işletmelerin bulunduğu alanlar için ayrı ayrı yapılır.

5.6.1 Stratejik Gürültü Haritasının Hazırlanması

Çevresel gürültünün değerlendirilmesinde kullanılan başlıca yöntem gürültü haritalarıdır. Demiryolu gürültüsü için, mevcut mevzuata göre Hollanda ulusal hesaplama yöntemi "*Reken – Meervoorschrift Railverkeer Slawaai*" 96 kullanılmaktadır.

Gürültü haritaları hazırlanırken aşağıdaki faktörler göz önüne alınır:

- a) Gürültü Kaynakları
- b) Yansıma, kırınım ve topoğrafya etkisi
- c) Alıcı

Gürültü kaynakları açısından, demiryollarına özgü olarak gürültü düzeyini belirleyen faktörler incelendiğinde:

Tren Tipleri: Demiryolu kaynaklı gürültü düzeyinin belirlenmesinde başlıca unsur, hatta kullanılan tren tipidir. Demiryollarının pilot bölgede kullandığı tren tipleri tespit edilecek ve gürültü haritası yazılım programına girilecektir.

Demiryolu Hattı Parametreleri: Demiryolu hattının yapısı gürültü düzeyini belirleyen diğer önemli etkenlerdir. Bunları:

Demiryolunun Tasarımı,

Demiryolunun Eğimi ve Kavisleri,

Demiryolunun Yapısı (Ahşap-beton travers, yatak tipi, geçit ve makas sayısı vb),

Hat Sayısı ve Genişliği,

Diğer Faktörler (Tüneller, köprü ve viyadüklerin varlığı, çevredeki yüksek binalar, vs.)

şeklinde sıralamak mümkündür.

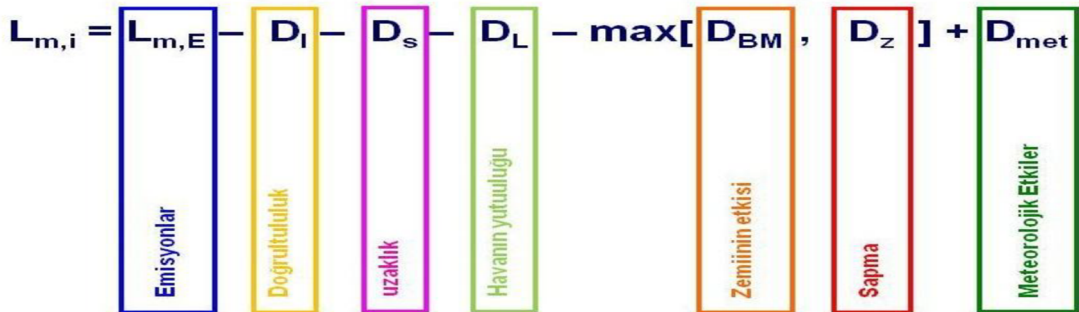
Topografik Özellikler: Diğer unsurlar ise gürültünün yayıldığı arazinin topoğrafik durumudur. Bunlarda;

Alıcı ve Kaynak Arasındaki Kot Durumu

Gürültü yayılım hattında yansıtıcı, emici, yönlendirici yapıların varlığı (Tüneller, köprü ve viyadükler, çevredeki yüksek binalar, vs.) şeklinde sıralanabilir.

5.6.2 Alıcıdaki Gürültü Düzeyinin Hesaplanması

Yukarıdaki faktörler göz önüne alınarak, demiryolu kaynaklı çevresel gürültünün alıcılardaki seviyesi şu formülle hesaplanır:

$$L_{m,i} = L_{m,E} - D_I - D_s - D_L - \max[D_{BM}, D_z] + D_{met}$$


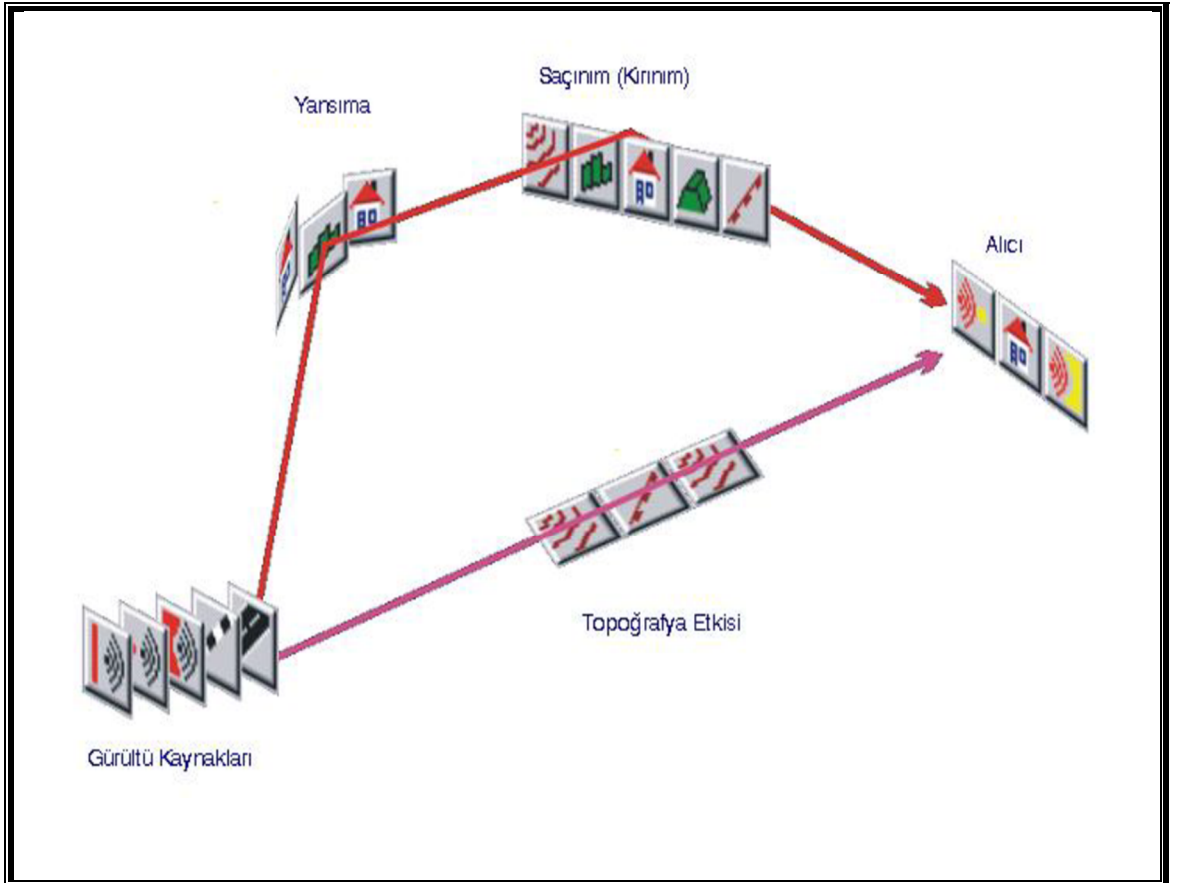
The diagram illustrates the calculation of the noise level at the receiver ($L_{m,i}$) based on various factors. The formula is $L_{m,i} = L_{m,E} - D_I - D_s - D_L - \max[D_{BM}, D_z] + D_{met}$. Each term is represented by a colored box with a label: $L_{m,E}$ (Emisyonlar), D_I (Doğrultululuk), D_s (uzaklık), D_L (Havanın yutuluğu), D_{BM} (Zeminin etkisi), D_z (Sapma), and D_{met} (Meteorolojik Etkiler).

Bu hesaplama yapılırken her bir parametreye ait veriler simülasyon programına girilir ve simülasyon programı tüm bu faktörleri göz önüne alarak bölgedeki gürültü haritalarını oluşturur. Oluşturulan gürültü haritaları Yönetmelikte belirtildiği üzere kamuoyuyla paylaşılır.

5.6.3 Gürültünün Yayılması

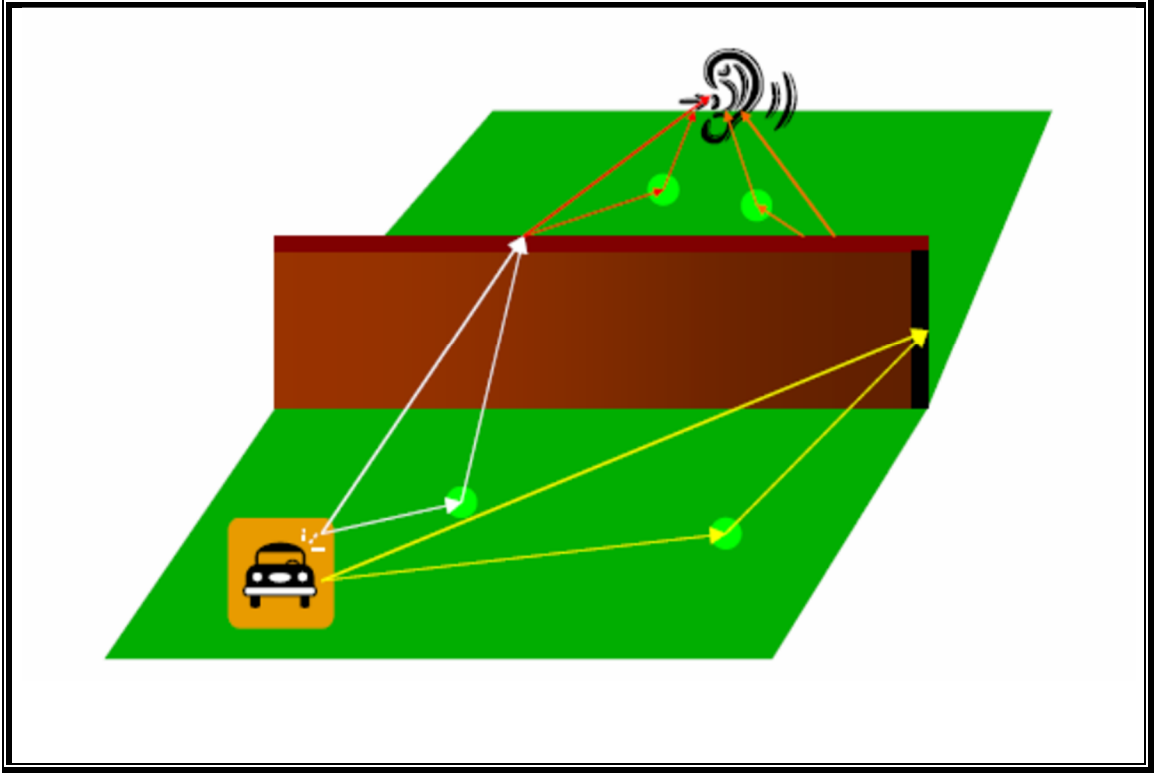
Gürültü kaynağından ses yansıma, saçınım (kırınım) ve topoğrafya etkisi ile alıcıya ulaşır (Şekil 5.23 ve 5.24).

Şekil 5.23: Gürültünün yayılma şekli



SoundPLAN programında çalışma

Şekil 5.24: Yansıma kırınım ve topoğrafya

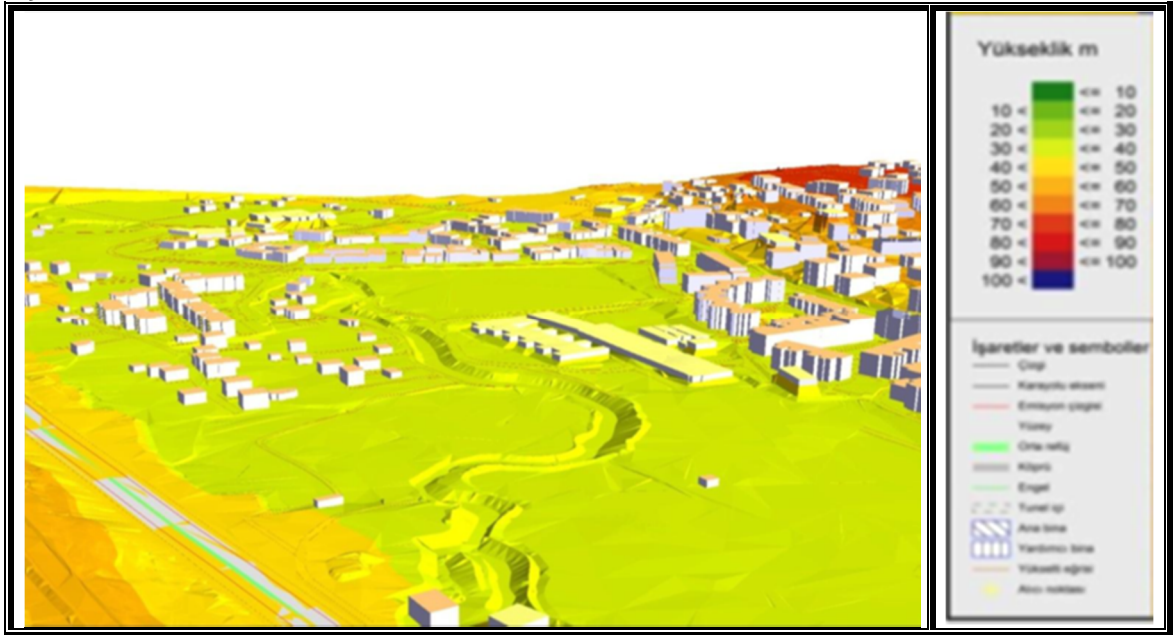


SoundPLan programında çalışma

5.6.4 Arazi Modellemesi

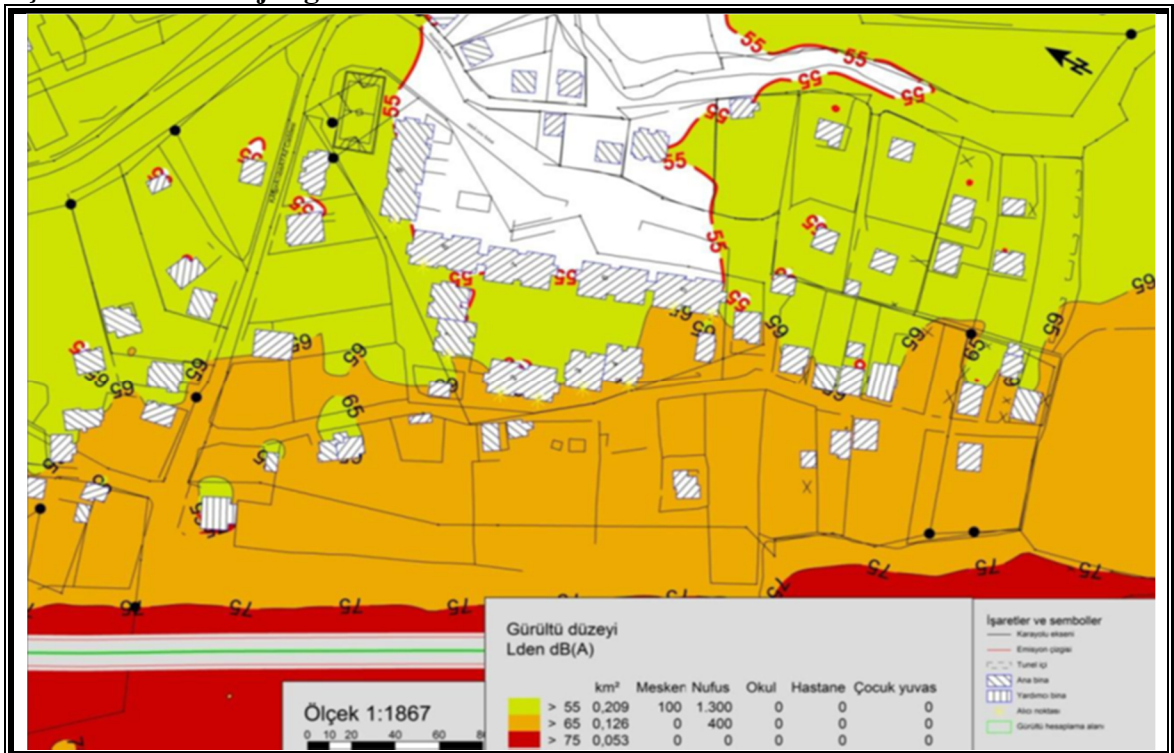
Gürültü kaynaklarının yayılımını tespit için arazinin modellenmesi yapılır (Şekil 5.25). Bu modelleme ile stratejik gürültü haritalarına geçilir (Şekil 5.26).

Şekil 5.25: Arazi modellemesi



SoundPLAN programında çalışma

Şekil 5.26: Stratejik gürültü haritası



SoundPLAN programında çalışma

5.7 EYLEM PLANLARI

Eylem planlarının hazırlanma kriterleri yönetmelikle belirlenmiştir. Bu esaslara göre eylem planları hazırlanmalıdır.

MADDE 30 – (1) Eylem Planlarına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:

a) Gerekmesi halinde en geç 18/7/2014 tarihine kadar;

1) Yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda altmış binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları, ana hava limanları ve yakınındaki yerler,

2) İki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları

için, gürültü seviyesinin azaltılması da dahil olmak üzere gürültü ile ilgili hususlar ve gürültünün etkileri ile baş etmeye yönelik eylem planlarının hazırlanmış olması gerekir. Eylem planları dâhilindeki tedbirler yetkili idarenin inisiyatifi altındadır. Ancak, bu Yönetmelikte verilen sınır değerlerin aşıldığı durumlar ya da yetkili idarelerce seçilen diğer kriterler olarak tanımlanan öncelikler eylem planında özellikle belirtilir ve stratejik gürültü haritalamaları ile tespit edilen en önemli bölgelerde uygulanır.

b) En geç 18/7/2019 tarihine kadar;

1) Yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda otuz binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları ve yakınındaki yerler,

2) Yüz binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları için,

Bu Yönetmelikte verilen sınır değerlerin aşılması durumu ya da yetkili idarelerce seçilen diğer kriterler olarak tanımlanan önceliklere belirgin bir şekilde yer veren eylem planlarının hazırlanmış olması temin edilir.

c) (a) ve (b) bentlerinde belirtilen kriterler hakkında yetkili idarelerce Bakanlığa bilgi verilir.

ç) Eylem planları Ek-V'te verilen eylem planları için asgari gereksinimleri karşılayacak şekilde hazırlanır.

d) Mevcut gürültü durumunu etkileyen çok önemli bir değişikliğin meydana gelmesi üzerine ve hazırlandıkları tarihten itibaren en az beş yılda bir eylem planları gözden geçirilir ve gerekiyorsa revize edilir.

e) Komşu konumda olan ülkelerin sınırlarına yakın bölgeler için eylem planlarının hazırlanmasında, Dışişleri Bakanlığı koordinasyonunda işbirliği yoluna gidilir.

f) Eylem planlarının hazırlanma ve gözden geçirilmesine katılım için önceden ve etkili fırsatların verilmiş olması şartıyla, eylem planlarını hazırlamakla sorumlu kurum ve kuruluşlarca eylem planlarının kamuoyuna danışılması, bu katılım sonuçlarının dikkate alınması ve kamuoyunun alınan karar konusunda bilgilendirilmesi temin edilir. Bu bilgiler kolay ulaşılabilir ve tam anlaşılır şekilde sunulur. Bilgilerin en önemli noktalarını özetleyen bir metin yurt çapında yayın yapan yüksek tirajlı en az bir gazete ile mahalli gazetede ilan edilir. Eylem planları ile ilgili dokümanlar ilanın yayımından itibaren dört ay süreyle kamuoyunun kullanımına açık tutulur. Bu süre içerisinde eylem planları ile ilgili görüşler yazılı olarak eylem planlarını hazırlayan kurum ve kuruluşlara verilir. Bu süreden sonra yapılacak itirazlar kişisel haklarla ilgili değilse dikkate alınmaz.

5.7.1 Eylem Planlarının Hazırlanması

Gürültü haritalarının hazırlanması sonrasında çevresel gürültü düzeylerinin yasal mevzuatta belirtilen sınır değerlere düşürülmesi için hangi önlemlerin alınacağını belirleyen eylem planları oluşturulur. Eylem planlarında temel olarak üç yöntem kullanılır:

- 1- Kaynakta Kontrol
- 2- Alıcıda Kontrol
- 3- İletim Yolunda Kontrol

Kaynakta Kontrol: Demiryollarında kaynakta kontrol amacıyla sıkça uygulanan yöntemler;

Demiryolu yüzey kalitesinin iyileştirilmesi (Zaman içerisinde yol yüzeyinde deformasyonun önlenmesi ve yüzeyin iyileştirilmesi)

Demiryolu araçlarının oluşturduğu gürültü düzeyinin kontrolü (Eskiye araçlarda emisyon düzeyinin artmasının önlenmesi ve emisyonu azaltıcı mekanik tedbirlerin alınması)

Hız sınırı uygulaması (Azami hız sınırının azaltılarak oluşan gürültünün kaynakta kontrolü)

Yeni demiryolu projelerinde hatların yerleşim yerlerinden uzak bölgelere yapılması

Bazı tren tiplerine belirli hassas saat ve bölgelerde kısıtlama getirilmesi (örn. gece saatlerinde en fazla gürültü yapan tren tiplerinin seferden kaldırılması)

Alıcıda Kontrol: Alıcıda gürültünün azaltılması amacıyla da binalarda ses yalıtımını arttıran önlemler alınabilir. Ancak, demiryolu kaynaklı gürültü çevresel gürültü olduğundan, gürültü düzeyleri bina cephelerinde gürültü düzeyi olarak değerlendirilir, dolayısıyla yerleşim biriminde çoğunlukla kapalı alanda önlemler çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi anlamında kalıcı ve sağlıklı çözümler değildir.

İletim Yolunda Kontrol: Kaynakta ve de alıcıda kontrolün sınır değerlere ulaşmakta yeterli olmadığı durumlarda ise demiryolundan kaynaklanan gürültünün kontrolü için iletim yolunda bazı önlemler alınabilir. En sıklıkla uygulanan önlem çeşitleri aşağıda verilmiştir:

- a) Demiryolu hattını tünel içerisine almak (tünele alma önlemleri akustik olarak oldukça etkin önlemler olmakla beraber maliyetleri diğer önlemlere göre oldukça yüksektir)
- b) Demiryolu hattı etrafında ormanlık alanlar oluşturmak (kurulacak ormanlar çok yoğun ve sık ağaçlardan oluşmalıdır, kısa vadede çözüm mümkün değildir ve de ağaçların ekileceği geniş alana ihtiyaç duyulur)
- c) Gürültü bariyerleri uygulamak (gürültü bariyerleri alanın kısıtlı olduğu ve yüksek etkinliğin gerektiği yerlerde uygulanır, birçok farklı gürültü bariyeri seçeneği mümkündür)

Eylem planı oluşturulması aşamasında gürültü haritalarıyla ortaya çıkarılan mevcut durum, hem kaynak hem alıcı hem de iletim yolu açısından değerlendirilir ve alınabilecek önlemler tartışılır. Önerilen önlemlerin etkinliği, simülasyon programında ilgili parametrelere dahil edilerek belirlenir. Örneğin gürültü bariyeri uygulanacak durumlarda, engel sisteminin akustik özellikleri simülasyon programına girilerek hat boyunca fayda maliyet açısından en etkin bariyer sistemi belirlenir ve bu engel sisteminin sağlayacağı iyileştirme eylem planına dahil edilir. Böylece, Kurum' un oluşacak çevresel gürültü problemlerine karşı alacağı önlemler devletin ilgili birimleri ve kamuoyuyla paylaşılır.

5.7.2 Gürültü Engelleri

- 1) Demiryolu gürültü düzeyini belirleyen trafik ve yol parametreleri göz önüne alarak, gürültüden etkilenen binalar (dolayısı ile insanlar) için mevcut gürültü haritası hazırlanır.

- 2) Gürültüden etkilenen binaların, yönetmelikte belirlenen sınır değerlerin üzerinde gürültüye maruz kalan bina ve kat sayısının tespiti edilir.
- 3) Sınır değerlerin üzerinde gürültüye maruz kalan binalar için, demiryolu kenarına yapılacak olan gürültü engelinin seçimi,
- 4) Gürültü engeli ile gürültü haritalarının tekrar hazırlanması ve etkilenen bina sayısının tekrar tespiti,
- 5) .Gürültü Engeli Optimizasyonu metodu ile gürültü engellerinin nihai yükseklikleri ile geometrik şekillerinin son halinin verilmesi ve fayda – maliyet analizinin yapılması

5.7.3 Gürültü Engelleri Dizaynı Yapılması

- 1) Topoğrafyanın ve yerleşime ilişkin tüm özelliklerin iyi gözlemlenmesi gerekir.
- 2) Mevcut (ya da planlama aşamasındaki) yollar için gürültüden etkilenen bölgeleri belirlemek gerekir.
- 3) Gürültüye maruz kalan bölgeler için özellikleri bilinen gürültü engeli seçmek gerekir.
- 4) Tüm verilerin birlikte değerlendirilerek *SoundPLAN* yazılımı yardımı ile engel optimizasyon gerçekleştirilir.

Engel tasarımının bu adımlar ile gerçekleştirilmesi, etkin engel tasarımının yapılmasının yanı sıra, fayda-maliyet değerlendirilmeleri aracılığı ile de gereksiz harcamalardan sakınılmasını sağlayacaktır

Gürültü engelleri seçilmesi;

Gürültü engellerinin seçilmesinde topoğrafyanın ve maliyetin önemi vardır.

Demiryolunun her iki yanında da binalar mevcut ise yutuculuğu yüksek malzemeler tercih edilmeli,

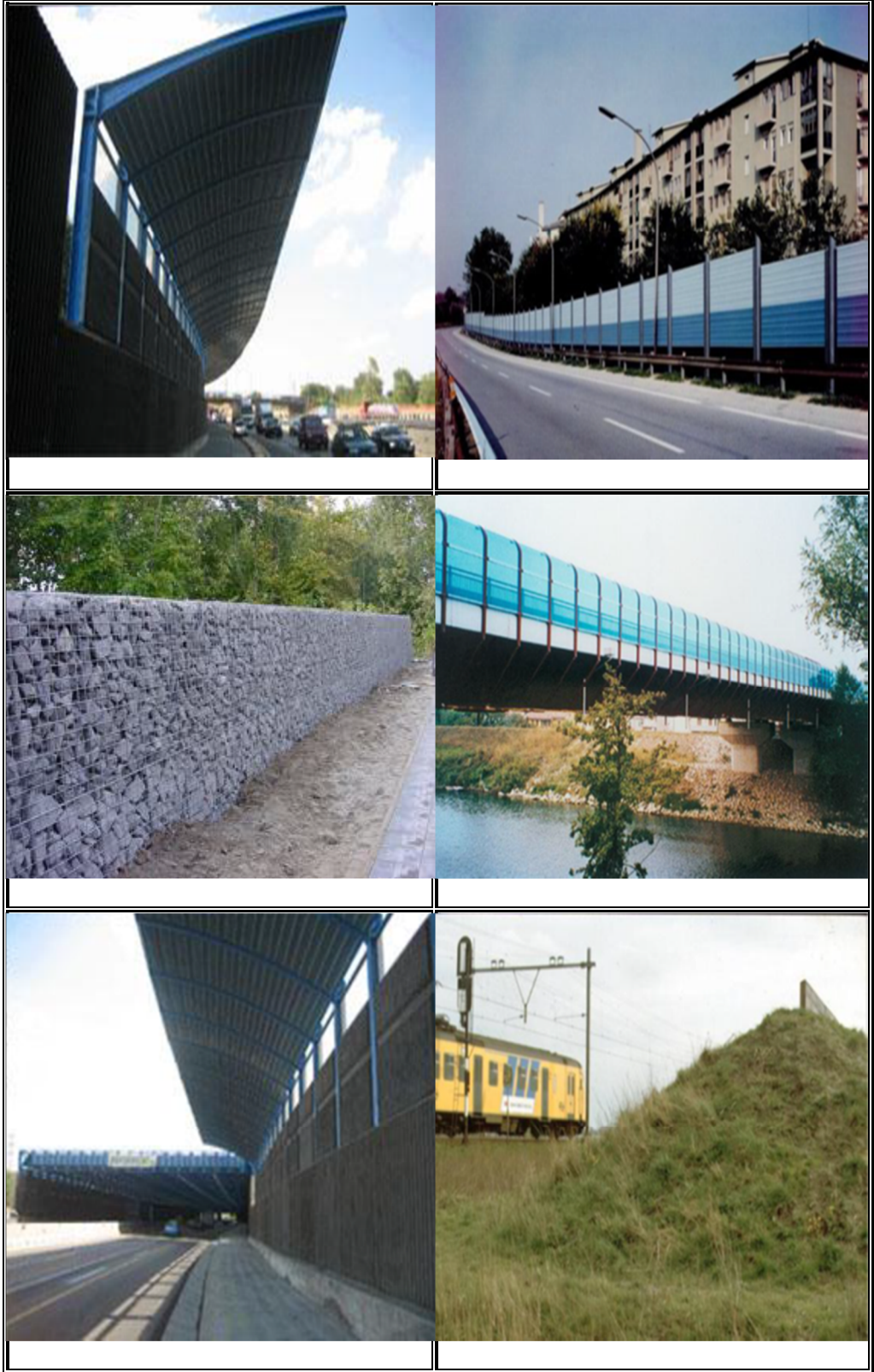
Demiryolu etrafındaki binalar tek tarafta dizilmiş ise yutuculuk faktörü dikkate alınmayabilir.

Her zaman dikkat edilmesi gereken en önemli zellikler:

- 1) Kabul edilebilir bir laboratuvarın belirlemiş olduğu yutum katsayıları,
- 2) Kabul edilebilir bir laboratuvarın belirlemiş olduğu azalttım (Ses geçiş kaybı) değerleri (dBA).

şekil 5.27' de bazı engel uygulama örnekleri verilmiştir.

Şekil 5.27: Gürültü engelleri uygulama örnekleri



5.7.4 Engel Tasarımının Simülasyon Programı Yardımı ile Oluşturulması (SoundPlan V.7,0)

Eylem planı oluşturulması aşamasında gürültü haritalarıyla ortaya çıkarılan mevcut durum, hem kaynak hem alıcı hem de iletim yolu açısından değerlendirilir ve alınabilecek önlemler tartışılır. Önerilen önlemlerin etkinliği, simülasyon programında ilgili parametrelere dahil edilerek belirlenir. Örneğin gürültü bariyeri uygulanacak durumlarda, bariyer sisteminin akustik özellikleri simülasyon programına girilerek hat boyunca fayda maliyet açısından en etkin bariyer sistemi belirlenir. Fayda maliyet analizinde yapılacak optimizasyonla en düşük miktarda gürültü bariyeriyle en yüksek verimlilik amaçlanır.

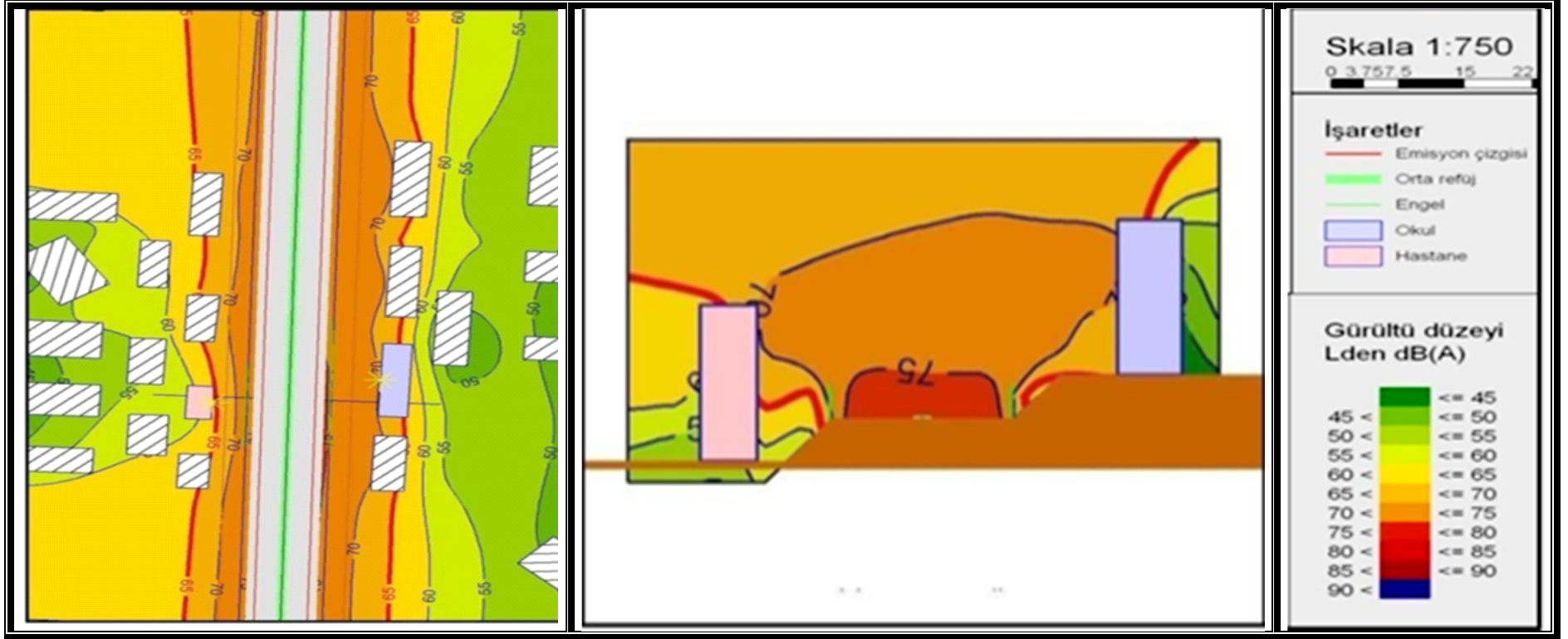
Örnek vermek gerekirse, 100 m lik bir hat boyunca kurulacak 2 metre yüksekliğinde bariyer sisteminin kurulmasıyla çevredeki kritik alıcılarda kaç kişinin sınır değerlerin altında gürültüye maruz kalacağı belirlenir. Sonrasında da aynı hatta 4 metre yüksekliğinde bariyer sisteminin verimliliği fayda maliyet çalışmasıyla belirlenir. Örneğin 2 ve 4 m lik gürültü bariyer sisteminin fayda maliyet sonuçları belirlendikten sonra ise simülasyon programında optimizasyon işlemi gerçekleştirilir (Şekil 5.28).

Bu optimizasyon ile tüm hattın coğrafi ve akustik özellikleri analiz edilerek hat boyunca değişken yüksekliklerle en fazla verimliliği sağlayacak kombinasyon belirlenir. Örneğin, 4 metrelik gürültü bariyeri yüksekliğine ihtiyaç duyulmayan durumlarda daha az yükseklik, ihtiyaç duyulduğunda ise daha fazla yükseklik olacak şekilde bariyer yükseklikleri optimize edilir. Optimize edilmiş hatla ilgili örnek gürültü iyileşme sonucu Tablo 5.6 da verilmiştir.

Sonrasında, 2 m yüksekliğinde, 4 m yüksekliğinde ve optimize edilmiş yükseklikte gürültü bariyerleri tek bir tabloda toplanır ve özet olarak verilir (Tablo 5.7).

Önerilecek bariyer sistemi bu örnekte verildiği gibi optimize edildikten sonra, bariyer sistemi özellikleri ve sağlayacağı iyileştirmeler eylem planına dâhil edilir.

Şekil 5.28 Optimizasyonlu tasarım



SoundPLAN programında çalışma

Tablo 5.6: Optimizasyon sonrası engel alanlarına göre iyileşen gürültü düzeyi

| Alan adı | Kat | Ld(dBA) | Ld(dBA) | Engel alanı 149 m ² | Ld(dBA) | Engel alanı 279 m ² | Ld(dBA) | Optimize engel alanı 673 m ² | Sonuç iyileşme miktarı |
|------------------|-----|---------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---|------------------------------|
| | | Mevcut | 2 metrelik engel sonrası | iyileştirme miktarı | 4 metrelik engel sonrası | iyileştirme | Optimizasyon sonrası | iyileştirme miktarı | dB |
| Bina 34(Hastane) | 1 | 61,9 | 58,9 | | 59,2 | 1 | 58,1 | 1 | 3,8 |
| Bina 34(Hastane) | 2 | 69,4 | 63,1 | 5 | 63,2 | 1 | 61,5 | 8 | 7,9 |
| Bina 34(Hastane) | 3 | 70,8 | 67,4 | 8 | 65,4 | 5 | 63,7 | 3 | 7,1 |
| Bina 34(Hastane) | 4 | 70,6 | 69,9 | 0 | 67,3 | 0 | 64,2 | 0 | 6,4 |
| Bina 34(Hastane) | 5 | 70,3 | 69,8 | 0 | 68,4 | 0 | 63,2 | 0 | 5,1 |
| Bina 34(Hastane) | 6 | 69,9 | 69,5 | | 69,1 | | 67,2 | | 2,7 |
| Bina 41(Okul) | 1 | 66,3 | 65,7 | | 65,1 | 1 | 54,4 | 4 | 11,9 |
| Bina 41(Okul) | 2 | 69,3 | 68,8 | 9 | 67 | 8 | 57,3 | 9 | 12 |
| Bina 41(Okul) | 3 | 69,2 | 68,7 | 1 | 67,3 | 1 | 59 | 0 | 10,2 |
| Bina 41(Okul) | 4 | 69 | 68,4 | 0 | 67,7 | 0 | 62 | 0 | 7 |
| Bina 41(Okul) | 5 | 68,7 | 68,1 | 0 | 68,5 | 0 | 64,8 | 0 | 3,9 |
| Bina 41(Okul) | 6 | 68,4 | 67,8 | | 68,3 | | 65,7 | | 2,7 |



Mevcut gürültü düzeyi



İyileşen gürültü düzeyi

Tablo 5.7 SoundPlan engel tasarımı

SoundPLAN Engel Tasarımı - [d:\SP Projects\SP7.0\İzmir_Optim_2\RWDF0050.res

Dosya Alıcı Duvar Optimizasyon Seçenekler Yardım

Bilgi

Yineleme adımı: 31
Toplam boy: 134.47 [m]
Projeksiyon alanı: 673.31 [m2]
Toplam maliyet: 269,324 [EUR]

Optimizasyon kriterleri

1. Seviye düşüşü
2. Engel yüzeyi
Zaman dilimi: Noise level Day

Seri bilgisi Alıcı pozisyonları **Engel elemanları** Tarih

| No | Km | Temel yüksekliği [m] | min | max | Nesne | Engel yüksekliği [m] | Uzunluk [m] | Maliyet grubu | Maliyet [€] |
|----|-------|----------------------|-----|-----|-------|----------------------|-------------|---------------|-------------|
| 1 | 0.163 | 20.00 | 0 | 20 | 7 | 3.50 | 10.39 | 1 | 14 |
| 2 | 0.173 | 20.00 | 0 | 20 | 9 | 4.50 | 6.99 | 1 | 12 |
| 3 | 0.180 | 20.00 | 0 | 20 | 10 | 5.00 | 20.11 | 1 | 40 |
| 4 | 0.200 | 20.00 | 0 | 20 | 4 | 2.00 | 7.32 | 1 | 5 |
| 5 | 0.207 | 20.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 6 | 0.169 | 24.99 | 0 | 20 | 12 | 6.00 | 17.69 | 1 | 42 |
| 7 | 0.186 | 24.99 | 0 | 20 | 14 | 7.00 | 12.15 | 1 | 34 |
| 8 | 0.198 | 25.00 | 0 | 20 | 10 | 5.00 | 59.82 | 1 | 119 |
| 9 | 0.258 | 25.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | |

Sound plan programında çalışma

6. SONUÇ

Gürültü ile mücadele konusunda Ülkemizde henüz somut adımlar atılmadığı ve toplumun da bu konuda yeteri kadar bilgi sahibi olmadığı görülmektedir. En son 2010 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı Tarafından çıkarılan Yönetmelik ile gürültü ile mücadelede AB normlarına göre kriterler getirilmiş olup; görev, yetki ve sorumluluklar belirlenmiş ise de yaptırım ve mali kaynak konusunda yeterli açıklamalar bulunmamaktadır. Ulaşım kaynaklı gürültü içerisinde demiryolu gürültüsü daha az rahatsız edici görünmesine rağmen amaç yönetmelikte belirtilen sınırların içinde kalmasını sağlamaktır. Bireylerin de ulaşım kaynaklı gürültü ile mücadele konusunda bilinçlenmesinin sağlanması gereklidir. Örneğin; bir seyahat sonrası bulunduğu taşıtta aşırı gürültüden rahatsız olan bir yolcunun bu rahatsızlığını şikâyet edebileceği konusunda bir bilgisi olmadığı gibi, böyle bir mercii de henüz bulunmamaktadır. Bu gibi gürültü rahatsızlıkları ile ilgili birimler bir an önce kurulmalı toplumdan gelen şikâyetler değerlendirilerek alınacak önlemlere ışık tutması sağlanmalıdır.

Nüfusun yoğun olduğu yerleşim merkezlerinde bağımsız uzman kurumlar tarafından periyodik ölçümler yapılmalı ve buna göre gürültü kaynağına sebep teşkil eden unsurlar tespit edilerek ilgilileri tarafından bertaraf edilmesi yolunda gerekli müeyyideler getirilmelidir.

Ulaşım kaynaklı gürültünün önlenmesinde en ekonomik ve efektif çözüm gürültünün kaynağında önlenmesi olmaktadır. Ulaşım öncelikli seyahat eden yolcunun güvenli ve gürültüsüz bir ortamda seyahat etmesini sağlamaktır. Bu sebeple demiryolu hatlarında kullanılan rayların uzun kaynaklı olması darbe gürültüsünü önemli ölçüde azaltacaktır. Hattın alt yapısının suyu drene edecek şekilde olması halinde, darbe gürültüsünü absorbe eden, esnemeyi sağlayan balast tabakasının bozulmasının önüne geçilerek raylarda ondülasyon olmaması ve dolayısıyla gürültünün azalmasını sağlanması mümkündür. Ayrıca lokomotif ve vagonların fren sistemlerinde pik döküm fren pabuçları yerine kompozit fren sistemlerinin kullanılması gürültünün azalmasında önemli etken olabilecektir. Bunun dışında vagon iç izolasyonlarının dış gürültüyü emecek şekilde dizayn

edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde demiryollarının yolcu taşımacılığındaki payı AB ülkelerinin oldukça gerisindedir. Gerekli iyileştirmeler ve modernizasyon yapıldığı takdirde bu oranın yükselmesi beklenebilir. Demiryollarında son yıllarda AB standartlarında başlatılan büyük projelerin (Marmaray, İstanbul-Ankara, Ankara-Konya ve Ankara-Sivas Hızlı tren hatları) sonuçlanması halinde; getirilecek konforlar içinde gürültüsüz bir yolculuk imkânı da sağlanmış olabilecektir.

Şehir içinde bulunan raylı sistemlerde çevresel gürültünün önlenmesine yönelik çözümler üretilmesi gerekmektedir. İstanbul'da raylı sistemlere yakın bölgelerde çeşitli yaş, meslek ve cinsiyet gruplarında 60 kişi üzerinde bir anket yapılmış ve anket sonuçlarına göre raylı sistemler de en çok rahatsız eden etkenin gürültü olduğu görülmüştür. Bu nedenle yerel belediyelerle işbirliği yapılması mümkün olduğu takdirde alternatif güzergâhlar oluşturulabilir. Örneğin; geçtiğimiz yıllarda İzmit Büyük Şehir Belediyesi ve Ulaştırma Bakanlığı işbirliği ile şehrin içinden geçen demiryolu hattı sahil kesimine alınarak hem trafik yönünden hem de gürültü yönünden olumlu faydalar elde edildi. Eskişehir'de de belediye ve demiryolları işbirliği ile şehir içinden geçen demiryolu hatları yer altına alınma çalışmaları devam etmektedir.

Güzergâhın değiştirilmesi topoğrafik veya maliyet yönünden mümkün olmadığı veya kaynakta alınan önlemlere rağmen gürültünün yönetmelikte belirtilen sınırlar içerisinde kalmadığı durumlarda ise gürültü önleyici setler, perdeler, çevre arazi de yeşil alanlar ve bitki örtüsü yapılandırılması gibi gürültü engelleri tesis edilmelidir.

Gürültüsüz bir ulaşım sonucuna kavuşulması ancak; yönetmelikte belirtilen görev, yetki ve sorumluk zinciri içinde ilgili kurum ve kuruluşların birbirleri ile entegre çalışmalar yaparak alınacak önlemleri kısa zamanda yerine getirmek üzere ciddi, somut adımlar atması ile mümkün görülmektedir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Arlı, V. ve Öztürk Z. 2010. *Demiryolunda gürültü ve titreşim sorunu* İstanbul Marmara Yayıncılık (orijinal basım tarihi 2010)

Everest, F.A & Pohlman K.C. 2009. *Master handbook of acoustic*, Fifth edition the McGraw-Hill Companies, 978-0-07-160332-A 2009

Harris, C.M.,1979. *Handbook of noise control* Fifth edition the McGraw-HillCompanies 978-0070268142.

Kurra, S.1991. *Gürültü, Türkiye'nin çevresel sorunları* Türkiye çevre vakfı Yayını, s.447-447

Lichtberger, B. 2005. *Track Compendium*. Hamburg, Germany.

Sürekli Yayınlar

- Aktürk, N. , Toprak, R. ve Asiloğulları, E. 2003. Hızlı raylı ulaşım sistem kaynaklı çevresel gürültü, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt: 18 Sayı(3) ss 15-25
- Çevre ve Orman Bakanlığı, *Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği* 04 Haziran Cuma **Resmi Gazete** sayı: 27601
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. 2001. Gürültü, çevre sağlığı temel kaynak dizisi, No: 19, T.C. Sağlık Bakanlığı
- İYEM (İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi) Briiel & Kjaer, 1998 . *Akustik ve titreşim ölçümleri (SES-F)* Ders notu
- Nelson, J.T. 1996. Recent development in ground-borne noise and vibration control, *Journal of sound vibration*, **193** (1) spp. 367-376.
- Özgen, Ö.2010. Demiryolu gürültüsü ve etkili önlemlerin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi 2010* İTÜ Kütüphanesi
- Öztürk, Z. 1994. Otoyol ve demiryolunun önemli çevre etkilerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi *Yüksek lisans tezi* 1994 İTÜ Kütüphanesi
- Pampal, S. , Kayranlı, B. ve Karakuş, D. *Raylı ulaşım sistemlerinden kaynaklanan çevresel gürültünün incelenmesi* Gazi Üniv. Fen Bil. Ens., Trafik Plan. ve Uyg. Anabilim Dalı, Maltepe, Ankara 06570
- Perth Urban rail development, 2002. Southwest metropolitan railway noise and vibration management plan.
- Türk Standartları Enstitüsü. *Yol gürültüsünü azaltan sistemler*. TS EN 1793 Bakanlıklar Ankara

Diğer Yayınlar

- Arlı, V., Öztürk Z. 2008, *Noise Reduction Measures on İstanbul Urban Rail Systems*, 9th Light Rail Conference, İstanbul. <http://www.belgelerim.com> [erişim tarihi 30 Ekim 2010]
- Bay, F., Güney, A. 1998. *Lastik Yol Gürültüsü, 4. Akustik ve Gürültü Kongresi*, Kaş, Antalya, Türkiye, Ekim 29-31 <http://www.belgelerim.com> [erişim tarihi 30 Ekim 2010]
- Erol H, 2001, *Measurements and analysis of the noise to which passengers are exposed in İstanbul metro*, Proceedings of 17th International Congress on Acoustics, 2001. . <http://www.belgelerim.com> [erişim tarihi 23 Ekim 2010]
- Marsh, A. Acoustics Scholl of architecture and fine arts, The University of Western Avustralia, http://www.kent.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT320_EA/web/online_course_on_Acoustics [erişim tarihi 23 Ekim 2010]
- Şahinkaya, S.2005. Coğrafik Bilgi Sistemleri ile Demiryolu Gürültü Kirliliğinin Modellenmesi *Yüksek lisans tezi* Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 2005

ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı** : Ayşe KABLAN
- Doğum Tarihi** : 04.01.1975
- Doğum Yeri** : SİVAS
- Lise** : 1989-1991 SİVAS KONGRE LİSESİ
- Lisans** : 1991- 1996 DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ-İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
- Yüksek Lisans** : 2010-2012 BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA
YÖNETİMİ
- Çalıştığı Kurumlar** : 2008 TCDD 1.BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
2003-2008 TCDD İNŞAAT DAİRESİ BAŞKANLIĞI
2000-2003 TCDD 1.BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
1999-2000 TCDD 4.BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
1966-1999 SİVAS BELEDİYESİ