

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**İSTANBUL ŞEHİRİÇİ RAYLI TAŞIMA
HATLARINDAN ÇEVREYE YAYILAN TİTREŞİM
VE GÜRÜLTÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ VE
ÖNLEME YÖNTEMLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

ÜLKÜ EBRU YILDIRIM

İSTANBUL, 2016

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**İSTANBUL ŞEHİRİÇİ RAYLI TAŞIMA
HATLARINDAN ÇEVREYE YAYILAN TİTREŞİM
VE GÜRÜLTÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ VE
ÖNLEME YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜLKÜ EBRU YILDIRIM

Tez Danışmanı: PROF.DR. TUNCER TOPRAK

İSTANBUL, 2016

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: İstanbul Şehiriçi Raylı Taşıma Hatlarından Çevreye Yayılan Titreşim ve Gürültünün Değerlendirilmesi ve Önleme Yöntemleri
Öğrencinin Adı Soyadı: Ülkü Ebru YILDIRIM
Tez Savunma Tarihi: 11.04.2016

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

İmza

Doç. Dr. Nafiz ARICA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

İmza

Yrd. Doç. Dr. Aybike ÖNGEL
Program Koordinatörü

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

__ İmzalar

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Tuncer TOPRAK

Bu kısımları doldurunuz

Üye
Doç. Dr. Ömer Özkan

Üye
Yard. Doç. Dr. Ali Osman PEKTAŞ

ÖZET

İSTANBUL ŞEHİRİÇİ RAYLI TAŞIMA HATLARINDAN ÇEVREYE YAYILAN TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNLEME YÖNTEMLERİ

Ülkü Ebru YILDIRIM

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Tuncer TOPRAK

Nisan 2016, 61 Sayfa

Şehiriçi ulaştırma sistemlerinin vazgeçilmez parçası olan metroların, İstanbul gibi nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde ulaşım olumlu etkisi göz ardı edilemeyecek seviyededir. Son yıllarda yapılan yatırımların çokluğu, toplu ulaşım sistemleri ile olan entegrasyonu ile birlikte kullanımı her geçen gün artmaktadır.

İlk üç bölümde; ülkemizde ve İstanbul'da raylı sistem yapılarının tarihçesinden bahsedilmekte olup, kent içi raylı sistemlerin çeşitleri ve yapıları anlatılmaktadır.

Yapılan bu tez kapsamında; İstanbul'un coğrafi yapısı nedeniyle zaman zaman yer yüzüne çıkan metrolar ve yüzeyde yer alan tramvay sistemlerinden çevreye yayılan titreşim ve gürültünün yapı ve insanlara olan etkisi üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

Sonuç bölümünde; Üniversiteler bünyesinde yapılan ölçümler üzerine değerlendirmelerin yer aldığı bu çalışmada, yaygınlaşan raylı sistem hatlarının yapımı sırasında dikkat edilmesi gereken hususlarda görüşlere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Raylı sistemler, Titreşim ve Gürültü Önleme

ABSTRACT

EVALUATION AND PREVENTION OF NOISE AND VIBRATION ORIGINATED FROM ISTANBUL URBAN RAIL SYSTEMS

Ülkü Ebru YILDIRIM

Urban Transportation Systems and Management

Thesis Advisor: Prof. Dr. Tuncer TOPRAK

April 2016, 61 pages

For urban transportation, the positive influence of metro systems have high level in crowded cities like İstanbul. The using this metro systems increasing day by bay because of entegration with the other transportation systems.

From fisrt to third section, history of the rail systems in İstanbul and country, urban rail systems and their structures are appear in.

In this thesis, noise and vibration effects from the rail systems are evaluated in urban rail systems appearing in the surface.

In the end of thesis, subjects are aggeded for the planning and construction stages in urban rail systems.

Keywords: Light rail systems, rail systems free catanery, battery.

İÇİNDEKİLER

TABLolar.....	v
ŞEKİLLER.....	vi
1.GİRİŞ.....	1
1.1 ARAŞTIRMANIN AMACI.....	1
1.2 ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ.....	1
1.3 ARAŞTIRMANIN KAPSAMI.....	1
2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER.....	3
2.1 TRAMVAY SİSTEMLERİ.....	3
2.2 HAFİF RAYLI SİSTEMLER.....	4
2.3 METRO SİSTEMLERİ.....	5
2.4 DİĞER SİSTEMLER.....	7
2.4.1 Maglev (Manyetik Levitasyonlu Trenler).....	7
2.4.2 Monoray.....	8
3. İSTANBUL'DA RAYLI SİSTEMLER VE TARİHÇESİ.....	11
3.1 RAYLI SİSTEMLERİN TARİHÇESİ.....	11
4. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERİN ÇEVREYE ETKİLERİ.....	17
4.1 DEMİRYOLLARINDA GÜRÜLTÜ.....	17
4.1.1 Demiryollarında Gürültü.....	17
4.1.2 Gürültü Ölçüm ve Önleme Yöntemleri.....	22
4.1.3 Gürültü Bariyerleri ve Uygulaması.....	24
4.1.4 Gürültü Kontrol Yöntemleri.....	27
4.2 DEMİRYOLLARINDA TİTREŞİM.....	29
4.2.1 Demiryollarında Titreşim.....	29
4.2.2 Titreşim Ölçüm ve Önleme Yöntemleri.....	31
4.2.3 Titreşim Kontrol Yöntemleri.....	32
5. İSTANBUL'DA GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ YAPILAN RAYLI SİSTEM HATLARI.....	34
5.1 METRO HATLARI VE ALTYAPI BİLGİLERİ.....	34
5.1.1 Haciosman – Yenikapı Metro Hattı ve Demiryolu Altyapısı.....	34

5.1.2 Eminönü – Aksaray Tramvay Hattı ve Demiryolu Altyapısı.....	36
5.1.3 Otogar-İkitelli-Olimpiyatköy Metro Hattı Demiryolu Altyapısı.....	37
5.2 GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ.....	38
5.2.1 Hacıosman – Yenikapı Metro Hattı Viyadük, Çelik Köprü ve Tünel Geçişi Ölçümleri.....	38
5.2.2 Eminönü – Aksaray Tramvay Hattı Ölçümleri.....	43
5.2.3 Otogar – İkitelli Metro Hattı Ölçümleri.....	44
5.3 ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKÇA.....	60

TABLULAR

Tablo 2.1: Tramvay, hafif raylı sistem ve metro sistemlerinin karşılaştırılması.....	7
Tablo 4.1: Metrolarda Çevresel Gürültü Sınır Değerleri L(dBA).....	22
Tablo 4.2: Demiryolu gürültü önlemleri.....	29
Tablo 4.3: Demiryolu titreşim problemleri ve frekans aralıkları.....	30
Tablo 4.4: Titreşim düzeyine göre yolculuk tepkisi.....	32
Tablo 5.1: Deplasman ölçümlerinin yapıldığı yerlerde tren hızları.....	39
Tablo 5.2: Genel Titreşim Seviyeleri.....	42
Tablo 5.3: Tarihi yapılar için gerçekleştirilen ölçümler.....	44
Tablo 5.4: Yankı süresince yapılan ölçümler.....	55
Tablo 5.5: İstasyonlar arası toplam gürültü düzeyleri.....	56

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Kabataş – Bağcılar tramvay hattı.....	4
Şekil 2.2: Aksaray - Havalimanı hattı.....	5
Şekil 2.3: Yenikapı – Hacıosman metrosu Haliç geçişi çelik köprü.....	6
Şekil 2.4: Maglev trenleri.....	8
Şekil 2.5: Monoray klavuzlama sistemi.....	9
Şekil 2.6: Monoray klavuzlama sistemi.....	10
Şekil 2.7: Monoray klavuz kirişi ve yolu.....	10
Şekil 3.1: Beyazıt'ta bekleyen tramvaylar.....	11
Şekil 3.2: Harbiye – Fatih seferini yapan tramvay.....	12
Şekil 3.3: Üsküdar - Kadıköy seferini yapan tramvay.....	12
Şekil 3.4: Tünel – Taksim arası çalışan tramvay (günümüz).....	13
Şekil 3.5: 1966 yılında son seferini yapan tramvay.....	14
Şekil 3.6: Yenikapı İstasyonu transfer merkezi (Yenikapı – Hacıosman Metro su / Yenikapı Marmaray İstasyonu/Yenikapı – Havalimanı ve Yenikapı – Bağcılar LRTS Hattı).....	15
Şekil 3.7: İstanbul'da günümüz ve 2019 yılı hedeflerini kapsayan raylı sistem haritası.....	16
Şekil 4.1: Ray üstü bozuk profil yüzeyi.....	18
Şekil 4.2: Darbe etkisinin şematik görünümü.....	19
Şekil 4.3: Kızaklanma etkisi.....	20
Şekil 4.4: Taşıt hızı – çevre gürültüsü arasındaki ilişki.....	20

Şekil 4.5: Ekli ve sürekli kaynaklı raylardaki hız artışına göre L_A seviyeleri.....	21
Şekil 4.6: İşitme sınırlarını gösteren grafik (IYEM – Brüel&Kjaer).....	23
Şekil 4.7: Gürültü kaynağı ve alıcı arasındaki ilişki.....	25
Şekil 4.8: Gürültü bariyeri örneği.....	25
Şekil 4.9: Gürültü bariyeri örneği.....	26
Şekil 4.10: Gürültü bariyeri örneği.....	26
Şekil 4.11: Gürültü bariyeri örneği.....	27
Şekil 4.12: Tekerlekten kaynaklanan titreşimlerin çevre yapılarına etkisi.....	31
Şekil 5.1: Doğrudan tespitli demiryolu inşaatı.....	34
Şekil 5.2: Tarihi Ceneviz Sur Geçişi.....	35
Şekil 5.3: Tarihi Ceneviz Sur Geçişi.....	36
Şekil 5.4: Tramvay hattı üstyapısı.....	37
Şekil 5.5: Tramvay hattı üstyapısı.....	38
Şekil 5.6: Sabitleme sistemleri arasında yarı açık durumda enine kesitte raylar üzerindeki transdüser konumları.....	39
Şekil 5.7: İvme ölçerlerin hattaki konumları.....	40
Şekil 5.8: Tünel ve çelik köprüdeki ortalama ray sehimleri.....	40
Şekil 5.9: Düşey ray titreşimi spektrumu.....	41
Şekil 5.10: Yatay ray titreşimi spektrumu.....	42
Şekil 5.11: Yavuz Selim Mahallesi Yılmaz Apt. da gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları.....	45
Şekil 5.12: Yavuz Selim Mahallesi Yaylakent Apt. da gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları.....	45

Şekil 5.13: Dr.Kemal Naci Ekşi Lisesi'nde gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları.....	46
Şekil 5.14: Güzergah üzerindeki sürücü kursunda (Bahar Sürücü Kursu) gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları.....	46
Şekil 5.15: Özel Hızır Tıp Merkezi'nde gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları.....	47
Şekil 5.16: 330. Sokak Uğur Apartmanında gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları.....	47
Şekil 5.17: Menderes İlköğretim Okulu'nda gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları.....	48
Şekil 5.18: Kirazlı Metro İstasyonu peron katının boş olması durumu.....	49
Şekil 5.19: Kirazlı Metro İstasyonunda metro aracının istasyona girişi sırasında peronda yapılan ölçüm sonuçları.....	49
Şekil 5.20: Kirazlı Metro İstasyonu metro aracının istasyonda bekleme sürecinde peronda yapılan ölçüm sonuçları.....	50
Şekil 5.21: Kirazlı Metro İstasyonu metro aracının istasyondan ayrılırken bekleme sürecinde peronda yapılan ölçüm sonuçları.....	51
Şekil 5.22: İstasyonda mekanik sistemlerin çalışması durumunda peronda yapılan ölçüm sonuçları.....	52
Şekil 5.23: İstasyon girişinde ölçülen arka plan gürültü düzeyleri.....	52
Şekil 5.24: İstasyon girişinde acil durum fanları çalışırken gürültü düzeyleri.....	53

1. GİRİŞ

Şehir içi ulaşımın en önemli ögesi haline gelen yer altı yapıları olarak hızlı ve etkin bir rol oynayan metro yapılarının, şehrin sahip olduğu coğrafi yapı nedeniyle zaman zaman yer yüzüne çıkma zorunluluğu bulunmaktadır. Yeryüzü ile etkileşimde bulunduğu alanlar, yerleşim yerlerine olan uzaklıkları, demiryolu altyapılarının ve işletme kriterlerinin karşılaştırılması ile metro ve tramvay sistemlerinin kentte yaşayanlara olan etkisi irdelenmiştir.

1.1 ARAŞTIRMANIN AMACI

İstanbul gibi kalabalık metropollerde, yerleşim yapılarının sosyal donatılarla iç içe olması nedeniyle yaşam konforunu etkileyebilecek faktörler toplum gelişimi ve yaşam koşullarının iyileşmesi bakımından önem arz etmektedir. Bu sebeple, metro ve tramvay sistemleri gibi demiryollarının yüzeye çıktığı alanlarda çevreye olan etkileri hususunda yapılmış araştırmalar değerlendirilerek altyapı bakımından hangi altyapı sisteminin daha etkin olduğu saptanmaya çalışılmıştır. Böylelikle, planlama ve inşaat aşamasında, planlamacılar ve mühendislerin dikkat etmesi gereken hususların proje sürecindeki etkileriyle birlikte tanımlanması amaçlanmıştır.

1.2 ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

İstanbul Metrosunun çeşitli ulaşım sistemi, farklı altyapı ve güzergahlardaki farklı altyapı sistemlerindeki demiryollarında İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından üniversite bünyesinde yaptırılan titreşim ve gürültü ölçümleri ve sonuçları kullanılarak değerlendirme yapılmıştır.

1.3 ARAŞTIRMANIN KAPSAMI

İstanbul ilinin kalabalık nüfusunun yerleşim alanları ile tarihi ve turistik bölgelerinden geçen metro, hafif metro ve tramvay hatlarında yapılan değerlendirmeler araştırma kapsamında tutulmuştur. Bu güzergahlar Hacıosman – Yenikapı Metro Hattı (M2),

Eminönü – Aksaray Tramvay Hattı (T1) ve Otogar – İkitelli Hafif Metro Hattı (M3),
Otogar – İkitelli – Olimpiyatköy Metro Hattı olarak değerlendirmeye alınmıştır.



2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER

Günümüzde dünya nüfusunun yüzde 50 'si kentlerde yaşamaktadır. Sanayileşme ile birlikte kentlerin hızla büyümesi, engellenemeyen birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Kent nüfusunun artması, yerleşim yerleri arasındaki mesafelerden ötürü ulaşımın olan bağımlılığı da beraberinde getirmektedir. Bu durum, özellikle az gelişmiş ve/veya gelişmekte olan ülkelerde trafik tıkanıklığı, hava kirliliği, yaşam konforunun azalması, belirli enerji kaynaklarına olan bağımlılık, trafik kazalarının artması vb birçok toplumsal ve sosyoekonomik yapıya da etki eden sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, çevreye daha az zarar veren, ulaşım süre ve konforunu olumlu yönde etkileyen ve güvenli ulaşım tercihlerinden biri olan raylı sistemlere olan ilgiyi arttırmaktadır. Dünyada, metropollerdeki arazi bedellerinin değerlendirilmesi, kamulaştırma, güvenlik ve kendine özel yolunun olması gibi nedenlerle yer altı ulaşım sistemlerinin kabulü ve tercih edilmesi sonucunu doğurmuştur. Toplu taşımada raylı sistemlerin olması, toplu taşımaya olan ilginin artmasına neden olmaktadır. Raylı sistemlerin birbirleriyle olan entegrasyonları da bunun bir parçası olmaktadır.

2.1 TRAMVAY SİSTEMLERİ

Şehirlerde karma hareketliliğin gerektiği, topografya ve çevre şartlarının dikkate alınarak yolculuk talebine göre yapılan yüzeyden giden hatlardır. Altyapı yatırım maliyetinin fazla olmadığı, tarihi ve turistik bölgelerde, ulaşım sırasında etrafı seyir amaçlı, kapasitesi ihtiyaca göre arttırılabilen, yayalaştırılmış alanlarda kolayca şehre entegre olabilen sistemlerdir.

Elektrikle çalışan 1-3 araçtan oluşan toplam 80-300 kişi kapasiteli çoğunlukla caddelerde hizmet veren raylı ulaşım araçlarıdır. Lastik tekerlekli araçlar ile aynı yolu kullanabilen, yol ve trafiğin durumuna göre bir sürücü tarafından kumanda edilebilen, elektrik enerjisinin güzergah boyunca döşenen katener sisteminden alan, günümüzde alçak tabanlı araçların üretilebildiği, böylelikle kolay inip binmenin sağlandığı, en düşük kapasiteli raylı toplu taşıma araçlarıdır. Güzergah boyunca karayolu trafiği ile kesiştiği yerlerde karma trafikte gittiğinden, herhangi bir trafik sıkışıklığında geçiş

üstünlüğü tramvay aracında olmasına rağmen bu sıkışıklık tramvayın seyrini de etkilemektedir.

Tramvay hatlarında işletme hızı, güzergahtaki fiziki koşullara bağlıdır. Dar caddeler ile yoğun trafikte performansı düşük fakat geniş caddelerde çok yüksektir. Tipik tramvay araçları 4-6 akslı, 14-21 m boyunda, 100-180 yolcu kapasitelidir. Bu yolcuların yüzde 20 – 40'ını oturan yolcular oluşturmaktadır.

İstanbul'da Eminönü – Zeytinburnu tramvay hattı buna en iyi örneklerden biridir. Bu hat Eminönü istasyonundan Kabataş'a kadar uzatılmış, sonrasında yapılan Zeytinburnu – Bağcılar tramvay hattı ile entegre olmuş ve Bağcılar – Kabataş hattı olarak çalışmaya devam etmektedir.

Şekil 2.1: Kabataş – Bağcılar tramvay hattı



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

2.2 HAFİF RAYLI SİSTEMLER

Yolculuk değerleri bakımından metro sistemlerinden daha az, tramvay sistemlerinden daha fazla kapasitede olan, şehirden kısmen izole edilmiş, kendine ait yolu olan raylı sistemlerdir. Hattın tamamının yer altından gitmediği güzergahlar olduğundan aracın seyir hızı metroya göre daha düşüktür. Çoğunlukla yarı kontrollü, bazen tam kontrollü ve nadiren de kontrolsüz kategorideki elektrikli ve 2-4'lü araçlardan oluşmaktadırlar. Tramvay ile benzer özellikler taşımasına rağmen hız, performans, maliyeti ve yapısı nedeniyle tramvay ve metro arasında kalan bir yarı hızlı bir sistemdir.

Yolcuların yüzde 20-50'si oturan yolculardan oluşmaktadır. 18-42 m boyunda olan bu araçların yüksek hızlanma ve frenlenme ivmesi (1-2 m/s², acil frenleme 3 m/s²) bulunmaktadır. Maksimum hızı 70-80 km/sa arasında olmakla birlikte 100-125 km/sa hıza çıkabilmektedirler. Bununla birlikte işletme hızları 18-40 km/sa arasında kalmaktadır.

Hafif raylı sistemlerin güzergahları çok farklı yapılardan oluşabilmektedir. Tünel, aç-kapa yapıları ile birlikte karma trafikte de çalışmakta, istasyonlarında alçak ve yüksek platformlar bulunabilmektedir.

Hat güzergahının yüzde 70-90'ı tamamen veya kısmen korumalıdır. Kent merkezindeki istasyonlar arası mesafe 400-800 m arasında, kent merkezi dışındaki yerlerde daha fazla olabilmektedir.

Şekil 2.2: Aksaray – Havalimanı hattı



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

2.3 METRO SİSTEMLERİ

Yol kullanım hakkı dikkate alındığında, A kategorisinde olan yüksek hız, kapasite, güvenlik ve güvenilirlik özelliklerine sahip modlardaki sistemlerdir. Yüksek hızı, tamamen otomatik sistemlerle işletmesi yapılabildiğinden insan kaynaklı sorunların önemli ölçüde azaltıldığı, kendine özel yolunun yeraltında ve çevresel faktörlerden tamamen uzak olması dolayısıyla en çok tercih edilen ulaşım sistemidir.

Altyapı yatırım maliyeti yüksek olduğundan diğer sistemlere göre ilk yatırım maliyeti en kapsamlı ve en fazla olan demiryoludur.

Araçları 4 akslı, elektrikli, 10'lu setlere kadar çalıştırılabilen tam sinyalli ve tam korumalı kategorideki sistemlerdir. Yüksek hız, kapasite, hızlı yolcu alma ve boşaltma ve sürücü hatasına izin vermeyen kontrol sistemleri bulunduğu için güvenlidir. Sefer aralıkları (headway)nin 90 saniyeye düşebilmesi ve 2000 kişiye varan kapasitesiyle diğer raylı sistemlere göre çok daha yüksek performansa sahiptir.

Gelişen teknoloji ile birlikte, metro sistemlerinde sürücüsüz (tam otomatik) araçlar kullanılmaktadır. Bu durum az da olsa sürücü hatalarından kaynaklanan gecikmeleri yüzde 99,98 verimlilikle elemine etmektedir. Tüm sistem merkezi kontrol merkezinden idare edilebilmektedir.

İlk yatırım maliyetleri yüksek olsa da, taşınan yolcu sayısı, yolcu başına düşen yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri göz önüne alındığında şehir ulaşımı için en uygun sistemler olarak öne çıkmaktadır.

Şekil 2.3: Yenikapı – Hacıosman metrosu Haliç geçişi çelik köprü



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Tablo 2.1: Tramvay, hafif raylı sistem ve metro sistemlerinin karşılaştırılması

Araç Özelliği	Tramvay	Hafif Raylı Sistem(LRTS)	Metro
Araç Kapasitesi (yolcu)	100-250	110-250	140-280
Araç Boyu (m)	14-35	14-54	15-23
Araç Genişliği (m)	2.2-2.7	2.2-3.0	2.5-3.2
Araç Sayısı	1-3	1-4	1-10
Tren Kapasitesi (yolcu)	100-500	100-750	140-2400
Hat Kapasitesi (x bin yolcu/saat)	4-14	6-20	10-70
Maksimum Tren Sıklığı (tren/saat)	60-120	40-60	20-40
Maksimum Hız (km/saat)	60-70	60-100	80-100
Normal İşletme Hızı (km/saat)	12-20	20-45	25-60
Kapasitede İşletme Hızı (km/saat)	8-13	15-40	24-55
Acil Fren İvmesi (m/s ²)	2-3.7	2-3	1.1-2.1
Maksimum İvme (m/s ²)	1-1.9	1-1.7	1-1.4
Tek Hat Genişliği (m)	3-3.35	3.4-3.6	3.7-4.3
İstasyon Aralığı (m)	300-500	500-1000	500-2000
Yatırım Maliyeti (milyon \$/km – hat)	5-10	10-50	40-100
Tam Korumalı Hat Yüzde si (yüzde)	0-40	40-90	100
Araç Yüksekliği	Düşük - Yüksek	Düşük - Yüksek	Yüksek
Peron Yüksekliği	Düşük	Düşük - Yüksek	Yüksek
Araç Kontrol	Manuel / Görsel	Manuel / Sinyal	Sinyal / Ototomatik Kontrol
Ücret Toplama	Araçta - İstasyonda	Araçta - İstasyonda	İstasyonda
Enerji Besleme	Katener – Batarya – Zeminden Sürekli Besleme	Katener	Katener – 3. Ray
Güvenilirlik	Düşük - Orta	Yüksek	Çok Yüksek

Kaynak: Prof.Dr.Tuncer TOPRAK, Raylı Sistemler Ders Notu, Bahçeşehir Üniversitesi

2.4 DİĞER SİSTEMLER

2.4.1 Maglev (Manyetik Levitasyonlu Trenler)

Maglev trenlerinde, taşıyıcı altyapı ile tren arasında bir temas bulunmamaktadır. Aracın hareketi manyetik etkiyle sağlanmaktadır. Taşıyıcı altyapı kirişlerden oluşmaktadır. Kirişlerde yerleştirilen mıknatıslar ve bobinler levitasyon, ilerleme ve klavuzlama için

gerekli kuvveleri üretmektedirler. Son zamanlarda üretilen süper iletkenli mıknatıslar sayesinde çok yüksek hızlara çıkılabilmektedir.

Araç altında yer alan süper iletken elektrik mıknatıslar, aracı 1-10 cm havaya kaldırır ve kılavuzlanmayı sağlamaktadır. Mıknatısların soğutulma işlemi nitrajın ve sıvı helyumla sağlanmaktadır. Hat kenarında bulunan elektrik kablosu ile alternatif akım bobinlere verilerek manyetik alan oluşturulur ve itme – çekme kuvvetleri oluşturularak tren hareket ettirilir. Trenin hızına göre elektrik akımının şiddeti ayarlanabilmektedir. Ters akım verilerek frenleme sağlanır. Güzergah boyunca sadece trenin geçtiği kısımlara elektrik verilmektedir. Bu nedenle, konvansiyonel boji, tekerlek ve elektrik motorlarına gerek kalmamaktadır. Trenin raydan çıkma veya çarpışma ihtimali neredeyse yoktur. Ray – tekerlek teması bulunmadığından gürültü oluşmamaktadır.

İşletme süresince bakımı daha az olmakla birlikte yolcu konforu fazladır. Yapılan deneylerde maglev trenleri 550 km/sa hıza ulaşmıştır. Çıkılan hızın çok yüksek oluşu, durak sayısının az olmasından dolayı frenlenme ve bekleme sürelerinin diğer sistemlere göre çok daha az oluşu, şehir içi ulaşımdan çok şehirlerarası hızlı ulaşım için çok daha uygun bir sistemdir.

Şekil 2.4: Maglev trenleri



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

2.4.2 Monoray

Konvansiyonel raylı sistemlere göre altyapısı ve kılavuzlanmasıyla farklılık gösteren araçlara sahip sistemlerdir. Araçlar, tek bir ray sistemi üzerinde hareket etmektedir. Maliyeti az ve yapım süresi kısa olduğundan metro sistemlerine göre daha avantajlıdır.

Kılavuz boyunca hareket eden ve asılı konumda olmak üzere iki farklı tip monoray vardır.

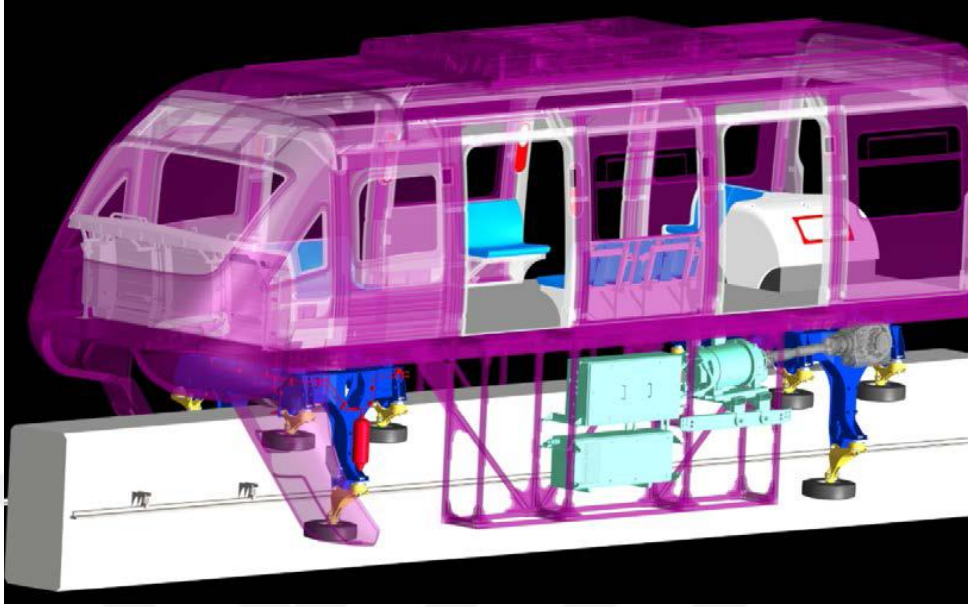
Kiriş boyunca altı yüzeyde hareket eden ve her biri dört mesnetli ve sekiz kılavuzlu lastik tekere sahip iki boji ile birlikte betonarme veya çelik kiriş üzerinde hareket eden mesnetli araçlardır. Araç gövdesi lastik tekerleklerin üzerinde bulunmaktadır. Kirişlerin yanlarında bulunan kılavuz tekerler üzerinde bulunan etekler tekerleri örttüğünden dışarıdan hiçbir şey görünmemektedir. Bu etek, kılavuz tekerler arasında oluşması beklenen aerodinamik etkiyi en aza indirir.

Şekil 2.5: Monoray kılavuzlama sistemi



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Şekil 2.6: Monoray kılavuzlama sistemi



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Beton veya çelik kirişe asılı olmak üzere, ikisi taşıyıcı ve ikisi de kılavuzlanma amaçlı olmak üzere dört lastik tekerleğe sahiptir. Bu nedenle, bojiler kiriş içerisindeki korumalı yüzeyler (oluk) boyunca hareket etmektedir. Çok yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, diğer sistemlere göre avantajı bulunmamaktadır.

Şekil 2.7: Monoray kılavuz kirişi ve yolu



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

3. İSTANBUL'DA RAYLI SİSTEMLER VE TARİHÇESİ

3.1 RAYLI SİSTEMLERİN TARİHÇESİ

19. yy ilk çeyreğine kadar İstanbul'da ulaşım dünyadaki metro gelişmelerinden daha geç bir süreçte ilerlemiş ve at arabaları, at ve yaya olarak gerçekleştirilmiştir. Dersaadet tramvay şirketinin Osmanlı Devleti ile 1869 yılında yaptığı mukavele ile insan ve eşya nakli için demiryolu inşaatı ve demiryollarında hayvan çekerli arabaların 40 yıllık işletilmesi hakkını almıştır. Çalışmalar 1870 yılında başlamış ve

- a. 1872 yılında Azapkapı – Galata – Beşiktaş – Ortaköy hattı
- b. 1872 yılında Eminönü – Divanyolu – Beyazıt – Aksaray hattı
- c. 1873 yılında Aksaray – Samatya – Yedikule hattı
- d. 1874 yılında Aksaray – Topkapı hattı

Tamamlanarak hizmete alınmıştır. Devam eden çalışmalar sonucunda 1881 yılında üç tane yeni güzergah belirlenmiş ve yapımına karar verilmiştir. 1883 yılında Galata – Şişli hattı, 1885 yılında Galata – Tatavla hattı işletmeye açılmıştır. Eminönü – Eyüp hattı ise hayata geçirilememiştir.

Şekil 3.1: Beyazıt'ta bekleyen tramvaylar



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi

Şekil 3.2: Harbiye – Fatih seferi yapan tramvay



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi

Elektrikli tramvayların İstanbul'da hayata geçişi 1914 yılında, Anadolu yakasının ilk tramvayı ise Üsküdar – Kısıklı hattında 1928 yılında olmuştur. 1935 yılında tramvay günde 314 bin yolcu tramvaylarla taşınmaya başlanmışken 1950 yılına gelindiğinde tramvayların toplam uzunluğu 130 km'ye ulaşmıştır.

Şekil 3.3: Üsküdar – Kadıköy seferi yapan tramvay



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi

Tünel – Maçka hattında 1956 yılında çalışmaya başlayan trolleybüsler ile Tünel – Maçka hattı ile Topkapı – Yedikule tramvay seferleri Beyazıt’a kadar iptal edilmiştir. Hızla artan lastik tekerlekli ulaşım araçları nedeniyle 1961 yılında, lastikli ulaşım araçlarına yol yapabilmek için Avrupa yakasındaki tramvay hatlarının tamamı, 1966 yılında ise Kadıköy’deki hatların tamamı kaldırılmıştır.

Şekil 3.4: Tünel – Taksim arası çalışan tramvay (günümüz)



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Şekil 3.5: 1966 yılında son seferini yapan tramvay



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi

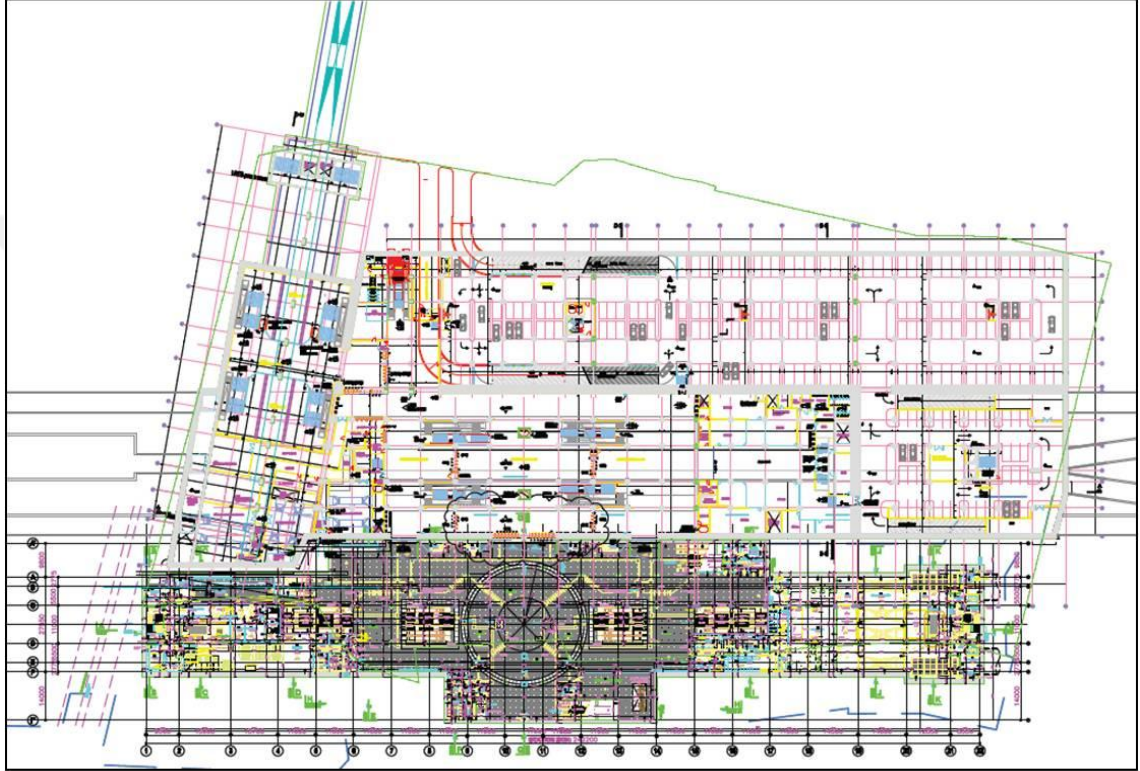
1966 yılında İstanbul'daki raylı sistem hatlarının kaldırılmasıyla 1990 yılına kadar herhangi bir çalışma yapılmamıştır. İstanbul'da toplu taşımada raylı sistemlere uzun yıllar yatırım yapılmaması, bugün bile etkisini göstermekte olan trafik sıkışıklığının ana nedenleri arasında yer almaktadır.

1990 yılında Tünel (Karaköy) – Taksim arasında tarihi tramvay tekrar işletmeye açılmıştır. 1992 yılında Sirkeci – Aksaray – Topkapı hattı, 1994 yılında ise Topkapı – Zeytinburnu hattı, 1996 yılında ise Sirkeci – Eminönü hattı ile Eminönü – Zeytinburnu hattı tramvayı çalışmaya başlamıştır.

2000'li yıllardan itibaren ise metro sistemleri ile ilgili büyük ölçekli yatırımlar devam ettirilmiş, ilk açılan Taksim – 4. Levent metro hattı, daha sonra Şişhane istasyonu ve devamında Haliç Metro Geçiş Köprüsünün yapımı ile birlikte Yenikapı – Hacıosman metro hattına dönüşmüş ve şubat 2014 tarihinden itibaren işletmeye açılmıştır. Yenikapı metro istasyonunun Aksaray – Havalimanı LRTS hattı ve Üsküdar – Yenikapı arasında yapılan İstanbul Boğazını batırma tüp tünelle geçilmesi sonucunda Marmaray'la entegre

istasyon oluşturulmuş, böylelikle Yenikapı İstasyonu toplu taşımada demiryolu sistemlerinde bir transfer merkezi haline gelmiştir.

Şekil 3.6: Yenikapı İstasyonu transfer merkezi (Yenikapı – Hacıosman Metrosu / Yenikapı Marmaray İstasyonu / Yenikapı – Havalimanı ve Yenikapı – Bağcılar LRTS Hattı)

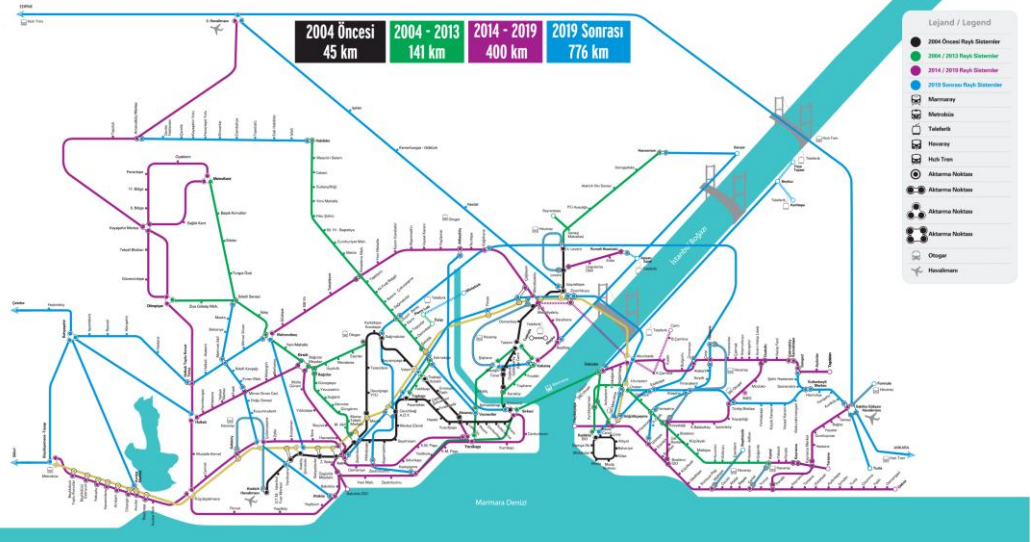


Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Daha sonra Yenikapı – Bağcılar metro bağlantısı tamamlanmış, Kabataş tramvay hattı Bağcılar'a kadar uzatılmıştır. 2014 yılında inşaatına başlanılan Kabataş – Mecidiyeköy – Mahmutbey metro hattının yapımı devam etmekle birlikte Mecidiyeköy metro istasyonunda Yenikapı – Hacıosman metro hattı ile entegre olmaktadır.

Anadolu yakasının ilk metrosu Kadıköy – Kartal metro hattı 2012 yılından bu yana işletme altında olmakla birlikte, Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı yapımı devam etmektedir. 2016 yılı ilk çeyreğinde Dudullu – Bostancı metro hattı yapımına başlanılmıştır. Yapımı planlanan raylı sistem hatlarından “Göztepe – Ataşehir Metrosu” da 2016 yılı içerisinde ihalesi yapılacak hatlar arasındadır.

Şekil 3.7: İstanbul'da günümüz ve 2019 yılı hedeflerini kapsayan raylı sistem haritası



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

4. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERİN ÇEVREYE ETKİLERİ

4.1 DEMİRYOLLARINDA GÜRÜLTÜ

4.1.1 Demiryollarında Gürültü

Demiryolu yapılarından çevreye yayılan gürültü, sürekli ve insanı rahatsız edici, kendi yaşam konforu dışına çıkmasına neden olan, karayolunun sürekli gürültüsünden çok, belirli periyotlarla tekrar eden kesikli trafik gürültüsü kategorisine girmektedir. Demiryolu sistemlerinden çevreye verilen gürültü etkisinin, karayolu ile uçak nedeniyle oluşan gürültünün arasında kaldığı, rahatsızlık boyutunun hissedildiği çevre sakinleriyle yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir.

Demiryollarında gürültü tarifi yapılırken, çevreye yayılan gürültü ve yolcu konforu dikkate alınmalıdır. Demiryolu tasarımında kullanılan istasyonlar arası mesafe, güzergah topografyası, altyapı sistemlerinin (köprü, viyadük geçişleri, yarma veya dolguda demiryolu hattı) seçimi gibi faktörler, demiryolu aracından çevreye yayılan gürültünün seviyesi ve yolcular ile çevreye olan etkisini belirleyen faktörler arasına girmektedir.

Ulaşım sistemlerinin, insan faktörü dikkate alındığında, konforlu bir seyahat için gürültü düzeyinin üst sınırı 65dBA, tahammül sınır aralıkları 65 – 75 dBA ve rahatsızlık sınır aralıkları ise 75-120 dBA olarak kabul edilmektedir.

İnsan kulağı dikkate alınarak yapılan tariflemelerde, karayolları gürültü sınırları 72-92 dbA, ağır taşıtlarda ise 103 dBA olarak tanımlanmakla birlikte, havayollarında 103-106dBA, demiryollarında ise 65-75 dBA arasında kalmaktadır.

Raylı sistemlerdeki gürültü kaynakları aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır;

- a. Tren kornası
- b. Elektrik motorları
- c. Dizel motoru
- d. Tekerlek/ray etkileşimi

- e. Yuvarlanma
- f. Darbe etkisi (ray ek yerleri ve makaslardan geçiş)
- g. Kızaklanma (kayma) [1]

Yukarıda sıralanan gürültü kaynaklarından en önemli ve etkili neden tekerlek ve ray arasında meydana gelen etkileşimden kaynaklanmaktadır.

Yuvarlanma gürültüsü, tekerlek – ray temas bölgesindeki teker ve rayın yüzeylerinin dikey pürüzlülüklerden dolayı, bu yapıların titreşmesi sonucu oluşmaktadır. benzer bir mekanizma, teker ve rayın sürekli olarak temasta olmayışından dolayı meydana gelen darbe gürültüleridir. Çınlama gürültüsü ise keskin kurplarda teker – ray bağlantısı arasındaki kararsız sürtünme kuvvetlerinden dolayı oluşmaktadır.

Şekil 4.1: Ray üstü bozuk profil yüzeyi

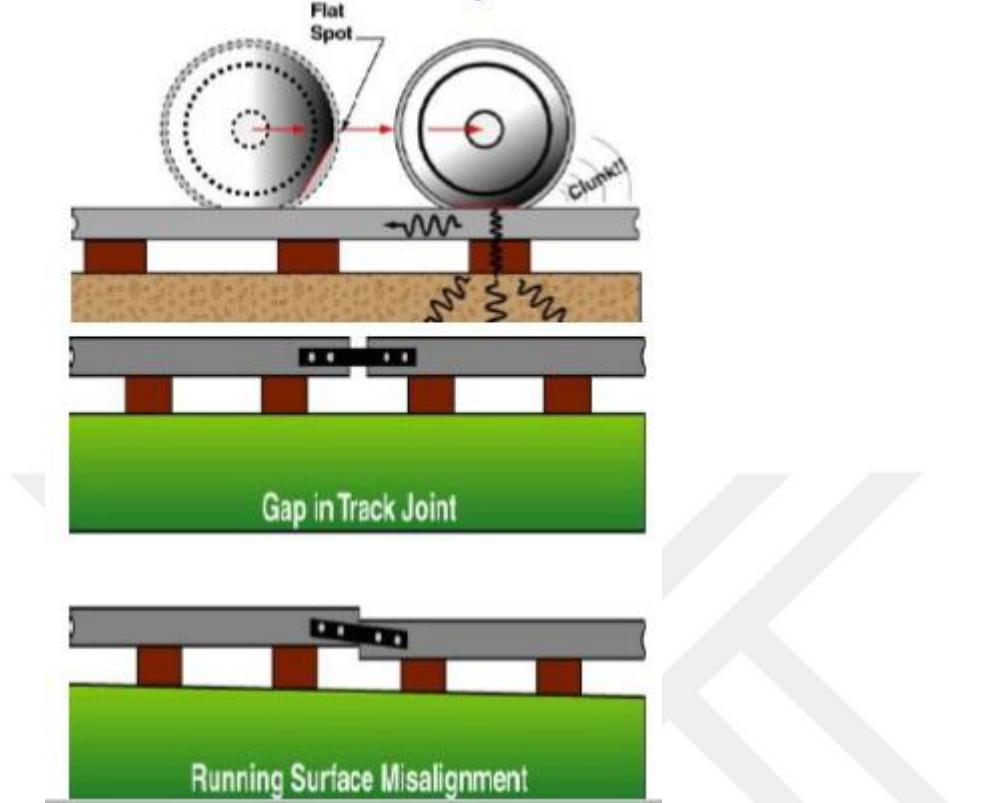


Kaynak: Prof.Dr. Tuncer TOPRAK, Raylı Sistemler Ders Notu, Bahçeşehir Üniversitesi

Zemin yoluyla oluşan gürültü ve titreşimler teker – ray pürüzlülüğü ve aks yüklerinin ray boyunca etki etmesi sonucu ortaya çıkmaktadır.

Makaslar, ray bağlantıları, düzgün yapılmayan ray kaynak yerleri ve tekerlek yüzeylerinin yassılaşımasından ötürü darbe gürültüsü oluşarak hem yolcu konforunu bozmakta hem de yüksek ve ani vurma şeklinde gürültü oluşmaktadır.

Şekil 4.2: Darbe etkisinin şematik görünümü

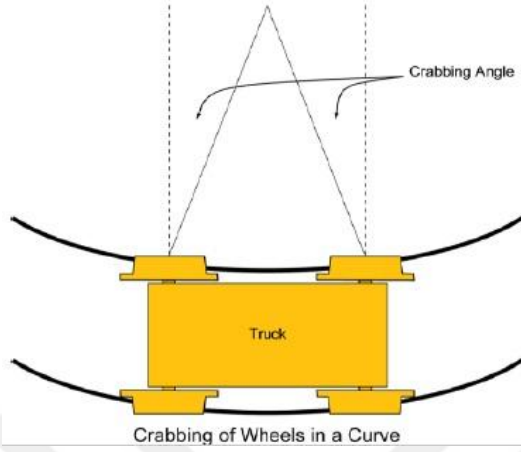


Kaynak: Prof.Dr. Tuncer TOPRAK, Raylı Sistemler
Ders Notu, Bahçeşehir Üniversitesi

Demiryolu gürültüsünde aerodinamik gürültü yüksek hızlı çalışma durumlarında önemlidir. Özellikle trenin ön kısmında, vagonların birleşim yerlerinde, bogi bölgelerinde, pencerelerde, pantograf gibi tavana yerleştirilmiş ekipmanlar üzerinde oluşan kararsız hava akımı nedeniyle oluşmaktadır. Demiryolu araçlarında, araç hızına bağlı olarak çevresel gürültünün oluşumu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

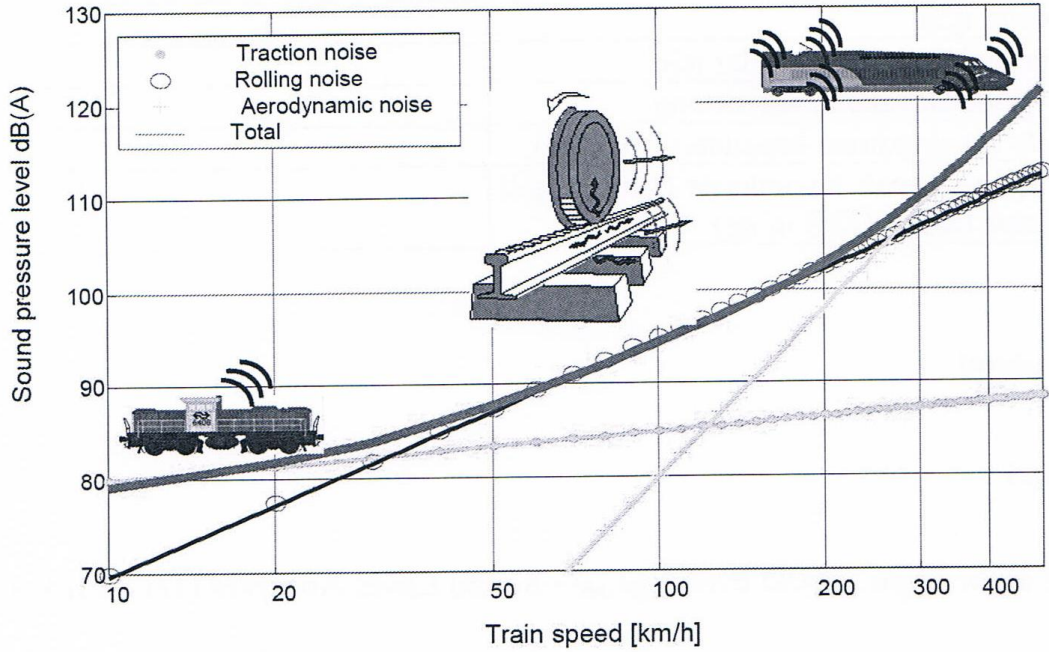
Demiryolu güzergahında kurp geçişlerinde, özellikle mafsalsız bojilerde, iç tekerlek ve dış tekerleğin döndüğü eğrilik yarıçapı farklı olduğundan yuvarlanma dışında bir de kaymadan dolayı kızıklanma oluşmaktadır. Kızıklanma gürültüye neden olmaktadır.

Şekil 4.3: Kızaklanma etkisi



Kaynak: Prof.Dr. Tuncer TOPRAK, Raylı Sistemler Ders Notu, Bahçeşehir Üniversitesi

Şekil 4.4: Taşıt hızı – çevre gürültüsü arasındaki ilişki



Kaynak: Prof.Dr. Tuncer TOPRAK, Raylı Sistemler Ders Notu, Bahçeşehir Üniversitesi

Raylı taşıtlardaki hız artışı, gürültü seviyesini etkilemektedir. Vagonlardan kaynaklanan gürültünün A-ağırlıklı ses seviyelerinin ölçülebilmesi amacıyla standart koşullar

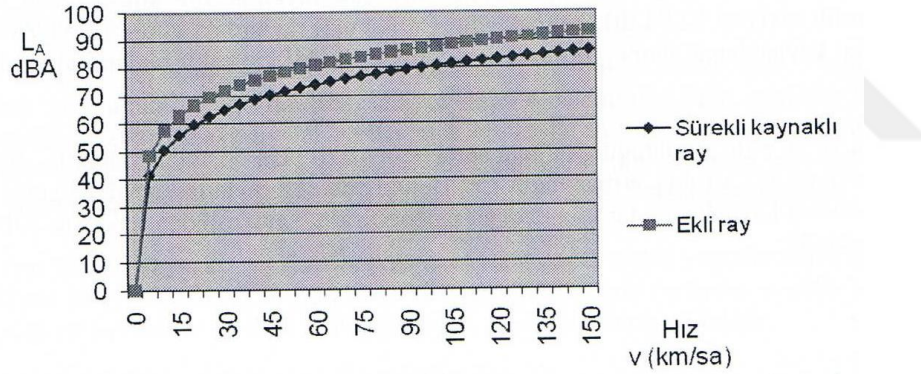
çerçevesinde karşılaştırılabilir veriler elde edilebilmektedir. Bu nedenle, grafiklerde tüm ölçümler hattın merkezinden itibaren 30 m uzaklıkta yapılarak, uzunluğu ölçüm mesafesinin üç katı kadar olan trenler kullanılarak standartlaştırılmıştır.

Sınır değerleri ise gürültünün seviyesi (genliği), Frekansı ve etkilenim süresine göre belirlenerek aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$L[\text{dB}] = 20 \log \frac{p_1}{p_2} \quad p_2: \text{referans değer} = 20 \mu \text{ Pa} = 0 \text{ dB} \quad (4.1)$$

Demiryollarında sürekli kaynaklı raylar ve ekli raylarda hız artışına göre değişen gürültü seviyeleri aşağıdaki grafikte verilmektedir. 0-150 km/sa arasındaki hızlar için, referans hız 60 km/sa alınarak oluşan L_A gürültü seviyeleri hesaplanmıştır.

Şekil 4.5: Ekli ve sürekli kaynaklı raylardaki hız artışına göre L_A seviyeleri



Kaynak: Dr. Veysel ARLI, Demiryolu Mühendisliği.2015

Çevre ve Orman Bakanlığı'nın "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" (2002/49/EC)'de raylı sistemlerden kaynaklanan gürültü sınır değerleri aşağıdaki gibi belirtilmektedir.

Tablo 4.1: Metrolarda Çevresel Gürültü Sınır Değerleri L(dBA)

Yer altı istasyonlarda	L_{gündüz}	Yer üstü istasyonlarda	L_{gündüz}
Gişe, merdiven, koridor	55	Platformlar (kenarından 1,8 m'de)	70
Platformlar (kenardan 1,8m'de)	80	Duran-kalkan trende	75
Duran – kalkan trende	85	Çalışır bekleyen trende	65
Geçen trende	85		
Çalışır bekleyen trende	65		
İstasyon havalandırmasında	55		
Havalandırma kanalında (9 m mesafede)	55		
Kapalı yerde acil havalandırma fanında	80		

Kaynak: Dr. Veysel ARLI, Demiryolu Mühendisliği.2015

4.1.2 Gürültü Ölçüm ve Önleme Yöntemleri

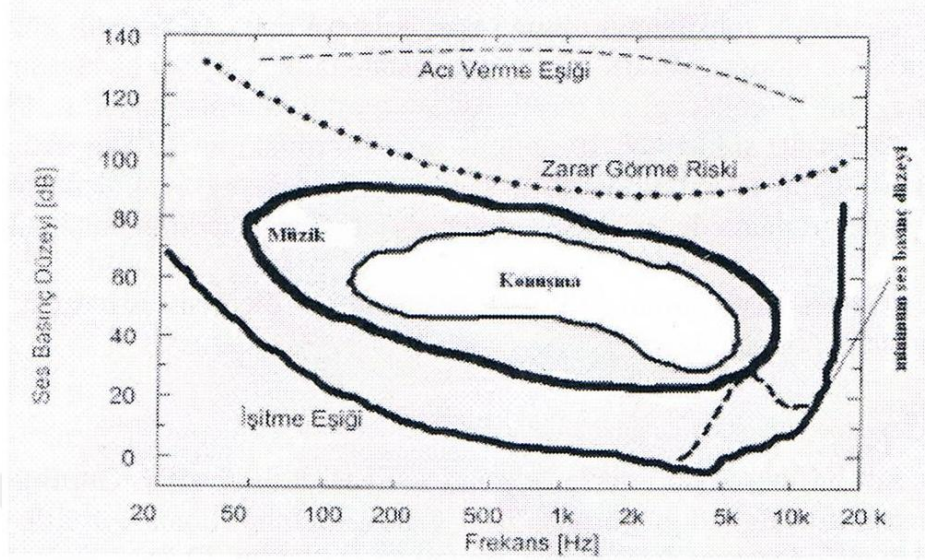
Raylı toplu taşıma sistemlerinde oluşan gürültünün yolcular ve çevre sakinlerini etkileyecek düzeyde olup olmadığı konusunda araştırmalar yapılmıştır.

Gürültü ölçümleri en az yılda bir defa araç içinde, istasyonda ve hattın yakınında TS ISO 1996-2 standardına göre yapılmalıdır. Ölçüm sırasında raylar kuru olmalı ve ölçüm cihazının rüzgardan etkilenmesinin önüne geçilmelidir. Ölçümler en az üç defa tekrarlanmalıdır. Ölçüm değerleri arasındaki fark 3dB den fazla olmalıdır.

Araç için yapılacak ölçümler DIN EN ISO 3381 normuna göre dizinin ortasındaki araçta, yerden 1,5 m yükseklikte 20 saniye süreyle yapılmalıdır. Aracın normal seyri sırasında kullanılan klima gibi tüm sistemler doğru bir ölçüm için çalışır durumda olmalıdır. Araç içi gürültüsü için yönetmelik bulunmadığından, yolcuların beklentilerine göre değerlendirme yapılmaktadır. İstasyonların açık ve kapalı olma durumuna göre ortamın akustik arka plan gürültüsü ölçülmektedir. İstasyon kenarından 1,8 m mesafede 1,5 m yükseklikte istasyona yaklaşan ve duran veya istasyondan uzaklaşan trenler için ölçüm yapılmaktadır.

Şekil 4. 'de bir insanın işitebileceği ses limitleri yer almaktadır. En altta yer alan çizgi arı sesinin duyulmaya başlanıldığı en düşük seviyeyi göstermektedir. Zarar görme sınırı üzerinde belirli süre gürültüye maruz kalındığında kalıcı ses kayıpları oluşabilmektedir.

Şekil 4.6: İşitme sınırlarını gösteren grafik (IYEM-Brüel&Kjaer)



Kaynak: Dr. Veysel ARLI, Demiryolu Mühendisliği.2015

Çevreye yayılan gürültünün insan üzerindeki etkileri önce davranışların değişmesi ile başlar. Sesin şiddeti arttıkça davranış üzerindeki etkisi de artmaktadır. Gürültüye maruz kalınan süre uzadıkça etkisi daha belirginleşmektedir. Gürültünün önceden tahmin edilmesi, ona tahammül edilen süreyi uzatmaktadır. Önceden tahmin edilemeyen gürültülerde ise etki aynı oradan fazla olmaktadır. Gürültünün kontrol edilmesi, etkisini de aynı oradan azaltmaktadır.

Hat kenarlarında bulunan konutlarda, konutun dış duvarından 1 m mesafede gürültü ölçümleri yapılmaktadır. EN ISO 3095 normuna göre ölçümler 20 saniye süre ile yapılmalıdır. Dış ortamda cihazın arkasında yansıtıcı yüzey olmamalıdır. Arka plan gürültüsünün ölçülmesiyle demiryolundan kaynaklanan gürültü artışı hesaplanabilmektedir.

Raylı sistem araçlarından yüzeye çıkan yerlerde çevreye etki eden araç gürültüsünün azaltılması için alınabilecek önlemler bulunmaktadır. Bunların başında, mümkün olduğu kadar elektrikli lokomotiflerin kullanılması gelmektedir. Güzergah üzerinde raylarda periyodik bakım yapılması ile tekerlek – ray arasında olabilecek gürültülerin de önüne geçilmiş olunacaktır.

Raylarda kaynaklı birleşimlerin kullanılması ile sürekli ray sisteminin oluşturulması apleti gibi ani vurmaların önüne geçilmesini sağlamaktadır. Demiryolunun köprülerden geçmesi durumunda, köprülerin bakım ve onarımının sürekli yapılması, gürültüyü önleyici ve azaltıcı bariyerler kullanılması çevreye yapılan etkiyi azaltmaktadır.

Okul, hastane, tiyatro salonları, tarihi yapılar gibi hassas bölgelerde ise az gürültü üreten malzemelerden yapılmış raylar kullanılmalı, özel bağlantı malzemeleri ile raydan çevreye yayılabilecek gürültünün önüne geçilebilmektedir.

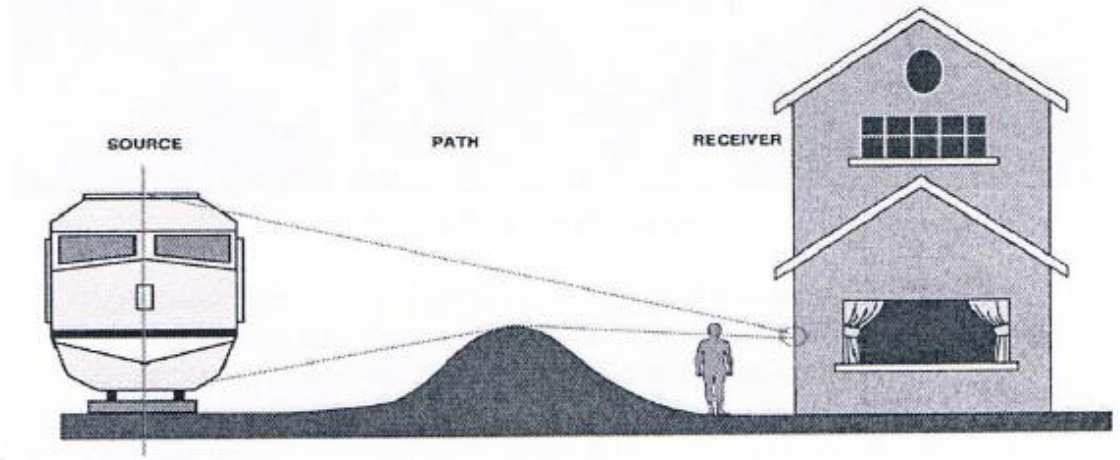
4.1.3 Gürültü Bariyerleri ve Uygulaması

01.07.2005 tarihli 25862 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” ‘ne göre raylı sistemler için çevresel gürültü düzeyi gece (23:00 – 07:00) arasında 55 dB(A), gündüz ise (07:00 – 19:00) arasında ise 65dB(A) dir.

Gürültü bariyerleri; normal yuvarlanma gürültüsü kontrolünde en etkili uygulamadır. Gürültü bariyerlerinin etkisini arttırmak için ses sönümleyici malzemeler de kullanılmaktadır. Gürültü bariyerlerinin uygulanmasının sınırlı olduğu koşullar aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır;

- a. Hat ve duvar arasında kalabilecek olan insanların güvenliğini sağlayacak yeterli mesafenin olmaması
- b. Hat seviyesindeki araç bakımları için yeterli girişin olmaması
- c. Gürültü kaynağı ile alıcının yüksekliklerinin pratik bariyer yüksekliği için gürültü azaltılmasına uygun olmaması
- d. Yüksek gürültü bariyerlerinin istenmemesi
- e. Yüksek rüzgar yükleri, dik eğimler ve sağlam temel yapılması gereken zayıf zeminler

Şekil 4.7: Gürültü kaynağı ve alıcı arasındaki ilişki



Kaynak: Prof.Dr. Tuncer TOPRAK, Raylı Sistemler Ders Notu, Bahçeşehir Üniversitesi

Şekil 4.8: Gürültü bariyeri örneği



Kaynak: Alka Group İnşaat ve Ticaret AŞ

Gürültü bariyerlerinin yapımında çok farklı türlerde malzemeler kullanılabilir. Bunlar; prefabrik beton elemanlar, cam ve plastik kökenli malzemeler, metal levhalar, pişirilmiş kil ve benzeri malzemelerden oluşan duvarlardır. En yaygın olarak kullanılan çeşidi montajı ve üretimi kolay olan prefabrik beton elemanlardır. Bu beton elemanlar istenilen şekillerde üretilebilmekte, bakım gerektirmediği gibi dayanıklılığı da tercih sebepleri arasında yer almaktadır.

Şekil 4.9:. Gürültü bariyeri örneği



Kaynak: www.alkagroup.com.tr

Gürültü bariyerlerin hat tarafındaki yüzeyine bariyerin performansını arttırmak ve yansımayı engellemek ve azaltmak için gürültü emici malzemeler kullanılarak bariyer gürültüyü emici hale getirilir. Bu tür absorbe edici bariyerlerin en etkili olduğu yerler, yansımının direk olacağı doğrudan tespitli betonarme hatlardır. Balastlı hatlarda ise, balast gürültü emici özelliği sayesinde bariyerin hatta yakın olması durumunda gürültü azaltılabilmektedir.

Trenin dinamik hareket alanında yapılmış yapıların üzerine konulan bariyerler de kullanılmaktadır. Bariyerlerin yüksekliği yolcuların gerektiğinde aracın döşemesinden, bariyeri atlayarak kurtulabilecekleri şekilde tasarlanmaktadır. Bariyerlerin performansını arttırabilmek amacıyla gürültü emici püskürtme betonla bariyere uygulanmaktadır.

Şekil 4.10: Gürültü bariyeri örneği



Kaynak: www.alkagroup.com.tr

Şekil 4.11: Gürültü bariyeri örneği



Kaynak: www.kiraçgalvaniz.com.tr

Bütün bu çözümlerin yanı sıra en önemli ve doğal gürültü bariyerleri yeşil bölgelerdir. Demiryolu hatlarının her iki yanına ağaç sıraları ile bir tampon bölge oluşturulabilir. Bitkilerin gürültüyü sönümleme özelliği ve görsel ve ekolojik olarak çevreye olan pozitif etkisiyle tercih edilmesine sebep olmaktadır.

4.1.4 Gürültü Kontrol Yöntemleri

Demiryolu araçlarından kaynaklanan yuvarlanma gürültüsü nedeniyle araç üzerinde alınabilecek önlemler; araç kenarlarında uygulanan etekler, araç altı gürültü izolasyonu ve araçtan yayılan gürültü iletim kaybını arttırmak olarak sınıflandırılabilir.

Araç kenarı eteklerinin iç yüzeylerinde ses emilimi de sağlandığında, yol kenarında ölçülen gürültü 2dB kadar azaltılabilmektedir. Etekler, tekerlekten kaynaklanan gürültüyü yansıtır ve emerler. Balastlı hatlarda balast gürültü emiliminde daha etkili olduğundan etekler bu hatlarda kullanılmazlar. Raylardan yayılan gürültüyü engellemekte etekler kullanışlı değildir.

Araç altından sağlanan gürültü emilimi en etkili ve ucuz yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Araç altından, araç bakımına engel olabilecek ve yeterli alan kalmayacağı durumlarda kullanılması işletme açısından uygun değildir.

Araçlarda elastik tekerler kullanılarak gürültüde 1-2 dB kadar azalma olabilmektedir. Kurpdaki çınlamalarda daha etkilidir. Araç gövdesinde uygulanan ses izolasyonu ise, araç içi gürültünün azaltılması amacıyla uygulanmaktadır. Araç gövdesinde iki tabaka arasında gürültü emilimi için cam yününün kullanılması günümüzde halen devam etmektedir.

Betonarme hatlar üzerine direk monte edilen demiryollarında hat yatağındaki absorpsiyon etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Balastlı hatlar, gürültü emici özellikleri nedeniyle, betonarme hatlara göre 4-5 dB daha az gürültüye neden olmaktadır.

Ray titreşim emiciler, içlerinde vibrasyon enerjisini emen ve dağıtan sönümleme elemanlarının bulunduğu yaylı ağırlık sistemleridir. Raylara kenetlerle bağlanıp, balasta değmezler. Gürültü bariyerlerinin uygulanmadığı ve gürültü seviyesinde birkaç desibel azalma istenen yerlerde uygulamada tercih edilebilirler.

Gürültünün kontrolü için uygulanan bir diğer yöntem ise hatların arasına bariyer konmasıdır. Bu bariyerlerin her iki yüzü de gürültü emici malzemeyle kaplandığında istasyon seviyesindeki gürültüyü azaltmaktadır. Fakat bu tür yerlerde bariyerin yüksekliği araçtan fazla olmalıdır.

Traversler ile ray Arasında elastik ray bağlantılarının kullanılması da tekerlek – ray arasında meydana gelen gürültüyü azaltmak için elverişli değildir. Bu uygulama düşük frekanslı zemin kaynaklı ve yapısal gürültünün azaltılması için uygulanmaktadır.

Gürültünün kaynağı ile yapılan kontrol ve önleme faaliyetlerinin gürültünün azaltılmasına olan katkısı Tablo 4.2 de görülebilmektedir.

Tablo 4.2: Demiryolu gürültü önlemleri

Konum	Gürültü Önlemi	Gürültü Azaltma Değeri (dBA)
Araç	Araç altı sönümleme	3
	Tekerlek tornalama (ray taşlama ile birlikte)	7-10
	İvmelenme ve frenlenme sırasında elektromekanik kayma kontrol sistemi	7-10
	Esnek tekerlek	1-2
	Araç altı etekleri	1-2
	Araç gövdesi yalıtımı	0-5
Hat	İki hat arası bariyer	3-5
	Ray titreşim sönümleyici	1-2
	Ray taşlama (tekerlek tornalama ile birlikte)	7-10
	Cebireli ray bağlantı yerine kaynaklı bağlantı	5
Hat çevresi	Yansıtıcı gürültü bariyeri	5-10
	Gürültü yutucu bariyer	7-12
	Hat kenarı toprak set	7-12
	Hattın kotunun düşürülmesi	5-10
	Hattın çevresini sarma	10
	Duvar izolasyonu	5
	İstasyonlarda iyileştirme	5-10
Havalandırma şaft ve fanlarının akustik sönümlenmesi	5-15	

Kaynak: Dr.Vesysel ARLI, Demiryolu Mühendisliği.2015

4.2 DEMİRYOLLARINDA TİTREŞİM

4.2.1 Demiryollarında Titreşim

Yolculuk konforu, titreşim ivmesinden, aracını bir yöndeki hareketinden kaynaklanan değişimler, gürültü, sıcaklık, renk, nem, havalandırma ve aracın iç ve dış perspektif yapısından etkilenmektedir. Demiryolu titreşimlerinin çevre yapılara etkisi, zemin vasıtasıyla iletilen titreşim ve titreşimlerden kaynaklanan yapısal gürültü ile oluşmaktadır. Demiryollarının çevresinde bulunan tarihi yapılar, hastane, okul, konser salonu gibi titreşime duyarlı yapılar ve yaşam bölgeleri için titreşim seviyesi ve yapısal gürültünün belirli bir seviyenin altında olması gerekmektedir.

Demiryollarında artan ulaşım talebi ile birlikte işletme hızlarındaki artış ve taşınan yükün fazlaşması ile demiryolu dinamiği önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Dinamik yüklerin artışı ile titreşim hareketi ortaya çıkmaktadır. Titreşim, sistemin denge konumunda yapmış olduğu hareketten ibarettir. Her üç ekseninde, hem

araca hem de üst yapıya iletilmektedir. Dikkat edilecek husus, sistemin doğal frekansı ile titreşime olan tepkinin tespit edilmesidir.

Belirli zaman aralığında tekrarlanan her hareket titreşime neden olmaktadır. Her titreşim bir genlik ve frekans değeri ile gösterilmektedir. Genlik, titreşen cismin denge konumundan olan maksimum yer değiştirmesi olarak ifade edilmektedir. Genlik, belirli zaman aralıklarında eşit olarak tekrarlanıyorsa T bu hareketin periyodunu, periyodun tersi de frekansını gösterir. Periyod, hareketin kendini tekrar etmesi, frekans ise saniyedeki titreşim sayısıdır. Frekans, titreşim/saniye olarak gösterilebileceği gibi Hertz (Hz) olarak da gösterilir.

Demiryollarındaki titreşim problemleri ve frekans aralıkları Tablo 4.'te gösterilmektedir.

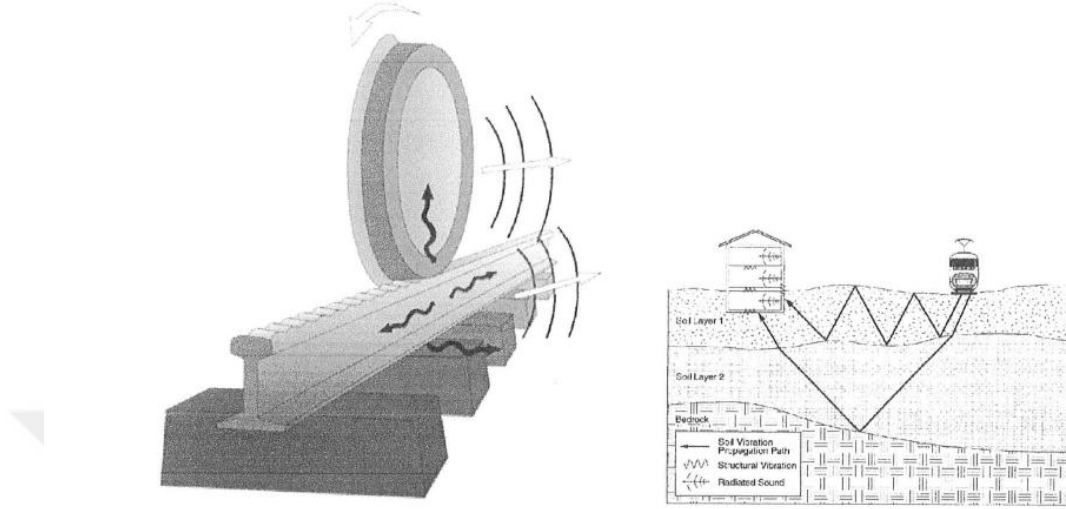
Tablo 4.3: Demiryolu titreşim problemleri ve frekans aralıkları

Problem	Frekans aralığı (Hz)
Araç gövdesi	0-30
Boji ve yaylandırılmayan kütleler	0-200
Tekerlek ve ray yuvarlanma yüzeyleri	0-1500
Üstyapı elemanları	0-1500
Ray-tekerlek temas gürültüsü	0-5000
Yapısal gürültü ve titreşimler	0-500

Kaynak: Dr.Vesysel ARLI, Demiryolu Mühendisliği.2015

Demiryolu yakınında yaşayanlar için titreşim hızının 1 mm/saniye'nin altında olması tercih edilmektedir. Hollanda Demiryolları (NS) tarafından yapılan araştırmada insanların şikayet ettiği titreşimler, 2 mm/saniye hızının altında gerçekleşmiştir. (Esveld, 2001)

Şekil 4.12: Tekerlekten kaynaklanan titreşimlerin çevre yapılara etkisi



Kaynak: Prof.Dr. Tuncer TOPRAK, Raylı Sistemler Ders Notu, Bahçeşehir Üniversitesi

4.2.2 Titreşim Ölçüm ve Önleme Yöntemleri

Demiryolu titreşim izolasyonu için yapılması gerekenler, aslı yol kütlesini arttırmak ve rijitlik oranını düşürmek olarak tanımlanmaktadır. Elastik tabakanın yolun daha alt katmanlarına yerleştirilmesi ile birlikte daha fazla kütle yaylanma potansiyeline sahip olur ve sönümlenme artar. Farklı seviyelerde elastik tabakalar yerleştirilir.

Birinci seviye önlem; ray altına elastik tabakanın ilave edilmesidir. Bu sayede, sadece ray kütlesi yaylandırılmış olur. İkinci seviye önlem ise; selet veya travers altına elastik tabakanın yerleştirilmesidir. Bu durumda, yaylandırılan yol kütlesi ray ve traversden oluşmaktadır. Üçüncü seviye önlem ise; balast tabakası altına veya beton döşeme altına yerleştirilen elastik tabakadır. bu durum yol üst tabakasının tamamının yaylandırılmasına neden olur.

Rijitlik oranının düşük olduğu elastik malzemelerin seçimi titreşimlerin azalmasına sebep olmaktadır. Rijitlik oranı 1 olan elastik tabaka, sönümlenmeye yardımcı olmamaktadır. Fakat belli miktardaki sönümlenme, tren yükünün kalkmasıyla yolun kendi stabilitesini tekrar kazanması için gereklidir.

İstanbul'da şehirçi raylı sistemlerde titreşimlerin yolculuk konforuna olan etkisini belirlemek amacıyla araç içinde üç eksenli ivme ölçer ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi için, ISO 2631-1 ve ISO 2631-4 standartlarından yararlanılmış, konforla ilgili belirli limit değerler belirlenmiş, bunun yerine titreşim ivme değerlerine karşı muhtemel tepkiler belirlenmiştir. Araçtaki konfor; yolcuların okuma, yazma, içme, uyuma gibi etkinlikleri gibi faktörlere bağlıdır.

Tablo 4.4: Titreşim düzeyine göre yolculuk tepkisi

Titreşim ivme değeri (m/s ²)	Yolculuk tepkisi
< 0,315	Konforlu
0,315 – 0,63	Çok az konforsuz
0,5 – 1,0	Biraz konforsuz
0,8 – 1,6	Konforsuz
1,25 – 2,5	Çok konforsuz
> 2,0	Aşırı konforsuz

Kaynak: Dr.Vesysel ARLI, Demiryolu Mühendisliği.2015

4.2.3 Titreşim Kontrol Yöntemleri

Demiryollarında titreşimin kaynakları demiryolu aracı ve yoldur.titreşimleri azaltmak için yolda ve araçta alınabilecek önlemler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

Taşıttan kaynaklanan titreşimlerin azaltılması için;

- Yaylandırılmayan kütlelerin azaltılması
- Birincil süspansiyon rijitliğinin düşürülmesi
- Uygun damper seçimi
- Esnek tekerlek kullanılması
- Tekerleklerin tornalanması
- Kayma kontrol sisteminin kurulması

Yoldan kaynaklanan titreşimlerin azaltılması için ise;

- a. Uzun kaynaklı ray kullanılması
- b. Rayların düzleştirilmesi
- c. Ray taşlamanın yapılması
- d. Elastik ray bağlantı elemanlarının kullanılması
- e. Travers altı elastik tabaka kullanılması
- f. Bohçalı travers kullanımı
- g. Zeminlerin iyileştirilmesi
- h. Sürekli mesnetli ray döşemesi kullanılması
- i. Kütle – yay sistemi kullanılması

Önlemlerinin alınması belirli seviyelerde gürültü ve titreşimlerin azaltılması için yararlı olmaktadır.

5. İSTANBUL'DA GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ

YAPILAN RAYLI SİSTEM HATLARI

5.1 METRO HATLARI VE ALTYAPI BİLGİLERİ

5.1.1 Hacıosman – Yenikapı Metro Hattı ve Demiryolu Altyapısı

Hacıosman – Yenikapı metro hattı toplam 23,5 km uzunluğunda bir hat olup, Haliç'in geçilmesi için yapılan yaklaşık 1 km uzunluğundaki çelik köprü ve betonarme viyadük yapıları haricinde NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) ile açılmış anahat, makas ve peron tünellerinden oluşmaktadır.

Köprü ve viyadük geçişleri dışında kalan tünellerin tamamında doğrudan tespitli demiryolu hattı kullanılmıştır.

Şekil 5.1: Doğrudan tespitli demiryolu inşaatı



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Güzergahta kullanılan araçlar Hyundai – Rotem araçlarıdır. Şişhane istasyonu sonrasında viyadüğe bağlantı bölgesinde karşılaşılan Tarihi Ceneviz Sur'u, viyadük ve çelik köprüdeki yapısal frekans farklılıkları nedeniyle doğrudan altyapıya tespitli demiryolu yerine, rayı havada tutan ray bağlantı malzemesi kullanılmıştır.

Bu sayede, araçla ray arasında oluşan titreşim ve gürültünün altyapıya olan etkisi en aza indirilmiştir.

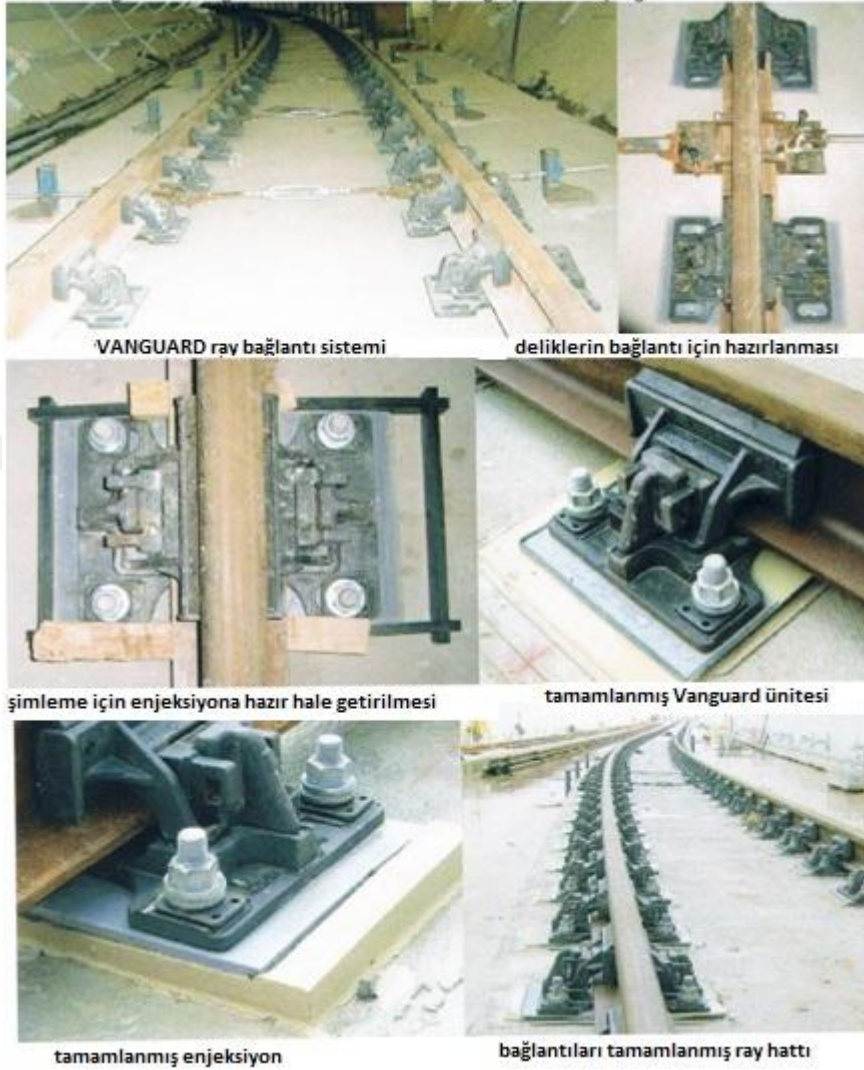
Şekil 5.2: Tarihi Ceneviz Sur geçişi



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Kullanılan araçlara ait aks yükü 14 ton'dur. Bojiler arası mesafe yaklaşık 15,25 m'dir.

Şekil 5.3: Tarihi Ceneviz Sur geçişi ray bağlantı elemanları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

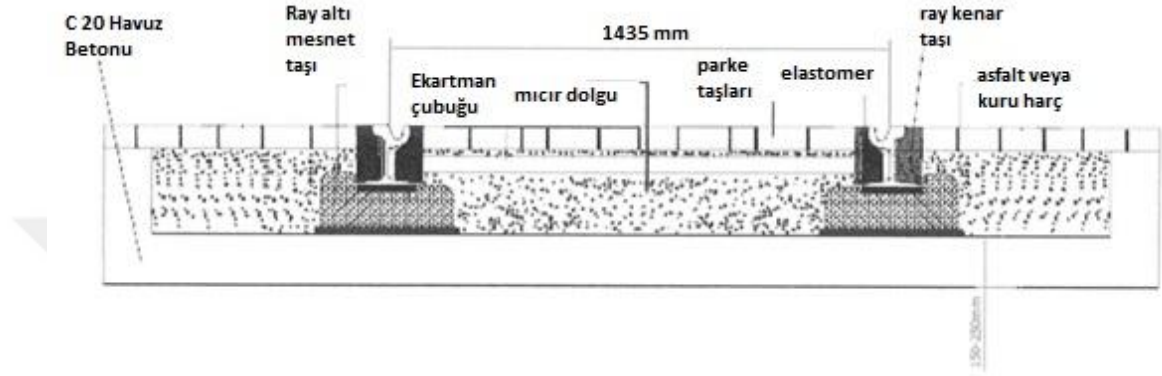
5.1.2 Eminönü – Aksaray Tramvay Hattı ve Demiryolu Altyapısı

Tramvay hattı, tarihi Suriçi semtinden geçerek Eminönü sahili ve Galata köprüsüyle birlikte Kabataş iskelesine varmaktadır. Zeytinburnu – Kabataş arasında işletilen hattın Beyazıt ile Sirkeci durakları arasında bulunan tarihi yapılara olan etkisi inceleneceğinden Aksaray – Eminönü arası alınmıştır.

Hattın tamamı 13,2 km uzunluğunda olup 2,5 dk aralıklarla işletme gerçekleştirilmektedir. Araçlar düşük tabanlı Bombardier araçlarından oluşan 2’li dizi şeklindedir.

Tramvay hattı üst yapısı 700 A kalitesinde RI60 tipi oluklu ray olup donatılı beton bloklar üzerinde yer almaktadır. Beton bloklar ray arasında elastikiyeti sağlayabilmek için kauçuk ara tabakalar kullanılmıştır.

Şekil 5.4: Tramvay hattı üstyapısı



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Hat U şeklinde beton bir blok içine inşa edilmiştir. Üst tabakasında kilitli parke taşı ile yüzey hemzemin hale getirilmiştir. Çemberlitaş sütunun yanından geçen tramvay hattı aynı zamanda karayolu trafiğine de açıktır.

5.1.3 Otogar – İkitelli - Olimpiyatköy Metro Hattı Demiryolu Altyapısı

Otogar – İkitelli raylı toplu taşıma sistemi, Kirazlı ve İkitelli Güney Sanayi istasyonlarında diğer hatlarla entegre olan toplamda 23 km güzergah uzunluğundaki çift hatlı demiryoludur. Proje kapsamında 12,75 km TBM tüneli, 1,75 km NATM tüneli, 1,565 km viyadük, 5,514 km uzunluğunda aç-kapa yapısı ile istasyonlardan oluşmaktadır.

Güzergahta, hem viyadük hem de tünel içinde doğrudan tespitli demiryolu kullanılmıştır. Alt temel tabakası olarak dolgu betonu yer almaktadır.

İşletme süresince, araçlardan çevreye etki eden titreşimler, araçlar ve sabit tesislerde sürücünün maruz kaldığı gürültü ve titreşimler ile araçlardaki yolcuların ve sürücünün maruz kaldığı çevresel gürültü değerlendirmeye konu edilmiştir.

5.2 GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ

5.2.1 Haciosman – Yenikapı Metro Hattı Viyadük, Çelik Köprü ve Tünel Geçiş Ölçümleri

Haliç Metro Geçiş Köprüsünün viyadük kısmında ve tünele giriş noktası olan Tarihi Ceneviz Suru geçiş bölgesinde kullanılan titreşim sönümleyicinin performansı ve bunun yolcu, sürücü ve çevreye olan etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan malzeme Pandrol Vanguard taban plakalarıdır.

Ölçümler tünel çıkışı, çelik köprü üzeri ve betonarme yaklaşım viyadükleri olmak üzere üç kesimde gerçekleştirilmiştir. Özellikle viyadük kısmında, yapıya yakın çok sayıda yaşam alanı ve tarihi yapı olduğundan gürültü ve titreşim açısından bu bölge önem arz etmektedir.

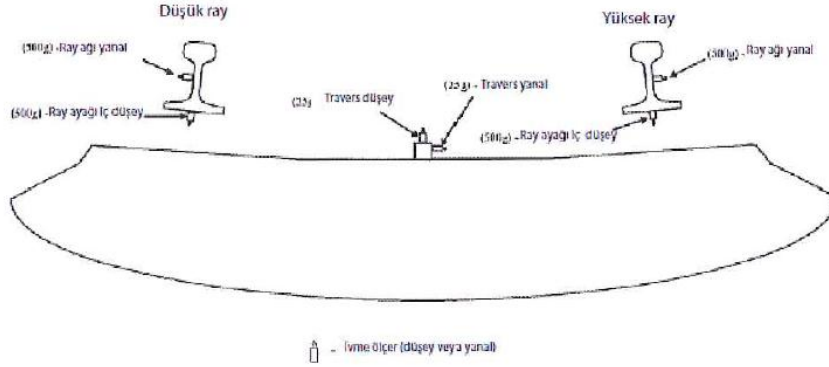
Şekil 5.5: Tramvay hattı üstyapısı



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Ölçümler tren yükünün oldukça yüksek olduğu sabah saatlerinde (07:30 – 08:30) elde edilmiştir. Ray sehimi ölçümleri tünel ve çelik köprüde yapılmış, ivmelenme ölçümleri her üç bölümde de yapılmıştır. ray deplasmanları üzerine yapılan kayıtlarda, ilgili ölçüm

Şekil 5.7: İvme ölçerlerin hattaki konumları

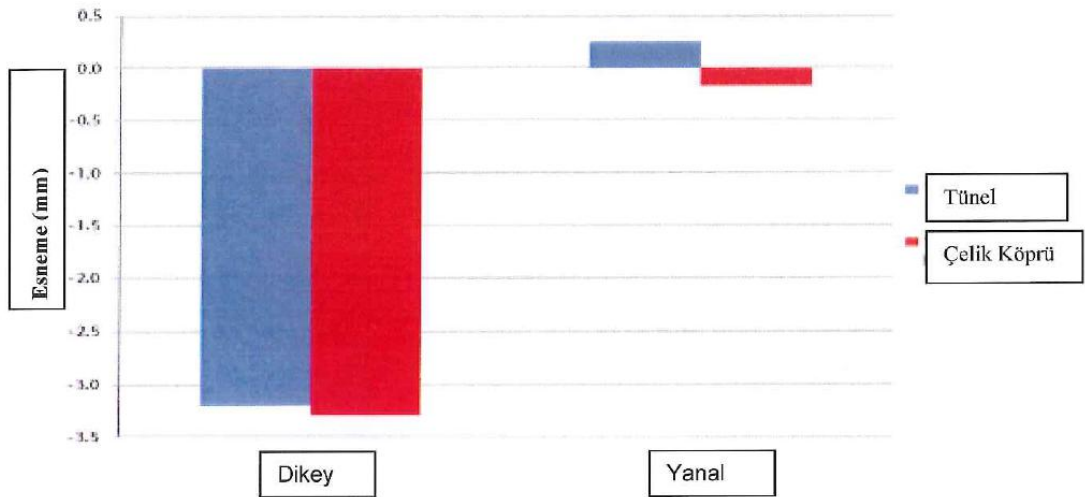


Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Titreşim ölçümünde kullanılan Pandrol Logger yazılımı ile 25Hz ila 2,5 kHz frekans aralığında ivme ölçer kayıtlarında spektral analiz gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan ivme frekans spektrumları entegrasyon ile hız spektrumlarına dönüştürülmüştür.

Deplasman kayıtlarında her bir aks geçişine yönelik pik sehimler tanımlanmıştır. Tünel ve köprü geçişlerinde ön ve arka akslarda ortalama ray sehimleri bulunmuştur.

Şekil 5.8: Tünel ve çelik köprüdeki ortalama ray sehimleri

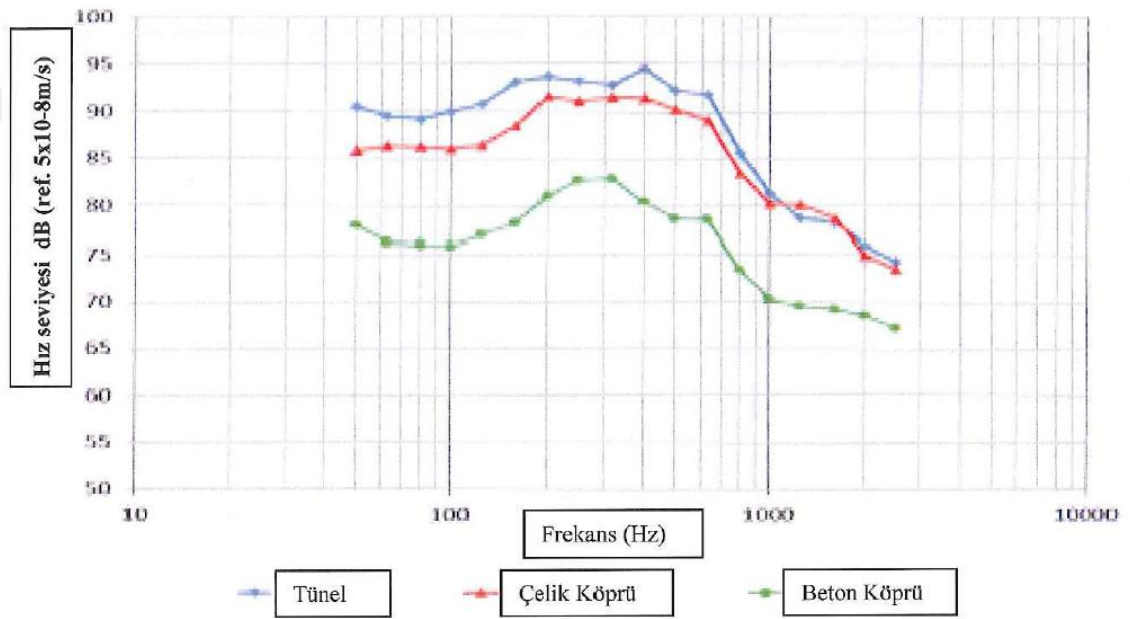


Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Yapılan ölçümler, kullanılan ray bağlantı malzemesinin, ilgili rayın yanal yönde kontrolünü sağlarken nispeten büyük (3 mm nin üzerinde) ray sehimi sağladığını göstermektedir. Bu durum rayların havada tutulmasıyla doğru orantılıdır.

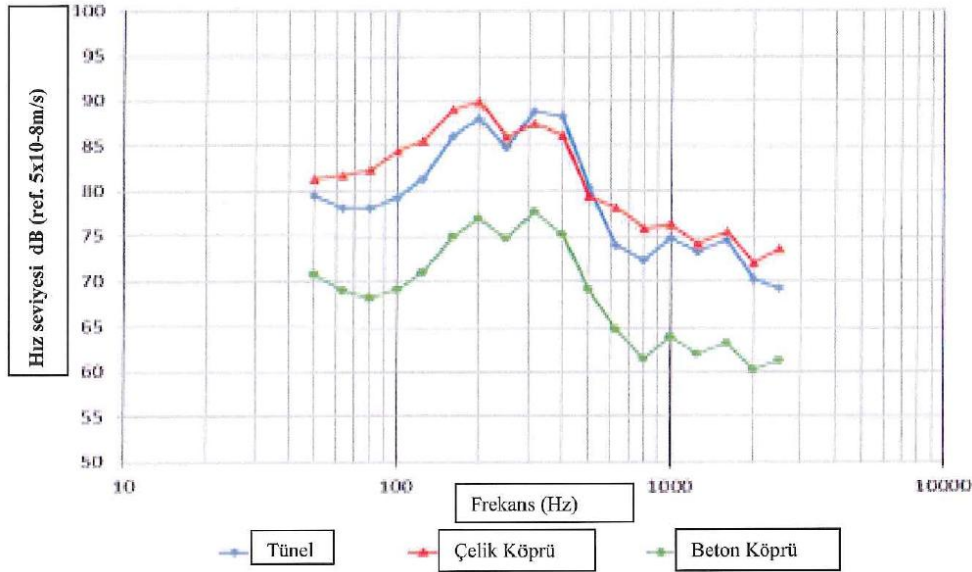
Her üç ölçüm bölgesine ait düşey ve yanal ray ivmelenmesi ölçümlerinden elde edilen frekans spektrumları Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 da gösterilmektedir.

Şekil 5.9: Düşey ray titreşimi spektrumu



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Şekil 5.10: Yanal ray titreşimi spektrumu



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Yapılan ölçümler, betonarme viyadük yapısına kıyasla tünel ve çelik köprüdeki değerlerin fazla olduğunu göstermektedir. Bu durumun, viyadüklerdeki hızın, tünel çıkışı ve köprüdeki hızdan kurlardan dolayı nispeten düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Köprüye yakın olan yerleşim yapılarına etki eden gürültü için önemli bir frekans aralığı olan 315 Hz'in üzerinde frekans aralığında, betonarme viyadük tabliyesi titreşim seviyeleri nispeten düşüktür. Bu, dünyadaki diğer köprü yapılarına kıyasla daha düşük değerlerdir. Ölçümlerin yapıldığı her üç bölümde genel titreşim seviyelerininin 50 Hz ile 2,5 Hz frekans aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.2: Genel Titreşim Seviyeleri

	Ray Düşey	Ray Yanal	Plakalı Düşey Hat	Plakalı Yanal Hat	Zayıflama Düşey	Zayıflama Yanal
Tünel	103,1	95,4	67	58,4	58,4	54,3
Çelik Köprü	100,4	96,6	70,4	60,2	50,8	50,1
Betonarme Viyadük	90,5	84,3	62,7	55,2	54,9	47,2

Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Toplam titreşim seviyeleri, betonarme köprü kesiminde, muhtemelen buradaki düşük araç hızına bağlı olarak düşük titreşim meydana geldiğini göstermektedir. Tipik olarak 50 dB civarındaki zayıflama seviyeleri kullanılan bağlantı malzemesi ve plakaların raylar ile tünel zemini ve köprü tabliyesi arasında yüksek seviyede titreşim zayıflamasına yol açtığı anlaşılmaktadır.

5.2.2 Eminönü – Aksaray Tramvay Hattı Ölçümleri

Ölçümler Beyazıd ve Sirkeci arasında bulunan tarihi yapıların yakınında temel seviyesinde yapılmıştır. Ölçümler, tramvay aracı geçerken, sadece lastik tekerlekli araçlar geçerken ve hiçbir taşıtın geçmediği üç seviyede gerçekleştirilmiştir. Altyapı yenileme çalışmaları öncesi ve sonrası olarak farklı ölçümlerin değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

Ölçümlerde, üç eksenli ivme ölçer kullanılarak, yatay ve düşey yönlerde titreşim hızının rms değerleri frekansa bağlı olarak ölçülmüştür. Ölçüm yapılan alanlar Tablo 5.3 te gösterilmektedir.

Tablo 5.3: Tarihi yapılar için gerçekleştirilen ölçümler

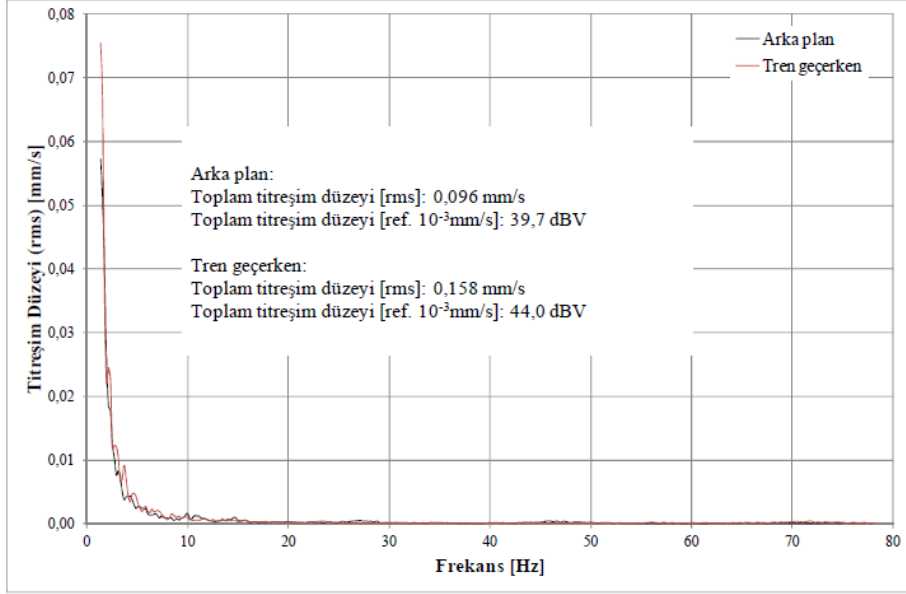
Ölçüm yeri	Ölçüm durumu	Frekans (Hz)	Titreşim seviyesi (mm/sn)	
			Altyapı yenileme öncesi	Altyapı yenileme sonrası
Çemberlitaş Sütunu	Taşıt yok	0-10	0,32	0,37
Çemberlitaş Sütunu	Karayolu taşıtı	0-10	0,41	0,41
Çemberlitaş Sütunu	Tramvay	0-10	0,42	0,38
Alay Köşkü	Taşıt yok	0-4	0,8	0,71
Alay Köşkü	Tramvay	0-10	1,7	1,56
Birlik Vakfı	Taşıt yok	0-5	0,4	0,4
Birlik Vakfı	Karayolu taşıtı	0-5	0,7	0,62
Birlik Vakfı	Tramvay	0-5	0,5	0,38
Caferağa Medresesi	Taşıt yok	0-10	1,2	1,4
Caferağa Medresesi	Tramvay	0-10	1,4	1,4
Köprülü Camisi	Taşıt yok	0-3	0,4	0,45
Köprülü Camisi	Karayolu taşıtı	0-3	1,7	1,55
Köprülü Camisi	Tramvay	0-3	1,2	0,59
Zeynep Sultan Camisi	Taşıt yok	0-3	0,4	0,34
Zeynep Sultan Camisi	Tramvay	0-10	2,2	2,0

Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

5.2.3 Otogar – İkitelli Metro Ölçümleri

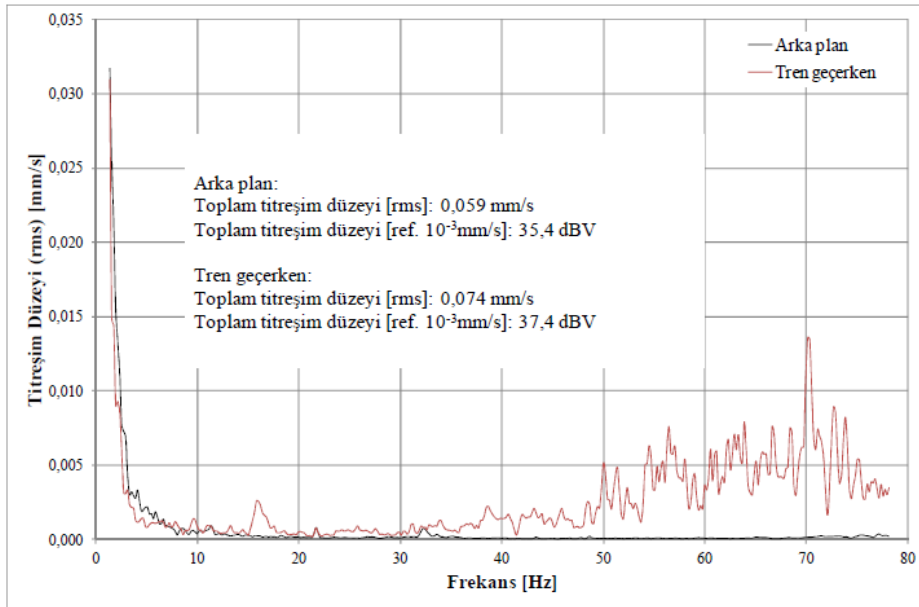
Kirazlı – İkitelli – Başak Kontları – Olimpiyat Köyü metro hattında yapılan titreşim ölçümlerinde sinyal analizörü ile üç eksenli ivme ölçerlerle yapılan ölçümlerle yatay ve dikey yönlerde, titreşim hızının rms değerleri, frekansa bağlı olarak ölçülmüştür. Araçlar tam dolu çalıştırıldıkları sırada en yüksek titreşim düzeyleri gerçekleşeceği beklentisi ile bir metro aracına toplamda 86 ton'a yakın kum torbaları yerleştirilerek gerçekleştirilen ölçüm sonuçları Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 de gösterilmektedir.

Şekil 5.11: Yavuz Selim Mahallesi Yılmaz Apt. da gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

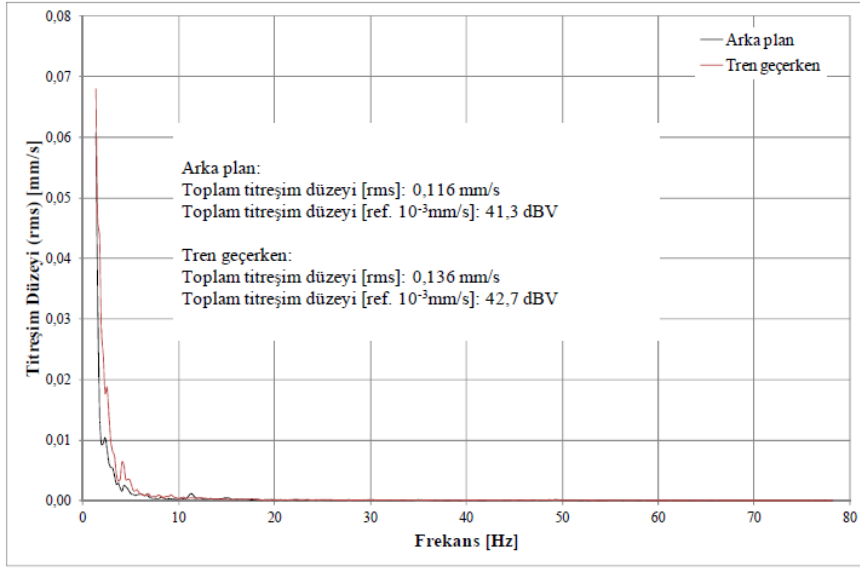
Şekil 5.12: Yavuz Selim Mahallesi Yaylakent Apt. da gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

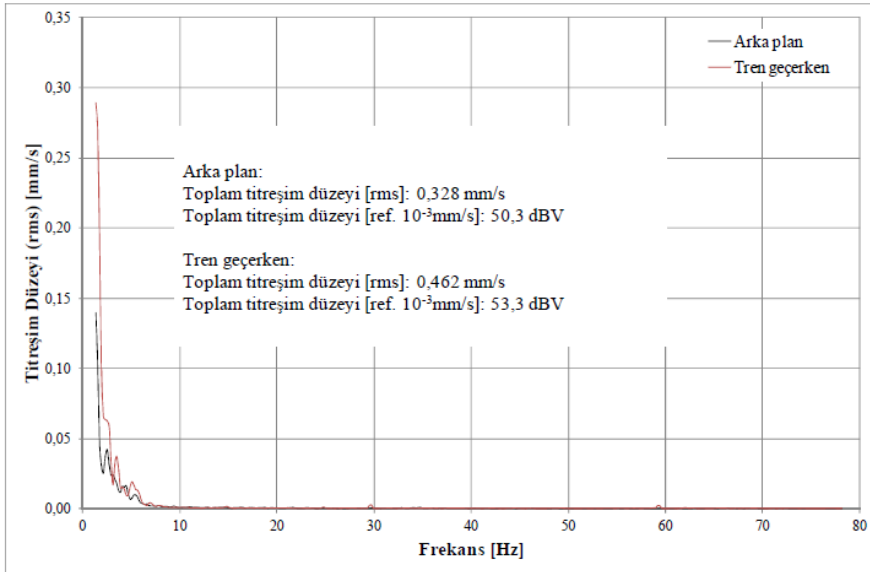
Güzergah üzerinde bulunan hassas yapılardan Dr. Kemal Naci Ekşi Lisesi'nde yapılan titreşim ölçümlerine ait grafikler Şekil 5.13 de verilmektedir.

Şekil 5.13: Dr. Kemal Naci Ekşi Lisesi'nde gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

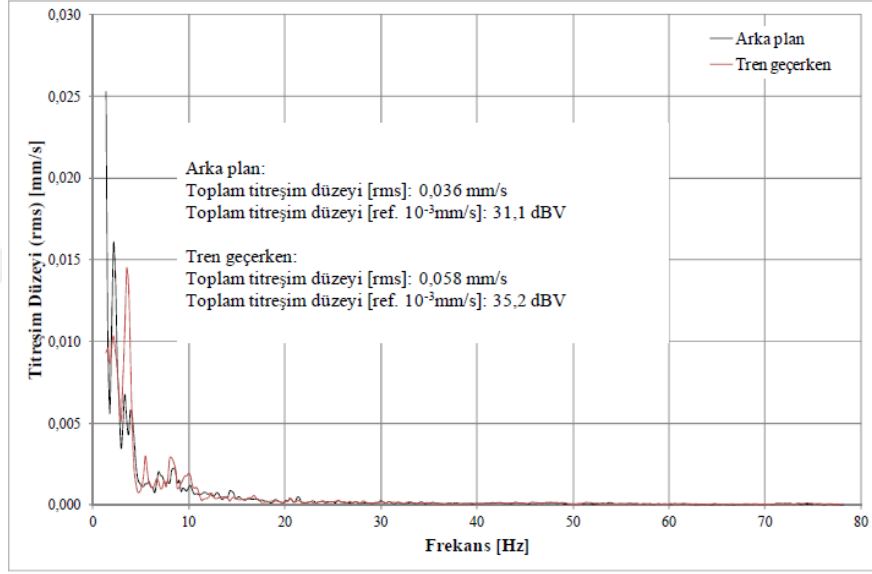
Şekil 5.14: Güzergah üzerindeki sürücü kursunda (Bahar Sürücü Kursu) gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

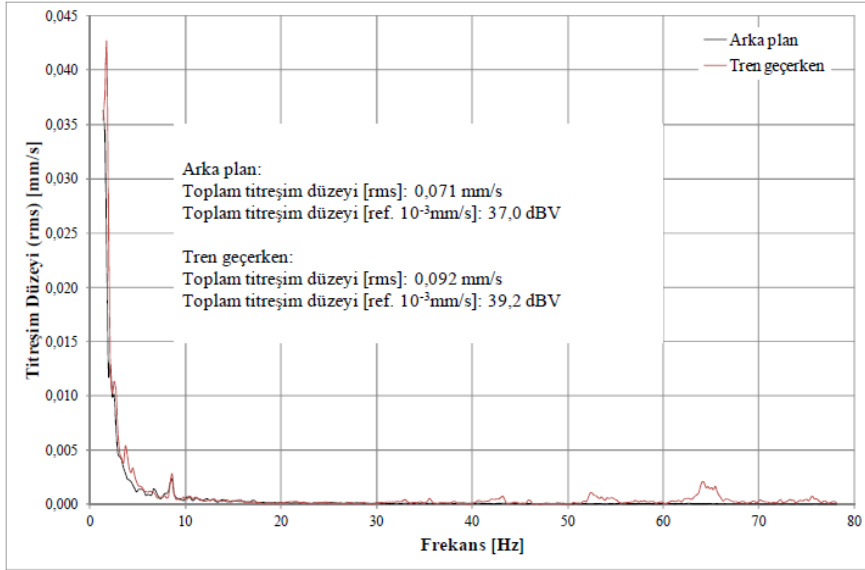
Güzergah üzerinde bulunan bir başka hassas yapı olan Özel Hızır Tıp Merkezi'nde yapılan titreşim ölçümlerine ait grafikler Şekil 5.15 ve Şekil 5.16 da verilmektedir.

Şekil 5.15: Özel Hızır Tıp Merkezi'nde gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

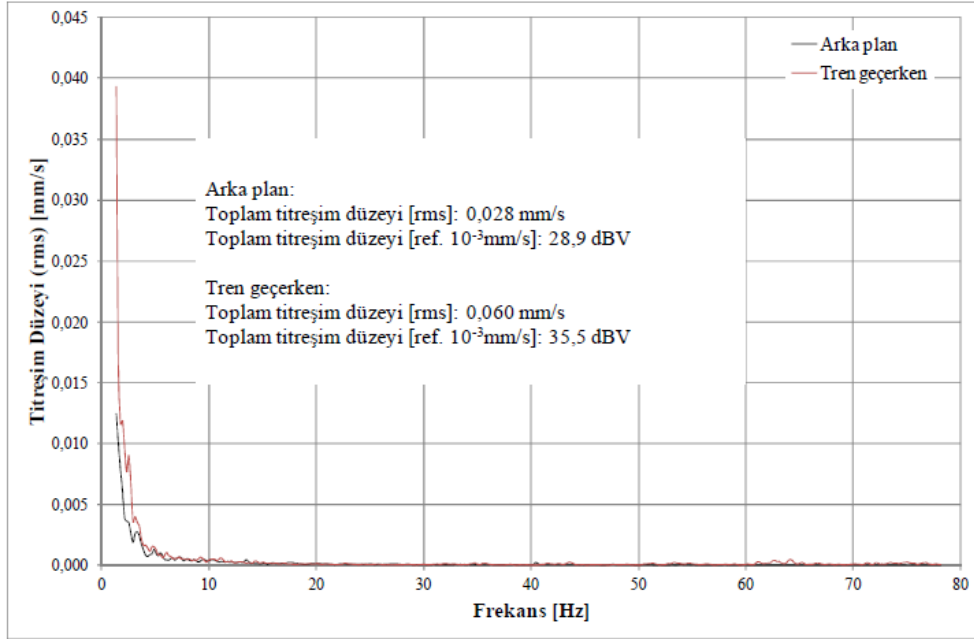
Şekil 5.16: Özel Hızır Tıp Merkezi'nde gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Güzergah üzerindeki bir başka hassas yapı olan Menderes İlköğretim Okulu'nda yapılan ölçümler Şekil 5.17 de yer almaktadır.

Şekil 5.17: Menderes İlköğretim Okulu'nda gerçekleştirilen çevresel titreşim ölçüm sonuçları

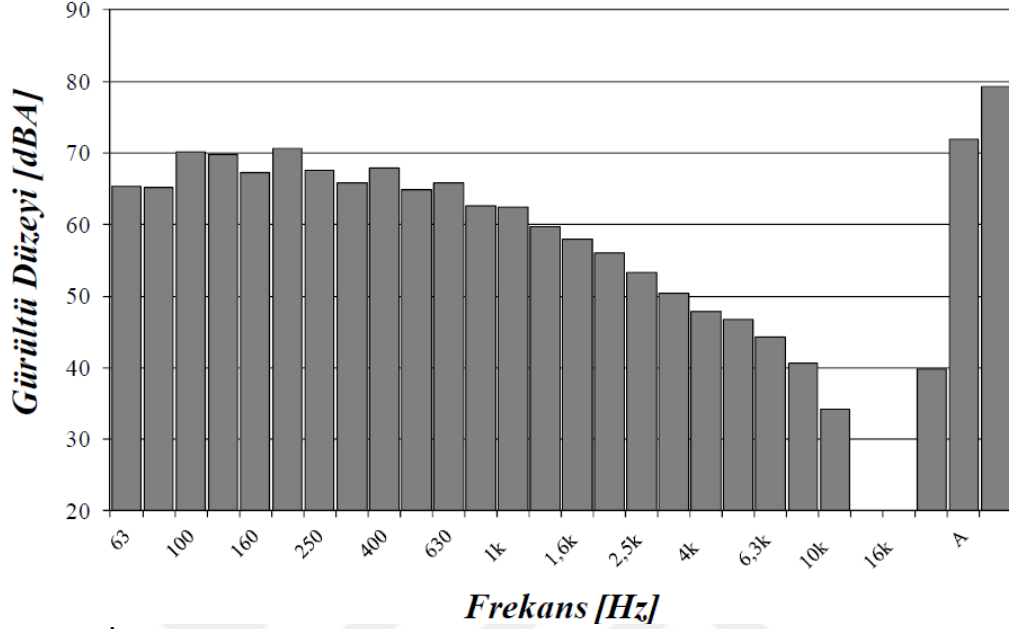


Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Güzergah üzerinde bulunan yapılarda gerçekleştirilmiş titreşim ölçümlerine ilave olarak gürültü ölçümleri de yapılmıştır.

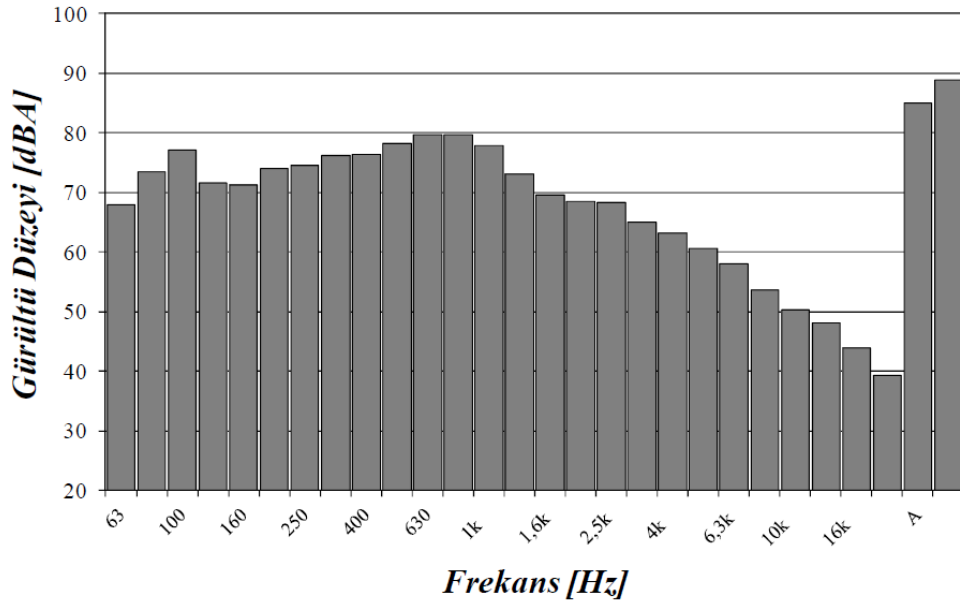
Gürültü ölçümleri raylı taşıtlarda gürültüye maruz kalan sürücü ve yolcuların etki düzeylerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarıdır.

Şekil 5.18: Kirazlı Metro İstasyonu peron katının boş olması durumu



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

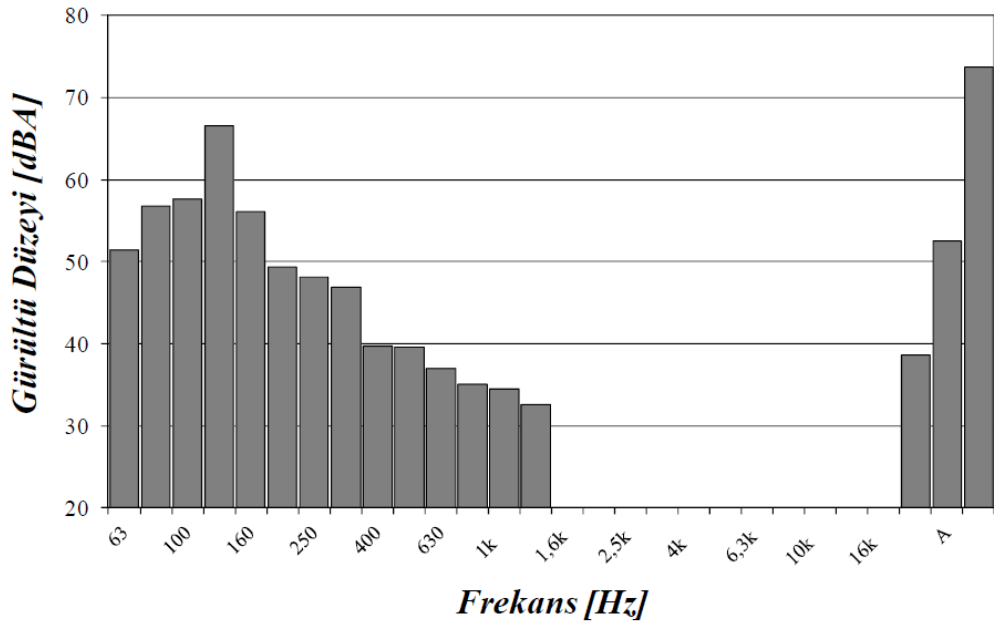
Şekil 5.19: Kirazlı Metro İstasyonunda metro aracının istasyona girişi sırasında peronda yapılan ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

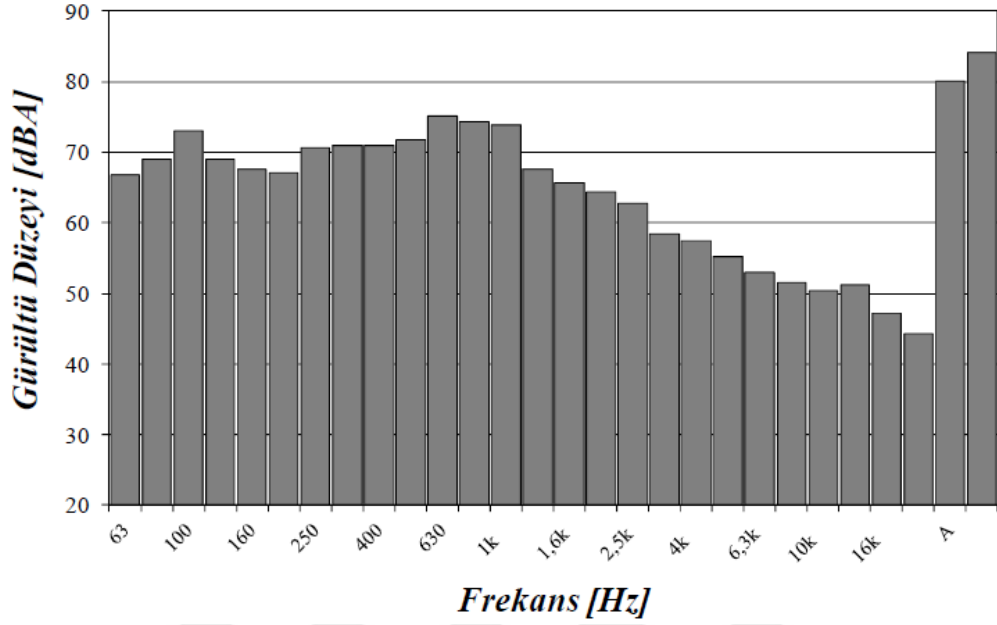
Kirazlı metro istasyonunda yapılan ölçümler, ilgili ölçüm ekibi tarafından metro aracının istasyonda olmadığı durumlardan başlatılmış, aracın istasyonda bekleme süresi ve aracın istasyondan ayrılışı ile devam ettirilmiştir.

Şekil 5.20: Kirazlı Metro İstasyonu metro aracının istasyonda bekleme sürecinde peronda yapılan ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

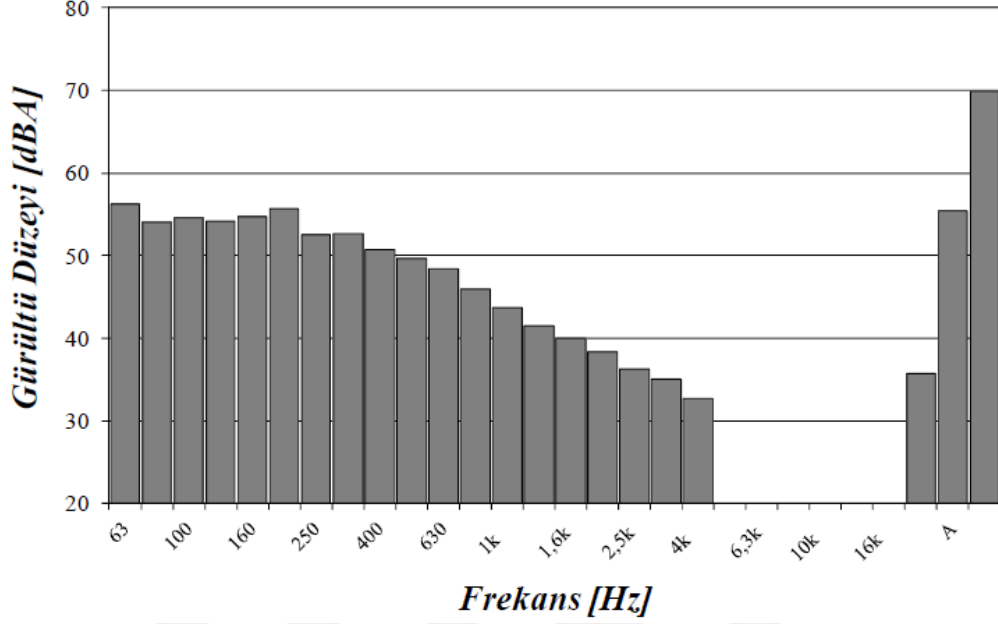
Şekil 5.21: Kirazlı metro istasyonunda aracının istasyondan peronda yapılan gürültü ölçüm sonuçları



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

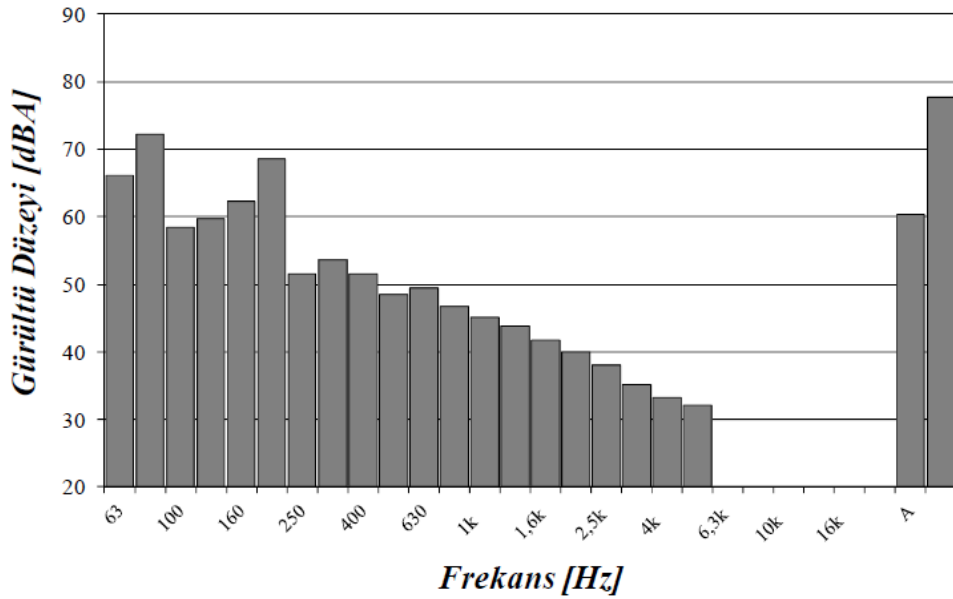
Kirazlı metro istasyonunun metro araçlarının olmadığı durumlarda, bekleyen yolcuları etkileyen istasyon mekanik sistemlerinin çalışması ve arka plan gürültüleri ile ilgili yapılan ölçümler Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 te görülmektedir.

Şekil 5.22: İstasyonda mekanik sistemlerin çalışması durumunda peronda yapılan ölçümler



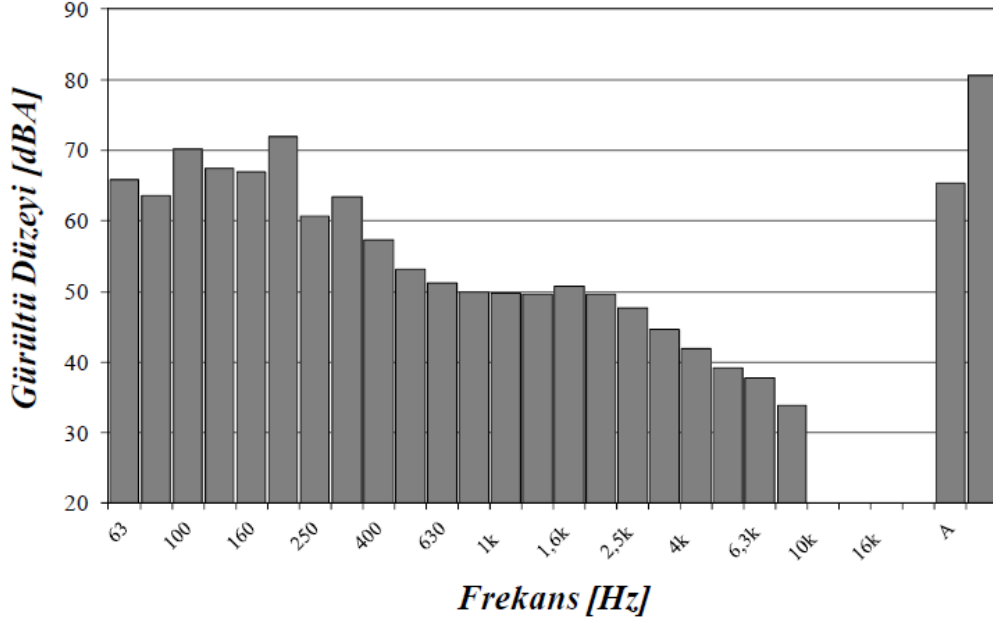
Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Şekil 5.23: İstasyon girişinde ölçülen arka plan gürültü düzeyleri



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Şekil 5.24: İstasyon girişinde ölçülen acil durum fanları çalışırken ölçülen gürültü düzeyleri



Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

5.3 ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İstanbul Metrosu'nun Sarıyer ilçe sınırları içinde bulunan Hacıosman bölgesini Fatih ilçe sınırları içindeki Yenikapı bölgesinde deniz ulaşımı ile de birleşen Hacıosman – Yenikapı metro hattının Haliç'te geçişini sağlayan yaklaşık 1 km uzunluğunda Haliç Metro Geçiş Köprüsü'nde yapısal olarak ardgerme betonarme yaklaşım viyadükleri, çelik gövdeli ana köprü ile tarihi yapıların altından geçilen özel çözümlü aç-kapa ve tünel yapılarında raylardan ve araçlardan kaynaklanan titreşim ve gürültünün sönmülenebilmesi ve en aza indirilmesi için özel ray bağlantı malzemeleri kullanılmıştır.

Kullanılan Pandrol Vanguard tertibatı kabul edilebilir sınırlar dahilinde rayın yanal hareketini kontrol ederken çok düşük seviyede sertlik sağladığı tespit edildiği yapılan ölçümler sonucunda belirtilmiştir. Titreşim ölçümleri ise tahmin edildiği üzere farklı tren hızlarında ve farklı altyapı ve zemin tiplerini yansıtmakta olduğu belirlenmiştir.

Köprünün kuzey bölgesinde bulunan ardgerme betonarme viyadük kesimini gürültü ve titreşim açısından özel öneme sahiptir. Bu nedenle yapılan ölçümlerde titreşimin nispeten düşük seviyelerde olduğu teyit edilmiştir.

Kullanılan ray bağlantı malzemelerinin, araç geçişi sırasında raylar ile altyapı arasındaki titreşimi yüksek seviyede sönümlediği tespit edilmiştir.

İstanbul Metrosu'nun gürültü ve titreşim yapılan raylı sistem güzergahlarından Eminönü – Zeytinburnu tramvay hattında işletmedeki araçlardan kaynaklanan yapısal titreşim genlikleri, hassas ve tarihi binalarla ilgili titreşim hızı genliğinin altında yer almaktadır. Yapılan ölçümler ve standartlarda belirtilen değerler üzerinden düşünüldüğünde, demiryolu kaynaklı titreşim genliklerinin tarihi yapılarda tehlikeye neden olabilecek seviyede olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Sözkonusu tramvay güzergahında bulunan tarihi yapılar nedeniyle, altyapı yenileme çalışmaları yapılmış ve bu yenileme çalışmalarının öncesi ve sonrasında yapılan ölçümler üç farklı seviyede ele alınarak çalışmalar ilerletilmiştir. Bu güzergahta üç farklı ölçüm düzeyinden yola çıkılarak sadece tramvayın neden olduğu titreşimlerin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre raylı sistem kaynaklı titreşim genliklerinin, tarihi yapıların yapısal durumunda herhangi bir tehlikeye neden olmayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte altyapı yenileme çalışmalarının öncesinde ve sonrasında yapılan ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde iyileştirmenin, tramvay aracının neden olduğu gürültüyü yüzde 20 oranında azalttığı belirlenmiştir.

Otogar – İkitelli hafif metro ve metro hattında yapılan ölçüm noktalarındaki sonuçların istasyon mimarisi ve kullanılan malzemeler nedeniyle yankılanma sürelerinin uzun olmasıyla oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerlendirme, istasyonlardaki anonsların anlaşılabilirliği ile yankı süreleri ölçülmüş ve aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.4: Yankı süresince yapılan ölçümler

Öçlüm Noktaları	İzin verilen sınır düzey [dBA]	Öçülen Düzey [dBA]			
		Kirazlı İstasyonu	Bağcılar Meydan İstasyonu	Üçyüzlü İstasyonu	Menderes İstasyonu
İstasyon arka plan	55,0	71,9	41,9	47,9	67,8
Araç istasyona girerken	80,0	85,1	91,0	86,8	83,8
Araç istasyonda dururken	65,0	52,6	73,6	73,6	73,0
Araç istasyondan ayrılırken	80,0	80,2	87,2	83,7	82,6
Bilet gişeleri bölgesi	55,0	55,5	43,8	58,4	54,9
İstasyon çıkış bölgeleri	55,0	60,3		58,8	56,1
Acil durum fanlarına yakın bölge	55,0	65,3		57,6	61,7

Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Öçüm sonuçlarına bakıldığında, düşük ve orta frekanslarda istasyon hacimleri dolayısıyla sesin sönümlenmesinin gerçekleşmediği, yankı sürelerinin mimari dolayısıyla uzadığı, istasyonda ara., yolcu ve teknik ekipmanlar dolayısıyla oluşan gürültünün süresinin artmasına neden olmaktadır.

İstasyon çıkış noktalarındaki gürültünün çevredeki yoğun trafikten kaynaklandığı tespit edildiğinden azaltıcı tedbirlerin alınmasının gerekli olmadığı belirtilmiştir.

Raylı sistem aracının güzergah boyunca hareketinden dolayı yolcuların ve sürücünün maruz kaldığı gürültü ölçümleri Tablo 5.5'te verilmektedir.

Tablo 5.5: İstasyonlar arası toplam gürültü düzeyleri

Güzergah	Toplam Gürültü Düzeyi [dBA]	
	565 nolu tren	516 nolu tren
Kirazlı – Bağcılar Meydan	87,5	85,6
Bağcılar Meydan - Üçyüzlü	84,8	83,7
Üçyüzlü – Menderes	85,1	82,7
Menderes – Esenler	83,7	82,7
Esenler – Menderes	81,3	80,1
Menderes – Üçyüzlü	83,9	84,6
Üçyüzlü – Bağcılar Meydan	83,7	83,3
Bağcılar Meydan - Kirazlı	84,6	85,9

Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Güzergah boyunca yapılan ölçümler sonucunda, hafif raylı sistemde, işletme sırasında çevresel titreşimlerin standartlarda izin verilen sınır değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Fakat, özel önem gösterilmesi gereken okul ve hastane gibi yapılarda hassas kişiler tarafından hissedilebileceği değerlendirilmiştir.

İstasyonlarda bulunan acil durum fanlarından ötürü yüksek gürültü düzeyleri ölçülmüş, arka plan ve çevre gürültülerinin de tespit edildiği yerlerde ilave tedbirlere ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir.

Raylı sistem araçlarında yolcuların ve sürücülerin maruz kaldıkları titreşimlerin rahatsız edici boyutta olmadığı ve izin verilen değerler içinde kaldığı tespit edilmiştir. Hafif raylı sistem hattı işletmesinde ise yolcuların ve sürücünün maruz kaldığı gürültünün, büyük ölçüde araçtan kaynaklandığı düşünülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul Metrosunun farklı jeolojik ve coğrafi yapıya sahip bölgelerindeki farklı tiplerdeki raylı sistem hatlarında yapılan ölçümler detaylandırılmıştır.

İstanbul Metrosu 2000’li yıllardan itibaren İstanbul şehir içi ulaşımında kilit rol oynamıştır. Özellikle Yenikapı’nın, marmaray, metro, hafif raylı sistem, deniz ulaştırma sistemleri, karayollarının kesişim bölgesi olması sebebiyle toplu ulaşımında bir entegrasyon bölgesi olmuştur. Bu sebeple, toplu ulaşımı kullanan yolcu sayısının giderek artmaktadır. Raylı sistem hatlarında, artan yolculuk talebinin karşılanabilmesi için tren sefer sıklığının minimum seviyelere indirilmesi, işletim sürelerinin uzatılması, araç ve hat bakım sürelerinin kısılmasından dolayı yolcu konforunu doğrudan etkileyen araç titreşim ve gürültü düzeylerinin sürekli kontrol edilmesi gerekliliğini zorunlu hale getirmektedir.

Hacıosman –Yenikapı metro hattı üzerinde bulunan Haliç Metro Geçiş Köprüsü kapsamında, altyapının genellikle kullanılan tünel içi altyapı sisteminden farklı olması, tarihi yapıların altında ve yakınından geçiyor olması sebebiyle tercih edilen ray bağlantı malzemeleri ile ray altı sönümleyici malzemeleri sayesinde, aracın düşeyde hareketine izin veren bir sistem oluşturulmuş ve ray / tekerlek arasında, altyapının rijitliği ile ortaya çıkan gürültü ve titreşimler büyük ölçüde sönümlenmiştir.

Özellikle tarihi yarımada içinde yolcu transferinde önemli bir ulaşım aracı olan Kabataş – Zeytinburnu tramvay hattının Eminönü – Beyazıt bölgeleri arasında yapılan ölçümlerde tarihi yapılara olan etkinin fazla olmadığı, buna karşılık yapılan altyapı yenileme çalışmaları sonucunda gürültü ve titreşim değerlerinin ortalama yüzde 20 düzeyinde azaldığı tespit edildiğinden, bağlantı malzemeleri ve altyapı rijitliğinin bu değere olan etkisi gözlemlenmiştir.

Otogar – Bağcılar – İkitelli metro hattında yapılan gürültü ve titreşim ölçümlerinin mimari nedenlerden ötürü yolcu ve sürücüye olan etkisinin yankılanma ile arttığı belirlenmiştir.

İstanbul Metrosunun tarihi yapıların altında, yakınında ve çevreye direk etki eden yapıda olması nedeniyle, mevcut olan farklı hatlarda gürültü ve titreşim ölçümlerinin;

- a. Yer altı yapıları için mimari unsurların yankı oluşmasına meydan vermeyecek şekilde oluşturulması ve malzeme seçiminin sönümleyici nitelikler taşıması tasarım öncesinde dikkat edilmesi gereken hususlarda yer alması,
- b. Raylı sistem araçlarının yeryüzüne çıktığı noktalarda hassas olarak nitelendirilen bölgelerde, doğrudan tespitli ray bağlantı malzemesi yerine, esnek ve sönümleyici hareketlere müsaade eden bağlantı malzemelerinin seçilmesinin uygun olacağı,
- c. Sistemde güzergah boyunca yolcu kapasitesinin etkisiyle istasyon giriş çıkışlarında ani durumlarda oluşabilecek etkilerin de göz önüne alındığı mekanik ekipmanların yerleşiminin yolculara etki etmeyecek şekilde yerleştirilmesi gerekliliği,
- d. Altyapı yenileme çalışmalarının, özellikle tramvay hatlarında gürültü ve titreşim ölçümlerinde yüzde 20 gibi bir azalmaya neden olmasının yenileme maliyetleri ile birlikte fayda/maliyet analizi yapılarak optimum düzeyde yapılması,
- e. Doğrudan tespitli ray bağlantı malzemelerinin kullanıldığı alanlarda, sistem rijitliğinden kaynaklanan tekerlek – ray etkileşimi ile ilgili periyodik kontrollerin ve bakımların yapılması ve sürekliliğinin sağlanması,
- f. Gürültü ve titreşim ölçümlerine esas değerlendirmelerin lokal olarak ele alınabileceği gibi, sistemin tamamında etki düzeyinin belirlenmesi ve yolcu konforunun buna göre tespit edilmesi gerekliliği,
- g. Yolcular için konforlu seyahat göz önüne alındığında, demiryollarında üst sınırın 65dBA’i geçmemesi, insan kulağına etki eden gürültü düzeyi (LA) ele alındığında gündüz 65dBA, gece ise 50 dBA’i geçmemesi gerekmekte,
- h. Kirazlı metro istasyonu yer altı istasyonlarından örnek olarak büyük ses etkilerinin yer aldığı istasyonlardan biri olarak kabul edilmiş ve ölçümlerin etkileri üzerine değerlendirmelerin, diğer tasarımlarda çıkış noktası olarak kullanılmasına özen gösterilmesi, mimari ve yapısal tasarımların gelişimi bu yönde ilerletilmesi gerekmekte,

- i. Metro sistemlerinde tünel içerisinde hareket eden araçların önüne kattığı havanın istasyonda yolcuların üzerine etkisi, istasyon çıkışlarından piston etkisiyle oluşturulan hava basınç etkilerinde oluşabilecek gürültü seviyesinin minimuma indirgenmesi tasarım hesaplarında ve hat üzerinde yapılacak doğrulama testleri ile yapılması gerekmekte,
- j. Hemzemin olarak planlanan raylı sistem hatlarında, titreşim frekansını düşürebilmek için temel altına sönümleyici alt tabakalar (geotekstil, geogrid) yerleştirilmesi olarak dahilinde tutulmalı,
- k. Doğrudan tespitli yol yapımından kaynaklanan rijitliği azaltabilmek için, rayın kendi içinde düşük seviyelerde sehim yapmasına müsaade edecek ray bağlantı sistemlerinin kullanılmasının genişletilmesi,
- l. evre yapılarada, yansıtıcı boyanın yüzeye uygulanması ile gürültü ynnn değiştirilmesinin proje aşamasında değerlendirilmesi,
- m. Yerleşim alanlarından geçen raylı sistem hatlarında, gürültü bariyerlerinin kullanılmasının tespit edilen etkilerin minimuma indirilmesinde büyük rol oynayacağı hususları önerilen konular olarak ilk sıraya yerleşmektedir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Bellis, M., 2007. *History of Streetcars and Cable Cars*

Post, R. C., 2007. *Urban Mass Transit*

ARLI, V., 2011. *Kentiçi Raylı Sistemler*. İstanbul Ulaşım AŞ

ARLI, V., 2015. *Demiryolu Mühendisliği*. Genişletilmiş 2.Baskı, İstanbul Ulaşım AŞ



Diğer yayınlar

- EROL, H., 2000. *Yerebatan Sarnıcında Tramvay Kaynaklı Titreşimlerin Ölçülmesi*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul:Türkiye.
- EROL, H., ÖZTÜRK, Z. 2008. *Eminönü-Zeytinburnu Tramvayının Tarihi Yapılarda Oluşturduğu Titreşimlerin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul:Türkiye.
- EROL, H., 2013. *Otogar-İkitelli Hafif Raylı ve Metro Sistemlerinin İşletilmesinden Kaynaklanan Gürültü ve Titreşimlerin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi-LRT Hattı*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul:Türkiye.
- EROL, H., 2013. *Otogar-İkitelli Hafif Raylı ve Metro Sistemlerinin İşletilmesinden Kaynaklanan Gürültü ve Titreşimlerin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi-Metro Hattı*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul:Türkiye.
- Hyundai Rotem-Alarko-Hyundai Konsorsiyumu, 2014. *İstanbul M2 Line Haliç Köprüsü ve Tünel Kısımları Hat Ölçümleri Raporu*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul:Türkiye.
- Monoray Tanıtım Dokümanları, 2016. İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- UITP Technology Day, 20 October 2011, Brussels:Belgium
- Streetcar Technology Assessment, May 2010, URS Corporation, Charlotte, North Carolina:USA.
- Alstom – Future Trends in Railway Transportation, Francois Lacote, Japan Railway and Transport Review 42, [December 2005].
- www.istanbul-ulasim.com.tr.
- www.ibb.gov.tr.