

VAR OVA METRO SİSTEMİ (FAZ II) İSTASYONLARI AKUSTİK TASARIMI

Z hre S  G L¹, Prof. Dr. Mehmet  ALI KAN²

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye; MEZZO Stüdyo Ltd., Ankara, Türkiye
Tel: 312 210 18 25, e-posta: zuhre@mezzostudio.com

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
Tel: 210 25 72, e-posta: caliskan@metu.edu.tr

ÖZET

Var ova Metro Sistemi akustik tasarımı, gürültü ve titreşim kontrolü çalışmaları istasyonların akustik tasarımı, havalandırma bacalarından kaynaklanan çevresel gürültünün kontrolü ve metro hattının titreşim kontrolü olmak üzere üç safhadan oluşur. Bu makalede istasyonlar ve havalandırma bacalarında ele alınan akustik önlemler tartışılırken metro istasyonları temel akustik tasarım stratejileri vurgulanmaktadır. İ  ve dış mekanlarda optimum akustik koşulları sağlamak üzere farklı malzemeler çalışılmış, çözüm  nerileri geliştirilmiştir. Tasarım sürecinde Polonya Gürültü Mevzuatı gereğince belirlenen akustik hedef değerlerin sağlanması için bilgisayar benzetimlerinden yararlanılmıştır. Benzetimlerde akustik parametrelerden hava bacaları çıkış noktalarında A-Ağırlıklı Ses Düzeyleri (SPLA), platform katlarında ise çınlama Süreleri (T30) değerlendirilmiştir.  alı malar çınlama ve gürültü kontrolünde tavan ve duvarlarda kullanılan ses yutucu malzemelerin tip, konum ve uygulama alanı optimizasyonunun önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akustik malzeme; metro istasyonları; akustik tasarım; akustik benzetim

ACOUSTICAL DESIGN OF UNDERGROUND STATIONS WITHIN WARSAW METRO SYSTEM PHASE II

ABSTRACT

Acoustical design, noise and vibration control studies of Warsaw Metro System is held in three stages including acoustical design of underground stations, control of environmental noise owing to ventilation shafts and vibration control of metro line. This paper concentrates on acoustical studies within underground stations and ventilation shafts. Initial strategies in the design of such spaces are emphasized. Practical design solutions are developed by evaluating different materials for providing optimum acoustical conditions as required in Polish standards. Predictions of room acoustical parameters are presented for street exits of ventilation shafts (A-weighted sound levels) and for platform levels (reverberation times). Simulated reverberation times are evaluated in the view of legislative requirements. The study confirms the importance of type, surface area and location optimization in sound absorptive material application for sound attenuation and noise control.

Keywords: *Acoustical materials; underground stations; acoustical design; acoustical simulation*

1. GİRİŞ

Son yıllarda hem dünyada hem de ülkemizde yapımı ivme kazanan raylı ulaşım sistemlerine hizmet veren metro istasyonları, bu tür mekanlarda yürütülen işlevler açısından önemli görülen gürültü denetimi ve hacim akustiği çalışmalarını gündeme getirmektedir. Ülkelerin gürültü kontrol yönetmelikleri ile uyumlu ve yerel yönetimler tarafından hazırlanan teknik şartnamelerle kapsamı ve çerçevesi belirlenmiş olan akustik ölçütlerle ilgili sorunlar, özellikle hijyen, yangın güvenliği, yüksek sirkülasyon nedeniyle aşınmaya karşı dayanım ve vandalizme karşı koruma gibi etkenler göz önüne alınarak, istasyon iç yüzeylerinde kullanılmak üzere belirlenen malzemelerin sert ve yansıtıcı yüzey özelliklerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. İstasyonlar için geliştirilen akustik tasarımın başarımında seçilen malzemelerin sesin frekansına (tiz ya da pes olmasına) göre değişen ses yutma ve saçınım özellikleri ile kapladıkları alanların büyüklüğü ve konumları, istasyon hacmi, geometrisi ve boyutları önem taşımaktadır. Belirtilen kısıtlamalar içinde kalmak koşuluyla doğru malzemelerin uygun konum ve yüzey alanlarında kullanımı amaçlanan akustik tasarım performansına ulaşmak için gereklidir [1].

Bu makalede örnek olarak Varşova Metro Sistemi akustik tasarım ve gürültü kontrolü çalışmaları ele alınmaktadır. Metro Sistemi Faz II hattı yedi adet (C09 - C15) yeraltı istasyon binasından oluşmaktadır. Hatlar arasında altı adet havalandırma (V10 - V15) shaftı yapısı yer almaktadır. Polonya Gürültü Mevzuatı temel alınarak yapılan akustik tasarım çalışmasında istasyonlar için çınlama süreleri (T30) değerlendirilirken çevresel gürültü kontrolü kapsamında bir diğer başlık olarak havalandırma bacaları cadde/sokak veya dış mekan çıkışlarında oluşacak A-Ağırlıklı Ses Düzeyleri'ni (SPLA) kontrol altına almak üzere alınan akustik tedbirlere değinilmektedir. Temel olarak tasarım sürecinde bilgisayar benzetiminden yararlanılmış, iç ve dış mekanlarda optimum akustik koşulları sağlamak üzere farklı malzemeler çalışılarak konum ve alan optimizasyonları ile çözüm önerileri geliştirilmiştir.

2. TASARIM KRİTERLERİ

Ülkemizde yerel yönetimler tarafından hazırlanan raylı ulaşım sistemleri teknik şartnamelerinin gürültü ve mekan akustiği konuları ile ilgili kısıtlama ve yaptırımlarının dayanağı, revizyonu 4 Haziran 2010 tarihli ve 27601 sayılı resmi gazetede yayınlanan Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği(ÇGDYY)'dir. Madde19 uyarınca;

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

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

denilmektedir. Yönetmeliğin Ek-VIII Tablo-2'de verilen sınır gürültü düzeyi değerleri Leq cinsinden aşağıda özetlenmektedir.

Tablo 1. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-VIII Tablo-2

Yeraltı İstasyonları	Leq (dBA)	Yerüstü İstasyonları	Leq (dBA)
Gişeler, merdivenler, koridorlar	55		
Platformlar (platform kenarından 1,8 m’de)		Platformlar (platform kenarında 1,8 m’de)	
• Duran ve kalkan trenler için	85	• Duran- kalkan trenler	75
• Geçen trenler için	85	• Çalışır durumda bekleyen trenler için	65
• Çalışır durumda bekleyen trenler için	65	• Geçen trenler için	70
İstasyon içinde Havalandırma sistemi	55	Leq, zaman dilimine bağlı olarak oluşabilecek eşdeğer sürekli ses düzeyidir.	
Caddelerde havalandırma kanalları (9,0 m’ de)	55		
İstasyon içinde kapalı hacimlerde bulunan acil havalandırma fanları (22,5 m’ de)	80		

Polonya Gürültü Mevzuatı incelendiği zaman ise istasyon içlerinde birincil parametre olarak çınlama süresi öne çıkmaktadır. Platform katlarında kullanıcı konumlarında orta frekanslarda çınlama süreleri ortalaması için 1.7s üst sınırı belirlenmiştir. Tünel havalandırma bacaları çıkış noktalarında trenlerin en yüksek hızda geçtiği koşullarda izin verilen maksimum A-Ağırlıklı Ses Düzeyi (SPL) 45dBA'dir.

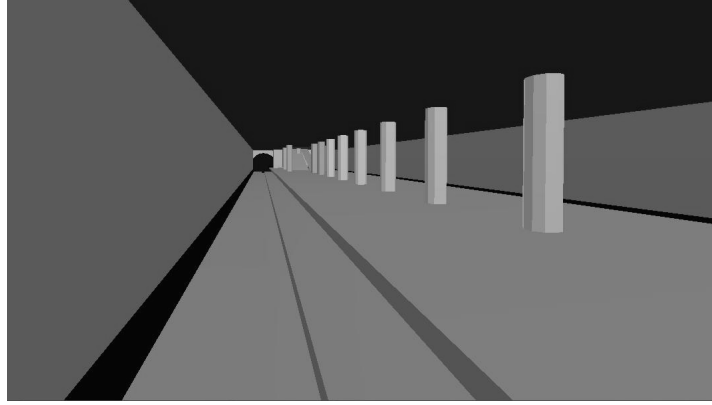
3. AKUSTİK TASARIM VE BENZETİM ÇALIŞMALARI

Metro istasyonlarının henüz mimari projelendirme aşamasında iken akustik tasarımlarının eş zamanlı olarak yürütülebilmesi, istasyonun kullanıma açıldıktan sonra doğması olası akustik kaynaklı sorunların en aza indirgenmesi açısından oldukça önemlidir. Teknoloji alanındaki hızlı gelişim, akustik tasarıma da yeni olanaklar sunmuştur. Yeraltı istasyonlarının proje aşamasında akustik özelliklerinin hesaplanarak değerlendirmeleri, eskiden hacim akustiği ölçümlerinde kullanılan ölçekli model vb. yöntemlerin yerine bilgisayar yazılımlarıyla kısa sürede yapılabilmektedir. Tüm dünyada konser salonları, operalar, çok amaçlı salonlar vb yapıların tasarımında yaygın bir şekilde kullanılan bu yazılımların en büyük yararı, tasarıma zamanında müdahale edebilmek, yapı tamamlandıktan sonra değişiklikler yapmak yerine, çeşitli tasarım seçeneklerini bilgisayarda benzetim yoluyla deneyerek en uygun akustik ortamı sağlayacak tasarım kararlarını verebilmek ve önlemleri önceden alabilmektir.

Proje kapsamında akustik benzetim çalışmaları istasyon peron katları ve tünel havalandırma şaftı yapıları için ayrı ayrı yürütülmüştür. Mimari projeden uyarlanmış ve basitleştirilmiş akustik grafik modelleri CAD programı aracılığı ile akustik benzetim yazılımı kullanımına uygun hale getirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yürütülen akustik benzetimlerde Danimarka Teknik Üniversitesi'nde geliştirilen ODEON yazılımı kullanılmıştır.

3.1. İstasyon Peron Katları

Yedi istasyonun her biri için geliştirilen akustik modele mevcut ve öneri akustik malzemelerin girilmesi, ses kaynağı ve alıcı pozisyonlarının tanımlanması ile modeller benzetime hazır hale getirilmiştir. C09 istasyonu benzetim çalışmaları bu makalede sunulmak üzere örnek olarak seçilmiştir. Şekil 1’de örnek istasyon için 3D OpenGL (akustik katı model) görünüşü verilmektedir.



Şekil 1. Peron katından 3DOpenGL görünüşü

3.1.1. İstasyon Peron Katları için Oda ve Malzeme Bilgisi

Gürültü ve çınlama kontrolü için akustik açıdan daha çok ses yutma özelliği yüksek olan yumuşak, lifli veya yüzeyi pürüzlü malzemeler tercih edilir. İstasyon içerisinde yüksek sirkülasyon alanları olan peron katlarında ise yangın kodları, darbe ve yıpranmaya karşı uzun süreli dayanım kriterleri önceliklidir. Bu sebeple kullanılacak akustik özellikteki malzemelerin tip ve sayısı kısıtlanırken kullanım alanı ve yüzeyleri yine bu kriterler göz önünde tutularak belirlenmektedir. İstasyon içlerinde kullanım itibari ile duvar ve yer yüzeyleri akustik özellikte malzeme uygulaması için uygun değildir. Tavanlar ses sönümleme fonksiyonunu yüklemek üzere en elverişli yüzeyler olarak tanımlanabilir.

Projenin konsept tasarım aşamasında önerilen seramik kafes tavan sistemi Şekil 2’de gösterilmiştir. Mimari süreçte geliştirilen bu ilk öneride tüm peron boyunca devam eden seramik kafesler yansıtıcı katı bir yüzey oluşturmaktadır. 10cm’lik karolajdan oluşan seramik kapların içinin boşaltılmadığı halde asma tavan ve döşeme arasında uygulanabilecek herhangi bir ses yutucu malzemenin çınlama kontrolüne etkisi olmayacaktır. Alternatif çözümlerde seramik kapların belli bir yüzdesinin iç yüzeyinin kaldırılması denenmiş olmasına rağmen uygulama kolaylığı ile birlikte boşluklu alanların oluşturacağı görsel aykırılık sebepleriyle son durumda bu öneriden tamamen vazgeçilmiştir.

Tavanın en elverişli biçimde kullanımı kabul edilebilir gürültü seviyeleri ve neticesinde istasyon içerisinde personel ve yolcular için kullanılacak anons sisteminin anlaşılabilirliği için oldukça önemlidir. Konsept tavan tasarımının akustik açıdan uygun görülmemesi ile tavanda betonarme döşeme altına peron içerisine doğru açıkta kalacak şekilde 25mm kalınlıkta akustik sıva (SonaSpray) katmanı uygulanmasına karar verilmiştir. Buna ek olarak istasyon içerisinde ses yutumunu arttırmak üzere tünellerin istasyona bağlandığı ilk 10m’de duvarlarda ve raylara bakan platform altı duvar yüzeylerinde 48-52 kg/m³ yoğunlukta 100mm kalınlıkta taş yünü uygulaması gerekli görülmüştür.

3.1.2. İstasyon Peron Katları için Gürültü Kaynaklarının Modellenmesi

İstasyon içi gürültü benzetiminde kullanılacak gürültü kaynaklarının ses gücü düzeyleri için veriler değişik yöntemlerle hesaplanmıştır. Peron katında tren geçişlerinden kaynaklanan gürültünün benzetimi için çizgisel ses kaynağı olarak alınan trenlerin emisyon düzeyleri RMR 96 dokümanında belirtilen yöntemler kullanılarak elde edilmiştir. RMR 96'ya göre, Varşova Metrosu Faz II'de kullanılacak olan trenler 7. kategoride değerlendirilecektir.

Her bir tren için iki adet çizgisel kaynak tanımlanmıştır. Bunlardan ilki ray üst kotuna ikincisi ise ray üst kotundan 50cm yukarıya yerleştirilmiştir. Trenlerin ses gücü düzeyleri ray, travers, makas özellikleri, trenlerin çalışma hız ve frekansları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda RMR 96'da önerilen SRM2 yöntemine göre yapılan hesaplamalarda IMMI yazılımı kullanılmıştır. Trenlerin frenleri devrede iken hızları 60 km/h olarak belirtilmiştir. Bu hız istasyona giren trenlerin ses gücü verilerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Trenlerin toplam uzunluğu 120m'dir. Hatta kullanılacak raylar UIC 860 standardındadır. Ayrıca raylar kaynak yoluyla birleştirilecektir. IMMI yazılımında standart olarak $bb=6$ kontrol edilebilir ray sabitlemesi uygulanmıştır.

Polonya Gürültü Mevzuatı'nda referans ölçüm ve değerlendirme zaman dilimi 1 saat olarak belirtilmiştir. Akşam saatlerinde seferlerin en yoğun olduğu zaman trenlerin her 90 saniyede bir geçtiği rapor edilmiştir. Saatte 40 tren geçişine denk gelen bu değer göz önüne alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Trenlerin hesaplanan emisyon değerleri ile ses gücü düzeyleri Tablo 3 ve 4'te özetlenmektedir.

Tablo 3. Fren sistemi devrede iken 60 km/h hızda oktav bantlarda çizgisel kaynak emisyon değerleri, L_E , [dBA]

Ses kaynağı yüksekliği (cm)	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	Toplam (dBA)
0	74.6	89.5	100.0	104.0	107.1	104.4	100.5	93.9	111.1
50	71.1	86.5	94.2	98.2	101.4	98.6	94.7	92.0	105.5

Tablo 4. Fren sistemi devrede iken 60 km/h hızda oktav bantlarda çizgisel kaynak ses gücü düzeyi değerleri, L_w , [dB/m]

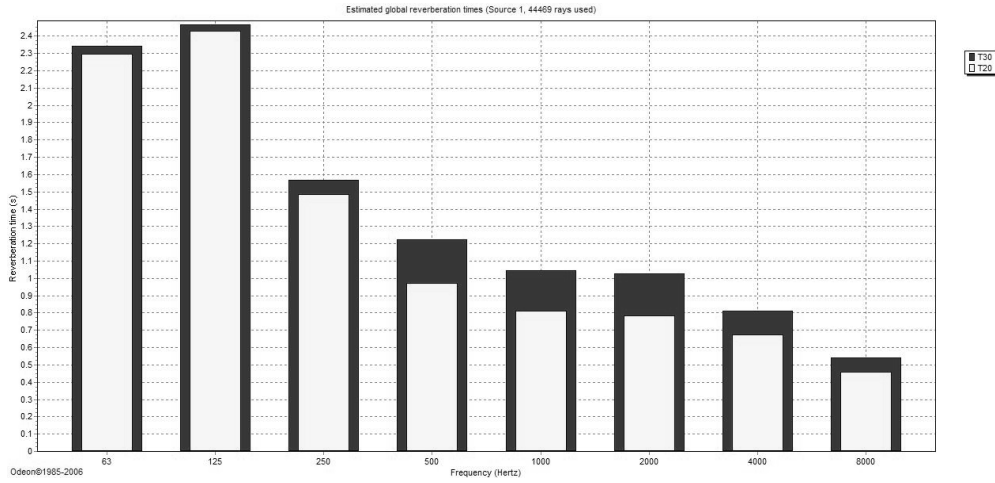
Ses kaynağı yüksekliği (cm)	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	Toplam (dB/m)
0	88.0	92.8	95.8	94.4	96.3	90.4	86.7	82.2	101.8
50	84.5	89.8	90	88.6	88.6	84.6	80.9	80.3	96.2

3.1.3. İstasyon Peron Katları için Benzetim Sonuçları

a. Çınlama Süreleri

Peron katında oluşan hacim akustiği ile ilgili koşulların değerlendirilmesinde, çınlama süreleri en başta gelen akustik parametredir. Sesin hacimde sönümlemesinin bir göstergesi olan çınlama süreleri mekanda yürütülen işlevler için gerekli akustik koşulların oluşup oluşmadığının denetlenmesinde kullanılmaktadır. Konuşma ve anons sistemlerinin anlaşılabilirliği ile ilgili ipuçları çınlama sürelerinde gizlidir. Peron katı için ODEON yazılımı

yardımları ile hesaplanan oktav bantlardaki çınlama süreleri Şekil 4’te gösterilmiştir. Burada T20 ses basıncı düzeylerinde ilk 20dB düşmeye karşılık gelen çınlama süresini, T30 ise ilk 30dB düşmeye karşılık gelen çınlama süresini simgelemektedir.

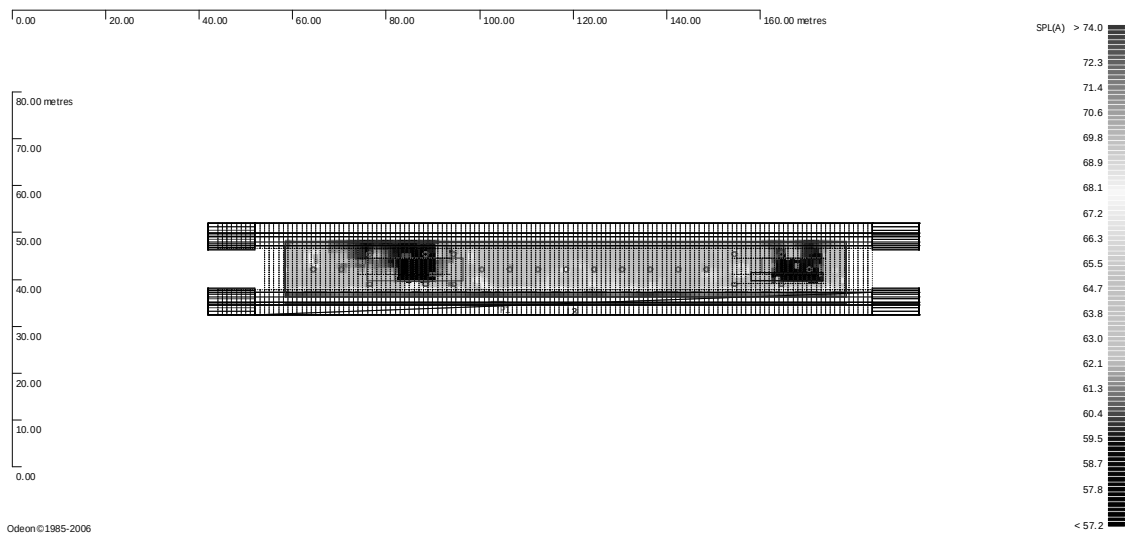


Şekil 4. rnek istasyon platform katı için hesaplanan çınlama süreleri

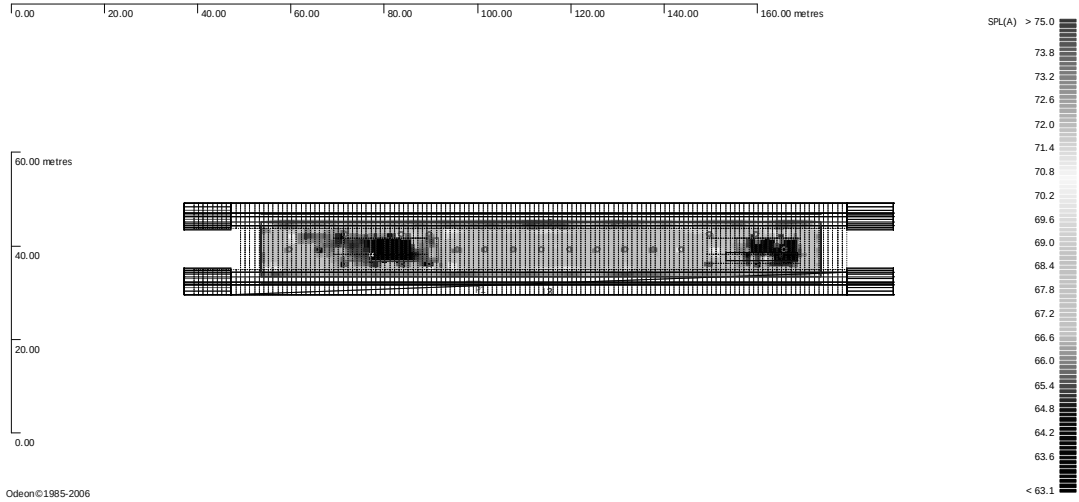
Şekil 4’te sunulan sonuçlara göre orta frekanslar için (500Hz ve 1000Hz) ınlama süresi (T30) ortalaması 1.13s, düşük frekanslar için (125Hz ve 250Hz) ınlama süresi (T30) ortalaması 2.03s olarak hesaplanmaktadır.

b. Tren Geçiş Benzetimleri

Peronda tren geçişlerinden dolayı oluşan gürültü düzeylerinin benzetimi tek ve iki tren geçiş durumları için yrtlmştir. ODEON yazılımında çizgisel kaynaklara atanan trenlerin ses gücü düzeyi hesaplamaları bir önceki bölümde açıklanmaktadır. rnek istasyon için tek tren geçişinden kaynaklanan gürültü dağılım haritası Şekil 5’te çift tren geçişinden kaynaklanan gürültü dağılım haritası Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 5. rnek istasyon tek tren geçişinden kaynaklanan gürültü dağılım haritası, SPL(A)



Şekil 6. Örnek istasyon iki tren geçişinden kaynaklanan gürültü dağılım haritası, SPL(A)

Örnek istasyon için sunulan benzetim sonuçlarına göre tek tren geçişinde peron katı yolcu sirkülasyon alanlarında maksimum gürültü düzeyi 72dBA olarak gözlenirken ortalama değer 64dBA olarak hesaplanmıştır. İki tren geçişinde peron katında maksimum gürültü düzeyi 74dBA, ortalama değer ise 68dBA olarak gözlenmektedir.

3.2. Tünel Havalandırma Şaftı Yapıları

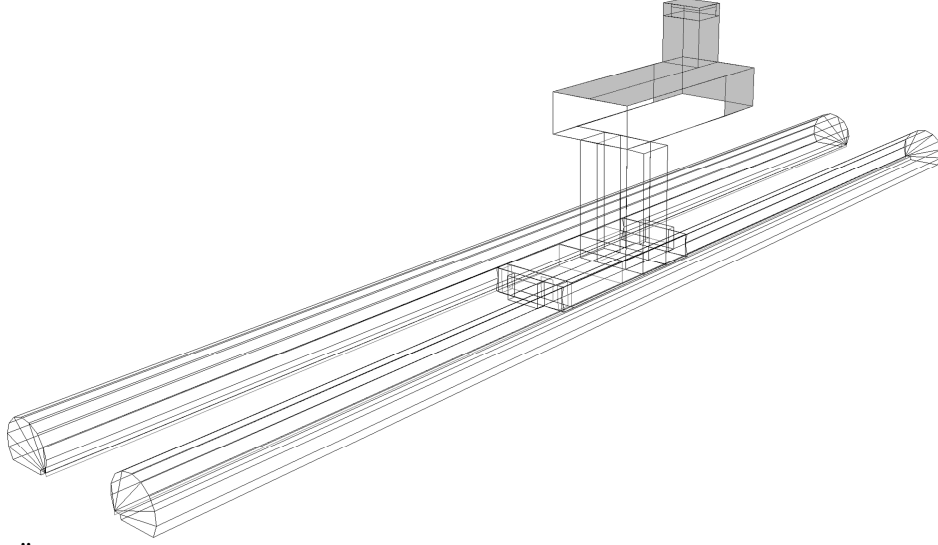
Altı adet havalandırma şaftı yapısının her biri için geliştirilen akustik modele mevcut ve öneri akustik malzemelerin girilmesi, ses kaynağı ve alıcı pozisyonlarının tanımlanması ile modeller benzetime hazır hale getirilmiştir. V14 tünel havalandırma şaftı yapısı benzetim çalışmaları bu makalede sunulmak üzere örnek olarak seçilmiştir.

3.2.1. Tünel Havalandırma Şaftı Yapıları için Oda ve Malzeme Bilgisi

Bölüm 2’de özetlendiği üzere Polonya Gürültü Mevzuatı’nda tünel havalandırma bacaları cadde/sokak veya dış mekan çıkış noktalarında trenlerin en yüksek hızda geçtiği koşullarda izin verilen maksimum A-Ağırlıklı Ses Düzeyi (SPL) 45dBA olarak belirtilmiştir. Havalandırma bacaları çıkış noktalarında gürültüye yol açan temel kaynak tünellerde maksimum 90km/h hızla yol alan trenler olarak belirlenmiştir. Gürültünün kontrol altına alınabilmesi için baca çıkış noktalarında yapı içerisinde duvar ve tavan yüzeyleri için alternatif malzemeler çalışılmıştır. Bu malzemeler içerisinde akustik ve mimari tasarım ekibinin ortak kararı ile her şaft yapısı için ayrı olarak değerlendirilen gereken konum ve yüzey alanlarında taş yünü uygulaması yeterli görülmüştür. Tünel havalandırma şaftı yapılarında kullanılan ve akustik modelde ilgili yüzeylere atanan iç mekan bitirme malzemeleri ile malzemelerin 63Hz - 8kHz arasındaki oktav bantlar için ses yutma katsayıları Tablo 5’te sıralanmıştır [2]. Örnek havalandırma bacası için akustik model üzerinde belirtilen taş yünü konum ve yüzey alanı Şekil 7’de verilmiştir.

Tablo 5. Malzeme listesi ve ses yutma katsayılarının frekansa göre dağılımı (63Hz-8kHz)

Malzeme İsmi	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
%100 yutucu	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Düz boyasız beton yüzeyi	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
48-52 kg/m ³ yoğunlukta, 100mm kalınlıkta taş yünü	0,65	0,65	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



Şekil 7. Örnek havalandırma şaftı akustik modeli üzerinde taş yünü uygulaması gösterimi (taralı alan toplamda 450 m²)

3.2.2. Tünel havalandırma Şaftı Yapıları için Gürültü Kaynaklarının Modellenmesi

İstasyon içi gürültü benzetimi için Bölüm 3.1.2’de sunulan verilerden farklı olarak tünel havalandırma şaftları için modellenen trenlerin maksimum düzeyde geçişini ifade eden hızları 90km/h olarak dikkate alınmıştır. Diğer parametreler sabit tutularak yapılan hesaplara göre çizgisel gürültü kaynaklarının emisyon değerleri ile ses gücü düzeyleri Tablo 6 ve 7’de verilmiştir.

Tablo 6. 90 km/h hızda oktav bantlarda çizgisel kaynak emisyon değerleri, L_E , [dBA]

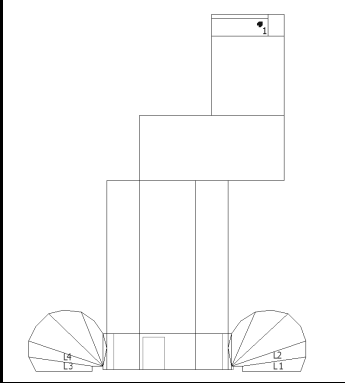
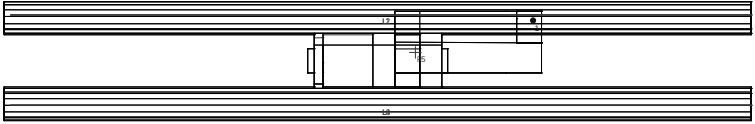
Ses kaynağı yüksekliği (cm)	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	Toplam (dBA)
0	74.9	90.7	103.2	107.2	112.6	109.6	104.9	98.0	115.9
50	68.9	84.7	97.2	101.2	106.6	103.6	98.9	92.0	109.9

Tablo 7. 90 km/h hızda oktav bantlarda çizgisel kaynak ses gücü düzeyleri değerleri, L_w , [dB/m]

Ses kaynağı yüksekliği (cm)	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	Toplam (dB/m)
0	88.3	94.0	99.0	97.6	99.8	95.6	91.1	86.3	105.0
50	82.3	88.0	93.0	91.6	93.8	89.6	85.1	80.3	99.0

3.2.3. Tünel Havalandırma Şaftı Yapıları için Benzetim Sonuçları

Tablo 8. Örnek tünel havalandırma şaftı yapısı için alıcı ve kaynak konumları (plan, kesit) ile akustik tedbir alınmış halde baca çıkış noktasında ses gücü düzeyleri

	
	Tek tren geçişi
	Alıcı No: 1 (x,y,z) = (279.00, 154.00, -190.00)
	SPL(A) = 37.7(dBA)
	İki tren geçişi
	Alıcı No: 1 (x,y,z) = (279.00, 154.00, -190.00)
	SPL(A) = 41.3(dBA)

4. DEĞERLENDİRMELER

Polonya Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nde 1.7s olarak belirtilen çınlama süresi limit değeri örnek istasyon peron katında rahatlıkla sağlanmaktadır. Hiçbir tedbir alınmadığı halde 8.43s olan orta frekanslardaki çınlama süreleri akustik tasarım ile orta frekanslarda 1.13s, düşük frekanslarda ise 2.03s'ye kadar düşürülmüştür. Diğer tüm istasyonlarda benzer değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Tünel havalandırma şaftı yapılarında, baca cadde/sokak çıkış noktası için belirlenmiş olan 45dBA üst sınırı şaft içerisindeki tüm beton yüzeyler çıplak bırakıldığı takdirde 78dBA'lere çıkarken, ihtiyaç duyulan konum ve alanlarda taş yünü yüzey uygulaması ile örnek istasyon için iki tren geçişi halinde 41dBA'e kadar düşürülmüştür. Diğer tüm şaft yapılarında gereken miktarda ve konumlarda benzer uygulama ile bacaların dış çevreye açıldığı konumlarda 45dBA üst sınırı sağlanmıştır.

Benzetim çalışmaları sayesinde iç mekan çınlama ve çevresel gürültü kontrolünde istasyon ve havalandırma şaftı yapıları tavan ve duvarlarında kullanılan ses yutucu malzemelerin tip, konum ve alan optimizasyonu yapılabilmektedir. Benzetimler ilgili akustik parametrelerin maksimum ve ortalama değerleri kadar mekan içinde gösterdikleri değişimin sergilenmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Konser ve konferans salonları için geçerliliği kanıtlanmış ve metro istasyonları için araştırmaların devam ettiği benzetim çalışmalarının ne denli güçlü ve esnek bir araç olduğu bu çalışmada ayrıca vurgulanmak istenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Sü, Z. and Çalışkan, M., Acoustical Design and Noise Control in Metro Stations: Case Studies of the Ankara Metro System, **Journal of Building Acoustics**, v.14, N.3, pp. 231-249, 2007.
- [2] Christensen, C.L., ODEON Room Acoustics Program Version 6.0 User Manual, Lyngby, 2002.