



**HIZLI TRENİN NEDEN OLDUĞU ÇEVRESEL
GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ**

Kerime Şeyma ORUÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2017

Kerime Şeyma ORUÇ tarafından hazırlanan “HIZLI TRENİN NEDEN OLDUĞU ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Çevre Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Nizami AKTÜRK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan: Prof. Dr. Füsun DEMİREL

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Zuhale ÖZÇETİN

Mimarlık Anabilim Dalı, Siirt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 13/10/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kerime Şeyma ORUÇ

13/10/2017

HIZLI TRENİN NEDEN OLDUĞU ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Kerime Şeyma ORUÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2017

ÖZET

Çevresel gürültü insan hayatını olumsuz yönde etkileyen bir kirlilik türüdür. Günümüzde nüfusa paralel olarak artan ulaşım araçları, çevresel gürültünün ana kaynağı haline gelmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte ülkemizde yaygın bir ulaşım aracı haline gelen YHT'nin neden olduğu gürültünün değerlendirilmesi için Ankara-İstanbul YHT hattı üzerinde bulunan, Ankara ili Sincan ilçesine bağlı Tatlar köyü ve Polatlı ilçesine bağlı Poyraz köyünde mevcut çevresel gürültü ölçümleri ($L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece}) gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre tren gürültüsü için belirlenmiş sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçları çoğunlukla kabul edilebilir sınır değerleri sağlamaktadır. Tren gürültüsünün insanlar açısından en rahatsız edici etkisi ani uyanmalar ve uyku bozukluğu problemleridir. Bu bağlamda uluslararası ve ulusal düzeyde tren gürültüsünün uyku üzerine etkisini incelemede kullanılan L_{gg} , mevcut ölçüm sonuçları ile hesaplanmıştır. L_{gg} hesabı L_{gag} şeklinde gündüz-akşam-gece derecelendirilmesine uygun olarak yapılmıştır. Tatlar ve Poyraz köylerinde tren hattına en yakın yerleşim yeri kategorisine giren evler için L_{gag} değerlerinin belirli kriterlere göre uyku bölünmesine neden olmayacağı varsayılmıştır.

Bilim Kodu : 90310
Anahtar Kelimeler : Gürültü, kirlilik, hızlı tren
Sayfa Adedi : 73
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nizami AKTÜRK

ENVIRONMENTAL NOISE POLLUTION CAUSED BY SPEED TRAIN

(M. Sc. Thesis)

Kerime Şeyma ORUÇ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2017

ABSTRACT

Environmental noise is a type of pollution that affects human life negatively. Means of transportation increasing in parallel with population today have become the main source of environmental noise. Environmental noise measurements (L_{day} , $L_{evening}$, L_{night}) were performed in Tatlar village of district to Sincan province of Ankara and Poyraz village of district to Polatlı province of Ankara on the Ankara-Istanbul YHT line, with the developing technology, for the evaluation of the inconvenience caused by YHT, which has become a common means of transportation in our country. The measurement results are compared with the limit values set for the train noise according to the Environmental Hazard Assessment and Management Regulation. The measurement results provide acceptable limit values. Disturbing effects of train noise are sudden awakening and sleeping problems. In this context, the L_{gg} used to examine the effect of train noise on sleep at international and national level is calculated with the current measurement results. The L_{gg} account was made in accordance with the L_{gag} day-evening-night rating. It is assumed that L_{gag} values for houses entering the category of the nearest settlement line in the Tatlar and Poyraz villages will not cause sleep division according to a certain criteria.

Science Code : 90310
Key Words : Noise, pollution, speed train
Page Number : 73
Supervisor : Prof. Nizami AKTÜRK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının başlangıcından sonuna kadar bilimsel bilgi birikimi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, desteğini ve yüksek hoşgörüsünü esirgemeyen öğrencisi olduğum için onur duyduğum değerli hocam, Danışmanım Sayın Prof. Dr. Nizami AKTÜRK'e, tecrübeleri, bilgi birikimi ve tüm sevecenliğiyle çalışmalarına destek olan kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Zuhâl ÖZÇETİN'e, tez konumla yakından ilgilenererek tecrübeleriyle yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Dr. Remzi TOPRAK'a, bilgi birikimi ve kıymetli yorumlarıyla tez çalışmamın son halini almasına ışık tutan, değerli katkılarından dolayı jüri başkanım saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Füsün DEMİREL'e ve tez çalışmamın hem maddi hem manevi mimarı olan, ölçümleri gerçekleştirmemde tüm teknik destek ve alt yapıyı oluşturan, zamanını ve enerjisini her zaman olduğu gibi esirgemeyen meslektaşım, sevgili eşim Recep ORUÇ'a, tüm yaşamım boyunca vazgeçilmezim olan, maddi ve manevi desteğini her an üzerimde hissettiğim en çok öğretenim ilk öğretmenim kıymetli annem Emine DEMİRKAYA'ya ve çalışmalarına uyku vakitleriyle destek veren bir buçuk yaşındaki biricik oğlum İbrahim Eymen ORUÇ'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ.....	17
3.1. Çevresel Gürültü Kaynaklar.....	17
3.2. Gürültünün İnsan Sağlığına Etkileri.....	19
3.2.1. Gürültünün fiziksel etkileri.....	20
3.2.2. Gürültünün fizyolojik etkileri.....	21
3.2.3. Gürültünün psikolojik etkileri.....	21
3.2.4. Gürültünün performans üzerine etkileri.....	21
3.2.5. Gürültünün uykudan uyanma üzerindeki etkileri.....	22
4. YÜKSEK HIZLI TREN VE OLUŞTURDUĞU ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ.....	25
4.1. Hızlı Tren Tanımı ve Türleri.....	26
4.2. Dünyada Yüksek Hızlı Tren Uygulamaları.....	28

Sayfa

4.3. Ülkemizde Hızlı Tren Uygulamaları.....	32
4.4. Yüksek Hızlı Tren Gürültü Kaynakları ve Azaltma Yöntemleri.....	37
4.4.1. Yuvarlanma gürültüsü ve azaltma yöntemleri.....	38
4.4.2. Aerodinamik gürültü ve azaltma yöntemleri.....	40
4.4.3. Zemin titreşimleri.....	44
4.4.4. Köprü ve tünellerde oluşan ses patlamaları.....	46
5. YÜKSEK HIZLI TREN GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	47
5.1. Mevcut Çevresel Gürültü Ölçümleri.....	47
5.2. Tatlar Köyü Çevresel Gürültü Ölçümleri.....	50
5.3. Poyraz Köyü Çevresel Gürültü Ölçümleri.....	55
5.4. Mevcut Çevresel Gürültü Ölçümlerinin Değerlendirilmesi.....	59
6. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER.....	65
6.1. Sonuçlar.....	65
6.2. Öneriler.....	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Gürültülerin sınıflandırılması.....	19
Çizelge 4.1. Yüksek hızlı tren tanıtım servisleri öncesi ve sonrası taşıma payları	28
Çizelge 4.2. Mevcut yüksek hızlı trenlerin maksimum ve gerçekleşen ses emisyonları.....	30
Çizelge 4.3. TransRapid08 treninin gürültü seviyesinin diğer YHT'ler ile karşılaştırması..	31
Çizelge 4.4. Bazı ülkelerde yüksek hızlı trenler için gürültü sınır değerleri (dBA)..	31
Çizelge 4.5. YHT'nin yıllara göre toplam hat uzunluğu (km).....	33
Çizelge 4.6. 25 m uzaklıkta çeşitli gürültü kaynaklarının ses basıncı seviyesine katkıları	41
Çizelge 4.7. Gürültü katkılarının tahmini değerleri	44
Çizelge 5.1. Ölçüm noktaları için $L_{gündüz}$ çevresel gürültü değerleri	52
Çizelge 5.2. Ölçüm noktaları için $L_{akşam}$ çevresel gürültü değerleri	53
Çizelge 5.3. Ölçüm noktaları için L_{gece} çevresel gürültü değerleri	54
Çizelge 5.4. Ölçüm noktaları için $L_{gündüz}$ çevresel gürültü değerleri	56
Çizelge 5.5. Ölçüm noktaları için $L_{akşam}$ çevresel gürültü değerleri	57
Çizelge 5.6. Ölçüm noktaları için L_{gece} çevresel gürültü değerleri	58
Çizelge 5.7. Toplum sağlığı için mekanlarda öngörülen gürültü düzeyleri.....	62
Çizelge 5.8. Tatlar köyü ölçüm noktaları için L_{gag} değerleri	62
Çizelge 5.9. Poyraz köyü ölçüm noktaları için L_{gag} değerleri	63
Çizelge 5.10. Sonuç değerlendirme tablosu.....	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Tren hızına göre değişen baskın gürültü kaynakları	38
Şekil 4.4. Yuvarlanma gürültüsü için oluşturulan model	39
Şekil 5.1. Beş ölçüm noktası için zamana bağlı $L_{gündüz}$ gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik	52
Şekil 5.2. Beş ölçüm noktası için zamana bağlı $L_{akşam}$ gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik	54
Şekil 5.3. Beş ölçüm noktası için zamana bağlı L_{gece} gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik	55
Şekil 5.4. Dört ölçüm noktası için zamana bağlı $L_{gündüz}$ gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik	57
Şekil 5.5. Dört ölçüm noktası için zamana bağlı $L_{akşam}$ gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik	58
Şekil 5.6. Dört ölçüm noktası için zamana bağlı L_{gece} gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik	59

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Ses seviyesi ölçer.....	48
Resim 5.2. Termometreli hava akımölçer.....	49
Resim 5.3 Ölçüm alanında çekilen eski tip tren görüntüleri.....	51
Resim 5.4. Ölçüm alanında çekilen yeni tip tren görüntüleri.....	51



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Türkiye haritasında aktif, inşa ve proje halindeki YHT hatlarının gösterimi.....	34
Harita 5.1. Tatlar köyü ölçüm noktaları harita gösterimi.....	50
Harita 5.2. Poyraz köyü ölçüm noktaları harita gösterimi.....	56



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

°C	Derece Santigrat
dB	Desibel
dBA	Decibels on A-weighted scale
GWh	Gigawatt saat
Hz	Hertz
km	Kilometre
kHz	Kilohertz
L _{gg}	Gündüz-gece seviyesi
L _{gag}	Gündüz-akşam-gece seviyesi
L _{eq}	Eşdeğer Sürekli Ses Basınç Seviyesi
L _p	Ses basıncı seviyesi
m	Metre
m ²	Metrekare
s	Saniye
sa	Saat
SEL	Sound Exposure Level
SPL	Sound Pressure Level
MW	Megawatt

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CEN	European Committee for Standardization
CLCD	Core Life Cycle Database
ÇGDYY	Çevresel Gürültünün Denetimi ve Yönetimi Yönetmeliği

Kısaltmalar**DDES****EPA****FW-H****ICE****LAP****LCA****MAGLEV****REM****RNM****T.C.****TCDD****TEL****TGV****TSI****TWINS****UIC****WHO****YHT****Açıklamalar**

Detached-eddy

Environmental Protection Agency

Ffowcs Williams-Hawkings

Inter-City Express

Local Air Pollution

Life Cycle Assessment

Magnetic Levitation

Rapid Eye Movement

Railway Noise Model

Türkiye Cumhuriyeti

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

Transit Exposure Level

Tren à Grande Vitesse

Technical Specifications for Interoperability

Track-Wheel Interaction Noise Software

Union Internationale des Chemins de fer

World Health Organization

Yüksek Hızlı Tren

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla büyüyen şehirlerde, kentleşme ve sanayileşmenin etkisiyle ulaşım önemli bir sorun haline gelmiştir. Gün geçtikçe artış gösteren ulaşım talebini karşılamak için yeni ulaşım araçları kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan araştırmalara göre ekonomi, güvenlik ve çevre koruma yönünden en avantajlı sistem demiryolu sistemleridir [1]. Demiryolu ağlarının gelişimiyle son yıllarda üzerinde en çok durulan demiryolu araçları ise hızlı trenlerdir.

Ülkemiz 2009 yılında, yolcu taşımacılığı kapasitesine uygun olarak inşa edilen, 250 km/sa hız yapabilen Yüksek Hızlı Tren (YHT) taşımacılığıyla tanışmıştır. Ankara-Eskişehir YHT hattının açılması, demiryolu tarihi için en önemli adımlardan biri olarak kabul edilmektedir. Günümüzde hızlı tren hatlarının sayısı giderek artmaktadır. Ankara-İstanbul, Ankara-Konya ve Konya-İstanbul arasında YHT hatları yolcu taşımacılığına başlamıştır. Ankara-Sivas, Ankara-İzmir YHT projeleri ile Bilecik-Bursa, Konya-Karaman-Ulukışla ve Adana-Mersin arasında YHT hatlarının inşası ise devam etmektedir [2]. Ayrıca Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) 3,500 km yüksek hızlı, 8,500 km hızlı ve 1,000 km konvansiyonel demiryolu inşa ederek 2023 yılında ülkemizde toplam 25,000 km demiryolu hattını ulaşım ağına katmayı hedeflemiştir [3].

Dünya ülkelerine bakıldığında Fransa ve Almanya'nın, yüksek hızlı tren sistemlerini vakit kaybetmeden ulaşım ağına dönüştürdüğü görülmektedir. YHT sistemlerinin uluslararası yaygınlaşmasıyla birlikte, Avrupa entegrasyonunun en önemli öğelerinden biri haline geldiği de görülmektedir. Avrupa ulaşım ağının geliştirilmesi için bu bağlamda yüksek hızdaki yolcu ve yük hizmetlerinin gelişimi, temel gereksinim olarak değerlendirilmektedir [4]. Günümüzde hükümetler, iş adamları, çevreciler ve ulaştırma endüstrisi bu konuya yoğunlaşmaktadır. Ülkemiz ise; işleme başladığı bu yeni teknoloji ile hızlı tren kullanan ülkeler sıralamasında Avrupa'da 6. dünyada 8. ülke olma konumunu almıştır [2].

YHT sistemleri ekonomik, sosyal ve teknoloji açısından insanlara pek çok avantaj sağlamaktadır. Öte yandan, yerel hava kirliliği, iklim değişikliği, gürültü ve kara kullanımı gibi olumsuz çevresel etkileri de beraberinde getirmektedir. Bu negatif etkilerden en göze çarpanı ise trenlerin yüksek hızlarda oluşturduğu gürültü kirliliğidir. Gürültü: Belirli bir spektruma sahip olmayan insanı fiziksel ve psikolojik olarak dengesini olumsuz yönde

etkileyen aynı zamanda ortamın doğal sakinliğini bozarak iş performansını düşüren önemli bir çevre kirleticisidir [38]. Klasik bir treni ele aldığımızda, dinamik ortamının makine ve elektriğe bağlı olduğu bilinmektedir. Buna karşılık, yüksek hızlı bir trenin dinamik ortamı aerodinamik kuvvetlere bağlıdır [5]. Aerodinamik kuvvetlerle oluşan gürültü, önlem alınması gereken bir kirlilik sebebidir. Bu nedenle aerodinamik gürültü, hızlı trenden oluşan çevresel gürültü için en büyük sınırlama haline gelmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalara göre, yüksek hızlı trenlerde gürültü kirliliğinin en önemli çevre sorunu olduğu bilinmektedir [6]. Bu nedenle standart gereksinimleri aşan gürültü, tren hızlarını belirlemede etken faktörlerinden biri haline gelmiş, yüksek hızın sürdürülebilir kalkınmasını kısıtlamıştır. Ancak gürültü seviyesini düşürecek tren tasarımlarının ve gürültü azaltma yöntemlerinin geliştirilmesi ile söz konusu kısıtlamanın ortadan kaldırılabileceği düşünülmektedir [5].

Bu kapsamda bu tez çalışmasının amacı: Ülkemizde hızla artış gösteren YHT'nin neden olduğu çevresel gürültünün tespit edilmesidir. Bu nedenle Ankara Yüksek Hızlı Tren hattında yer alan 2 yerleşim yeri özelinde mevcut çevresel gürültü ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY)'nde yer alan çevresel gürültü sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir. Mevcut durum ölçüm sonuçları ile L_{gg} seviyeleri hesaplanarak YHT kaynaklı çevresel gürültü değerlendirilmesi çalışmanın yöntemini oluşturmaktadır. Çalışma yüksek hızlı tren kaynaklı gürültü ile sınırlandırılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalara yer verilmiş olup, üçüncü bölümde çevresel gürültü ile ilgili tanımlamalar verilmiştir. Dördüncü bölümde YHT kaynaklı çevresel gürültü irdelenmiştir. Beşinci bölümde ise; YHT çevresel gürültü ölçümleri ve değerlendirilmesi ele alınmıştır. Son olarak altıncı bölümde çalışmanın sonuçlarına ve önerilere yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünya'daki ilk hızlı tren örneği 1938 yılında İngiltere'de, 203 km/sa hıza ulaşan Mallard buharlı lokomotifidir [3]. Modern anlamda ise 1964 yılında maksimum 210 km/sa çalışma hızında Shinkansen adı verilen trenle, ilk olarak Japonya'da hızlı tren yolcu taşımacılığı başlamıştır. 1970'ler ve 1980'ler boyunca, daha yüksek hızlara (deneme süresince 436 km/sa kadar) olanak tanıyan bu yeni ray teknolojisi gelişmeye devam etmiştir. Avrupa'da Fransa, Almanya ve İtalya'da hızlı tren teknolojisi tanıtılmış ve o zamandan günümüze kadarki süreçte başta Avrupa ve Asya olmak üzere başka ülkelerde de giderek genişletilmiştir [7]. Tren, taşımacılıkta gün geçtikçe birçok güzergâhta baskın bir ulaşım modeli haline gelmiştir. Ancak trenlerin oluşturduğu çevresel gürültü, o zamandan bu yana insanların şikâyetlerine sebep olmuştur. O tarihlerde bu yeni trafik gürültüsü için özel bir değerlendirme standardı olmadığından, Japonya Çevre Bakanlığı tarafından alan araştırmaları yapılmıştır. 1993'te, Fransa'da da TGV Atlantique hattının neden olduğu gürültünün etkisini değerlendirmek için bir saha araştırması yapılmıştır. Çin'de ise ilk hızlı trenin 2008'de faaliyete geçmesine ve toplam kilometre uzaklığının 10,000 km'yi aşmasına rağmen bu alan için özel bir çevre kalitesi standardı oluşturulmamıştır. Ülkede mevcut klasik hatlar için kullanılan standartlar YHT için de kullanılmaktadır [8].

Blum ve diğerleri, yaptıkları çalışmada; hızlı trenlerin entegre etkilerinden bahsederek, teknolojinin ölçek ekonomisi ve kapsam bakımından önemini vurgulayarak teşvik edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bölgeler arasındaki rekabet ve ulaşımdaki rekabet açısından siyasi ortamı doğru şekilde muhasebeleştirmenin önemi vurgulanmıştır. Çalışmaya göre teknolojinin kullanımı paralelinde yürütülmesi gereken politikanın stratejik bir uyarılama ile hızlı tren sisteminin planlaması başladıktan sonra ortaya çıkan problemleri de yapılandırma çalışmasını gerektirmektedir. Sonuç olarak hızlı tren teknolojisinin ekonomik olarak uygulanabilirliği ve sürdürülebilir olduğu ortaya konulmuştur [4].

Moritoh ve diğerleri, YHT'lerin gürültü kontrolünü incelemişlerdir. YHT gürültüsünün kontrolü için yöntemler verilmiştir. Gürültüyü kontrol etme sürecinde çeşitli gürültü türlerinin, trenin ve diğer tesisatların çeşitli bölümlerinden üretildiği saptanmıştır. Bunlar yuvarlanma gürültüsü, köprü yapısı gürültüsü, pantograf kıvılcım gürültüsü, pantograf aerodinamik gürültüsü, dişli gürültüsü ve diğer aerodinamik gürültülerdir. Gürültünün kontrol altına alınması için, gürültü ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm cihazı ile elde edilen

verilerin işleme yöntemleri gösterilmiştir. Bireysel gürültü kaynağından üretilen gürültü miktarı tahmin edilerek tren hızı arttığında, aerodinamik gürültünün katkısının büyük olduğu tespit edilmiştir. Aracın yüzeyi pürüzsüzse, önemli derecede gürültünün azaldığı belirtilmiştir. Elde edilen verilere dayanarak, Shinkansen için mümkün olan en az gürültü değeri çeşitli formüllerle hesaplanmıştır [9].

Lambert ve diğerleri, hızlı tren gürültüsünden rahatsızlık duyulması üzerine sosyal bir araştırma yapmışlardır. Paris'ten batıya ve güneye uzanan, Fransa'nın batısı olan TGV Atlantique hattında yaşayan sakinler tarafından hissedilen gürültünün etkisini değerlendirmek için 260 kişi üzerinden bir sosyal araştırma yapılmıştır. Bu araştırma tren hattının açılmasından 2-3 yıl sonra gerçekleştirilmiştir. Her anket alanında konutların en çok görülen cephelerinde, 13 saatlik bir gürültü ölçümü ve ek 1 saatlik ölçümler yapılmıştır. Bu uzun ve kısa süreli ölçümler, karşılaştırma ve hesaplama ile uygulanan ekstrapolasyona dayanarak, görüşülen toplam nüfusun gürültüye maruz kalması değerlendirilmiştir. 65 dBA gündüz L_{eq} değerinde bir gürültüye maruz kalma sınırı uygulanmasının yanı sıra ek olarak hat boyunca düzenlenen koruma tedbirleri ile genel olarak gürültü, sakinlerin çoğu için kabul edilebilir seviyelere getirilmiştir [10].

Ringheim Norveç hızlı trenin gürültü tahmini ve kontrolü üzerine yaptığı çalışmada, Norveç'te 200 km/sa hızla çalıştırılması planlanan X2000 dizaynına dayanan elektrikli trenler için gelecekteki gürültü seviyelerinin tahminini gerçekleştirmiştir. Bu tahminin tarihte planlanan proje için oldukça önemli olduğu belirtilmiştir. Tren gürültüsü için İskandinav Tahmin Yöntemi revize edildiği ve yeni gereksinimleri karşılamak üzere geliştirildiği belirtilmiştir. Ayrıca İskandinav ülkelerindeki akustikçilerin, çevre otoriteleri ve ulaştırma idareleriyle, açık hava gürültü kaynakları için tahmini yöntemlerin geliştirilmesi, revizyonu ve uyumlaştırılması için uzun yıllardır işbirliği yaptığı vurgulanmıştır. Kullanılan yöntemde frekansa bağlı bir kaynak yüksekliği kullanılmıştır ve yöntem birçok farklı tren tipi için emisyon seviyelerini içermektedir. Çalışmada Danimarka, Finlandiya, Norveç ve İsveç'teki trenlerde çok sayıda kaynak ölçümleri yapılmıştır. Hıza bağlı oktav bant seviyeleri normalize edilmiştir [11].

Hothersall ve diğerleri, yaptıkları çalışmada hızlı bir trenin 1:20 ölçekli bir modelini kullanarak elektronik bir odada çeşitli açıdan gürültü bariyerinin farklı biçimlerinin yutum

miktarlarını belirlemeye çalışmışlardır. Trenin alt kısmındaki kaynaklardan, raylar ve tekerlekler bölgesindeki gürültünün zayıflatılması sağlanmıştır [12].

Yoon ve diğerleri, YHT'nin tünele girerken oluşturduğu ses patlamasını test etme ve önleme üzerinde çalışmışlardır. Verilen bilgilere göre, tren yüksek hızda bir tünele girdiğinde bir sıkıştırma dalgası oluşur ve tünel boyunca yayılır. Tünelin çıkış portalından yüksek hızda bir tren çıktığı zaman çıkan bir sıkıştırma dalgası, mikro basınç dalgası olarak adlandırılan bir itici gürültüye neden olur. Bu tür dalgalar, tünelden geçerken yolculara rahatsızlık yaratan olumsuz sesler meydana getirmektedir. Tüneldeki basınç değişimleri ve tren hızı, tıkanma oranı, burun şekli gibi parametrelerle mikro basınç dalgası üzerinde etkili olmaktadır. Mikro basınç dalgasını azaltmak için çeşitli önlemler vardır. Bu çalışmada; tren burun şeklinin gürültüye etkisini göz önüne alarak, sonik patlama gürültüsünün tahmini için yeni bir yöntem üzerinde çalışılmıştır [13].

İngiltere Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü ile işbirliği içinde AEA Teknoloji, tarafından hazırlanan raporda kısa mesafeli hava yolculukları ile yüksek hızlı tren uygulamaları çevresel açıdan karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında uçak ve demiryolu gürültüsünün genellikle farklı gürültü göstergeleri kullanılarak ölçüleceği, taşıma türlerine göre gürültüyü karşılaştırmak için L_{eq} kullanırken bir dizi zorluklar ortaya çıkabileceği belirtilmiştir. Bu durumu önlemek için, bu çalışmada benimsenen yaklaşım, taşınan yolcu başına belirli bir ses maruziyet seviyesi Sound Exposure Level (SEL) maruz kalan insanların sayısına bakmak olmuştur. Çalışmada, YHT ve yerli uçağı karşılaştırarak, tüm spesifik güzergahlar için gürültü yükü belirlenmiştir. Çalışma aynı zamanda, diğer tüm ulaşım araçlarından gelen mevcut gürültü seviyelerini göz önüne alarak, bir hat boyunca (Londra'dan Manchester'a) ek tren veya uçakların spesifik gürültü yükünü araştırmıştır. SEL değerlendirmesinde, yüksek hızlı demiryolu hattının genel olarak, yolcunun taşıdığı her bir iç hat havasından (ortalama doluluk faktörlerini varsayarak) daha yüksek bir nüfus ağırlıklı gürültü yükü olduğu görülmüştür. Piste bitişik binaların etkisi göz önüne alındığında binalar ve şehirler arasındaki etkilerin taranması halinde, kent içi uçak ve yüksek hızlı demiryolu arasındaki göreceli yükler daha yakındır. Beş farklı yüksek hızlı tren seferindeki gürültü yükü, beklenenin aksine yol uzunluğu ile güçlü bir korelasyon göstermemiştir. SEL analizinin yüksek hızlı tren veya uçak yolculuğunda sese maruz kalma göstergesi sağlamanın yanı sıra rotalar ve diğer gürültü kaynakları açısından oluşan yükü değerlendirmede de önemli bir ölçüt olduğu görülmüştür [14].

Kikuchi ve diğeri, YHT tünelleri ve trenlerden yayılan düşük frekanslı gürültünün ölçümü üzerinde çalışmışlardır. YHT tarafından üretilen düşük frekanslı gürültü ve yol altı düşük frekanslı gürültünün gerçek koşullarını belirlemek için alan ölçümleri: Biri tünellerin portalının yakınında, diğeri tam açık kesim olmak üzere iki alanda gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya göre; tren yüksek hızda bir tünelle girdiğinde, tünellerin içinde bir basınç dalgası oluşur. Basınç dalgası ses hızıyla tünellerden geçer, çıkış portalına gelir ve bir genişleme dalgası olarak geri yansıtılır. Sıkıştırma dalgasında enerjinin bir kısmı tünellerin dışına doğru yayıldığından, tünellerin portalının yakınında düşük frekanslı gürültü gözlemlenir. Bu olaya YHT'nin tipik yol kenarı çevresel sorunlarından birini oluşturan "mikro basınç" dalgası denir. Mikro basınç dalgası radyasyonundan sonra, tren, tünellerden çıkana kadar nispeten küçük genlikli basınç dalgaları çıkış portalından yayılmaya devam eder. Bu sürekli dalgalar, tünellerin içerisinde hareket eden trenin etrafındaki kararsız basınç değişimlerinden kaynaklanmaktadır ve "sürekli basınç dalgaları" olarak adlandırılır [15].

Sürekli basınç dalgaları sadece çıkış portalından değil girişten de yayılmaktadır. Ölçümler Ekim 2000'de Japonya Çevre Bakanlığı tarafından çıkarılan ve G-ağırlıklı SPL, 1/3 oktav bantı spektrumları, hız bağımlılığı ve SPL'nin uzaklığının zayıflatılması için yürütülen el kitabına dayandırılmıştır. Çalışmada ölçülen sonuçlar, tünellerin portalından gelen düşük frekanslı gürültünün ana bileşenlerinin mikro basınç dalgaları ve sürekli basınç dalgaları olduğunu gösterirken açık kesitteki alanlar, alanın yakınındaki hidrodinamik basınç değişiklikleri ve uzak alan akustik basınç dalgaları olduğunu göstermiştir [15].

Givoni, modern hızlı trenin; hızlı gelişimi ve çeşitli etkileri üzerine bir çalışma yayınlamıştır. Çalışmaya göre; hızlı tren altyapısının yüksek standartları (kullanılan trenler ve inşaat-bakım standartları), muhtemelen konvansiyonel sisteme kıyasla daha az gürültüye neden olur. Sadece 300 km/sa üzerindeki hızlarda aerodinamik gürültü ana gürültü kaynağı haline gelir. Bu nedenle hızlı tren için de konvansiyonel trenlerde olduğu gibi baskın gürültü kaynağı yuvarlanma gürültüsüdür. YHT sistemi yüksek hızlarda gürültüye neden olur, ancak maruz kalan insan sayısı beklenenden daha düşüktür, çünkü yoğun nüfuslu bölgelerde trenin hızı genelde en düşüktür (trenin durması için gereken mesafe nedeniyle), bu da hızın arttığı zamanda trenin istasyondan uzakta olduğu anlamına gelmektedir [6]. Givoni, başka bir çalışmasında uçak ve hızlı tren tarafından oluşan gürültü kirliliğini karşılaştırmaya çalışmıştır. Çevresel sebeplerden ötürü kısa menzilli güzergâhlarda YHT hizmetiyle uçak hizmetlerinin değiştirilmesi gerekliliğini belirtmiştir.

Çalışmada Londra ve Paris arasındaki bir uçuşta ve bir YHT hizmetinden kaynaklı yerel hava kirliliği (LAP) ve iklim değişikliği etkilerini değerlendirerek, ampirik olarak incelemiştir. Emisyonların, olumsuz etkilerin, oluşan hasarın ve maliyetlerin karşılaştırılması sonucunda bir uçak koltuğunun bir YHT koltuğuyla değiştirilmesinin yararlı olduğu bulunmuştur. Bu yararların, uçak ve YHT geçişinin muhtemel olacağı tüm rotalar için de geçerli olabileceği vurgulanmıştır. Çevresel etkilerin değerlendirilmesinde birçok kısıtlamaya karşın böyle bir analizin değerli olduğu ve önemli bilgiler sağladığı ileri sürülmüştür. Bunlara ek olarak YHT arazi kullanımı, habitat kaybı, parçalanma gibi olumsuz çevresel etkilere de yol açmaktadır. Söz konusu çalışmada; iklim değişikliği ele alındığında ise tüm güzergâhlar üzerindeki etkileri açısından uçak taşımacılığına göre YHT'nin daha az çevresel kirliliğe neden olduğu belirtilmiştir [16].

Poisson yaptığı çalışmada, YHT tarafından oluşan aeroakustik ve yuvarlanma gürültüsü kaynaklarını incelemeye almıştır. Bu çalışma, Fransa'da devam eden YHT projeleri ve daha yakın zamanda üretilen deneysel verilerin karşılaştırılması yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Veriler, farklı demiryolu taşıtlarının akustik yayılımının ölçülmesini içeren, birlikte çalışabilirlik için yüksek hız teknik spesifikasyonlarına göre yürütülen NOEMIE projesinden elde edilen ölçümlerdir. Buna ek olarak, bir TGV-Dubleks trenin 350 km/sa hızda kullanımı ile yapılan bir akustik test çalışması çerçevesinde elde edilen ölçümler değerlendirilmektedir. Bunlar, iki boyutlu akustik dizi ölçümlerini kullanan kaynak lokalizasyonu ve hızın bir fonksiyonu olarak ses artışlarının değerlendirilmesini içerir [17].

Lee ve Griffin tarafından YHT'nin geçişi esnasında kaydedilen tren gürültüsünün binalarda oluşturduğu gürültü ve titreşim etkileri 20 Hz titreşimli bir laboratuvar deneyi ile araştırılmıştır. Gürültüler, pencereler açık ve pencereler kapalı iken test edilmiştir. Denekler altı seviyeli gürültüye ve altı adet titreşim şiddetine maruz bırakılarak deneklerden hissettikleri rahatsızlığı 11 sayılı sayısal bir ölçekle değerlendirmeleri istenmiştir. Deney dört oturumdan oluşmaktadır: (1) titreşim yokluğunda gürültü probleminin değerlendirilmesi, (2) eş zamanlı gürültü ve titreşimden kaynaklanan rahatsızlığın değerlendirmesi, (3) titreşim varlığında gürültü rahatsızlığının değerlendirilmesi ve (4) ses yokluğunda titreşim rahatsızlığının değerlendirilmesi şeklinde uygulanmıştır. Sonuç olarak; titreşimin, gürültü rahatsızlığının derecelerini etkilemediği, ancak gürültü ve titreşimin neden olduğu toplam rahatsızlığın, tek başına sesin neden

olduğu rahatsızlıktan daha büyük olduğu saptanmıştır. Gürültü rahatsızlığı ve kombine gürültüden kaynaklanan toplam rahatsızlık, gürültüye duyarlılığın kendine göre derecelendirilmesi ile ilişkilendirilmiştir. Birleşik gürültü kaynakları (tek kaynak sıkıntısından maksimum veya bireysel rahatsızlık derecelendirmelerinin entegrasyonu) nedeniyle toplam rahatsızlığın iki klasik modeli eş zamanlı gürültü ve titreşimden kaynaklanan toplam rahatsızlığa ilişkin faydalı öngörüler sağlanmıştır [18].

Yue, Michigan Üniversitesi'nde çalıştığı tez konusunda Çin'in YHT sistemlerinin yaşam döngüsü değerlendirilmesi üzerinde durmuştur. Yaşam döngüsü analizi; enerji tasarrufu, gürültü kirliliği, su kirliliği, hava kirliliği, katı atıklar ve inşaatla ekolojik hasar dahil olmak üzere çevresel faydaları ya da etkileri vurgulayan bir analizdir. Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), yaşam döngüsü aşamalarını değerlendirmek, Pekin ve Şanghay arasında Çin'in YHT sisteminin çevresel etkilerini araştırmak için kullanılmıştır. Çin Demiryolu Bakanlığı, Ecoinvent veri tabanı ve Çin çekirdek yaşam döngüsü veri tabanı (CLCD) elde edilen veriler, YHT yaşam döngüsü envanteri oluşturmak için derlenmiştir [19].

Qing Di ve diğerleri, hızlı tren ve geleneksel tren gürültüsünden kaynaklanan rahatsızlık ile faaliyet bozukluğu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Verilen bilgilere göre YHT ve geleneksel trenler gürültü bakımından hem zaman hem de frekans alanı bakımından farklıdır. Yarı serbest alanda iki tür tren seslerinin iki taraflı kulaklık kayıtlarına dayanarak, Çin'deki azami tren geçişi olaylarının sebep olduğu gürültü rahatsızlığı ve aktivite bozulması laboratuvar değerlendirilmeleriyle araştırılmıştır. Çalışmada: İki taraflı bir ses çalma sisteminin kulaklık yoluyla ses uyarımını aldıktan sonra, deneklerin demiryolu gürültüsünden dolayı rahatsızlıklarını 0-100 arası sayısal ölçekte ifade etmeleri istendi. Deney sonrasında birçok sakin, gürültü etkilerinden şikâyetçi olmuştur. Bu nedenle gürültü etkisini incelemenin, uygun gürültü endeksi ve limitleri geliştirmenin acil bir ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Çin'de, ilk YHT 2008'de faaliyete geçirildiği zamandan bu yana toplam kilometre uzunluğu 10,000 km'yi aştığı, ancak Çin'de YHT gürültüsü için özel bir çevre kalite standardı oluşturulmadığı da belirtilmiştir [8].

Wu ve Ge, YHT'nin geçiş gürültüsü üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada verilen bilgilere göre: Geçen hızlı trenin ses basıncı seviyesinin (L_p) zaman geçişi asimettiktir. Ayrıca yüksek hızdaki bir trenin oluşturduğu sesler araştırılmış ve L_p 'nin zamanla değişmesine etki eden faktörler analiz edilmiştir. Tren içinde bulunan bölümler için sesin gelme süresi

asimetri için birincil neden olmuştur. Geliştirilmiş bir hesaplama yöntemi, bir yayılım zamanı düzeltilmesi getirilerek önerilmiştir. Optimize edilmiş yöntemden elde edilen hesaplama eğrisinin, Çin Pekin-Şangay Demiryolundan edinilen ölçüm verileri ile uyumlu olduğu belirtilmiştir [20].

Deivasigamani ve White, raylı sistem tasarımları için demiryolu gürültü tahmini metodolojilerinin karşılaştırılması üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada yer verilen bilgilere göre; demiryolu gürültüsünü önlemek için gürültü bariyerleri gibi kontrol önlemleri tasarlanırken, öngörülen modellemede uygulanan metodolojiye bağlı olarak bu engellerin yüksekliği önemli derecede değişmektedir. Raylı sistemler için gürültü kontrol önlemi olarak ray kenarı engelleri benimsenmektedir. Bu bariyer yüksekliklerini optimize ederken, kaynak seviyelerini, kaynak yüksekliklerini ve yönlendirmeyi olabildiğince gerçekçi bir şekilde modellemek önemlidir. Herhangi bir demiryolu metodolojisinin doğruluğunun saptanması, önemli saha ölçümleri ile doğrulamayı içerir. Bununla birlikte, uygulanmadan önce herhangi bir ray metodolojisinin uygulanabilirliğinin, avantajlarının ve kısıtlamalarının ayrıntılı olarak incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu şekilde tahmini modelin, daha gerçekçi sonuçlar ve daha uygun gürültü kontrol önlemlerinin seçilmesine imkan sağladığı sonucuna varılmıştır [21].

Zhang ve diğerleri, YHT'de aerodinamik gürültünün azaltılması üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada; Lighthill'in akustik teorisine dayanan geniş bant gürültü kaynağı modeli, hızlı tren aerodinamik gürültü kaynaklarının sayısal simülasyonları için kullanılmıştır. Ana gürültü kaynaklarına bağlı gürültü azaltma yöntemlerinin analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında: Tam kapsamlı bir YHT için, altı araç tipi, iki araç arası mesafe, iki ön cam sileceği ve iki pantograf bulunan üç antrenör de dahil olmak üzere aerodinamik bir ses modeli kuruldu. Öncelikle ana gürültü kaynakları için düşük gürültülü tren tasarım iyileştirmeleri tespit edildi. Bu iyileştirmeler, farklı pantograf çerçeveleri yapıları, pantograf fuar montaj konumları, pantograf kaldırma konfigürasyonları, trendeki boşluklar ve boji etek panolarının yanı sıra mafsal-aşağı veya mafsal-yukarı akış pantograf gibi yapıların seçilmesini içermektedir. Analiz orijinal treninkinden daha düşük ortalama ses basınç seviyesini hedeflemiştir ve düşük gürültülü bir yapı tasarlanmıştır. Sonuç olarak, gürültü azaltma tasarım hedefi başarılmıştır. Buna ek olarak, aerodinamik gürültü hesaplama yönteminin doğruluğu, deneysel rüzgâr tüneli testleri ile doğrulanmıştır [5].

Ülkemiz, ilk olarak 2009 yılında kendine has olarak inşa edilen hat üzerinde ilerleyen, saatte 250 km/sa hız yapabilen Ankara-Eskişehir YHT Projesi ile hızlı tren tarihine başlangıç yapmıştır. Sonrasında, Ankara-Konya 2011, Eskişehir-Konya 2013, Ankara-İstanbul 2014, Konya-İstanbul 2014 tarihlerinde söz konusu şehirler arasında yüksek hızlı tren işletmeciliği açılmıştır [2]. Ankara-Sivas, Ankara-Afyonkarahisar ve Bandırma-Bursa-Ayazma-Osmaneli YHT hatlarında ise inşa çalışmaları ve bazı bölgelerde de YHT proje faaliyetleri sürdürülmektedir [3].

Ülkemizde demiryolu gürültüsü ile ilgili yapılan çalışmalar olsa da yeni bir teknoloji olan hızlı tren gürültüsü ile ilgili çok az sayıda çalışma vardır. Hızlı tren gürültüsü ile bağdaştırabileceğimiz örneklere bu kısımda yer verilmiştir.

Öztürk, yüksek hızlı demiryollarının gelişimi ve Türkiye'nin durumunu incelediği çalışmasında; hızlı trenin, yüksek hızlarda en büyük engeli olarak tanımladığı aerodinamik güçlerden bahsetmiştir. Aerodinamik sürtünmeyi yenmek için gerekli güç, hızın küpü ile aerodinamik sürtünmeden kaynaklanan gürültünün ise hızın altıncı kuvveti ile arttığını belirtmiştir. Çalışmaya göre; aerodinamik engel hem tekerlek-çelik ray teknolojisi ile çalışan hızlı trenler için hem de MAGLEV (Manyetik Levitasyon) trenler için söz konusudur. Bu durum gürültü, titreşim, enerji tasarrufu, arazinin korunması ve güvenlik açılarından manyetik sistemle klasik çelik tekerlek-çelik ray sistemleri arasındaki farkın gittikçe azaldığını göstermektedir [22].

Şahin, yüksek hız kara ulaştırma sistemleri teknolojilerini incelemiştir ve bunların iki gruba ayrıldığını belirtmiştir. Birinci grupta konvansiyonel teknolojileri kullanan yüksek hız demiryolu sistemleri bulunduğunu ve bu sistemlerin taşıtları 200-350 km/sa hız aralığında işletilebildiğini vurgulamıştır. Bu grup içindeki taşıtları, eğilen (tilting body) ve eğilmeyen karoserli olmak üzere ikiye ayırmıştır. İkinci grupta tamamıyla yeni bir ulaştırma teknolojisi olan manyetik askılı (MAGLEV) sistemler bulunmaktadır. MAGLEV taşıtları 400-500 km/sa hız aralığında işletilebilmektedir. Çalışmada, mevcut ve geliştirilmekte olan yüksek hız kara ulaştırma sistem ve teknolojilerinin özellikleri ve uygulamaları araştırılmış, tarihsel olarak ilk temassız ulaştırma sistemi, Aérotrain hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Sonuç olarak teknoloji ve sistemlerin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır [23].

Toprak ve Aktürk, raylı ulaşım sistemlerin neden olduğu gürültü ve çevresel etkilerini incelemişlerdir. Raylı sistemlerin oluşturduğu çevresel gürültü incelenerek, diğer ulaşım sistemlerine kıyasla raylı sistemlerin çevre dostu ulaşım sistemi olduğu belirtilmiştir. Gelişmiş hızlı tren sistemlerinin kullanımıyla bu sorunların azaltılabileceği ifade edilmiştir. Bununla ilgili olarak Fransa'da devlet tarafından desteklenen hızlı tren TGV'nin, Paris ile Lyons arasındaki uçak yolculuklarını ve çevre kirliliğini önemli ölçüde azalttığı örneği verilmiştir. Ülkemizde de raylı ulaşım sistemlerin kullanılmaya başlamasıyla diğer ulaşım gürültülerinde önemli bir azalma olduğu; raylı ulaşım sistemleri gürültü sorununu tam olarak ortadan kaldırmasa da, iyi bir kontrol ve bakım çalışması ile diğer şehir içi ulaşım sistemlerine göre daha az gürültü oluşturacağı belirtilmiştir [24].

Toprak, raylı ulaşım sistemlerinde oluşan gürültünün ölçülmesi ve modellenmesi üzerinde çalışmıştır. Yapılan deneysel çalışmada raylı ulaşım sistemlerinin neden olduğu çevresel gürültü seviyelerinin ÇGDYY'de belirtilen sınır değerleri aşp aşmadığının tespiti için yapılan mevcut durum ölçümü ve eşdeğer gürültü seviyesi hesabı yapılmıştır. Bu ölçümler ve hesaplamalar bir hızlı raylı ulaşım sistemi ve bir hafif raylı ulaşım sistemi için değerlendirilmiştir. Yapılan çevresel gürültü ölçüm sonuçlarının yönetmelikte verilen sınır değerlerle karşılaştırılması yapılmış, yapılan karşılaştırma sonucunda hızlı raylı ulaşım sisteminin genel olarak çevresel gürültü değerleri beklenen sınırlar içerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında son olarak yukarıda belirtilen ölçümlerin yapıldığı her iki raylı ulaşım sisteminin neden olduğu çevresel gürültünün modellenmesi (Railway Noise Model–Demiryolu Gürültü Modeli) RNM yazılımı ile yapılmıştır. Yapılan modellemeler ile bir günlük hesaplama sonucunda her iki raylı ulaşım sisteminde de çevresel gürültü probleminin olmadığı tespit edilmiştir. Eşdeğer gürültü seviyelerinin sınır değerlerin altında kalmasına rağmen hatların ileride tam kapasite kullanılması, sefer sayılarının artması ve sefer aralıklarının sıklaşması durumunda ne gibi değişikliklerin olacağı bu tür bir yazılım ile tespit edilebileceği belirtilmiştir [25].

Öztürk, yüksek hızlı demiryolu köprülerinde rezonans olayını incelemiştir. Çalışmada verilen bilgilere göre; tren hızı ile trafik yüklerinin artması titreşim ve gürültü sorununa neden olmaktadır. Potansiyel ve kinetik enerji içeren tüm sistemler dinamik yüklerle tahrik edilmesi halinde titreşim hareketi yaparlar. Demiryolu üstyapısında da, ray ile tekerlek arasındaki temas sırasında birçok düzensizlik ve pürüzlülükten dolayı dinamik yükler ve titreşim hareketi ortaya çıkar. Titreşimler her üç ekseninde hem taşıta hem de üstyapıya

iletilir. Üstyapıya gelen titreşimler ray boyunca iletilir veya travers ve balast aracılığıyla zemine ulaşır. Ray ile tekerlek arasındaki dinamik ilişkiden dolayı ortaya çıkan titreşim frekansları demiryolu sisteminin öz frekanslarına yaklaştıkça dinamik yükler ve deformasyonlar da artar. Trenin tahrik frekanslarından biri veya birkaçı demiryolu sisteminin doğal frekanslarına eşitlendiğinde "rezonans" olmakta ve bu durumda hem treni hem de yolu ciddi ölçüde deforme eden dinamik yükler oluşmaktadır. Bu sebeplerden ötürü tren tasarım aşamasında dinamik analizlerin yapılması gerektiği belirtilmiştir [26].

Arlı, YHT sistemlerine verilen önemin arttığını belirtmektedir. Buna paralel olarak, demiryolunun titreşim ve gürültü gibi çevresel etkileri, üzerinde durulması gereken önemli konulardan biridir. Ancak ülkemizde demiryolu dinamiği ve titreşimleri konusunda yeterli akademik çalışma bulunmamaktadır. Arlı, demiryolu titreşimlerinin model hat üzerinde çok yönlü analizini gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında arazi titreşim ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin, laboratuvar ortamında tam kontrollü olarak yapılmasıyla daha faydalı sonuçlar sağlayacağı belirtilmiştir [27].

Solak, raylı sistem alternatiflerini; manyetik yastık üzerinde hareket eden trenleri (MAGLEV) çok ölçütlü değerlendirme yöntemi ile karşılaştırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; YTH'nin en yeni teknolojisi olan MAGLEV treni projesinin ekonomik yapılabilirliğini belirleyen en önemli etken bu hat üzerinde taşınacak olan yolcu ve yük trafiğinin değeridir. Bu nedenle YHT kullanımı nüfusu yoğunluğu fazla olan Avrupa ve Japonya'da daha verimli olmaktadır. MAGLEV treni için de aynı kıstas geçerli olup, Türkiye'de uygulanması halinde; öncelikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi nüfus yoğunluğu fazla büyükşehirler arasında tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir. MAGLEV tren teknolojisinin yolcular için, konforlu, titreşimsiz ve gürültüsüz taşımacılık için geliştirilmekte olduğu vurgulanmıştır. Gürültü, titreşim, enerji tasarrufu, arazinin korunması ve güvenlik açılarından da manyetik sistemin, klasik çelik-tekerlek, çelik-ray sistemlere göre daha üstün olduğu savunulmuştur. Özellikle yüksek hızlarda gürültü seviyesinin düşük olması, daha az enerji gerektirmesi ve daha hızlı ivme kazandırması yine manyetik sistemin üstün yönleri olarak sıralanmıştır [28].

Işık ve Cebeci'ye göre; yolcu konforu açısından dikkate alınan çevresel gürültü YHT'nin aerodinamik yapısıyla doğrudan alakalıdır. Yapılan çalışmada YHT aerodinamik tasarımının öneminden ve uluslararası standartlarda yapılan yeniliklerden bahsedilmiştir.

YHT hızlarının giderek arttırılmasına istinaden dikkate alınması gereken aerodinamik araç tasarımını ve buna bağlı olarak değişen faktörleri incelemiştir. Technical Specifications for Interoperability (TSI) ve European Committee for Standardization (CEN) standartlarında belirtilen gereklilikler için yapılan iyileştirmeler ve test prosedürlerindeki gelişmeler belirtilmiştir [29].

Çelebi ve diğerleri, YHT'nin çevre binalardaki titreşim etkilerinin azaltılması üzerinde çalışmışlardır. Hızlı tren trafiğinin ürettiği zemin titreşimlerini, yapı-zemin etkileşiminin de hesaba katıldığı bir dalga yayılım problemi olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada; ayrık sayısal çözüm yöntemlerinden yararlanarak sistemin matematik modeli geliştirilmiştir. Dalga bariyerlerinin yerleştirilmesi ile çevre yapılarıdaki etkilerin azaltılmasına dair çözümler sunulmuştur. Dalga bariyerinin yalıtım performansı için tesis edileceği yer ve iç dolgu malzemesi ile ilgili kapsamlı parametrik çalışmalar yürütülmüştür. Sonuç olarak; yapısal titreşimlerin azaltılmasında en yüksek performansı içi boş hendek dalga bariyer modeli göstermiştir. Aktif yalıtım durumunda incelenen tüm dalga bariyer modelleri titreşim azaltmada etkilidir. Dalga bariyerinin konumu demiryolu üstyapı titreşimlerini etkilemediği belirlenmiştir. Tren yükünün demiryolu üstyapısında meydana getirdiği düşey titreşimlerin etkisinin, yol yatağı rijitliğinin arttırılmasıyla azaldığı tespit edilmiştir [30].

Uçev ve Mahdum, hazırladıkları T.C. Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı Çalışma Raporu'nda Dünya'da ve Türkiye'de yüksek hızlı tren işletmeciliği üzerinde durmuşlardır. İlk işletilen hızlı trenlerin daha az maliyetli olduğu belirtilmiştir. Gün geçtikçe gürültü azaltımı için yapılan tasarımlara paralel olarak trenlerin ek bir maliyete sebep olduğunun altı çizilmiştir. YHT ve kentsel raylı sistemlerin geleceğin temel ulaştırma türleri olacağı savunulmuştur. Dünyada örneklerine bakıldığında, başlangıç ve bakım maliyetleri yüksek olan YHT'lerin ekonomik olabilmesi için yatırım yapılan bölgede yolcu potansiyelinin oldukça yüksek ve doluluk oranlarının tam kapasiteye yakın olmasının gerektiği tespit edilmiştir [2].

Araç, yaptığı çalışmada TCDD'nin 2023 hedefleri ile Konya-Karaman hızlı tren hattını incelemiştir. Çalışmaya göre; hızlı tren, şehirlerarası bağlantıyı sağlayıp ulaşılabilirlik kavramını yeniden oluşturur ve bağladığı noktaları sadece bir demiryolu hattıyla değil tüm unsurlarıyla bir araya getirip yeni bölgesel ya da kentsel gelişme koridorları oluşturur. Birbirinden bağımsız bölgelerin temel sosyo-ekonomik değerlerini birleştirir. Hızlı tren söz konusu çalışmada; yüksek taşıma kapasitesine sahip, sefer sayısı yüksek, çevreci bir ulaşım

aracı olarak tanımlandığından dolayı daha hızlı, güvenli, sıfıra yakın gecikme zamanlı, minimum kaza oranlı, dolaysız şehir merkezine ulaşılabilen, modern, rekabetçi, rahat ve huzurlu bir ulaşım seçeneği olarak sunulmuştur [31].

Göktepe ve diğerleri, yapay anakaya kullanılarak YHT'in alüvyon zeminlerdeki çevre yapılarında oluşturduğu titreşim etkilerinin azaltılması üzerinde çalışmışlardır. Hızlı demiryolu hattına yakın yapıları yumuşak zemin koşullarında taşınan kuvvetli titreşimlerden korumak için dalga bariyeri olarak yapay anakaya modeli günümüzde sık kullanılmaktadır. Çalışmada, YHT trafiğinin meydana getirdiği titreşimlerin demiryolu ağının çevresindeki binalarda oluşturduğu olumsuz, rahatsız edici etkilerin azaltılması için dalga engelleyici bariyerlerin kullanımı araştırılmıştır. Yapay anakayanın aktif ve pasif yalıtım durumlarına göre performansını değerlendirebilmek için ayrıntılı parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak; yapay anakaya bariyer modelleri ile gerçekleştirilen pasif yalıtım tedbirlerinin, demiryolu üstyapı titreşimlerini önemli derecede etkilemediği ancak aktif yalıtım durumunda taban kaya uygulaması titreşimlerin genliklerini yalıtımsız duruma göre yaklaşık % 25 civarında arttırdığı tespit edilmiştir. Tren setlerinin yüksek hızlarda sürekli geçişleri sırasında zeminlerde oluşan yüksek frekanslı titreşimlerin çevre üst yapılardaki dinamik etkilerinin araştırılması ve azaltılması konusunda, ülkemizde detaylı bir disiplinler arası çalışmanın henüz yapılmadığı belirtilmiştir. Mevcut araştırmaların sadece demiryolu üstyapı titreşimlerinin azaltılmasına yönelik yapılması, sorunun yüzeysel olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Disiplinler arası yapılacak çok yönlü bir çalışma, rahatsızlık verici titreşimlerin azaltılmasıyla ilgili uygun çözümlerin üretilmesini ve sayısal modellerin geliştirilmesini böylece sorunun genel bir çözüme kavuşmasını sağlayabilecektir [32].

Özçetin, yaptığı çalışmada Celal Bayar Bulvarı üzerinde trafik kaynaklı gürültünün analizi ve çevresel etkilerinin araştırılması üzerine bir yöntem önerdiği çalışmada mevcut güzergâhtaki tren gürültüsünün de dâhil olduğu çevresel gürültüyü incelemiştir. Çalışmada, ülkemizde kullanım yoğunluğunun fazla olduğu karayolu ve demiryolu ulaşım yollarından kaynaklanan gürültü probleminin etkileri birlikte ele alınıp, gürültü analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında, belirli zaman dilimlerinde (gündüz-akşam-gece), söz konusu alanda yer alan karayolu ve demiryolu gürültüsüne yönelik çevresel gürültü ölçümleri yapılmıştır;

ölçümler sonucunda elde edilen veriler ışığında simülasyon yöntemiyle gürültü haritası oluşturularak, demiryolu ve karayolu gürültüsünün hat boyunca gürültü kontrolü analizi gerçekleştirilmiştir [69].

Yapılan bu literatür çalışması sonucunda, ülkemizde demiryolu gürültüsü ile ilgili çalışmaların eksikliği göze çarpmaktadır. Özellikle YHT kaynaklı çevresel gürültü konusunda yok denebilecek kadar az sayıda çalışma vardır. Bu bağlamda bu çalışma ile yapılan değerlendirmelerin literatüre katkı sağlanacağı düşünülmektedir.





3. ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ

Gürültü ve ses fiziksel olarak aynıdır. Hem gürültü hem de ses, havadaki salımlı parçacıklar üzerinde taşınan benzer akustik dalgalanmalardır. Ancak duyulan sesin gürültü olarak adlandırılması kişileri rahatsız etmesi halinde olur. Ses, kulak tarafından ses dalgalarını kulak içindeki titreşime çeviren mekanik bir süreçle tespit edilir [33]. Başka bir ifadeyle; insan kulağının duyabileceği mekanik titreşimlerdir. Bu titreşim enerjisi fiziksel olarak sıvı, gaz ya da katı bir ortamdan havaya iletilmesinden doğar [34].

Çok yüksek sesin bazı zamanlar hoş gitse bile, işitme kaybı başta olmak üzere birçok fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıklar gibi olumsuz etkileri vardır. Sesin üretilmesi, yayılması ve algılanması ile ilgili tüm alanları kapsayan akustik biliminde yer alan gürültü, insanlarda sağlık ve huzur bakımından geçici veya sürekli olarak zarar meydana getirmektedir [36,34]. İnsanlar için hoş gitmeyen, rahatsız edici duygular uyandırmaktadır. Böylece kişiler tarafından arzu edilmeyen bu sesler, kontrolü yapılması gereken çevresel gürültü kirliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevresel gürültüye neden olan çeşitli kaynaklar vardır. 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 sesleri çevresel gürültüyü meydana getiren gürültü kaynaklarıdır [35].

YHT günümüzde yolcu taşımacılığı açısından demiryolu taşımacılığının en gelişmiş halidir. Zaman ve konfor açısından insanlar için tercih sebebi haline gelmiştir. Ancak diğer taşıtlarda olduğu gibi oluşturduğu çevresel gürültü kirliliği de göze çarpmaktadır. YHT için gürültü sınır değerleri Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY)'ne tabiidir. Yönetmelik gürültünün zararlı etkilerinin kontrol altına alınması için yaptırımları ve uygulanacak yöntemleri içermektedir.

3.1. Çevresel Gürültü Kaynakları

Gürültü kaynaklarının çeşitli gruplandırmaları vardır. Gürültü kaynaklarının çeşitli gruplandırmaları vardır. Seslerin havada ve katı ortamlarda doğmasına göre

sınıflandırılması ya da akustik olarak incelendiğinde: Noktasal, çizgisel ve düzlemsel kaynaklarda yayılmalarına göre gruplandırılmasıdır [39].

Önemli kaynaklardan olan, noktasal kaynaklarda meydana gelen ses enerjisi tüm yönlerde eşit olarak dağılmaktadır. Noktasal gürültü kaynağı olarak sanayi kuruluşlarının neden olduğu gürültüler örnek verilebilir.

Çizgisel gürültü kaynağı, türbülanslı bir akışkanı taşıyan veya ara mesafeleri yakın birçok noktasal kaynağın toplamı olarak tanımlanabilmektedir [40]. Otoyol ve demiryolları gibi çizgisel kaynaklardan oluşan gürültüler bu kategoride değerlendirilmektedir. YHT bu tanımdan anlaşılacağı üzere çizgisel bir gürültü kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Düzlemsel gürültü kaynağı ise, çok sayıda nokta kaynağın bir düzlem üzerinde birlikte yer almasıyla oluşmaktadır. Çocuk bahçeleri, açık pazar yerleri, açık spor alanları düzlem kaynak olarak tanımlanmaktadır [41].

Çevre gürültüleri; kaynağın yanı sıra gürültüye maruz kalan kişilerin aynı çevrede buldukları konuma ve gürültünün yayılma yollarına bağlı olarak incelenmektedir. Yapı içinde yer alan her türlü elektronik ve mekanik sistemler aynı zamanda oluşan konuşma sesleri, adım sesleri, ev araçlarının gürültüleri, yükseltilmiş müzik sesleri, darbe ve eşya sürtünme sesleri, kapı çarpmaları, iç ortam gürültüleri, garaj gürültüleri, çeşitli makine ve donanımların gürültüleri yapı içi gürültüleri olarak adlandırılmaktadır [38,39]. Yapı dışı gürültüleri ise YHT sistemlerinin de dâhil olduğu ulaşım gürültüleri; açık alanları kullanan kişileri ya da yapı içerisindeki kişileri etkileyen, yapı dışında yer alan kaynaklardan oluşan gürültülerdir [38].

Demiryolu kullanımı, pek çok avantaja sahiptir ve diğer ulaşım araçları ile kıyaslandığında çevre dostu olarak bilinmektedir. Bu avantajları sebebiyle YHT dünya çapında sürdürülebilir kalkınma için önemli bir kıstas haline gelmiştir [51]. Ancak çözülmesi gereken bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. YHT sistemleri, belirli bir zaman aralığında takip süresince seviyesi aniden ortam gürültü seviyesine düşen ve ortam gürültü seviyesi üzerindeki değeri bir saniye veya daha fazla sürede sabit olarak devam eden kesikli bir gürültüye neden olmaktadır [38]. Oluşan bu rahatsız edici gürültü ve titreşim, yeni hatlara veya YHT ağ genişletmelerine itiraz etmek için önemli engel teşkil etmektedir.

3.2. Gürültünün İnsan Sağlığına Etkileri

Sağlıklı insan kulağı yaklaşık 20-20,000 Hz arasındaki sesleri duyabilmektedir. Bu bölgeye “işitilebilir frekans aralığı” denir. Bu sınırın altındaki titreşimlere infrasonik, üstündeki titreşimlere de ultrasonik dalgalar denir. Konuşma sesi aralığı da 500-2,000 Hz arasında değişmektedir. İnsan kulağının acı duyma eşiği 100 Pascal'lık ses basınç seviyesindedir. Acı duyma eşiği ses basınç düzeyi olarak da 120-140 dBA aralığında kişilere göre değişmektedir [36,38].

Çizelge 3.1. Gürültülerin sınıflandırılması [39]

I. Derecedeki Gürültüler 30 – 65 dBA	Konforsuzluk, rahatsızlık, sıkılma duygusu, kızgınlık konsantrasyon ve uyku bozukluğu
II. Derecedeki Gürültüler 65 – 90 dBA	Fizyolojik gürültü, kalp atışının değişimi, solunum hızlanması, beyindeki basıncın azalması
III. Derecedeki Gürültüler 90 – 120 dBA	Fizyolojik gürültü, baş ağrısı
IV. Derecedeki Gürültüler 120 – 140 dBA	İç kulakta bozukluk
V. Derecedeki Gürültüler 140 dBA	Kulak zarının patlaması.

Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere farklı desibelde ortaya çıkan gürültüler insan vücudunda fiziksel, ruhsal ve psikolojik tepkilere sebep olmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalara göre; büyük şehirlerde gürültü kirliliğinden etkilenen kişi sayısının giderek arttığı ve bunun sonucu toplum sağlığı üzerinde büyük riskler meydana getirdiği saptanmıştır [61].

1971’de Dünya Sağlık Örgütü (WHO), gürültünün; insan sağlığına karşı ana bir tehdit olarak değerlendirilmesi gerektiğinin altını çizmiştir [42]. WHO’ya göre 50 dBA gürültü orta derecede, 55 dBA gürültü ise ciddi derecede sağlık problemlerine yol açmaktadır [36]. Demiryolları çevresinde gürültü etkisi, geleneksel olarak gürültünün enerji açısından eşdeğeri olan sabit seviyeyi gösteren, Eşdeğer Sürekli Ses Basınç Seviyesi (L_{eq}) kavramı kullanılarak değerlendirilmektedir [35,14]. WHO araştırmalarına göre Avrupa nüfusunun yaklaşık %25’i 65 dBA (L_{eq24})’nın üzerinde ulaşım gürültüsüne maruz kalmaktadır [42].

Ülkemizde ÇGDYY’de demiryolu eşdeğer gürültüsü için; gündüz (07.00-19.00) 12 saatlik zaman dilim için 65 dBA, akşam saatleri (19.00-23.00) için 60 dBA, gece saatleri için (23.00-07.00) 55 dBA olarak aşılmaması gereken sınır değerler belirtilmiştir.

Bu sınır değerlere uyulmadığı takdirde oluşan çevresel gürültü, insan sağlığını ve yaşam alanlarını olumsuz etkileyerek yaşam kalitesinin düşmesine ve artan şikâyetlere neden olacaktır. Çevresel gürültü kaynakları, fizyolojik bozukluklar ve strese bağlı olarak; depresyon, davranış bozuklukları, hormon dengesizliği gibi rahatsızlıkların yanı sıra işitme kaybı riskini de arttırabilmektedir. Ayrıca çevre gürültülerinin olumsuz etkilerinin başında uyku bölünmesi gelmektedir. YHT gürültüsü için en önemli rahatsızlık etkisi olarak söz konusu uyku bölünmeleri ve sonucunda oluşan olumsuz etkiler olarak görülmektedir.

Gürültüye maruz kalma, gece boyunca uyku bozukluğuna beraberinde huzurun kaçmasına ve konsantrasyonu bozulmasına neden olmaktadır. Yapılan araştırmalara göre; aktif sempatik sinir sistemi, endokrinler ve metabolizma ile strese karşı vücut reaksiyonlarının kan basıncında, kalp ritim hızında ve stres altındaki hormon salgılamasında değişikliğe neden olabileceği düşünölmektedir. Genel olarak, trafik ve havaalanı gibi ulaşımdan kaynaklanan rahatsız edici gürültü kaynakları arasında demiryolu gürültüsü daha az rahatsız edici olarak bilinmektedir. Ancak demiryolu gürültüsünün gece uykusunu bozduğu yapılan araştırmalara göre açığa çıkarılmıştır [45]. Gece uykusunun bölünmesi ise gün içerisindeki yaşam kalitesini oldukça etkilemekte ve fiziksel ve ruhsal sorunları beraberinde getirmektedir.

Kısacası ulaşım kaynaklı oluşan gürültü insan sağlığı ve yaşam kalitesini olumsuz olarak etkilemekte; fizyolojik, psikolojik dengesini bozabilmekte ve iş verimini azaltmaktadır. Uzun vadede bu tip gürültüleri maruz kalınması kalıcı işitme kayıplarına ve vücudun farklı sistemlerine etki ederek hastalıklara sebep olabilmektedir. Büyük şehirlerimizin çoğunda yapılan gürültü ölçümlerinde çıkan değerlerin eşik değerleri geçtiği saptanmıştır. Yine Avrupa'da 13 milyondan fazla insanın 65 dB'in üzerinde çevresel gürültüye maruz kaldığı belirtilmektedir [43].

3.2.1. Gürültünün fiziksel etkileri

Gürültünün fiziksel ve ruhsal olarak insanlar üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu olumsuz etkiler kısa ve uzun vadede fiziksel kayıplara ve rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Gürültü sebebiyle en çok karşılaşılan sorun, geçici işitme (duyma) eşiği kayması olarak tanımlanan duymada geçici kayıp yaşanmasıdır. İşitme kaybı 85 dBA gürültüye uzun süre maruz kalınması veya 140 dBA gürültüye kısa süre maruz kalınmasıyla gerçekleşmektedir [36].

3.2.2. Gürültünün fizyolojik etkileri

İnsan vücudu, ani ve yüksek seslere karşı tepki göstermektedir. Günümüzde gürültü ile kalp hastalıkları arasındaki ilişki konusunda sürdürülen çalışmalar ve deneyler devam etmektedir. Yapılan çalışmalara göre gürültünün; yüksek kan basıncına (hipertansiyon), hızlı kalp atımına, adrenalin yükselmesine, solunumun hızlanmasına, adale gerilmesine, irkilmelere neden olabildiğini kanıtlamıştır [36]. Aralıklı ve ani olarak gelişen gürültü kişide hızlı adrenalin deşarjı yaratarak kalp atış oranını, solunum sayısını, kan basıncını arttırarak; dikkat azalması, uyku düzeni bozulmalarını meydana getirmektedir. Bu etkiler uyku sırasında daha çok açığa çıkmaktadır [40].

3.2.3. Gürültünün psikolojik etkileri

Çevresel gürültüler, insanı psikolojik olarak doğrudan etkilememektedir. Var olan psikolojik hastalıkları hızlandırması ve arttırması yönünden ise oldukça önemlidir. Çevresel gürültülerin olumsuz psikolojik etkileri çeşitli davranış bozukluklarına neden olmaktadır. Gürültülü ortama maruz kalma, insanlara rahatsızlık veren gerilim ve sıkıntı halini sürekli hale getirmektedir. Sonuç olarak bu maruziyet; endişe, stres, sinir bozuklukları, sıkıntı, gerilim, baş ağrıları, mide bulantısı, asabiyet, ruh hali değişimleri, sosyal çatışmalarda artış şeklinde insanlar üzerinde olumsuz psikolojik etkisini göstermektedir. Daha ağır rahatsızlıklar ise nevroz ve psikoz bunlara örnektir [42].

3.2.4. Gürültünün performans üzerine etkileri

Yapılan araştırmalara göre gürültü, iş performansı açısından iş hatası ve iş kazalarına neden olmaktadır. Ancak bu yapılan işin niteliğine göre ve gürültü çeşidine göre değişkenlik göstermektedir [42]. Ev, işyeri ve farklı faaliyetlerin gerçekleştirildiği yaşam alanlarında insanların gürültüye maruz bırakıldıklarında performanslarının nasıl etkilendiği araştırma konusudur [40].

En önemli performans etkileri şunlardır:

- Karşılıklı konuşmanın etkilenmesi sonucunda dinleme ve anlama zorlukları oluşmakta ve böylece konuşma kesintiye uğramaktadır. Daha yüksek tonlarda konuşmaya sebep olarak insanların iletişim sağlaması güçleşmektedir. Telefon konuşmaları da bundan

etkilenmektedir. Radyo, TV ve müzik dinleme faaliyetleri de diğer faaliyetler gibi engellenmektedir.

- Okuma ve öğrenme eylemleri için dikkat gerektirici, hafıza ve kelimelerle ilgili çalışmalar gürültü nedeniyle olumsuz olarak etkilenmektedir. Arka plandaki şarkılı bir müzik, kelime hafızasını bozabilmektedir. Okul çağı da çocukların öğrenme sağlığı ve düşünsel aktiviteleri ile çakışmayacak bir çevre gerektirir. Öğrencilerin çevresel gürültülerden ne derecede etkilendiğini konu edinen birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Okullarda etkilenme: Konsantrasyon bozuklukları ve öğretmenlerin bu gürültülü ortamdan olumsuz olarak etkilenmesi şeklinde gözlemlenmektedir [36,40].

Endüstri tesislerinde de performans araştırmaları yapılmaktadır. İşyeri gürültüsü azaltıldığında işin zorluğunda azalma, verimde artma ve iş kazalarında azalma tespit edilmiştir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı verilerine göre; gürültü sonucu oluşan işitme kayıplarının, meslek hastalıklarına oranı %10 olarak belirlenmiştir. Meslek hastalıklarının çoğu tedavi edilebilirken, işitme kaybının tedavisi yapılamamaktadır [36].

3.2.5. Gürültünün uykudan uyanma üzerindeki etkileri

Gürültü nedeniyle uykunun kalite ve kantite yönünden bozulması uzun yıllardan beri araştırılmaktadır [40]. İnsanlar gün boyunca tükenmiş zihinsel ve fiziksel güçlerini yenilemek için sağlıklı bir uykuya gereksinim duyarlar.

Uyku esnasında 65 dBA değerindeki bir ses basınç düzeyine maruz kalındığında uyku bölünebilmektedir. Çeşitli rahatsızlıklar ve uzun vadede sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir [42]. Almanya’da yapılan bir anket araştırmasına göre; mevcut uyku sorunlarının sebepleri kişilere sorulduğunda çevresel gürültü kaynakları üçüncü sırada gösterilmiştir [63]. Aynı zamanda gürültüye maruz kalan insanlarda, sakinleştirici ve uyku ilacı kullanımının arttığı görülmektedir [42].

Ulaşımdan kaynaklanan taşıt gürültüleri çoğu gece boyunca ani uyanmalara neden olmaktadır. Ani uyanma ile uyku bölünmektedir ve uykuya tekrar dalma süresi uzamaktadır ve kişinin REM uykusunu azaltmaktadır [63]. Uyku sonrası gürültü etkileri ise, uyanma sırasındaki ruhsal durum değişimi, dinlenememiş olma duygusu, yorgunluk, baş ağrıları ve genel olarak insan performansının düşmesi şeklinde görülebilmektedir [40].

Yakın zamandaki araştırmalar, gece demiryolu gürültüsünün uykuyu bozduğunu ortaya koymaktadır [45]. YHT açısından bakıldığında; özellikle gece saatlerinde tren geçişi sırasındaki gürültü nedeniyle oluşabilen uyku bölünmeleri, üzerinde durulması gereken bir sorundur. GDYY’de raylı sistemlerde L_{gece} olarak ifade edilen gece süresince uyku kaçırıcı rahatsızlık düzeyi 55 dBA olarak sınırlandırılmıştır.

Gece çevresel gürültü; stres tepkisi, şeklinde ölçülebilir biyolojik değişiklikleri tetiklemektedir. Uyku şeklini ve uyku kalitesini açıkça etkilemektedir. Bu ölçülebilir etkiler ve rahatsız edici durum insanların günlük yaşamlarına da olumsuz olarak yansımaktadır. Gece çevresel gürültüyle rahatsız edilen insanlar ertesi gün kalitesiz uykudan ötürü yorgunluk, rahatsızlık, duygu durum değişikliklerine katlanmak zorunda kalırlar. Aynı zamanda refah düzeyi ve bilişsel performansın azalması gibi süre gelen olumsuzluklara maruz kalırlar [64].

Gece çevresel gürültü, sinerjik direkt ve dolaylı (uyarı rahatsızlıkları vasıtasıyla, biyolojik sistemler üzerindeki etkisi) etkileri nedeniyle sağlık sorunları açısından gürültü kirliliğinin en endişe verici şekli olabilmektedir [64]. Oluşan bu çevresel gürültü kirliliğinden halk sağlığının korunması için gerekli ve yeterli önlemlerin alınması gerekmektedir.



4. YÜKSEK HIZLI TREN VE OLUŞTURDUĞU ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ

Ülkemizin nüfusu, ekonomik potansiyeli ve yüzölçümü değerlendirildiğinde demiryolu ağı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ülke genelinde ulaşımdaki payın bu alanda yük taşımacılığı için %7, yolcu taşımacılığı için ise %4'lere kadar düştüğü görülmüştür[44].

TCDD kısa ve uzun vadede yapımı devam eden ve yapılması planlanan hızlı tren projeleriyle, 2,600 km'lik yeni hattı ülkemiz demiryolu ağına katmayı hedeflemektedir. Böylece; ülke genelindeki demiryolu ağının artırılmasıyla, yük ve yolcu taşımacılığı taşıma payının diğer ulaşım sistemlerine kayması önlenecektir [44].

YHT, toplu taşımada gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir. Ancak birçok kırsal ve kentsel bölge, artmakta olan demiryolu gürültü problemiyle karşı karşıya kalmaktadır. Demiryolu ulaşımı; diğer ulaşım sistemlerine kıyasla daha az gürültü oluşturmasına karşın insanlar tarafından şikâyetlere neden olduğundan gürültü tahmini ve azaltılması ülkeler açısından giderek daha çok dikkat çekmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) araştırmalarına göre gürültü büyük şehirlerde üçüncü tehlikeli kirlilik kaynağıdır. Trenlerin neden olduğu gürültü ise; kentsel trafik gürültüsünden sonra ikinci çevresel gürültü kirliliği kaynağıdır. WHO bu alanda çalışmalarını sürdürmektedir [45].

YHT altyapısının yüksek standartları (kullanılan trenler, inşaat ve bakım standartları), konvansiyonel sistemle kıyaslandığında daha az gürültüye neden olmaktadır. İşletim sırasında hızlı tren gürültüsü; tekerlek-ray gürültüsü, pantograf gürültüsü, köprülerde oluşan gürültü, aerodinamik gürültü gibi çeşitli kaynaklardan meydana gelmektedir. Aerodinamik gürültü, söz konusu kaynaklar arasında en etkili olandır ve tren hızına bağlı olarak değişmektedir. Shinkansen treni ile, 240 km/sa ile 320 km/sa maksimum hızla yapılan bir çalışmada, tren hızı 270 km/sa'yı aştığında aerodinamik gürültünün hakim ses kaynağı olduğu tespit edilmiştir [6]. Ayrıca YHT gürültüsünün geleneksel demiryolu gürültüsünden hem zaman hem de frekans alanında farklı olduğu bilinmektedir. YHT gürültü süresi normalde geleneksel tren gürültüsünden daha kısa sürmektedir [8].

4.1. Hızlı Tren Tanımı ve Türleri

Genel bir tanım olarak hızlı tren; eşik hız olarak 200 km/sa'nın üzerinde bir ortalama hız sağlayan yüksek kapasiteli ve frekanslı demiryolu hizmetleridir. Ancak demiryolu hizmetleri bağlamında yüksek hız için ise tek bir tanım bulunmamaktadır. Avrupa Komisyonu (1996), 96/48 sayılı direktifte yeni hatlar için hız miktarını 250 km/sa olarak, altyapı kapasiteleri bakımından ise konvansiyonel hatların iyileştirilmesiyle oluşturulan hatlar için 200 km/sa olarak belirtmektedir [6].

YHT günümüzde, çelik tekerlek-çelik-ray teknolojisine dayalı olarak geliştirilmektedir. Yüksek hıza uygun yeni bir altyapıyı gerektiren YHT, 300 km/sa ve üzeri hız yapabilmektedir [6]. Bununla birlikte 350 km/sa'nın üzerindeki hızlarda bu sistemlerin teknik sınırlarına erişilmektedir [23]. Uluslararası Demiryolları Birliği, gürültü, güvenlik veya kapasite sorunları nedeniyle maksimum hızda çalışmasına izin verilmeyen yüksek hızlarda çalışabilen, demiryolu hatlarının bulunduğu da belirtmiştir [7].

Yüksek hızda seyahat imkânı sağlayan trenlerin hem ray hem de araç bakımından belirtilen yüksek hıza imkân vermesi gerekmektedir. Yeni bir hattın inşa edilmesi, sinyalizasyon ve elektrifikasyon sistemlerinin kurulması, güvenlik tedbirleri ve yüksek hız yapabilen araçların temini, YHT yatırımları için ciddi bir başlangıç maliyeti gerektirmektedir. Maliyet ve yüksek hız açısından düşünüldüğünde YHT'lerin mümkün olduğunca düz bir güzergâh üzerinde inşa edilmesi gerekmektedir. Hatların yapımında inşa edilen tünel, köprü ve viyadükler yapım maliyetlerini ek olarak artırmaktadır. Başlangıç maliyeti yüksek olsa da seyahat sürelerindeki zaman tasarrufu, bölgesel kalkınmaya katkısı, havayolu taşımacılığı ile kıyaslandığında daha ekonomik olması ve güvenli bir ulaşım alternatifi olması, çevre dostu olarak görülmesi gibi avantajlar sebebiyle YHT'nin kullanımı önem kazanmaktadır [3].

Yüksek hıza uygun yeni bir alt yapı oluşturmak yerine mevcut konvansiyonel hatlarda hız yapabilen çelik tekerlek-çelik ray teknolojisine dayalı olarak geliştirilmiş olan ve yalpalı (tilted) trenler adıyla anılan hızlı tren örnekleri de vardır. Mevcut hatlarda yapılacak az bir değişiklik sistemin işletilmesine olanak vermektedir. 160-250 km/sa kadar hız yapabilen yalpalı trenler ekonomik bir seçenek haline getirilmiştir [46].

Bununla birlikte hat bakım masraflarının fazlalığı, hız limitini mevcut hat üzerinde aşamaması ve yolcu konforu açısından bazı sorunları barındırmaktadır. YHT ulaşım kaynaklı çevresel sorunların artmasıyla daha çok gündeme gelmektedir. Diğer ulaşım sistemlerine göre daha az kirlilik oluştursa da işletimi sırasında çevresel gürültü kirliliğine neden olmaktadır. Tren hızı 300 km/sa'yı geçtiğinde trenler yüksek aerodinamik kuvvetlere ve momentlere maruz kalmaktadır. Üretici firmalar ve yüksek hızlı tren işletmecileri, tren hızının artmasına paralel olarak artan aerodinamik ve aeroakustik sorunların üstesinden gelebilmek için tren tasarım aşamasından itibaren çözüm üretmeye çalışmaktadır [29].

Teknolojik olarak en yeni hızlı tren modeli ise MAGLEV (Magnetic levitation) yani manyetik askı sistemleridir. MAGLEV teknolojisiyle, itici veya çekici manyetik kuvvetlerle sürtünme ve yuvarlama direnimleri engeli ortadan kaldırılmaktadır [47]. Bu sistem, çelik ray sisteminden daha hızlı çalıştırılması, (500 km/sa) amaçlanarak tasarlanan gelişmiş bir teknolojidir. MAGLEV raylara yerleştirilmiş çok sayıda elektromıknatısla (elektrikli mıknatıs) trenin manyetik raylar üzerinde tutunmasını sağlar aynı zamanda manyetik kuvvetlerle gerekli itiş gücünü kolaylaştırır. Raylar ve bunun üzerinde havada asılı bulunan tren arasında boşluk vardır. Bu trenin raylara sürtünmesini engeller (bu şekilde sistemde sürtünme katsayısı neredeyse sifira eşit olur). MAGLEV trenlerin işletilebilmeleri için açıklamalardan anlaşılacağı üzere özel bir hat inşası gereklidir [48].

MAGLEV trenlerinde 500 km/sa hız bu trenler için sınır değer değildir ve arttırılması mümkündür. Ancak bu hızlarda MAGLEV için çelik ray-çelik tekerlek hızlı trenlerde olduğu gibi en büyük engel aerodinamik güçlerdir. Aerodinamik engel her iki sistem için de ortak sorundur. Bu nedenle gürültü, titreşim, enerji tasarrufu, arazinin korunması ve güvenlik açılarından manyetik sistemle klasik çelik tekerlek-çelik ray sistemleri arasındaki fark bu açıdan bakıldığında azalmaktadır [22].

MAGLEV sisteminin tümüyle yeni bir hat inşasını gerektirmesi bu sistemin en önemli dezavantajıdır. Yüksek hızlarda gürültü seviyesinin düşük olması, direnimin düşük olması sebebiyle daha az enerji gerektirmesi ve daha hızlı ivme kazandırması ise başlıca avantajlarıdır [22].

4.2. Dünyada Yüksek Hızlı Tren Uygulamaları

Yaklaşık 50 yıl önce 210 km/sa maksimum çalışma hızında işleme aldığı hızlı trenle Japonya, önemli bir yolcu taşımacılığı modu olarak trenin dönüşünü işaret etmiştir. YHT Japonya'da kullanılmadan önce geleneksel hat üzerinde Tokyo ve Osaka arasındaki yolculuk 7 saat sürüyordu. Shinkansen'in açılışından sonra bu süre 4 saate düşürülmüştür. Bu zaman tasarrufu, Japonların tahminine göre yıllık yaklaşık 3,7 milyar Euro ekonomik değere sahiptir. O zamandan bu yana birçok ülke YHT kullanımına yöneldi ve günümüzde birçok YHT projesi üretilerek, tren birçok güzergâhta baskın bir ulaşım modeli haline getirildi [6].

Çizelge 4.1. Yüksek hızlı tren tanıtım servisleri öncesi ve sonrası taşıma payları [49]

TVG, Paris-Lyon Hattı				AVE, Madrid-Seville Hattı		
	Öncesi (1981)	Sonrası (1984)	Değişim	Öncesi (1991)	Sonrası (1994)	Değişim
Uçak	31	7	-24	40	13	-27
Tren	40	72	32	16	51	35
Araba ve Otobüs	29	21	-8	44	36	-8
Toplam	100	100	37 ^a	100	100	35 ^b

* ^aToplam YHT trafik % 37 oranında arttı. Tahmini toplam büyüme eğilimiyle ilgili olarak % 10, tahmini trafik akışı olarak % 27 kabul edilmiştir.

^bToplam trafik % 35 oranında arttı [49].

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere YHT hatları, güzergah kapasitesini artırma ve seyahat süresini azaltma amaçlarını yerine getirmektedir. Daha yüksek kapasite ve seyahat hızı, model paydaki değişikliklere yol açarak, trenin uçak ve özel araç yüzdesini geçerek payını arttırmakta aynı zamanda geleneksel tren yolcularını da YHT'ye yöneltmektedir [6].

Taşıma payını artırarak, araç trafiğinde kendine yer edinmeye başlayan Shinkansen, 1 Ekim 1964'te Tokyo ve Osaka arasındaki Tokaido hattı açıldığında, avantajlarının yanı sıra neden olduğu çevresel gürültü sebebiyle de gündeme gelmiştir [8]. Ülkede bu yeni trafik gürültüsü için özel bir değerlendirme standardı olmadığından, Japonya Çevre Bakanlığı çeşitli alan araştırmalar gerçekleştirmiştir. Shinkansen 1964 yılında açılmasına rağmen gürültü limitleri 2001 yılında kabul edilmiştir. Düzenlemelere göre, yerleşim merkezlerinde bir demiryolunun 25 m uzağında gürültü seviyesi 75 dB veya daha az olmalıdır [28]. YHT kullanımı Japonya'dan sonra Avrupa'da da yaygınlaşmaya başlamıştır.

YHT'lerin yaygınlaştırılmasının başlıca nedenleri şunlardır:

- Karayolu ve havayolu taşımacılığında giderek artan araç trafiğinin kıtanın ulaştırma kapasitesini düşürmesi,
- Demiryollarının çevre ve enerji sorunlarına karşı en makul ulaştırma türü olması,
- Avrupa ölçeğinde YHT için talep potansiyelinin artması ve ulaştırma sistemlerinin kıta düzeyinde entegrasyonu çabalarıdır.

YHT nüfusu yoğun olan şehir merkezleri arasında çok daha verimli olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında Avrupa ve Japonya'nın aksine ABD de hızlı tren taşımacılığının yaygınlaşmama nedeni ortaya çıkmaktadır [22].

Uluslararası Demiryolları Birliği (Union Internationale des Chemins de fer-UIC)'nin Şubat 2017 verilerine göre; Avrupa'da toplam YHT hattı 8,327 km olup, 2,619 km'lik hat inşaat halindedir. Avrupa'da YHT'ye sahip ülkeler; Fransa, Almanya, Polonya, İspanya, İsviçre İtalya, İngiltere, Belçika, Hollanda ve Avusturya'dır. Asya'da ise toplam YHT hat uzunluğu 28,654 km ulaşmıştır ve 12,696 km hat ise inşaat halinde yapımı devam etmektedir. Çin, Japonya, Tayvan, Türkiye ve Güney Kore YHT uygulamalarının işletimde olduğu Asya ülkeleridir. Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) de bir adet YHT işletimi bulunmaktadır [50].

Avrupa'da YHT kullanımına hızlıca uyum sağlayan ülke Fransa'dır. 1981'de faaliyete geçen Fransız TGV (Tren à Grande Vitesse) trenleri, Shinkansen'e benzemekte ancak tasarım olarak farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar Shinkansen'in dezavantajlarının üstesinden gelmek içindir. Aynı zamanda Fransa'nın ve Japonya'nın farklı fiziksel özelliklere sahip olması da bu farklılığın başka bir sebebidir. TGV ile Shinkansen arasındaki en önemli fark, TGV'nin klasik hatlarda da çalışabilmesidir. TGV'nin konvansiyonel hatları şehir merkezine girip çıkarken kullanması önemli maliyet tasarrufu sağlamaktadır. YHT'nin Fransa'da başarılı bir şekilde uygulanmasına rağmen, Avrupa'daki yayılımı nispeten yavaş gerçekleşmiştir. Fransa'dan sonra YHT işletimi ülkelerin uzun veya kısa vadede planlarında yer almış ve uygulamaya koyulmuştur [6].

1988'de İtalyanlar Roma-Milano rotasında Pendolino eğme trenini (ETR-450 modeli) tanıttı. 2000'de İsveç, ilk YHT'nini, aynı zamanda YHT'nin X-2000'i modelini piyasaya sundu [6]. YHT yaygınlaşırken ülkeler aynı zamanda oluşan gürültü kirliliği için de çalışmalarını sürdürmüştür. İskandinav ülkelerindeki akustikçiler, çevre otoriteleri ve ulaştırma idareleri, açık hava gürültü

kaynakları için tahmini yöntemlerin geliştirilmesi, revizyonu ve uyumlaştırılması için 20 yıldır işbirliği yapmaktadır. Danimarka, Finlandiya, Norveç ve İsveç'teki trenlerde çok sayıda kaynak ölçümleri yapılmıştır. Hıza bağlı oktav bant seviyeleri normalize edilmiştir [11].

1991'de Hannover-Würzburg arasında ICE'yi (Inter-City Express) tanıtarak Almanya, bir yıl sonra İspanya Sevilla-Madrid arasında ilk YHT işletimini başlattı. 2003 yılında İngiltere, YHT hatlarına sahip ülkeler listesine girerek Londra'dan Kanal Tüneline uzanan (Kanallı Tünel Hattı Bağlantısı) tren bağlantısının ilk etabını açtı. Almanya'nın YHT modeli olan ICE, uyumluluk özelliği başta olmak üzere YHT'nin TGV modelini izlemiştir. Bu model TGV ve Shinkansen modellerinden, karışık kullanımlı bir hattı benimsemekte, bu hat hem yolcu hem de yük taşımacılığı için kullanılmaktadır [6].

AB uluslararası raylı sistemler için gürültü sınır değerlerini Uluslararası İşletim için Teknik Şartname (TSI) biçiminde uygulamaya koymuştur. YHT kapsamında yer alan taşıtların sürüş ve duruş gürültüsüne yönelik sınır değerler, 01.12.2002 tarihinden itibaren yürürlüktedir. Çizelge 4.2, YHT kapsamında tren hızlarına göre gürültü sınır değerlerini göstermektedir [49].

Çizelge 4.2. Mevcut yüksek hızlı trenlerin maksimum ve gerçekleşen ses emisyonları [49]

Hız (km/sa)	TSI Gürültüsüne göre Maksimum Gürültü Emisyonu (dBA)	Alman Yüksek Hızlı Trenlerin Mevcut Emisyonu (dBA)	Fark (dBA)
250	88	87-94	0-7
300	92	91-95	0-4
320	93	92-96	0-4

Ölçüm birimi ya da gösterge, ray akisinin 25 m mesafesinden dBA cinsinden Geçiş Maruziyet Seviyesi (TEL) seviyesidir. Buna ek olarak sınır değerler durma gürültüsü için de geçerlidir [49].

Çin'de, ilk YHT'nin 2008'de faaliyete geçmesinden bu yana toplam kilometre uzunluğu 10,000 km'ye ulaşmıştır. Ancak ülkede YHT hattı boyunca uzanan alan için özel bir ses çevre kalite standardı oluşturulmamıştır. Çin'in "Gürültüye Yönelik Çevresel Kalite Standardı" olan, mevcut gürültü sınırı YHT için de kullanılmaktadır. Tren hattı boyunca yaşayan birçok sakin, gürültü etkilerinden şikâyetçi olmuştur. Bu nedenle YHT gürültüsünün etkisini incelemek ve uygun gürültü limitleri geliştirmek için acil bir ihtiyaç olduğu belirtilmektedir [8].

YHT türlerinden MAGLEV ilk kez 1970'li yıllarda test edildi. Ancak bugüne kadar uzun mesafeli yollarda ticari faaliyette bulunulmadı. Ticari amaçlı ilk olarak Çin'de işleme alınmıştır. Aralık 2003'te Şanghay Havaalanı ile kentin Pudong finans bölgesi 430 km/sa maksimum hızda çalışan trenlerle bağlanmıştır [6].

Japonya Demiryolları Teknik MAGLEV MLX01 treninin serisinin son tasarımını 1970'den günümüze geliştirmektedir. MAGLEV treni, 2003 yılında başkent Tokyo'nun batısındaki Yamanashi eyaletinde yapılan deneme sürüşünde rekor kabul edilen 581 km/sa hıza ulaşmıştır [65].

Almanya elektromanyetik "Transrapid" MAGLEV sistemi Magnetbahn Gesellschaft Haftung tarafından 1960 yılından beri geliştirilmektedir. İran, Çin, Almanya, ABD, İngiltere de MAGLEV projeleri olan ülkelerdir [8,28]. TransRapid08 MAGLEV tren sisteminin gürültü ölçümlerinin sonucunda diğer yüksek hızlı trenler ile karşılaştırıldığında (Bkz. Çizelge 4.3) gürültü değerleri yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Alman TransRapid08 MAGLEV treninin diğer yüksek hızlı trenlerle gürültü seviyesinin karşılaştırılması, ortak hızda ve 30,5 m mesafede yapılmıştır [28].

Çizelge 4.3. TransRapid08 gürültü seviyesinin diğer YHT'ler ile karşılaştırması [28]

Hız (km/sa)	30,5 m' de Ses Seviyesi (dB)			
	MAGLEV Teknolojisi		Çelik Tekerlek – Raylı Teknoloji	
	TR08	TR07	ACELA	TGV
150	81	80	87	88
200	86	83	92	92
240	-	85	94	93
300	93	90	-	97
400	99	93	-	-

Çevresel gürültüyü önlemek için çeşitli modellemelerle ve üretilen formülasyonlarla kirliliğin boyutları değerlendirilmektedir. Gürültü, raylı sistemlerin neden olduğu en önemli çevre sorunu olarak görülmektedir. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi ile ilgili 2002/49/EC sayılı direktif uyarınca, tüm Avrupa ülkeleri, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerdeki çevresel gürültü seviyelerini modellemek zorundadır [59].

Münferit yol araçları ve hava taşıtları için gürültü sınırları, 1970'lerden bu yana Avrupa'da ve başka yerlerde uygulanmıştır [49]. Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere artan tren hızına bağlı olarak sınır değerler de artış göstermektedir. Aynı hıza sahip tren için ülkeden ülkeye sınır değerler farklı olabilmektedir.

Çizelge 4.4. Bazı ülkelerde yüksek hızlı trenler için gürültü sınır değerleri (dBA) [52]

Yüksek Hızlı Tren	Tren Hızı (km/sa)						
	160	200	240	250	270	300	400
Olağan Hızlı Trenler	85	88	-	91	-	-	-
Alman ICE-V Yüksek Hızlı Trenleri	79	82	-	85	-	89	102
Alman Transrapid MAGLEV Trenleri	-	84	-	89	-	92	100
Fransız TGV-PSE Yüksek Hızlı Trenler	-	92	-	95	-	-	-
Fransız TGV-A Yüksek Hızlı Trenler	-	87	-	-	-	94	100
İspanyol Talgo-Pendular Yüksek Hızlı Trenler	-	82	-	-	-	-	-

YHT kullanımının yaygınlaşmasıyla çevre dostu farklı çözümler de üretilmektedir. Belçika'daki Schoten raylı tüneli, öncelikle ormanlık alanlardaki yaban hayvanlarının korunması, demiryolundan ve karayolundan gelen gürültünün azaltılması için tasarlanmıştır.

Altyapı yöneticisi Infrabel, Antwerp - Amsterdam YHT tünelinin çatısına yaklaşık 50,000 m²'lik (yaklaşık 8 futbol sahası kadar) toplam 3,4 kilometre uzunluğundaki 16,000 güneş panelini yerleştirerek; buradan yaklaşık olarak 4 MW güç sağlamak ve her yıl 3,3 GWh elektrik üretmektedir. Bu enerji demiryolu aydınlatma, ısıtma, sinyalizasyon vb. işlemlerde ve trenlerin çalıştırılmasında kullanılmaktadır [53].

4.3. Ülkemizde Hızlı Tren Uygulamaları

Dünyada gelişmiş ülkeler tarafından tercih edilen YHT taşımacılığı, başlangıçta yüksek yatırım maliyetine sahip olmasına rağmen karayollarıyla kıyaslandığında daha hızlı ve daha güvenilirdir.

Hava yolundan ise daha ucuz ve daha düşük enerji harcayan bir ulaşım alternatifidir. Bu nedenlerle ülkemizde de tercih edilmeye başlanmıştır. YHT kullanımı ile kentler arası

seyahat süresi azalmaktadır. Eğitim ve iş gibi zorunlu nedenlerle farklı kentte ikamet edenlere gününbirlik ulaşım fırsatı sunulmaktadır. YHT projelerinin tamamlanmasıyla, ülkemizin ana hatları hızlı tren ağları ile bağlanacaktır.

Gün geçtikçe kentleşme oranı artan, sanayileşen ülkemiz YHT ile tüm Dünyada gittikçe yaygınlaşan taşıma modelini uygulamaya koymaktadır. Toplu taşımada en çağdaş taşıma sistemi olan, petrole bağımlı olmayan, kullanım ömrü uzun, otoyollara göre daha az arazi kullanan, çevre kirliliğine daha az neden olan demiryolunun, ülkemizde gelişen ağlarıyla birlikte diğer taşıma sistemlerine karşı rekabet gücü ve ulaşımında taşıma payı giderek artacaktır. Ülkemizde 13 Mart 2009 tarihinde Ankara- İstanbul YHT hattının bir bölümü olan, 245 km uzunluğuna sahip Ankara-Eskişehir hattı ile YHT işletmeciliğine başlanmıştır. Bu başlangıçla birlikte iki şehir arasındaki ulaştırma sistemi araçları taşıma paylarında değişiklikler meydana gelmiştir. Ülkemizde işletilen YHT'lerin azami işletme hızı 250 km/sa'dır. YHT için 2016 yılı itibariyle toplam hat uzunluğu Sincan-Eskişehir arası (445 km) , Eskişehir-Pendik arası (319 km) ve Polatlı-Konya arası (449 km) olmak üzere Çizelge 4.5'ten de görüldüğü gibi ülkemizde 2009 yılından bugüne kadar toplamda 1,213 km uzunluğunda YHT hattı işleme alınmıştır [2].

Çizelge 4.5. YHT'nin yıllara göre toplam hat uzunluğu (km) [54]

Yıl	YHT Hat uzunluğu (km)
2009	397
2010	888
2011	888
2012	888
2013	888
2014	1,213
2015	1,213
2016	1,213

2023 yılına kadar tamamlanarak işletmeye açılmaları planlanan; Ankara-Sivas, Ankara-İzmir YHT demiryolu inşası ve Kayseri-Yerköy YHT demiryolunun ise projesi devam etmektedir. Bazı bölgelerde de (Bkz. Harita 4.1) YHT proje faaliyetleri sürdürülmektedir [55,3].

ve 6,000 yakın yolcu taşınmaktadır. YHT hattı açıldıktan sonra Ankara-İstanbul arasındaki YHT taşıma payı % 15 olmuştur [54,56].

Ankara-Eskişehir, Ankara-Konya ve Ankara-İstanbul YHT'lerden sonra modern ve hızlı yolculukta 4. olarak Konya-İstanbul YHT seferleri 18 Aralık 2014 tarihinde başlamıştır. Buradaki hat uzunluğu 212 km'dir. 250 km/sa hızla yolculuk süresi yaklaşık 3,5 saate düşürülmüştür. Günde 4 seferle hizmet verilmekte, 2,000'in üzerinde yolcu taşınmaktadır. YHT hattı açıldıktan sonra Konya-İstanbul arasındaki YHT taşıma payı % 17 olmuştur [54,56].

Ülkemizde YHT projeleri şehirleri birbirine hızlı tren ağıyla bağlamaya devam etmektedir. Ankara-Sivas arasında maksimum 250 km/sa hız yapabilen, çift hatlı, elektrikli, sinyalli yeni yüksek hızlı demiryolu yapımı devam etmektedir. Bu hattın Sivas-Erzincan, Erzincan-Erzurum-Kars güzergâhlarının ileri zamanlarda Bakü-Tiflis-Kars demiryolu projesiyle birleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu proje ile mesafe 405 km olacak ve seyahat süresi 12 saatten yaklaşık olarak 2 saate inecektir. Ayrıca Kayseri-Yerköy arasına 250 km/sa'ya uygun 142 km'lik çift hatlı, elektrikli ve sinyalli yüksek hızlı demiryolu hattı yapımı öngörülmektedir. Kayseri-Yerköy YHT projesi Ankara-Sivas YHT hattına Yerköy'den bağlanması ile gerçekleştirilecektir. Kayseri-Yerköy YHT hattının proje hazırlama çalışmaları devam etmektedir [54].

TCDD tarafından sürdürülen diğer bir proje Ankara-İzmir YHT projesidir. İzmir'i ve devamında hat üzerinde bulunan Manisa, Uşak ve Afyonkarahisar'ı Ankara'ya bağlayacak olan Ankara-İzmir YHT hattı için çalışmalar devam etmektedir. Proje, Ankara-Konya YHT hattının 22. km'sindeki Yenice Köyü'nden başlayarak Afyon'a ulaşan yeni demiryolu hattı ile Afyon'dan itibaren Uşak ve Manisa il merkezlerinden geçerek Menemen'e ulaşan mevcut hattın iyileştirmesini öngören bir güzergâhtan oluşmaktadır. Projenin faaliyete geçirilmesi durumunda Ankara-Afyon arasının 1,5 saate, Afyon-İzmir arasının 2,5 saate ve Ankara-İzmir arasının da 3,5 saate düşürülmesi planlanmaktadır [54].

Ülkemizin büyük kentlerinden olan Bursa YHT projesiyle; İstanbul, Eskişehir ve Ankara'ya bağlanacaktır. Ankara-Bursa arası 2 saat 15 dakika, Bursa-Eskişehir arası 1 saat ve Bursa-İstanbul için ise 2 saat 15 dakika seyahat süresi planlanmaktadır. Söz konusu Bursa-Bilecik YHT projesinin ilk etabı olan Bursa-Yenişehir kesiminde inşa çalışmaları,

Yenişehir-Bilecik kesiminde ise kesin proje hazırlama çalışmaları devam etmektedir. Proje tamamlandığında hatta hem yolcu, hem de hızlı yük trenleri çalıştırılması planlanmaktadır. Yolcu trenleri saatte 200 km/sa, yük trenleri ise 100 km/sa ile çalıştırılacaktır. Ayrıca, Bursa ve Yenişehir'e hızlı tren ve tren garları yapılacak olup, buradaki havaalanında da hızlı tren istasyonu inşa edilecektir [54,56].

Ankara-Konya ve Ankara-Eskişehir-İstanbul arasında sürdürülen YHT işletmeciliğinin yanı sıra mevcut koridorların 200 km/sa hıza uygun çift hatlı hale getirilerek yük taşımacılığında da hızlı tren uygulamasına geçilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda; 102 km'lik Konya – Karaman arası demiryolu 200 km/sa hıza uygun, çift hatlı, elektrikli ve sinyalli hale getirilecektir. Yapımına 2014 yılında başlanan projenin altyapı ve üstyapı işleri bitmiştir. Proje tamamlandığında Konya-Karaman arası seyahat süresi 1 saat 13 dakikadan yaklaşık 40 dakikaya düşecektir. Bu proje ile: Karaman-Ulukışla-Mersin-Adana– Osmaniye–Gaziantep–Şanlıurfa-Mardin güzergâhını izleyen YHT koridorunun ilk halkası oluşturulacaktır [54].

Ankara-Konya ve Eskişehir-Konya YHT taşımacılığının ve Konya-Karaman hızlı tren projesinin inşasına başlanmasıyla; ülkemizin hem yolcu hem de yük taşımacılığı potansiyelinin yüksek olduğu Karaman-Niğde-Mersin-Adana-Osmaniye-Gaziantep-Şanlıurfa-Mardin hattı önemli bir koridor haline gelmiştir. Karaman-Niğde (Ulukışla)- Mersin (Yenice) hızlı tren projesi 200 km/sa hıza uygun çift hatlı, elektrikli ve sinyalli olarak planlanmıştır. Çift hat ile hem yük hem de yolcu taşımacılığı yapılacaktır. Karaman-Ulukışla 135 km'lik kesiminin hızlı çift hatlı hale getirilmesi için altyapı ve üstyapı yapım işinde çalışmalar başlamıştır. 109 km'lik Ulukışla-Yenice arasına ise yeni çift hatlı demiryolu kesin proje hazırlama çalışmaları devam etmektedir [54].

Konya, Karaman, Kayseri ve Gaziantep'ten gelen yüklerin Mersin Limanı'na daha hızlı aktarılmasını sağlamak ve yolcu taleplerini karşılamak gibi nedenlerle, Mersin-Adana arasında da hızlı tren hattının yapımı planlanmıştır. Hattın yapım çalışmaları sürdürülmektedir [54].

Adana-Osmaniye-Gaziantep hızlı tren projelerinde yer alan illerdendir. Adana- Osmaniye – Gaziantep-Şanlıurfa-Mardin koridorunda hâlihazırda yolcu trenleri 120 km/sa ve yük trenleri 65 km/sa hız yapmaktadır. YHT projeleri tamamlandıktan sonra yolcu trenlerinin 160-200 km/sa ve yük trenlerinin ise 100 km/sa hız yapabileceği öngörülmektedir. Bu hat için proje çalışmaları tamamlanmış olup, inşa çalışmaları devam etmektedir. Bu projelere ek olarak

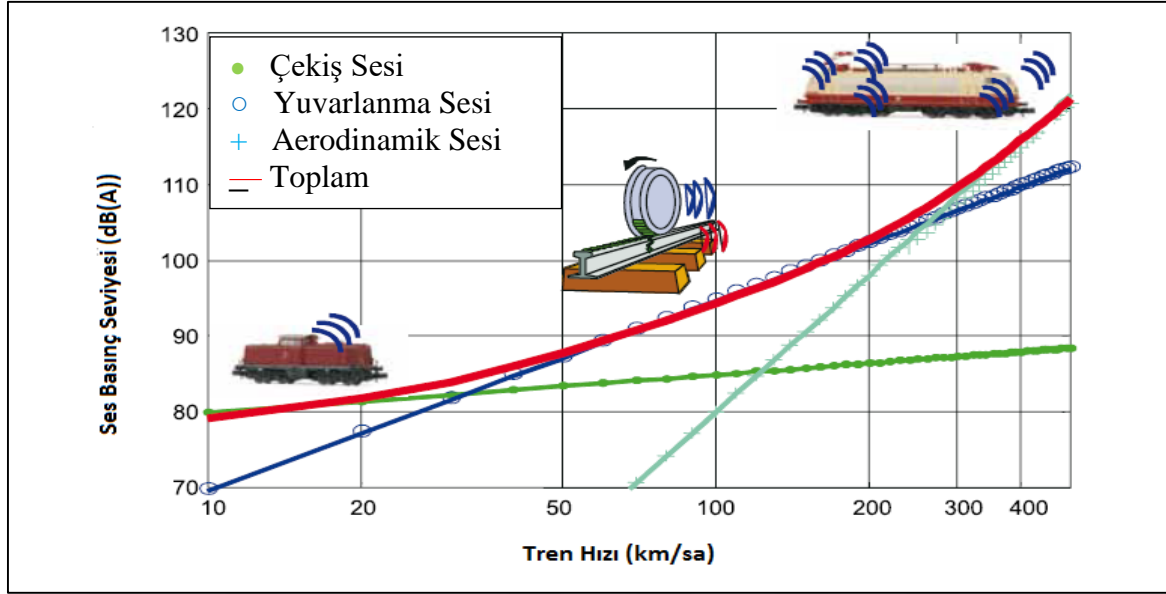
Sivas-Erzincan, Mürşitpınar-Şanlıurfa, Nusaybin-Habur hızlı tren projeleri için hazırlık çalışmaları devam etmektedir [54].

YHT, yapılan tüm bu çalışmalarla önemli bir taşıma aracı haline gelmiştir ve projeler incelendiğinde gün geçtikçe taşıma payını giderek arttıracığı tahmin edilmektedir. YHT çevresel etki bakımından incelendiğinde tren geçişi sırasında oluşturduğu gürültü ile dikkat çekmektedir. Çevresel anlamda gürültü kirliliği oluşturmakta ve özellikle hızlı tren hattına yakın yerlerde yaşayan insanların şikâyetlerine neden olmaktadır.

Ülkemizde konvansiyonel demiryolu hatları için kabul edilebilir gürültü düzeyleri 04.06.2010 tarih, 27601 sayılı Resmi Gazetede Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nin yayımlanmasıyla belirlenmiştir. YHT sitemleri için ayrı bir yönetmelik bulunmamaktadır ve söz konusu yönetmelikteki sınır değerler bu yeni teknoloji için de geçerlidir. ÇGDYY madde 19'a göre raylı sistemlerden kaynaklanan gürültü seviyesi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler belirtilmiştir. Raylı sistemler yönetmeliğe göre: Gündüz (07.00'den 19.00'a kadar olmak üzere 12 saat) 65 dBA, Akşam (19.00'dan 23.00 'e kadar olmak üzere 4 saat) 60 dBA ve Gece (23.00'den 07.00'ye kadar olmak üzere 8 saat) 55 dBA gürültü sınır değerlerini aşamaz.

4.4. Yüksek Hızlı Tren Gürültü Kaynakları ve Azaltma Yöntemleri

YHT diğer ulaşım modları ve hız bakımından ise kıyaslandığı uçaklara göre çevreyi daha az etkilediği düşünüldüğünden, genellikle olumlu bir şekilde tasvir edilmektedir. Bununla birlikte, YHT'nin yerel hava kirliliği, iklim değişikliği, gürültü ve kara kullanımı gibi olumsuz çevresel etkileri günümüzde araştırma konusu haline gelmiştir [6]. Yerel olarak, YHT hatları boyunca, kaynaklanan gürültü kirliliği, YHT'nin başlıca olumsuz çevresel etkisi olarak görülmektedir. Tren hareket halindeyken yuvarlanma sesleri, aerodinamik sesler ve zemin titreşimleri gürültüye sebep olmaktadır. Ayrıca köprülerden veya tünellerden geçerken mikro basınç dalgalarından kaynaklanan ses patlamaları da olabilmektedir [13]. Oluşan ses seviyesi esas olarak trenin hızına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. 50 ila 300 km/sa arasındaki hızda, yuvarlanma gürültüsü tren için en önemli gürültü kaynağıdır [6]. 300 km/sa'nın üzerindeki hızlarda aerodinamik gürültü, ana gürültü kaynağı haline gelmektedir [5].



Şekil 4.3. Tren hızına göre değişen basınç gürültü kaynakları [51]

Şekil 4.3'teki Logaritmik eğriye göre 30 km/sa ile 200 km/sa arasındaki hızlarda yuvarlanma gürültüsünün basınç bir kaynak olduğu görülmektedir. Bu aynı zamanda demiryolu raylarının yakınında yaşayan insanların çoğunu etkileyen hız aralığıdır. Yuvarlanma gürültüsü ve aerodinamik gürültü için iki bileşenin eşit olduğu, yaklaşık 370 km/sa'lık bir geçiş hızı Şekil 4.3.'ten görülmektedir. Ayrıca aerodinamik gürültü bir dizi eğim ölçüm verileri için makul bir uyum sağlayabilmekte ve bu farklı geçiş hızları anlamına gelmektedir [51]. Genel olarak ele alındığında; tekerlek ve ray etkileşiminden kaynaklanan yuvarlanma gürültüsü, hava ve pantograf etkisinin basınç olduğu aerodinamik gürültü, tren hızından kaynaklanan zemin titreşimleri, yine tren hızından kaynaklanan tünellerdeki ses patlamaları başlıca YHT gürültü kaynaklarıdır [45].

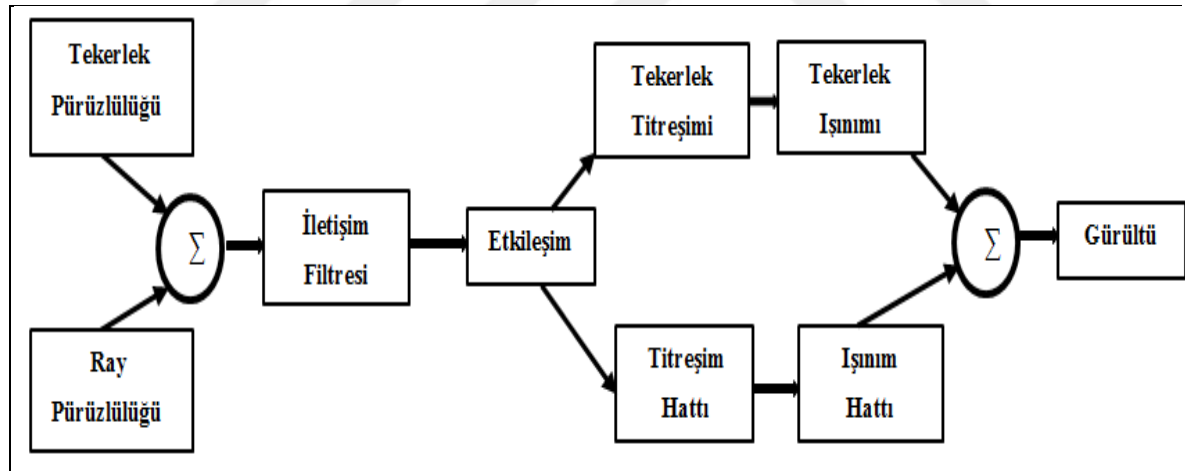
4.4.1. Yuvarlanma gürültüsü ve azaltma yöntemleri

Shinkansen yaklaşık 200 km/sa hızla faaliyete geçtiğinde, ana gürültü nedenleri yuvarlanma gürültüsü ve çelik köprü gürültüsü olmuştur [9]. Shinkansen'deki yuvarlanma gürültüsünün ana kaynağı tekerlek titreşimi olduğu düşünülüyordu. 1980 yılında sebebin tekerlek titreşimi olmadığı ray titreşimi olduğu belirlendi. Tekerlek titreşiminin frekans spektrumu, zemininde ölçülen ses spektrumundan belirgin derecede farklıdır. Tekerlek titreşimi ayrı tepelerden oluşur, ancak zemindeki sürekli [9]. Ray titreşim hızı ise, rayın yakınındaki ölçülen ses ile aynı spektruma sahiptir. 500 Hz üzerindeki frekanslarda demiryolu titreşimi ile yuvarlanma gürültüsü arasındaki ilişki, özel bir ölçüm yöntemi

kullanılarak kanıtlanmıştır. 50 km/sa ile 300 km/sa arasındaki hızlarda, yuvarlanma gürültüsü trenler için en önemli gürültü kaynağıdır [14].

Azaltma yöntemleri

1970'lerde Remington'un modelleme çalışmasıyla yuvarlanma gürültüsünü önleme yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu süreçte, tekerlek ve ray impedansları ve radyasyon verimliliği için analitik bir model kullanılmıştır. Modelde pürüzlülük, temas filtresi etkisi, pist bozulma oranları vb. göreceli yer değiştirme uyarımı gibi etkenler hesaba katılmıştır. Ardından bu temel model, önemli olduğu düşünülen diğer özellikleri de içerecek şekilde geliştirildi ve genişletildi. Bu durum Avrupa demiryolları adına TWINS (Track-Wheel Interaction Noise Software) paketinde gerçekleştirildi ve kapsamlı saha testleri kullanılarak doğrulandı [51]. Yuvarlanma gürültüsünün, gürültünün başta baskın olana bağlı olarak tekerleğin ya da rayın veya her ikisinin pürüzlülüğünün azaltılmasıyla kontrol edilebileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4. Yuvarlanma gürültüsü için oluşturulan model [51]

Şekil 4.4'teki iki bileşenin pürüzlülüğün azalmasıyla orantılı olarak ilgili ses radyasyonunun azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, tekerlek ve ray her ikisi de önemliyse, her iki bileşen için hafifletme tedbirleri gereklidir. Rayla yayılan gürültü miktarı üzerinde en fazla etkiye sahip olan parametre, ray boyunca titreşim azalması oranıdır [51]. 1972 yılında aşındırıcı kompozit bloklar yerleştirilerek araçlardan gelen yuvarlanma sesi azaltılmaya çalışıldı. Kompozit bloklar tekerlekler ve raylar arasındaki yapışmayı önlemede rol oynadılar. Böylece aşındırıcı kompozit bloklarla donatılan

trenlerden gelen yuvarlanma gürültüsünde azalma tespit edildi. Aşındırıcı kompozit bloklar artık pratikte yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve sonucu olarak dökme demir bloklar ile tekerleklerin basamakları üzerindeki oluklar kaybolmakta ve tekerlek yassıları engellenmektedir. Bu sayede dönme gürültüsü 2 kHz'in üzerindeki frekanslar için yaklaşık 7 dB azaltılmakta ve yuvarlanma gürültüsünün A Ağırlıklı ses basınç seviyesi daha öncekine göre 4 dB daha düşük olmaktadır. Yuvarlanma gürültüsünün azaltılmasını sağlayan bir diğer yöntem de ray yüzeyinin taşlanmasıdır. Oluklu mukavva yüzeyli taşlama rayları ile yuvarlanma gürültüsünün azaltılabileceği uzun zamandır bilinmektedir. 1983'te bu yöntemle yuvarlanma gürültüsünde gözle görülür azalmalar tespit edilmiştir. Rayların yakınında ölçülen ses basıncı seviyesi, yuvarlanma gürültüsünü temsil etmektedir ve taşlama ile bu seviye yaklaşık olarak 6 dB azaltılmaktadır [9].

4.4.2. Aerodinamik gürültü ve azaltma yöntemleri

Tren hızındaki gelişmeler sıradan bir trenin dinamik ortamının esasen makine ve elektrığe bağlı olduğunu belirtmektedir. Buna karşılık, yüksek hızlı bir trenin dinamik ortamı esasen aerodinamik kuvvetlere bağlı olduğu tespit edilmiştir [5].

YHT'lerde aerodinamik gürültü, belirli bir hızı geçtiğinde egemen gürültü kaynağı olarak algılanmaktadır. Bu nedenle aerodinamik gürültü hızlı trenler için en büyük sınırlama haline gelmektedir. Aerodinamik gürültü ile ilgili güncel araştırmalarda tren tasarım ilkeleri araştırmaların ana konusudur. Araçlar daha az gürültü oluşturacak şekilde tasarlanmaya çalışılmaktadır.

YHT aerodinamik gürültüye; tren burnu, yüzeyinde bulunan hava girişleri ve çıkışlarının panjurları ve pantograf (toplama sistemi), araç içi boşluklar, bojiler klima cihazlarının ve antenlerin yüzeyleri, pencerelerin boşlukları, aracın ve tünelin boşluk sesleri vb. neden olmaktadır [13]. Bu aerodinamik gürültü kaynakları iki şekilde sınıflandırılabilir. Birinci tip, sabit bir akış yapısı tarafından yayılan gürültüye karşılık gelmektedir. Örneğin, pantografin hemen arkasındaki kararlı girdap salınımı, genel gürültüye kuvvetli katkıda bulunan önemli aerodinamik gürültü kaynağıdır [9]. İkinci tip gürültü kaynağı ise, türbülans dalgalanmalarının yaydığı gürültüye işaret etmektedir [5]. Aerodinamik gürültü, ampirik modellerle karakterize edilmesine rağmen hala daha fazla dikkat ve teorik analizi gerektirmektedir.

Çevresel gürültü tespitinde ve kontrolünde gürültü modelleri günümüzde çok etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak yuvarlanma gürültü modelleri iyi gelişmiş olarak kabul edilebilirken aerodinamik gürültü için çalışmalar devam etmektedir [57].

Pantograf gürültüsü: 1973 yılından bu yana pantograf gürültüsü araştırılmaktadır [9]. Belirli ölçekli maketler üzerinde rüzgâr tüneli deneyleri yapılarak, pantografin önemli bir aerodinamik gürültü kaynağı olduğu tespit edilmiştir [5]. Pantograf gürültüsünün büyük kısmı, pantograf havai telden ayrıldığında üretilen kıvılcım sesi olduğu belirtilmektedir. Ayırmayı önlemek için çeşitli cihazlar denenmiştir ve son olarak, bir çoğul pantografi elektrikle birleştiren bir trende kıvılcım sesinin neredeyse kaybolduğu bulunmuştur. Günümüzde, bu yöntemler Shinkansen araçlarındaki normal donanımın bir parçası olarak uygulanmaktadır. Kıvılcım sesi giderildikten sonra, pantograflar sadece aerodinamik gürültü yaymaktadır. Bu gürültüyü azaltmak için pantograf kalkanı kullanılması da bir yöntemdir. Çizelge 4.6'da görüldüğü üzere pantograf kalkanı da ek bir aerodinamik ses kaynağıdır Ancak yapılan araştırmalarda öncelikli olarak pantograf gürültüsünün taranması için bu bir yöntem olarak önerilmiştir. Daha sonra, yöntemin hava akışı üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Şu anda çalışmakta olan Shinkansen trenlerde pantografların aerodinamik gürültüleri bu yöntemlerle 4-5 dBA azaltıldığı belirtilmektedir [9].

Çizelge 4.6. 25 m uzaklıkta çeşitli gürültü kaynaklarının ses basıncı seviyesine katkıları [9]

Gürültü Elementleri	Koşullar	P ₂₅ (dBA)' deki katkıları
Yuvarlanma Sesi ve Dişli sesi	Döşeme Parçaları	70-72
	Balast Parçaları	65-67
Pantograf Sesi	Pantograf Kalkanları ile	67-69
	Pantograf Kalkanları yokken	72
Aerodinamik Ses		72-75

*(Tren Hızı = 230-240 km/sa, Betonarme köprü yapısı 7-9 m yükseklikte, gürültü bariyeri rayın üzerinde 2 m yüksekliktedir.)

Pantograf kalkanı ile ilave bir gürültü kaynağı eklenmiş olsa bile, toplam gürültüyü azaltan etkisi vardır [9]. Günümüzde gürültünün önüne geçmek için yeni pantograf türleri geliştirilmektedir.

Pantografin malzeme özelliklerinin aerodinamik gürültüyü önemli derecede etkilediği belirlendikten sonra çeşitli rüzgâr testleri ile gürültü azaltımı için çalışmalar yapılmıştır. Gözenekli malzemelerle donatılmış pantograf için tam ölçekli ve rüzgâr tüneli ölçümleri ile 360 km/sa hızda 1,9 dBA değerinde bir gürültü azaltımı elde edilebileceği, 250 Hz'de

1/3 oktav band orta frekansında 5 dB kadar önemli bir gürültü azaltımı olacağı sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışmada, düşük gürültülü bir sac vidası yapısının yeni pantograf tipi ile birlikte gürültü azaltma etkilerinin incelendiği rüzgâr testleri yapılmıştır. Yine bir trenin çatısına monte edilmiş bir pantograf kaplamanın gürültü üzerine etkisi araştırılmıştır. Yanlamasına iki perdeden oluşan gürültü bariyeri olarak işlev gören kaplamanın 3 dB'lik gürültü azalttığı tespit edilmiştir [5].

Boji kaynaklı gürültü: Boji, YHT için ana aerodinamik gürültü kaynaklarından biridir. Bir trenin diğer bölümlerine göre boji bölgesi çok daha önemlidir, çünkü pantograflardan çok daha fazla sayıda boji vardır [51]. Akış alanının bir girdap çevresinde dağınık dağılımı nedeniyle, boji aerodinamik gürültüsü karmaşıktır. Boji ile ilgili birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır:

FASTECH360 S treni için gürültü testleri gerçekleştirilmiştir ve trenin alt kısmındaki gürültünün E2-1000 serisi bir seriyle karşılaştırıldığında gürültünün yaklaşık 1 dB azaldığı tespit edilmiştir. Hesaplama ve deney içeren başka çalışmada gecikmeli bir detached-eddy (ayrık türbülans) simülasyon (DDES) ve Ffowcs Williams-Hawkings (FW-H) denklemine dayanan basit bir 1:10 ölçekli boji modelinin dipol ve akış-alan özelliklerinin dağılım desenleri, bir tekerlek set ve boji çerçevesi tahmin edilmiştir ve sayısal hesaplamaların doğruluğu rüzgâr tüneli deneyleri ile doğrulanmıştır [5].

Başka bir çalışmada çift kutuplu kaynakları kullanarak sayısal bir yöntem sunarak römorkun araç bojisi tarafından tetiklenen aerodinamik gürültünün tanımlaması için dipol kaynaklarını kullanan sayısal bir yöntem sunuldu ve römorkun aerodinamik gürültüsü, gürültünün yönlendirilmesi, zayıflatma karakteristiği ve genlik özelliğine sahip olan geniş bant gürültüsü olduğu belirlendi [5].

Orijinal model 1:5 ölçekli Shinkansen tren modelini kullanarak gerçekleştirilen başka çalışmada antrenör aralığının aynı zamanda yüksek hız trenleri için büyük bir gürültü kaynağı olduğu belirlenmiştir. CRH3 tren için düşük gürültülü bir yapı, hem doğrusal olmayan bir akustik çözücü hem de FW-H denklemi kullanılarak tasarlanmıştır. Sonuçlara göre pencereler ve akış çizgisi pozisyonları için yumuşak geçişlerin kullanılması ve baş şazbûf için aerodinamik bir tasarım kullanılması, sırasıyla saha gürültüsünü 7 dBA ve 14 dBA azaltabildiği bulunmuştur [5]. Klima havalandırma gürültüsü: Trenler üst yan

plakalarında klima için havalandırma delikleri ile donatılmıştır. Bazı durumlarda, dikey kafesleri içeren bir havalandırma girişi önemli miktarda aerodinamik gürültü üretmektedir. Çoğu durumda, hava deliklerinden elde edilen aerodinamik gürültü bir ton bileşenine sahiptir ve frekansı kafes çubuğunun çapraz kesitinin boyutu ve tren hızı tarafından belirlenmektedir. Günümüzde, aerodinamik gürültüye karşı, yatay kafeslerden oluşan bir hava girişi dizaynı alınan tedbirlerden biridir. Ayrıca havalandırmadan gelen aerodinamik gürültü, aracın pürüzsüz yüzeyinden oluşturulan gürültüyle kıyaslandığında daha fazladır. Tren burnunun şeklinden ötürü oluşan gürültü: Bu gürültü, tren burnuna yakın yüzey şekli tarafından uyarılan kararsız hava akışından kaynaklanmaktadır. Ön burun yüzeyini düzleştirerek, gürültü azaltma yaklaşık 10 dB olarak belirlenmiştir [9].

Tren kapı pencere ve açıklıklardan gelen aerodinamik gürültü: Pencereleden, kapılardan ve komşu kompartımanlar arasındaki boşluklardan oluşan bu sesler oldukça yüksek frekanslara sahiptir [9].

Azaltma yöntemleri

Aerodinamik sesler göreceli olarak lokalize alanlardan, yani yüzey yapılarından üretilir. Seslerin toplamı, rayların üst yüzeyinin 2 m yüksekliğinde bir gürültü bariyeri varlığında yol kenarındaki toplam aerodinamik ses seviyesi belirlenmektedir. Bu gürültü kaynakları hariç tutulursa YHT aerodinamik gürültüsünün önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, düz yüzeyli trenlerden yayılan aerodinamik gürültünün üst sınır değeri, parabol aygıtlarıyla ölçülen gürültü verilerine dayanarak tahmin edilebilmektedir [9]. Şekil değişimleri ile gürültü bir miktar ortadan kaldırılmış olsa da, aerodinamik gürültünün etkisi tamamen kaybolmamaktadır. Aerodinamik gürültü, pürüzsüz bir yüzeye sahip yeni araçlar kullanılarak azaltılabilir, ancak pantograf sesi ve diğerleri ile ilgili bazı sorunlar devam etmektedir. Pantograf gürültüsünü azaltmak için ses emici kaplamalarla, gürültü bariyerleriyle, düzgün yüzeye çıkmış araçlardan çıkan sesler test edilerek tahminlerde bulunmaktadır. Aerodinamik gürültüyü azaltmanın en önemli yolu trenin tasarım aşamasında aerodinamik problemleri önleyecek şekilde tasarlamaktır [29]. Test araçlarında ölçülen gürültü verilerine dayanarak, yeni araçlardan üretilen çeşitli aerodinamik seslerin katkıları tahmin edilmektedir. Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere genel tren gürültüsüne her bir gürültü kaynağının belirli bir katkısı vardır.

Çizelge 4.7. Gürültü katkılarının tahmini değerleri [9]

Tren Hızı (km/sa)	240	300	350	400
Yuvarlanma sesi ve dişli sesi	64	67	69-70	72
Trenlerin üst kısmındaki aerodinamik ses	60-62	66-67	70-71	74
Pantograf sesi	62	68	72	74-75
Yapı gürültüsü	<60	63	66	69
Toplam gürültü	68	72-73	76	79

*(Tablodaki değerler dBA cinsinden ve 25 m'de gözlemlenen, yükseltilmiş yapı yüksekliği = 8-10 m döşeme parçaları, geliştirilmiş gürültü engelleri ve aerodinamik gürültüye karşı önlemler düşünülürse bu şekildedir.)

Yüksek hızlı trenlerde oluşan aerodinamik gürültüye ilişkin araştırmalar, deneyler ve sayısal simülasyonlar yoluyla yürütülmektedir. Bunların büyük bir çoğunluğu, azaltılmış ölçekli modellere ve tam ölçekli modellere dayalı saha testlerine dayanan rüzgar tüneli deneylerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte, alan testleri zaman alıcıdır. Yüksek düzeyde insan gücü ve kaynak gerektirir ve doğal koşulları taklit etme açısından sayısız kısıtlamaya tabidir. Bu çalışmalar sırasında, düşük ölçekli modellere dayanan rüzgâr tüneli deneyleri sıkı test koşullarını (örneğin Reynolds sayısı ve sınır tabakasının türbülansı yoğunluğu koşullarını) karşılaması zordur [5]. Günümüzde daha çok modern bilgisayarların geliştirilmesiyle birlikte, sayısal simülasyonlar giderek aerodinamik gürültüyü tahmin etmenin kabul edilmiş bir aracı haline gelmiştir. Deneylerle karşılaştırıldığında, sayısal benzetimler daha fazla kontrol edilebilirlik sunmakta ve aerodinamik gürültünün hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır. Farklı koşullar altında ve farklı parametre değerleri için gürültünün tahmin edilmesi sağlanmaktadır.

4.4.3. Zemin titreşimleri

Hızlı trenlerin, sürekli geçişleri sırasında yüksek hızlarıyla (250-300 km/sa) ürettikleri yüksek frekanslı dinamik etkiler demiryolu üst yapısında titreşime sebep olmakta, dinamik yükleri çevresindeki zeminlere iletmektedir. YHT güzergâhında zemine yayılan bu dalgalanmalar, yakınında bulunan yapıları ve yapılarda yaşayan insanları zeminden kaynaklı gürültü sorunundan ötürü olumsuz şekilde etkilemektedir [32]. Zemin titreşim enerjisinin çoğu Rayleigh dalgaları tarafından iletilmektedir [30]. Söz konusu dalgalar belli bir yerde toprağın özellikleri ve derinliğe göre değişmektedir [51]. Bu nedenle toprak özelliklerini tanımlanması oldukça önemlidir. Yumuşak zeminde ölçülen kayma dalgası, yayılma hızlarının 200 km/sa değerlerini bulduğunda, bu zayıf zeminlerden geçen YHT hızlarının bu değerlere gelmesi demiryolu ve çevresinde kuvvetli yer hareketleri ve bunun

sonucunda hasar yapıcı titreşimleri meydana getirmesi kaçınılmaz olacaktır. Demiryolu alt yapısında en büyük yer değiştirmelere neden olan hareketli yük hızının, Rayleigh tipi yüzey dalgalarının yayılış hızına eş değer olduğu durumlarda rezonansa neden olarak bu durumda dinamik gerilmeleri ve yer değiştirmeleri oldukça arttıracaktır [30].

YHT hattı çevresindeki tarihi yapılar ile hastane, okul, konser salonu gibi duyarlı yapılar için titreşim düzeyi ve gürültünün belirli sınırın altında olması gerekmektedir [27]. Ayrıca tren seyahati sırasında yolcular, titreşimin ivmesinden, aracın bir yöndeki hareketinden kaynaklanan değişimlerden, gürültüden, sıcaklıktan, renkten, nemden, havalandırmadan ve aracın iç ve dış perspektifi etkilenmektedir ve yolcu konforu bozulabilmektedir. Bu nedenle gerekli ve yeterli önlemler alınmalıdır [27].

Azaltma yöntemleri

Çevresel gürültülere sebep olan zemin titreşimlerini önlemek için öncelikli olarak yapılması gereken, taşıt ve zemin dinamik karakteristiklerinin çok iyi araştırılması ve demiryolunun tasarım aşamasında, statik analiz ile birlikte dinamik analizlerinin de yapılmasıdır [27].

Büyük genlikli titreşimlerden korunmak için etkilenmesi muhtemel yapının etrafına, dalga geliş doğrultusuna veya yapı altına uygun derinliklerde çeşitli yalıtım araçlarının (örneğin dalga bariyerleri) yerleştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca hızlı tren trafiğinin ürettiği zemin titreşimlerinin çevre yapılarıdaki dinamik etkileri, yapı-zemin etkileşiminin de doğrudan çözüme katıldığı bir dalga yayılım problemi için matematiksel modeller ve bunun sonucunda analitik çözümler üretilmeye çalışılmaktadır [30]. Tahmin modeller, doğru girdi parametreleri ile değerlendirilmedikçe tahminler doğru olmayacaktır.

Genellikle, modellerin ± 10 dB'den daha güvenilir bir şekilde titreşim seviyelerini tahmin edebileceği düşünülmemektedir. Bu tür bir belirsizlik, azaltma önlemlerinin tasarlanmasında yetersiz sonuçlara neden olmaktadır.

Zemindeki dalga hızlarında veya yakınında hareket eden trenlerin dışında, temel ön tanım mekanizması pürüzlülük, yuvarlanma gürültüsü ile benzer ilkelere dayalı olarak yerdeki titreşimi tanımlamak için de bir dizi farklı modelleme yaklaşımı kullanılmaktadır [51].

4.4.4. Köprü ve tünellerde oluşan ses patlamaları

Bir tren yüksek hızda bir tünele girdiğinde, tünelin içinde bir sıkıştırma dalgası oluşmakta ve tünel boyunca yayılmaktadır. Sıkıştırma dalgası ses hızıyla tünelden geçer, çıkış portalına gelir ve bir genişleme dalgası olarak geri yansıtılır. Sıkıştırma dalgasında enerjinin bir kısmı tünelin dışına doğru yayıldığından, tünel portalının yakınında dürtüsel bir düşük frekanslı gürültü gözlemlenir. Tünelin çıkış portalından yüksek hızda bir tren çıktığı zamanda çıkan sıkıştırma dalgası, mikro basınç dalgası olarak adlandırılan bir itici gürültüye neden olmaktadır. Bu tür dalgalar, tünelden geçerken yolculara rahatsızlık yaratan gürültüler (sonik patlamalar) oluşturmaktadır. Aynı zamanda tünele yakın nüfus bu gürültü ve titreşimden etkilenmektedir. Bu olaya Shinkansen'in tipik yol kenarı çevresel sorunlarından birini oluşturan mikro basınç dalgası denir [13]. Mikro basınç dalgası radyasyonundan sonra, tren, tünelden çıkana kadar nispeten küçük genlikli basınç dalgaları ile çıkış portalından yayılmaya devam eder. Bu sürekli dalgaların, tünel içerisinde hareket eden trenin etrafındaki kararsız basınç değişimlerinden kaynaklandığı düşünülmekte ve sürekli basınç dalgaları olarak adlandırılmaktadır. Sürekli basınç dalgaları sadece çıkış portalından değil girişten de yayılmaktadır [15].

Azaltma yöntemleri

YHT tünele girdiğinde oluşturduğu basınç dalgasının olumsuz etkileri önlemek için tünel tasarımı konusunda birçok yenilik uygulanmaktadır. Japonya'da YHT hatlarının yaklaşık % 60'ı tünelden geçmektedir bu nedenle konuya yönelik en çok çalışmanın Japonya tarafından yapıldığı bilinmektedir. Ani basınç değişimlerini dengelemek için tünellerin giriş ve çıkışlarına sönümleyiciler yerleştirilmektedir. Bu yöntemle sonik patlama diye tabir edilen gürültü ve ani basınç değişikliklerinin önüne geçilmektedir [29]. Aynı zamanda trenin burun şekli ve tünel kesiti tasarımları ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Tünellerin kesit alanlarını büyütmek de YHT gürültüsünü azaltmada başka bir yöntemdir. Ancak bu zor bir iştir ve daha fazla maliyet gerektirmektedir. Mühendisler bu işlem yerine trenin kesit alanını azaltıp burun kısmını yeterince sivri ve pürüzsüz hale getirmeyi seçenек olarak sunmuşlardır. Deneme testleriyle trenin neden olduğu mikro basınç dalgalarını bu seçenекle ortadan kaldıramamışlardır. Tünelin mikro basıncını baskılamak için, en etkili tünel şeklinin dönel paraboloid olduğu Japon Demiryolları Teknik Araştırma Enstitüsü ve Kyushu Üniversitesi'nde yapılan araştırmalarda ortaya çıkarılmıştır [58].

5. YÜKSEK HIZLI TREN GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde YHT kaynaklı çevresel gürültü tespiti için yaptığımız mevcut durum gürültü ölçümleri verilmiştir. Gürültü ölçümleri sonucu elde edilen değerler eşdeğer gürültü seviyesi (L_{eq}) cinsinden hesaplanmıştır. Eşdeğer ses basınç seviyesi sabit olmayan ancak belirli bir düzenlilik gösteren gürültü kaynaklarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Alınan birden fazla örnekleme ortalamasının alınmasıyla elde edilen bir ölçüttür. L_{eq} değerleri ile ulusal ve uluslararası düzeyde gürültü rahatsızlığını göstermede sık kullanılan L_{gg} , gündüz-gece seviyesi yorumlaması için L_{gag} gündüz-akşam-gece değerleri hesaplanmıştır.

Ülkemizde YHT gürültüsü ile ilgili henüz özel bir yönetmelik bulunmamaktadır. YHT, klasik demiryolu gürültüsü gibi Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDDY)'ne tabidir. ÇGDDY madde 19'a göre raylı ulaşım sistemlerinden çevreye yayılan gürültü seviyesi $L_{gündüz}$: 65 dBA, $L_{akşam}$: 60 dBA ve L_{gece} : 55 dBA sınır değerlerini aşamaz.

5.1. Mevcut Çevresel Gürültü Ölçümleri

Gürültü ölçümleri Ankara-İstanbul güzergâhında hizmet veren, YHT hattı boyunca yer alan Tatlar Köyü ve Poyraz Köyü mevkiğinde gerçekleştirilmiştir. Her bir köyde tren hattından belirli mesafelerde gürültü ölçümleri alınmıştır. Ayrıca tren hattına en yakın yerleşim biriminin 50 m civarında da gürültü ölçümleri yapılmıştır. Belirlenen mesafelerde ÇGDDY'e göre L_{gece} , $L_{gündüz}$ ve $L_{akşam}$ değerleri her bir nokta için ayrı ayrı TS ISO 1996-2: Mart 2009 standardına uygun olarak ölçülmüştür [59].

Ölçümlerde gürültü seviyesini belirlemek için taşınabilir ses seviyesi ölçer, ses seviyesi ölçerdeki verileri aktarmak için bağlantı kablosu ve dizüstü bilgisayar, hava sıcaklığının ve rüzgâr hızının ölçüm standartlarını sağlayıp sağlamadığının tespiti için anemometre kullanılmıştır. Ses seviyesi ölçer cihazı kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçümlerde mikrofon zeminden 1,5 m yüksekliğinde tripot yardımıyla demiryolu hattına çevrilmiş şekilde konumlandırılmıştır. YHT geçişi süresince ölçümler alınmıştır.

Ses seviyesi ölçer (Sound Level Meter)

BENETECH GM1356 (digital sound level meter) ses seviyesi ölçer kullanılmıştır. Cihaza ait USB kablosu ve yazılım CD'si bulunmaktadır. Ölçülen değerler USB kablosu yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Ayrıca cihaza ait yazılım, deneysel verilerin grafiksel gösterimlerinin oluşturulmasını sağlamıştır.



Resim 5.1. Ses seviyesi ölçer

Cihaza ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir:

- Ölçüm aralığı:
30 ~ 130 dBA
35 ~ 130 dBC
- Doğruluk: 1.5 dB ±
- Örnekleme hızı: 2x / saniye
- Boyut: 256 * 70 * 36 mm
- Ağırlık: 300 gr
- AC / DC çıkışı
- Maksimum Okuma
- Aşırı yük göstergesi: over / under
- Zayıf pil göstergesi
- Frekans tepkisi: 31.5Hz ~ 8.5KHz
- Zaman ağırlıklandırma: hızlı / yavaş
- Otomatik kapanma / İptal "Otomatik kapanma"

- Güç: 1.5V AA * 4adet veya DC 6V 100mA adaptör
- Rakam ve Çözünürlük: dört basamaklı sayı ve 0,1 dB
- Frekans ağırlıklandırma karakteristiği: A & C
- Mikrofon: 1/2 inç polarizasyon kapasiteli mikrofon

Ölçüm süresince belirli aralıklarla rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı kontrol edilmiştir. İlaveten rüzgârın oluşturacağı muhtemel hava akışı dikkate alınarak gürültü seviyesi ölçüm cihazına rüzgâr kesici takılmıştır.

Anemometre (Termometreli Hava Akımölçer)

YHT çevresel gürültünün tespiti için yapılan ölçümler sırasında, hava sıcaklığı ve rüzgâr hızının tespiti için BENETECH termometreli hava akımölçer kullanılmıştır.



Resim 5.2. Termometreli hava akımölçer

Cihaza ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir:

- Hava hızı ölçüm aralığı: 0-30 m/s
- Hava hızı hassasiyet: $\pm 5\%$
- Hava sıcaklığı ölçüm aralığı ($^{\circ}\text{C}$): $-10^{\circ}\text{C} - +45^{\circ}\text{C}$ (hassasiyet: $\pm 2^{\circ}\text{C}$)
- Ekran: LCD
- Boyutları: 105*40*15mm
- Ağırlık: 52 gr
- Güç Kaynağı: CR2032 Pil
- Otomatik kapanma: Var

$L_{gündüz}$ ölçümleri sırasında hava sıcaklığı 23–24 °C, rüzgâr hızı ise 0-0,4 m/s değişen değerler göstermiştir. $L_{akşam}$ ölçümleri sırasında hava sıcaklığı 20–22 °C, rüzgâr hızı ise 1,6-1,7 m/s değerlerini göstermiştir. L_{gece} ölçümlerinde hava sıcaklığı 17–19 °C, rüzgâr hızı ise 0,8-0,9 m/s değerlerini göstermiştir. Bu değerlere bakılarak çevresel şartların ölçümler üzerindeki etkilerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir.

5.2. Tatlar Köyü Çevresel Gürültü Ölçümleri

YHT hattı güzergâhında ilk ölçüm yeri olarak belirlediğimiz Tatlar köyü, Ankara ilinde yer almakta olup, Tatlar mahallesi adı altında Sincan ilçesine bağlıdır. Ankara iline yaklaşık 45 km, Sincan ilçesine 18 km uzaklıktadır. Tatlar köyü tek katlı evlerden oluşan kırsal alan niteliğindedir.



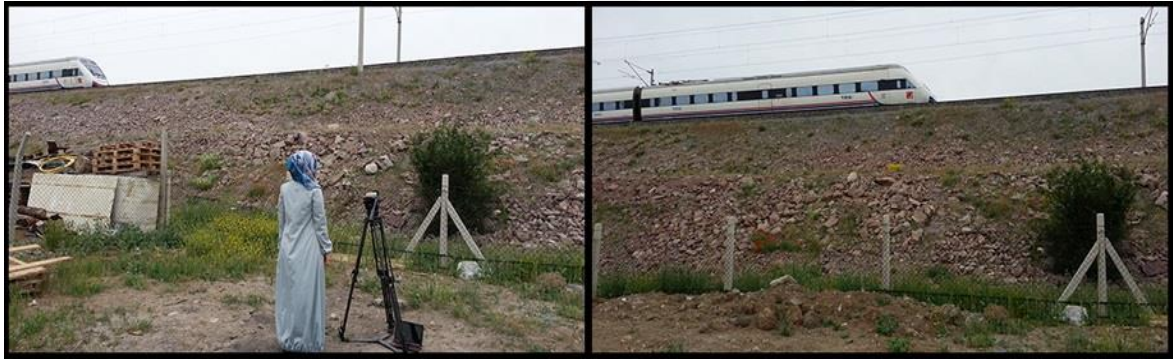
Harita 5.1. Tatlar köyü ölçüm noktaları harita gösterimi [68]

Tatlar köyü Sincan ilçesi YHT istasyonundan sonra gelmektedir. Bu nedenle Ankara-İstanbul, Ankara- Eskişehir, Ankara- Konya gidiş ve dönüş trenleri bu hattın üzerinden geçmektedir.

Harita 5.1’de görüldüğü üzere tren hattının birinci (0 m) noktasında prefabrik bir yerleşim yeri bulunmaktadır. Bu nedende ilk ölçüm noktası burası seçilmiştir. Söz konusu prefabrik

evin sadece hafta sonu bahçe işleri sebebiyle kullanıldığı bilgisi oranın sakinleri tarafından verilmiştir. Prefabrik yapıdan sonra ikincil olarak gürültüden etkilenen, kalıcı konut tren hattından yaklaşık 230 m uzaklıktadır. Çevresel gürültü ölçümü için söz konusu evin yaklaşık 50 m civarından ölçüm alınmıştır. Sonuç olarak; tren hattından 1. nokta (0 m), 2. nokta (20 m), 3. nokta (50 m), 4. Nokta (100 m) ve 5. Nokta (180 m) şeklinde belirli uzaklıklarda ölçümler yapılmıştır. Her bir nokta için $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$, L_{gece} değerleri ölçülmüştür. Bu ölçüm noktalarında tren geçişi süresince ölçüm alınmıştır. Bu ölçümlerin kayıtları cihaz yardımıyla yapılırken, bağlantı kablosu ile bilgisayara kaydedilmiştir. Bu kayıtlar sonucunda elde edilen örnek okumalara göre tablo ve grafikler oluşturulmuştur.

Trenin eski veya yeni tipte olması (Bkz. Resim 5.1 ve Resim 5.2) oluşan gürültüyü etkilemektedir. Yeni üretim trenler aerodinamik gürültüyü azaltıcı tasarımıyla gürültüyü azaltıcı etkiye sahiptir. Ayrıca tren hattından mesafeye ve gürültü engellerine bağlı olarak (bina, ses perdesi, toprak set, ağaçlık alan vb) çevreye yayılan gürültü değeri logaritmik olarak azalmaktadır [60].



Resim 5.3 Ölçüm alanında çekilen eski tip tren görüntüleri

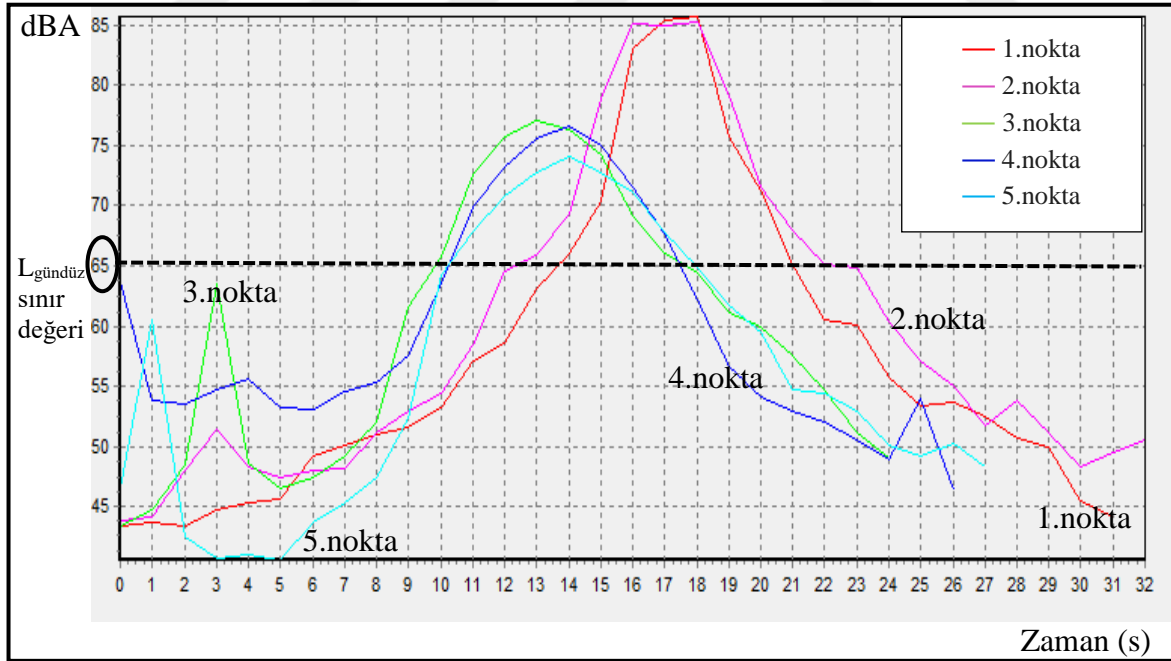


Resim 5.4. Ölçüm alanında çekilen yeni tip tren görüntüleri

Çizelge 5.1. Ölçüm noktaları için $L_{gündüz}$ çevresel gürültü değerleri

Ölçüm Noktaları (m)	Geçiş Süresi (s)	Tren Tipi	Sıcaklık ve rüzgar	Ölçülen Değerler (dBA)		
				Minimum	Maksimum	L_{eq}
1. (0 m)	32	Yeni	23,5 °C 0,4 m/s	43,5	85,7	57,2
2. (20 m)	33	Eski		43,9	85,2	59,3
3. (50 m)	26	Yeni		43,5	77,1	59,2
4. (100 m)	27	Yeni		46,4	76,6	59,5
5. (180 m)	28	Eski		46,6	74,1	56,0

Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere her bir noktada L_{eq} değeri, ÇGDDY’e göre $L_{gündüz}$ 65 dBA sınırının altında kalmaktadır. $L_{gündüz}$ değerleri, Tatlar köyünde 08.25-17.45 saatleri arasında geçen tren seferlerinde ölçülmüştür. Bu saat aralığındaki yedi ölçümün ortalama değerleri alınmıştır.

Şekil 5.1. Beş ölçüm noktası için zamana bağlı $L_{gündüz}$ gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik

Ses seviyesi ölçer, her bir noktada 1 s’lik ölçümlerle değerleri kaydetmiştir. Ölçüm sayısı ile zaman bu durumda eşit sayısal ifadeyi göstermektedir. Şekil 5.1’deki grafikte görüldüğü gibi her bir ölçüm noktasında trenin geçişiyle birlikte mesafeye bağlı olarak

gürültü değerleri değişim göstermektedir. Tren hattına daha yakın mesafede gürültü değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

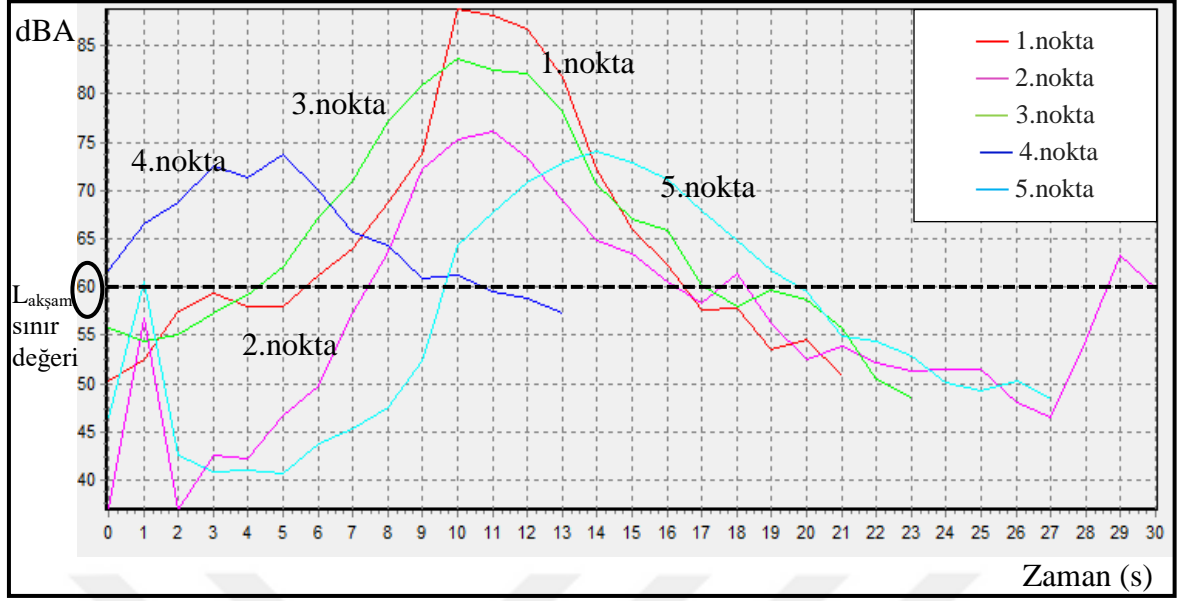
Çizelge 5.2. Ölçüm noktaları için $L_{akşam}$ çevresel gürültü değerleri

Ölçüm Noktaları	Geçiş Süresi (s)	Tren Tipi	Sıcaklık ve Rüzgar	Ölçülen Değerler (dBA)		
				Minimum	Maksimum	L_{eq} (Ortalama)
1. (0 m)	22	Yeni	20,9 °C 1,6 m/s	50,2	88,8	64,7
2. (20 m)	31	Yeni		36,9	76,2	56,4
3. (50 m)	24	Yeni		48,6	83,6	65,0
4. (100 m)	14	Eski		57,3	73,7	65,1
5. (180 m)	28	Eski		45,5	73,1	55,9

Çizelge 5.2’de görüldüğü üzere $L_{akşam}$ 60 dBA sınır değeri üç noktada aşılmaktadır. Ancak tren hattına 180 m uzaklıkta olan, aynı zamanda kalıcı yerleşim yerine 50 m mesafedeki beşinci noktadaki değer söz konusu sınır değerinin altında kalmaktadır. $L_{akşam}$ değerleri Tatlar köyünde 19.19-21.00 saatleri arasında geçen tren seferlerinde ölçülmüştür. Bu saat aralığında alınan altı ölçümün ortalama değerleri alınmıştır.

YHT gürültüsünden etkilenebilecek hat yakınındaki konutların, büyük çoğunluğunun bahçe işleri için genellikle hafta sonları aktif olarak kullanıldığı köy sakinlerinden öğrenilmiştir. Hatta en yakın kabul edilen kalıcı konutta ise tren gürültüsünden rahatsız olunmadığı konut sakinlerince dile getirilmiştir

Tatlar köyünde, akşam saatlerinde ortamda oluşan sesler azalmasına rağmen tren hattının hemen arkasında gürültü artırıcı etmen olarak bulunan Ankara çayı göze çarpmaktadır. Ayrıca hat ile yerleşim yeri boyunca gürültü perdesi oluşturabilecek sıralı bir ağaç yapısı da bulunmamaktadır. Bu fiziksel ortam şartları, tren gürültüsü ile birlikte çevresel gürültünün artmasına sebep olmaktadır.

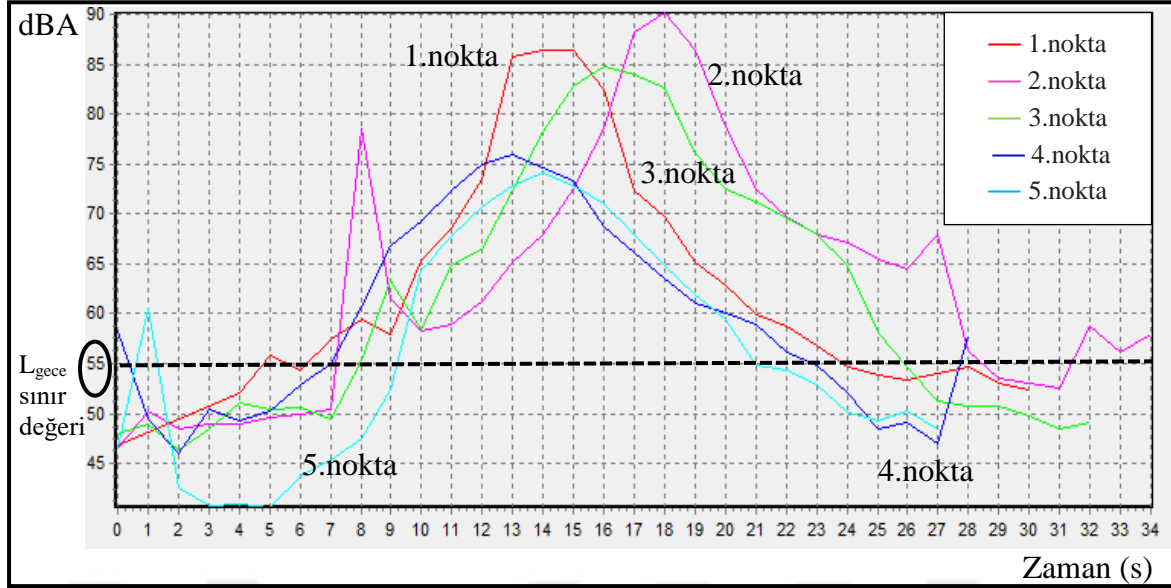


Şekil 5.2. Beş ölçüm noktası için zamana bağlı $L_{Akşam}$ gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik

Çizelge 5.3. Ölçüm noktaları için L_{gece} çevresel gürültü değerleri

Ölçüm Noktaları	Geçiş Süresi (s)	Tren Tipi	Sıcaklık ve Rüzgar	Ölçülen Değerler (dBA)		
				Minimum	Maksimum	L_{eq} (Ortalama)
1. (0 m)	31	Eski	19 °C 0,8 m/s	46,9	86,5	61,3
2. (20 m)	34	Eski		46,5	90,2	62,9
3. (50 m)	33	Yeni		46,4	84,8	61,2
4. (100 m)	29	Eski		46	75,9	59,4
5. (180 m)	28	Eski		45	73,4	55,4

Çizelge 5.3 incelendiğinde L_{gece} 55 dBA sınır değeri ilk dört noktada aşılmaktadır. Ancak mesafeye bağlı olarak kalıcı yerleşim yerinin 50 m civarı olan beşinci noktada ölçülen değer yaklaşık 55 dBA sınırında kaldığı görülmektedir. L_{gece} değerleri Tatlar köyünde 06.00-06.45 saatleri arasında geçen tren seferlerinde ölçülmüştür. Bu saat aralığında beş ölçümün ortalama değerleri alınmıştır.



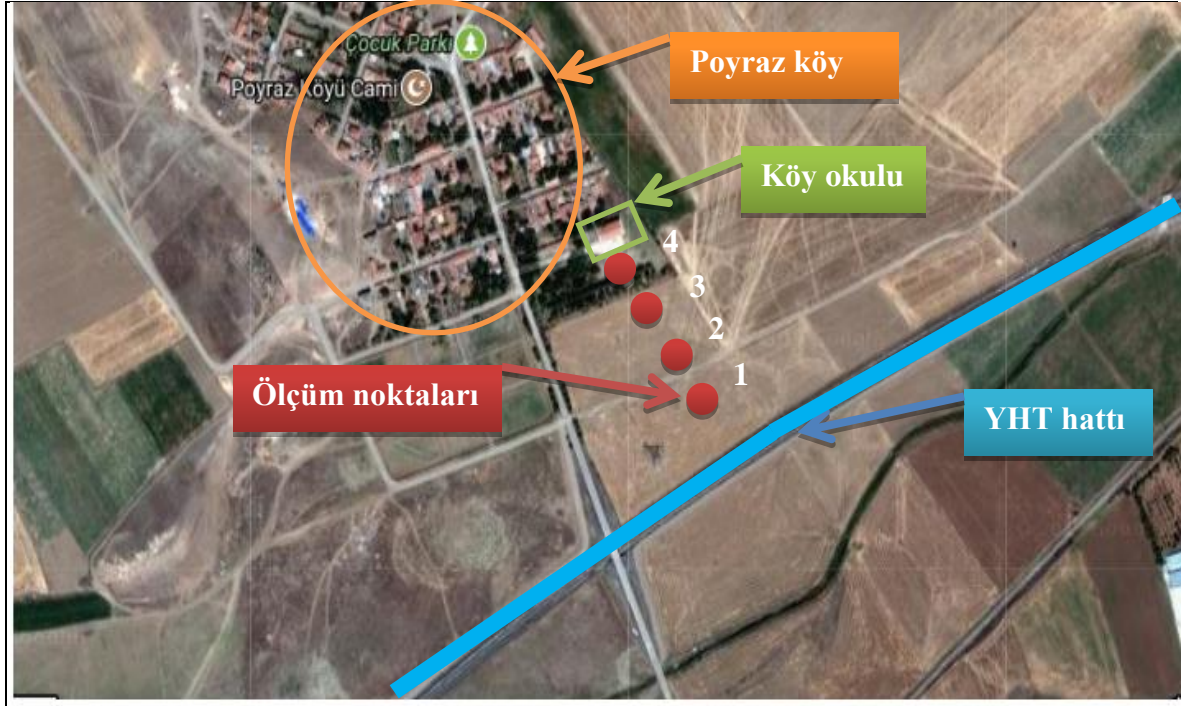
Şekil 5.3. Beş ölçüm noktası için zamana bağlı L_{gece} gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik

Tren gürültüsü insanlar için özellikle gece saatlerinde uyku problemlerine neden olduğu için şikâyet sebebidir. Ancak Ankara-İstanbul hattı YHT seferleri incelendiğinde gece 23.45 ile sabah 06.00 arası tren seferinin bulunmadığı ve L_{gece} zaman aralığında çok az tren seferinin varlığı görülmektedir. Bu faktörün insanlar için uyku halinde yaşanabilecek rahatsızlıkların önüne geçtiği düşünülmektedir.

5.3. Poyraz Köyü Çevresel Gürültü Ölçümleri

YHT hattı güzergâhında ikinci ölçüm yeri olarak belirlenen Poyraz köyü, Ankara ili, Polatlı ilçesine bağlıdır. Polatlı ile arası yaklaşık 20 km'dir. Poyraz köyü, Ankara'ya ise yaklaşık 60 km mesafede olup Polatlı ilçesi YHT istasyonundan önce gelmektedir. Poyraz köyü; tek katlı evlerden oluşan, kırsal kesim niteliği taşıyan bir yerleşim birimidir.

Poyraz köyünde tren hattı ile ilk yerleşim yeri arasındaki uzaklık 200 m'dir. Bu mesafede evler sıralanmıştır. Ayrıca bir de köy ilkokulu bulunmaktadır. Ölçüm noktaları olarak tren rayından 1. nokta (20 m) , 2. nokta (50 m), 3. nokta (100 m) ve 4. nokta (150 m) şeklinde belirli mesafelerde seçilmiştir. Tren hattına en yakın hassas alan kategorisinde olması köy ilkokulu olması sebebiyle okul baz alınarak 50 m civarında (4.nokta) gürültü seviyesi ölçülmüştür. Okulun bahçesi tren yoluna bakmaktadır. Okul bahçesinin sıralı ağaçlarla çevrenmesi gürültü perdesi oluşturulmasına katkı sağlamıştır.

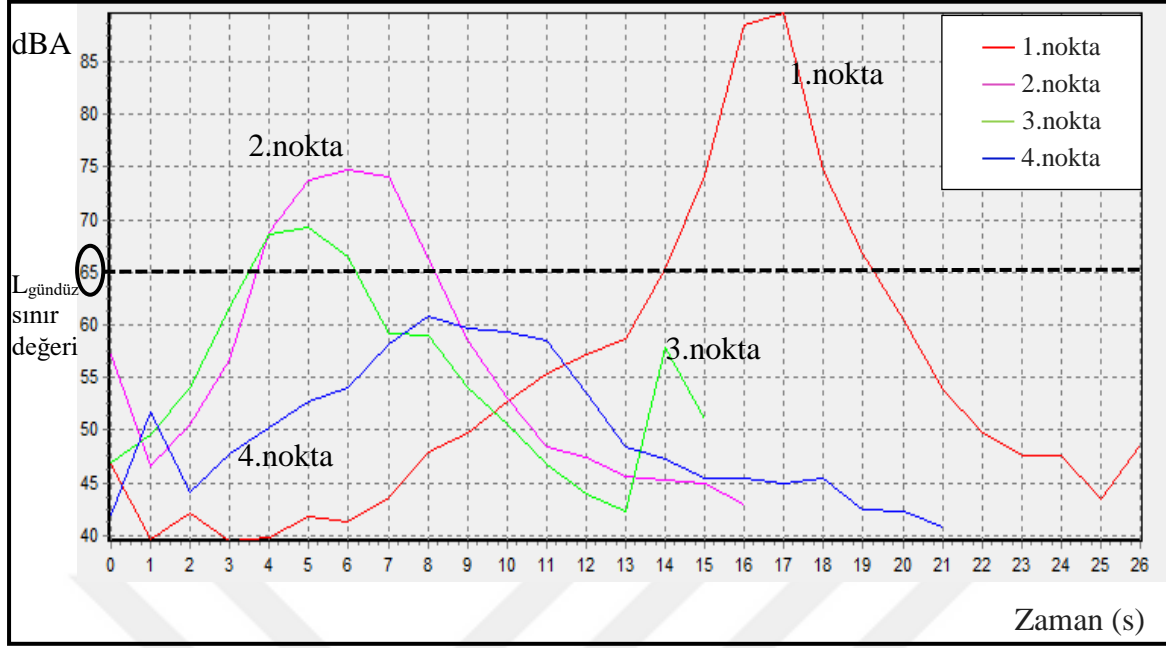


Harita 5.2. Poyraz köyü ölçüm noktaları harita gösterimi [68]

Çizelge 5.4. Ölçüm noktaları için $L_{gündüz}$ çevresel gürültü değerleri

Ölçüm Noktalar	Geçiş Süresi (s)	Tren Tipi	Sıcaklık ve Rüzgar	Ölçülen Değerler (dBA)		
				Minimum	Maksimum	L_{eq} (Ortalama)
1. (20 m)	27	Eski	23,6 °C 0 m/s	39,5	89,6	54
2. (50 m)	17	Yeni		42,9	74,8	56
3. (100 m)	16	Yeni		42,3	69,3	55
4. (150 m)	22	Yeni		40,80	60,9	50

Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi her bir nokta için ölçüm sonuçları $L_{gündüz}$ 65 dBA sınır değerinin altında kalmaktadır. Ölçülen değerler incelendiğinde oluşan gürültünün rahatsız edici seviyede olmadığı tespit edilmiştir. $L_{gündüz}$ değerleri Poyraz köyünde 09.45-09.54 ve 17.45-17.52 saatleri arasında geçen tren seferlerinde ölçülmüştür. Bu saat aralıklarında beş ölçümün ortalama değerleri alınmıştır.

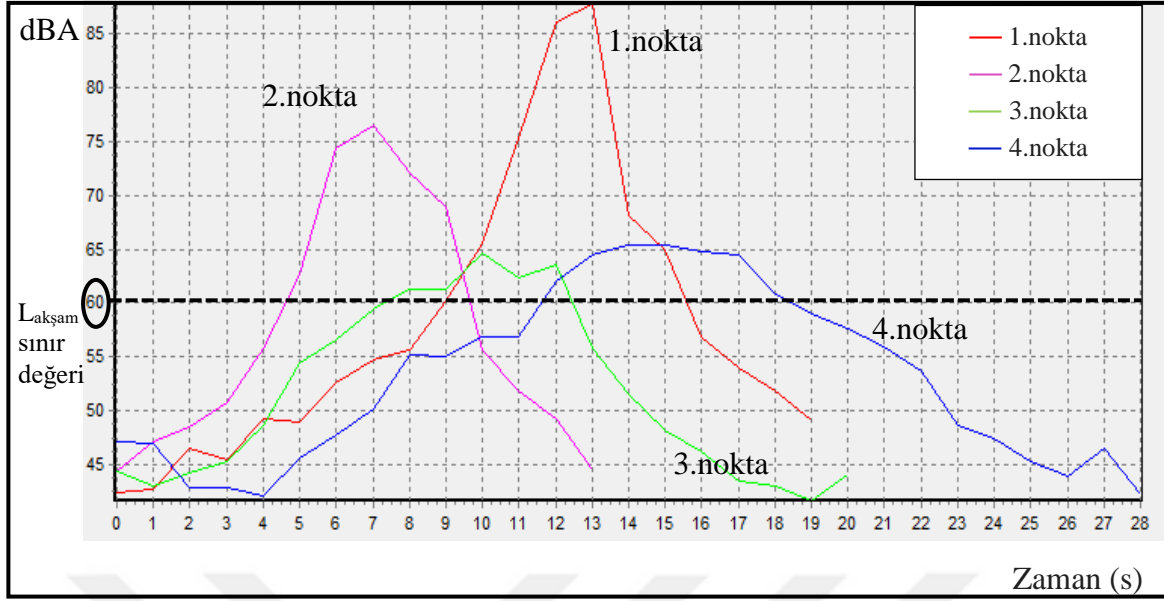


Şekil 5.4. Dört ölçüm noktası için zamana bağlı $L_{gündüz}$ gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik

Çizelge 5.5. Ölçüm noktaları için $L_{akşam}$ çevresel gürültü değerleri

Ölçüm Noktaları	Geçiş Süresi (s)	Tren Tipi	Sıcaklık ve Rüzgar	Ölçülen Değerler (dBA)		
				Minimum	Maksimum	L_{eq} (Ortalama)
1. (20 m)	20	Eski	19 °C 1,6 m/s	42,4	87,7	58
2. (50 m)	14	Yeni		44,4	76,5	57
3. (100 m)	21	Yeni		41,7	64,6	52
4. (150 m)	29	Eski		42,2	65,4	53

Dört ölçüm noktası için $L_{akşam}$ gürültü değerleri Çizelge 5.5'e göre $L_{akşam}$ 60 dBA sınırının altında kalmaktadır. $L_{akşam}$ değerleri Poyraz köyünde 19.20-20.55 saatleri arasında geçen tren seferlerinde ölçülmüştür. Bu saat aralığında altı ölçümün ortalama değerleri alınmıştır.

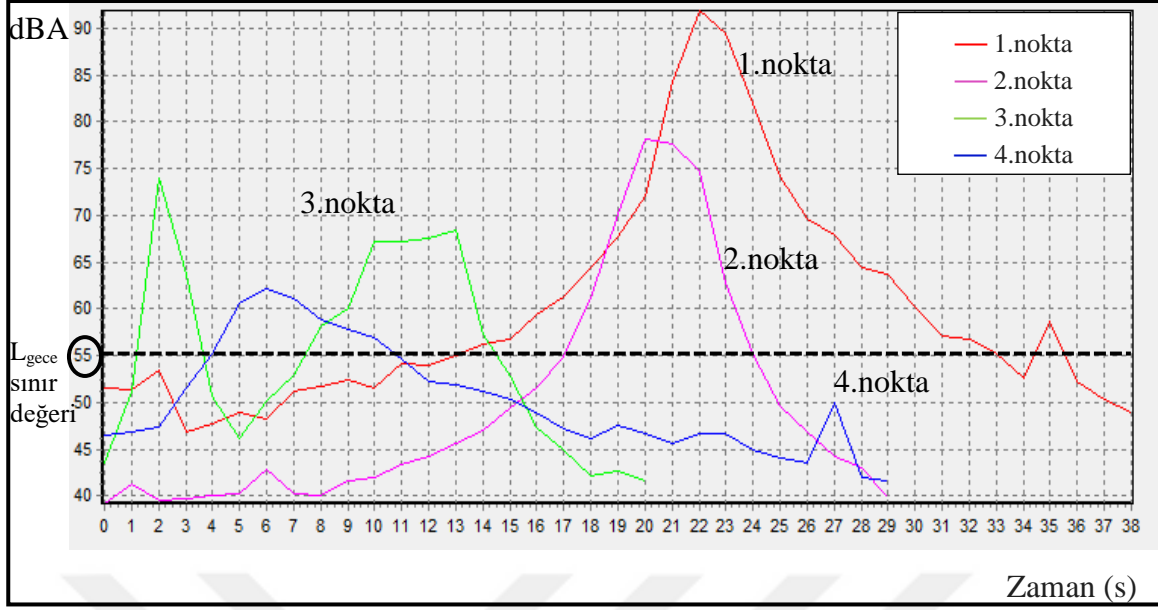


Şekil 5.5. Dört ölçüm noktası için zamana bağlı $L_{Akşam}$ gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik

Çizelge 5.6. Ölçüm noktaları için L_{gece} çevresel gürültü değerleri

Ölçüm Noktaları	Geçiş Süresi (s)	Tren Tipi	Sıcaklık ve Rüzgar	Ölçülen Değerler (dB)		
				Minimum	Maksimum	L_{eq} (Ortalama)
1. (20 m)	39	Eski	17,8 °C 0,9 m/s	46,9	91,9	60
2. (50 m)	30	Eski		39,2	78,2	50
3. (100 m)	21	Yeni		41,6	74	55
4. (150 m)	30	Yeni		41,7	62,1	50

Çizelge 5.6'da L_{gece} değerleri birinci nokta hariç üç noktada da 55 dB sınırının altında kalmaktadır. L_{gece} değerleri Poyraz köyünde 06.00-06.45 saatleri arasında geçen tren seferlerinde ölçülmüştür. Bu saat aralığında dört ölçümün ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 5.6. Dört ölçüm noktası için zamana bağlı L_{gece} gürültü değerleri karşılaştırmasını gösteren grafik

5.4. Mevcut Çevresel Gürültü Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Tren gürültüsünün insanlar üzerinde olumsuz etkileri incelendiğinde karşılaşılan en önemli rahatsızlık, gece ani uyanmalar ve gelişen uyku problemleridir. Tren kaynaklı uyku bozukluğu ve neden olduğu rahatsızlık derecesinin değerlendirilmesinde kullanılan uluslararası ölçüm aracı gündüz-gece seviyesi (L_{gg}) olarak bilinmektedir. Belirli bir alanda maruz kalınan çevresel gürültüyü L_{gg} göstergesi ile değerlendirebilmek için bütün bir günün farklı zamanlarındaki derecelendirme seviyelerinin ortalamasını almamız gerekmektedir. L_{gg} gündüz-gece derecelendirme seviyesi (5.1) formülüne göre hesaplanmaktadır [65].

$$L_{gg} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{d}{24} \times 10^{\frac{L_d + K_d}{10}} \right) + \left(\frac{24-d}{10} \times 10^{\frac{L_n + K_n}{10}} \right) \right] \text{dB} \quad (5.1)$$

Formüle göre:

L_{gg} : Gündüz-gece seviyesi

d: Gündüz zamanı saatleri

L_d : Gündüz saatleri için değerlendirme düzeyi

L_n : Gece saatleri için değerlendirme düzeyi

K_d : Hafta sonu gündüz zamanı için düzeltim değeri (Hafta sonu için 0 kabul edilmiştir.)

K_n : Gece saatleri için düzeltim değerini ifade etmektedir [65].

Genel formül olarak (5.1) Formülü gündüz saat dilimi: (07.00-22.00) arası 15 saat, gece saat dilimi: (22.00-07.00) arası 9 saat olarak hesap yapıldığında (5.2) formülü elde edilmektedir.

$$L_{gg} = 10\log_{10} \frac{1}{24} \left[\left(15 \times 10^{\frac{L_d}{10}} \right) + \left(9 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right] \text{dB} \quad (5.2)$$

Akşam ve gece saatlerinde insanların gürültüden rahatsız olma derecesi artacağı için L_{gag} göstergesi için akşam saatleri için +5 dB, gece ise uyku halinde daha da hassasiyetin artması nedeniyle +10 dB ceza uygulaması öngörülmüştür [66].

Gündüz-akşam-gece derecelendirme seviyesi ise (5.1) formülünün üç zaman dilimine göre düzenlenmesi ile (5.3) elde edilmektedir [65].

$$L_{gag} = 10\log_{10} \left[\left(\frac{d}{24} \times 10^{\frac{L_d+K_d}{10}} \right) + \left(\frac{e}{24} \times 10^{\frac{L_e+K_e}{10}} \right) + \left(\frac{24-d-e}{24} \times 10^{\frac{L_n+K_n}{10}} \right) \right] \text{dB} \quad (5.3)$$

Formüle göre:

L_{gag} : Gündüz-akşam-gece seviyesi

d: Gündüz zamanı saatleri

e: Akşam saatleri sayısı

L_d : Gündüz saatleri için değerlendirme düzeyi

L_e : Akşam saatleri için değerlendirme düzeyi

L_n : Gece saatleri için değerlendirme düzeyi

K_d : Hafta sonu gündüz zamanı için düzeltim değeri (Hafta sonu ölçümü yapılmadığı için 0 kabul edilmiştir.)

K_n : Gece saatleri için düzeltim değerini ifade etmektedir [65].

Ülkemizde ÇGDYY EK-I, madde 1'de yer alan formüle göre 24 saatlik zaman dilimi, gündüz saat dilimi: (07.00-19.00) arası 12 saat akşam saat dilimi: (19.00-23.00) arası 4 saat, gece saat dilimi: (23.00-07.00) arası 8 saat olarak üçe ayrıldığı için L_{gag} (5.4) formülü esas alınarak Tatlar ve Poyraz köyleri gürültü ölçümleri gündüz-akşam-gece derecelendirme seviyesine göre değerlendirilmiştir. L_{gag} göstergesinin tren gürültüsü için L_{eq} göstergesinin yanında ilave olarak hesaplanmasının yararlı olabileceği ÇGDYY EK-I, madde 3'te belirtilmiştir.

$$L_{gag} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[\left(12 \times 10^{\frac{L_d}{10}} \right) + \left(4 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} \right) + \left(8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right] \text{dB} \quad (5.4)$$

YHT'lerin kesikli kaynak olarak; tren geçiş süresinde çevresel gürültüyü arttırması, diğer saatlerde ise tren geçişinin olmaması sebebiyle zamana bağlı olarak mevcut ortama gürültü katkısı değişkenlik göstermektedir. Ortam gürültüsünün; gün içerisinde belirli saatlerde ortalama bir değerde olması, belirli saatlerde ise bu seviyenin kamyon, uçak vs. gibi etkenlerle bir miktar artması ve tren geçiş sürecinde ise gürültü seviyesinin daha da artması beklenmektedir. Bu nedenle L_{gag} formülündeki (5.4); $L_{gündüz}$, $L_{akşam}$ ve L_{gece} zaman dilimlerinin (ortam gürültüsünün değişken diyagramı düşünülerek) kendi içerisinde tahmini olarak belirli oranlarda bölünmesiyle formül (5.5) elde edilmiştir. Mevcut hatta; gündüz saatlerinde (07.00-19.00) toplamda 31, akşam saatlerinde (19.00-23.00) toplamda 10, gece saatlerinde (23.00-07.00) ise toplamda 5 sefer bulunmaktadır. Ortalama tren geçişinin 2 dk sürdüğü kabulü yapılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$L_{gündüz}$ için 12 saatlik zaman diliminde tren geçiş süresi 2 dk ve sefer sayısı ortalama 30 olarak alındığında gün içerisinde toplam tren gürültü maruziyeti 1 saat olacaktır ve formülde yerine koyularak hesaplanmıştır. İlerleyen zamanlarda talep doğrultusunda tren seferlerinin artacağı öngörülmüştür. Bu nedenle akşam ve gece zaman dilimi süresi (0,5 sa olarak), sefer sayısı biraz daha arttırılarak hesaplanmıştır.

$$L_{gag} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[\left(8 \times 10^{\frac{45}{10}} \right) + \left(3 \times 10^{\frac{55}{10}} \right) + \left(1 \times 10^{\frac{L_{gündüz}}{10}} \right) \right] \quad (5.5)$$

$$+ \left[\left(3 \times 10^{\frac{45+5}{10}} \right) + \left(0,5 \times 10^{\frac{55+5}{10}} \right) + \left(0,5 \times 10^{\frac{L_{akşam}+5}{10}} \right) \right]$$

$$+ \left[\left(7 \times 10^{\frac{45+10}{10}} \right) + \left(0,5 \times 10^{\frac{55+10}{10}} \right) + \left(0,5 \times 10^{\frac{L_{gece}+10}{10}} \right) \right] \text{dB}$$

Formül Kabulleri:

Ortamın gürültüsünün ortalama değeri: 45 dB

Kamyon uçak vs gürültülerin ortam gürültüsünü bir miktar artmış hali: 55 dB

Tren geçiş süresi: 2 dk

Sefer sayıları artacağı kabulüyle akşam ve gece seferleri maruziyet süresi: 0,5 sa

Çevre Koruma Kurumu Environmental Protection Agency (EPA) 1974'de, "Toplum Sağlığını Korumak için Çevresel Gürültü Gereksinimi ile ilgili Bilgi" adlı bir bildiri

yayınlanmıştır. Söz konusu bildiri kabul edilebilir gürültü sınırları L_{eq} ve L_{gg} göstergeleri açısından Çizelge 5.7'ye göre değerlendirilmektedir [67].

Çizelge 5.7. Toplum sağlığı için mekanlarda öngörülen gürültü düzeyleri [67]

Etkisi	Düzyey (dBA)	Mekân
İşitme kaybı	$L_{eq} (24) \leq 70$	Tüm mekânlar
Dış mekân Aktivite engelleme ve baş ağrıtırma	$L_{gg} \leq 55$	Konut bölgelerindeki dış mekânlar ile insanların çoğunlukla vakit geçirdikleri mekânlar ve diğer sessiz mekânlar
İç mekan	$L_{eq} (24) \leq 55$	Konut bölgelerindeki iç mekânlar
Aktivite engelleme ve baş ağrıtırma	$L_{eq} (24) \leq 45$	Diğer iç mekân aktiviteleri, örneğin, okullardaki gibi.

Çevresel gürültü Çizelge 5.7'de de görüldüğü üzere konut bölgelerindeki dış mekânlar, insanların çoğunlukla vakit geçirdikleri mekânlar ve diğer sessiz mekanlar olarak kategorize edilen yerlerde insanlar üzerinde fizyolojik, psikolojik ve performans düşürücü olumsuz etkilere sebep olur. Bu nedenle özellikle gece saatlerinde sağlıklı bir uyku için gürültü düzeyinin belirli sınırları aşmaması gerekir. Ülkemizde L_{gag} göstergesi için bir sınır değeri bulunmamaktadır. Çizelge 5.7'de $L_{gg} \leq 55$ dBA ortalama değeri baz alınarak Tatlar ve Poyraz köyleri L_{gag} değerlerinin sağlık açısından etkisi yorumlanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 5.8. Tatlar köyü ölçüm noktaları için L_{gag} değerleri

Ölçüm Noktaları	$L_{gündüz}$	$L_{akşam}$	L_{gece}	L_{gag}
1. (0 m)	57,2	64,8	61,3	58,7
2. (20 m)	59,3	56,3	63,0	58,6
3. (50 m)	59,2	65,0	61,2	58,8
4. (100 m)	59,5	65,1	59,4	58,3
5. (180 m)	56,0	56,0	55,4	55,5

Tatlar köyü gündüz-akşam-gece L_{eq} değerleri ile (5.4) formülü ile her bir noktada Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi L_{gag} değerleri hesaplanmıştır. Ölçüm noktaları L_{gag} değerlerinin sağlık açısından $L_{gg} \leq 55$ aralığına göre dört ölçüm noktasında rahatsız edici olabileceği, ancak yerleşim yerine yakın mesafedeki 5. noktada rahatsız edici düzeyde olmadığı varsayılmıştır.

Çizelge 5.9. Poyraz köyü ölçüm noktaları için L_{gag} değerleri

Ölçüm Noktaları	$L_{gündüz}$	$L_{akşam}$	L_{gece}	L_{gag}
1. (0 m)	54,3	57,9	58,9	56,6
2. (20 m)	56,2	57,3	49,5	55,0
3. (50 m)	55,1	51,6	54,8	55,1
4. (100 m)	49,8	53,0	50,2	54,5

Poyraz köyde YHT hattına en yakın yerleşim yeri bir ev ve okul ile başlamaktadır. Ölçümlere göre hesaplanan L_{gag} değerleri $L_{gg} \leq 55$ aralığına göre incelendiğinde genel olarak rahatsız edici derecede olmadığı varsayılmıştır.



6. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

- Bu çalışma sonucunda YHT'nin neden olduğu çevresel gürültünün tespiti için yapılan mevcut gürültü ölçüm sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Sonuç değerlendirme tablosu

ÇGDYY sınır değerler		65	60	55	-
Tatlar Köyü	Ölçüm Noktaları	L _{gündüz} (dBA)	L _{akşam} (dBA)	L _{gece} (dBA)	L _{gg} (dBA)
	1. (0 m)	57,2	64,8	61,3	58,7
	2.(20 m)	59,3	56,3	63,0	58,6
	3.(50 m)	59,2	65,0	61,2	58,8
	4.(100 m)	59,5	65,1	59,4	58,3
	5.(180 m)	56,0	56,0	55,4	55,5
Poyraz Köyü	1. (20 m)	54,3	57,9	58,9	56,6
	2.(50 m)	56,2	57,3	49,5	55,0
	3.(100 m)	55,1	51,6	54,8	55,1
	4.(150 m)	49,8	53,0	50,2	54,5

- Tatlar ve Poyraz köylerinde tren hattına belirli uzaklıkta seçilen noktalardan mevcut çevresel gürültü L_{eq} değerleri ölçülmüştür. Bu değerlerin ortalaması alınarak $L_{gündüz}$, L_{gece} , $L_{akşam}$ değerleri belirlenmiştir.
- Bu değerler ülkemizde raylı sistemler için sınır değerleri içeren Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre kıyaslanmıştır. Sonrasında her noktada hesaplanan $L_{gündüz}$, L_{gece} , $L_{akşam}$ değerleriyle L_{gg} göstergesi gündüz-akşam-gece derecelendirmesine uygun olarak hesaplanmıştır.
- Çizelge 5.10'a göre Tatlar köyünde YHT gürültüsü $L_{gündüz}$ ölçüm sonuçları tüm noktalarda 65 dBA sınır değerinin altında kalmıştır. $L_{akşam}$ ölçüm değerleri 60 dBA sınır değerini üç noktada aşmaktadır. Ancak tren hattına en yakın mesafede bulunan, gürültüden etkilenebilecek konuta göre belirlenen 5. (180 m) ölçüm noktasındaki değer ise sınır değerinin altında kalmaktadır. L_{gece} değerlerinin yine dört noktada 55 dBA sınır değerini aştığı, beşinci noktada ise sınır değerinde kaldığı tespit edilmiştir.

- Poyraz köyde yapılan ölçümlerde ise Çizelge 5.10'da görüldüğü üzere $L_{gündüz}$ sonuçları tüm noktalarda 65 dBA sınır değerinin altında kalmaktadır. Yine $L_{akşam}$ gürültü seviyeleri 60 dBA sınırının altında kalmaktadır. L_{gece} değerleri birinci nokta hariç üç noktada da 55 dBA sınırının altında kalmaktadır. Poyraz köyü ölçüm sonuçları genel olarak sınır değerlerin altında kalmıştır.
- Tren gürültüsünden etkilenebilecek en hassas yerleşim yeri kabul edilen ev ve okulun önünde sıralı ağaçlar vardır. Bu ağaçların gürültü perdesi görevini yerine getirdiği düşünülmektedir. Poyraz köydeki bitki ve ağaç dağılımının ses yutucu etkisi gösterdiği tahmin edilmektedir.
- YHT'nin aerodinamik gürültü önleyici tasarımları geliştikçe konvansiyonel trenlere göre çevre ve insan sağlığına daha uyumlu olacağı düşünülmektedir.

6.2. Öneriler

- Ülkemizde YHT'nin neden olduğu gürültü kirliliği ile ilgili çalışmaların yetersiz olduğu ve daha çok çalışmanın yapılması gerektiği bu tez çalışması ile anlaşılmıştır.
- YHT kaynaklı gürültünün insanlar üzerindeki etkisinin tespiti için anket çalışmalarının gerekliliği ortaya çıkmıştır.
- YHT güzergâhında yer alan diğer yerleşim yerlerinde de gürültü ölçümlerinin yapılması, ayrıca bu ölçüm sonuçlarının doz-etki boyutunda incelenmesi, insan sağlığı açısından sonuçlarının irdelenmesi önemle üzerinde durulması gereken araştırma konularıdır.
- Tren gürültüsü tespitinin yanında insan sağlığı üzerindeki etkileri disiplinler arası çalışmalarla açığa çıkarılmalıdır. Etkilerin belirlenmesiyle alınacak önlemlerin ve öncelikli eylemlerin daha bilinçli ve yeterli hale gelmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Gökdağ, M. (1999). *Kentsel ulaşımda karayolu ve raylı taşıma sistemlerinin bazı önemli faktörlere göre karşılaştırılması*. II. Ulaşım ve Trafik Kongresi, Ankara, 394-400.
2. İnternet: Yüksek Hızlı Tren Projeleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tcdd.gov.tr%2F&date=2017-10-28>, Son Erişim Tarihi: 08.03.2017.
3. Ekmen Uçev, E.S., Mahdum, N. (2015). Dünyada ve Türkiye’de Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliği; *T.C. Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı Çalışma Raporları*, 2015-6. Ankara. 1-17.
4. Blum, U., Gercek, H., Viegas, J. (1992). High-speed railway and the European peripheries: opportunities and challenges. *Transpn. Res.-A*, 26(2), 211-221.
5. Zhang, Y., Zhang J., Li, T., Zhang, L. ve Zhang, W. (2016). Research on aerodynamic noise reduction for high-speed trains. *Shock and Vibration*, 1-21.
6. Givoni, M. (2006). Development and impact of the modern high-speed train: a review. *Transport Reviews*, 26(5), 594-609.
7. Clewlow, R., R., L. (2012). *The climate impacts of high-speed rail and air transportation: a global comparative analysis*. PHD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, ABD.
8. Di, G. Q., Lin, Q. L., Li, Z. G., Kang, J. (2014). Annoyance and activity disturbance induced by high-speed railway and conventional railway noise: a contrastive case study. *Environmental Health*, 3-22.
9. Moritoh, Y., Zenda, Y., Nagakura, K. (1996). Noise control of high speed Shinkansen. *Journal of Sound and Vibration*, 193(1), 319-334.
10. Lambert, J., Champelovier, P., Vernet, I. (1996). Annoyance from high speed train noise: a social survey. *Journal of Sound and Vibration*, 193(1), 21-28.
11. Ringheim, M. (1998). Noise prediction and control for a norwegian high speed railway. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(5), 2231-2232.
12. Hothersall, D. C., Horoshenkov, K.V., Morgan P. A., Swift, M.J. (2000). Scale modelling of railway noise barriers. *Journal of Sound and Vibration*, 234(2), 207-223.
13. Yoon, T. S., Lee, S., Hwang, J. H., Lee, D.H. (2001). Prediction and validation on the sonic boom by a high-speed train entering a tunnel. *Journal of Sound and Vibration*, 247(2), 195-211.
14. Watkiss, P., Jones, R., Rhodes, D., Hardy, A., Handley, C., Walker, C. (2001). A comparative study of the environmental effects of rail and short-haul air travel; AEA Technology, ED50021. *Commission for Integrated Transport*. 31-40.

15. Kikuchi, K., Iida, M., Takasaki T., Takamil, H. (2005). Field measurement of wayside low-frequency noise emitted from tunnel portals and trains of high-speed railway. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 219-231.
16. Givoni, M. (2007). Environmental benefits from mode substitution: comparison of the environmental impact from aircraft and high-speed train operations. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1, 209-230.
17. Poisson., F. (2006). High speed train noise emission: latest investigation of the aerodynamic/rolling noise contribution. *Journal of Sound and Vibration*, 293(3-5), 944-952.
18. Lee, P.j., Griffin, M.J., (2013). Combined effect of noise and vibration produced by high-speed trains on annoyance in buildings. *Acoustical Society of America*, 133(4), 2126-2135.
19. Yue, Y. (2013). *Life cycle assessment of China's high speed rail systems*. Unpublished Master's Thesis, Natural Resources and Environment in the University of Michigan, United States of America.
20. Wu, D., Ge, J., (2015). The asymmetry of the time history of the high-speed train pass-by noise. *Australian Acoustical Society*, 43, 169-173.
21. Deivasigamani, A., White, A., (2016). Comparison of rail noise prediction methodologies for elevated rail designs. *Acoustics*, 1-10.
22. Öztürk, Z. (1999). *Yüksek hızlı demiryollarının gelişimi ve Türkiye'nin durumu*. II. Ulaşım ve Trafik Kongresi – Sergisi, Ankara, 309-317.
23. Şahin, İ. (2001). Kılavuzlanmış yüksek hız kara ulaştırma sistemleri ve teknolojileri. *Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 48-57.
24. Toprak, R., Aktürk, N. (2002). Raylı ulaşım sistemlerinin neden olduğu gürültü ve çevresel etkileri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 417, 33-38.
25. Toprak, R. (2001). *Raylı ulaşım sistemlerinde oluşan gürültünün ölçülmesi ve modellenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
26. Öztürk, Z., Öztürk T., Arlı, V. (2007). *Yüksek hızlı demiryolu köprülerinde rezonans olayı*. 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumunda sunuldu, Antalya.
27. Arlı, V. (2009). *Demiryolu titreşimlerinin model hat üzerinde çok yönlü analizi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
28. Solak, K. (2011). *Raylı sistem alternatifleri ile manyetik yastık üzerinde hareket eden trenlerin (maglev) çok ölçütlü değerlendirme yöntemi ile karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
29. Işık, B., Cebeci, A. (2013). *Yüksek hızlı trenlerde aerodinamik tasarımın önemi ve uluslararası standartlarda yapılan yenilikler*. 2. Uluslararası Raylı Sistemler Sempozyumunda sunuldu, Karabük.

30. Çelebi, E., Kırtel, O., Aktaş, M. (2013). Yüksek hız trenlerinin çevre binalardaki titreşim etkilerinin azaltılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 321-332.
31. Arak, H. (2015). *TCDD'nin 2023 hedefleri ve Konya - Karaman hızlı tren hattının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
32. Fatih Göktepe, F., Çelebi, E., Aktaş, M. (2016). Yapay Anakaya kullanılarak yüksek hızlı trenlerin alüvyon zeminlerdeki çevre yapılarında oluşturduğu titreşim etkilerinin azaltılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 407-416.
33. Leventhall, G., Pelmear, P., Benton, S. (2003). A review of published research on low frequency noise. In Dr. G., Leventhall (Eds.), *Introduction to the physics of low frequency noise*. UK: Food and Rural Affairs and Defra Publications, 1-8.
34. Çepel, N. (2006). Gürültü kirliliği. Aydemir, A. (Ed.). *Erozyon Doğa ve Çevre*. Birinci Baskı. Ankara: Tema Yayınları, 1-8.
35. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2010). *Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği (ÇGDYY)*. Resmi Gazete, 27-30.
36. Toröz, İ. (2009). *Gürültü ve Yönetimi Eğitim Notları*. Çevre Görevlisi Eğitim Programı. Antalya: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
37. Kablan, A. (2012). *Demiryollarında gürültü kirliliği ve bertaraf yöntemleri, ilgili mevzuatın değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
38. İnternet: Sandalcı., T. Taşıt ve Çevre. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F6004925-Yrd-doc-dr-tarkan-sandalci-tasit-ve-cevre.html&date=2017-10-29>. Son Erişim Tarihi: 01.04.2017.
39. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). *Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.
40. İnternet: Aydın, M., E. Çevre Mühendisliğine Giriş. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F11957736-Cevre-muhendsglsgggn-ggrgg-cmg-dersg.html&date=2017-10-29>. Son Erişim Tarihi: 14.04.2017.
41. İnternet: Akdağ, Y., N. Yapı Akustiği. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F7222469-Yapi-fizigi-1-yapi-akustigi-6-bolum-prof-dr-nese-yugruk-akdag-yildiz-teknik-universitesi-yapi-fizigi-bilim-dali.html&date=2017-10-29>. Son Erişim Tarihi: 11.03.2017.
42. İnternet: Demirkale, S.,Y. Gürültünün İnsan Üzerindeki Etkileri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F+http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F3724123-Gurultunun-insan-uzerindeki-etkileri-prof-dr-sevtap-yilmaz-demirkale-itu-mimarlik-fakultesi.html&date=2017-10-29>. Son Erişim Tarihi: 20.03.2017.

43. Güner, Ç. (2000). Gürültünün sağlık üzerine etkileri. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*. 9(7), 18-19.
44. Özer, D., Kişi., H. (2011). Avrupa Birliği ortak ulaştırma politikası ve Türkiye. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 3(2), 79-93.
45. Meshkani, M., Zaredar, N., Izadpanah, F., Pouragha, H.R., Naderzadeh, M., Nasserpour, M., Monazzam, M.R. (2014). Developing a train noise index for noise pollution assessment of inter-urban trains. *Fluctuation and Noise Letters*, 13(3), 1-13.
46. İnternet: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu. Yüksek Hızlı Tren. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.scribd.com%2Fdocument%2F346152903%2Fhizli-tren-tubitak-raporu-pdf&date=2017-10-29>. Son Erişim Tarihi: 25.04.2017.
47. Aktan, E. Ö. A. (2005). *Ulaşımında yeni teknolojiler ve uygulamaların kent biçimine (olası) yansımaları*. 6. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 152-166.
48. Ege, B. (2015). Manyetik raylı tren. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 574, 90-92.
49. İnternet: Clausen, U., Doll, C., Franklin, F.J., Heinrichmeyer, H., Kochsiek, J., Rothengatter, W., Sieber, N., Franklin, G.V. Reducing Railway Noise Pollution. European Parliament's. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.europarl.europa.eu%2FRegData%2Fetudes%2Fetudes%2Fjoin%2F2012%2F474533%2FIPOL_TRAN_ET%282012%29474533_EN.pdf&date=2017-10-29. Son Erişim Tarihi: 8.04.2017.
50. İnternet: High Speed Lines In the World. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F%2Ffuic.org%2F+&date=2017-10-28>, Son Erişim Tarihi: 01.02.2017.
51. Szwarc, M., Kostek, B., Kotus, J., Szczodrak, M., Czyżewski, A. (2011). Problems of railway noise—a case study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 17(3), 309-325.
52. Lei, X. (2017). *High speed railway track dynamic*. (First edition). Singapore: Springer Nature. 14.
53. İnternet: Railway Noise in Europe. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffuic.org%2F+&date=2017-10-28>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2017.
54. İnternet: Ulaşan ve Erişen Türkiye 2016. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F3A+http%3A%2F%2Fwww.udhb.gov.tr%2Fduyuru-43-ulasan-ve-erisen-turkiye-2015.htm+&date=2017-10-28>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2017.
55. Deniz, T. (2016). Türkiye’de ulaşım sektöründe yaşanan değişimler ve mevcut durum. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(36), 135-153.

56. İnternet: TCDD Faaliyet Raporu 2015. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tcdd.gov.tr%2F&date=2017-10-28>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2017.
57. C. Talotte, C., Gautiera, P.E., Thompson, D.J., Hanson, C. (2003). Identification, modelling and reduction potential of railway noise sources: *a critical survey*. *Journal of Sound and Vibration*, 447-466.
58. Yuran, A.F., Taşgetiren, S. (2010). Doğadan Esinlenerek Tasarım. *BiyoTeknoloji Elektronik Dergisi*. 1(2), 23-30.
59. Türk Standardları Enstitüsü. (2009). *TS ISO 1996-2 Akustik-çevre gürültüsünün tarifi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi Bölüm 2: Çevre Gürültü Seviyelerinin Tayini*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
60. Öztürk, Z., Arlı, V. (2010). *Demiryolunda Gürültü ve Titreşim Sorunu*. İstanbul: İstanbul Ulaşım, 26-27.
61. Torun, E.F., Bingül, Z. (2014). Demiryollarından kaynaklanan çevresel gürültü ve Erzurum ili örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(4), 67-74.
62. Gülden, E. (2006). *Köprülü kavşakların çevresel trafik gürültü seviyelerine etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
63. Basner, M. M., Elmenhorst E. M., Müller, U. (2011). Single and combined effects of air, road, and rail traffic noise on sleep and recuperation. *Sleep*, 34(1),11-23.
64. Halperin, D. (2014). Environmental noise and sleep disturbances: A threat to health?. *Sleep Science*, 7(4), 209-212.
65. *A-2 Tipi Sertifika Çevresel Gürültü Mühendislik Akustiği Kitapçığı*. İstanbul: TMMOB Fizik Mühendisleri Odası, 84-85.
66. Miedema, H. M.E., Oudshoorn, G.M. C., Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics dnl and denl and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*, 109(4), 409-416.
67. Demirkale, S. Y., Aşçıgil, M. (2008). *Sağlıklı kentlerle ve yapılarla ilgili Türkiye'nin gürültü politikası*. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 267-285.
68. İnternet: Tatlar ve Poyraz Köy Harita Gösterimi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.google.com.tr%2Fintl%2Ftr%2Fearth%2F+&date=2017-10-28/>, Son Erişim Tarihi: 02.08.2017.
69. Özçetin, Z. (2016). *Celal Bayar Bulvarı üzerinde trafik kaynaklı gürültünün analizi ve çevresel etkilerinin araştırılması üzerine bir yöntem önerisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ORUÇ, Kerime Şeyma
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.01.1989, GİRESUN
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0312 365 30 66
 e-posta : kerimeseymakurutlu@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Çevre Bilimleri	Devam Ediyor
Lisans	Kocaeli Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2012
Lise	Abidinpaşa Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-2015	TÜBİTAK – ULAKBİM	Proje Personeli
2012-2013	MGS Proje Mühendislik Ltd.Şti.	Çevre Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Konferans ve Seminerlere Katılmak, Kitap Okumak, Yürüyüş Yapmak, Seyahat Etmek, Şiir Okumak ve Dinlemek.



GAZİ GELECEKTİR..