



**YERALTI METRO İSTASYONLARINDA AKUSTİK KOŞULLARIN:
ANONSLARIN ANLAŞILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ VE BİR
ÖRNEKLEM**

Seniha SOYAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Seniha SOYAL tarafından hazırlanan “YERALTI METRO İSTASYONLARINDA AKUSTİK KOŞULLARIN: ANONSLARIN ANLAŞILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ VE BİR ÖRNEKLEM” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Füsün DEMİREL

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Sedat ALTINDAŞ

Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 26/06/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Seniha SOYAL

26/06/2019

YERALTI METRO İSTASYONLARINDA AKUSTİK KOŞULLARIN: ANONSLARIN ANLAŞILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ VE BİR ÖRNEKLEM

(Yüksek Lisans Tezi)

Seniha SOYAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Günümüz modern hayatında yeraltı metro ağları; hızlı ve ekonomik oluşları, iklim koşullarından etkilenmeyişleri gibi özellikleri nedeniyle rağbet görmektedir. Kullanıcı yoğunluğunun olduğu bu mekanlar, ev sahipliği yaptığı kişilerin gündelik hayatının bir parçası olup, bu mekanların konfor koşulları, kullanıcılarını doğrudan etkilemektedir. Metro istasyonlarında konfor kavramı, görsel ve işitsel anlamda önem kazanmaktadır. Kullanıcıların konforlu ulaşımını sağlaması amacıyla bu tezde işitsel konfor dahilinde değerlendirmeler yapılmıştır. İşitsel konfor metro istasyonları için tren gürültüsünün kontrolü ve anonsların anlaşılabilir olması ile sağlanabilir. Özellikle acil durum anlarında anonsların anlaşılır olması ile kişiler kendilerini güvende hissedecek, konforlu işitsel ortam yaratılmış olacaktır. Yapılan değerlendirmeler ışığında, örnek bir istasyon üzerinde Odeon akustik simülasyon programı aracılığı ile mevcut akustik koşulları ortaya konulmuştur. Mevcut durumda, zayıf performans gösteren koşulların optimizasyonu için mimari seçimler üzerinden, iyileştirmelere dair öneriler geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 80101
Anahtar Kelimeler : Metro, yeraltı metro istasyonları, akustik performans, gürültü, anonslar, anonsların anlaşılabilirliği
Sayfa Adedi : 128
Danışman : Prof. Dr. Füsun DEMİREL

ASSESSMENT OF ACOUSTICS CONDITIONS: INTELLIGIBILITY OF
ANNOUNCEMENTS IN UNDERGROUND METRO STATIONS AND A CASE
STUDY

(M. Sc. Thesis)

Seniha SOYAL

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

In the modern world, underground subway networks are utilized by so many people, due to its many features such as being fast and economical, unaffected by the climatic conditions. These places where the user density is high, are part of the everyday life for the people who host and the comfort conditions of these places directly affect their users. In the subway stations, the concept of comfort gains importance in a visual and auditory sense. In this thesis, evaluations will be made within the scope of auditory comfort in order to provide comfortable transportation of the users. On the subway stations, the auditory comfort can be provided by the control of the train noise and the intelligibility of the announcements. Especially at emergency situation people will feel secured with clearly understood announcements and a comfortable auditory environment will be created. Based on the evaluations, the current acoustic conditions were revealed via the Odeon acoustic simulation program on the sample station. At current situation, suggestions for improvements have been developed through architectural choices to optimize poor performance conditions.

Science Code : 80101
Key Words : Metro, subway, underground metro station, acoustic performance,
noise, announcement, announcement intelligibility
Page Number : 128
Supervisor : Prof. Dr. Füsün DEMİREL

TEŞEKKÜR

Tez sürecinde başta, değerli bilgilerini paylaşarak yol gösteren, saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Füsün DEMİREL'e; çalışma boyunca yardımını esirgemeyen çok sevgili Merve GÖRKEM'e ve lisansüstü eğitimim boyunca içerisinde bulunmaktan keyif aldığım ve birçok şey öğrendiğim hocamın akustik ekibi; Zuhall ÖZÇETİN, Yusuf SEVEN, Gül İLİSULU ve Ezgi DADAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim. Aynı örneklem üzerinde çalıştığım, 'Yeraltı metro istasyonlarında yangın güvenliği' konusunda tez çalışması içerisinde olan sevgili arkadaşım Deniz ÖZDEMİR'e bu yükü benimle paylaştığı için teşekkürlerimi sunarım. Tez konusu olan yeraltı metro istasyonu örneklemi için projelerini paylaşan, araştırmalarımı destekleyen bir kuruluş oluşuyla Yüksel Proje'ye; proje desteği aşamasında yardım almamıza öncülük eden Sn. Cihan KAYHAN'a, bilgilerini paylaşarak yardımcı olan Sn. Başar BULUT ve Sn. Özgür ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim. Eğitim hayatım dışında hayatımda yer alan; çok sevgili ev arkadaşım Mahya NEBİLER'e ve yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme; kardeşim Ezgi SOYAL, annem Zuhall SOYAL ve babam Mehmet SOYAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. YERALTI METRO İSTASYONLARI.....	7
2.1. Yeraltı Metro İstasyonlarının Tipleri.....	9
2.2. Yeraltı Metro İstasyonlarının Mekânsal Tasarım Standartları.....	12
3. YERALTI METRO İSTASYONLARI VE MİMARİ AKUSTİK	21
3.1. Yeraltı Metro İstasyonlarında Mimari Akustik Sorunlar.....	24
3.1.1. Gürültü sorunu.....	25
3.1.2. Anonsların anlaşılabilirliği sorunu	33
3.2. Yeraltı Metro İstasyonlarında Mimari Akustik Performans Parametreleri.....	35
3.2.1. Nesnel parametreler	36
3.2.2. İstasyon geometrisine ilişkin parametreler.....	45
3.2.3. Bitiş malzemesi seçimine ilişkin parametreler	52
3.2.4. Ses kaynakları ve akustik tasarıma ilişkin parametreler	59
3.3. Yeraltı Metro İstasyonlarına İlişkin Ulusal- Uluslararası Mevzuat	64
3.4. Yeraltı Metro İstasyonlarına İlişkin Akustik Performans Parametreleri Özet Tablosu.....	69

	Sayfa
4. ÖRNEK ÇALIŞMA: İSTANBUL’DA BİR YERALTI METRO İSTASYONU	77
4.1. Örnekleme İlişkin Genel Bilgiler	77
4.2. Seçilen Metro İstasyonunun Hacim Akustiği Parametreleri Açısından Simülasyon Yöntemiyle Analizi	79
4.2.1. Mevcut durum analizi ve değerlendirilmesi.....	81
4.2.2. Mevcut duruma dair geliştirilen önerilerin analizi	93
4.2.3. Genel değerlendirme.....	107
5. SONUÇ	111
KAYNAKLAR	115
EKLER	121
EK-1. Peron ayırıcı kapıda kullanılan camın ve lamine camlara dair ses geçiş değerleri.....	122
EK-2. Simülasyonda kullanılan hoparlörün özellikleri.....	123
EK-3. Tek hoparlörün ses basınç seviyesinin yayılımı	124
EK-4. Senaryo 2 14 alıcı noktada mevcut durum ve geliştirilen öneri sonrasında SPL(A) değerleri.....	125
EK-5. Senaryo 3a 14 alıcı noktada mevcut durum ve geliştirilen öneri sonrasında STI değerleri.....	126
EK-6. Senaryo 3c 14 alıcı noktada mevcut durum ve geliştirilen öneri sonrasında STI değerleri.....	127
ÖZGEÇMİŞ	128

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Literatür araştırması tablosu-1	5
Çizelge 1.2. Literatür araştırması tablosu-2	6
Çizelge 2.1. Kullanım amaçlarına göre en az genişlik ölçüleri	17
Çizelge 2.2. Net platform genişliği	18
Çizelge 3.1. Gürültülerin sınıflandırılması	27
Çizelge 3.2. Reverberasyon süresi, ses basınç düzeyi ve konuşmanın iletim indeksi parametreleri hedef değerleri	36
Çizelge 3.3. Konuşmanın İletim İndeksi ve Konuşmanın Anlaşılabilirliğinin yüzdesel olarak ağırlıklarının anlaşılabilirlik oranı.....	43
Çizelge 3.4. Tünelde ölçülen reverberasyon süreleri	56
Çizelge 3.5. Tünelde hesaplanan yutuculuk katsayıları	56
Çizelge 3.6. Hoparlöre uygulanan güce bağlı olarak ses seviyesinin örneği.....	62
Çizelge 3.7. Yeraltı sesli alarm sistemleri için gerekli akustik parametreler ve performans kriterleri.....	63
Çizelge 3.8. Hafif raylı sistemler için çevresel gürültü sınır değerleri.....	65
Çizelge 3.9. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirmesi-1	70
Çizelge 3.10. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirmesi-2.....	71
Çizelge 3.11. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirmesi-3.....	72
Çizelge 3.12. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirmesi-4.....	73
Çizelge 3.13. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirmesi-5.....	74
Çizelge 4.1. Mimari tasarım parametreleri dahilinde mevcut durumun değerlendirilmesi	77
Çizelge 4.2. Simülasyon programında verilen malzemelerin yutuculuk katsayıları.....	80
Çizelge 4.3. Simülasyon planı özet tablosu	81

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.4. 34 alıcı noktada alınan simülasyonda T_{30} değerleri.....	82
Çizelge 4.5. Peron ayırıcı kapıda kullanılan camın ses geçiş kaybı değerleri.....	84
Çizelge 4.6. Tren geçişi için çizgi kaynağın ses gücü seviyeleri.....	85
Çizelge 4.7. Hoparlörün ses gücü seviyesi	87
Çizelge 4.8. Örneklemin mevcut durumunun analiz sonuçları.....	92
Çizelge 4.9. Önerilen malzemelerin yutuculuk katsayıları.....	94
Çizelge 4.10. Önerilerde kullanılan bitiş malzemeleri	95
Çizelge 4.11. 34 alıcı noktada alınan birinci öneri sonucunda elde edilen T_{30} değerleri.....	96
Çizelge 4.12. 34 alıcı noktada alınan ikinci öneri sonucunda elde edilen T_{30} değerleri	96
Çizelge 4.13. 34 alıcı noktada alınan üçüncü öneri sonucunda elde edilen T_{30} değerleri	96
Çizelge 4.14. Örneklemin mevcut durumu ve akustik performans için geliştirilen önerilerin analiz sonuçları.....	109

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tüp tünel tekniğine göre yapılmış Münih istasyonu	10
Şekil 2.2. İstasyonun yer üstünde, peronun yeraltında olduğu istasyonlar	11
Şekil 2.3. İstasyon giriş kabuğunun yer üstünde, işletmenin yeraltında olduğu istasyonlar.....	11
Şekil 2.4. Yan peron (karşılıklı).....	12
Şekil 2.5. Orta peron.....	12
Şekil 2.6. Çoklu peron.....	12
Şekil 2.7. Tipik yeraltı metro istasyonu kesiti	16
Şekil 2.8. Peron katı tip en kesitleri	17
Şekil 2.9. Plâtfom kenarında emniyet sığınma nişi.....	19
Şekil 2.10. Yeraltı metro istasyonları tip kesitleri (soldaki; kenar tipi peron, sağdaki; ada tipi peron)	19
Şekil 3.1. Ses basınç düzeyinin azalım değerinin uzaklık ve kaynak tipi ile ilişkisi	22
Şekil 3.2. Yeraltı istasyonlarında gürültü tanımlama şeması	28
Şekil 3.3. Metro gürültüsü ölçümleri: zamansal değişim	29
Şekil 3.4. Trenin hareketi sırasında çevreye yayılan gürültü bileşenleri.....	31
Şekil 3.5. Tünellerde gürültü bileşenleri	31
Şekil 3.6. Düşüş eğrisi üzerinde RT ve EDT'nin belirlenmesi.....	38
Şekil 3.7. Yeraltı-yerüstü istasyonlarında ve tünellerde gürültünün yansımaları	39
Şekil 3.8. Hong Kong Kwai Fong istasyonunun uzunluğu boyunca ve 1 kHz'de ölçülen ses azalımı karşılaştırılması ve klasik teoriyle Beranek ve Kang'ın uzun hacimler teorisi ile karşılık gelen hesaplamalar	40
Şekil 3.9. London St. John's Wood metro istasyonunda anons sistemlerinin; konuşmanın iletim indeksinin tren gürültüsü ile ilişkisi	41
Şekil 3.10. Konuşmanın iletim indeksinin performans değerlendirmesi	43
Şekil 3.11. Gürültüyle maskelenmiş bir konuşma sinyalinin spektrumunun ve objektif bir anlaşılabilirlik tahminine yönelik ağırlıklı toplamının gösterimi	44

Şekil	Sayfa
Şekil 3.12. Konuşmanın iletim indeksi (STI) ile sinyal-gürültü oranı arasındaki ilişki.	45
Şekil 3.13. Konuşmanın iletim indeksi (STI) ile reverberasyon süresi arasındaki ilişki	45
Şekil 3.14. Yeraltı metro istasyonları tip kesitleri (soldaki; kenar tipi, sağdaki; ada tipi peron) (istasyon genişliği (Gi), istasyon yüksekliği (Hi), peron genişliği (Gp), peron yüksekliği (Hp), peron tavan yüksekliği (Ht)).....	47
Şekil 3.15. Sesin yansıması ile yüzey ilişkisi	48
Şekil 3.16. (a) Yarı yükseklikte peron kapısı, (b) Tam yükseklikte peron kapısı.....	51
Şekil 3.17. Peron altı duvar ve hatlar arası yutucu bariyer kullanımı	58
Şekil 3.18. Elektro-akustik iletim kesiti diyagramı.....	60
Şekil 3.19. Serbest alanda güçlendirilmemiş ses kaynağı ve alıcı olarak insan	61
Şekil 3.20. İç mekanda güçlendirilmiş ses kaynağı ve alıcı olarak mikrofon	61
Şekil 4.1. Peron katı planı (+1.00 Kotu).....	78
Şekil 4.2. A-A kısmi kesiti (peron kesiti).....	79
Şekil 4.4. Plan düzleminde kaynak ve alıcı noktaları	82
Şekil 4.5. 500 Hz’de peron katı T_{30} değeri dağılımı	83
Şekil 4.6. 1000 Hz’de peron katı T_{30} değeri dağılımı	83
Şekil 4.7. Plan düzleminde kaynak ve alıcı noktaları	85
Şekil 4.8. 14 alıcı noktada tespit edilen SPL(A) değerleri	85
Şekil 4.9. Trenin peron ve hatta oluşturduğu SPL(A) değeri dağılımı.....	86
Şekil 4.10. Plan düzleminde kaynak ve alıcı konumları	87
Şekil 4.11. Senaryo 3a’da alıcı noktalarına göre STI değerleri	88
Şekil 4.12. Senaryo 3a’da alıcı noktalarına göre STI değerleri.....	88
Şekil 4.13. Senaryo 3b’de alıcı noktalarına göre STI değerleri.....	89
Şekil 4.14. Senaryo 3b’de alıcı noktalarına göre STI değerleri.....	90
Şekil 4.15. Senaryo 3c’de alıcı noktalarına göre STI değerleri.....	91
Şekil 4.16. Senaryo 3c’de alıcı noktalarına göre STI değerleri.....	91

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. Senaryo 3a-b-c’de alıcı noktalarına göre STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi.....	92
Şekil 4.18. Senaryo 1’de geliştirilen üç önerinin 34 alıcı noktada ortalama T_{30} değerlerinin oktav bantlarda karşılaştırmalı gösterimi	97
Şekil 4.19. Öneri 1’de 14 alıcı noktada tespit edilen SPL(A) değerleri.....	97
Şekil 4.20. Öneri 1’de trenin peronda oluşturduğu SPL(A) değeri dağılımı.....	98
Şekil 4.21. Öneri 2’de 14 alıcı noktada tespit edilen SPL(A) değerleri.....	98
Şekil 4.22. Öneri 2’de trenin peronda oluşturduğu SPL(A) değeri dağılımı.....	99
Şekil 4.23. Öneri 3’te 14 alıcı noktada tespit edilen SPL(A) değerleri.....	99
Şekil 4.24. Öneri 3’te trenin peronda oluşturduğu SPL(A) değeri dağılımı.....	100
Şekil 4.25. Senaryo 2’de geliştirilen üç önerinin 14 alıcı noktada SPL(A) değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi	100
Şekil 4.26. Senaryo 2’de geliştirilen üç öneri ve mevcut durumun 14 alıcı noktada SPL(A) değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi	101
Şekil 4.27. 14 alıcı noktada Öneri 1’e göre STI değerleri.....	101
Şekil 4.28. Öneri 2’de 14 alıcı noktada STI değerleri.....	102
Şekil 4.29. Öneri 3’te 14 alıcı noktada STI değerleri.....	103
Şekil 4.30. Senaryo 3a’da geliştirilen üç önerinin 14 alıcı noktada STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi.....	103
Şekil 4.31. Senaryo 3a’da geliştirilen üç öneri ve mevcut durumun 14 alıcı noktada STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi	104
Şekil 4.32. 14 alıcı noktada Öneri 1’e göre STI değerleri.....	105
Şekil 4.33. 14 alıcı noktada Öneri 2’ye göre STI değerleri.....	105
Şekil 4.34. 14 alıcı noktada Öneri 3’e göre STI değerleri.....	106
Şekil 4.35. Senaryo 3c’de geliştirilen üç önerinin 14 alıcı noktada STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi.....	106
Şekil 4.36. Senaryo 3c’de geliştirilen üç öneri ve mevcut durumun 14 alıcı noktada STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi	107

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. St. Lazare metro istasyonu, Paris, 1903. Aç-kapa kazı yöntemi ile yapılan kazıdan görüntüler	10
Resim 2.2. Paris metrosu girişi	14
Resim 2.3. Yeraltı metro istasyon holü Komsomolskaya metro istasyonu, T-Centralen metro istasyonu.....	15
Resim 3.1. Paris'teki Magenta istasyonu platform altındaki pistlerin ve yan duvarlarının arasındaki platform ve gürültü emici bölmeler	49
Resim 3.2. Peron ayırıcı kapı.....	50
Resim 3.3. Balastlı ve balastsız demiryolu hattı	55
Resim 3.4. Peron uç duvarı ve tünel girişi.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
AI	Artikülasyon İndeksi
C₅₀	Açıklık
D₅₀	Netlik
dB	Desibel
dBA	A-Ağırlıklı Ses basınç düzeyi birimi
EDT	Erken Azalma Süresi
Hz	Hertz
IACC	Kulaklar Arası Karşılıklı İlişki Katsayısı
L_{eq}, L_{Aeq}	Eşdeğer Sürekli Ses Basınç Düzeyi
MTF	Modülasyon Transfer Faktörü
RASTI	Hızlı Konuşmanın İletim İndeksi
RT	Reverberasyon Süresi
SII	Konuşmanın Anlaşılabilirliği İndeksi
SI	Konuşmanın Anlaşılabilirliği
SNR	Sinyal-Gürültü Oranı
SPL	Ses Basınç Düzeyi
STI	Konuşmanın İletim İndeksi
STIPA	Anons Sistemleri İçin Konuşmanın İletim İndeksi
α	Yutuculuk Katsayısı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ACLE	Uzun Hacimlerde Akustik (<i>Acoustics of Long Enclosures</i>)
BSI	İngiliz Standart Enstitüsü (<i>British Standard Institution</i>)
D&B	Delme ve Patlatma (<i>Drilling & Blasting</i>)
GFRC	Cam Elyaf Takviyeli Beton (<i>Glass Fiber Reinforced Concrete</i>)
MFH	Tam Yükseklikte Peron Ayırıcı Kapı (<i>Mobile Full-Height</i>)
MHH	Yarı Yükseklikte Peron Ayırıcı Kapı (<i>Mobile Half-Height</i>)
NFPA	Ulusal Yangından Korunma Kurumu (<i>National Fire Protection Association</i>)
PA	Anons Sistemleri (<i>Public Address</i>)
QRD	Farklı Derinlikli Nervürlü Saçıcılar
SNR	Sinyal-Gürültü Oranı (<i>Signal-to-Noise Ratio</i>)
TBM	Tünel Sondaj Makinesi (<i>Tunnel Boring Machine</i>)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (<i>World Health Organization</i>)

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi sonrası insanların gündelik alışkanlıkları değişerek, yaşam tempoları artmıştır. Ulaşım araçları bu temponun gerisinde kalmış; insanların bir yerden bir yere kısa sürede ve konforlu şekilde ulaşımını sağlamaları amacıyla yeraltı metro sistemleri var olmaya başlamıştır. Günümüzde yeraltı metroları; trafik, iklim koşulları gibi olumsuz şartlardan etkilenmemeleri ile rağbet gören ulaşım araçları haline gelmişlerdir [1].

Yeraltı istasyonlarına artan talep ile birlikte metropollerde yeraltı metro ağları genişlemektedir. Yoğunluğun fazla olduğu bu mekanların iç mekân kaliteleri halk sağlığı ve güvenliği için önem arz etmektedir. Metrolarda dikkat edilecek en önemli konulardan biri yangın güvenliğidir. Yangından kaçış yolları, malzemelerin yangına dayanımları gibi konular metro istasyonu tasarımında birincil kriter olmaktadır. Bunun yanında iç mekân kalitesi olarak değerlendirilen aydınlatma, havalandırma ve gürültü insanların sağlığını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Tasarım aşamasında bu denli yoğun kullanıma sahip mekânların iç mekân kaliteleri göz önünde bulundurularak hareket edilmelidir [1].

Bu çalışmada; literatür çalışması doğrultusunda metrolarda oluşan gürültünün kontrolü, akustik koşulların iyileştirilmesine ve anonsların anlaşılabilirliğine yönelik değerlendirmeler ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Tez kapsamında ilk bölümde; metro istasyonlarının tipleri ve mekânsal tasarımları standartlar dahilinde incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümde mimari akustik; mimari akustik parametreler, istasyonun mimari özelliklerinin akustik üzerinde etkisi ve mevzuat kapsamında incelenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda yeraltı metro istasyonları için akustik performans parametreleri oluşturulmuştur. Son bölümde ise İstanbul'da bulunan örnek bir yeraltı istasyonun, akustik benzetim programı yardımı ile mevcut durumu ortaya konularak, değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Yüksek kapasite, hız ve kolaylık özelliklerine sahip olan metrolar, kentin karayolu trafiği durumunun iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Problem durumu olarak; metro uygulaması kaçınılmaz olarak gürültü kirliliği sorununu da beraberinde getirmiştir. İstasyona yaklaşan ve ayrılan (gelen ve giden) bir metro treni sırasında, tekerleklerin raylar ile temas etmesi, sürtünmesiyle oluşan gürültüler ve ayrıca frenlerden kaynaklanan sesler, bekleme alanlarındaki gürültü seviyelerini arttırmaktadır.

Yeraltı metro istasyonları gün içerisinde binlerce-milyonlarca insanın günlük rutinin bir parçasıdır; bu mekanların konfor koşulları toplumun hem psikolojik hem de fizyolojik sağlığı için önem arz eder. Konfor kavramı ise duyular ile doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda tezde; işitme duyusu üzerine gürültü kontrolü ve anonsların anlaşılabilirliği ele alınmıştır.

Bu çalışmanın amacı, metro istasyonlarında konuşmanın anlaşılabilirliğini arttırmak ve akustik ortamın iyileştirilmesine yönelik tasarım aşamasında çözüm önerileri sunmaktır. Söz konusu önerilerin pratikte uygulanabilmesi amacıyla; simülasyon programı ile henüz kesin proje aşamasında, İstanbul'da olan bir yeraltı metro istasyonunun mimari akustik tasarımı ve anons sistemleri ile ilgili örnek bir çalışma yapılmıştır.

Metro istasyonlarındaki anonsları anlamak ciddi bir sorundur. Arka plan gürültüsü, bitiş malzemeleri, hacmin geometrisi gibi faktörler konuşmanın anlaşılabilirliğini etkilemektedir. Konuşmaların anlaşılabilirliğini geliştirmek, yolcu ve personelin konforu için önem arz etmektedir. Bu tezde çalışma alanı olarak seçilen metro istasyonlarında, gürültünün kontrolü ve anonsların anlaşılabilirliğinin artırılması sonucunda beklenen işitsel konforun sağlanması ile kullanıcıların 'güven' duygusunu hissedebileceği mekanlar oluşturulması hedeflenmiştir.

Bu araştırmanın önemi; yeraltı istasyonları yüksek risk altında olan alanlardır ve özellikle acil durum anlarında işitsel konfor hayati önem taşır. Bu durum doğrultusunda, ekonomik değerlendirmelerin geçerli olmayacağı ve standart altı anons sistemleri performansına izin verilmesi uygun olmayacaktır. Söz konusu bu araştırma, kılavuz belgelerin eksiklikleri ve ihtiyaçlarına dikkat çekme açısından önem arz etmektedir.

Metro istasyonlarında akustik; mimari, mekanik, elektrik gibi birçok disiplini içerisinde barındırmaktadır. Bu tezde; elektro akustik konusu sınırlılıklar kapsamında dışarıda tutulmuş olup, mimari akustik çerçevesinde çözüm önerileri sunulmuştur.

Yeraltı metro istasyonlarının esas kullanım alanı olan peron katında akustik, nesnel akustik parametreleri dahilinde değerlendirilmiş olup; giriş, mezanin katı, ofisler vb. diğer mekanlar tezin çalışma alanı dışında tutularak, yapı akustiği ele alınmamıştır.

Yöntem olarak; ‘Yeraltı metro istasyonlarında akustik koşulların, anonsların anlaşılabilirliğinin incelenmesi ve bir örneklem’ adlı bu tez çalışmasında literatür araştırması ışığında çözüm önerileri getirilmiş ve örnek çalışma ile desteklenmiştir.

Yeraltı metro istasyonlarında akustik kavramı; nesnel akustik parametreleri, akustik performans etmenleri, yeraltı metro istasyonlarında akustik sorunlar, ulusal-uluslararası mevzuat kapsamında incelenerek ve yeraltı metro istasyonları için akustik performans kriterleri özet tablosunda veriler özetlenmiştir. Oluşturulan bu performans kriterlerini pratikte kullanmak amacıyla, kesin proje aşamasında olan bir metro istasyonu, çalışmada örneklem olarak seçilmiştir. Öncelikle, Sketch Up programında istasyon modellendikten sonra Odeon 10.02 simülasyon programında istasyonun akustik performansı analiz edilmiştir. Odeon 10.02 simülasyon programı aracılığı ile istasyonun mevcut akustik koşulları öngörüm yapılarak; ses basınç düzeyi (SPL), reverberasyon süresi (T_{30}), konuşmanın iletim indeksi (STI) parametreleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

Literatür incelemesi sonucunda; metro istasyonlarının akustiği üzerine yapılan araştırmaların, bu yapıların birçok yapı türüne oranla daha yeni bir yapı türü olması nedeniyle sınırlı olduğu görülmüştür. Ancak temelde, metro istasyonları uzun hacim ya da koridor mantığı ile değerlendirilebilirler. Uzun hacimler; yaygın olmayan ses alanlarına sahiplerdir. Yaklaşık yirmi yıl önce, Kang (Çizelge 1.1) tarafından bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Kang; ölçek modeli ölçümleri, sayısal simülasyonlar ve teorik açıklamalar kullanarak yaptığı çalışmalarında, klasik oda akustiği teorisine göre uzun hacimlerin özelliklerini tespit etmeyi amaçlamıştır. Ayrıca bu alanların doğrusal olmayan azalma karakteristiklerini ve yayılmsızlıklarını araştırmıştır [2-9]. Daha sonra, Yang ve Shield [10], dikdörtgen kesitli yeraltı istasyonlarında konuşma anlaşılabilirliğini ve ses alanını tahmin etmek

için bilgisayar simülasyon programı geliştirmişlerdir. Harrison [11], metro istasyonlarında anons sistemlerinin anlaşılabilirliği için bir hesaplama yöntemi geliştirmiştir.

Soeta (izelge 1.2) yaptığı çalışmalarda ise istasyonun yapısal özellikleri, yeraltı veya yerüstünde oluşu, peron ayırıcı kapı kullanımı, peron tipi ve bitiş malzemelerinin varyasyonları ile akustik parametrelerin değişimlerini incelemiştir [12-20].

S ve alışkan [21], akustik benzetim programı aracılığıyla Ankara'daki üç metro istasyonunun akustik tasarımı yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada; tavanda ve yan duvarlarda kullanılan ses yutucu malzemelerin akustik performans üzerindeki başarısını göstermişlerdir. Aynı yöntemle S ve alışkan [22], Varşova'da bir istasyonun; gürültü ve titreşim kontrolü amacı ile akustik tasarımı yapmışlardır.

Berardi ve diğerleri [23], Napoli'de dört istasyonun akustik performansını değerlendirmişlerdir. Bu istasyonlar, farklı konseptleri ve ilgi çekici tasarımları ile i mimarileri etkileyicidir. lm ve simülasyon yapılarak karşılaştırmalı çalışma yapılmıştır. lm sonuçlarında elde ettikleri değerler optimum değerlerin altında kalmıştır. Uygun koşulların yakalanması amacıyla Odeon simülasyon programında; istasyonların tavanlarında mantar granüllü yangın dayanımlı sıva (fire proof plaster with cork granules) kullanmışlardır.

Çizelge 1.1. Literatür araştırması tablosu-1

Yazar/Yazarlar	Yılı	Yapıldığı Yer	Çalışmanın Türü	Kullanılan Yöntem	Yayının Adı
Jian Kang	1996	İngiltere	Makale	-	Acoustics in long enclosures with multiple sources
	1996	İngiltere	Makale	Ölçek Model Ölçümü- Hesaplama	Improvement of the STI of multiple loudspeakers in long enclosures by architectural treatments [7].
	1996	İngiltere	Makale	Görüntü kaynak hesaplama metodu	Sound Attenuation in Long Enclosures [6].
	1996	İngiltere	Makale	-	Reverberation in Rectangular Long Enclosures with Geometrically Reflecting Boundaries [9].
	1996	İngiltere	Makale	-	Modelling of train noise in underground stations
	1996	İngiltere	Makale	-	The Unsuitability of the Classic Room Acoustical Theory in Long Enclosures [8].
	1997	İngiltere	Makale	-	Scale modelling of train noise propagation in an underground station [5].
	1997	İngiltere	Makale	-	Speech intelligibility improvement for multiple loudspeakers by increasing loudspeaker directionality architecturally
	1997	İngiltere	Makale	Ölçek Model Ölçümü- Hesaplama	Acoustics of long underground spaces [4].
	1997	İngiltere	Makale	Simülasyon	A method for predicting acoustic indices in long enclosures [3].
	1997	İngiltere	Makale	-	Modelling of train noise in underground stations
	1998	İngiltere	Makale	-	Scale Modelling for Improving the Speech Intelligibility from Multiple Loudspeakers in Long Enclosures by Architectural Acoustic Treatments
	2002	İngiltere	Kitap	-	Acoustics of Long Spaces: theory and design guidance [2].
	2002	İngiltere	Makale	-	Reverberation in Rectangular Long Enclosures with Diffusely Reflecting Boundaries

Çizelge 1.2. Literatür araştırması tablosu-2

Yazar/Yazarlar	Yılı	Yapıldığı Yer	Çalışmanın Türü	Kullanılan Yöntem	Yayının Adı
Lening Yang Shield M. Bridget	1997	Londra-İngiltere	Doktora Tezi	Ölçüm-Hesaplama-Simülasyon	Computer Modelling of Speech Intelligibility in Underground Stations [24].
Lening Yang Shield M. Bridget	2001	Londra-İngiltere	Makale	Ölçüm-Hesaplama-Simülasyon	The prediction of speech intelligibility in underground stations of rectangular cross section [10].
Matthew Harrison	2001	İngiltere	Makale	Hesaplama	Calculating speech intelligibility for the design of public address systems at railway stations [11].
Zühre Sü Mehmet Çalışkan	2007	Ankara-Türkiye	Makale	Simülasyon (ODEON)	Acoustical Design and Noise Control in Metro Stations: Case Studies of the Ankara Metro System [21].
Yoshiharu Soeta Ryota Shimokura	2009	Japonya	Makale	Ölçüm	Evaluation of speech intelligibility of sound fields in passenger train compartments [20].
Yoshiharu Soeta Ryota Shimokura	2011	Japonya	Makale	Ölçüm	Characteristics of train noise in above-ground and underground stations with side and island platforms[18].
Zühre Sü Mehmet Çalışkan	2011	Varşova-Polonya	Makale	Simülasyon (ODEON)	Varşova Metro Sistemi (Faz II) İstasyonları Akustik Tasarımı [22].
Yoshiharu Soeta Ryota Shimokura	2012	Fukuoka-Japonya	Makale	Ölçüm-Simülasyon (TNIS)	Sound field characteristics of underground railway stations – Effect of interior materials and noise source positions [15].
Yoshiharu Soeta Ryota Shimokura	2012	Japonya	Makale	Ölçüm-Hesaplama (ANOVA)	Change of acoustic characteristics caused by platform screen doors in train stations [16].
Yong Hee Kim Yoshiharu Soeta	2012	Japonya	Makale	Simülasyon (ODEON)	Temporal and spectral characteristics of public address announcements in subway platforms with various finishing materials using computer simulation [17].
Yoshiharu Soeta Yong Hee Kim	2013	Japonya	Makale	Ölçüm	Effects of reverberation and spatial diffuseness on the speech intelligibility of public address sounds in subway platform for young and aged people [12].
Yoshiharu Soeta Yong Hee Kim	2013	Japonya	Makale	Simülasyon (ODEON)	Architectural treatments for improving sound fields for public address announcements in underground station platforms[13].
Umberto Berardi Gino Iannace Giovanna Giordano	2015	Napoli-İtalya	Makale	Ölçüm-Simülasyon (ODEON)	Acoustic Characteristics of Four Subway Stations in Naples, Italy [23].

2. YERALTI METRO İSTASYONLARI

Bu bölümde yeraltı metro istasyonlarının; tarihçesi, tipleri, iç mimari tasarım kriterleri ve standartları ele alınmıştır. Metro istasyonları, kentsel yaşamdaki birtakım problemlerin ya da eksikliklerin ortaya çıkmasına bağlı olarak tercih edilmiş olup, geniş çaplı bir organizasyona dayalı toplu ulaşım sisteminin parçasıdır. Bu problemlerden birkaçı; düzensiz kentleşme, yüksek yoğunluktaki kent dokusu, yüksek kamulaştırma maliyetleri ve yer üstündeki toplu taşıma araçlarının yetersiz olması gibi durumlardır. Bu yüzden, trafikten tamamen kopartılmış hızlı bir sistem olması, olumsuz iklim koşullarından etkilenmemesi ve sürdürülebilir olması nedeniyle yeraltı metro ağları günümüzde sıkça kullanılan toplu ulaşım sistemlerinden biri haline gelmiştir.

Tarihçe

Dünyanın ilk yeraltı demiryolunun yapımına, 1860'ta, Londra'da başlanmıştır [25]. Buharlı trenlerin kullanıldığı; Paddington ile Farrington sokağı arasında önce bir kanal açılmış daha sonra demiryolu hattı döşenerek üzeri kapatılmıştır. Böylece dünya metrolarının öncüsü, 6 km uzunluğundaki, Metropolitan Line hizmete sunulmuştur. Buharlı trenlerin yeraltındaki yoğun trafiğinden kaynaklanan sorunlar başlangıçta metronun gelişmesini durdurmuştur. Metronun gelişmesi, elektriğin sağladığı olanakların kullanılmaya başlandığı 19. yüzyılın sonunda gerçekleşmiştir ve dünyanın elektrikle çalışan ilk metro hattı 1890 yılında yine Londra'da kurulmuştur [26, 27].

Konfor

Yeraltı metro istasyonlarındaki yolcuların alanları sorunsuz bir şekilde kullanımının sağlanması, bu alanların konfor ölçütlerine uygun tasarlanmasına ve uygulanmasına bağlıdır. Söz konusu mekanlarda kullanıcı konforu sağlanmadığında, kullanımı zorlaşan, yolcuların fiziksel ve psikolojik olarak olumsuz etkilendikleri verimsiz ortamlara dönüşmektedir [28]. Örneğin; güvenlikle ilgili konfor ölçütleri sağlanmadığında kaza geçirme, görsel konforla ilgili ölçütler sağlanmadığında strese girme, işitme konforuyla ilgili ölçütler sağlanmadığında yapılan anonsları anlayamama gibi çok çeşitli olumsuzluklar yaşanabilmektedir. Bu nedenle yer yüzeyinden metrelerce uzakta ve dış ortam koşullarından

tamamen kopartılmış bir ortamda düzenlenen bu yapılarda, yolcuların gereksinimleri konforlu bir biçimde karşılanmalıdır [28].

Konfor koşulları sağlanması, insanların duyu organları ile algıladıkları mekanlarda görsel ve işitsel optimum koşulların oluşması gerekmektedir. Mekân; sınırları, yüzeylerin biçimi, renkleri ve dokusuyla algılanmaktadır; sadece görsel bağlamda ele alınmamalı ancak görsel konforun sağlanması mekân kavramını doğrudan etkilediği için en basit yol olarak düşünülebilir. Metrolarda görsel olarak değerlendirildiğinde; aydınlatma, dekorasyon ve sanatsal çalışmalar etkin faktörler olarak görülebilir.

Yeraltı metro istasyonlarında doğal ışıktan yararlanılamadığından yapay aydınlatma yapılmalıdır. Doğru ve yeterli şekilde aydınlatma ile gözde kamaşma, kontrastlık önlenabilir ve rahat görme sağlanabilir. İstasyonlardaki aydınlatma ile emniyeti, güvenliği, konfor ve zevki arttıracak, yolcu dolaşımını kolaylaştıracak, aydınlatma oranında ani geçişler olmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Göz aydınlık mekanlara veya aydınlık mekanlardan karanlık mekanlara geçişte adaptasyon zorluğu yaşadığı için istasyonda aydınlık seviyesi her yerde aynı olmalıdır. Bu nedenle, mekanlar arası ışık geçişlerinin keskin olmaması gerekir. ancak peron, merdiven kenarı ve sahanlıklar ile ücret toplama alanları, uyarılması gerekli tehlikeli alanlar gibi yerler, dikkat çekmek için daha yüksek seviyede aydınlatılmalıdır [25, 26]. Ray hattındaki aydınlatma seviyesi, en az düzeyde sağlanıp, rayların bulunduğu bölüm perondan, aydınlık seviyesindeki kontrast farkı ile ayrılmalıdır.

Metrolar kamusal geçiş mekanları olarak değerlendirilebilir, bu mekanlara sergi işlevi eklendiğinde, toplumun sanatla ilişkisi artmakta yeraltı metro istasyonları ulaşım işlevi dışında, müze veya galeri olarak sanata da hizmet edebilmektedir [28]. Görsel konforu, renk seçimleri de etkilemektedir; mekana ait kimlik, yönlendirme ve estetik için en rahat ifadeli araç olarak düşünülebilir [29].

Metro istasyonları birçok etmen nedeniyle oldukça gürültülü alanlardır. Tezin kapsamı olan gürültünün azaltımı ve anonsların anlaşılabilir olması, işitsel konforun sağlanması için esas hedeflerdir. Tez içerisinde bu konular geniş çerçevede incelenmiştir. Bunun dışında istasyonlarda sokak sanatçılarının müzik icra ettiklerini sıklıkla görürüz. Sokak sanatçıları için de uygun ortam sağlandığında, insanların gün içerisinde kullandıkları bu mekanlarda

keyifli vakit geçirebilmeleri mümkün kılınabilir. Bu çalışmada işitsel konfor çerçevesinde değerlendirmeler yapılmıştır.

Bütün bahsi geçen konular metro istasyonlarının mimarisi ile doğrudan ilgilidir ve ilerleyen aşamalarda metro istasyonlarının mimari tasarım kriterlerinden bahsedilmiştir.

2.1. Yeraltı Metro İstasyonlarının Tipleri

Metro istasyon tipleri, istasyonun farklı kullanım çeşitlerine göre 3'e ayrılır [30]:

a. İnşaat yöntemine göre (İstasyon derinliğine göre belirlenir):

- Tamamı Aç-Kapa (*cut & cover*)
- Aç- Kapa+ Delme Tünel (*bored tunnels*)

b. İşletme yapısına göre:

- Yer üstü işletme yapısı
- Yeraltı işletme yapısı

c. Peron tipine göre:

- Yan Peron (kenar)
- Orta Peron (ada)
- Çoklu Peron (aktarma ya da entegrasyon olan istasyonlarda)

İnşaat yöntemine göre

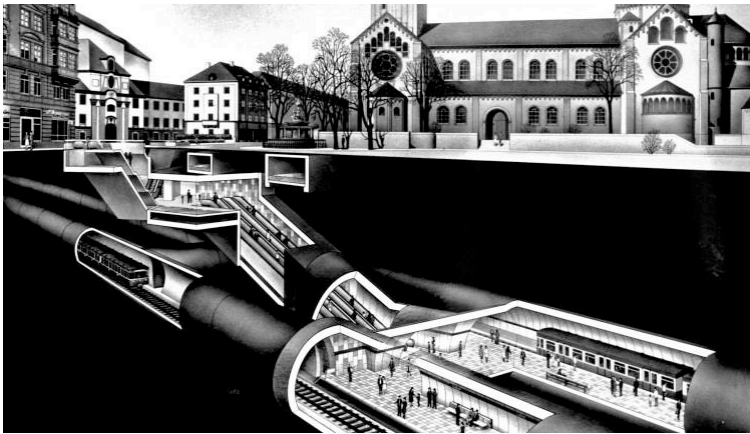
İnşaat yöntemine göre sınıflandırılan istasyonlar iki çeşit hafriyat yöntemi ile inşa edilirler ve hafriyat yöntemleri yapının yapım sistemine de ismini vermektedir. En yaygın olan sistemler aç-kapa ve tüp tünel tekniğidir. Aç-kapa tekniği hafriyatın en kolay olduğu yöntemdir. Zemin, istasyon yapımı sırasında toplam uzunluk, genişlik ve derinlik kadar kazılarak açılır, yapı kabuğu tamamlandıktan sonra üstü kapatılır [29].



Resim 2.1. St. Lazare metro istasyonu, Paris, 1903. Aç-kapa kazı yöntemi ile yapılan kazıdan görüntüler [31]

Tüp tünel tekniğinde ise uygulama yöntemi, çelik plakalı taşınabilir bir silindir şekilli tüp ile siper açılmasıdır [32]. Tüneller, tünel sondaj makinesi (TBM) kullanılarak toprağın itilmesi ile açılır [33]. “Köstebek” olarak da bilinen bu tünel sondaj makinesi (TBM), çeşitli toprak ve kaya tabakaları boyunca dairesel kesitli tünelleri kazmak için kullanılan bir makinedir. Tünel çapları, bir metreden (mikro TBM'lerle yapılan), neredeyse 16 metreye kadar değişebilir. Tünel delme makineleri, kaya ve geleneksel toprakta "el madenciliği" yönteminde delme ve patlatma (D&B) yöntemlerine alternatif olarak kullanılmaktadır. Tüneller uzadıkça uygulama zorlaşacağından, daha hızlı ve risksiz olan tünel sondaj makineleri tercih edilmektedir [34].

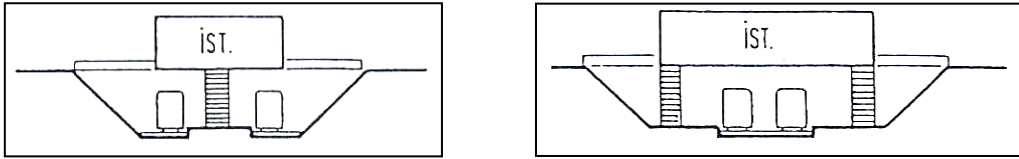
Tüp tünel tekniğinde kemer şeklinde tünel açılarak, tek bir istasyon oluşturulup, peronları yerleştirmek için istasyonda genişletme yapılırsa yeraltında ikiz tünel elde edilir. Şekil 2.1'de tünel tekniğine göre yapılmış Münih İstasyonu görülmektedir [29].



Şekil 2.1. Tüp tünel tekniğine göre yapılmış Münih istasyonu [32]

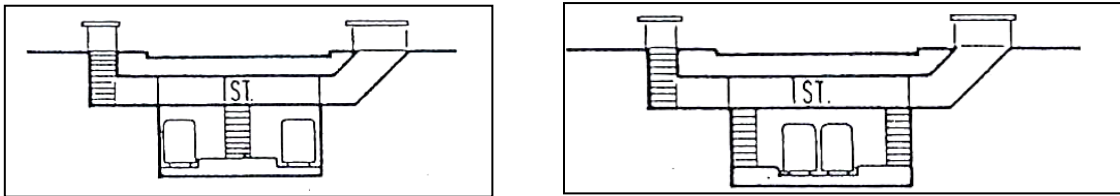
İşletme yapısına göre

İstasyonlar, işletme yapısının konumuna göre 2'ye ayrılır: Öncelikle istasyon yer üstünde olduğu durumlarda istasyona üstten giriş yapılarak yeraltına peron katına inilir. Yer üstünde kalan istasyonlar da kendi aralarında karşılıklı peronlara sahip olması ya da yan yana peronlara sahip olması şeklinde 2'ye ayrılır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. İstasyonun yer üstünde, peronun yeraltında olduğu istasyonlar [25]

İkinci tip işletme sistemi ise istasyon kabuğunun üstte işletmenin yani istasyonun yer altında olmasıdır. Bu tip istasyonlarda yer üstünde bir yapı olmamasına rağmen giriş saçağı ve metro tabelası ile orada bir metro istasyonunun yer aldığı algılanır ve aşağıda yer alan istasyona doğru yönlendirme sağlanır (Şekil 2.3) [30].



Şekil 2.3. İstasyon giriş kabuğunun yer üstünde, işletmenin yeraltında olduğu istasyonlar[25]

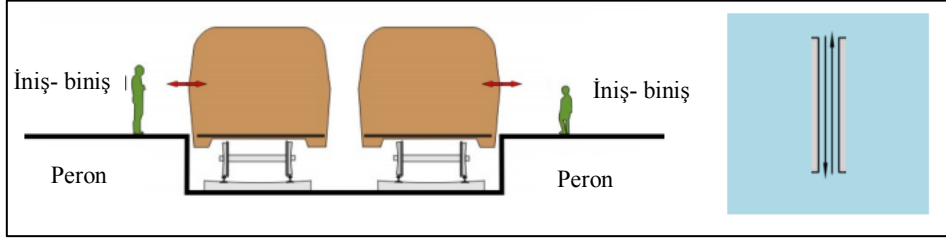
Peron tipine göre

İstasyon en kesitlerine göre peron tipleri ise,

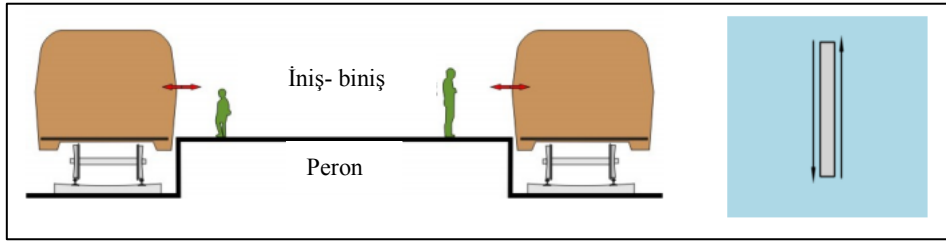
- Yan peron,
- Orta peron
- Çoklu peron olmak üzere üç değişik biçimde konumlanırlar [32].

İstasyonda hat olarak adlandırılan trene ait özel yol sadece gidiş veya sadece geliş yönünde trenin üzerinde hareket ettiği yollardır. Bu yolların hemen yanında olan ve sadece o hatta görev yapan araca hizmet için kullanılan peronlar; “yan peron” veya “kenar peron” olarak

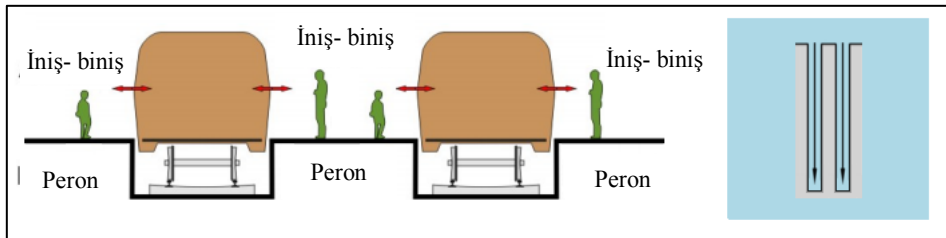
adlandırılır. Eğer peron biri geliş diğeri gidiş olmak üzere genellikle iki hat arasında kalıyorsa bu durumda “orta peron” olarak adlandırılır [25]. Her iki peron tipini bir arada bulunduran sistemlere de çoklu peron denir.



Şekil 2.4. Yan peron (karşılıklı) [35]



Şekil 2.5. Orta peron [35]



Şekil 2.6. Çoklu peron [35]

2.2. Yeraltı Metro İstasyonlarının Mekânsal Tasarım Standartları

Bu bölümde, yeraltı metro istasyonlarının başlıca ana mekanları; istasyon girişi, istasyon holü (bilet holü) diğer adıyla konkors, peron ve bu mekanlar arasında sirkülasyon için kullanılan merdivenler ele alınmıştır. Ayrıca personelin denetiminde bulunan yolcuların doğrudan erişiminin olmaması gereken servis alanları da bulunmaktadır. Bu mekanların tasarım kriterleri ve standartları; TSE ve NFPA çerçevesinde ele alınmıştır. [25].

Aç-kapa tipi istasyonlarda ray üstü kotu ile arazi kotu arasında mesafe artacağından üst katlara farklı işlevler verilebilir. Ancak yolcuyu en kısa şekilde perona ulaştırma hedefi

sağlandıktan sonra bu farklı işlevli alanlar planlanmalıdır. [25]. Yani bütün yapı kurgularında öncelik; peron-istasyon arasındaki ilişkinin güçlü olduğu ve en kolay erişimin sağlandığı istasyon tasarımı oluşturmaktır.

Metro istasyonu, birinci seviyedeki girişten bilet holü seviyesine inen bir sokak, bilet holü seviyelerinde bulunan servis ve teknik odaları ve bir grup merdiven ile yolcuların treni beklediği peron seviyesine ulaştıran yapı olarak düşünülebilir [33].

Metro istasyonlarının mekânsal tasarımında, yolcuların kullandığı ana mekanlar olan istasyon girişi, istasyon bilet holü, peron ve bu mekanlar arasında dolaşımı sağlayan alanların arasındaki uyum, bütünlük ve sirkülasyondaki akış önemli rol oynamaktadır [29]. Metro istasyonlarındaki dolaşım kurgusu, yolcuların hem istasyon girişinden trene hem de trenden istasyon çıkışına doğru irdelenerek tasarlanmalıdır. Tüm mekânsal unsurlar dolaşımı ve oryantasyonu destekleyecek şekilde kurgulanmalıdır. Genel olarak dönüşlerden mümkün olduğunca kaçınılmalı, zorunlu ise yönlendirme yapılmalı ve gidişler sağdan sağlanmalıdır [30].

Söz konusu yapının içerisinde barındırdığı mekanlara ait malzeme seçimleri de tasarımın önemli girdisi olarak ele alınabilir. Hızlı raylı toplu taşıma sistemini halkın benimsemesinde, istasyon iç estetiğinin ve devamlı aynı etkide kalmasının önemi büyük olduğundan, kullanılan malzemenin estetiği, dayanıklılığı, çizilme-kırılma ve tahribe karşı mukavemeti ile kir tutmayan, kolay temizlenebilir ve tamir edilebilir özelliğe sahip olmasına gereken önem verilmelidir.

İstasyonlarda, tahribe, kırılmaya, işaretlemeye, toz tutmaya karşı dirençli yapı bitiş malzemesinin kullanılması esastır. Malzeme seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken özellikler aşağıdaki gibidir [36]:

- Emniyet: Ateşe dayanıklı ve kokusuz olmalı; malzemelerin bağlayıcıları da ısı değişikliği, rüzgâr ve diğer sebeplerle gevşemeyen, trenin istasyona girişteki basınç değişikliğine karşı mukavemeti yüksek olmalıdır.
- Dayanıklılık: Malzemenin 50 yıllık ekonomik ömründe, renk atma, bozulma, dökülme, parçalanma ve aşınma gibi durumlar yaşanmamalıdır.

- Tamir Kolaylığı: Çok sayıda kişinin kullandığı döşeme kaplama malzemesi, devamlı ve ağır hizmet vermektedir. En az seviyede özen isteyen ve tamir gerektirmeyen özellikte olmalıdır.
- Estetik Kalite: Sübjektif olmakla beraber; sıcaklık hissi veren, çekici ve iyi görünümlü, kaliteli malzemeyle istasyonda dinlendirici, sade ve sıkmayan, olabildiğince objektif beğeniye sahip bir çevre oluşturulmalıdır.
- Uygunluk: Mümkün olduğunca yerel malzeme seçilmeli, inşaat sırasında ve gelecekteki malzeme değişimlerinde aynı veya benzer malzemeye kolay erişim sağlanmalıdır.

Yeraltı metro mekanları beş ana mimari bölümden oluşmaktadır; giriş mekanları, istasyon lobisi (konkors) ve mezanin alanı, peron katı, sirkülasyon alanları, servis alanları [36].

Giriş

İstasyon girişleri yolcuların metro sistemiyle ilk olarak karşılaştığı ve yolculuğun başlayıp sonlandığı noktalarlardır. İstasyon girişleri; bulunduğu yerin mimari dokusuna uygun, çekici ve kolay anlaşılabilir olmalıdır. İstasyon sembolü girişin yanında yer almalı ve kullanıcılar tarafından kolay görülebilir şekilde olmalıdır. Ayrıca girişin üzeri hava koşullarından dolayı oluşacak problemlere karşı “kanopi” denilen bir saçakla örtülmelidir. İstasyonun dış ve iç mekanını ayıran kapıdan önce de drenaj için bir ızgara konulmalıdır [26, 29].



Resim 2.2. Paris metrosu girişi (Tasarımcı: Hector Guimard) [37]

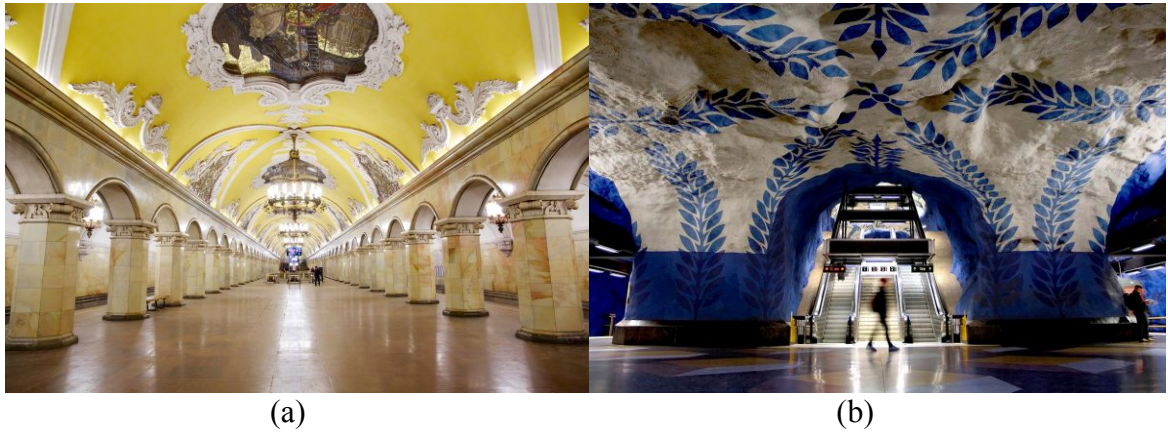
Yeraltı istasyonlarda en az 1 adet giriş/çıkış planlanır ancak daha da uygun olanı 2 adet olmasıdır. Bunun yanında caddeye çıkan acil durum merdiveni çoğunlukla servis merdiveni olarak da kullanılır. Yolcuların istasyondan çıkarken, girişe göre daha sabırsız olduğu dikkate alınarak, en kısa ve yeterli kapasitedeki yoldan yolcu çıkışları sağlanmalıdır [36].

Caddeye çıkan bir diğer istasyon elemanı da asansördür; engelli ve personel için hizmet verebilecektir. Bu asansörler; cadde-istasyon holü, istasyon holü-ücretli alan, ücretli alan-peron arasına tesis edilmelidirler [36].

İstasyon holü

İstasyon holü; ücretli alan (kontrollü alan) ve ücretsiz alan (kontROLSÜZ alan) olmak üzere iki kısımdan oluşur. İstasyon holü yolcuları toplama ve dağıtma özelliğine sahiptir [25].

İstasyonlar özellikle günün belli saatlerinde yoğunlaşan mekanlar olmaları nedeniyle istasyon holü; giren-çıkan yolcu karmaşasına yer vermeyecek şekilde, sirkülasyonda basitleşmeye gidilerek düzenlenmelidir. İstasyon alanı hesaplanırken pik saatteki yolcu sayısı göz önünde bulundurulmalıdır. Ücretli alan, ücretsiz alandan turnikelerle ayrılmalıdır. Ayrıca turnike ve bilet gişeleri gibi işlem yapılan alanların önünde oluşacak kuyruklar için yeterli boş alan planlanmalıdır [36].



Resim 2.3. Yeraltı metro istasyon holü (a) Komsomolskaya metro istasyonu (Moskova), (b) T-Centralen metro istasyonu (Stockholm) [38]

Konkors alanı, yolcuların ücretli alana kontrol altında geçebildiği, özellikle bilet holü işlevini ve buna ek olarak servis hacimleri gibi diğer birimleri de barındıran, ücretsiz alandır [25, 29].

Turnike sayısı kullanıcı yoğunluğuna göre; bir turnikeden giriş yönünde dakikada 30 yolcu, çıkış yönünde dakikada 40 yolcu çıkabileceği dikkate alınarak, istasyon yolcusu ve acil durum boşaltma kapasitesine dahilinde hesaplanır [25, 36].

Düşey dolaşım elemanları

Temel olarak yeraltı metro istasyonlarında erişilebilirliğin kilit noktası olan düşey dolaşım elemanları, peronlardan gelirken ve giderken kullanılır. Bu elemanlar tasarlanırken gereksiz kot değişikliklerinden kaçınılmalı, net dolaşım alanları sağlanmalıdır. Peron katından çıkışa doğru gidilmek istendiğinde, katta bulunan merdiven (sabit veya yürüyen), rampa, asansör gibi elemanlara doğru yönelim başlar. Yürüyen merdiven başlangıç ve bitişlerinde, yolcu hareketini aksatmamak için, en az 6 metrelik yığılma alanları oluşturulmalıdır [30].



Şekil 2.7. Tipik yeraltı metro istasyonu kesiti [33]

Yaşlı ve engelliler için mümkün olduğunca yardımsız hareket etme imkânı sağlanmalıdır. Katlar arasındaki merdiven yüksekliği, tırmanma için 3,50 m'yi; inişte 7,00 m'yi geçmesi halinde "yürüyen merdiven" tesis edilmelidir. Yürüyen merdivenlerin başlangıç ve bitişinde akan yolcu trafiğini aksatmamak ve herhangi bir kazanın yaşanmaması için yeterli genişlik bırakılmalıdır [36]. Merdivenler yolcuların konforu açısından kullanım amaçlarına göre en az genişlik ölçüleri Çizelge 2.1'deki gibi olmalıdır [36].

Çizelge 2.1. Kullanım amaçlarına göre en az genişlik ölçüleri [36]

Yolcuların kullandığı genel merdiven	1,80 m (tek yön için en az 1,20 m)
Personelin kullandığı merdiven	1,20 m
Acil çıkışta yardımcı merdiven	1,20 m
Tek yöndeki akımda sahanlık	1,35 m
Çift yöndeki akımdaki sahanlık	En az merdiven genişliği kadar

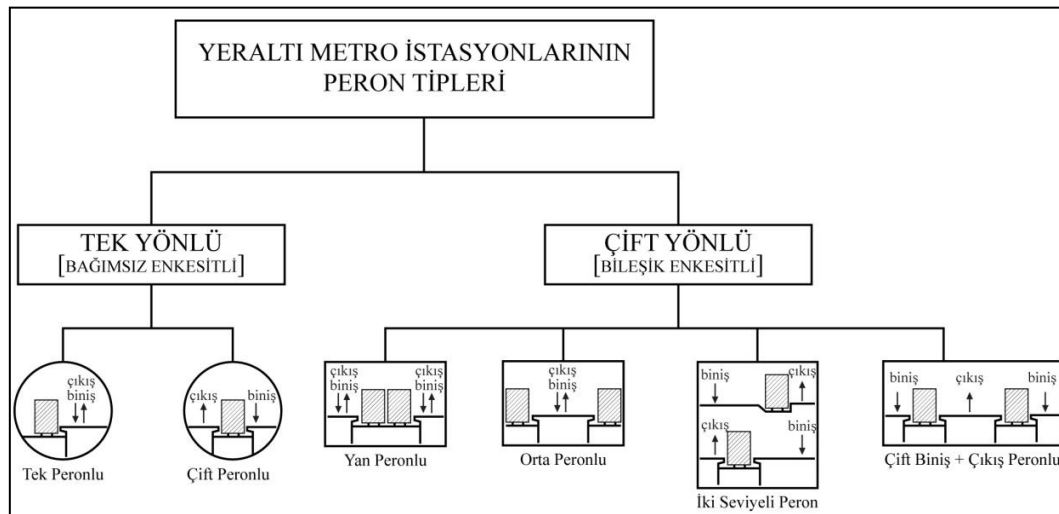
Rampaların genişliği ise en az 1,70 m olmalı ve her 10 m de bir en az 1,50 m uzunluğunda sahanlık oluşturulmalıdır. Eğim, tekerlekli sandalyelere uygun olarak %8 olmalıdır. Rampalar için önerilen kapasite 1 m genişlik için 65 kişi/dk'dır [36].

Peron

Peron; “Bir istasyonda, kılavuz yolun hemen yanında olan ve asıl olarak yolcu yükleme ve boşaltma için kullanılan alan” olarak tanımlanmaktadır [39].

İstasyon en kesitlerine göre peron tipleri ise,

- Yan peron,
- Orta peron
- Çoklu peron olmak üzere üç değişik biçimde konumlanırlar [40].



Şekil 2.8. Peron katı tip en kesitleri [40]

Peron genişliği, pik saatte inen, binen ile bekleyen yolcular olmak üzere yolcu sayısı ve tren frekansına bağlı olarak hesaplanır. Platformda kişi başına 0,50-0,75 m²'lik yer ayrılmalıdır. Net platform genişliği, trenin geçtiği tarafta peronun üzerindeki 0,50 metrelik emniyet bandı hesaba katılmaksızın hesaplanır. Ayrıca oturma grupları, pano, yiyecek-içecek makineleri, çöp kutusu gibi elemanlar platformun en az genişlik alanından çıkarılarak hesap edilmelidir. Platformun trenin geçtiği kenardan itibaren engelsiz genişlik 2,50 m olmalıdır. Perondaki yolcuların perondan tahliyesi 4 dakika veya daha az bir sürede sağlanmalıdır. Her peronun az 2 çıkışı olmalıdır. Ayrıca yolcunun perondan bir güvenlik noktasına erişimi 6 dakika veya daha kısa sürede olmalıdır [25, 36, 39].

Net plâtfom genişliği ile düşey dolaşımı sağlayan bölümlerin dahil edildiği brüt plâtfom genişliği, yan plâtfomda 6,50 m; orta plâtfomda 9,80 m'den az olmamalıdır. Net plâtfom ölçüsünde Tablo 2 'de verilen değerlere uyulmalıdır [36].

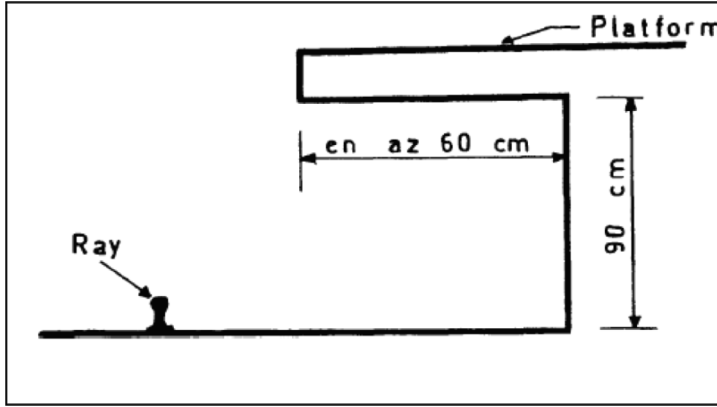
Çizelge 2.2. Net platform genişliği [36]

Platformun Yeri	Tercih Edilen Genişlik	En az Genişlik
Ortada (uçlardan çıkışlı)	7,30 m	6,70 m
Ortada (ortadan çıkışlı)	4,85 m	3,65 m
Kenarda	3,65 m	2,50 m

Yeraltı istasyonları genel olarak insan psikolojisi için rahat mekanlar değildir ve yön bulma zorlaştıkça; zaman kaybı, güvensizlik, stres, rahatsızlık gibi problemler ortaya çıkmaktadır. İstasyonda, plâtfomdan değişik yollara, birden çok çıkış olması halinde, yolcunun istediği doğru çıkışı seçebilmesi için, çıkış işaretlerinde, plâtfomdan istasyon çıkışına kadar, varılacak cadde ve yer isimleri belirtilmelidir. Bu sayede yön bulma kolaylaşacaktır [32, 36].

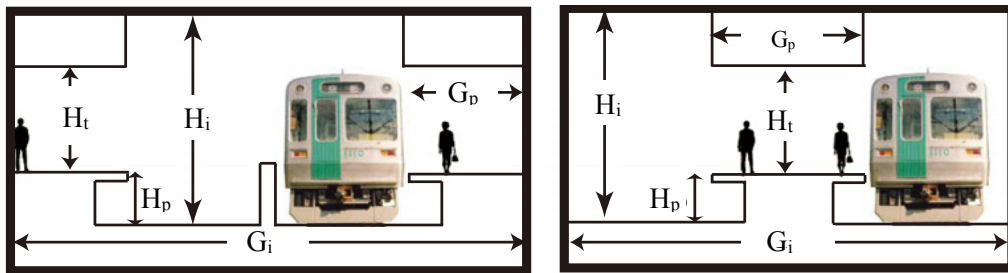
Peron tren görevlisi tarafından tamamen görülebilmesi ve güvenlik için peron boyu düz olmalı, kurplu olmamalıdır. Peron boyu, yolcu kapasitesi, tren uzunluğuna bağlı olmakla birlikte, 150-400 m arasında tesis edilebilir [36]. (Örneğin; 3 vagonluk dizi için 100 m, 4 vagonlu dizi için 130 m plâtfom boyu seçilebilir)

Peronlar için en önemli konu ise güvenlidir. Son zamanlarda kullanımı artan peron kapıları güvenlik sorununu çözmek için en başarılı araç olmaktadır. Kullanıcıların güvenliği haricinde metro istasyonundaki teknik ekip için plâtförmün tren tarafında, en az 0,60x0,90m ölçüsünde servis sığınma nişi (Şekil 2.9) bulunmalıdır [36].



Şekil 2.9. Plâtförm kenarında emniyet sığınma nişi [36]

Bu bölümde ele alınan metro istasyonlarının tasarımına dair kabuller istasyonların akustik tasarımını da doğrudan etkilemektedir. Akustik tasarımı etkileyen tasarım elemanları; geometri, bitiş malzemeleri olarak değerlendirilebilir. Geometri ise geniş bir yelpazede karşımıza çıkar. Bunlardan en temel olanı istasyonun boyutlarına dair değerlerdir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi istasyon boyutlarına dair verilen ölçülerin; istasyon genişliği (G_i), istasyon yüksekliği (H_i), peron genişliği (G_p), peron yüksekliği (H_p), peron tavan yüksekliği (H_t) gibi değerlerin akustik performansı doğrudan etkilediği söylenebilir.



Şekil 2.10. Yeraltı metro istasyonları tip kesitleri (soldaki; kenar tipi peron, sağdaki; ada tipi peron) [18]

3. YERALTI METRO İSTASYONLARI VE MİMARİ AKUSTİK

Yeraltı istasyonları birçok etmene bağlı olarak fazlaca gürültülü alanlardır. Metro istasyonlarının akustik tasarımında iki esas amaçla; gürültüyü kontrol altına almak ve anonsların anlaşılabilirliği arttırmak için, çözüm üretilir [21]. Bu bölümde, yeraltı metro istasyonlarında oluşan akustik problemler sistematik olarak incelenmiştir.

Konumları dolayısıyla metro istasyonları; yeraltı ve yerüstü olmak üzere ayrılırlar. Yeraltı istasyonları 6.4 dB kadar daha fazla ses basınç düzeyi saptanmıştır [18].

Metrolar kamusal alan olmaları ve yoğun kalabalığa ev sahipliği etmeleriyle istasyon yüzeyinde kullanılan malzemelerin; yangın dayanımı yüksek, temizliği kolay, aşınmaya ve darbeye karşı dayanıklı olmaları beklenir. Bu malzemeler sert ve yansıtıcı özelliktedir; bu durum akustik problemlere yol açmaktadır [22]. Yeraltı metro istasyonlarında oluşan akustik sorunların bir diğer sebebi ise; yapının kapalı ve uzun hacme sahip olmasıdır [13].

Gürültü kontrolü için malzeme seçimi yapılırken malzemenin yutucu olması beklenir, ancak yutucu malzemeler genellikle yüzeyi pürüzlü veya gözeneklidir. Bu tipte malzemelerin, istasyon mekanlarında, döşeme ve duvarlarda kullanımı doğru değildir. Tavanlar gürültünün kontrolü ve ses yutma açısından en doğru alanlardır [22]. Yutucu ve saçıcı elemanların kullanımı hedef performansa ulaşmada önemli rol üstlenmektedir; bu malzemelerin doğru konumlarda kullanımı ile akustik tasarım başarılı olacaktır [21].

Akustik çalışmalarda anlaşılabilirlik, iyi bilinen ve farklı işlevlerde yapılar için önemli bir parametredir. Genel anons sistemleri (PA); yangın tatbikatları, sözlü uyarılar ve genel duyurular yapmak için normalde uzun muhafazalara kurulmaktadır. Sisteminin ses gücünün artırılması işitilebilirliği artıracak ancak doğrudan konuşma anlaşılabilirliğini geliştirmemektir. Ses gücü yeterince yüksek bir anons sistemi kişiler tarafından duyulacaktır ancak bilginin içeriği tam olarak anlaşılmamaktır. Yeraltı istasyonlarında yansıtıcı yüzeylerin varlığı nedeniyle, ses enerjisi yansıyacak ve sönümlenemeyecek; çınlama ve çınlamanın bulanıklaştırdığı konuşma tamamen anlaşılmaz olacaktır. Teknik açıdan duyma esas olarak sinyalin gürültüye oranına (konuşma-gürültü oranı) dayanır ancak anlaşılabilirlik hem sinyal-gürültü oranından hem de reverberasyon sürelerinden etkilenmektedir [41-43].

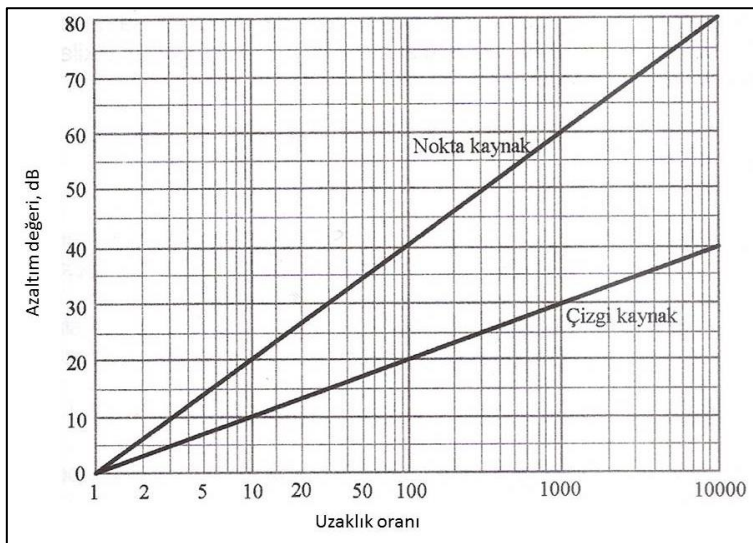
Mimari akustiğin genel bileşenleri; bir ses kaynağı ve bu kaynağın bulunduğu mekân olarak değerlendirilebilir. Söz konusu mekân yani yeraltı istasyonlarının akustiğini etkileyen genel karakteristik özellikleri; ses kaynakları için lineer kaynak, mekân için ise uzun hacimler olarak değerlendirilebilirler.

Lineer kaynak

Ses dalgalarının silindirik biçimde yayılmasına yol açan kaynaklara çizgisel kaynak denir. Genellikle bir dizi, eş düzeyli nokta kaynağın bir doğrultu üzerinde birbirini izlemesi ile çizgi kaynaklar oluşur [44, 45].

Çizgi üzerinde yer alan noktalar; aynı ya da farklı fazda titreşim yaparlar ve üretilen bileşke ses yukarıda açıklanan girişim kurallarına uyar [45]. Trafik gürültüsü çizgisel kaynak olarak ele alınırken; tren gürültüsü hareketli çizgisel kaynak olarak ele alınır [45].

Ses kaynağına uzak bir konumda bulunan bir alıcı noktaya gelen sesin düzeyi; dalga sapması nedeniyle uzaklığın fonksiyonu olarak azalır. Ses kaynağının türüne göre değişim gösteren ve frekansa bağlı olmayan uzaklık azaltımının değeri çizgi kaynak için uzaklık her iki katına çıktığında azalma 3 dB, nokta kaynak için ise 6 dB olmaktadır [44].



Şekil 3.1. Ses basınç düzeyinin azaltım değerinin uzaklık ve kaynak tipi ile ilişkisi [44]

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi çizgi kaynaқта; uzaklık arttığı durumda gürültü azaltımı nokta kaynaқта olduğu oranda olmayacak ve daha az değişim gösterecektir. Bu durumda çizgi kaynak olan; metrolar ve onlara ev sahipliği yapan istasyon hacimlerinde mesafe fazla olsa bile hedeflenen gürültü azalımı nokta kaynağa oranla daha zor sağlanmaktadır.

Uzun hacimler

Yeraltı istasyonları uzun hacim olarak değerlendirilebilir. Uzun mekanlarda, uzunluk boyunca ses basıncı düzeyinin sürekli olarak azaldığı ve reverberasyon süresinin sistematik olarak değiştiği görülmüştür [8]. Bu hacimlerin, normal odalardan farklı olarak, ses alanları yayılmış halde değildir; bu nedenle klasik oda akustiği teorisi analiz için uygun değildir [6, 21].

Uzun hacmi tanımlamak için sabit bir uzunluk/en-kesit oranı yoktur. Ancak uzun hacim teorisinin; uzunluğun, genişlik ve yüksekliğin altı katından daha büyük olması durumunda uygulanması önerilmektedir. Bu hacimlerde; ses alanı aynı zamanda genişlik-uzunluk oranı ve bitiş malzemeleri gibi diğer faktörlerden de etkilenir [4].

Yansıtıcı yüzey bitiş malzemeleri ile kaplanmış, dikdörtgen uzun boşluklarda reverberasyon süresinin hesaplanması için teorik formüller türetilmiştir [9]. Formüller, bir koridorda ve birkaç metro istasyonunda saha ölçümleriyle doğrulanmıştır. Bu formüller ve bir dizi hesaplamalar sonucunda; kaynak-alıcı mesafesinin artmasıyla reverberasyon süresinin hızla arttığı, daha sonra yavaşça azaldığı görülmüştür [4].

Özellikle Kang’ın uzun hacimler üzerine yapılmış çalışmalarına rastlamak mümkündür; bu çalışmalarda uzun dikdörtgen hacimlerde sesin iyi yayılamadığı sonucuna ulaşmıştır [4, 6, 15].

Uzun kapalı hacimlerin akustik tasarımında; kesit alanı, form, yutuculuk ve bitiş malzemelerinin yerleşimi önemli etkiye sahiptir. Uzunluk boyunca, stratejik olarak yerleştirilmiş olan yutucu ve saçıcılar akustik iyileştirmenin sağlanmasında önemli yere sahiptir [6].

Sonuç olarak, klasik oda akustiği teorisi uzun hacimler için uygun değildir [4]. Ses alanının homojen olarak yayılmış olmayışı uzun hacimlerin esas problemidir; uygun yerlerde saçıcı ve yutucu kullanımı ile dengeli ses alanları elde edilebilir.

Çalışmanın bu kısmında sırasıyla; mimari akustik sorunlar, mimari akustik parametreler ve ulusal- uluslararası mevzuat değerlendirilecek ve bu değerlendirmeler bir tablo üzerinde özetlenmiştir.

3.1. Yeraltı Metro İstasyonlarında Mimari Akustik Sorunlar

Gürültü, raylı sistemlerin neden olduğu en önemli çevre sorunu olarak kabul edilir. Ulaşım araçlarında konforlu seyahat için üst gürültü düzeyi 65 dB, tahammül bölgesi 65-75 dB, rahatsızlık bölgesi ise 75-120 dB olarak kabul edilmektedir. Gürültü insan sağlığını doğrudan etkilemektedir [44].

Yeraltı metro istasyonlarında sadece gürültüyü kontrol etmek yeterli olmaz; akustik kalite önem kazanmaktadır. Konuşma, bazen müzik için akustik koşulların iyileştirmesi hem güvenli hem de keyifli ortam sağlamaya yardımcı olmaktadır.

Geçmişte yaşanan kötü deneyimler, bu mekanların akustik kalitelerinin can güvenliği açısından önemini göstermiştir. Örneğin; 1987’de Londra Kings Cross yeraltı metro istasyonunda yangın çıkmıştır ve 2005’te yine Londra’da bir yeraltı istasyonunda bomba patlamıştır. Bu yaşananlar; anons sistemlerinin önemini göstermiştir ve birçok yeraltı firmasını, anonsların anlaşılabilirliği sorunun çözümü üzerine harekete geçirmiştir [4, 46].

Yeraltı metro istasyonlarında dört esas amaçla akustik tedbirlere uyulmalıdır [36]:

1. Araçların neden olduğu gürültüyü azaltmak;
2. Yolcuların anonsları kolay anlamasını sağlamak;
3. Kullanıcı kalabalığının yarattığı gürültüyü diğer gürültüden ayırmak ve azaltmak;
4. İstasyondaki, havalandırma, yürüyen merdiven, asansör vb. mekanik sistemlerden doğan gürültünün kontrol altında tutulmasını sağlamak.

Bu çalışmada akustik sorunlar; gürültü ve anonsların anlaşılabilirliği olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir.

3.1.1. Gürültü sorunu

İstenmeyen ses olarak tanımlanan gürültü; toplumsal yaşamda sorun olmaya başladığı, orta çağlardan sonra, son yüzyılda akustik bilimi içinde incelenmeye başlanmıştır. Günümüzde çevre sorunları içinde gürültünün oluşturduğu çevre kirliliği, sanayi devrimi sonrası ve kentleşme sürecine paralel olarak yaygınlaşmıştır. Başta ulaşım gürültüleri olmak üzere çeşitli çevre gürültülerinin insan ve toplum sağlığı üzerinde büyük bir risk oluşturduğunun ortaya konulmasıyla, gürültü konusuna verilen önem artmıştır. Gürültü niteliğindeki seslerin özel olarak tanımlanması, akustik çözümlenmesi (analizi), çevrede yayılması sırasında etkili fiziksel faktörlerin ve bunların etkilerinin sayısal olarak saptanmasında büyük gelişmeler yaşanmıştır [45].

Gürültü fiziksel olarak gelişigüzel yapıda genelde yüksek düzeyli karmaşık ses topluluklarıdır. Gürültü; kentleşme süreci içinde ulaşım ve endüstrinin gelişimiyle ortaya çıkan bir tür teknoloji artığı olarak da düşünülebilir. ‘Çevre gürültüsü’ terimi; genellikle yapıların dış çevresinde bulunan, uzun bir etkileme süresine sahip ve yüksek düzeyli olmadıkça işitme kaybı yaratmayan, ancak kısa, orta düzeyli olanları uzun vadede çeşitli sağlık ve konfor sorunları oluşturan kaynaklar için kullanılmaktadır [45].

Yeraltı metro istasyonlarında gürültüler; istasyon yapılarında ve hat boyunca oluşan gürültü olarak ele alınabilir. Araç içerisinde de ciddi derecede gürültü meydana gelmektedir; araç özellikleri, titreşim nedeniyle ve insan kaynaklı gürültüler oluşmaktadır. Ancak bu çalışmada araç içerisindeki gürültü ele alınmayacak, istasyonlarda oluşan gürültü ele alınmış ve çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Yeraltı istasyonlarının daha gürültülü olması; balast kullanımı yoğunluğuna, durma aralığının yeraltı istasyonlarında daha uzun oluşuna, trenin geliş ve gidişi sırasında oluşan gürültünün yansması sonucu tünelden gelen çınlamanın varlığı gibi durumlara bağlıdır [18].

Yeraltı istasyonları devam eden bir hatta belirli aralıklarla hizmet veren tesislerdir. İstasyonlar; olabildiğince doğrusal olan bu hatlara uygun şekilde daha doğrusal uzun

hacimler olarak tanımlanabilir. Bu durumun sonucu olan karşılıklı paralel uzun duvarlar; sesi tekrarlı yansımaya uğratarak ses düzeylerini arttırır ve uğultu oluşur [45].

Yüksek frekanslı sesler, düşük frekanslı seslerden daha çok işi aksatır. Aralıklı gürültüler de aynı seviyedeki sürekli gürültülerden daha fazla ters etki yaratır. Aralıklı gürültüler de kendi içinde farklıdır. Periyodik olmayan aralıklı gürültüler, periyodiklerden daha rahatsız edicidir ve ani gürültünün etkileri en fazla olabilir [44].

- Sürekli gürültü: Gürültünün devamlılığında; uykuda rahatsızlık, uykuya dalmada zorluk ve bedensel reaksiyonlar meydana gelmektedir [27].
- Kesikli gürültü: Gürültünün devamlılığı düşük, uyku içerisinde rahatsızlık az, haberleşme ve konuşma zorluğu fazladır. Konsantrasyonda zorluk çekilir [27].
- Karışık gürültü: Her iki gürültüdeki etkilerin toplamı oluşur [27].

Açıklanan gürültü tiplerinden birincisi yani sürekli gürültü karayolu, ikincisi kesikli gürültü raylı sistem veya havayolu sistemi, üçüncüsü ise bütün toplu taşıma sistemlerinin gürültüsünün hepsini içeren durumlar için geçerlidir. Yapılan araştırmalarda karayollarındaki gürültü şiddetinin 72-92 dBA, havayollarında ise 103-106 dBA arasında değiştiği tespit edilmiştir. Buna karşın, saatte 150 km hızla giden bir trenin gürültüsü 65-75 dBA arasında değişmektedir [27].

Bir lokomotif tarafından çekilen veya belirli bir itiş gücüne sahip vagonların hareketlerinden doğan demiryolu gürültüsünün karayolu gürültüsünden farkı; benzer özellikli bir dizi ayrık gürültü olaylarından meydana gelişidir. Demiryolu ulaşımı doğuş biçimleri açısından; hava doğuşlu seslerin yanında katı ortam doğuşlu (darbe) sesleri ve mekanik titreşimler de üretmektedir [45].

Ülkemizde çevreye yayılan demiryolu gürültüsü için sınır değerler gündüz saatleri için 65 dBA, akşam saatleri için 60 dBA, gece saatleri için 55 dBA olarak kabul edilmiştir [47]. Hafif raylı sistemlerin yer altından geçtiği kapalı alanlarda gürültüsü için sınır değerler; platformlarında duran-kalkan trenler için 80 dBA, çalışır durumda bekleyen trenler için 65 dBA, geçen trenler için 85 dBA sınır değerleri aşamaz. İstasyonlarda havalandırma kanallarında ve caddelerde havalandırma kanallarından 9 metre uzakta gürültü sınır değeri, 55 dBA'dır [47].

Tren gürültüsünün kontrolü, konfor ve insan sağlığı açısından önem arz etmektedir. Oluşturduğu olumsuz etkilere bağlı olarak gürültü düzeyleri Çizelge 3.1’de görülmektedir. Yönetmelikte verilen değerlerin sağlandığı durumda 2.Derece gürültü düzeyine sahip olacaktır; uzun süreli maruz kalındığında ciddi sağlık sorunlarına yol açabilecek seviyedir. Amerika’da 17 metro istasyonunda yapılan pilot çalışmada ortalama 85.7 dB değerinde ses basınç seviyeleri tespit edilmiştir. Bu durumda da Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi 2. Derece gürültü düzeyine sahip olduğu görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 85 dB-A için katlanılabilir sınır 45 dk olarak belirtilmiştir. Ancak metro istasyonlarında çalışanlar için bu durum çok daha riskli olabilmektedir [18].

Çizelge 3.1. Gürültülerin sınıflandırılması [44]

30 – 65 dBA	I. Derecedeki Gürültüler • Konforsuzluk • Rahatsızlık • Sıkılma duygusu • Kızgınlık • Konsantrasyon ve Uyku Bozukluğu
65 – 90 dBA	II. Derecedeki Gürültüler • Fizyolojik Gürültü - Kalp atışının değişimi - Solunum hızlanması - Beyindeki basıncın azalması
90 – 120 dBA	III. Derecedeki Gürültüler - Fizyolojik gürültü - Baş ağrısı
120 – 140 dBA	IV. Derecedeki Gürültüler • İç kulakta bozukluk
140> dBA	V. Derecedeki Gürültüler • Kulak zarının patlaması.

Raylı sistemlerin sebep olduğu gürültünün oluş nedenlerine göre; araç özelliklerinden ve yapısal nedenlerle oluşan gürültü olmak üzere ikiye ayrılır. Çalışmanın kapsamı gereği yapısal nedenlerle oluşan gürültüler ele alınmıştır. Yapısal nedenlerle oluşan gürültüler; istasyonda ve hatta oluşan gürültü olarak değerlendirilmiştir [27].

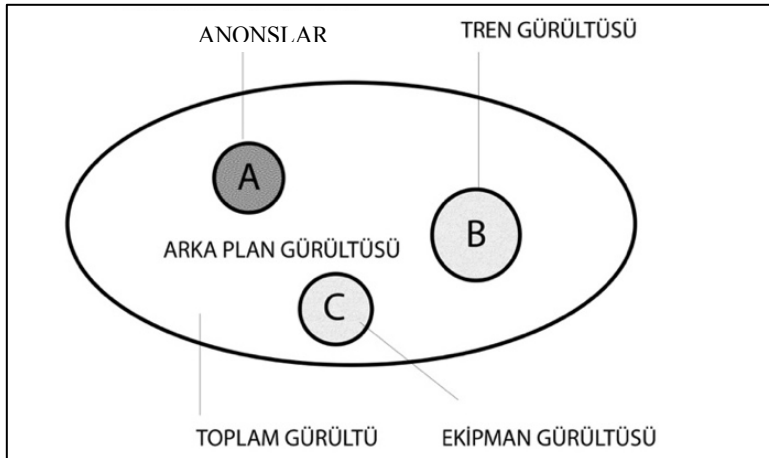
İstasyon yapılarında oluşan gürültü

Mimari birçok unsuru bünyesinde bulunduran istasyon yapıları; bu unsurların neden olduğu gürültülere de ev sahipliği yaparlar. Yapılan anonslar, büyük istasyonlarda bulunan ticari alanlar, ekipman gürültüleri ve peron hacminde, gelen-giden-bekleyen, trenlerin oluşturduğu gürültüler; istasyonlardaki belli başlı gürültü kaynaklarıdır [27].

Metro sistemlerinde mekanlarına bağlı, ses / gürültü oluşturan etmenler [48]:

1. Turnikeler: Bilet/ kart kullanılır turnike geçişinde, geçişte tek bip, bilet boş ise vs. buna göre çeşitlenir.
2. Bekleme alanları: Trenler beklerken ve kalkarken uyarı mesajları verilir. Kalkarken siren gibi bir ses çıkarırlar.
3. Platform ve İç mekân: Tren için anonslar yapılır.

Genellikle düzenli olmayan karmaşık sesler olarak tanımlanan gürültünün birden fazla bileşeni bünyesinde bulundurur. Yeraltı metro istasyonlarında gürültü ve bileşenleri aşağıdaki şekildeki gibi açıklanabilir.



Şekil 3.2. Yeraltı istasyonlarında gürültü tanımlama şeması [45]

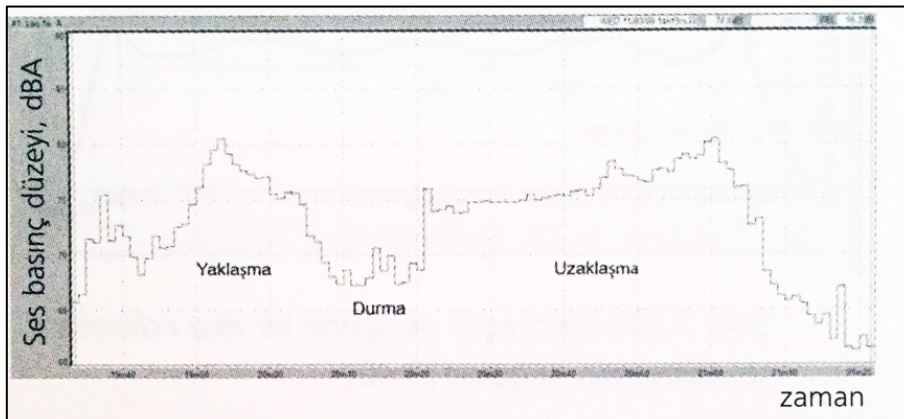
Toplam Gürültü (Çevre gürültüsü): Verilmiş bir zaman içinde ortamda bir alıcının yakınında ve uzağında bulunan çeşitli kaynaklardan gelen seslerin toplamıdır [45].

Özel gürültüler (A,B,C): Çevresel gürültü içinde tanımlanabilen özel bir kaynağın ortaya çıkardığı ses [45]. Şekil 3.2’de verilmiş olan A, B, C gürültüleri sırasıyla; anonslar, tren gürültüsü, ekipman gürültüsü olarak belirtilmiştir.

Arka plan Gürültüsü (Artık ses): Bir çevrede verilen bir zamanda özel gürültüler çıkarıldıktan sonra çevrede kalan gürültü; ortam veya fon gürültüsü de denilmektedir [45].

Anons sistemi ses basınç seviyeleri (SPL) yeraltı istasyonları için 75dBA'dan az olmamalıdır. Bu ayarlara +/- 3 dB (A) toleransa izin verilmektedir [49].

Peron hacmine bir trenin içeri girip geçtiğinde, platformun giriş ve çıkış noktalarında eşdeğer sürekli ses basınç seviyesinin(L_{Aeq}) en yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 3.3) [18].



Şekil 3.3. Metro gürültüsü ölçümleri: zamansal değişim [45]

Gürültü oluşturan bir diğer etmen de istasyon hacimlerinde bulunan tesisat ve ekipmanların gürültüleridir. Aydınlatma, yürüyen merdiven, havalandırma ve turnikelerden gelen sesler tesisat ve ekipman gürültüsü olarak değerlendirilebilir [27]. Havalandırmalara ek olarak tehlike anlarında acil durum fanlarının açılması ile gürültü sınır değerleri aşılmakta ve bu durumda güvenlik için yapılan anonsların anlaşılabilirliği tehlikeye girmektedir.

Metro sistemi kadar basit bilgilendirme yapılan ortamlarda bile, sesin en iyi şekilde kullanılması için ses tasarımına ve bilgi sinyallerinin stratejik olarak haritalanmasına yönelik sistemli bir yaklaşım gereklidir. Sesli bilgi sinyalleri genellikle tonaldır. Tonal sesler

müziksel olarak etkileşir ve kaçınılmaz olarak müziksel olarak algılanır. Tüm sesli sinyal sistemleri müzikal sistemler olarak düşünülebilir [48].

Metro istasyonlarındaki ses sinyallerinin incelendiği bir çalışmada; turnikelerde, bekleme alanlarında ve peron katındaki ses sinyalleri incelemiştir. Turnikelerdeki bip sesi, ‘tren geldi’ ve ‘kapı kapanıyor’ sinyallerinin genel olarak anlaşılması güç olduğu görülmüştür. Turnikelerden gelen bu sesler insanları uyarıcı olmaktadır ancak bu seslerin seçimleri stres yaratmayacak şekilde olursa kullanıcılar üzerinde pozitif etkiye sahip olacaktır [48].

Platform gürültü seviyeleri o sırada aktif gürültü kaynaklarına bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Yeraltı istasyonlarında platformlarda tipik gürültü seviyeleri (L_{Aeq}) şöyledir; normal zamanda 50-55 dBA, yoğun zamanda 70-75 dBA, trenin gelip-gittiği yoğun zamanda ise 80-85 dBA gürültü seviyesi oluşmaktadır [46].

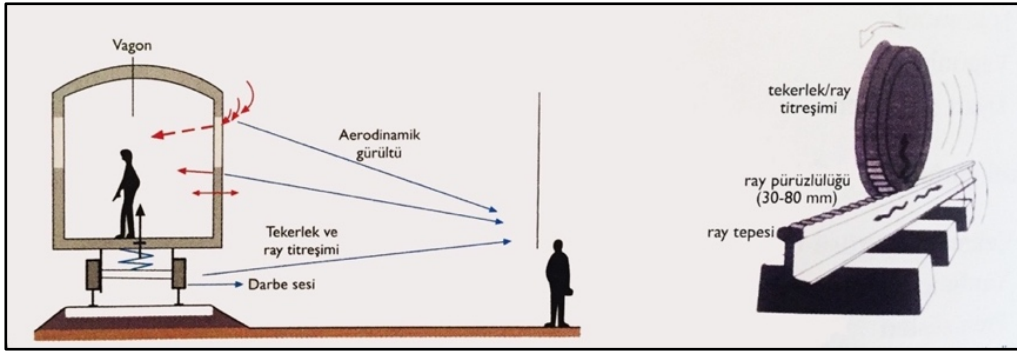
Hat yolunda oluşan gürültü

Demiryolu hattında trenlerin geliş-gidişleri ve istasyonda beklemeleri sırasında değişik akustik özellikte gürültüler yayılır. Genel olarak trenlerin geçişleri kesikli gürültü niteliğindedir ve geçiş sırasında oluşan gürültünün değişimi; tren boyu ve geçiş süresine bağlıdır. Tek bir tren geçişi sırasında incelenen gürültü kaynakları aşağıdaki gibidir [45]:

- Lokomotif
- Vagonlar
- Uyarı sinyalleri

Temel gürültü; lokomotiflerden üretilir ve aşağıdaki bileşenlerden oluşur [45]:

- Çekme gürültüsü (Makina kılıfından yayılan gürültüler)
- Yardımcı ekipman gürültüleri
- Fren sesleri
- Aerodinamik gürültü
- Yuvarlanma gürültüsü (Tekerlek- ray sürtünmesi)



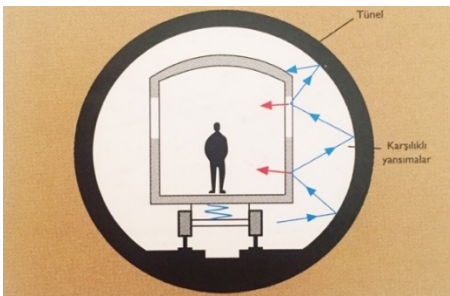
Şekil 3.4. Trenin hareketi sırasında çevreye yayılan gürültü bileşenleri [45]

Tren hareketiyle ortaya çıkan gürültüye etki eden faktörleri aşağıda verilmektedir [27];

- Rayın sertliği ve dayanıklılığı,
- Araç tekerleğinin üzerinde yatay-düz bir form oluşması veya tahrip olmuş olması,
- Raylar arasında küçük açıklıkların bulunması veya bu açıklıklarının kaynaklanmış olması.

İstasyonlardaki gürültü seviyesine en çok etkisi olan gürültü türü ray yatağında oluşan; teker-ray temasından oluşan gürültüdür. Bu nedenle hatta oluşan bu gürültünün ilk yansımaları kontrol edildiğinde gürültü önemli ölçüde kontrol altına alınabilir.

Söz konusu hat yeraltı istasyonları için tünellerdir. Aracın oluşturduğu gürültüye ek olarak hatta yani tünellerde gürültünün güçlenmesine genellikle katkıda bulunur. Trenlerin tünel içerisinde geçişleri sırasında içbükey yüzeylerden oluşan yansıma ve odaklanma olayları nedeniyle gürültü düzeyleri çok yüksektir. Gürültünün oktav bant düzeyleri incelendiğinde 125 ve 250 Hz'lerde alçak frekanslara göre 20 dB daha yüksek düzeyler tespit edilmiştir [45].



Şekil 3.5. Tünellerde gürültü bileşenleri [45]

Trenlerin ve rayların tasarımındaki teknolojik ilerlemeler, tren gürültüsünü azaltmıştır. Endüstriyel araştırma ve geliştirme büyük ölçüde tren gürültüsünün kontrolüne odaklandığından, istasyonlardaki ses alanını konusuna gereken önem verilmemiştir [18].

Gürültü Kontrolü

Gürültüyü oluşturan etmenler ortaya koyulduktan sonra gürültünün kontrolü daha kolay olacaktır. Mimari çözümlerin yanı sıra gürültüyü oluşturan mekanik elemanlarda da alınacak önlemler fayda sağlayacaktır.

Gürültüyü azaltma yöntemleri; kaynağında, algılandığı noktada ve yayılma alanında önlemler alıp azaltma olarak üç şekilde incelenir [27]. Yayılma alanında yapılacak çözümler mimari çözümlerdir.

Kaynağında azaltım; titreşim ve ses oluşturan kaynakların azaltılması, istasyonların veya araçların tasarımı sırasında alınacak önlemlerdir. Gürültü oluşturan elemanların gerekli gürültü standartlarına uygun olmaları gerekmektedir. Raylı ulaşım araçlarının, istasyonların ve hat boyundaki gürültü oluşturan ekipmanların periyodik bakımları yapılmalı, arızalı parçaların en kısa zamanda onararak gürültü oluşumu engellenmelidir [27].

Tekerlek ve ray etkileşiminden kaynaklanan gürültünün ortaya çıktığı hatta gürültü kontrolünün sağlanması esas hedeftir. Hat boyunca gürültü azaltılmasını sağlamak amacıyla yapılabilecek çalışmalar aşağıda özetlenmiştir [27]:

- Raylar arasındaki küçük boşlukların kaldırılması.
- Düzgün temas yüzeyi oluşturmak için; tekerleklerin taşlanması, rayların ise taşlanması ve yağlanması.
- Teker-motor-arac gövdesi ilişkili süspansiyon sistemiyle ilgili olarak titreşimlerin azaltılması amacıyla modifikasyonların yapılması.
- Titreşimi sönmölemek amacıyla rayın altına elastik malzeme yerleştirilmiş olması.

Gürültünün algılandığı noktada yani alıcıda azaltımı metro istasyonları için çözüm olarak değerlendirilemez. Metro istasyonları toplu taşıma sistemleri oluşlarından, kişisel

engelleyiciler bilgilendirme mesajlarını algılanması sırasında engel olacak ve sorun oluşturacaktır.

Gürültüyü yayılma alanında azaltmak; kaynağın kapalı bir hacim içine alınarak izole edilmesi, kaynakla algılayıcı arasındaki yolda çıkan gürültü emici önlemlerin alınması ile sağlanabilir. Raylı ulaşım sistemleri ile ilgili koruma yöntemlerinin başında, ses dalgalarına yön değiştiren ve gürültü enerjisini emen bariyerlerin inşası gelmektedir [27]. Bunlardan bazıları mimari çözümlerdir; ray yatağında yutucu kullanımı, hatlar arasında bariyer oluşturma, peron ayırıcı kapılar ve tünel bitiş malzemelerinin seçimi gibi. Mimari çözümler akustik performans etmenleri kısmında daha detaylı olarak incelenmiştir.

3.1.2. Anonsların anlaşılabilirliği sorunu

Yeraltı metro istasyonlarındaki anonsları anlamak çoğunlukla güç olmaktadır. Anonslar bilgilendirme, uyarı vb. amaçlar dahilinde yapılırlar. Konuşmanın yani anonsların anlaşılabilirliğini geliştirmek; yolcu ve personelin rahatlığı ve güvenliği için gereklidir.

Peronlarda yapılan anonslarda duyuru amacına göre aşağıdakilere göre sınıflandırılır [17]:

1. Program veya bilgilendirme mesajı sunar.
2. Peron isimi vb. duyuruları yapılır.
3. Güvenlik uyarısı yapılır.

Yeraltı istasyonlarında oluşabilecek felaketler sırasında; istasyon havalandırmaları ve tünel havalandırma fanları hep birlikte yüksek kapasite çalışmaktadır; bu da gürültünün artmasına ve yapılan anonsların anlaşılmasına neden olmaktadır. Söz konusu olay anında anonslarının anlaşılabilirliği hayati önem taşımaktadır [21].

Konuşma, insanlar arasındaki ana iletişim yöntemi olarak kabul edilir. Birçok durumda; konuşma sinyali, konuşmacı ile dinleyici arasındaki iletim kanalı tarafından bozulur. Bu durumda dinleyicinin bulunduğu yerdeki konuşmanın anlaşılabilirliğinin azalmasına yol açar [50]. Anonslar elektronik ses sistemleri tarafından kişiye iletilen konuşmalar olarak değerlendirilebilirler.

Konuşma anlaşılabilirliğinin ölçülmesi için hızlı ve objektif bir yöntemi geliştirilmiştir; konuşmanın iletim indeksi (STI). Elde edilen STI değeri kullanılarak, potansiyel konuşma anlaşılabilirliği belirlenebilir [47].

STI, çok çeşitli elektronik sistemlerin ve akustik ortamların anlaşılabilirliğini ölçmek için kullanılabilir. Tipik uygulamalar aşağıdaki gibidir [50]:

- Anons ve ses güçlendirme sistemleri;
- Acil durum ses sistemleri;
- İletişim kanalları sistemleri;
- Odalar veya akustik alanlarda doğrudan konuşma gibi iletişim türlerinin anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesi.

Platformda yapılan anonsların anlaşılabilirliğinin kötü olmasına neden olan faktörler; arka plan gürültüsü ve çınlama olarak değerlendirilebilir. Beklenen maksimum ses basınç düzeyi (SPL) 90 dBA'dır. Ancak acil durumlarda (örneğin; kalabalığın, panik halindeki insanların ve acil durum fanlarının oluşturduğu gürültü) bahsi geçen değeri aşabilir; dolayısıyla anonslar duyulmaz ve anlaşılmaz hale gelebilir [46].

Aşağıdaki durumlarda anlaşılabilirlik ölçümlerinin yapılması gereklidir [49]:

- Reverberasyon süresi 500 Hz ila 2 kHz frekanslarında 1,5 sn'yi aştığı;
- Arka plan gürültü seviyeleri 75 dBA'yı aştığı;
- Dinleyici- hoparlör arası mesafenin 10 m'yi aştığı durumlarda.

Tren gürültüsü yolcuları rahatsız edebilir ve bir istasyondaki anons sistemlerinin konuşma anlaşılabilirliğini azaltır. Bu nedenle tren gürültüsünün kontrolü; istasyonun konforu, rahatlığı ve güvenliği için önemlidir [19].

Bütün bahsi geçen objektif verilerin dışında anlaşılabilirliği etkileyen subjektif durumlar da söz konusudur. Çözüm önerileri geliştirilirken, acil durumlarda kullanıcıların aşağıda verilen sıkıntılarının telafisi ile yeterli anlaşılabilirliği sağlamayı amaçlamalıdır [46]:

- Alarlara alışkın olma;
- Alarmların stres yapmasından dolayı duyma kabiliyeti ve konsantrasyon eksikliği;
- Anadili olmayan, yaşlı, duyma problemi olma gibi durumlarda anonsların anlaşılabilirliği kötü etkilenir.

Anlatılan sübjektif durumlara ek olarak; yapılan çalışmalarda kadın sesinin erkek sesine göre daha anlaşılır ve ses basınç seviyelerinin daha düşük olduğu görülmüştür [13].

Yeraltı istasyonları, yüksek riskli saldırılarda özellikle de kalabalık ve sınırlı koşullara sahip oluşlarıyla büyük felaketlere ev sahipliği yapabilecek alanlardır. Bu durum doğrultusunda ekonomik değerlendirmeler geçerli olmamalıdır. Standart altı anons sistemleri performansına izin verilmesi uygun değildir [46].

Anonsların anlaşılabilirliği farklı türde mimari çözümler ile gelişebilir, ilerleyen bölümlerde daha detaylı incelenerek çözüm önerileri sunulmuştur.

3.2. Yeraltı Metro İstasyonlarında Mimari Akustik Performans Parametreleri

Yeraltı istasyonlarının akustik koşulları diğer yapı türlerinden biraz daha farklıdır; yapı yerin altında olduğu için çevresel gürültü gibi bir etmen yoktur. Bu alanları etkileyen gürültü sadece kendi bünyesinde oluşan gürültülerdir ve bu bağlamda aslında çözüm tasarımcının kontrolünde olmaktadır.

İstasyon hacimleri daha önce de değerlendirildiği gibi uzun hacimler olarak literatürde yer alırlar. Uzun hacimlerde akustik aşağıdaki verilmiş olan durumlara bağlıdır [3]:

1. Geometri, uzunluk ve bariyer kullanımı;
2. Yüzey bitiş malzemeleri (yutucu, saçıcı malzemeler ve konumları);
3. Ses kaynağının koşulları (zamansal ve mekânsal dağılımı, kaynak yönü, vb.);
4. Hoparlör sistemleri için arka plan gürültüsü;
5. Dil (lisan);
6. Akustik işlemlerin birim maliyetleri.

Performans etmenleri bahsi geçen konu başlıkları değerlendirildiğinde; mimari form, bitiş malzemelerinin kullanımı ve ses kaynakları olarak ele alınabilir. Objektif değerlerin dışında sübjektif konular da söz konusudur; yapılan anonsun hangi lisanda olduğu, kullanıcının yaşı, anons yapan kişinin cinsiyeti (sesin tizliği) gibi birçok sebebe bağlı olabilmektedir [3].

Yeraltı metro istasyonlarında yapılan anonsların anlaşılabilirliği üzerine reverberasyon süresinin ve sesin mekânsal yayılımının, genç ve yaşlılar üzerindeki etkilerinin incelendiği bir araştırmada; anlaşılabilirliğin yaş ile ilintili olduğu anlaşılmıştır. Anonsların frekans karakteristikleri göz önüne alındığında, genç deneklerin 0.125 ile 4 kHz'de ortalama işitme seviyesi, normal işitme olarak kabul edilen 7.1 dB'dir. Ancak yaşlıların ortalama işitme seviyesi aynı frekansta 24.7 dB'dir. Genç ve yaşlı gruplar arasındaki 17.6 dB'lik bu fark, katılımcılar için yaşla ilgili işitme kaybı özelliklerini göstermektedir [12].

Performans etmenleri nesnel akustik parametreler dahilinde incelenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda; istasyon geometrisinin, bitiş malzemelerinin ve ses kaynaklarının varyasyonlarının akustik performansı nasıl etkilediği değerlendirilmiştir.

3.2.1. Nesnel parametreler

Yeraltı metro istasyonlarında akustik koşullar, nesnel akustik parametreler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Söz konusu çalışma alanının en büyük sorunu gürültü olmakla birlikte güvenlik amacıyla konuşmanın anlaşılabilirliği konusu da bir diğer değerlendirilmesi ve çözülmesi gereken konudur. Bahsi geçen hususlar için; T_{30} , SPL ve STI parametreleri dahilinde değerlendirmeler yapılmıştır.

Anonsların anlaşılabilirliği başlığı altında verilmiş olan: nesnel anlaşılabilirlik ölçümlerinin yapılması gerekli durumlar; reverberasyon süresi 500 Hz ila 2 kHz frekanslarında 1,5 sn'yi aştığı, arka plan gürültü seviyeleri 75 dBA'yı aştığı durumlardır [49]. Optimum değerler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Reverberasyon süresi, ses basınç düzeyi ve konuşmanın iletim indeksi parametreleri hedef değerleri

Parametrenin adı	Parametrenin sembolü	Hedef değerler
Reverberasyon Süresi	T_{30}	1,2-1,4 sn [47]
Ses Basınç Düzeyi	SPL	Maksimum 75 dB [49]
Konuşmanın İletim İndeksi	STI	0,60-0,75 (iyi) [50]

Konuşmanın anlaşılabilirliği için ise reverberasyon süresinin, yeraltı istasyonlarında, baskın akustik koşul olduğu görülmüştür [12].

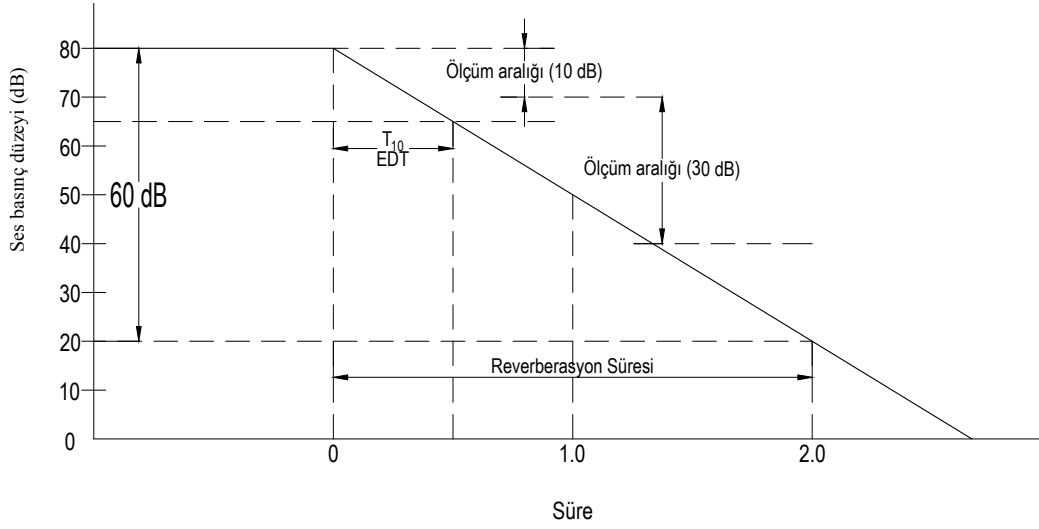
Reverberasyon süresi

Bir mekânın akustik koşullarını tanımlamak için ilk akla gelen ve günümüzde hala geçerli olan reverberasyon süresi; yeraltı metro istasyonlarının en büyük sorunlarından biridir. Söz konusu mekanların akustiğinin optimizasyonu için kilit parametre olarak düşünülebilir.

Reverberasyon süresini ölçmek için; gürültü kaynaklarının oluşturduğu ses basıncı, konuşmanın anlaşılabilirliği ve bir odadaki mahremiyet algısı gibi birkaç neden vardır [51].

Reverberasyon veya çınlama süresi (T): Hacim içinde faaliyette olan bir ses kaynağının susmasından itibaren ses basınç düzeyinin 60 dB azalması için geçen süre olup, bir hacmin akustik özelliğini frekansa bağlı olarak belirleyen ve ses yalıtımının değerlendirilmesinde de kullanılan parametreyi ifade eder [52]. T değeri 60 dB’ den daha küçük bir dinamik aralığa göre değerlendirilebilir ve 60 dB’lik bir azalım süresine ekstrapolasyon yapılabilir. T değeri; azalım eğrisinin, başlangıç seviyesinin altında ilk olarak 5 dB ve daha sonra 25 dB değere ulaştığı zaman kullanılarak elde ediliyorsa, T₂₀ olarak gösterilir. T değeri, başlangıç seviyesinin altındaki 5 dB den 35 dB’e kadar olan azalım değerleri kullanılarak elde ediliyorsa, bu değerler T₃₀ olarak gösterilir [53].

Bir odanın büyüklüğü, yüzeyselliği ve odadaki çınlama arasındaki matematiksel ilişkiyi, 1895-1900 yılları arasında, keşfeden Wallace Clement Sabine; o yıllarda pek de yankı uyandırmadı ama dünyaya sesin nasıl azaldığı hakkında bir fikir vermiştir. Malzemelerin katsayılarının ilk ölçümlerini tamamladı; odanın geometrik hacmini ve bitiş malzemelerinin önemini reverberasyon ile ilişkisini formüle etti. Önerdiği formül, reverberasyon süresini hesaplamak için “Sabine formülü” olarak adlandırılmıştır [54].



Şekil 3.6. Düşüş eğrisi üzerinde RT ve EDT'nin belirlenmesi [55]

Sabine, reverberasyon süresini iki anahtar değişkenle; hacim ve toplam yutuculuk, ilişkilendiren formülü önerdi. Reverberasyon süresi şu şekilde formüle edilir:

$$T_{30} = K \cdot V/A \quad [56] \quad (3.1)$$

T_{30} = Reverberasyon süresi (sn)

$K = 0.161$; Uluslararası standartlardaki (SI) ölçü birimi katsayısı

V = Hacim (m^3)

A = Toplam yutuculuk

$$T = 0.161 V/A \quad (3.2)$$

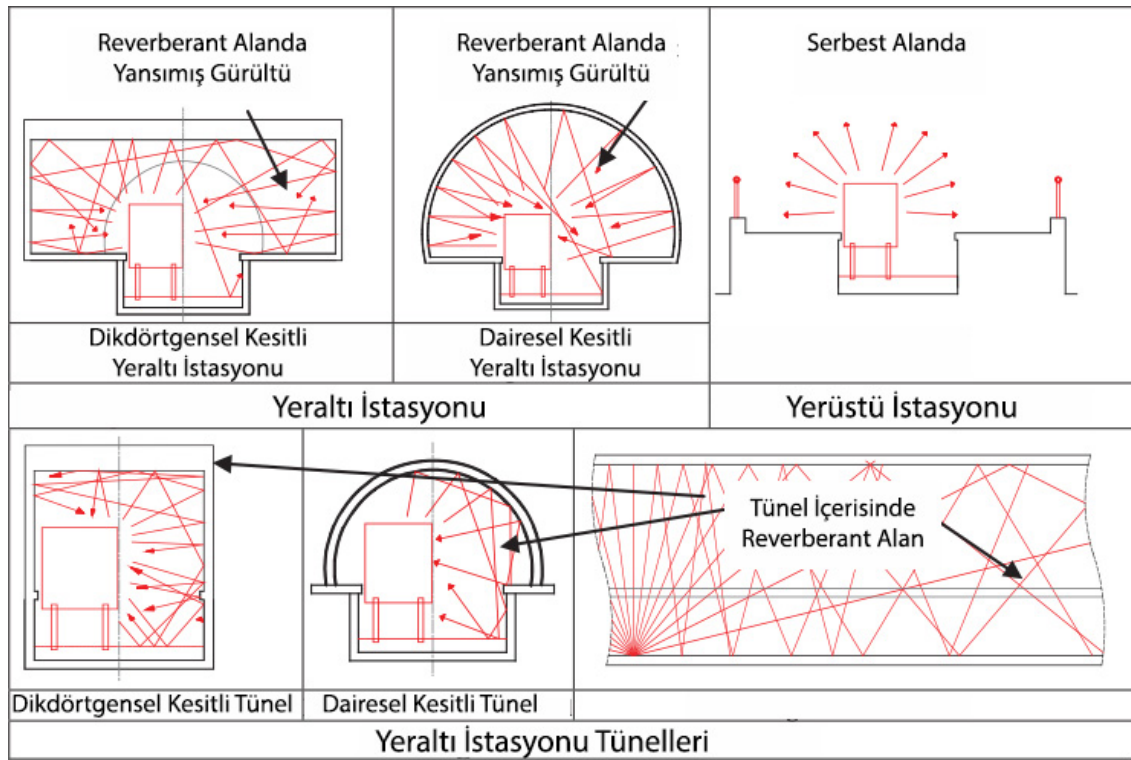
V , odanın metreküp cinsinden hacmini ve A ise metrekare cinsinden toplam emilimidir. Sabine'in denklemi mimari akustiğin temeli olmaya devam etmektedir.

Yeraltı metro istasyonlarının reverberasyon süresinin yüksek olmasının sebebi; uzun hacim olmaları, birbirine paralel uzun duvarlar ve yansıtıcı bitiş malzemeleri kullanımları olarak düşünülebilir.

Daha önceki kısımlarda uzun hacimlerde klasik oda akustiğinin geçerli olamayacağından bahsedilmişti. Yapılan çalışmalar sonucunda, uzun hacimlerde çınlamaya dair aşağıdaki veriler elde edilmiştir [4]:

- Havanın yutuculuğu ile azalma eğrileri daha doğrusaldır;
- Sabit en/boy oranıyla, reverberasyon süresi enine kesit alanının artışıyla artar;
- Sabit bir kesit alanı ile, reverberasyon süresi en boy oranı 1'e ulaştığında maksimuma ulaşır;
- Yansıtıcı uç duvarlar çınlama süresini önemli ölçüde artırabilir;
- Reverberasyon süresi yönlü bir kaynak kullanılarak değiştirilebilir.

Yansıtıcı malzeme kullanımı sonucunda bu mekanlarda ses; yansır ve enerjisi sönümlenemez, ses basınç düzeyinde artış gözlenir. (Şekil 3.7)



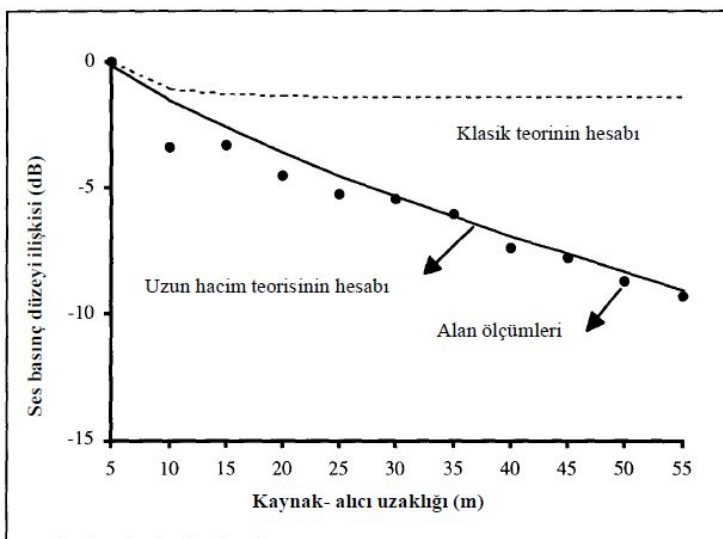
Şekil 3.7. Yeraltı-yerüstü istasyonlarında ve tünellerde gürültünün yansımaları [33]

Ses basınç düzeyi (SPL)

Ses basıncı düzeyi (SPL), kapalı bir alanın akustik ortamını tanımlamada yardımcı nesnel akustik parametrelerden biridir. Hacimdeki sesin akustik kalitesini ortaya koymak için sıklıkla kullanılır. Çünkü kapalı bir alanda sesin ne kadar yutulduğunu ifade eder; konuşma anlaşılabilirliğini, açıklık indeksini (C_{50}) ve netliği (D_{50}) etkiler [41]. En basit formülden elde edilen ses basıncı düzeyi, sadeliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle, özellikle ön tasarım aşamasında kullanılmaktadır [56, 57].

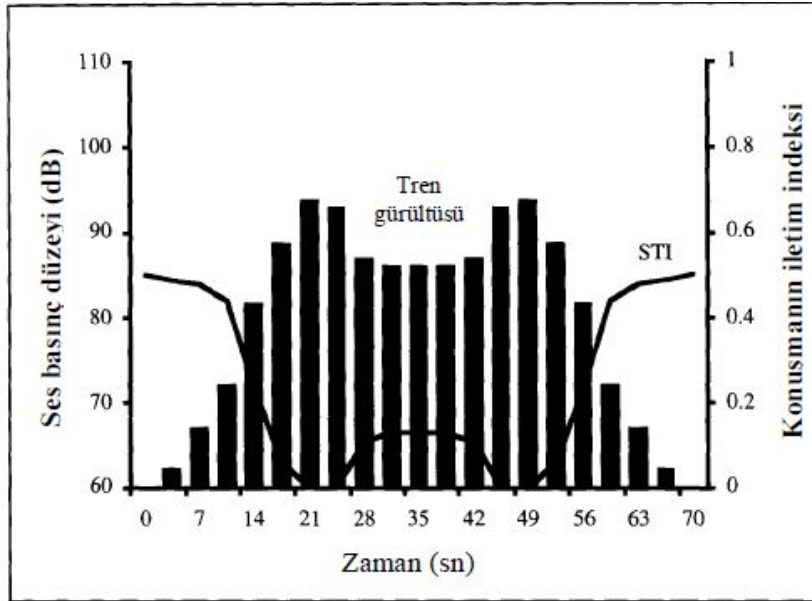
Acil bir durumda, tünel havalandırma fanları tamamen birlikte çalıştırılır. Bu durumlarda yüksek gürültü seviyeleri oluşmaktadır; bu nedenle yeraltı istasyonlarında ses basınç seviyeleri önem kazanır. Öte yandan, beklenen maksimum SPL(A) değeri (90dBA), acil durumlarda aşılabılır; dolayısıyla anonslar anlaşılmaz hatta duyulamaz hale gelebilir [21, 46].

Uzun hacimlerde, ses basıncı düzeyinin sürekli azaldığı ve reverberasyon süresinin sistematik olarak değiştiği, teorik olarak kanıtlanmıştır [8]. Örnek olarak, Hong Kong Toplu Taşıma Demiryolu (MTR) Kwai Fong istasyonunun uzunluğu boyunca ölçülen 1 kHz'deki ses enerjisindeki zayıflama ile klasik teoriye [58] karşılık gelen hesaplamaların karşılaştırmalı grafiği Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.8. Hong Kong Kwai Fong istasyonunun uzunluğu boyunca ve 1 kHz'de ölçülen ses azalımı karşılaştırılması ve klasik teoriyle Beranek [58] ve Kang'ın uzun hacimler teorisi [3] ile karşılık gelen hesaplamalar [4]

Artan ses basınç düzeyi (SPL), konuşmanın iletim indeksini olumsuz yönde etkilemektedir. Örnek olarak Şekil 3.9'da istasyondaki tren geçiş sırasındaki gürültüsü dağılımı hesaplanmış ve anons sisteminin karşılık gelen konuşma iletim indeksini göstermektedir. Hesaplama, hoparlör mesafesi 5 m'dir ve en yakın hoparlörün neden olduğu sinyal seviyesi 80 dB (A)'dır. Alıcı, trenin istasyona girdiği uç duvardan 60 m uzaklıktadır.



Şekil 3.9. London St. John's Wood metro istasyonunda anons sistemlerinin; konuşmanın iletim indeksinin tren gürültüsü ile ilişkisi [34]

Yeraltı istasyonlarında yapılan bir psikoakustik çalışmada görülmüştür ki; gürültülülük, keskinlik ve ses basınç düzeyi (SPL) kişisel rahatsızlığı başlıca etkileyen faktörlerdir [59].

Konuşmanın iletim indeksi (STI)

Konuşma, insanlar arasındaki iletişimin ana yöntemi olarak kabul edilir. Birçok durumda konuşma; konuşma sinyali, konuşma yolu veya konuşmacı ile dinleyici arasındaki aktarım kanalı tarafından bozulur ve bu da konuşmacının konumunda konuşmanın anlaşılabilirliğini azaltır. İletim kanalı tarafından oluşturulan konuşma anlaşılabilirliğini ölçmek için hızlı ve objektif bir ölçüm yöntemi geliştirilmiştir; konuşma iletim indeksi (STI). STI; 0 ile 1 arasında bir değerle ifade edilir. STI yönteminde kısıtlamalar olmasına rağmen, kullanımı birçok durumda yararlı olmuştur ve uluslararası kabul görmüştür [50].

Anlaşılabilirliğin nesnel tahmini için konuşma iletim kanalının fiziksel durumuna dayanan bir değerlendirme yöntemidir. İlk olarak 1925-1930 yılları arasında Fletcher [60] tarafından önerilmiş ve 1947'de French ve Steinberg [61] tarafından modeli oluşturulmuştur. Önerilen yöntemle ilgili bir indeks olan Artikülasyon İndeksi (AI) elde edilmiştir. AI'nın hesaplanması temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Birincisi; bir dizi frekans bandı içinde etkili sinyal-gürültü oranı hesaplanır. İkincisi, etkili sinyal-gürültü oranı, 1 ile 0 arasında değişen bir değere dönüştürülür. Üçüncü olarak, tüm ilgili oktav bantlarında ağırlıklı ortalaması hesaplanır ve daha sonra AI'yı oluşturur [41].

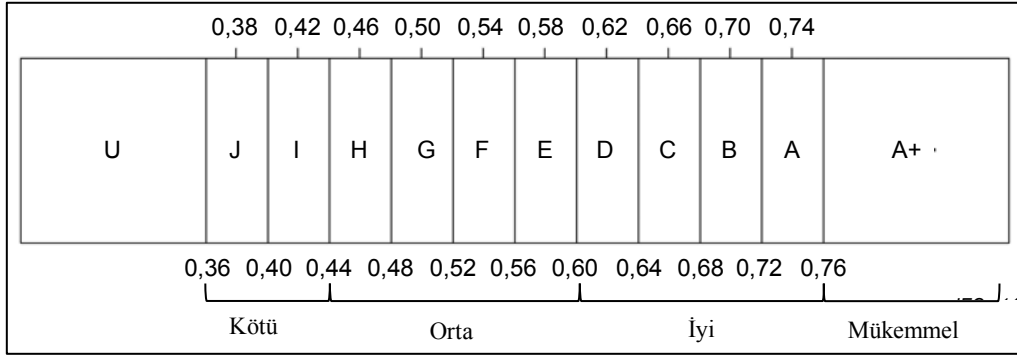
Houtgast ve Steeneken [42, 43], modülasyon transfer fonksiyonunu (MTF) geliştirdiler. Modülasyon transfer faktörü; reverberasyon süresine, arka plan gürültü seviyesine ve ses basıncı düzeyine dayanır. Bir iletişim kanalında konuşma iletim kalitesini değerlendirmek için kullanıldı. Yapılan çalışmalar sonucunda; bir ses kaynağının anlaşılabilirliğini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan konuşma iletim indeksi (STI) olarak bilinen fiziksel bir parametre oluşturuldu [41].

Konuşma iletim indeksi (STI), konuşmacıdan dinleyiciye aktarım kanalından iletilen konuşmanın anlaşılabilirliğini öngören objektif bir ölçektir. STI yöntemi, 1970'lerde tanıtılmasından bu yana gelişmelere konu olmuştur [50]. STI orijinal hesaplama metodunu 1973 yılında Houtgast ve Steeneken bulmuşlardır [42].

Konuşma anlaşılabilirliği bir mekânda üç ölçümle tanımlanabilir; konuşma anlaşılabilirlik indeksi (SII veya SI), konuşma iletim indeksi (STI) veya hızlı konuşma iletim indeksi (RASTI). Daha eski bir parametre olan artikülasyon indeksi (AI) bugün araştırmalarda nadiren kullanılır, çünkü reverberasyon süresini etkili bir şekilde hesaba katamamıştır [54].

STI, anlaşılabilirliği tahmin ederken, AI veya SII'den daha doğru sonuç vermektedir; çünkü daha genel bir yaklaşım kullanmaktadır [62].

RASTI yöntemi, STI kavramının hızlı halidir. RASTI önceleri kullanılmıştır ancak daha sonra anons ve alarm sistemleri için uygun olmadığı görülmüştür; sonuç olarak kullanımdan kaldırılmıştır [46]. Bir başka parametre ise STIPA'dır; alarm ve anons sistemlerinde STI oranının hızlı, güvenilir bir şekilde belirlenmesini sağlamayı amaçlayan ve STI yönteminden türetilerek standartlaştırılmıştır [50]. Bu parametre dünya çapında kabul görmüştür [46].

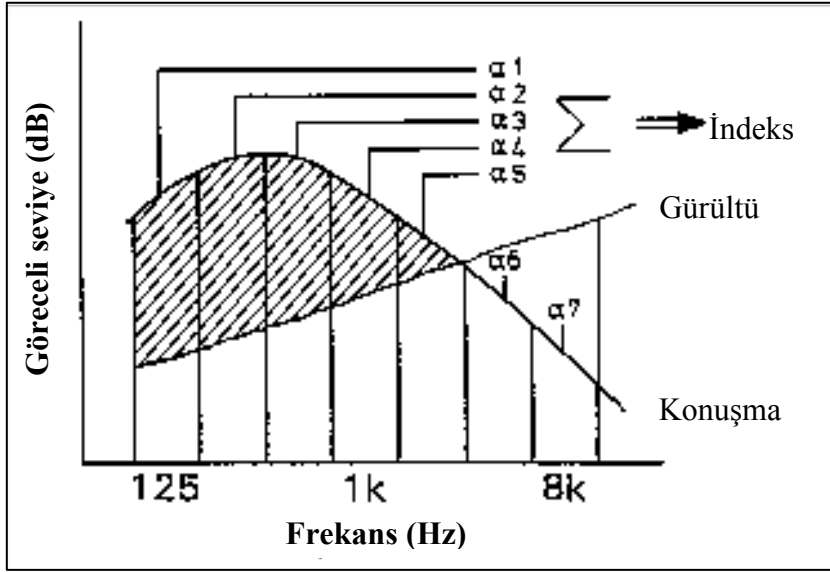


Şekil 3.10. Konuşmanın iletim indeksinin performans değerlendirme [50]

Çizelge 3.3. Konuşmanın İletim İndeksi (STI) ve Konuşmanın Anlaşılabilirliğinin (SI) yüzdesel olarak ağırlıklarının anlaşılabilirlik oranı [54]

Anlaşılabilirlik	Konuşmanın İletim İndeksi (STI)	Konuşmanın Anlaşılabilirliği % (SI)
Kusursuz Anlama	1.0	%100
Mükemmel Anlama	≥ 0.80	$\geq \%98$
Çok İyi Anlama	0.65-0.80	%96-97
İyi Anlama	0.50-0.65	%93-95
Orta Derece Anlama	0.40-0.50	%88-92
Zayıf Anlama	0.30-0.40	%80-87
Kötü Anlama	< 0.30	$< \%80$
Anlamama	0	%0

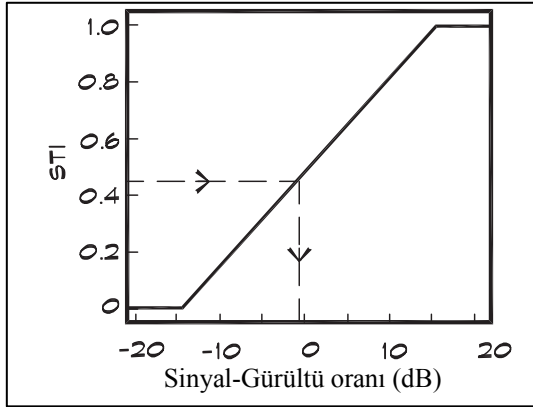
Bir iletişim kanalının konuşma iletim kalitesini tahmin etmeyi amaçlayan STI, belirli bir sinyalin uygulanmasına dayanmaktadır. STI, bir dizi frekans bandına yaptığı ağırlık katkıların (α_k) toplamından oluşmaktadır. Bu amaçla, STI, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi sabit bant genişliklerinde (oktav bantları) ağırlık faktörü katkısı (α_k) kullanımıyla ortaya çıkar [62].



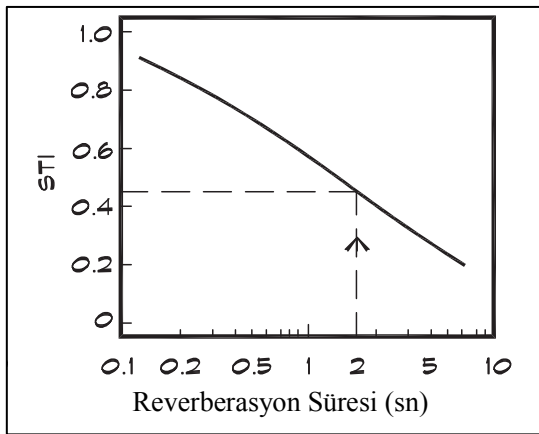
Şekil 3.11. Gürültüyle maskelenmiş bir konuşma sinyalinin spektrumunun ve objektif bir anlaşılabilirlik tahminine yönelik ağırlıklı toplamının gösterimi [62]

Konuşmanın anlaşılabilirliği genellikle bir mekandaki kişi kapasitesiyle açıklanmıştır. Anlaşılabilirliğin kalitesi hem akustik hem de gürültü kontrolü ile ilgili hususlara bağlı iken, en net şekilde sinyal-gürültü yaklaşımıyla incelenebilir. Dinleyiciler, konuşmacının sinyali dinleyicinin bulunduğu yerdeki gürültüye göre yeterince yüksek (+15 dB) olduğunda konuşmayı açıkça kavrar, ancak arka plan gürültüsü ile konuşmanın yüksekliği birbirine yaklaştıkça konuşmanın anlaşılması güçleşir [54]. Sesli alarm sistemlerinde ise kabul edilebilir bir konuşma anlaşılabilirliği seviyesi elde etmek için en az 10 dB'lik bir sinyal-gürültü oranı gereklidir [49].

Konuşmanın anlaşılabilirliği için sinyal-gürültü oranı büyük ölçüde önemlidir. Şekil 3.12'de görüldüğü gibi sinyal-gürültü oranı arttıkça STI da artacaktır; bu ilişki doğrusaldır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, anlaşılabilirliği etkileyen bir diğer konu ise reverberasyon süresidir. STI ve reverberasyon süresinin aralarındaki ilişki Şekil 3.13'de görüldüğü gibi reverberasyon süresinin artışı ile STI değeri, konuşmanın anlaşılabilirliği, azalacaktır.



Şekil 3.12. Konuşmanın iletim indeksi (STI) ile sinyal-gürültü oranı arasındaki ilişki [63]



Şekil 3.13. Konuşmanın iletim indeksi (STI) ile reverberasyon süresi arasındaki ilişki [63]

Anonsların anlaşılabilirliği için STI değerinin en az ‘orta’ sınıfında; 0,45-0,60 değerleri arasında yer alması gerekmektedir (Şekil 3.10). Yeraltı istasyonları için en kritik olan bu parametrenin olabildiğince yüksek olması gerekmektedir.

3.2.2. İstasyon geometrisine ilişkin parametreler

Hacmin geometrik özellikleri o mekânın akustik karakteristiğini belirleyen en önemli tasarım parametresi olmaktadır; bu konuda mimarların doğru çözümleri akustiği iyi yönde etkileyecektir. Bu kısımda yeraltı istasyonlarının geometrisini ve geometrinin sonucu oluşan akustik performans üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

Metro istasyonlarında mimari formun akustik üzerindeki etkisi; peron tipi, istasyonun kesit alanı ve bariyer kullanımı gibi seçimlere bağlı olmaktadır.

Peron tipi

Peron tipleri; kenar (yan), ada (orta), çoklu peron olmak üzere üç başlık altında incelenir. Yapılan çalışmalarda genellikle, kenar ve ada peron tipleri üzerine yoğunlaşmıştır.

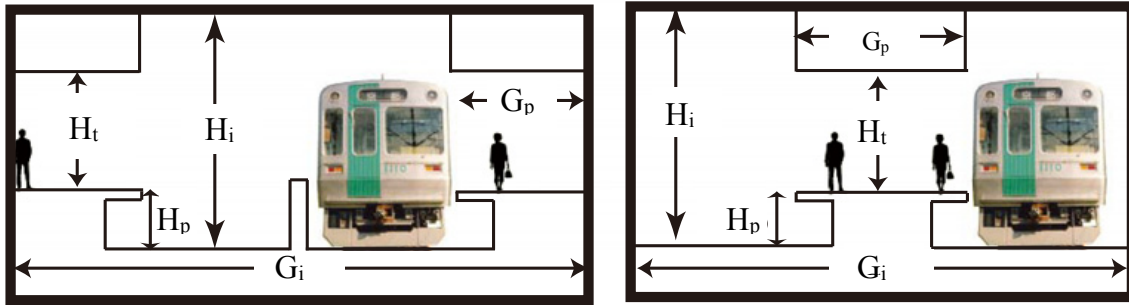
Soeta ve Shimokura [18] istasyonun konumunun yani yeraltı ya da yerüstünde olması ile kenar veya ada tipi oluşu ile ilgili yaptığı çalışmada; yeraltı istasyonlarında ada perondaki A ağırlıklı ses basınç düzeylerinin, kenar tipi peronlardakinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ada peron tipinde oluşan gürültü tren istasyona girmeden hemen önce en yüksek olduğu görülmüştür. Bu gürültünün oluşumunda; ada peronu ile tüneller aynı hizada bulunması etkili olmuştur. Öte yandan yerüstü istasyonlarında bu durum tam tersidir; kenar tipi peronda A ağırlıklı ses basınç düzeyleri, ada tipi perondan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum; kenar tipi peronda balast pisti yani yutucu pist peron alt duvarları ile sınırlanırlar ve yansımalar meydana gelir, ada tipinde ise pistler sınırlandırılmış değildir ve daha geniş balast pisti bulunmaktadır [18].

İstasyon kesit alanı

Uzun hacimlerde en kesit alanı akustik performans için etkili bir parametredir. Hacmin boyutları ve yapı kabuğunun formu ile istasyon kesit alanı belirlenebilmektedir.

Genel olarak mekân içerisinde oluşan gürültü, hacmin boyutlarının büyümesi ile azaltılabilir. İstasyon boyutları küçültülürse; konuşmanın iletim indeksi (STI), sesin açıklığı (C_{50}) ve ses basınç düzeyi (SPL) değerleri artmaktadır. STI dar en kesit ve geniş yutucu alana sahip yerde artış gösterme eğilimindedir [17]. Küçük kesitli istasyondaki güçlü yansımaların tren gürültüsünü daha yüksek hale getirdiği görülmüştür [18]. STI için istasyon genişliği (G_s) ve tavan yüksekliği (H_t) ölçülerinin diğer değerlere oranla çok baskın olduğu gözlemlenmiştir. Tavan yüksekliği (H_t) azaldıkça ses basınç düzeyi (SPL) ve konuşmanın anlaşılabilirliği (STI) artar; ikisi için uygun çözüm üretilmelidir tavan yüksekliği bu noktada kilit değer olabilmektedir [17]. Bununla birlikte, sadece platform genişliğinde veya istasyon yüksekliğinde yapılan değişiklik akustik iyileştirme için yeterli olmayacaktır [13]. Bu nedenle optimum büyüklüklerde mekânın çözümlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.14'de görülmekte olan tipik istasyon kesitlerinde bazı boyutlar ifade edilmiştir. Yapılan çalışmalarda bu değerlerin akustik üzerinde önemli etkiler gösterdiği görülmüştür.

Uzun hacimler üzerine yapılan bir çalışmada; aynı kesit alanında, genişlik/yükseklik oranı $\frac{1}{4}$ olan bir hacmin, kare kesitli bir hacme göre ses sönümlenmenin daha iyi olduğu görülmüştür [6]. Bu durum metro istasyonları için kullanılması mümkün olmasa da tasarım aşamasında daha dar en kesitli bir hacim planlanabilir.

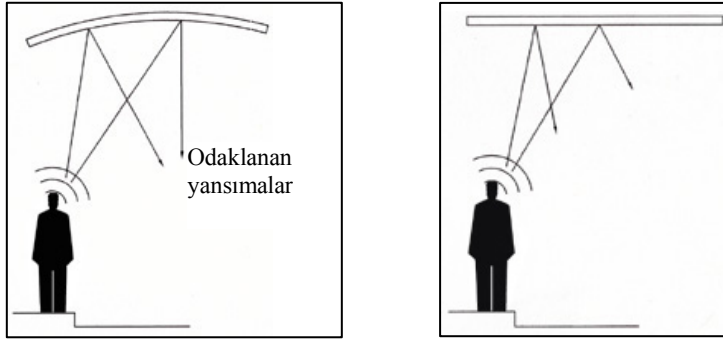


Şekil 3.14. Yeraltı metro istasyonları tip kesitleri (soldaki; kenar tipi, sağdaki; ada tipi peron) (istasyon genişliği (G_i), istasyon yüksekliği (H_i), peron genişliği (G_p), peron yüksekliği (H_p), peron tavan yüksekliği (H_t)) [18]

Hacmin boyutunu etkileyen bir diğer etmense; peron hacminde tek ya da çift hat olması durumudur. Çift hatlı istasyonlarda hacim daha büyük ve bununla beraber gürültü etmeni de diğer sisteme oranla daha çok olmaktadır. Çift hatlı istasyon hacimlerinde gürültünün kontrolü zorlaşmaktadır.

İstasyonlarda yapı kabuğunun formu iki şekilde; dairesel veya dikdörtgensel oluşu şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Yeraltı istasyonları; aç-kapa ve tüp tünel olmak üzere iki şekilde inşa edilirler. Bu inşa yöntemleri yapıların geometrilerini etkilemektedir. Aç-kapa istasyonları; dikdörtgen kesitli istasyonlar olurken, tünel sistemle yapılan istasyonlar dairesel kesitli olmaktadır.

Ses dalgası içbükey yansıtıcı bir yüzeyden, yüzeyin merkezine doğru odaklanarak yansır. İçbükey formların mekân içerisinde kullanımı birçok akustik probleme neden olur. [44] Şekil 3.15'te görüldüğü gibi konuşmacının sesi içbükey yüzey olan mekânda bir noktada odaklanabilir; bu da ses alanının yayılımı kötü olmasına sebebiyet verir. Bu hacimlerde bazı noktalarda konuşmanın anlaşılabilirliği iyi olurken bazı noktalarda anlaşılabilirlik çok düşük düzeyde kalmaktadır.



Şekil 3.15. Sesin yansıması ile yüzey ilişkisi [64]

Dairesel kesitli uzun hacimde yapılan ölçümler, platform uçlarının hem ses basıncı düzeyi hem de erken azalma süreleri (EDT) üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir [24]. Bu etkilerin, tünel açıklıkları etrafındaki kırılmaya bağlı olduğu sonucuna varılmıştır [10].

Yeraltı metro istasyonlarında da sıklıkla rastladığımız iç bükey yüzeyler, bahsedildiği üzere dengeli olmayan ses alanlarına sebep olmaktadır. Buna ek olarak istasyonların uzun hacim oluşu aynı duruma sebebiyet vermektedir (Bkz. Uzun hacimler). Bu iki koşulun bir arada oluşu ile dengesiz ses alanları bu yapı türünün en büyük akustik sorunu haline gelmiştir.

Bariyer kullanımı

Bariyerler, kaynak ile alıcı arasındaki görüş hattını engelleyerek, bir ses gölgesi yaratan herhangi bir katı engel olarak kabul edilebilirler. Temel bariyer teorisi, optik kırınım teorisine benzemektedir. Bir bariyerin performansı; bir kaynaktan alıcıya, doğrudan yol ile bariyer üzerinden dolaylı yol arasındaki fark sonucunda oluşan frekans ve yol farkına bağlıdır [65]. Bahsi geçen engeller; gürültüyü kontrol etmek, azaltmak gibi amaçlarla kullanılırlar. Özellikle demiryolu ve karayolu gürültüsünden korunmak amacıyla tercih edilirler. Kaynak uzunluğunca bariyer yerleştirilmesi uygun çözüm olacaktır.

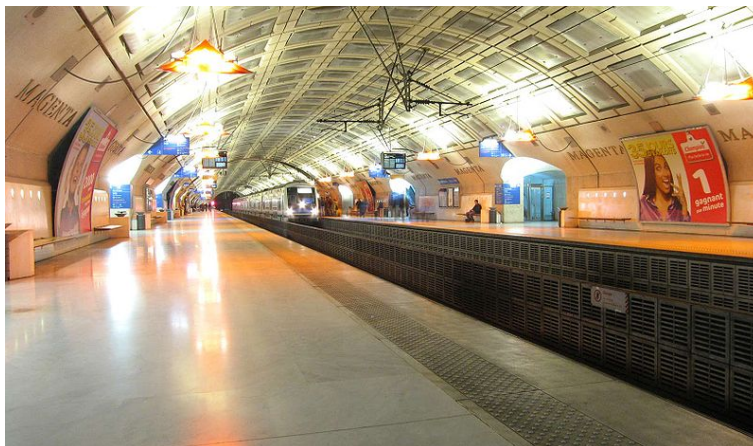
Yeraltı istasyonları için söz konusu bariyerler; yer üstündeki gürültüyü kesmek için kullanılan panolar, hatlar arasında kullanılan kısa yutucu duvarlar ve peron ayırıcı kapılar olarak düşünülebilir.

Yeraltı istasyonlarındaki gürültü caddedeki gürültüden önemli ölçüde etkilenmese de dolaylı ilişkileri olarak çevresel gürültüden etkilenirler; cadde gürültüsünden etkilenebilecek alanlar aşağıdaki gibidir [36]:

- Giriş ve istasyon hol;
- Cadde seviyesindeki merdivenler;
- Cadde seviyesindeki asansörler;
- Cadde seviyesindeki yürüyen merdivenler;
- Cadde seviyesindeki havalandırma kanalları, cadde trafiği gürültüsünden yutucu panellerle gölgelenerek ayrılmalıdır.

Çevresel gürültünün yanı sıra istasyon hacimlerinde oluşan gürültü esas olarak tren nedeniyle oluşmaktadır; bu durumun çözümü için peron alanında çeşitli şekillerde ve konumlarda bariyer kullanımı gürültünün kontrolünde çözüm olabilmektedir.

Hat arasına bariyer oluşturmak; rayların arasına yerleştirilen engeller perondaki ray yatağında teker-ray temasından oluşan gürültünün ilk yansımaları kontrol edildiğinde hatta oluşan gürültü önemli ölçüde kontrol altına alınabilmektedir. Bariyerin her iki tarafı, cam elyafı gibi ses emici bir malzemeye kaplı olmalıdır. Akustik işlemler için ses emme özellikli çimentolu paneller önerilebilir. Bariyer yüksekliği, vagonun zemin seviyesine kadar uzanmalıdır. Ray denetleme personeli için veya olası bir düşme durumunda güvenlik sorunu oluşturabilmektedir [33].



Resim 3.1. Paris'teki Magenta istasyonu platform altındaki pistlerin ve yan duvarlarının arasındaki platform ve gürültü emici bölmeler [33]

İstasyon geometrisini etkileyen bariyerlerin en güçlü etkiye sahip olan türü ise peron ayırıcı kapılardır. Peron ayırıcı kapılar; peron alanını hattan ayırmak için sıklıkla kullanılır. Bu durum; tünel içindeki tren gürültüsünü kontrol ederek istasyonundaki akustik ortamı iyileştirmeyi sağlar [18]. Ayrıca güvenlik bariyeri ve dumanı tutma görevi üstlenmesi nedeni ile kullanılmaktadır. Alanı bölme açısından ve elektro-akustik (hoparlör sistemleri) için kullanışlı sistemlerdir. Peron ayırıcı kapıların kullanımı ile anonslar tünele geçemeyecek, peronda kalacak ve anlaşılabilirlik önemli ölçüde gelişecektir [66].

Bu kapılar son zamanlarda birçok nedenle tercih edilmektedir [16]:

- Güvenlik amacı ile sıklıkla kullanılırlar; düşmeyi engeller.
- Platform alanı ve hat alanının ayrılması ile klima kontrolü sağlarlar.
- Gürültünün kontrolünü sağlarlar.
- Dumanı tutarlar.
- Anons sistemlerinin anlaşılabilirliğini artırırlar.



Resim 3.2. Peron ayırıcı kapı (Barselona) [67]

Japonya'daki demiryolu şirketlerinin güvenlik nedenleriyle peron ayırıcı kapılar için teşvik edilmektedir. 2008'de yaralanmaya veya ölüme neden olan 200'den fazla kaza yaşanmıştır. 2008'den 2010'a kadar 2 yıllık bir süreçte, 61 tren istasyonuna peron ayırıcı kapı yerleştirilmiştir [16].

Peron ayırıcı kapılar; tam ve yarı yükseklikte olmak üzere ikiye ayrılırlar ve çoğunlukla Avrupa ve Asya'da metro sistemlerinde kullanılmaktadır [16].



Şekil 3.16. (a) Yarı yükseklikte peron kapısı, (b) Tam yükseklikte peron kapısı [68]

Yeraltı istasyonlarında kullanılan tam yükseklikte peron ayırıcı kapının (MFH); tren gürültüsü seviyesini gelme aralıklarında yaklaşık 5 dB, gitme aralıklarında 3 dB azalttığı; yarı yükseklikte peron ayırıcı kapının (MHH); tren ses seviyesini gelme aralıklarında yaklaşık 6 dB, gitme aralıklarında 5 dB azalttığı gözlemlenmiştir. Yeraltı istasyonlarında, tavanlar ve duvarlar arasındaki çoklu yansımalar bulunmasına rağmen, peron ayırıcı kapılar tarafından bu durum engellenebilir ve ses basınç düzeyinin azaltılabilir olduğu görülmüştür. Özellikle tam yükseklikte olanlar, ses alanını daha dağınık hale getirerek düşük frekansta gürültüyü azalttığını göstermiştir. Ayrıca peron ayırıcı kapıların yerüstü istasyonları için yeterli ölçüde fark yaratmadığı görülmüştür [16].

Yapılan bir diğer çalışma Şangay'da peron kapıları bulunan XZR istasyonunun simülasyon yöntemi ile ses basınç seviyeleri değerlendirilmesi üzerinedir. Metro, tünel içerisinde iken en yüksek ses basınç düzeyi 80 dB'e ulaşır. Peron içerisinde ise peron kapılarının etkisi ile 55 dB'e kadar düşürüldüğü gözlemlenmiştir. İki tünelden oluşan bu istasyonda diğer tünele ait peron alanında ise ses basınç düzeyi 25dB'e kadar düştüğü görülmüştür [69].

Sonuç olarak peron ayırıcı kapılar; kazaların önlenmesine yardımcı oluşu ve istasyon içinde daha verimli bir iklim kontrolünü garanti etmelerinden dolayı tercih edilmektedir. Tehlike anlarındaki uyarılar ya da bilgilendirme anonslarının anlaşılabilirliği gürültünün kontrolünü sağlaması yönünden de benimsenmişlerdir. Karşılaştırma yapıldığında yarı yükseklikte kapıların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür, ancak aralarında önemli ölçüde fark gözlemlenmemiştir; peron ayırıcı kapıların türü fark etmeksizin kullanımı önerilmektedir.

3.2.3. Bitiş malzemesi seçimine ilişkin parametreler

İstasyon geometrisinde yapılan çözümlerin yetersiz kaldığı noktada bitiş malzemeleri ile çözümler üretilmektedir. Yeraltı istasyonlarının başlıca problemleri gürültü ve yapılan anonsların anlaşılabilmesidir; gürültü kontrolü için yutucu malzemelerin doğru konumlandırılması çözüm olabilir ancak anonsların anlaşılabilirliği için daha karmaşık çözümler gerekmektedir. İstasyonlar kapalı, uzun ve reverberant alanlar oldukları için öncelikle yutucu kullanımı önerilirken; ses alanının daha dengeli olması için saçıcı kullanımı önerilmektedir. Akustikte; cınlama ile çoğalacak gürültünün kontrolü esas olup, bu gürültüyü yutacak, yutuculuk katsayısı yüksek malzeme tercih edilmelidir.

Ulaşım sistemlerinde konfor ve çekiciliğin sağlanması için gürültünün, mimaride bitiş malzemesi yardımı ile çevreye rahatsızlık vermeyecek şekilde, yutulması sağlanmalıdır [36]. İstasyonlarda kullanılan malzemeler belirli gereksinimleri yerine getirmelidir [33]:

- Işık yansıtıcı;
- Saldırılara karşı dayanıklı;
- Hava akımlarına ve aşırı basınçlara karşı dayanıklı;
- Temizlenebilir;
- Yangına dayanıklı;
- Kolayca bakımı yapılabilir;
- Ekonomik;
- Su ile yıkama ve su sızıntılarına karşı dayanıklı, olmalıdır.

İstasyonların gürültüden sonra en büyük akustik sorunu ses alanının yayınlık olmayışıdır. Sesin hacim içinde yayılması pek çok yolla sağlanabilir. Bu yollardan en çok kullanılanları aşağıdaki gibidir [44]:

- Yüzeylerde girinti ve çıkıntı ya da malzeme farklılıkları gibi düzensizlikler veya ses saçıcı elemanların bolca kullanılması;
- Ses yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin ardışık düzenlenmeleri;
- Ses yutucu malzemelerin gelişi güzel, düzensiz dağılımı.

Yutucu malzeme kullanımı

Gürültünün kontrolü ve çınlamanın kontrol edilmesi açısından yutucu kullanımı önem arz etmektedir. Yeraltı istasyonları için ağırlıklı kullanım tavan olmak üzere duvarlarda da yutucu kullanımı önerilmektedir.

Bir yüzeyin ses emici niteliğini tanımlamak ve odaya geri yansımayan ses enerjisinin oranını ölçmek için yutuculuk katsayısını (α) sıfır ile bir arasında bir sayı olarak kullanılır. Değer ne kadar yüksek olursa o kadar çok emilir (malzeme içinde ısıya dönüştürülür) ve daha az yansır; değer ne kadar düşük olursa daha fazla ses yansır ve daha az emilir [54]. Daha yüksek α değerleri; küçük ve birbirine bağlı hava boşluklarının çokluğunu oluşturan bir lif oryantasyonu ile karakterize edilir. Daha düşük emme katsayısı değerlerine sahip malzemeler pürüzsüz, yoğun ve masiftir. 0,50'dan büyük yutuculuk katsayılarına sahip malzemeler genellikle ses yutucu materyaller olarak kabul edilir ve 0,20'den düşük yutuculuk katsayılarına sahip malzemeler genellikle ses yansıtıcı malzemeler olarak kabul edilir [54]. Ancak yutucu malzemeler bahsedildiği üzere genellikle yüzeylerinde boşluklar bulundurmaları ile temizlikleri kolay değildir. Kullanıcı sayısı fazla olan söz konusu yapılar için temizlik kolaylığı malzeme seçiminde başlıca kriter olması nedeniyle yutucu malzemeler, doğru yerlerde ve doğru şekillerde kullanılmalıdırlar.

Kang'ın [7] bir yeraltı istasyonunda yaptığı çalışmada; yutucu malzemelerin düzenlemelerinin, akustik performansı önemli ölçüde etkilediği görülmüştür [4]:

1. Stratejik olarak yerleştirilmiş yutucu düzenlemeleriyle, hoparlör sistemlerinden gelen konuşmanın anlaşılabilirliği daha az yutucu kullanımı ile daha yüksek olabilir;
2. Uzunluk boyunca ses azaltımını sağlamak için kullanılan bazı yutucu düzenlemeleri, çınlamayı azaltmak için yeterli değildir;
3. Uç duvarlardaki yutucu uygulamaları, uzun mekanlarda konuşma anlaşılabilirliğini geliştirmek için çok önemlidir;
4. Nispeten küçük bir kesit için, yutucular iki hoparlörün ortasına yerleştirildiğinde; uzunluk boyunca ortalama konuşma iletim indeksi, yutucular tavan boyunca olduğunda daha yüksektir.

Gürültünün zayıflamasında daha yüksek bir performans elde etmek için, yutucuların yoğun ve kesit alanına eşit şekilde düzenlenmeleri gerekmektedir [6]. Malzemelerin özelliklerine göre doğru noktalarda kullanımları ile başarılı akustik çözümler geliştirilebilir.

Saçıcı malzeme kullanımı

Saçıcı yüzey kullanımı ile odaklanan veya yayılmayan ses alanlarının dağıtılarak dengeli ses alanlarının elde edilmesinde önemli rol üstlenirler.

Bir metro istasyonunda yapılan çalışmada, saçıcı yüzey kullanımının reverberasyon süresinin kısılmasına yardımcı olduğu görülmüştür [3]. Ayrıca nervürlü saçıcıların reverberasyon süresinin düşüşünde ve konuşmanın iletim indeksinin artışında etkili elemanlar oldukları görülmüştür [7]. Özellikle farklı derinlikli nervürlü saçıcılar (QRD) ve nervürlü saçıcılar yüksek saçıcılık performansı göstererek ses alanı karakteristiğini, konuşmanın anlaşılabilirliğini geliştirmiştir. Yapılan bir çalışmada ada tipi perona sahip bir istasyonda; duvarlarda ve tavanda QRD ya da duvarlarda kutu şeklinde saçıcı kullanımı (%50) ile STI değerinin önemli ölçüde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Kenar tipi peronlarda ise STI değerini artırmak için; hem yan duvarlara hem de tavanlara daha düşük saçılma katsayıları uygulanması, duvarlarda QRD kullanmak veya tavanlarda nervürlü saçıcı kullanılması önerilmiştir [14].

Yeraltı istasyonlarında bitiş malzemeleri organizasyonu ile oluşturulan akustik çözüm üretilecek alanlar; döşeme, duvar ve tavan olarak ele alınmıştır.

Döşeme

İstasyon

Yapı işlevi gereği yoğun insan trafiğine maruz kalması sebebiyle döşeme seçiminde; sağlamlık, kolay temizleneme ve yangına dayanım konuları ön plandadır. Malzemeler kolayca değiştirilebilir ve erişimi kolay olmalıdır. Düşük sıvı emilimi, vakumlama için uygunluk ve güçlü temizlik maddelerine karşı direnç önemli kriterdir. Granit bu

gereksinimler açısından en iyi performansı göstermiştir. Bu nedenle istasyonlarda sık tercih edilen döşeme malzemesi olmuştur [33].

İstasyondaki zemin kaplamaları değişik renk ve dokuda kullanılarak engellilerin daha rahat hareket etmeleri sağlanabilir. Dokulu malzeme kullanımı ile görme engellilerin baston ile zemini algılamaları ve yönlendirilmeleri sağlanabilir [70]. Döşemeler akustik iyileştirme için çok doğru konumlar değildir. İstasyonların da döşemelerinde yutucu kullanımı mümkün değildir. Ancak tamamen yansıtıcı olmayan ve dokulu malzeme kullanımı ile ses yansımaları kontrol altına alınabilir.

Tünel

İstasyon döşemelerinde sağlanamayan gürültü kontrolü hat döşemesinde sağlanabilir. Hat; tünel boyunca devam ettiği ve istasyonda da aynı özellikte olması nedeni ile tünel döşemesi olarak ele alınmıştır.

Özellikle raylı sistemlerde hat boyunca balast malzemesi sıklıkla tercih edilmektedir. Balastlı pistteki gürültü seviyeleri benzer istasyon ve balastsız piste göre gürültü seviyesi 4-5 dB kadar daha düşük olmaktadır. Ayrıca temizlik, bakım gibi kriterler değerlendirildiğinde balast muadili malzemelere (Örneğin; püskürtme beton vb.) oranla daha başarılıdır. Ayrıca balast, işçiler veya ekipmanlarından zarar görmez [33].



Resim 3.3. Balastlı ve balastsız demiryolu hattı [71]

Çizelge 3.4 ve 3.5’te beton ve balast kullanımının reverberasyon süresi üzerine etkileri ve yutuculuk katsayıları verilmiştir. Çizelgelerde de görüldüğü üzere orta frekanslarda balastın yutuculuk katsayısının betona göre çok daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak reverberasyon süreleri üzerinde başarılı olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.4. Tünelde ölçülen reverberasyon süreleri [72]

Reverberasyon Süresi						
Frekans	125	250	500	1000	2000	4000
Beton Demiryolu Yatağı	6.3	5.4	4.5	3.6	2.1	1.7
Balast Demiryolu Yatağı	1.1	1.4	1.05	1.35	1.2	1.0

Çizelge 3.5. Tünelde hesaplanan yutuculuk katsayıları [72]

Yutuculuk Katsayısı						
Frekans	125	250	500	1000	2000	4000
Beton Demiryolu Yatağı	0.03	0.35	0.043	0.053	0.091	0.113
Balast Demiryolu Yatağı	0.68	0.52	0.68	0.46	0.46	0.47

Duvar

İstasyon

Kullanım yoğunlukları nedenleriyle metro istasyon duvarlarında temizliği ve tamiri kolay; seramik vb. yansıtıcı yüzey kullanımı sıklıkla karşımıza çıkar. Ancak karşılıklı paralel uzun duvarları olan bu mekanlarda; ses dalgaları tekrarlı yansımaya uğrayarak, ses düzeyleri artar ve uğultu oluşur [45].

Çınlama ve gürültü kontrolünü sağlamak için duvarlarda cam yünü esaslı malzeme kullanımı önerilmektedir. Bu kaplamaların, orta ve düşük frekans yutuculuk katsayıları yüksektir. Bir diğer çözüm önerisi ise çitallı sistemlerle oluşturulmuş, yüzeyde perfore malzeme ve arkasında camyünü kullanımı ile hedeflenen yutuculuk sağlanmasıdır [33].

Konuşmanın anlaşılabilirliğini arttırmak için dengeli ses alanları oluşturulmalıdır. Saçıcı yüzey kullanımı, dengeli ses alanları oluşumu için önem arz eder. Saçıcı yüzeylerin duvar ve tavanda kullanımını inceleyen bir çalışmada; saçıcıların yönünün ses alanları için etkili değişim sağladığı görülmüştür ve yaşlı insanlar için yüksek reverberasyon süreli, bol saçıcı duvarların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [14].

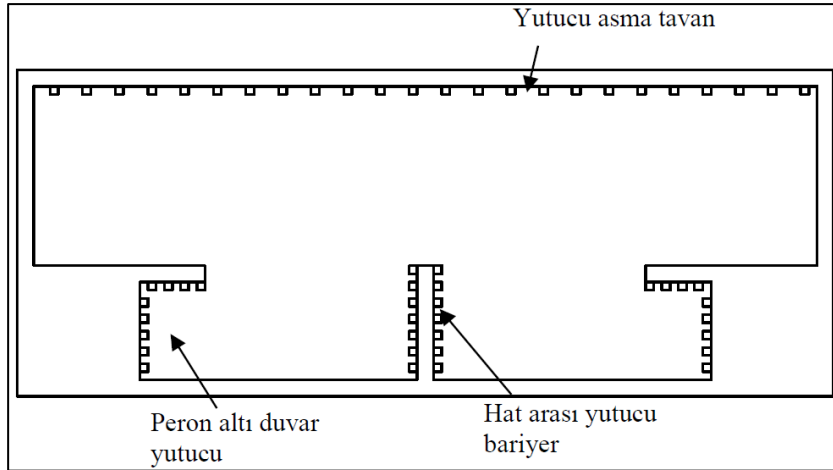
Peron uç duvarlarının (Resim 3.4); çınlamayı ve güçlü geç yansımaları azaltarak, konuşmanın iletim indeksi (STI) değerini arttırmak için oldukça verimli bir konum olduğu görülmüştür. Ayrıca bu konumlarda yutucu kullanımı ile arka plan gürültüsü kontrol altına alınabilmektedir [46].



Peron uç duvarı

Resim 3.4. Peron uç duvarı ve tünel girişi [46]

Ses yutma işlemi için en etkili yerleştirme yeri; peronun dikey yüzeylerinde ve tek hatlı istasyonlar için tünel duvarının peronun karşısındaki alt kısımları, yani en çok gürültü üretiminin olduğu demiryolu hattının bulunduğu alandır [72]. Peron alt duvarlarında bulunan ses yutucu malzemeler; kaynağa yakın ses enerjisini yutar ve perondaki tren gürültüsü seviyesini azaltır. Peron altı çıkma yüzeylerinde de yutucu kullanımı etkili olacaktır. Bahsi geçen ray yatağına yakın bu konumlarda yutucu çözümleri; peronların uzunluğu boyunca sürekli olmalı ve yerleştirilebilecek bütün yüzeyler tamamen kaplanmalıdır [33].



Şekil 3.17. Peron altı duvar ve hatlar arası yutucu bariyer kullanımı [33]

Tünel

Bir tren, tünelin girişine yaklaştığında fazla yansıtıcı bitişlerle istasyonda gürültüye neden olur. Ancak yutucu uç duvarlar kullanılarak; kuvvetli bir yutucu alan elde edilip, gürültü kontrol altına alınabilir [5]. Tünel duvarı uygulamaları; hem aracın içindeki gürültüyü hem de istasyondaki gürültü seviyelerini azaltır [33].

Tünelde, tavan ve duvar işlemlerinde, dinamik hava basıncının neden olduğu baskıları önlemek için hava boşluğu olmadan tavana düz bir şekilde monte edilmelidir. Tavanlar ve duvarlar aynı zamanda çimentolu püskürtmeli duvar kaplamaları ile kaplanabilir. Püskürtme çimentolu malzemenin kullanıldığı metro duvarı uygulamaları pratik ve etkilidir; çoğunlukla tünellerde, yani mimari görsellik gerektirmeyen alanlarda, kullanımı önerilmektedir. Yutuculuğu çok yüksek olan taş yününün de tavan ve duvarlarda uygulamaları önerilir [33].

Tavan

İstasyon

Asma tavanlar her işlevde yapı türü için akustik iyileştirmenin yapıldığı ve etkili sonuçlar veren alanlardır. Yeraltı metro istasyonlarında da bu durum geçerlidir hem temizlik hem de tahribat gibi bir sorunları yoktur. Bu nedenle özellikle yutucu çözümleri için en uygun konumlardır.

Tavanlar en az 2,70 m (tercihen 3,50 m) yükseklikte olmalıdır. Asma tavan konstrüksiyonu, trenlerin tünelde oluşturacağı basınçlı hava akımına karşı dirençli ve gürültüye karşı ses yutucu özellikte olmalıdır [36]. Basınç ve hava akışı sorunu nedeniyle, akustik metal asma tavan sistemleri için malzemenin yüzeyi delikli ve hava akımını geçirebilir olması gerekmektedir. Genel olarak perfore metal yüzeyler ve arkalarında taş yünü ile düşük frekanslarda etkili olan fiber selüloz sprej vb. malzemeler sıklıkla karşımıza çıkar [13].

Söz konusu yapıların akustik problemi olan anonsların anlaşılabilmesi konusunda ise hoparlörler birincil elemanlardır ve genellikle asma tavan üzerinde yer alırlar. Hoparlörlerin konumları yönelimleri ve çevrelerindeki bitiş malzemelerinin kullanımları farklı akustik koşullar oluşturmaktadır. İki hoparlörün ortasına yutucu yerleştirilmeli ve tüm tavan boyunca hoparlörler yutucu elemana göre daha yüksekte konumlanmalıdır [7].

Kim ve Soeta [17], bitiş malzemelerinin anonsların anlaşılabilirliğine olan etkisini inceledikleri çalışmada; tavanda yutucu malzemeler kullanılarak, konuşmanın iletim indeksinin (STI) ve açıklık indeksinin (C_{50}) maksimize edilebileceğini görmüşlerdir.

Genel olarak tavanda saçıcı ve yutucu yüzeylerin dengeli kullanımı; gürültü kontrolünde, reverberasyon süresinin kısılmasında ve anonsların anlaşılabilirliğinde etkili olacaktır. Tünellerin tavanı ise duvarları ile birlikte ele alınır ve yapılan uygulamalar genellikle aynı olmaktadır.

3.2.4. Ses kaynakları ve akustik tasarıma ilişkin parametreler

Mekân içerisindeki ses kaynakları hacmin akustiğini doğrudan etkilemektedir. Yeraltı metro istasyonlarında söz konusu ses kaynakları sadece kendi bünyesinde bulundurduğu elemanlardan oluşur; bu istasyonlar konumları nedeniyle çevresel gürültüden etkilememektedir. Bünyelerinde bulundurdıkları başlıca ses kaynakları hoparlörlerdir.

Hoparlörler

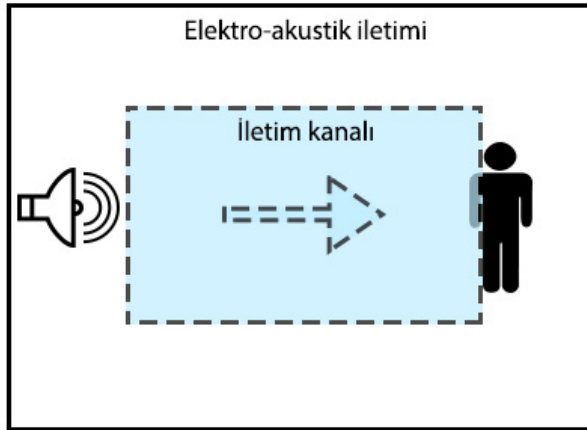
Metro istasyonlarındaki anonslar; kaza anlarında, tren gelir ve giderken uyarıları içermektedir; bu yüzden hoparlörler önemli ses kaynaklarıdır [17].

İlgili standartların ve şirketlerin performans özelliklerinin çoğu, yalnızca hoparlör sistemlerinin hedeflenen uygulamaları; yangın ve acil durum tahliyesinden bahsetmektedir. Bununla birlikte, iç mekanlarda başka birçok yaşamı tehdit edici olay, acil durum ortaya çıkabilir ve hoparlör sistemlerinin yardımına ihtiyaç duyulur. (Örneğin; büyük kaza, güç veya hava arızası, tuzak, yanlış alarm paniği, damgalama, terörist saldırı vb.) [46].

Anons sistemi;

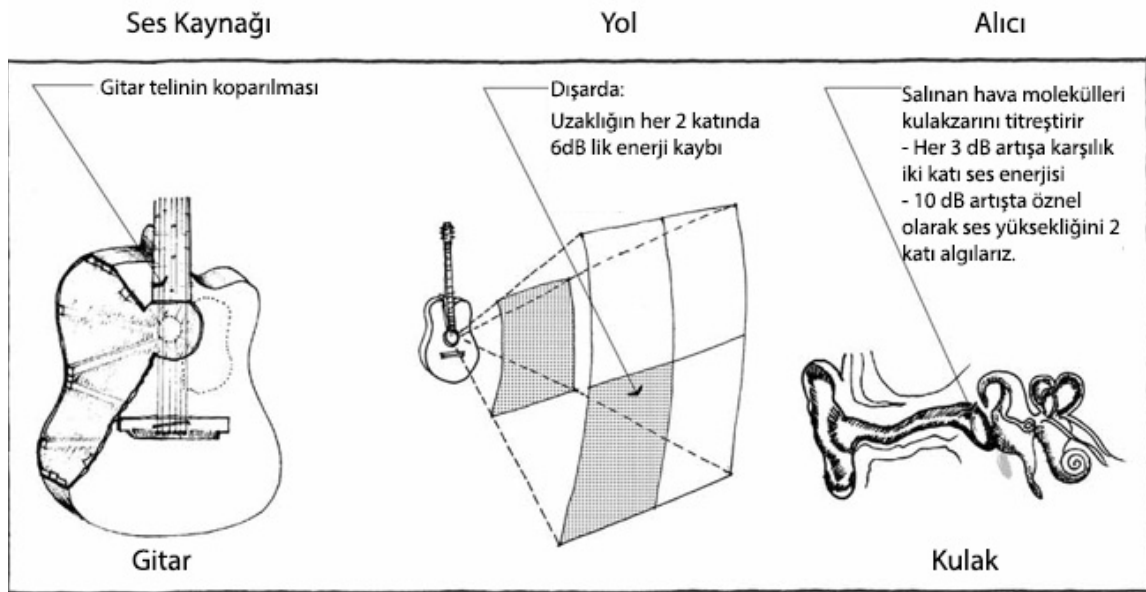
- a. Hoparlör sistemleri
- b. Mekânsal boşluk (akustik iletim kanalı)
- c. Dinleyici

Olmak üzere bahsedilen yolları izler [46]. (Şekil 3.18) Çalışmanın esas alanı mekânsal boşluk olarak bahsedilen istasyon hacminin akustik açıdan değerlendirilmesidir; ancak çalışmanın bu kısmında hoparlör sistemlerine dair kısa bilgi verilmiştir.

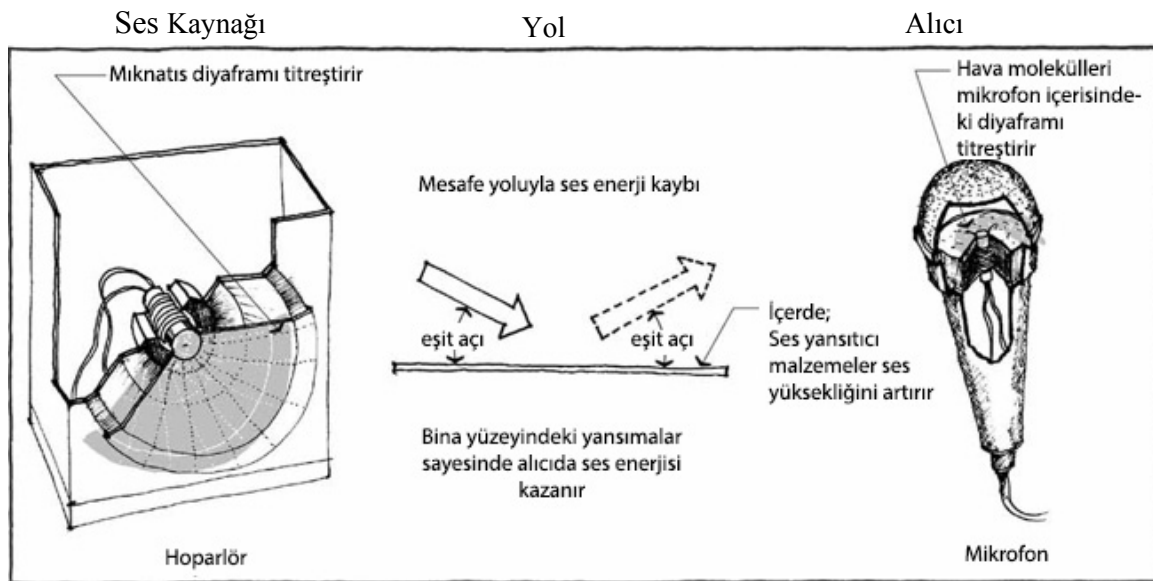


Şekil 3.18. Elektro-akustik iletim kesiti diyagramı [46]

Ses güçlendirme yapılan alanlarda, hoparlörleri dinleyiciyi tamamen örtecek şekilde konumlanması hedeflenmektedir. Güçlendirilmiş ses, oda yüzeylerinden yansıdığı anda karışır. Bu nedenle, ses güçlendirme yapılan alanlarda çok daha kısa reverberasyon süreleri ve daha fazla yutucu yüzeyler gerektirir [54]. Şekil 3.19’da ses kaynaklarının alıcıya iletimini anlatılmaktadır; Şekil 3.20’de hoparlör sistemlerinin alıcıya iletimi sırasındaki yol görülmektedir.



Şekil 3.19. Serbest alanda güçlendirilmemiş ses kaynağı ve alıcı olarak insan [54]



Şekil 3.20. İç mekanda güçlendirilmiş ses kaynağı ve alıcı olarak mikrofon [54]

Hoparlörlerin türü, numarası, konumu ve yönelimi seçimi sesli alarm sistemleri tasarımının kritik bir parçasıdır ve aşağıdakileri içeren bilgilere dayanmaktadır [49]:

- a) Akustik çevre (mekânın hacmi ve şekli);
 - i. Plan,
 - ii. Bina kesiti,
 - iii. Bitiş malzemeleri,

- iv. RT;
- b) Ortam gürültüsü seviyesi;
- c) İklimlendirme ortamı;
- d) Alan kaplama gerekliliği;
- e) Montaj düzenlemeleri (örneğin; tavan döşemeleri, duvar);
- f) Hoparlörün görünümünün mimari tasarımı ve uygunluğu;
- g) Yayın sesli alarm dışındaki amaçlar için kullanılıyorsa; yorum, fon müziği, vb.;
- h) Seçilen hoparlörün yön özellikleri, duyarlılığı ve frekans tepkisi;
- i) Yüzeylerin yutuculuğu ve saçıcılığı;
- j) Hoparlör alıcı mesafeleri;
- k) Hoparlör alıcı yönelimi.

Hoparlöre güç verilerek (watt) ses seviyesini artırabiliriz. Her iki katına (watt) kadar ses seviyesi 3 dB artar. Her hoparlör türünün uygulanabilecek güç için maksimum sınırı vardır. Aşağıdaki Çizelge 3.6'da hoparlöre uygulanan güce bağlı olarak ses seviyesinin bir örneğini sunmaktadır. Hoparlör 100 dB'de / 1 w / 1m'de derecelendirilmiş, aşağıdaki ses seviyeleri geçerlidir [73].

Çizelge 3.6. Hoparlöre uygulanan güce bağlı olarak ses seviyesinin örneği [73]

Watt	Hoparlöre 1m Uzaktaki Ses Seviyesi	Ses Benzerlikleri
1 Watt	100 dB	Fön Makinası
2 Watt	103 dB	1m Uzaktaki Çim Bıçme Makinası
4 Watt	106 dB	Elektrikli Testere
8 Watt	109 dB	Çocuk Çığlığı
16 Watt	112 dB	100 M Yakından Jet Geçiş
32 Watt	115 dB	Kumlama
64 Watt	118 dB	Muhtemel İşitme Kaybı
128 Watt	121 dB	Rock Konseri, Gök Gürlemesi

Anons sisteminin ses gücünün artırılması, işitilebilirliği artıracak ancak konuşma anlaşılabilirliğini doğrudan iyileştirmeyecektir. Özellikle uzun hacimlerde elektro akustik sistemlerinden gelen anonsların anlaşılabilirliği; sinyal-gürültü oranı (SNR) ve reverberasyon süresi başta olmak üzere birçok parametreye bağlıdır. Çizelge 3.7'de yeraltı istasyonlarında sesli alarm sistemlerinin performans parametreleri verilmiştir [46].

Çizelge 3.7. Yeraltı sesli alarm sistemleri için gerekli akustik parametreler ve performans kriterleri [46]

Parametre	Performans kriterleri
SNR	10 dBA
Maksimum SPL	90 dBA
STI	≥ 0.5

Sesli alarm sistemleri, gerekli anlaşılabilirlik seviyesine ulaşması için, arka plan gürültüsünün üzerinde bir konuşma sinyali seviyesi oluşturmak için tasarlanmalıdır. Genel olarak, kabul edilebilir bir konuşma anlaşılabilirliği seviyesi elde etmek için en az 10 dB'lık bir sinyal-gürültü oranı gereklidir. Ortam gürültüsü algılama sistemlerinin anons sistemlerine dahil edilmesi durumunda, yayın başlamadan 1 saniye önce ortam gürültüsünün bir süre boyunca eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi ($L_{Aeq, T}$) ölçecek şekilde ve yayının ses seviyesi, ortam gürültüsünden 10 dB daha yüksek bir ses basınç düzeyine sahip olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu durum sonucunda sinyal-gürültü oranını yükselttilerek, anlaşılabilirlik arttırılabilir [49].

Londra metro istasyonlarında kullanılan hoparlörler; optimum konuşma, güvenlik, yangın, toz giriş direnci, estetik, diğer mekanik ve kurulum gereksinimleri için katı asgari performans şartlarını sağlamalıdır. Bahsi geçen gereksinimler hoparlörlerin seçimini sınırlar. Ayrıca hoparlör düzenleme seçenekleri, yüksek reverberasyon süresine sahip hacimler için geleneksel tasarım yaklaşımıyla sınırlıdır. Bu yaklaşım, platform uzunluğu boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmiş ve paralel bağlanmış bir dizi düşük güçlü ve çok yönlü hoparlörün kurulumunu içerir [46].

Yapılan çalışmalarda, bilgisayar simülasyonları kullanılarak, farklı hoparlör konumları gibi değişikliklerin platformdaki reverberasyon süresini etkilemediği görülmüştür [46]. Ancak istenen anlaşılabilirliği elde etmek için, hoparlörlerin tipi, yönünü ve konumu etkili olabilmektedir [49]. Ölçüm metodu kullanılan bir çalışmada; metro istasyonlarında ses alanı, yolcu ile hoparlör arasındaki mesafe 15 metre içerisinde olduğunda anonslar için iyi konuşma anlaşılabilirliği sağlandığı görülmüştür [20]. Bir diğer öneri ise hoparlör yolcuların kafa seviyesine mümkün olduğu kadar yakın konumlandırılması ile anlaşılabilirlik arttırılabilir [46].

Teorik olarak, çok yönlü hoparlör kullanımının uzun mekanlarda birçok hoparlörlü anons sisteminin konuşma anlaşılabilirliğini arttırmak için çok yararlı olabileceği görülmüştür [7].

Basit akustik alanlarda, yetkili kişi bahsedilen bilgileri kullanarak gereken hoparlör tiplerini, miktarlarını ve konumlarını tahmin edebilir. Akustik performansın sağlanması zor olan alanlarda, bir bilgisayar simülasyonu yardımı ile konuşmanın anlaşılabilirliğini karşılamak için gereken hoparlör tipleri ve yerleri tahmin edebilir [49].

3.3. Yeraltı Metro İstasyonlarına İlişkin Ulusal- Uluslararası Mevzuat

Konuya ilişkin hem uluslararası standartlar hem de ulusal standartlar mevcuttur. Ülkemizde yürürlükte olan yönetmelikler aşağıdaki gibidir:

- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği;
- Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği.

Tasarım aşamasında standartlarda yararlanılmaktadır, Türk Standartları Enstitüsünün yeraltı metro istasyonları tasarım kılavuzu olarak:

- Türk Standartları Enstitüsü, Şehir İçi Yollar-Raylı Taşıma Sistemleri Bölüm 1: Yer Altı İstasyon Tesisleri Tasarım Kuralları, TS 12127; standardı bulunmaktadır.

Anons ve alarm sistemleri ile ilgili, standartlar incelenmiştir. İngiltere'deki metro istasyonlarında alarm sistemleri tasarımında yaygın olarak kullanılan ilgili standartlardan:

- TS EN 60268-16 Konuşma iletim indeksi ile konuşma anlaşılabilirliğinin tarafsız sınıflandırılması;
- BS 5839-8-2013 Binalar için yangın algılama ve yangın alarm sistemleri- Bölüm 8: Acil anons sistemlerinin tasarımı, kurulumu, devreye alınması ve bakımı için uygulama.

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

4/6/2010 tarih ve 27601 sayılı resmî gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde yönetmenliğin amacı;

gürültüye maruz kalmanın zararlı etkilerinin önlenmesi ve azaltılması için ortak bir yaklaşım sağlamaktır [47]. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde raylı sistem çevresel gürültü kriterleri verilmiştir. Raylı sistemlerden kaynaklanan gürültü seviyesi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler aşağıda belirtilmiştir:

- Hafif raylı sistemlerin yeraltı ve yerüstü istasyonlarında; bekleme, iniş ve binış platformlarında, istasyonlarda ve havalandırma kanallarında zaman dilimine bağlı olarak oluşabilecek L_{eq} cinsinden çevresel gürültü sınır değerleri Çizelge 3.8'deki değerleri aşamaz.
- Hafif raylı sistemlerin yeraltı istasyonlarında reverberasyon süresi; boş iken 500 Hz'de maksimum hedef değeri için 1,4 , kabul değeri için ise 1,6 saniye olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.8. Hafif raylı sistemler için çevresel gürültü sınır değerleri [47]

Yer altı İstasyonları		Leq (dBA)	Yerüstü İstasyonları		Leq (dBA)
Gişeler, merdivenler, koridorlar		55	Platformlar (platform kenarından 1,8 m)	Duran ve kalkan trenler için	70
Platformlar (platform kenarından 1,8 m)	Duran ve kalkan trenler için	80		Geçen Trenler	75
	Geçen Trenler	85		Çalışır durumda bekleyen trenler için	65
	Çalışır durumda bekleyen trenler için	65			
İstasyon içinde Havalandırma sistemi		55			
Caddelerde havalandırma kanalları (9.0 m'de)		55			
İstasyon içinde kapalı hacimlerde bulunan acil havalandırma fanları (22.5 m'de)		80			

Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği

31/05/2017 tarih ve 30082 sayılı resmî gazetede yayınlanan Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmeliği'nde; çeşitli bina ve mekânlar işlevlerine bağlı olarak sınıflandırılarak, yapı akustiği esasları dahilinde değerlendirmeler içermektedir. Çalışmanın sınırlılığı gereğince yapı akustiği ele alınmamıştır. (Bkz. Sınırlılıklar)

Bu yönetmelikte hacim akustiğine dair verilen yutuculuk değerleri, çalışma konusu için önem kazanır. Yönetmeliğe göre; terminaller vb. kamuya ait tesisler içerisinde tavan kaplamasının ağırlıklı ses yutuculuk katsayısının (α_w) en az 0,75'i sağlaması gerekmektedir. Diğer yüzeyler için istenen yutuculuklar katsayıları reverberasyon sürelerine bağlı olarak elde edilir [52].

Türk Standartları Enstitüsü, Şehir İçi Yollar-Raylı Taşıma Sistemleri Bölüm 1: Yer Altı İstasyon Tesisleri Tasarım Kuralları, TS 12127

İstasyon alanları boş olduğunda, reverberasyon süresi 500 Hz 'de en çok 1,2 s-1,4 s aralığında, akustik perdelemede yutuculuk katsayısı ise 500 Hz 'de en az 0,60 NRC değerine sahip (Gürültü Azaltım Katsayısı) olmalıdır. İstasyon hol, ücret toplama alanları, merdiven ve koridorlarda en yüksek gürültü seviyesi, alan boş iken 55 dBA, reverberasyon süresi 500 Hz 'de en çok 1,2 s olmalıdır. Ayrıca, holdeki bütün alanın en az %50'sinde akustik tedbir alınmalı ve kullanılan malzemenin yutuculuk katsayısı 500 Hz 'de en az 0,60 NRC (Gürültü Azaltım Katsayısı) olmalıdır. Merdiven ve yürüyen merdiven alanlarının en az %35 'inde akustik tedbirler alınmalıdır [36].

Orta aralıklı tren işletiminde, iki hatlı platformda yansıma süresi 1,2-1,4 saniye; çok hatlı-geniş ve çok platformlu, yüksek tavanlı istasyon platformundaki yansıma süresi ise 1,4-1,6 saniye olmalıdır [36].

Tren gürültüsünden doğrudan etkilenen alanların tasarımında aşağıdaki akustik seviye sağlanmalıdır [36]:

- Trenlerin platforma giriş ve çıkışlarında, platformda, döşeme seviyesinden 1,80 m yukarda (80- 85) dB(A); geçen trenlerde aynı yer ve yükseklikte 85 dB(A); bekleyen trenlerde 65 dB(A);
- Platformdaki havalandırma ve diğer yürüyen merdiven gibi mekanik çalışmalarda gürültü seviyesi en çok 55 dB(A);
- Alan boşken 500 Hz 'de reverberasyon süresi en çok 1,5 s olmalı;
- Bütün alanın %35'inde akustik tedbir alınmalı, platform kenarı ile ray arasındaki duvar (araç tekerlek seviyesi), 250 Hz 'de 0,40; 500 Hz 'de yutuculuk katsayısı 0,65 NRC değerinde (Gürültü Azaltım Katsayısı) akustik yutucu malzeme ile kaplanmalı;

- Tavan kaplama malzemesinde 500 Hz 'de 0,60 NRC değerine (Gürültü Azaltım Katsayısı) sahip malzeme kullanılmalıdır.

İstasyonlarda trenden doğan gürültü; trenlerin en yüksek hızına (130 km/h), istasyondan çıkarken hız kazanma ve istasyona girerken frenlemesine (80 km/h), platform boyuna, ray boyundaki inen veya çıkan eğime, istasyonlar arasındaki mesafeye bağlı olarak değişir. İstasyonda alınacak akustik tedbirler ile gürültü en çok 80-85 dBA seviyesinde tutulmalıdır.

TS EN 60268-16 Konuşma iletim indeksi ile konuşma anlaşılabilirliğinin tarafsız sınıflandırılması

Hoparlörlerden yayımlanan anonsların anlaşılabilirliği üzerine olan bu standart konuşmanın iletim indeksinden (STI) bahseder. Konuşmanın iletim kalitesini anlaşılabilirlik açısından derecelendirmek için objektif yöntemler; ölçüm ve tahmin teknikleri sunar. Bu standardın amacı, STI yönteminin tüm kullanıcılarına ses, iletişim ve akustik alanlarında kapsamlı bir el kitabı sağlamaktır.

İngiliz Standartları (British Standards)

Anons ve alarm sistemleri ile ilgili standartlar genellikle uyum amacıyla referans veya rehberlik olarak kabul edilir. İngiltere'deki metro istasyonlarında alarm sistemleri tasarımında yaygın olarak kullanılan ilgili standartların bir listesi aşağıda verilmiştir [46].

- Yangın önlemleri (yeraltı demiryolu istasyonları) yönetmeliği 1989 (2009)
(Fire precautions (sub- surface railway stations) regulations 1989 (2009))
- Demiryolu güvenliği ilke ve kılavuzu Bölüm 2 (2005)
(Railway safety principles and guidance Part 2 (2005))
- BS 5839-8: 2008 (2013) Binalar için yangın algılama ve yangın alarm sistemleri- Bölüm 8: Acil anons sistemlerinin tasarımı, kurulumu, devreye alınması ve bakımı için uygulama
(BS 5839-8: 2008 (2013) Fire detection and fire alarm systems for buildings - Part 8: Code of practice for the design, installation, commissioning and maintenance of voice alarm systems)

- BS EN 60849: 1998 Acil durumlar için ses sistemleri
(BS EN 60849:1998 Sound systems for emergency purposes)
- BS 6259:1997 Ses sistemlerinin tasarımı, planlaması, kurulumu, test edilmesi ve bakımı için uygulama kodu
(BS 6259:1997 Code of practice for the design, planning, installation, testing and maintenance of sound systems)
- BS EN ISO 9921:2003 Ergonomi- Konuşma iletişiminin değerlendirilmesi
(BS EN ISO 9921:2003 Ergonomics- Assessment of speech communication)
- BS EN 54-16: 2008 Yangın algılama ve yangın alarm sistemleri. Sesli alarm kontrol ve gösterge ekipmanı
(BS EN 54-16: 2008 Fire detection and fire alarm systems. Voice alarm control and indicating equipment)
- BS EN 54-24: 2008 Yangın algılama ve yangın alarm sistemleri- Bölüm 24: Sesli alarm sistemi bileşenleri- Hoparlörler
(BS EN 54-24: 2008 Fire detection and fire alarm systems - Part 24: Components of voice alarm systems – Loudspeakers)

Bu standartlardan; BS 5839-8-2013 akustik değerlendirmelerden bahseder.

BS 5839-8-2013 Binalar için yangın algılama ve yangın alarm sistemleri- Bölüm 8: Acil anons sistemlerinin tasarımı, kurulumu, devreye alınması ve bakımı için uygulama

Yeraltı istasyonları için önem arz eden acil durumlarda anonsların anlaşılabilirliği konusunda, bu standart yol gösterici olmaktadır. Yangın algılama ve alarm sistemlerinden gelen sinyallere yanıt olarak konuşma veya uyarı mesajlarını otomatik olarak yayınlayan sesli alarm sistemlerinin; tasarımı, kurulumu, devreye alınması ve bakımı için öneriler sunar. Hoparlör yerleşimi ile ilgili koşullar aşağıdakileri sağlamalıdır [49]:

1. Hoparlör merkezleri arasındaki maksimum mesafe aşağıda verilmiştir:
 - i. Tek yönlü hoparlörler için 6 m;
 - ii. Çift yönlü hoparlörler için 12 m.

2. Bir hoparlör ve herhangi bir dinleyici arasındaki maksimum engelsiz mesafe aşağıda verilmiştir:
 - i. Tek yönlü hoparlörler için 6 m;
 - ii. Çift yönlü hoparlörler için 7,5 m.

Sabitlenmiş anons sistemi ses basınç seviyeleri (SPL) için geçici bir düzenleme olmalı ve yerüstü istasyonları için 65 dB (A) ve yeraltı istasyonları için 75dBA'dan az olmamalıdır. Bu ayarlara +/- 3 dB (A) toleransı izin verilir [49].

3.4. Yeraltı Metro İstasyonlarına İlişkin Akustik Performans Parametreleri Özet Tablosu

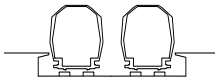
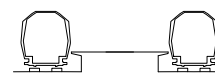
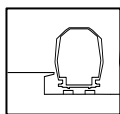
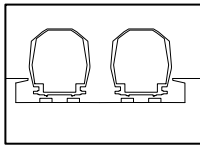
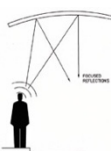
Tasarım aşamasında alınan kararlar ile akustiğin iyileştirilmesi mümkündür. Çalışmada mimari seçimlerin akustik performans üzerinde etkileri araştırılmıştır. Bu kısımda yapılan araştırmaların bir özeti niteliğinde ve tasarım sürecinde; mekân kurgusundan malzeme seçimine kadar tasarımcıya yol gösteren bir tablo oluşturulması hedeflenmiştir.

Tablo içerik olarak; 3.2. başlığında ele alınan parametreler dahilinde değerlendirmeler içermektedir. Mimari tasarım parametrelerinin akustik performans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde literatür çalışması esas alınmıştır. Tasarım aşamalarının sırası izlenerek oluşturulan bu çalışmada yine aynı sıra ile aşağıda verilen Çizelge 3.9-13'te performans değerlendirmesi yapılmıştır.

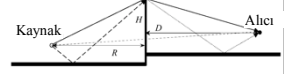
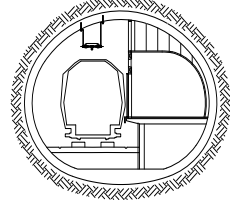
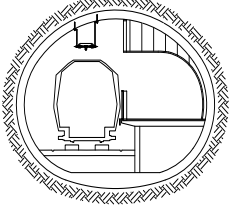
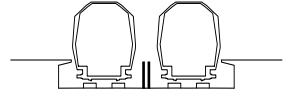
Çizelge 3.9. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirmesi-1

Özellikler		Akustik performans değerlendirmesi	
Genel Özellikler	Uzun Hacim	Dezavantaj	Dengeli olmayan ses alanları oluşumuna sebebiyet verirler. Ardışık yansımalara neden olurlar. Bunun sonucunda; yüksek reverberasyon süresi ve yüksek ses basınç seviyesi oluştururlar.
	Lineer Ses Kaynağı	Dezavantaj	Tren gürültüsü oluşturduğu gürültü lineer kaynak oluşuyla uzaklıkla daha az oranda azalacaktır. Tren gürültüsü noktasal kaynağa göre daha zor enerjisini kaybeder.
	Konumu	Avantaj	Yeraltında oluşu ile çevresel gürültü gibi bir sorun yoktur.
		Dezavantaj	Yangın güvenliği konusunun önemi nedeniyle yansıtıcı yüzeyle kullanımı ile çok reverberant alanlar oluşmaktadır. Yeraltı istasyonları, yer üstü istasyonlarına göre 6.4 dB kadar daha fazla ses basınç düzeyine sahiptir [18].

Çizelge 3.10. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirme-2

Özellikler			Akustik performans değerlendirmesi			
İstasyon Geometrisi	Peron Tipi	Kenar	Avantaj	- Eşdeğer ses basınç seviyesi daha düşüktür [18].		
		Ada	Dezavantaj	- Eşdeğer ses basınç seviyesi daha yüksektir [18].		
	İstasyon Kesit Alanı	Boyutlar	Büyük	Avantaj	- İstasyon boyutlarının büyük oluşu ile ses basınç seviyesi daha düşük olmaktadır.	
			Dezavantaj	- Hacmin büyük oluşu ile reverberasyon süresi uzamaktadır.		
		Küçük	Avantaj	- Özellikle STI değerinde, istasyon genişliği veya koridor yüksekliği azaltılarak yani kesit alanı küçültürerek artış sağlanabilir [17].		
			Dezavantaj	- İstasyon boyutlarının küçük oluşu ile ses basınç seviyesi daha yüksek olacaktır [13].		
		Dar	Avantaj	- Uzun hacimlerde dar en kesit, ses sönümlemede başarılıdır [5]. - STI değeri dar en kesitli istasyonlarda daha başarılı sonuçlar vermiştir [17].		
	Hat Sayısı	Tek	Avantaj	- Daha az gürültü oluşturan etmen olduğundan daha avantajlılardır.		
		Çift	Dezavantaj	- Hacimleri daha büyük olmakta, ancak gürültü etmeni de diğer sisteme oranla daha çok olduğundan gürültü kontrolü zorlaşmaktadır.		
	Yüzey Geometrisi	Düz	Avantaj	- Yansımalar doğrusal olmakta ve odaklanma konkav yüzeydeki gibi olmamaktadır.	 [64]	
		Konkav	Dezavantaj	- Sesin odaklanmasına sebebiyet verirler. - Konuşmanın anlaşılabilirliğinin hacim boyunca değişkenlik göstermesine neden olurlar.	 [64]	

Çizelge 3.11. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirme-3

Özellikler		Akustik performans değerlendirme	
İstasyon Geometrisi	Bariyer Kullanımı	Bariyer	- Cadde seviyesindeki giriş, merdivenler, asansörler, yürüyen merdivenler ve havalandırma kanalları, cadde trafiği gürültüsünden yutucu panellerle gölgelenerek ayrılmalıdır [36].  [65]
		Peron Ayırıcı Kapı	- Tam yükseklikte olanlar, ses alanını dağınık hale getirerek düşük frekansta gürültüyü azaltırlar [16]. - Yarı yükseklikte olan kapılarda daha iyi sonuç alındığı görülmüştür [16]. - Aralarında önemli ölçüde fark gözlemlenmemiştir; peron ayırıcı kapılarının türü fark etmeksizin kullanımı önerilmektedir [16].  
		Hatlar Arası Bariyer	- Rayların arasına yerleştirilen engeller platformdaki gürültü seviyelerini azaltır. Bariyerin her iki tarafı, ses yutucu bir malzemeye kaplı olmalıdır. Bariyer yüksekliği en az vagonun zemin seviyesine kadar uzanmalıdır [33].  [33]

Çizelge 3.12. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirme-4

Özellikler		Akustik performans değerlendirme	
Bitiş Malzemeleri	Döşeme	Peron	- Döşemelerde tamamen yansıtıcı olmayan ve dokulu malzeme kullanımı ile ses yansımaları kontrol altına alınabilir. - Optimum STI değeri için peronda; döşeme ve tavan yüzeylerine yutuculuk eklenerek artış sağlamak mümkündür [13].
		Hat	- Balastlı pistteki gürültü seviyeleri, balastsız piste göre 4-5 dB kadar daha düşük olmaktadır [33].
	Duvar	Peron	- Karşılıklı uzun duvarları olan metro istasyonlarında duvarlarda yutucu çözümleri ile çınlama ve gürültü kontrol altına alınabilir [33]. - Nervürlü saçıcılar yüksek saçıcılık performansı göstererek ses alanı karakteristiğini, konuşmanın anlaşılabilirliğini geliştirirler [14]. - Duvar ve tavanda kullanılan nervürlü saçıcıların reverberasyon süresinin düşüşünde ve konuşmanın iletim indeksinin artışında etkilidir [7].
		Hat	- Tünel duvarında yutucu uygulamaları; hem aracın içindeki gürültüyü hem de istasyondaki gürültü seviyelerini azaltır [33].
		Peron Alt Duvar	- Ses yutma işlemi için en etkili ve verimli yerleştirme yeri, platformun dikey yüzeylerinde ve tek hatlı istasyonlar için tünel duvarının platformun karşısındaki alt kısmındadır; gürültü üretiminin olduğu demiryolu hattının bulunduğu alan [72].
		Peron Uç Duvar	- Uç duvarlardaki yutucu uygulamaları, uzun mekanlarda konuşma anlaşılabilirliğini geliştirmek için çok önemlidir [4]. - Platform uç duvarlarının çınlamayı ve güçlü geç yansımaları azaltarak, konuşmanın iletim indeksi (STI) değerini arttırmak için oldukça etkili ve verimli bir konumdur [46].
	Tavan		- Tavanlar yutucu çözümleri için en iyi konumlardır. - Tavanda yutucular iki hoparlörün ortasına yerleştirildiğinde; uzunluk boyunca ortalama konuşma iletim indeksinin artış gösterdiği görülmüştür [4]. - Genel olarak perfore metal yüzeyler ve arkalarında taş yünü, düşük frekanslarda etkili olan fiber selüloz sprej vb. malzemeler sıklıkla karşımıza çıkar [13]. - Duvar ve tavanda kullanılan nervürlü saçıcılar, reverberasyon süresinin düşüşünde ve konuşmanın iletim indeksinin artışında etkili olmuştur [7].

Çizelge 3.13. Mimari tasarım parametreleri için akustik performans değerlendirmesi-5

Özellikler		Akustik performans değerlendirmesi
Anons Sistemleri Özellikleri	Hoparlör Konumları	- Hoparlörleri dinleyiciyi tamamen örtecek şekilde konumlanmalıdır [54]. - Çok yönlü hoparlör kullanımı uzun mekanlarda birçok hoparlörlü anons sisteminin konuşma anlaşılabilirliğini arttırmak için avantaj sağlamaktadır [7]. - Hoparlörler, yolcuların kafa seviyesine mümkün olduğu kadar yakın konumlandırılmalıdır [46].
	Hoparlör Aralıkları	- Yolcu ile hoparlör mesafesinin mümkün olduğunca kısa olması tercih edilmelidir. - Yolcu ile hoparlör arasındaki mesafe maksimum 15 metre olduğu durumda anonslar için iyi konuşma anlaşılabilirliği sağlanabilir [19]. - Hoparlörler; tek yönlü dizilimi için maksimum 6 m; çift yönlü dizilimi için maksimum 12 m, aralıklarla yerleştirilmelidir [49].
Diğer Etmenler		- İşlevsel veya dekoratif mobilya, donanım, sanat eseri ve yüzeyi pürüzlü yapısal malzemeler kullanarak çınlamanın azalmasına yardımcı olmak için yüzeylerin ses dağıtma özelliklerini arttırmak, - Mevcut platform reklam panolarının tavan ve kablo kanalı metalik panellerinin yanı sıra ayarlanmış mikro delikli oyuk ses emiciler gibi davranacak şekilde yeniden tasarlanması, - Yerleşik mekânsal dağılıma göre yayın sırasında seçilen hoparlörlerin etkinleştirilmesi (yolcu varlığı tespitine göre), çözüm olabilir [46].

Yeraltı istasyonları akustik açıdan değerlendirildiğinde genel özellikleri ile uzun hacim, konumları dolayısıyla yerin oldukça altındadırlar ve bu hacimlerde bulunan başlıca gürültü kaynakları trenler, yani lineer ses kaynaklarıdır. Uzun hacimler dağınık olmayan ses alanları ile akustik açıdan zor mekanlardır. Bu durum anonsların anlaşılabilirliğini kötü etkilemektedir. Tren gürültüsü noktasal kaynağa göre daha uzun sürede enerjisini kaybeder, gürültünün kontrolü zor olmaktadır. Ayrıca tren gürültüsü kesikli gürültü olarak değerlendirilebilir. Kesikli gürültüde devamlılık düşüktür; haberleşme ve konuşma zorluğu fazladır, konsantrasyonda zorluk çekilir. İstasyonda oluşan kesikli gürültü durumu da anonsların anlaşılmasını tetiklemektedir.

Akustiği etkileyen durumlar başlıca geometri, bitiş malzemeleri ve ses kaynaklarıdır. Yeraltı metro istasyonlarında; istasyon geometrisi, bitiş malzemeleri ve hoparlör sistemleri olarak değerlendirilebilirler.

İstasyon geometrisi; peron tipine, istasyon kesit alanı ve engel kullanımı gibi mimari seçimlere bağlı olarak değiştirilebilir ve yapılan değişimlerin akustik performansa etkisi tabloda verildiği gibi olmaktadır. Kenar tipi peron önerilmektedir. Kesit alanı olarak değerlendirildiğinde; boyutları daha dar en kesite sahip, tek hatlı ve düzlemsel yüzeye sahip istasyonların akustik performansı daha yüksektir.

Bitiş malzemesi seçimi ise döşeme, duvar, tavan olarak değerlendirilip; kullanılması önerilen malzeme özellikleri ve örnek malzemeler verilmiştir. Akustik yutucu çözümleri; uzun reverberasyon süresini ve konuşmanın anlaşılabilirliğini etkilediği bütün yeraltı mekanları için geçerli geliştirilebilir çözümdür [46]. Yeraltı metro istasyonlarında tren yolunda kullanılan balast ve tavanda kullanılan yutuculuğu yüksek boşluklu asma tavanın kullanımı, birçok yönden başarılı çözümlerdir [21].

Mimari değerlendirmelerin yanı sıra elektro akustik; hoparlör sistemleri yönünden de değerlendirmelerde yapılmıştır. Anonsların gerekli anlaşılabilirlik seviyesine ulaşması için, arka plan gürültüsünün üzerinde bir konuşma sinyali seviyesi oluşturmak için tasarlanmalıdır. Ses kaynağı olan anons sistemleri yani hoparlörler konumları ve mesafeleri ile ilgili, anonsların anlaşılabilirliği doğrultusunda, gereklilikler kısaca özetlenmiştir. Çizelgede değerlendirilen durumlara ek olarak anons sistemleri ile entegre olacak bir sistem; ortam

gürültüsü algılama sistemleri kullanılarak yayının ses basınç seviyesi değişimi ile anlaşılabilirlik sağlanabilir. (Bkz. Hoparlörler)

Akustiği etkileyen başlıca konular dışında mobilya kullanımları, reklam panoları ve anons sistemlerinde anlık koşulla göre değişen sistemler gibi çözümler üretmek de mümkündür.

Tasarım tahminleri, farklı doluluk düzeylerinin ve diğer arka plan gürültü kaynaklarının (Örneğin; Acil durum havalandırma fanları) neden olduğu etkiler de dahil olmak üzere, en olası en kötü acil durum senaryolarını karşılamalıdır [46].

4. ÖRNEK ÇALIŞMA: İSTANBUL'DA BİR YERALTI METRO İSTASYONU

Yeraltı metro istasyonlarına dair örnek bir proje üzerinden akustik benzetim programıyla analizi yapılmıştır. Değerlendirmeler istasyonun peron katında yapılmıştır. Seçilen istasyonun mevcut akustik koşulları simülasyon programı yardımı ile tespiti yapıldıktan sonra koşulları iyileştirmeye yönelik öneriler sunulacaktır.

4.1. Örnekleme İlişkin Genel Bilgiler

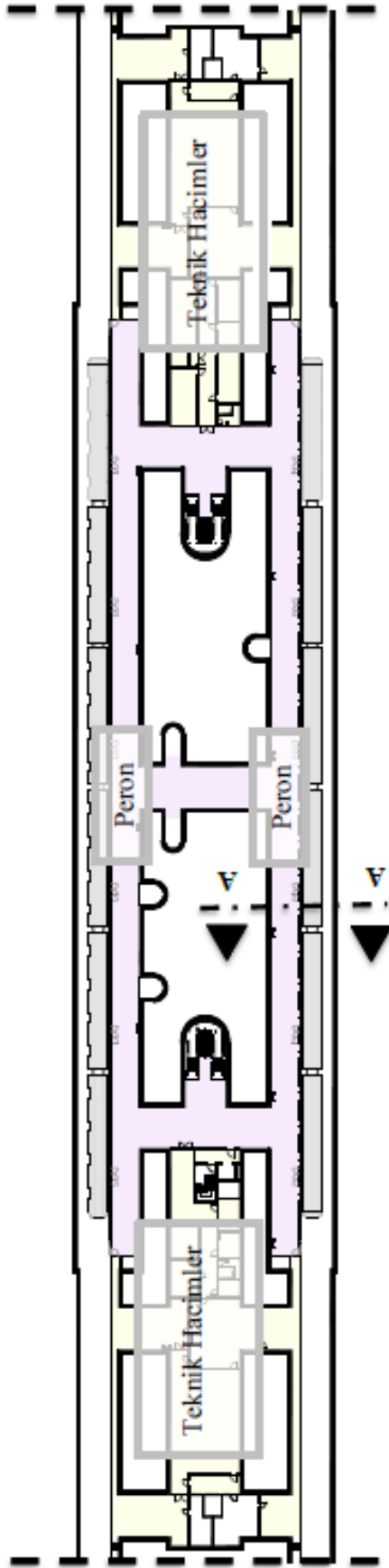
Seçilen örneklem; İstanbul'da yapılması planlanan ve kesin proje aşamasında olan, bir yeraltı metro istasyonudur. Projenin; konumu, işleyişi, kullanım senaryoları gibi genel kararları alınmış ve multidisipliner tasarımı tamamlanmıştır.

İstasyonun inşa tekniği; tüp tünel sistemidir. Peron katı yerin 28 metre altında yer almaktadır. Saçak yardımı ile +28.90 kotundan kontrollü alana giriş sağlandıktan sonra yolcular için asansör ve merdivenlerle peron kotuna erişim sağlanmaktadır. Böylece tünele inen kullanıcılar, yatayda hatları bağlayan bu tüneller ile yolculuk edecekleri güzergâha ait tünele doğru yönelmektedirler.

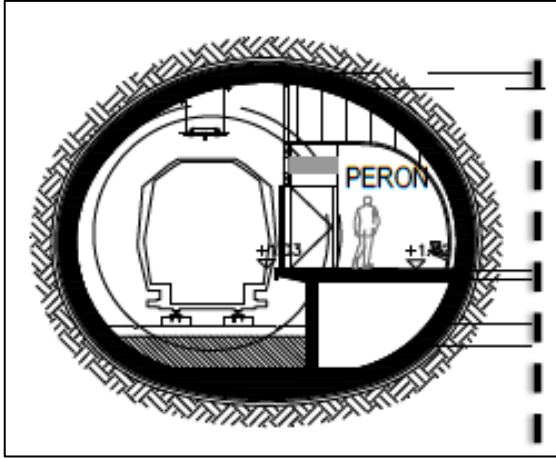
Peron uzunluğu 140 m genişliği 4 m'dir. Yüzey bitiş malzemeleri; döşemede granit, duvarda GFRC (glass fiber reinforced concrete), tavanda alüminyum baffle asma tavan kullanılmıştır. İstasyon inşa yöntemi tünel tekniğidir. Peron tipi; kenar tipi olup, hatlar birbirlerinden ayrı hacimlerde kurgulanmıştır. İstasyonda tam yükseklikte peron ayırıcı kapı bulunmaktadır.

Çizelge 4.1. Mimari tasarım parametreleri dahilinde mevcut durumun değerlendirilmesi

Özellikler	İnşa Tekniği	Peron Tipi	İstasyon Geometrisi	Kesit Alanı	Hat Özellikleri	Peron Ayırıcı Kapısı	Hoparlör Konumları	Hoparlör Aralıkları
Mevcut Durum	Tünel	Kenar Tipi	Konkav yüzey	10 m ²	Tek Hat	Var	Asma tavan	5 metre



Şekil 4.1. Peron katı planı (+1.00 Kotu)

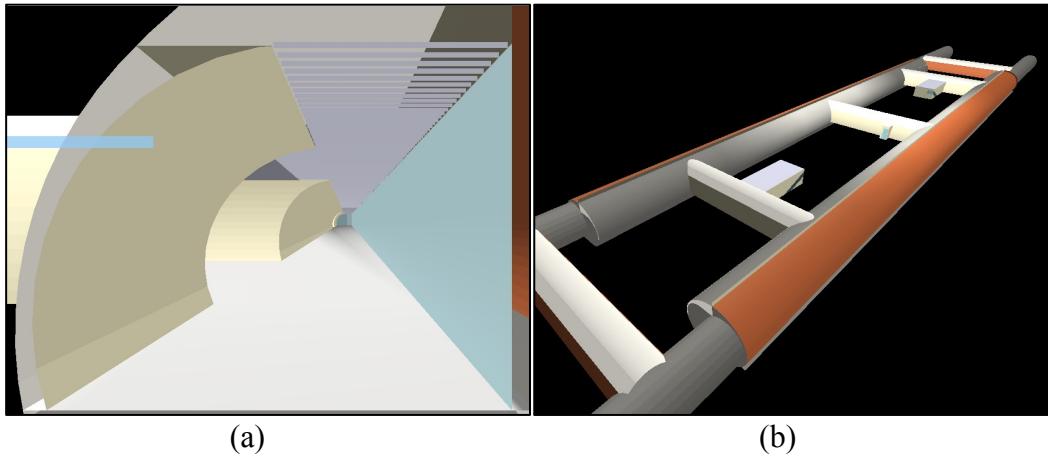


Şekil 4.2. A-A kısmi kesiti (peron kesiti)

4.2. Seçilen Metro İstasyonunun Hacim Akustiği Parametreleri Açısından Simülasyon Yöntemiyle Analizi

Örnek olarak seçilen yeraltı metro istasyonuna ait nesnel akustik parametreler simülasyon programı ile mevcut durum analizlerinin değerlendirilmesi için kabul edilen akustik performans kriterleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Benzetim çalışmaları için kullanılan istasyon modeli Sketch Up programında istasyonun mimari çizimleri üzerinden, Odeon (v.10.02) simülasyon programı için uygun olacak şekilde sadeleştirilerek, modellenmiştir.

Odeon (v 10.02) [74] simülasyon programı ile analiz için TS EN ISO 3382-2 [51] standardına uygun kaynak ve alıcı konumlarını içeren yerleşim düzeni hazırlanmıştır (Şekil 4.4, Şekil 4.7 ve Şekil 4.10).



Şekil 4.3. Odeon OpenGL görünümü (a) kesit, (b) perspektif

Mikrofonlar (alıcı) arasındaki en düşük mesafe, d_{min} değeri, denklem 4.1 kullanılarak metre cinsinden hesabı yapılmıştır [51]:

$$d_{min} = 2 V \sqrt{V/cT} \quad (4.1)$$

Burada,

V hacim, m³;

c ses hızı, m/s;

T tahmini beklenen çınlama süresi, s

Denklem kullanılarak d_{min} hesaplanmıştır. Hesap sonucunda $d_{min} = 5,68$ olarak bulunmuştur. İstasyon uzunluğu 140 m olduğu için alıcılar 10 m aralıklarla yerleştirilmiştir. Her bir perona 14 alıcı yerleştirilmiştir. Toplamda peron katında 34 alıcı yerleştirilmiştir. Alıcılar yerden 1,5 m yukarıda konumlandırılmıştır. Alıcılar, peron kenarından 1,8 m mesafede konumlandırılmıştır [47].

Simülasyon yapılırken mevcut durumun sağlanması için simülasyon programında atanan malzeme tablosu Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Simülasyon programında verilen malzemelerin yutuculuk katsayıları

Malzeme Konumu	Malzeme Tanımı	Frekans (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Döşeme	Granit (2001) [74]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Duvar	Gfrc (105) [74]	0.05	0.05	0.05	0.08	0.14	0.20
Tavan	Alüminyum Baffle [75]	0.1	0.1	0.1	0.07	0.02	0.02
Peron Kapısı	Cam (10005) [74]	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02

Akustik benzetim üç senaryo üzerinden yapılmıştır. Simülasyon senaryoları; mevcut durumun farklı koşullardaki akustik performans değerlendirilmesi amacıyla oluşturulmuştur. İlki hacmin doğal akustik koşulları, ikincisi tren geçişi sırasında istasyonda oluşan gürültünün tespiti ve üçüncüsü anonsların anlaşılabilirliğinin farklı koşullarda

değerlendirilmesi üzerinedir. Oluşturulan senaryoların amaç ve koşulları Çizelge 4.3’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.3. Simülasyon planı özet tablosu

Senaryolar	Amaç	Koşullar			
		Arka plan	Kaynak koşulu (sayısı ve türü)	Alıcı	Nesnel akustik parametre
Senaryo 1	Doğal akustiğin tespiti	55 dB [47]	2 nokta kaynak	34 alıcı noktası	T ₃₀ [47]
Senaryo 2	Trenin istasyonda oluşturduğu gürültünün tespiti	55 dB [47]	1 lineer kaynak (tren)	14 alıcı noktası	SPL [47]
Senaryo 3	a Anonsların anlaşılabilirliğinin tespiti	55 dB [47]	30 hoparlör	14 alıcı noktası	STI [50]
	b a- Normal durum b- Trenin geçtiği durum	55 dB [47] + tren gür.			
	c Acil durum	90 dB [46]			

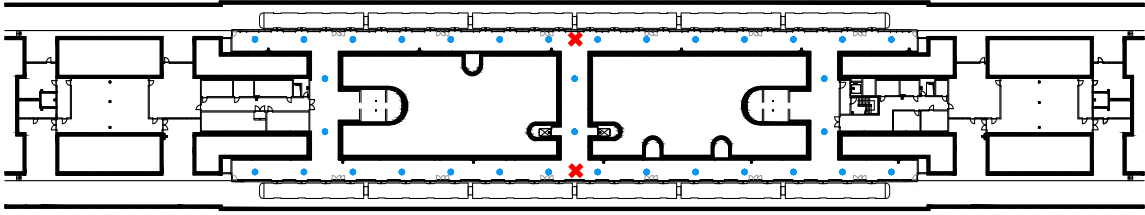
4.2.1. Mevcut durum analizi ve değerlendirilmesi

Senaryo 1

Senaryo 1’in amacı hacmin doğal akustik koşullarının değerlendirilmesidir. İstasyon boş olduğu ve yalnızca havalandırma gürültüsü olduğu durum simüle edilmiş olup, reverberasyon süresi değerlendirilmiştir.

İstasyonda kullanılan peron ayırıcı kapı sisteminin tam boy olan türü kullanılmıştır. Bu kapılar döşemeden tavana kadar uzanarak tren hattı ile peron alanını ayırmaktadır. İstasyon türü olarak tek hatlı peron sistemine sahip ve birbirinin aynısı olan iki adet peron alanı mevcuttur. Reverberasyon süresi hesabında her peron hacmi için 1’er noktasal kaynak olmak üzere toplamda 2 noktasal kaynak tanımlanmıştır.

Şekil 4.4’te görüldüğü gibi 2 nokta kaynak ve 34 alıcı noktası kullanılarak simüle edilmiştir. Arka plan gürültüsü 55 dB, ‘Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği’[47] kapsamında istasyonda havalandırmaların istasyonda oluşturduğu gürültü için verilen 55 dB (Şekil 3.8) sınır değeri referans alınmıştır.



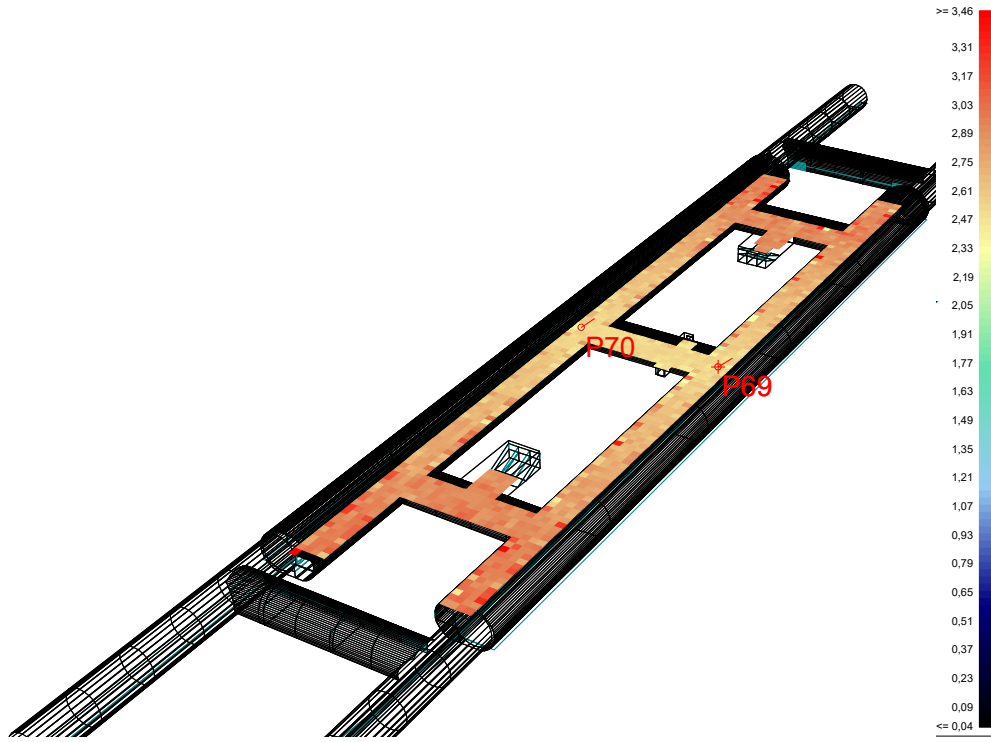
Şekil 4.4. Plan düzleminde kaynak ve alıcı noktaları (kaynak (X), alıcı (●))

Simülasyon yöntemi ile yapılan benzetim çalışmasında reverberasyon süresi 34 alıcı noktada reverberasyon süresi; 500 Hz ve 1000 Hz’de ortalama değeri 2,63 s olarak bulunmuştur. Bu parametre için beklenen hedef değerden çok yüksek olduğu görülmüştür. Aşağıdaki Çizelge 4.4’de reverberasyon süresinin 34 alıcı noktada aldığı değerler minimum, maksimum ve ortalama değerleri görülmektedir.

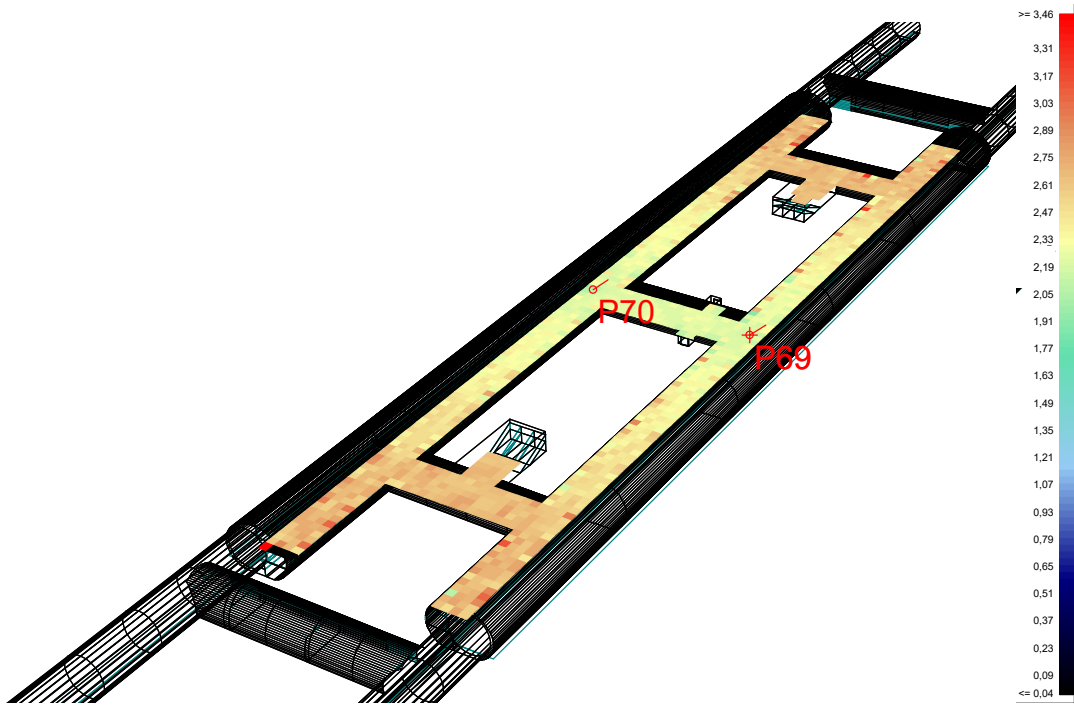
Çizelge 4.4. 34 alıcı noktada alınan simülasyonda T_{30} değerleri

T_{30} Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	2,06	1,80	2,42	2,53	2,23	1,67	1,10	0,73
Maksimum	2,53	2,37	2,88	2,99	2,72	2,14	1,48	0,99
Ortalama	2,27	2,01	2,64	2,77	2,48	1,90	1,26	0,82

Aşağıdaki şekilde de 34 alıcı noktasında reverberasyon süresinin 500 Hz’de aldığı değerler görülmektedir. Kaynağa yakın konumda reverberasyon süresi 2,53 s olurken kaynaktan uzaklaştıkça reverberasyon süresinin arttığı ve maksimum 2,99 s değerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. 500 Hz’de peron katı T_{30} değeri dağılımı



Şekil 4.6. 1000 Hz’de peron katı T_{30} değeri dağılımı

Senaryo 2

Senaryo 2'nin amacı; tren gürültüsünün istasyon içerisinde oluşturduğu ses basınç seviyesinin tespittir. Burada tespit edilen A ağırlıklı ses basınç seviyesi, Senaryo 3b'de de kullanılmıştır.

Tren geçişinin simüle edildiği bu senaryoda; 1 çizgi kaynak ve trenin geçtiği perondaki 14 alıcı noktada değerlendirme yapılmıştır. Arka plan gürültüsü, önceki senaryodaki gibi, 55 dB (havalandırma gürültüsü) alınmıştır [47].

Metro istasyonlarının akustik problemlerinden biri de tren gürültüsüdür. Ancak örneklem olarak alınan istasyon için durum farklıdır. Peron ayırıcı kapılar sayesinde trenin hatta oluşturduğu gürültü kontrol edilecek olup, ancak tamamen gürültünün geçişine engel olamayacaktır. Peron ayırıcı kapılarının istasyon içerisindeki ses basınç seviyesine etkisi için simülasyon programında çizgi kaynak kullanılarak, alıcılar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Peron ayırıcı kapı; sabit ve kayar cam kapısı bulunan bir sistemdir. Kapının yüzey olarak büyük kısmı camdan oluşmaktadır. Modelleme aşamasında bu kapının metal konstrüksiyonu göz ardı edilmiştir; bu yüzeyin tamamen cam olduğu varsayılarak modellenmiştir. Cam katmanları; iki adet 4 mm lamine temperli cam ve arasında 0,76 mm PVB içermektedir. Çizelge 4.5'te kullanılan camın özellikleri ve ses geçiş kaybı değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.5. Peron ayırıcı kapıda kullanılan camın ses geçiş kaybı değerleri [76]

Cam Özellikleri	Frekans (Hz)																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
4+ 0.76 PVB+ 4 mm	25	26	28	27	29	29	30	32	34	35	35	36	36	35	35	38	43	46

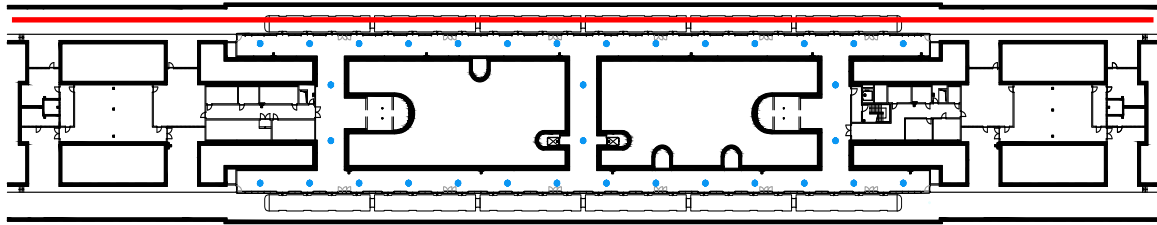
Tren gürültüsü hesaplamaları; tren tipi, hızı, uzunluğu, fren sistemi ve rayların sabitlenişi dahil birçok parametreden etkilemektedir [21]. Söz konusu metro istasyonu kesin proje aşamasında olması nedeni ile tren seçimleri yapılsa dahi uygulama aşamasında değişiklik yapılması muhtemeldir. Bu nedenle tren gürültüsü modellenmemiştir. Ancak çalışmaya katkı sağlamak amacı ile literatürden; Ankara'da üç metro istasyonun akustik tasarımının

yapıldığı çalışmadan, oktav banttaki trenin ses gücü seviyeleri referans olarak alınmıştır [21].

Çizelge 4.6. Tren geçişi için çizgi kaynağın ses gücü seviyeleri (Bilkent ve ODTÜ) [21]

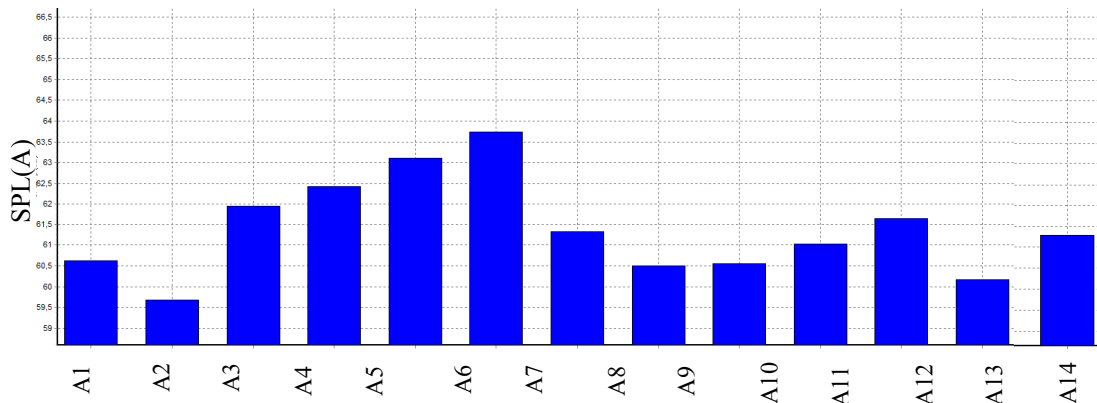
Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	84,5	86,5	86,5	86,5	87,5	84,5	78,5	69,5

Tek bir tren geçişi için benzetim çalışması yapılmıştır. Şekil 4.7’de verildiği gibi tek hatta çizgi kaynak tanımlanmıştır. Çizgi kaynak ray kotundan 50 cm yukarda ve hattın orta noktasında tanımlanmıştır.



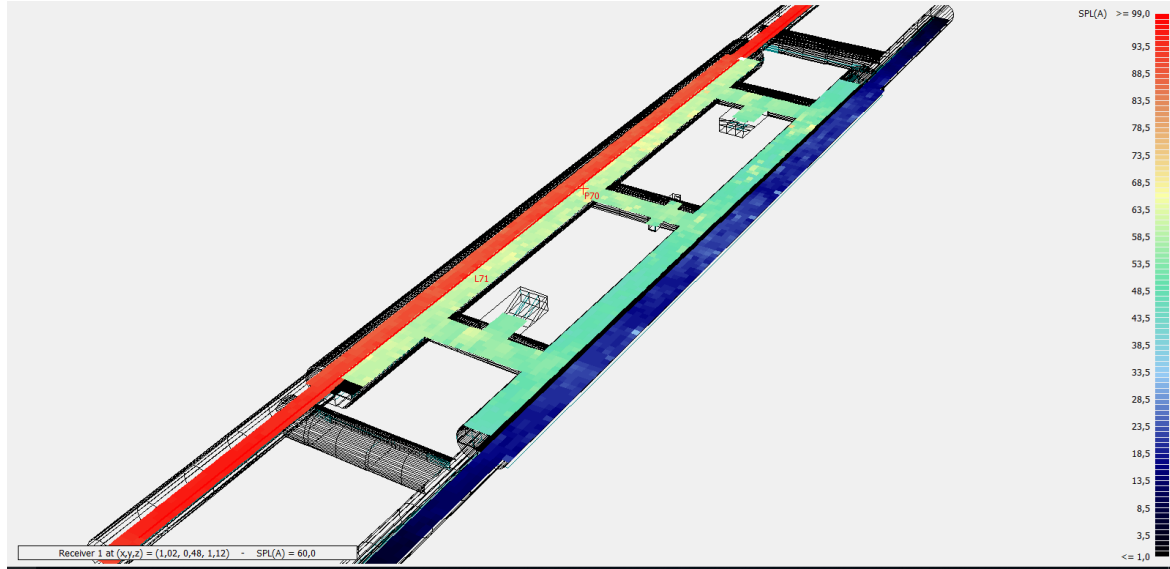
Şekil 4.7. Plan düzleminde kaynak ve alıcı noktaları (çizgi kaynak (—), alıcı (●))

Şekil 4.8’de 14 alıcı noktada tespit edilen A ağırlıklı ses basınç seviyesi (SPL(A)) görülmektedir. Peron kapısı etkisiyle hatta oluşan yüksek tren geçiş gürültüsünün perona geçişi oldukça azaltılmış olduğu görülmüştür. Bu bağlamda Çevresel Gürültünün Yönetimi Yönetmeliği’nde [47] verilen geçen trenler için 85 dB olan sınır değerin oldukça altında kaldığı görülmüştür. Tren geçişinin olduğu peronda SPL(A) değeri minimum 59,7 , maksimum 63,7 , ortalama 61,3 değerlerine sahiptir.



Şekil 4.8. 14 alıcı noktada tespit edilen SPL(A) değerleri

Şekil 4.9’da istasyonda ses basınç seviyesinin grafiksel olarak dağılımı verilmiştir. Tren hattında ses basınç seviyesi 85 dB’e ulaşırken, peronda bu seviye 59,7 dB’e kadar düşmektedir. Peron ayırıcı kapının gürültüyü kontrol etmede başarısı görülmektedir.



Şekil 4.9. Trenin peron ve hatta oluşturduğu SPL(A) değeri dağılımı

Senaryo 3

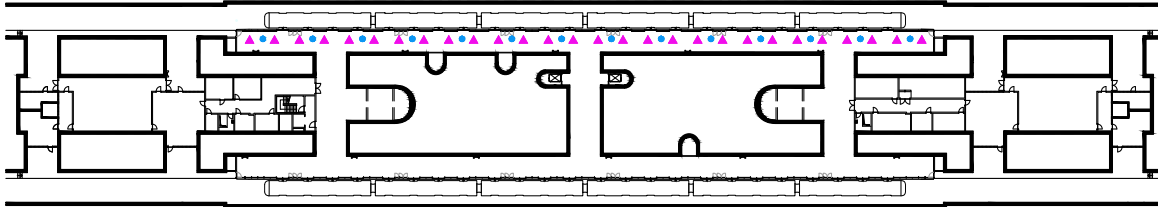
Senaryo 3’te anonsların anlaşılabilirliğinin farklı koşullar altındaki değişimi değerlendirilmiştir. Metro istasyonlarında oluşan gürültü oldukça değişkendir. İstasyonun boş olduğu, tren geçişi sırasında ve acil durum anlarında olmak üzere üç farklı koşul simüle edilmiştir. Koşullar Senaryo a, b ve c olmak üzere adlandırılmıştır.

Senaryo 3a: Sadece havalandırma gürültüsünün olduğu durum; arka plan gürültüsü 55 dB, ‘Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği’[47] kapsamında istasyonda havalandırmaların istasyonda oluşturduğu gürültü için verilen 55 dB (Şekil 3.8) sınır değeri referans alınmıştır.

Senaryo 3b: Tren geçiş anında istasyonda oluşan gürültü; Senaryo 2’den elde edilen sonuç esas alınmıştır.

Senaryo 3c: Acil durum anları; arka plan gürültüsü 90 dB verilerek benzetim yapılmıştır.

Peron katında toplamda 68 adet hoparlör bulunmaktadır ancak kullanılan simülasyon programı hepsini aktif etmeye izin vermemektedir. Bu nedenle bir peron tarafı seçilerek, seçilen tarafa ait hoparlörler aktif edilmiştir. Bir tüneldeki tüm alıcı ve hoparlörler; 14 adet alıcı ve 28 adet hoparlör aktif edilerek değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 4.10. Plan düzleminde kaynak ve alıcı konumları(28 adet hoparlör(▲),14 adet alıcı(●))

Hoparlörlerin oktav banttaki ses gücü seviyeleri aşağıdaki tablodaki gibidir. Kullanılan hoparlörün teknik özellikleri Ek-2 de verilmiştir. Kullanılan hoparlörün frekanslardaki ses gücü seviyesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.7. Hoparlörün ses gücü seviyesi [74]

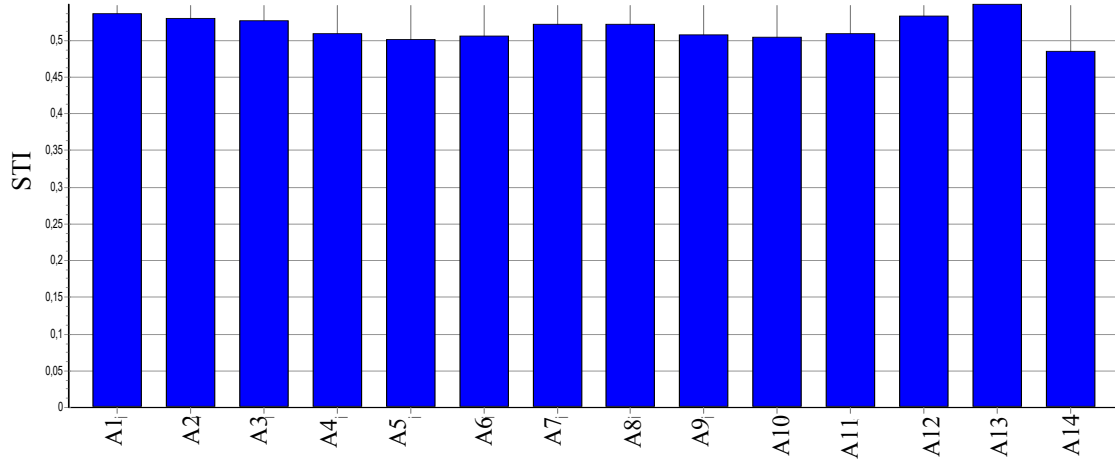
Frekans (Hz)	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Ses Gücü (dB)	87,8	96,3	97,4	99,1	101,4	101,0	98,3	91,7

Senaryo 3a: Normal şartlar altında anonsların anlaşılabilirliği

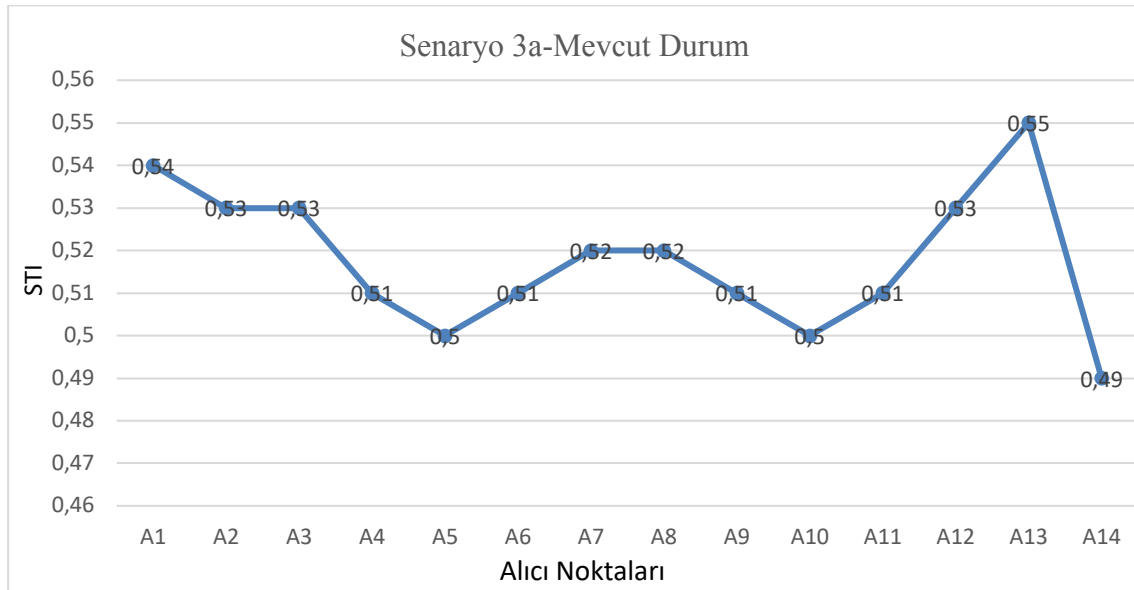
Bu senaryoda, peron boşken sadece havalandırmaların oluşturduğu gürültü etkisi altında anonsların anlaşılabilirliği değerlendirilmiştir. ‘Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği’[47] kapsamında bu durum için maksimum değer 55 dB (Şekil 3.8) olarak verilmiştir.

İstasyonda sadece havalandırma gürültüsünün var olduğu bu senaryo için STI değerleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görüldüğü gibi maksimum 0,55 , minimum 0,49 ve ortalama 0,52 olarak tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde bağlantı koridorlarına yakın olan alıcılardaki değerlerin daha yüksek olduğu görülmüştür. İstasyon duvarlarının geometrisinin konkav ve yansıtıcı olması, odaklanmalara sebebiyet vermiş, anonsların anlaşılabilirliği düşmüştür.

Bu örneklemede STI değeri için elde edilen değer, kabul edilebilir aralıktadır (Çizelge 4.8). Doğaldır ki, olumsuz koşullar altında bu değer düşecek ve anlaşılabilirlik için yeterli olmayacaktır.



Şekil 4.11. Senaryo 3a’da alıcı noktalarına göre STI değerleri



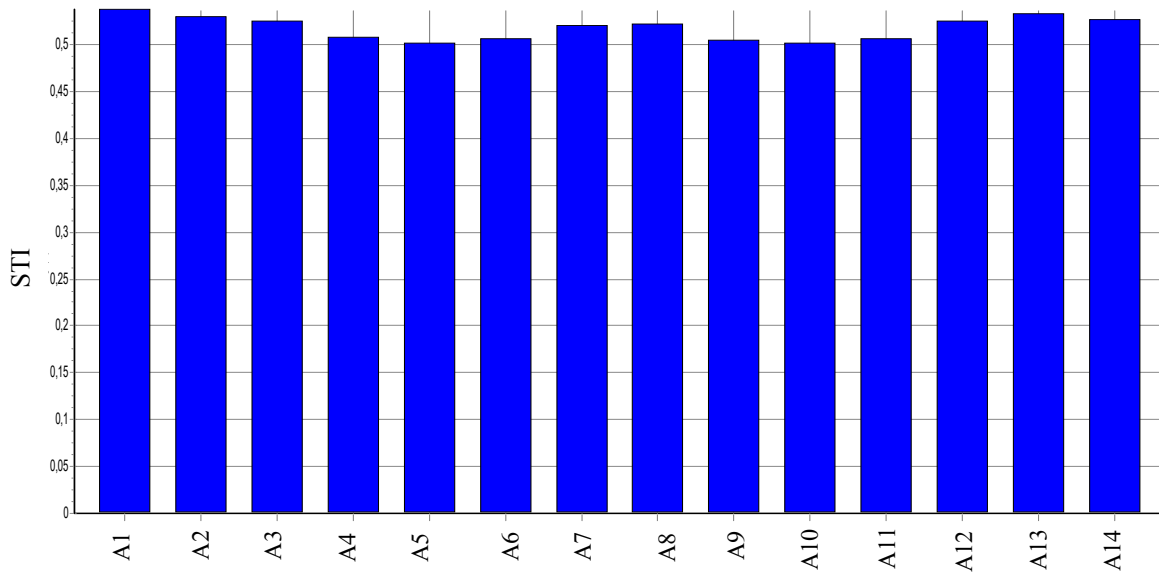
Şekil 4.12. Senaryo 3a’da alıcı noktalarına göre STI değerleri

Senaryo 3b: Tren geçiş anında anonsların anlaşılabilirliği

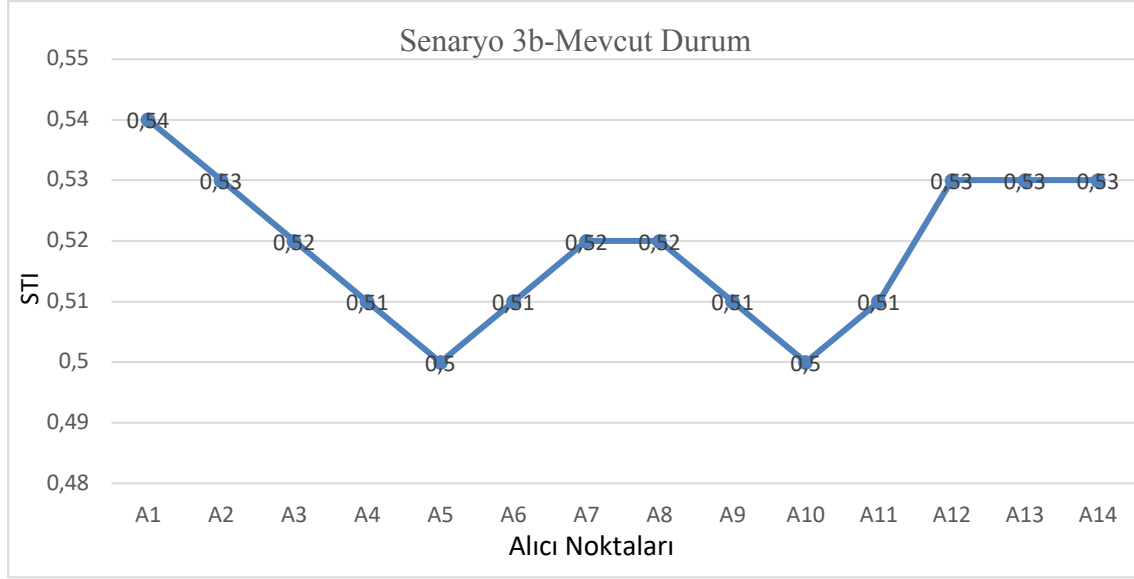
Senaryo 3b’de tek tren geçişi anında, trenin geçtiği peronda oluşan gürültü esnasında anonsların anlaşılabilirliği değerlendirilmiştir. Trenin geçtiği tünel tarafındaki hoparlörler aktif edilmiş, aynı tüneldeki 14 alıcı üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Senaryo 2’den elde edilen; 61,3 dB(A) değeri arka plan gürültüsü olarak kullanılmıştır.

Senaryo 3b için STI değerleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te görüldüğü gibi maksimum 0,54 , minimum 0,50 ve ortalama 0,52 olarak tespit edilmiştir. STI değerinin Senaryo 3a ile yaklaşık olarak aynı değerlerde olduğu görülmüştür. Bu durumun nedeni; trenin oluşturduğu gürültünün peron ayırıcı kapı tarafından kontrol edilmiş olmasıdır. Tren geçişi benzetimi sonucunda ortalama 61 dB (A) olarak bulunan değer, hoparlörlerin yayınları sırasında oluşturduğu ses basınç seviyesini kötü yönde etkileyecek değerde olmaması nedeniyle STI değeri etkilenmemiştir.

SNR oranı ile doğrudan ilişkili olan STI, SNR oranının değişimi ile değişmektedir. Çalışma konusu olan anonslar; sinyali, arka plan gürültüsü ise gürültüyü oluşturmaktadır. Senaryo 3 a-b-c arka plan gürültülerinin değişimi SNR oranına etkileri ile STI değişecektir. Ancak a ve b senaryoları için verilen arka plan gürültüleri birbirlerine yakın olmaları nedeniyle STI değerini değiştirmemiştir. SNR_{dB} oranı logaritmik temele dayandığı için küçük değişimlerin sonuca yansması mümkün değildir.



Şekil 4.13. Senaryo 3b'de alıcı noktalarına göre STI değerleri

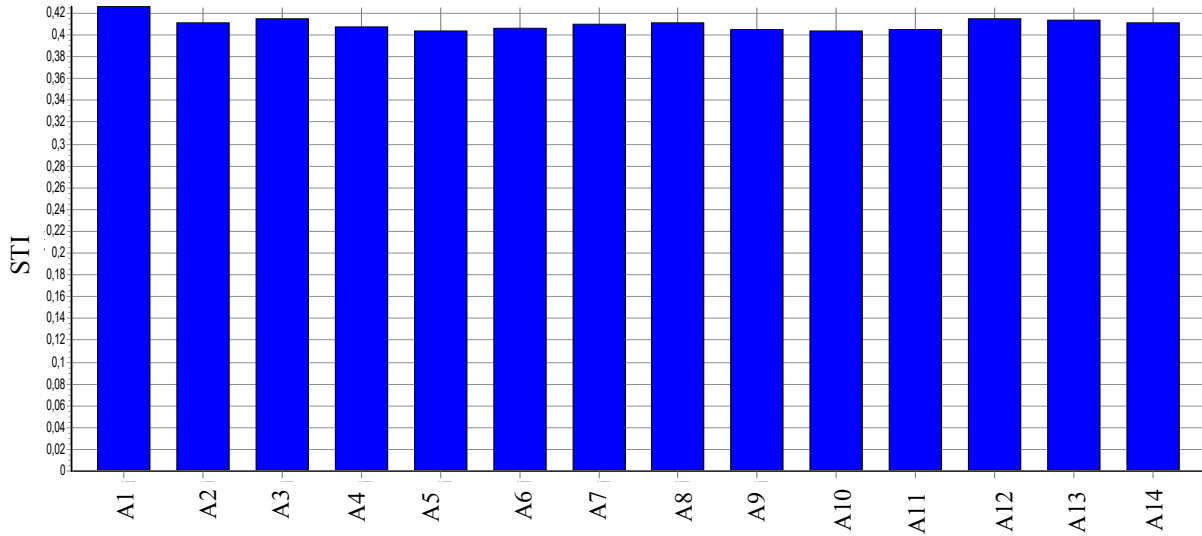


Şekil 4.14. Senaryo 3b’de alıcı noktalarına göre STI değerleri

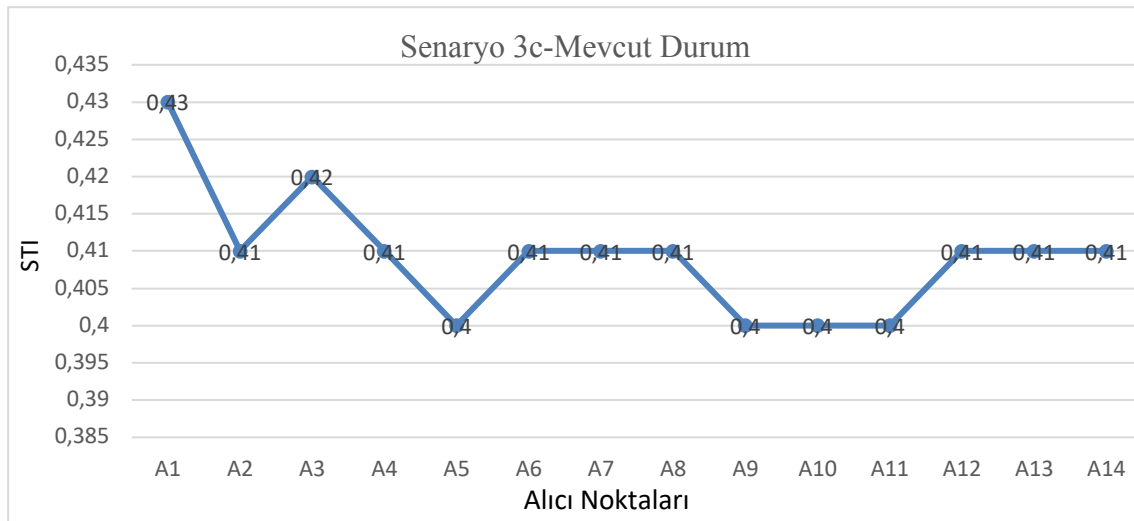
Senaryo 3c: Acil durumlarda anonsların anlaşılabilirliği (90 dB arka plan gürültüsü)

Üçüncü senaryo ise acil durum anlarında yapılan anonsların anlaşılabilirliğinin değerlendirmesidir. ‘Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği’[47] kapsamında da verilmiş olan yeraltı istasyon içinde kapalı hacimlerde bulunan acil havalandırma fanları (22.5 m’de) için sınır değer 80 dB olarak verilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında; acil durum anlarında çoğunlukla 90 dB sınırının aşıldığı belirtilmiştir [46]. Proje kesin proje aşamasında olduğu ve havalandırma, acil durum fanları vb. ekipman seçimleri yapılmadığı için acil durum anında oluşan gürültü; arka plan gürültüsü 90 dB [46] varsayılarak simüle edilmiştir.

90 dB arka plan gürültüsü varsayımı sonucunda alıcılar bazında STI değerleri bulunmuştur. Hoparlörlerin aktif edildiği tüneldaki alıcılar üzerindeki STI değeri görüldüğü gibi maksimum 0,43 , minimum 0,40 ve 0,41 olarak tespit edilmiştir. Senaryo 3a ile karşılaştırıldığında 0,11’lik bir düşüş görülmektedir. Bulunan bu değer, anlaşılabilirlik için yeterli olmayacaktır. Acil durum anlarında STI değeri minimum; yeterli derece anlaşılabilirlik olarak nitelendirilen 0,45-0,60 aralığında olması beklenmektedir.



Şekil 4.15. Senaryo 3c’de alıcı noktalarına göre STI değerleri



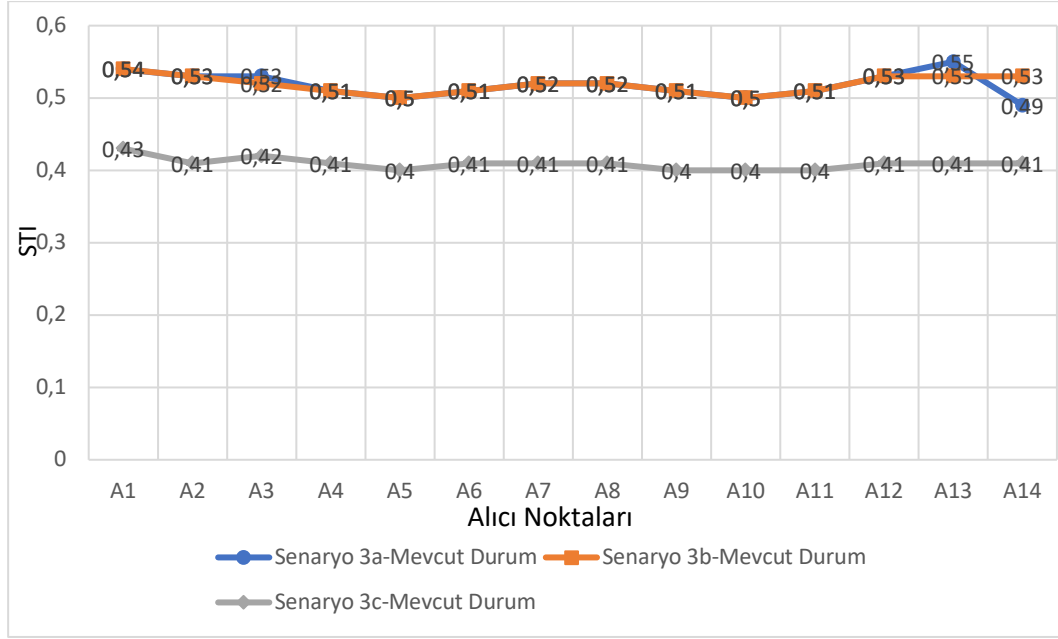
Şekil 4.16. Senaryo 3c’de alıcı noktalarına göre STI değerleri

Mevcut durum analizi sonuçlarının değerlendirilmesi

Senaryo 1’de değerlendirilen hacmin doğal akustik koşullarını ortaya koymak amacıyla yapılan çalışmada, reverberasyon süresi için hedeflenen değer elde edilememiştir (Çizelge 4.8). İstasyon hacmi oldukça uzun ve yüzey bitiş malzemelerinin yansıtıcı özellikte olmaları bu değerlerin sağlanamamasındaki başlıca etmenlerdir.

Senaryo 2’de değerlendirilen trenin oluşturduğu gürültü simüle edilerek istasyon geçişi tespit edilmek istenmiştir. Peron ayırıcı kapıların tren gürültüsünü kontrol etmede önemli elemanlar olduğu görülmüştür (Çizelge 4.8).

Senaryo 3’de farklı koşullarda anonsların anlaşılabilirliği incelenmiştir. Mevcut koşul için acil durum anlarında (Senaryo 3c) hedeflenen değerler yakalanamamıştır. Normal durum ve tren geçişi anında ise (Senaryo 3a-3b) kabul edilebilir değerler sağlanmıştır ancak bu değerler daha üst seviyelere çekilebilecektir.



Şekil 4.17. Senaryo 3a-b-c’de alıcı noktalarına göre STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi

Çizelge 4.8. Örneklemin mevcut durumunun analiz sonuçları

Senaryolar	Amaç	Nesnel akustik parametre	Optimum değer	Bulgu	Değerlendirme
Senaryo 1	Doğal akustiğin tespiti	T_{30} [47]	1,4 s (hedef)/ 1,6 s (kabul)	2,63 s	Olumsuz
Senaryo 2	Trenin istasyonda oluşturduğu gürültünün tespiti	SPL [47]	85 dB (A) [47]	61 dB (A)	Olumlu
Senaryo 3	a Anonsların anlaşılabilirliğini n tespiti	STI [50], [74]	0.30-0.45 Zayıf	0,52	Olumlu
	b a- Normal durum b- Trenin geçtiği durum		0.45-0.60 Orta 0,60-0,75 İyi	0,52	Olumlu
	c c- Acil durum		0,75-1,00 Mükemmel	0,41	Olumsuz

Metro istasyonlarında akustik problemlere neden olan başlıca durumlardan birisi karşılıklı uzun duvarlardır. Söz konusu istasyonun perona bağlanan üç koridor, yani peronun uzun duvarında açıklık oluşu ile sürekli uzunluk kırılmıştır (Şekil 4.1). Bu noktalarda akustik problemlerin daha az olduğu görülmüştür. Ancak bu koridorlar arasında kalan duvarların orta noktalarına doğru performans düşmektedir. Performansın düştüğü noktalarda duvarda farklı çözümlere gidilmesi gerekmektedir.

Yapılan literatür araştırmaları doğrultusunda peronun uç duvarlarında da yutucu kullanılması reverberasyon süresinin düşüşü için önemli olacağı görülmüştür [4]. Söz konusu istasyon için de peron uç duvarlarında yutucu kullanımı ile reverberasyon süresi kontrol altına alınabilecektir.

İstasyonlar için en doğru yutucu alan konumu, tavanlardır. Projede alüminyum baffle asma tavan kullanılmıştır ve arkasında herhangi bir yutucu kullanılmamıştır. Kullanılan asma tavanın arkasına, betonarme üzerine yutucu malzeme kullanımı, akustik performansı arttıracaktır.

4.2.2. Mevcut duruma dair geliştirilen önerilerin analizi

Değerlendirmeler doğrultusunda reverberasyon süresi ve konuşmanın iletim indeksinin hedeflenen değerlere ulaşması için üç öneri geliştirilmiştir. Öneriler önceki kısımda ele alındığı gibi senaryolar şeklinde sunulmuştur (Çizelge 4.10).

Öneri 1’de mevcut duruma ek olarak asma tavan arkasında yer alan betonarme üzerine mineral lifi esaslı spreyc kullanımı ile hedeflenen yutuculuk sağlanmıştır. Bu öneride istenilen reverberasyon süreleri yakalansa da Senaryo 3’de değerlendirilen anonsların anlaşılabilirliği için gereken STI değeri başarısı için ikinci bir öneri geliştirilmiştir.

Öneri 2 birinci öneri üzerine geliştirilmiştir; peron boyunca kesintisiz duvarların akustik performansı düşürdüğü noktalarda, duvarlarda ve peron uç duvarlarında delikli alçı panel ve alüminyum baffle asma tavan yerine, ahşap yünü baffle asma tavan uygulanmıştır.

Öneri 3’te duvarlarda; mevcut durumda kullanılan GFRC genel olarak korunmuş ve aynı malzemenin parçalı hali; lineer duvar paneli, uzun kesintisiz duvarların orta noktalarında

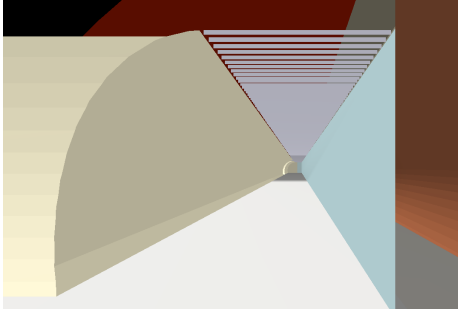
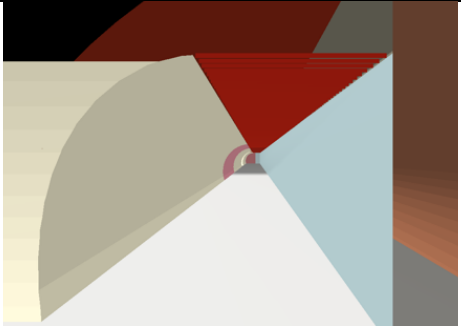
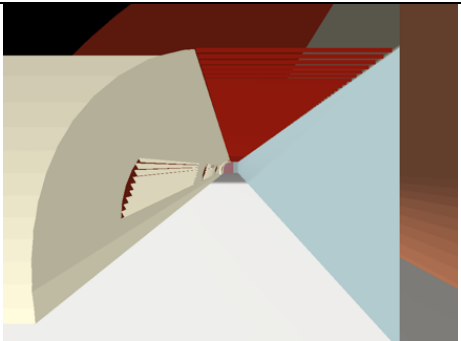
kullanılmıştır. Bahsedilen lineer duvar panelleri yatay düzleme 30° açı yapacak şekilde konumlandırılarak, anonsların yansıyarak alıcılara iletimin güçlenmesi hedeflenmiştir. Tavanda ise önceki öneride kullanılan ahşap yünü baffle asma tavan ve arkasında betonarme üzerine mineral lifli spreyl kullanılmıştır (Çizelge 4.10).

Mevcut durum değerlendirmesinde olduğu gibi önerilerin de akustik performansı senaryolar üzerinden değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.9. Önerilen malzemelerin yutuculuk katsayıları

Konum	Malzeme	Frekans (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Betonarme tünel tavan yüzeyi	Mineral lifli esaslı spreyl 2,5 cm	0,16	0,16	0,45	0,70	0,90	0,90	0,85	0,85
Baffle asma tavan	Ahşap yünü 5 cm	0,15	0,15	0,56	0,88	0,99	0,99	0,95	0,95
Duvar	Delikli alçı levha	0,08	0,08	0,20	0,50	0,40	0,40	0,35	0,35

Çizelge 4.10. Önerilerde kullanılan bitiş malzemeleri

Öneriler	Open GL görünümü	Konum	Mevcut durumda kullanılıp korunan malzemeler	Öneri ile eklenen malzemeler
Öneri-1		Duvar	- GFRC	
		Tavan	- Alüminyum Baffle	- Mineral lifli sprej (Baffle asma tavan arkası)
Öneri-2		Duvar	- GFRC	- Delikli alçı levha (peron uç duvar + bölgesel peron duvarları)
		Tavan		- Ahşap yünü baffle - Mineral lifli sprej (Baffle asma tavan arkası)
Öneri-3		Duvar	- GFRC	- GFRC lineer duvar paneli - Delikli alçı levha (peron uç duvar)
		Tavan		- Ahşap yünü baffle - Mineral lifli sprej (Baffle asma tavan arkası)

Senaryo 1

Bu senaryoda simülasyon, mevcut durum analizindeki aynı koşullarda yapılmış olup, mimari önerilerin akustik parametreler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Doğal akustik koşulları analizinin yapıldığı Senaryo 1’de; reverberasyon süresi üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

Birinci öneride; 34 alıcı noktada reverberasyon süresi; 500 Hz ve 1000 Hz’de ortalama değeri 1,50 s olarak bulunmuştur. Bu parametre için kabul değeri ile hedef değeri aralığındadır. Aşağıdaki Çizelge 4.11’de reverberasyon süresinin 34 alıcı noktada aldığı değerler minimum, maksimum ve ortalama değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.11. 34 alıcı noktada alınan birinci öneri sonucunda elde edilen T_{30} değerleri

T_{30} Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,45	1,43	0,96	0,73	0,77	0,82	0,63	0,43
Maksimum	2,03	2,15	2,65	2,31	2,14	2,08	2,85	1,40
Ortalama	1,62	1,59	1,52	1,52	1,48	1,35	1,06	0,64

İkinci öneride; 34 alıcı noktada reverberasyon süresi 500 Hz ve 1000 Hz’de ortalama değeri 1,07 s olarak bulunmuştur. Bu parametre için hedeflenen değerden daha kısa reverberasyon süresine sahiptir.

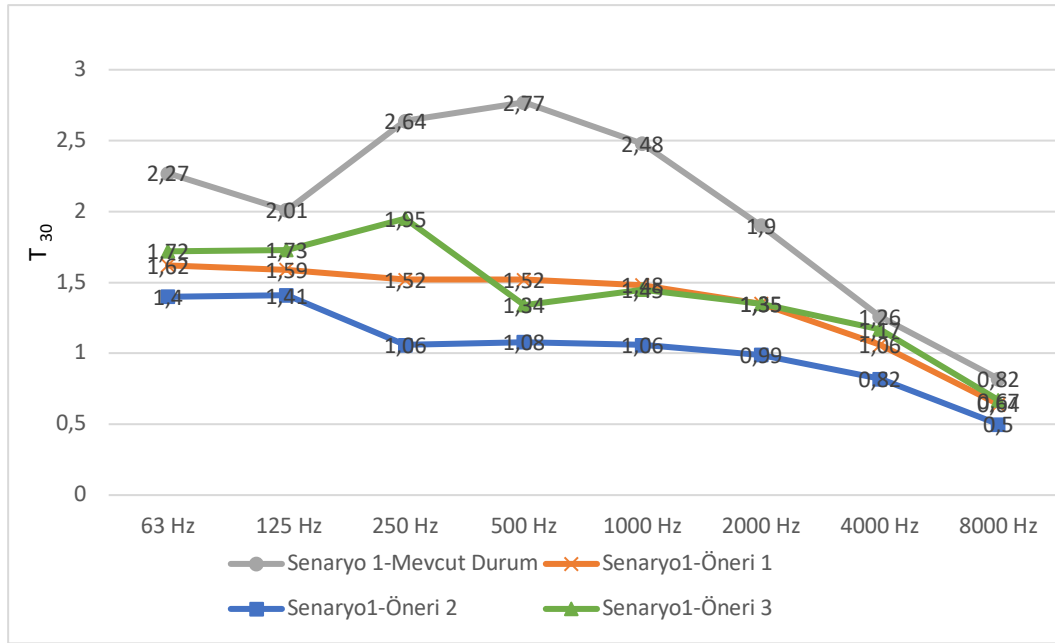
Çizelge 4.12. 34 alıcı noktada alınan ikinci öneri sonucunda elde edilen T_{30} değerleri

T_{30} Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,31	1,32	0,66	0,62	0,57	0,54	0,47	0,07
Maksimum	1,70	1,71	2,51	2,96	2,95	2,70	2,36	1,30
Ortalama	1,40	1,41	1,06	1,08	1,06	0,99	0,82	0,50

Üçüncü öneride; 34 alıcı noktada ortalama reverberasyon süresi 500 Hz ve 1000 Hz’de ortalama değeri 1,39 s olarak bulunmuştur. Yönetmelikte verilen hedef değer olan 1,4 tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13. 34 alıcı noktada alınan üçüncü öneri sonucunda elde edilen T_{30} değerleri

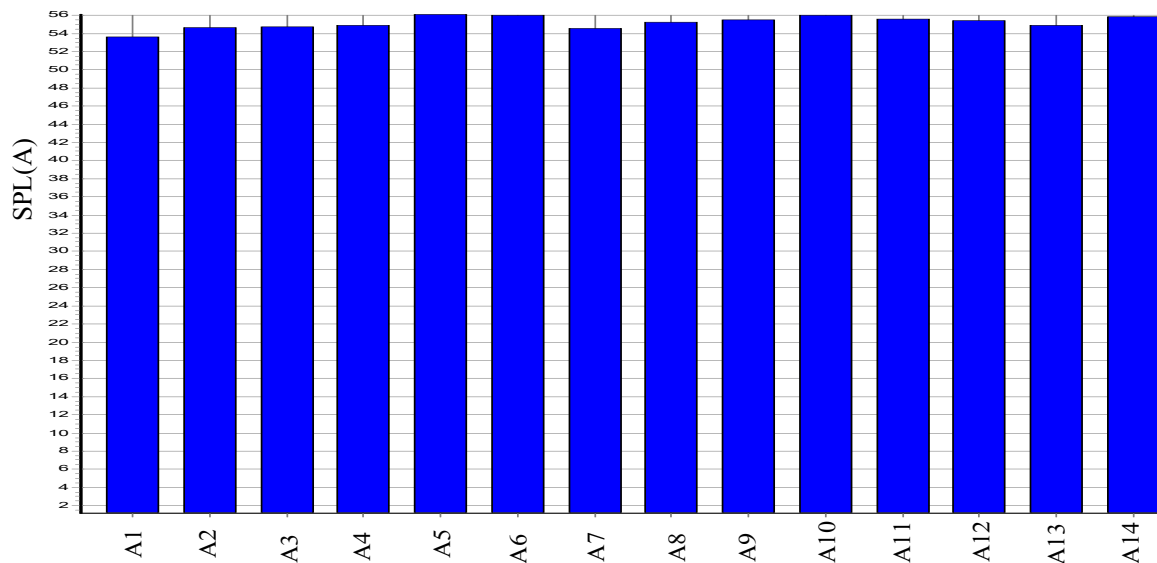
T_{30} Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,32	1,33	0,90	0,86	0,87	0,87	0,84	0,36
Maksimum	3,16	3,16	4,47	2,37	2,46	2,47	2,02	1,30
Ortalama	1,72	1,73	1,95	1,34	1,45	1,35	1,17	0,67



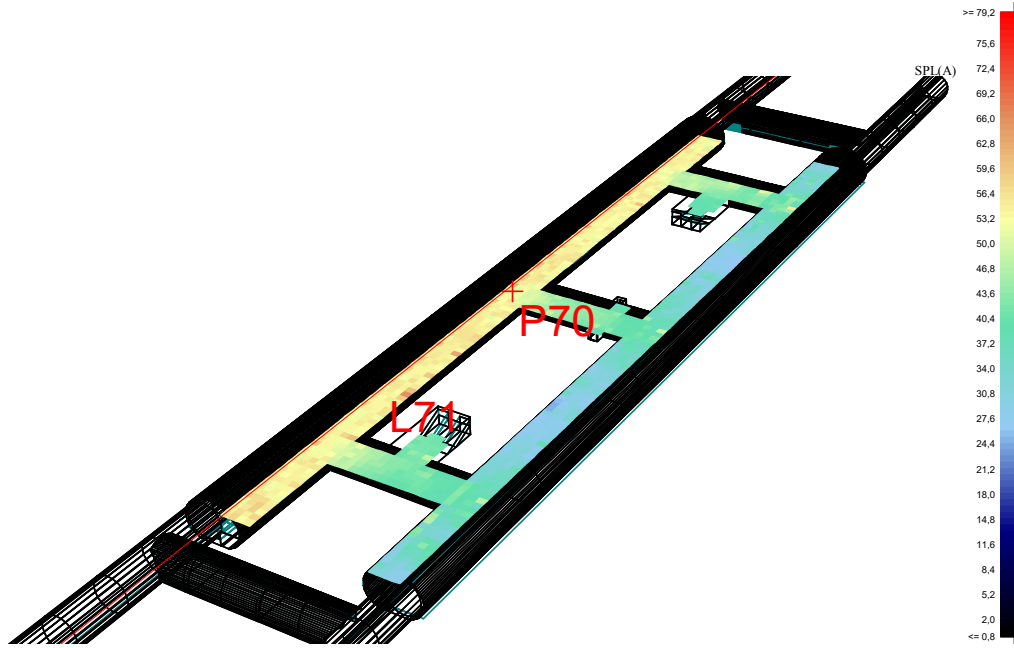
Şekil 4.18. Senaryo 1’de geliştirilen üç önerinin 34 alıcı noktada ortalama T_{30} değerlerinin oktav bantlarda karşılaştırmalı gösterimi

Senaryo 2

Tren geçişinin peronda oluşturduğu gürültü seviyesinin tespit edildiği bu senaryoda ise yutucu uygulamaları sonrasında SPL(A) değeri düşmüştür. Öneri 1’de mevcut durumda da sınır değerleri aşmayan SPL(A) parametresi öneri sonucunda; 14 alıcı noktada ortalama 55,20dB(A) olarak bulunmuştur. Yaklaşık olarak 6 dBA’lık bir düşüş sağlanmıştır.

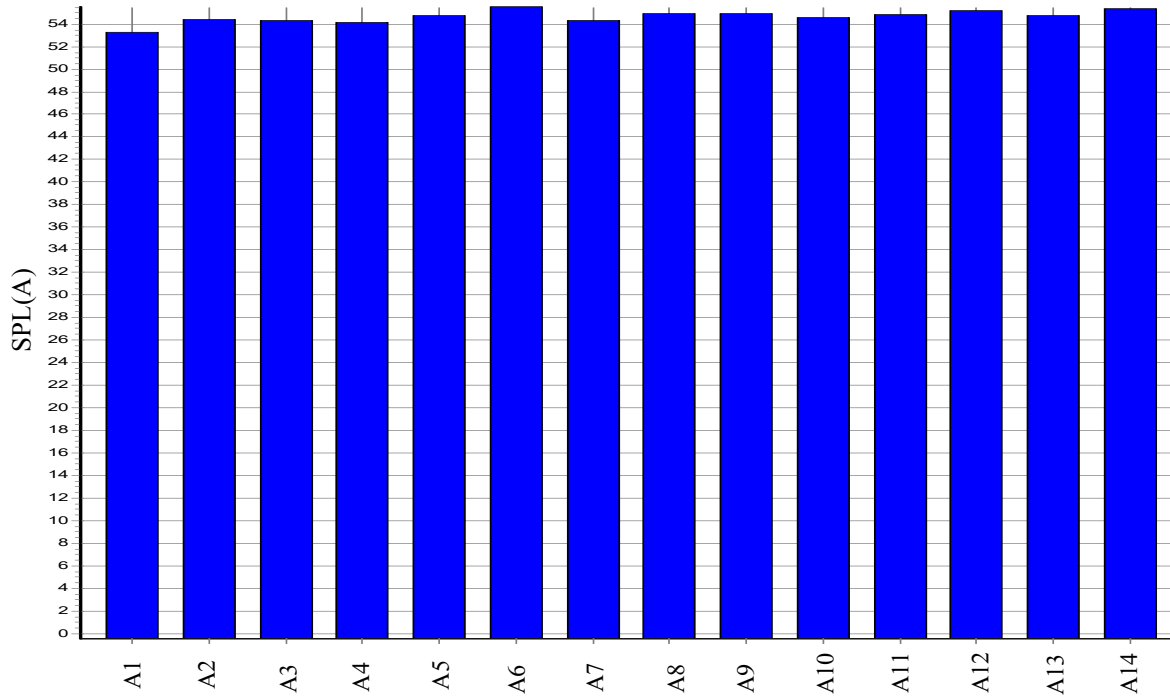


Şekil 4.19. Öneri 1’de 14 alıcı noktada tespit edilen SPL(A) değerleri

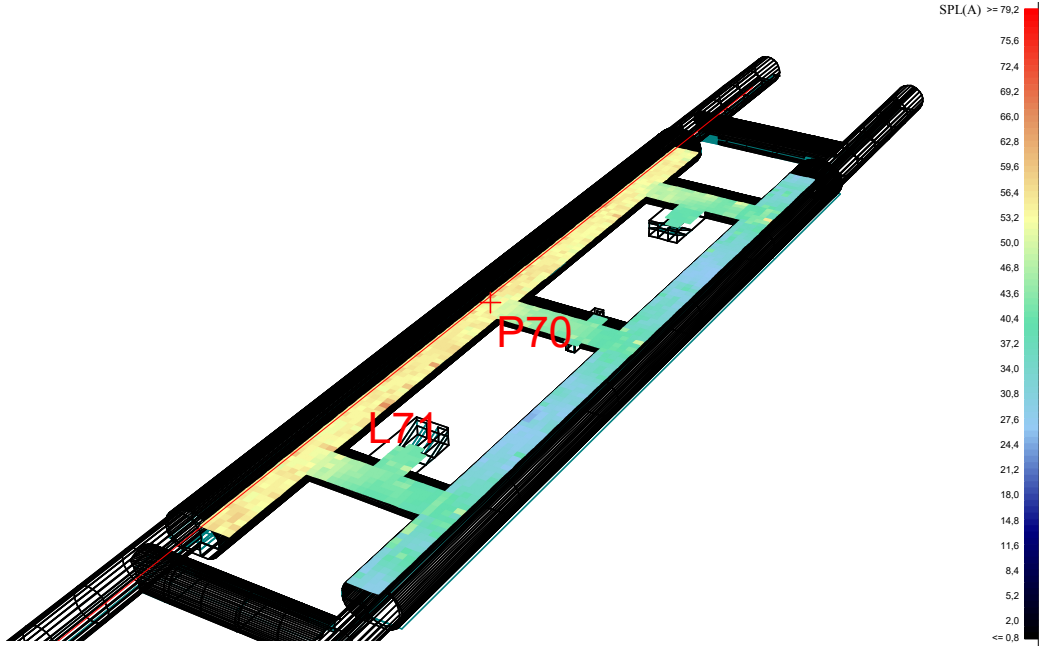


Şekil 4.20. Öneri 1’de trenin peronda oluşturduğu SPL(A) değeri dağılımı

Öneri 2 sonucunda SPL(A) değeri; 14 alıcı noktada ortalama 54.70 dB(A) olarak bulunmuştur. Yaklaşık olarak 7 dBA’lık bir düşüş sağlanmıştır.

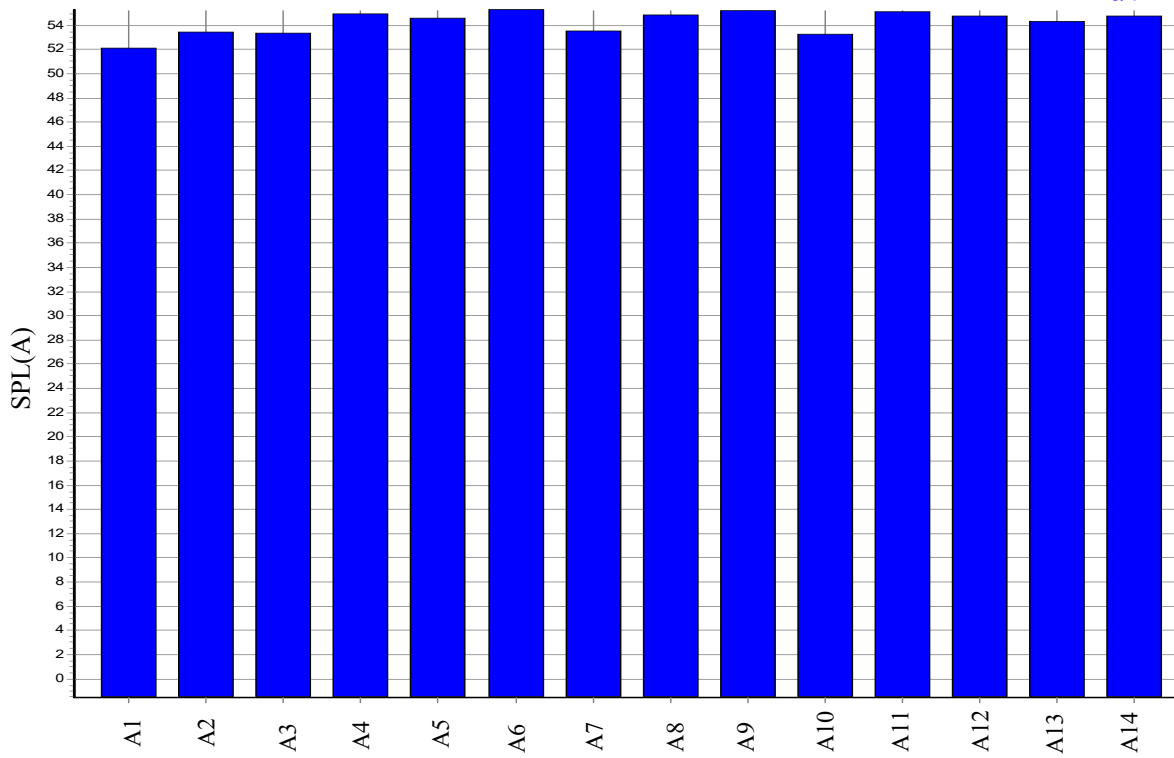


Şekil 4.21. Öneri 2’de 14 alıcı noktada tespit edilen SPL(A) değerleri

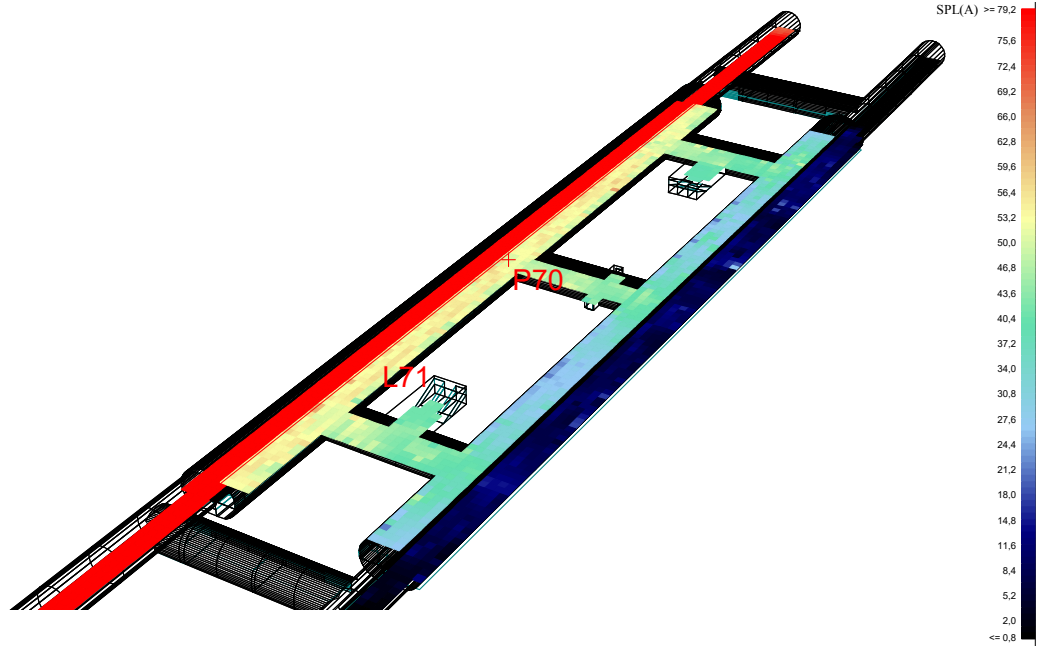


Şekil 4.22. Öneri 2’de trenin peronda oluşturduğu SPL(A) değeri dağılımı

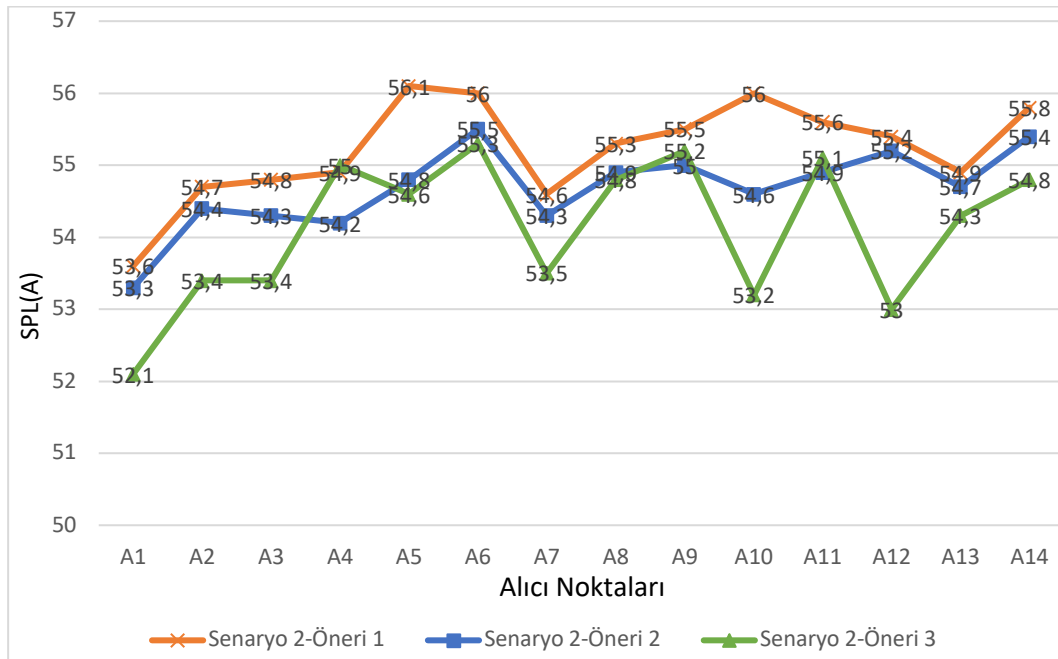
Öneri 3 sonucunda SPL(A) değeri; 14 alıcı noktada ortalama 54.12 dB(A) olarak bulunmuştur. Yaklaşık olarak 7 dBA’lık bir düşüş sağlanmıştır.



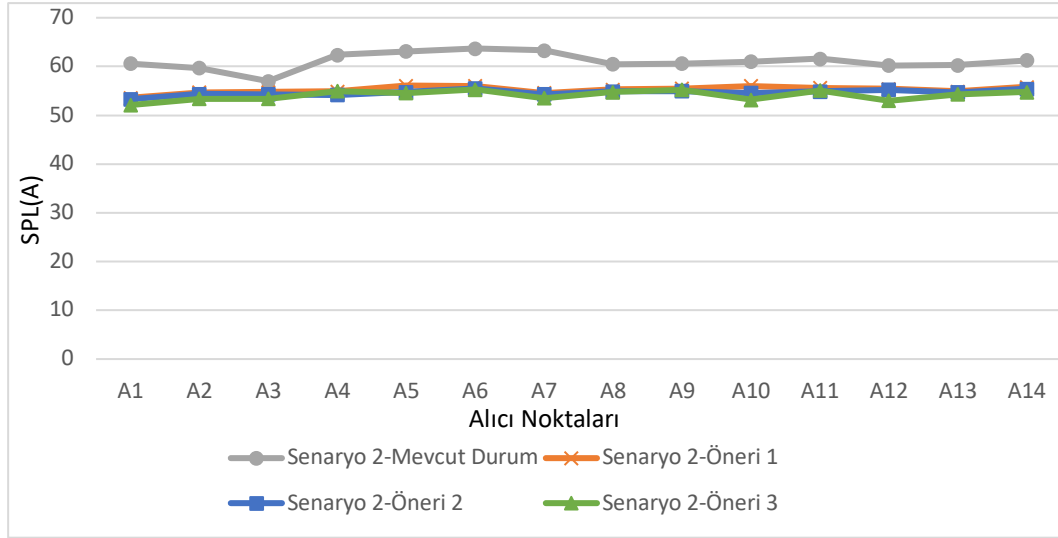
Şekil 4.23. Öneri 3’te 14 alıcı noktada tespit edilen SPL(A) değerleri



Şekil 4.24. Öneri 3’te trenin peronda oluşturduğu SPL(A) değeri dağılımı



Şekil 4.25. Senaryo 2’de geliştirilen üç önerinin 14 alıcı noktada SPL(A) değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi

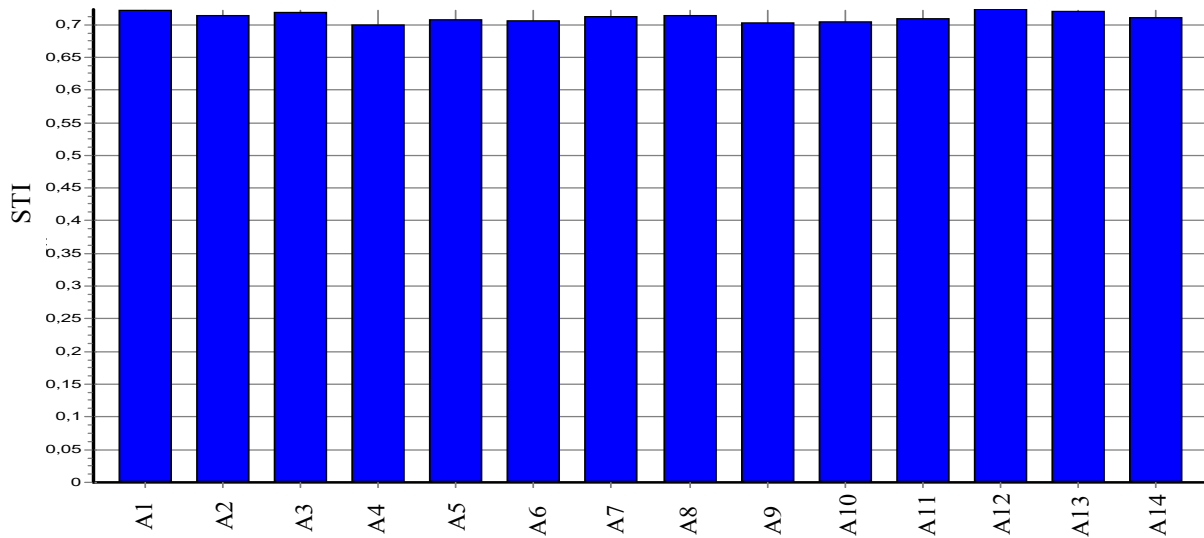


Şekil 4.26. Senaryo 2’de geliştirilen üç öneri ve mevcut durumun 14 alıcı noktada SPL(A) değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi

Senaryo 3

Senaryo 3a

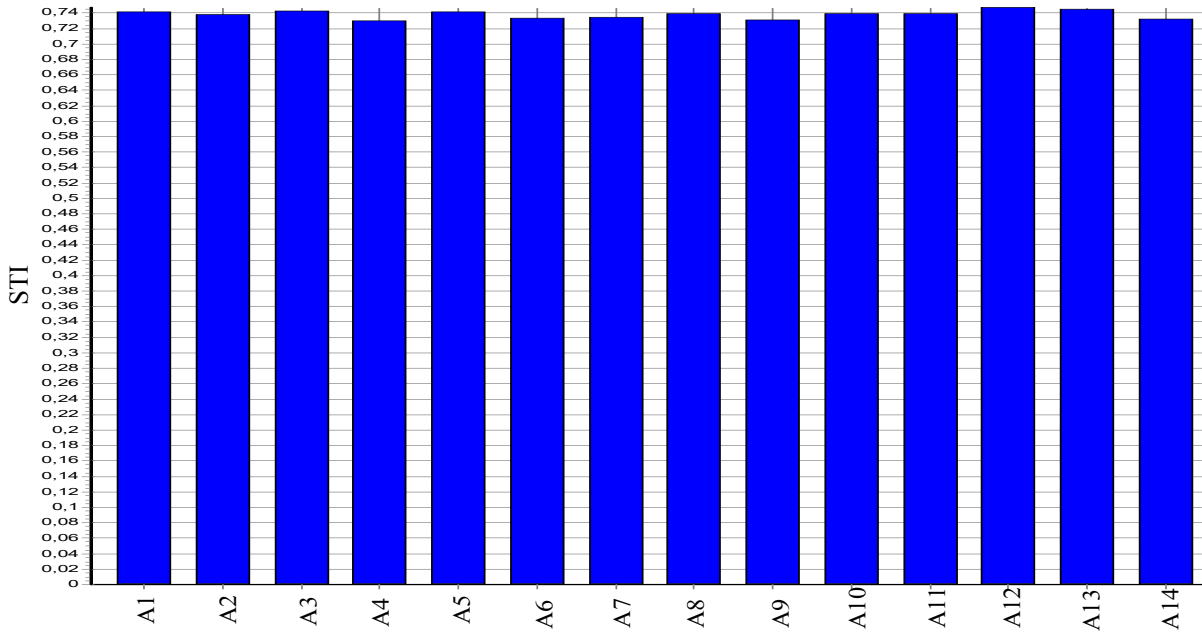
Öneri 1’de; sadece tavanda uygulanan yutucu malzeme kullanımı ile 14 alıcı noktada ortalama STI değeri 0,71 olarak tespit edilmiştir. Bu değer hedeflenen değerler içerisinde; 0,60-0,75 aralığında yani iyi derecede anlaşılabilirlik için gerekli değerdir.



Şekil 4.27. 14 alıcı noktada Öneri 1’e göre STI değerleri

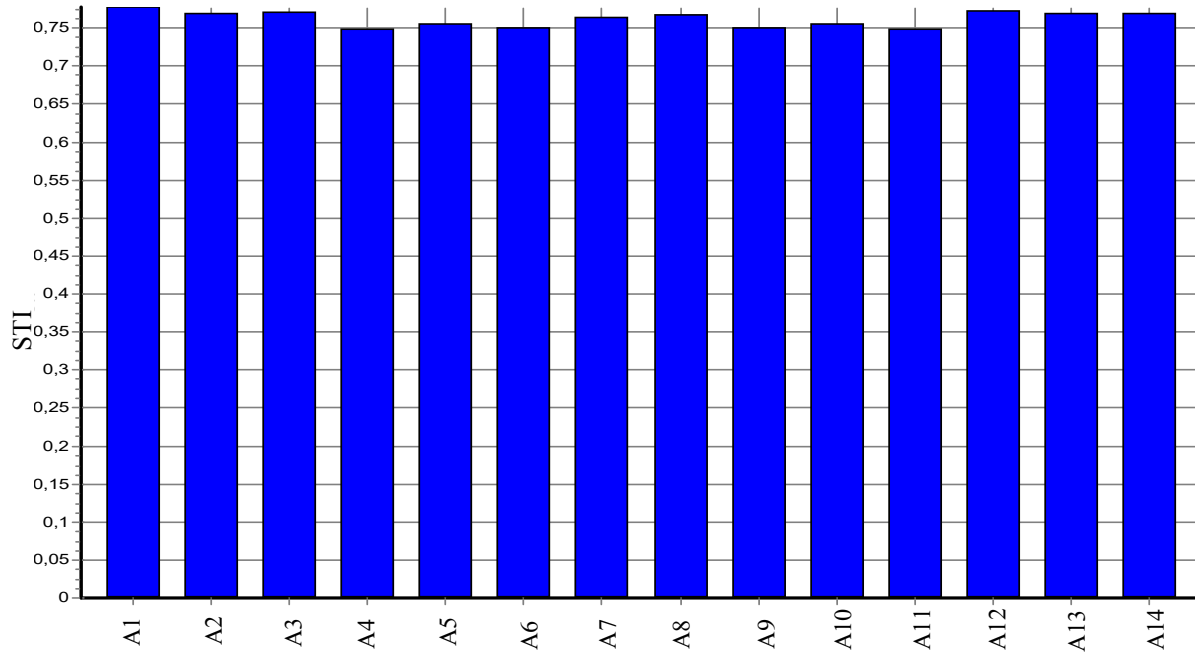
Mevcut durumun ortaya koyulduğu durumlarda; bağlantı koridorlarına yakın olan alıcılardaki değerlerin daha yüksek olduğu görülmüştü ve bağlantı noktalarının aralarında kalan duvarlar için orta noktalara doğru düşüş gözlemlenmiştir; bu durumun optimizasyonu için Öneri 2’de uzun duvarların orta noktalarına yutucu özellikte malzeme yerleştirilmiştir.

İkinci öneri sonucunda STI değeri 14 alıcı noktada ortalama 0,74 olarak tespit edilmiştir. Mevcut duruma göre 0,22 kadar artış sağlanmıştır. Senaryo 3a için STI değerleri Şekil 4.28’de görüldüğü gibi maksimum 0,75 , minimum 0,73 ve ortalama 0,74 olarak tespit edilmiştir. Bu değer iyi anlaşılabilirlik için yeterli, 0,60-0,75 aralığının üst sınırına yakın yani mükemmele yakın anlaşılabilirlik sağlayabilecek değerdir.

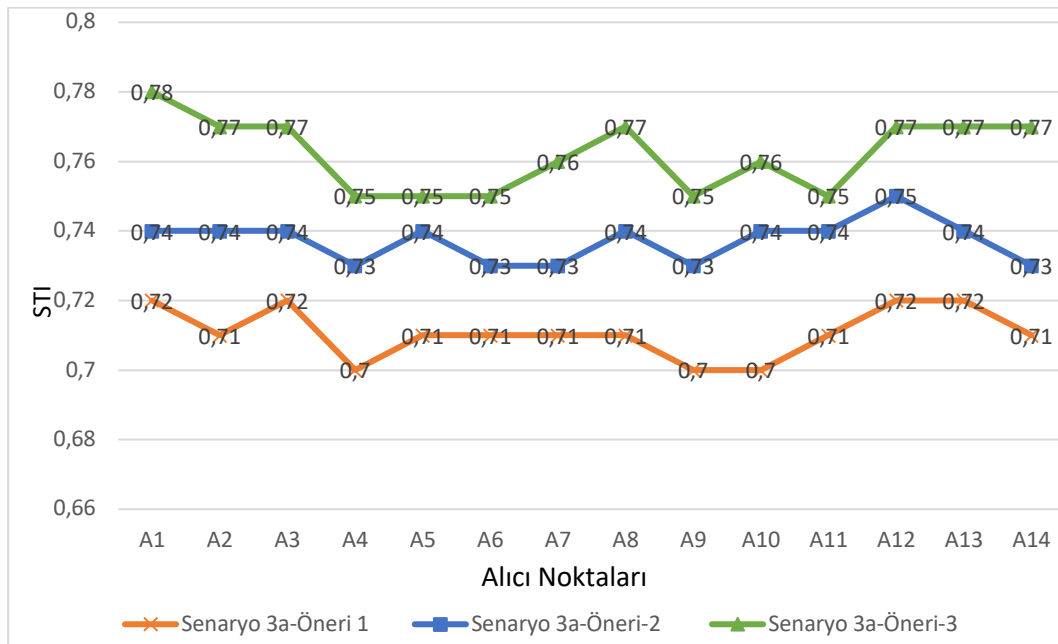


Şekil 4.28. Öneri 2’de 14 alıcı noktada STI değerleri

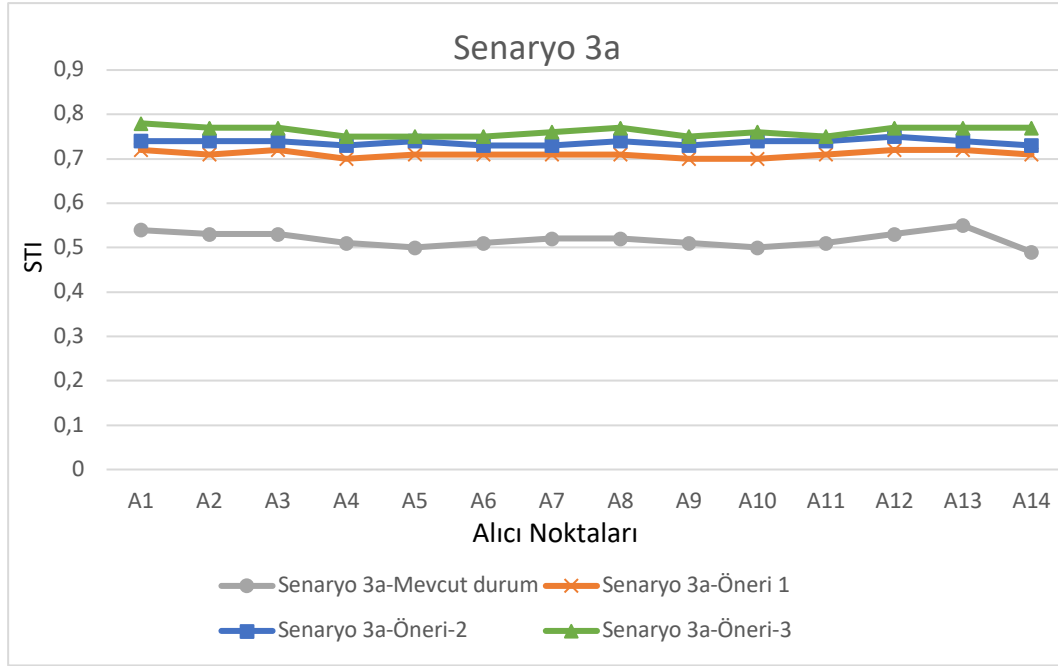
Üçüncü öneri sonucunda STI değeri 14 alıcı noktada ortalama 0,76 olarak tespit edilmiştir. Mevcut duruma göre 0,24 kadar artış sağlanmıştır. Senaryo 3c için STI değerleri Şekil 4.29’da görüldüğü gibi maksimum 0,78 , minimum 0,75 ve ortalama 0,76 olarak tespit edilmiştir. Bu değer iyi anlaşılabilirliği sağlayacak, 0,75-1,00 aralığında yani mükemmel anlaşılabilirlik sağlayabilecek değerdir.



Şekil 4.29. Öneri 3'te 14 alıcı noktada STI değerleri



Şekil 4.30. Senaryo 3a'da geliştirilen üç önerinin 14 alıcı noktada STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi



Şekil 4.31. Senaryo 3a’da geliştirilen üç öneri ve mevcut durumun 14 alıcı noktada STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi

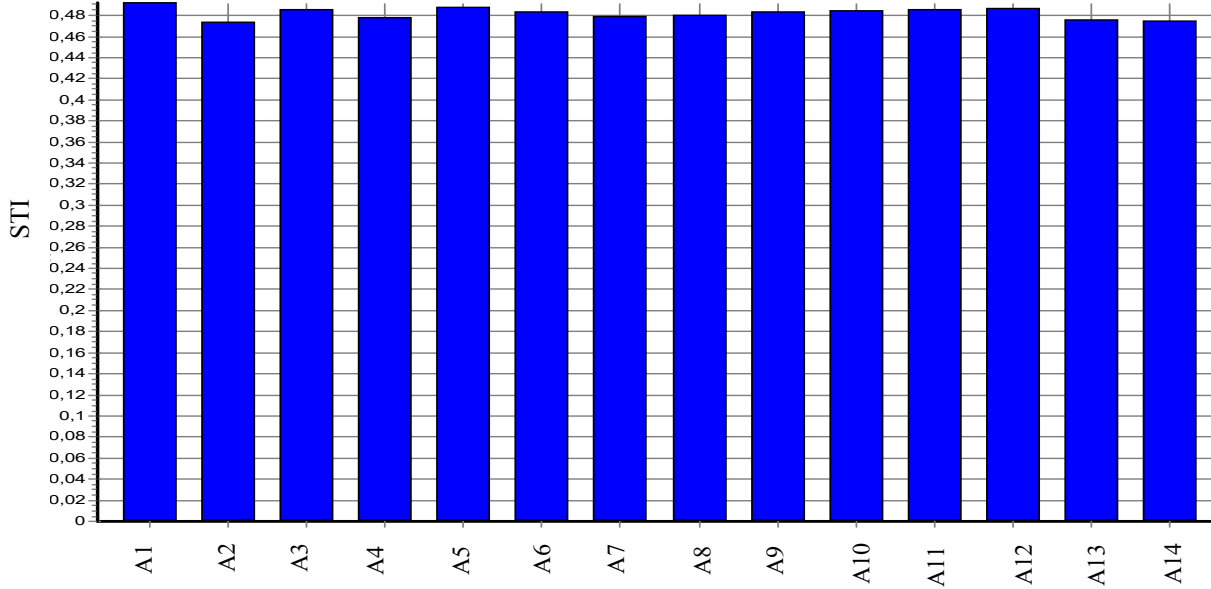
Senaryo 3b

Bu senaryo; trenin peronda oluşturduğu ses basınç seviyesi sonucunda konuşmanın anlaşılabilirliği değerlendirmesi üzerinedir. Öneriler sonucunda ses basınç seviyesi düşerek trenin peronda olmadığı durumun (Senaryo 3a) değerlendirmesinde kullanılan SPL(A) değerine çok yakın olması ve mevcut durum analizinde de sonuçların çok yakın çıkması nedeniyle geliştirilen önerilerin Senaryo 3b için değerlendirmesi yapılmamıştır. Senaryo 3a’dan elde edilen değerler kabul edilmiştir.

Senaryo 3c

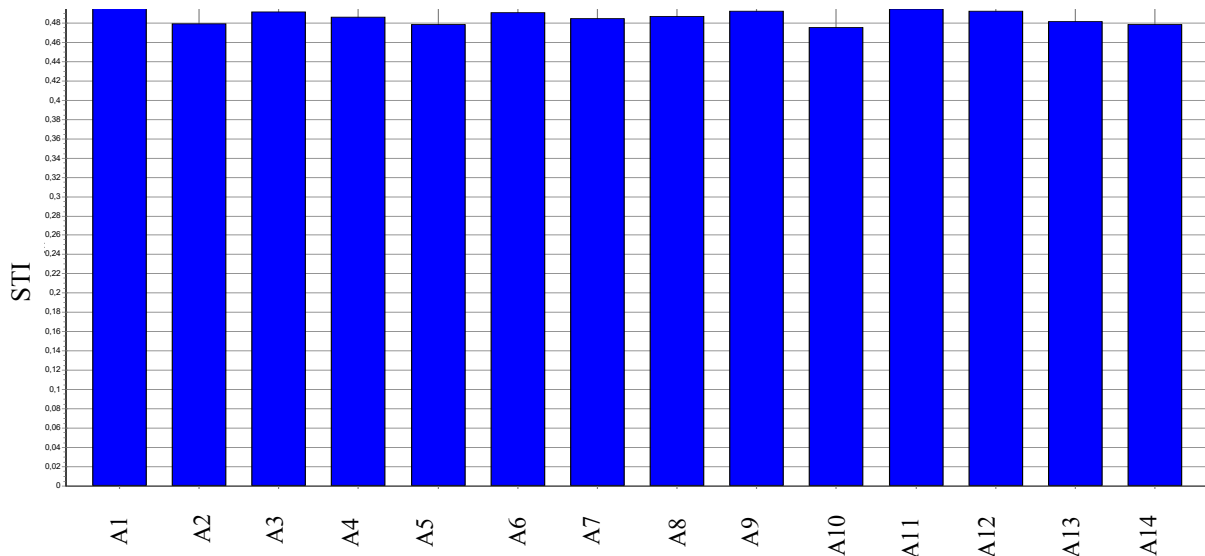
Bu senaryoda değerlendirilen acil durum anlarında yani yüksek ses basınç seviyesinin mevcut olduğu koşullarda anonsların anlaşılabilirliği mevcut durum için oldukça düşük ve hedeflenen aralıkta değildir. Bu koşulda yüksek anlaşılabilirlik sağlamak oldukça güçtür. Öneriler geliştirilirken öncelikle değerlendirilen koşul Senaryo 3c olmuştur; diğer koşullar için hedeflenen değerler yutucu malzeme kullanımı ile sağlanırken, bu senaryonun optimum koşullara ulaşması için Öneri 2 ve Öneri 3 geliştirilmiştir.

Öneri 1’de 14 alıcı noktada ortalama STI değeri 0,48 olarak tespit edilmiştir. Bu değer 0,45-0,60 aralığında yani orta derecede anlaşılabilirlik için yeterli değerdir.



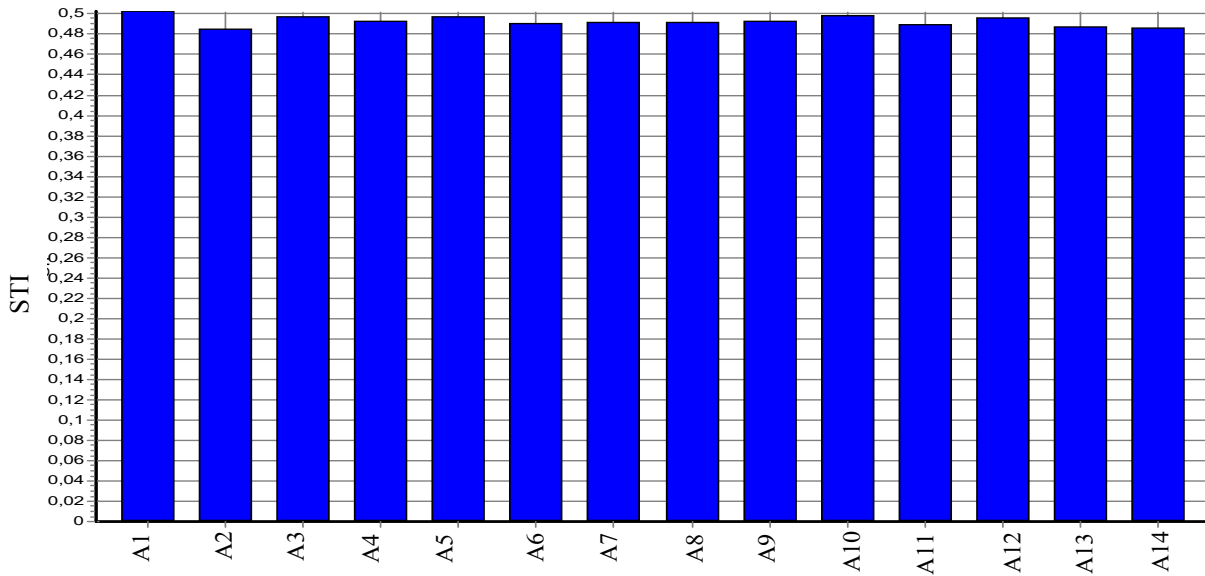
Şekil 4.32. 14 alıcı noktada Öneri 1’e göre STI değerleri

İkinci öneride; tüm alıcı noktalarında STI değeri olabildiğince birbirlerine yaklaşması ve dengeli ses alanı hedeflenmiştir. Sonuç olarak 14 alıcı noktada STI değeri minimum 0,48 , maksimum 0,50 ve ortalama 0,49 değerlerine ulaşmıştır. Londra yeraltı metroları üzerine çalışan bir şirket anons sistemleri için performans özelliklerinin tanımlandığı bir doküman hazırlamıştır. Bu dokümanda anons sistemleri için hedeflenen değer 0,50’dir [46]. Öneri 2’de 14 alıcıda elde edilen değerler birbirlerine ve 0,50 değerine oldukça yakındır.

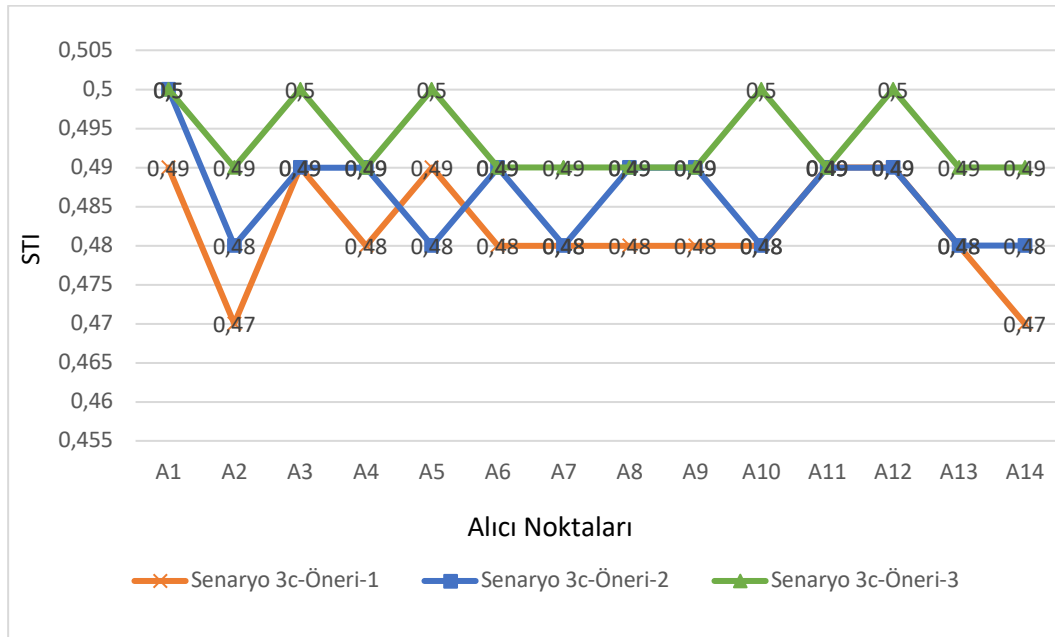


Şekil 4.33. 14 alıcı noktada Öneri 2’ye göre STI değerleri

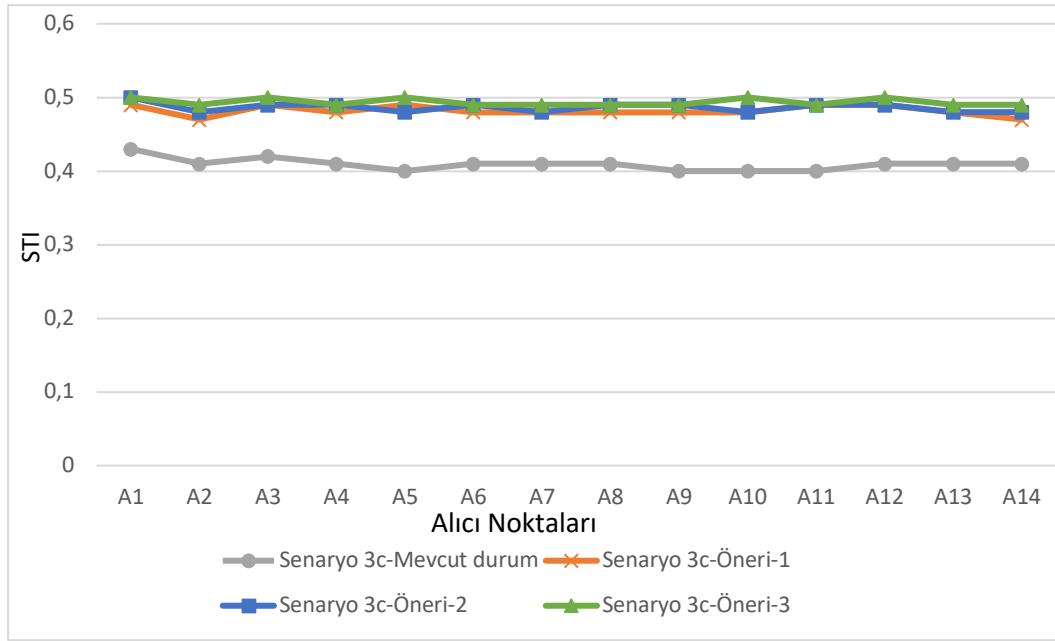
Üçüncü öneride; tüm alıcı noktalarında STI değeri olabildiğince birbirlerine yaklaşılarak, dengeli ses alanı sağlanmıştır. Sonuç olarak 14 alıcı noktada STI değeri minimum 0,49 , maksimum 0,50 ve ortalama 0,49 değerlerine ulaşmıştır. Öneri 3'te 14 alıcıda elde edilen değerler birbirlerine oldukça yakın oluşu ve birçok noktada 0,50 değeri elde edilmesi ile başarılı sonuç vermiştir. Geliştirilen önerilerden en başarılı sonuç veren ise Öneri 3 olmuştur.



Şekil 4.34. 14 alıcı noktada Öneri 3'e göre STI değerleri



Şekil 4.35. Senaryo 3c'de geliştirilen üç önerinin 14 alıcı noktada STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi



Şekil 4.36. Senaryo 3c’de geliştirilen üç öneri ve mevcut durumun 14 alıcı noktada STI değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi

4.2.3. Genel değerlendirme

Seçilen örneklemin mevcut durumunun analizinde, reverberasyon süresi ve konuşmanın iletim indeksi parametreleri için hedeflenen değerler sağlanamamıştır (Çizelge 4.14). Ancak yeraltı metro istasyonlarının önemli problemi olan gürültü, söz konusu bu örneklem için sorun olmamış, peron ayırıcı kapı kullanımı ile gürültü kontrolü sağlanmıştır. Bununla beraber peronların ayrı konumlanması, başka bir deyişle peronun tek hata hizmet vermesiyle gürültü potansiyeli düşürülmüştür. Tek hatlı peron hacimleri küçük olması nedeniyle reverberasyon süreleri beklenenden kısa olarak tespit edilmiştir. Ancak bu değer, hedeflenen aralıkta değildir (Çizelge 4.14).

Geliştirilen önerilerde öncelikle yutucu alanın artışı ile reverberasyon süresi tüm öneriler için hedeflenen aralığa çekilmiştir (Çizelge 4.14). İstasyonların önemli problemlerinden acil durum anlarında anonsların anlaşılabilirliğinin sağlanması için birçok tasarım geliştirilmiş, maksimum performansa ise Öneri 3’te ulaşılmıştır.

Öneri 1’de diğer önerilere oranla daha az yutucu kullanılmıştır; ancak yeterli yutuculuğun sağlanması konuşmanın iletim indeksinde hedeflenen değerlerin sağlanması ve dengeli ses alanı oluşturulması için yeterli olmamıştır. İkinci öneride uzun hacimlerin esas problemi

olan dengeli olmayan ses alanları için çözüm geliştirilmek istenmiştir. Uzun duvarların orta noktalarında yutucu özellikle bitiş malzemesi kullanılarak, mevcut durumda tespit edilen kesintisiz duvarların orta konumlarına doğru azalım dengeli hale getirilmiştir. Ancak acil durumun değerlendirildiği Senaryo 3c için hedeflenen STI değerinin daha iyi bir performansının elde edilmesi için Öneri 3 geliştirilmiştir. Öneri 3'te ise yutucu alanın arttırılmasının yanı sıra duvarlarda yansıtıcı ve yutucu kullanımı ile sesin dengeli olarak yayılması hedeflenmiştir. Senaryo 3c için hedeflenen STI değerinin en başarılı olduğu sonuç elde edilmiştir (Çizelge 4.14).

Tüm önerilerde akustik parametreler için hedeflenen değerler yakalanmıştır. Ancak üçüncü öneride tüm parametreler için daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dengeli ses alanları sağlanarak yeraltı metro istasyonlarının esas problemi olan anonsların anlaşılabilirliği için hedeflenen performansa en yakın değer elde edilmiştir.

Geliştirilen öneriler dışında; reklam panoları, dekoratif elemanlar, tefriş kullanımları da akustik iyileştirmede yardımcı olacaktır. Özellikle saçıcı görevi görecekt tefriş ve ekipmanlar ile performans artışı sağlanacaktır.

Simülasyon sonuçlarında geliştirilen önerilerin; ses ortamını iyileştirmede, yolcu ve çalışanları etkileyen gürültünün azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür.

Örnekleme dair yapılan mevcut durum ve öneriler sonucu elde edilen değerler optimum değerler aracılığı ile analiz edilerek Çizelge 4.14'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.14. Örneklemin mevcut durumu ve akustik performans için geliştirilen önerilerin analiz sonuçları

Senaryolar	Amaç	Performans Kriteri	Optimum Değer	Mevcut Durum	Değerlendirme	Öneri-1	Öneri-2	Öneri-3	Değerlendirme
Senaryo 1	Doğal akustiğin tespiti	T30	1.4 s (hedeflenen) [46]	2,63 s	Olumsuz	1,5 s	1,07 s	1,39 s	Olumlu
			1.6 s (kabul edilen) [46]						
Senaryo 2	Trenin istasyonda oluşturduğu gürültünün tespiti	SPL(A)	85 dB(A) (geçen trenler) [46]	61 dB(A)	Olumlu	55,22 dB(A)	54,7 dB(A)	54,12 dB(A)	Olumlu
Senaryo 3	Anonsların anlaşılabilirliğinin tespiti a- Normal durum b- Trenin geçtiği durum c- Acil durum	STI	0.30-0.45 Zayıf 0.45-0.60 Orta 0.60-0.75 İyi 0.75-1.00 Mükemmel [74],[49]	0,52	Olumlu	0,71	0,74	0,76	Olumlu
				0,52	Olumlu				
				0,41	Olumsuz	0,48	0,49	0,49	Olumlu

5. SONUÇ

Yeraltı metro istasyonları kentin nüfusuna bağlı olarak binlerce kişiye gün içerisinde ev sahipliği yapmaktadır. Yoğunlukları nedeniyle bu mekanlar optimum koşullara sahip olmalı ve daha önemlisi güvenli alanlar oluşturmalıdır. Kişilerin, kendilerini güvende hissetmeleri için öncelikle konfor koşullarının sağlanması gerekir. Metro istasyonlarında işitsel konforun oluşturulması için anonsların anlaşılabilirliği öncelikli konudur.

Yapı işlevi gereği birçok mekanik ve elektrik ekipmanın gürültüye sebebiyet vermesiyle, akustik çözümlerde multidisipliner çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Sadece doğal akustik koşulların değerlendirilmesi yeterli olmayacaktır. Anonsların farklı koşullar altında anlaşılabilirliği değerlendirilerek çözümler üretilmelidir. Bu sayede kullanıcıların huzurlu olacakları ve kendilerini güvende hissedecekleri alanlar oluşturulabilir.

Tez konusu olan anonsların anlaşılabilirliği; acil durum anlarında hayati öneme sahip olmasının yanı sıra, normal kullanım şartları altında da önem arz eder. Kullanım sırasında yapılan her türlü anonsun anlaşılması ile kişiler kendilerini güvende hissederek, huzurlu bir şekilde ulaşımları sağlanacaktır.

İstasyonlar başta uzun hacim olmaları, yansıtıcı bitiş malzemeleri kullanımı ve tren gürültüsü nedeniyle akustik açıdan zor mekanlardır. Bu bahsi geçen özelliklerin tamamen değiştirilmesi mümkün olmasa da mikro ölçekte değişimlerle optimum koşullar sağlanabilecektir. Tezin ilk bölümlerinde; mimari çözümlerin akustik üzerinde etkileri incelenerek Çizelge 3.9-13'te özetlenmiştir. Proje tasarım aşamasında iken çizelgede özetlenmiş olan parametreler dahilinde seçimler yapılarak akustik performansta artış sağlanabilecektir.

Endüstriyel araştırma ve geliştirmeler büyük ölçüde tren gürültüsü kontrolüne odaklanarak, tren gürültüsünü azaltmıştır. Ancak istasyonlarda akustik konusuna gerekli önem verilmemiştir [18]. Yönetmelik ve standartlarda genellikle gürültünün kontrolü amaçlanmaktadır. Bunun dışında mekânın konfor koşullarının sağlanması için hacim akustiği parametreleri dahilinde değerlendirmeler yapılmalıdır. Bu bağlamda tasarım aşamasında mimarlara önemli görevlerin düştüğü görünen bir gerçektir.

Tezde örneklem olarak seçilen proje, İstanbul'da yapılması planlanan bir yeraltı metro istasyonudur. Öncelikle örneklem modellenerek, Odeon 10.02 simülasyon programında mevcut duruma dair akustik performans analizi yapılmıştır. Sözü edilen analizler değerlendirildikten sonra öneriler geliştirilmiştir.

Uzun kapalı hacimlerin akustik tasarımında; kesit alanı, form, bitiş malzemelerinin özellikleri ve yerleşimi önemli etkiye sahiptir. Uzunluk boyunca, stratejik olarak yerleştirilen yutucu ve saçıcılar önem arz etmektedir (Bkz. Uzun hacimler) [6]. Bahsedilen çözüm önerilerinden kesit alanına ve forma, projenin tasarım aşamasında müdahale edilebilir. Ancak örneklem kesin proje aşamasında olduğu için bitiş malzeme seçimleri ve konumları ile iyileştirme önerileri yapılmıştır.

Yeraltı istasyonlarında çevresel gürültü sorunları olmasa da bünyelerinde oluşan gürültülere karşı önlem alınması gerekmektedir. Özellikle peron ayırıcı kapının gürültüyü kontrol etmede etkisi hem literatür çalışmasında hem de bu çalışmaları destekleyecek şekilde, örneklemde de gözlemlenmiştir. Bu kapılar aynı zamanda anonsları istasyon içerisinde tutarak anonsların anlaşılabilirliğini de kontrol etmektedir. İstasyonun iki ayrı tünelde planlanması gürültü kontrolüne yardımcı olmaktadır. Gürültüyü kontrol etmek dışında hacmi küçülterek reverberasyon süresinin kısaltılmasında etkili oluşuyla tek hatlı peron tipi tercih edilmelidir. Tünelere ulaşımın sağlandığı koridorlar da bu tünellerin sürekli uzunluklarını kırarak akustik parametreler üzerinde başarılı sonuçlar vermiştir.

Örneklem üzerinden yapılan değerlendirmede; mimari akustiği etkileyen elemanlar olan bitiş malzemelerinin konum ve kapladıkları yüzey alanlarının ses alanlarına etkileri, peron alanlarında akustik tasarımda rehberlik sağlama amacıyla incelenmiştir. Örneklemde literatür çalışması ışığında çözüm önerileri geliştirilmiştir. Bilgisayar simülasyonundan elde edilen deneysel sonuçlara dayanarak, anons sistemlerinin konuşma anlaşılabilirliği dahil ses kalitesini arttırmaya yönelik akustik tasarıma dair değerlendirmeler yapılmıştır. Bu bağlamda:

- Hacimde kullanılan yutucu malzeme alanı için optimum değer vardır ve sınır aşıldığında T_{30} ve $SPL(A)$ değerlerinde düşüş sağlansa da STI değeri yükselmemiştir.

- Yapılan çalışmada; ilk amaç akustik parametrelerin sağlanması, ikinci amaç ise dengeli ses alanları sağlamaktır. Denemeler sonucunda optimum yutucu alan, uygun konumlarda yansıtıcı ve saçıcı yüzey kullanımı ile hedeflenen performans sağlanmıştır.
- Peron ayırıcı kapı sistemlerinin kullanımı tren gürültüsünü kontrol etmede önemli bir etmendir.
- Tavanda kullanılan yutucu özellikte malzeme, reverberasyon süresini hedef değere ulaştırmada etkin bir çözümdür.
- Duvarlarda kullanılan yutucu, yansıtıcı malzemelerin doğru konumlarda kullanımı sonucunda ses saçılarak dengeli ses alanı sağlanmıştır.
- Peron uç duvarlarında yutucu uygulaması ile bu noktalarda yüksek olan T_{30} değeri azaltılarak; düşük olan STI değeri yükseltilerek, hedef performans sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Soyak, S. ve Demirel, F. (2018). *Yeraltı metro istasyonlarında oluşan gürültünün ve akustik koşulların incelenmesi*. Uluslararası Öğrenci Multidisipliner Akademik Çalışmaları Kongresi, Ankara.
2. Kang, J. (2002). *Acoustics of long spaces: theory and design guidance*. London: Thomas Telford, 1-245.
3. Kang, J. (1997). A method for predicting acoustic indices in long enclosures. *Applied Acoustics*, 51(2), 169-180.
4. Kang, J. (1997). Acoustics of long underground spaces. *Tunnelling Underground Space Technology*, 12(1), 15-21.
5. Kang, J. (1997). Scale modelling of train noise propagation in an underground station. *Journal of Sound Vibration*, 202, 298-302.
6. Kang, J. (1996). Sound attenuation in long enclosures. *Building and Environment*, 31(3), 245-253.
7. Kang, J. (1996). Improvement of the STI of multiple loudspeakers in long enclosures by architectural treatments. *Applied Acoustics*, 47(2), 129-148.
8. Kang, J. (1996). The unsuitability of the classic room acoustical theory in long enclosures. *Architectural Science Review*, 39(2), 89-94.
9. Kang, J. (1996). Reverberation in rectangular long enclosures with geometrically reflecting boundaries. *Acta Acustica United with Acustica*, 82(3), 509-516.
10. Yang, L. and Shield, B. (2001). The prediction of speech intelligibility in underground stations of rectangular cross section. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 109(1), 266-273.
11. Harrison, M. (2001). Calculating speech intelligibility for the design of public address systems at railway stations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 215(4), 319-329.
12. Kim, Y.H. and Soeta, Y. (2013). *Effects of reverberation and spatial diffuseness on the speech intelligibility of public address sounds in subway platform for young and aged people*. Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013: ASA.
13. Kim, Y.H. and Soeta, Y. (2013). Architectural treatments for improving sound fields for public address announcements in underground station platforms. *Applied Acoustics*, 74(11), 1205-1220.
14. Kim, Y.H. and Soeta, Y. (2013). *Design of diffusive surfaces for improving sound quality of underground stations*. International Symposium on Room Acoustics, Toronto.

15. Shimokura, R. and Soeta, Y. (2012). Sound field characteristics of underground railway stations–Effect of interior materials and noise source positions. *Applied Acoustics*, 73(11), 1150-1158.
16. Soeta, Y. and Shimokura, R. (2012). Change of acoustic characteristics caused by platform screen doors in train stations. *Applied Acoustics*, 73(5), 535-542.
17. Kim, Y.H. and Soeta, Y. (2012). *Temporal and spectral characteristics of public address announcements in subway platforms with various finishing materials using computer simulation*. Inter-Noise Proceedings, New York, 4797-4808.
18. Shimokura, R. and Soeta, Y. (2011). Characteristics of train noise in above-ground and underground stations with side and island platforms. *Journal of Sound and Vibration*, 330(8), 1621-1633.
19. Shimokura, R. and Soeta, Y. (2009). Temporal change of train noise in underground stations. *Journal of Temporal Design in Architecture Environment*, 9, 18-21.
20. Shimokura, R. and Soeta, Y. (2009). Evaluation of speech intelligibility of sound fields in passenger train compartments. *Acoustical Science and Technology*, 30(5) 379-382.
21. Sü, Z. and Çalışkan, M. (2007). Acoustical design and noise control in metro stations: case studies of the Ankara metro system. *Building Acoustics*, 14(3), 203-221.
22. Sü, Z. ve Çalışkan, M. (2011). Varşova metro sistemi (Faz II) istasyonlari akustik tasarımı, 9.Ulusal Akustik Kongresi, Ankara.
23. Berardia, U., Iannaceb, G. and Giordano, G. (2015). Acoustic characteristics of four subway stations in Naples, Italy. Inter-Noise and Noise-Con Congress and Conference Proceedings, Institute of Noise Control Engineering, 250(3), 3589-3600.
24. Yang, L. (1997). *Computer modelling of speech intelligibility in underground stations*, PhD Thesis, South Bank University, London, UK.
25. Tunç, H. (2007). *Yeraltı metro istasyonlarında algısal faktörlerin irdelenmesi: Taksim Metro İstasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
26. Çetindağ, B. (2002). *Metro istasyonlari tasarım kriterleri İstanbul Metrosu ve Londra Tottenham Court Road İstasyonu örnekleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
27. Toprak, R. ve Aktürk, N. (2002). Raylı ulaşım sistemlerinin neden olduğu gürültü ve çevresel etkileri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (417), 33-38.
28. Aktop Maden, D. ve Avlar, E. (2017). Yer altı metro istasyonlarındaki yolculu alanların görsel konfor açısından değerlendirilmesi: Kadıköy ve Kartal İstasyonları örneği. *Megaron*, 12(1).
29. Sürücü, S. (2015). *Metro mekansal organizasyonunun yön bulmaya etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

30. Önal, P. (2014). *Metro dolaşım alanları iç mekan atmosferinin algısal bağlamda irdelenmesi: İstanbul Levent İstasyonu örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
31. Puller, M. (2003). *Deep excavations: a practical manual*. London: Thomas Telford, 398.
32. Özbek, E. (2007). *Metrolarda yön bulma davranışının çevresel stres bağlamında irdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
33. Hussein, M.M.H. (2010). *Effect of Architectural Treatments on Acoustic Environment*, Master's Thesis, Ain Shams University. Cairo, Egypt.
34. İnternet: Tunnel Boring Machine (TBM). Railsystem. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.railsystem.net%2Ftunnel-boring-machine-tbm%2F&date=2019-04-30> , Son Erişim Tarihi: 30.04.2019.
35. İnternet: Railway Platform and Types. railsystem. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.railsystem.net%2Frailway-platform-and-types%2F&date=2019-04-30> , Son Erişim Tarihi: 30.04.2019.
36. Türk Standartları Enstitüsü, TSE 12127. (1997). *Şehir İçi Yollar-Raylı Taşıma Sistemleri Bölüm 1: Yer Altı İstasyon Tesisleri Tasarım Kuralları*.
37. İnternet: Cadman, S. Abbesses Metro Station. Flickr. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.flickr.com%2Fphotos%2Fstevecadman%2F771216725%2F&date=2019-05-07> , Son Erişim Tarihi: 07.05.2019.
38. İnternet: Dalkıranoglu, B. Tasarımlarıyla Göz Dolduran Dünyanın En İlginç Metro İstasyonları. listelist. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.flickr.com%2Fphotos%2Fstevecadman%2F771216725%2F&date=2019-05-07> , Son Erişim Tarihi: 07.05.2019.
39. National Fire Protection Association. (2003). *NFPA 130: Standard for fixed guideway transit and passenger rail systems*.
40. Parker, N. (1992). *Mimari tasarımda biçim grameri: Metro istasyon tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
41. Lai, Y.C.C. (2011). *Numerical models for sound propagation in long spaces*, PhD Thesis, The Hong Kong Polytechnic University.
42. Houtgast, T. and Steeneken, H. (1973). The modulation transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility. *Acta Acustica United with Acustica*, 28(1), 66-73.
43. Steeneken, H.J.M. and Houtgast, T. (1980). A physical method for measuring speech-transmission quality. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 67(1), 318-326.

44. Demirkale, S.Y. (2007). *Çevre ve yapı akustiği: mimarlar ve mühendisler için el kitabı*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 38-41,123,127,200.
45. Kurra, S. (2009). *Çevre gürültüsü ve yönetimi (I-II-III)*. Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
46. Agustina, L.G. (2013). Improvement of voice alarm systems in underground stations *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 35.
47. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2010). *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*. Resmi Gazete, (27601).
48. Rubin, B.U. (1998). *Audible information design in the New York City subway system: A case study*. Georgia Institute of Technology.
49. British Standard Institution, BS 5839-8. (2013). *Fire detection and fire alarm systems for buildings –Part 8: Code of practice for the design, installation, commissioning and maintenance of voice alarm systems*.
50. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 60268-16 (2012). *Ses sistem cihazları -Bölüm 16: Konuşma iletim indeksi ile konuşma anlaşılabilirliğinin tarafsız sınıflandırılması*.
51. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 3382-2. (2009). *Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi*.
52. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik*. Resmi Gazete, (30082).
53. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 3382-1 (2010). *Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi - Bölüm 1: Performans boşlukları*.
54. Ermann, M.A. (2014). *Architectural acoustics illustrated*. John Wiley & Sons, 4-156.
55. Barron, M. (2009). *Auditorium acoustics and architectural design*. Routledge, 28.
56. Sabine, W.C. (1927). *Collected papers on acoustics*. Harvard University Press Cambridge, MA, 3-106.
57. Beranek, L. (1986). *Acoustics*. Vol. 101. New York: American Institute of Physics.
58. Beranek, L. (1954). *Acoustics*. New York: McGraw-Hill, 1-430.
59. Liu, N., Wang, Y. and Shi, L. (2013). Annoyance evaluation of subway interior noise based on psychoacoustical indices. *Noise & Vibration Worldwide*, 44(9), 18-24.
60. Fletcher, H. and Steinberg, J. (1929). Articulation testing methods. *Bell System Technical Journal*, 8(4), 806-854.
61. French, N.R. and Steinberg, J.C. (1947). Factors governing the intelligibility of speech sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 19(1), 90-119.

62. Houtgast, T., Steeneken, H., Ahnert, W., Braid, L., Drullman, R., Festen, J. and Payton, K. (2002). *Past, present and future of the Speech Transmission Index*. Soesterberg: TNO, 14-16,69.
63. Houtgast, T. and Steeneken, H.J.M. (1985). The Modulation Transfer Function in room acoustics. *MA: Brüel & Kjaer Instruments*, Technical Review No. 3, 8.
64. İnternet: Acoustic Reflections. Acoustics.com. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.acousticreflections.com&date=2019-04-30> , Son Erişim Tarihi: 30.04.2019.
65. Kang, J. (2006). *Urban sound environment*. London: Taylor and Francis, 15-17.
66. Oldfield, A. (2012). *Acoustic design of transit stations*. Proceedings of Meetings on Acoustics 164ASA: ASA.
67. İnternet: Platform Screen Door. Pezcame. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fpezcame.com%2FcGxhdGZvc2N0gc2NyZWVudGRvb3Jz%2F&date=2019-04-30>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2019.
68. İnternet: Platform Screen Door - Koruyucu Otomatik Kapı Çeşitleri. Nane Group. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fnanegroup.com%2Fplatform-screen-doors%2F&date=2019-04-30>, Son Erişim Tarihi: 30.04.2019.
69. Tang, C., Wang, Y. and Guo, H. (2013). Sound field simulation and optimization at an underground subway station. *Building Acoustics*, 20(3), 243-253.
70. Türk Standartları Enstitüsü, TSE 12460. (1998). *Şehir içi yollar - raylı taşıma sistemleri*.
71. İnternet: End of the line for rail ballast?. The Construction Index. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.theconstructionindex.co.uk%2Fnews%2Fview%2Fend-of-the-line-for-rail-ballast&date=2019-04-30>, Son Erişim Tarihi: 27.01.2019. 2014.
72. Wilson, G.P. (1977). Noise levels from operations of CTA rail transit trains. Oakland, California : Wilson, Ihrig & Associates, 49-90.
73. İnternet: Mesnik, Bob . What is the Right Sound Level for Your Paging Speakers?. Kintroniks Ip Security Solution. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fkintroniks.com%2Fright-sound-level-paging-system%2F&date=2019-04-30> , Son Erişim Tarihi: 30.04.2019. 2014.
74. OdeonA/S. (2009). Room Acoustics Modelling Software, V 10.02 Combined.
75. Egan, M.D. (2007). *Architectural Acoustics (J. Ross Publishing Classics)*. J. Ross Publishing, 52.

76. İnternet: Guardian Glass. Typical Sound Transmission Loss (dB). Intus Windows.
URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.intuswindows.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F05%2FGUARDIAN-SunGuard-Technical-info.pdf&date=2019-05-12> , Son Erişim Tarihi: 28.04.2019.

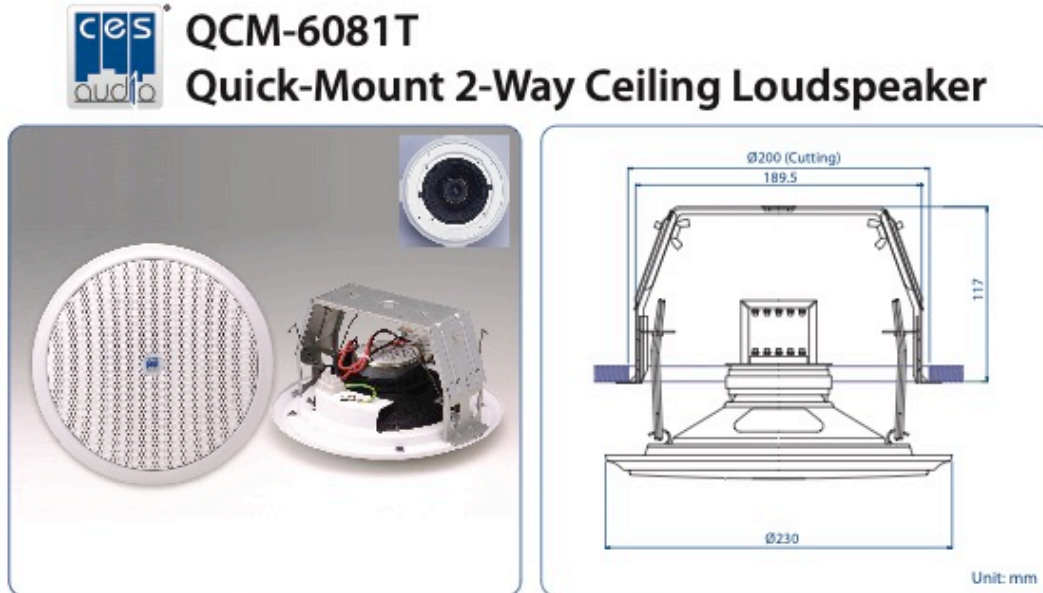
EKLER

EK-1. Peron ayırıcı kapıda kullanılan camın ve lamine camlara dair ses geçiş değerleri [76]

Typical Sound Transmission Loss (dB)

Glass Configuration	Frequency in Hertz (Hz)																			
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	STC	OITC
1/4"	23	25	25	24	28	26	29	31	33	34	34	35	34	30	27	32	37	41	31	29
1/2"	26	30	26	30	33	33	34	36	37	35	32	32	36	40	43	46	50	51	36	33
1/8" - 0.030" PVB - 1/8"	25	26	28	27	29	29	30	32	34	35	35	36	36	35	35	38	43	46	35	31
1/4" - 0.030" PVB - 1/4"	28	31	29	31	32	33	32	33	35	36	36	35	36	40	43	46	48	51	37	33
1/4" - 0.060" PVB - 1/4"	27	28	27	30	31	31	33	35	36	37	37	37	36	37	41	44	48	51	37	33
1/8" - 3/8"as - 1/8"	26	23	23	20	23	19	23	27	29	32	35	39	44	47	48	41	36	43	31	26
1/4" - 1/2"as - 1/4"	29	22	26	18	25	25	31	32	34	36	39	40	39	35	36	46	52	58	35	28
1/8" - 1/2"as - 1/8" - .030PVB - 1/8"	27	29	25	24	25	27	29	31	35	38	40	41	42	43	46	50	49	53	37	31
1/4" - 1/2"as - 1/8" - .030PVB - 1/8"	27	27	24	28	26	33	34	35	38	40	42	43	42	40	42	47	51	54	39	32
1/4" - 1/2"as - 1/4" - .030PVB - 1/4"	30	26	30	30	29	36	37	37	39	39	41	42	43	44	46	51	53	55	41	35

EK-2. Simülasyonda kullanılan hoparlörün özellikleri

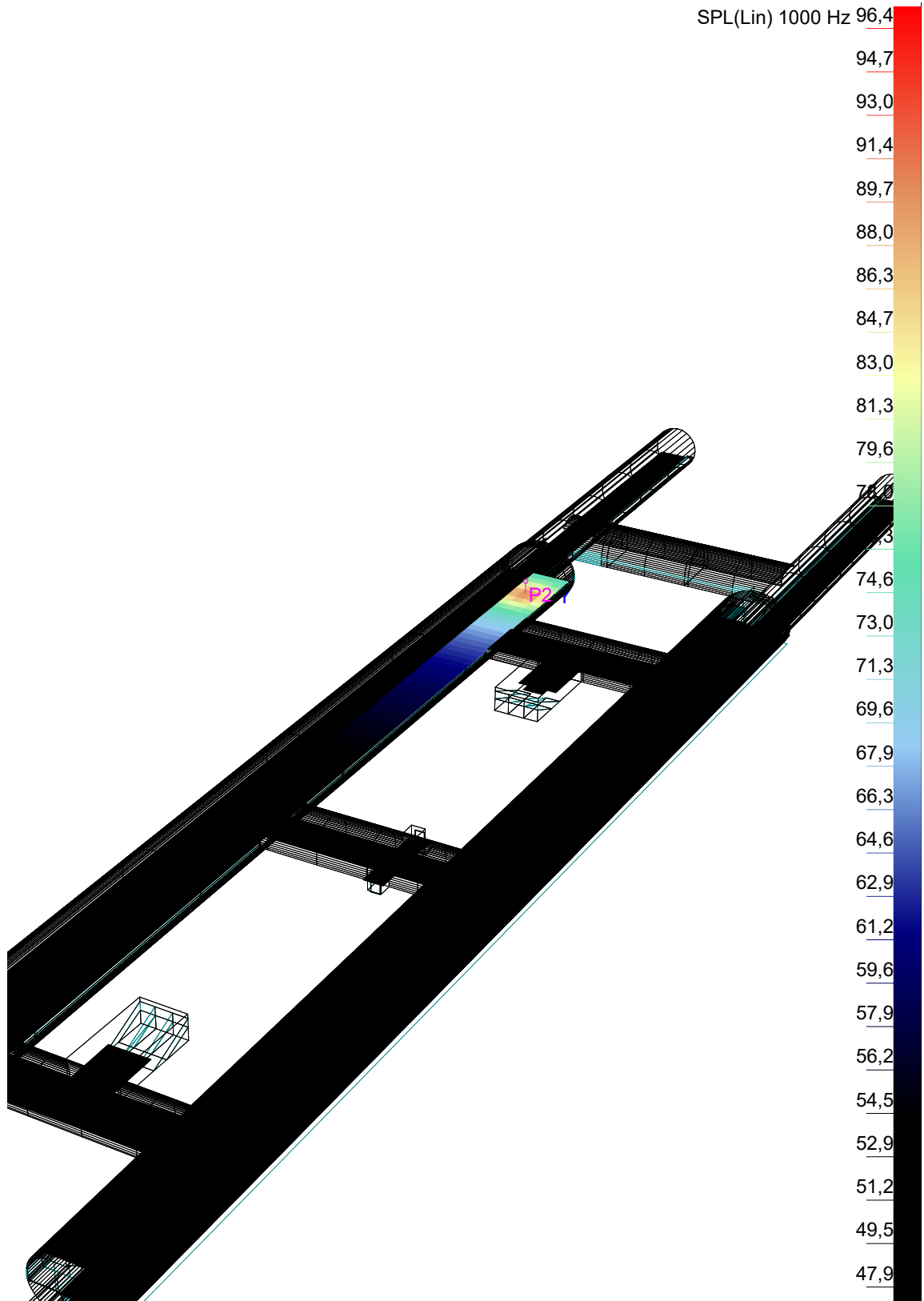


- ☒ 100 Hours Life Tested
 ☒ CE Certified (EMC & LVD)
 ☐ IP Rated
 ☐ Rustproof
 ☐ UL94V0
- ☐ BS 5839 Part 8
 ☒ EASE Data
 ☒ RoHS Compliance
 ☐ UV Protected
 ☒ Withstanding/Insulation Tested

- Shares generic low profile grille design & simple fit system throughout entire QCM series.
- Featuring a high quality 6.5" 2-way speaker, with a paper cone, 10-ounce magnet and 2" tweeter with a bi-polar crossover.
- Foreground and sound reinforcement quality.
- 8 watt transformer with multi tapplings down to 1W (100V) & 0.5W (70V).
- Built-in ceiling tile cutout marker.
- Dished grille design for acoustic integrity.
- Galvanized steel construction, finished in brilliant white (RAL 9003).

Model No.	QCM-6081T
Rated Power (rms)	8W
Impedance	1.25kΩ, 2.50kΩ, 5kΩ & 10kΩ
Power Taps @ 100V	8W, 4W, 2W & 1W
Power Taps @ 70V	4W, 2W, 1W & 0.5W
SPL (1W / 1M)	95 dB
Max. SPL (Rated 8W / 1M)	104 dB
Frequency Range (-10dB)	80 Hz – 20K Hz
Dispersion 1K Hz / 4K Hz	140° / 65°
Ambient Temperature	-20°C – +60°C
Power Selection	Plug
Material	Raffle: Steel, Grille: Steel
Colour / Finish	White (RAL 9003)
Dimensions	230 (9.06) Dia. X 121 (4.76) Height mm. (in.)
Cutout Size	200 (7.87) Dia. mm. (in.)
Net Weight (ea)	1.7 kgs (3.75 lbs)
Mounting	Spring loaded Quick-Mount Bracket Assembly

EK-3. Tek hoparlörün ses basınç seviyesinin yayılımı



EK-4. Senaryo 2 14 alıcı noktada mevcut durum ve geliştirilen öneri sonrasında SPL(A) değerleri

Alıcı	Mevcut durum SPL(A)	Öneri-1 sonucu SPL(A)	Öneri-2 sonucu SPL(A)	Öneri-3 sonucu SPL(A)
1 Numaralı alıcı	60,6 dB	53,6 dB	53,3 dB	52,1 dB
2 Numaralı alıcı	59,7 dB	54,7 dB	54,4 dB	53,4 dB
3 Numaralı alıcı	57,0 dB	54,8 dB	54,3 dB	53,4 dB
4 Numaralı alıcı	62,4 dB	54,9 dB	54,2 dB	55,0 dB
5 Numaralı alıcı	63,1 dB	56,1dB	54,8 dB	54,6 dB
6 Numaralı alıcı	63,7 dB	56,0 dB	55,5 dB	55,3 dB
7 Numaralı alıcı	61,3 dB	54,6 dB	54,3 dB	53,5 dB
8 Numaralı alıcı	60,5 dB	55,3 dB	54,9 dB	54,8 dB
9 Numaralı alıcı	60,6 dB	55,5 dB	55,0 dB	55,2 dB
10 Numaralı alıcı	61,0 dB	56,0 dB	54,6 dB	53,2 dB
11 Numaralı alıcı	61,6 dB	55,6 dB	54,9 dB	55,1 dB
12 Numaralı alıcı	60,2 dB	55,4 dB	55,2 dB	53,0 dB
13 Numaralı alıcı	60,3 dB	54,9 dB	54,7 dB	54,3 dB
14 Numaralı alıcı	61,3 dB	55,8 dB	55,4 dB	54,8 dB

EK-5. Senaryo 3a 14 alıcı noktada mevcut durum ve geliştirilen öneri sonrasında STI değerleri

Alıcı	Mevcut durum STI	Öneri-1 sonucu STI	Öneri-2 sonucu STI	Öneri-3 sonucu STI
1 Numaralı alıcı	0,54	0,72	0,74	0,78
2 Numaralı alıcı	0,53	0,71	0,74	0,77
3 Numaralı alıcı	0,53	0,72	0,74	0,77
4 Numaralı alıcı	0,51	0,70	0,73	0,75
5 Numaralı alıcı	0,50	0,71	0,74	0,75
6 Numaralı alıcı	0,51	0,71	0,73	0,75
7 Numaralı alıcı	0,52	0,71	0,73	0,76
8 Numaralı alıcı	0,52	0,71	0,74	0,77
9 Numaralı alıcı	0,51	0,70	0,73	0,75
10 Numaralı alıcı	0,50	0,70	0,74	0,76
11 Numaralı alıcı	0,51	0,71	0,74	0,75
12 Numaralı alıcı	0,53	0,72	0,75	0,77
13 Numaralı alıcı	0,55	0,72	0,74	0,77
14 Numaralı alıcı	0,49	0,71	0,73	0,77

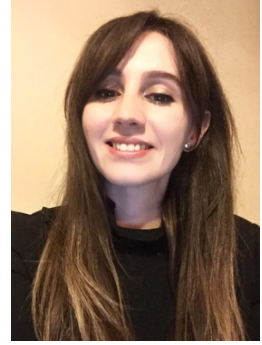
EK-6. Senaryo 3c 14 alıcı noktada mevcut durum ve geliştirilen öneri sonrasında STI değerleri

Alıcı	Mevcut durum STI	Öneri-1 sonucu STI	Öneri-2 sonucu STI	Öneri-3 sonucu STI
1 Numaralı alıcı	0,43	0,49	0,50	0,50
2 Numaralı alıcı	0,41	0,47	0,48	0,49
3 Numaralı alıcı	0,42	0,49	0,49	0,50
4 Numaralı alıcı	0,41	0,48	0,49	0,49
5 Numaralı alıcı	0,40	0,49	0,48	0,50
6 Numaralı alıcı	0,41	0,48	0,49	0,49
7 Numaralı alıcı	0,41	0,48	0,48	0,49
8 Numaralı alıcı	0,41	0,48	0,49	0,49
9 Numaralı alıcı	0,40	0,48	0,49	0,49
10 Numaralı alıcı	0,40	0,48	0,48	0,50
11 Numaralı alıcı	0,40	0,49	0,49	0,49
12 Numaralı alıcı	0,41	0,49	0,49	0,50
13 Numaralı alıcı	0,41	0,48	0,48	0,49
14 Numaralı alıcı	0,41	0,47	0,48	0,49

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SOYAL, Seniha
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 17.04.1993, Kayseri
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (535) 894 9667
 e-mail : snh_syl@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	2019
Lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	2015
Lise	Kayseri Ted Koleji Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-2018	Atus Mimarlık	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Soyal, S. ve Demirel, F. (2018). *Yeraltı metro istasyonlarında oluşan gürültünün ve akustik koşulların incelenmesi*, International Congress on Student Multidisciplinary Academic Students, Ankara, Türkiye.

Hobiler

Seyahat etmek-



GAZİ GELECEKTİR..