



**ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ KARŞISINDA KONUT BALKONLARININ SES
BARIYERİ OLARAK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Hilal ÜSTÜNER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2021

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.

Hilal ÜSTÜNER

25/06/2021

ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ KARŞISINDA KONUT BALKONLARININ SES BARIYERİ OLARAK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hilal ÜSTÜNER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Gürültü kirliliği, toplumun yaşam kalitesi, refahı ve sağlığı üzerinde ciddi etkileri olduğu bilinen en büyük çevresel sorunlardandır. Demografik genişleme beraberinde hızlı gelişen kentleri ve plansız yapılaşmayı getirmiştir. Bu yeni yapıli çevrelerde ulaşım ağlarının geliştirilmesi ile yoğun trafik arterleri, kent içi raylı ulaşım sistemleri ve sürekli inşaat gürültüsünün arasında kalan konut yapıları, gürültü kirliliğinden en çok etkilenen yerleşimlerden olmuştur. Bu tez çalışmasında, çevresel gürültüyü azaltmak için geliştirilen yöntemler ve yapıli çevrenin akustik kalitesini iyileştirmede bina kabuğu tasarımlarının katkısı incelenmiştir. Bina kabuğu tasarımları arasında, özellikle konut yapılarında yaygın kullanılan balkon elemanlarının, yönetmelikler ve standartlar tarafından önerilen mimari ve akustik tasarım kriterleri tanımlanmıştır. Tez kapsamında, bir örnek konut biriminin bulunduğu çevre koşullarında maruz kaldığı gürültü seviyeleri ölçülmüştür. Uygun balkon geometrisi, akustik tasarımda kullanılan malzemenin özellikleri ve konumlandırmaları ile konut sakinlerinin işitsel konforunu arttırmaya nasıl katkıda bulunacağı, Odeon simülasyon programı yardımıyla araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yeni binaların balkon tasarımlarında ve mevcut olanların iyileştirilmesinde kritik öneme sahip faktörler belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 80101

Anahtar Kelimeler : Çevresel gürültü, bina kabuğu tasarımı, konut balkonları, akustik konfor

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Prof. Dr. Füsun DEMİREL

RESEARCH OF THE EFFECTS OF RESIDENTIAL BALCONIES AS SOUND
BARRIERS AGAINST ENVIRONMENTAL NOISE

(M. Sc. Thesis)

Hilal ÜSTÜNER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

Noise pollution is one of the biggest environmental problems known to have serious effects on the quality of life, well-being, and health of the society. Demographic expansion has brought along rapidly developing cities and unplanned urbanization. Residential buildings, which are surrounded between the development of transportation networks in these new built environments and heavy traffic arteries, urban rail transportation systems and constant construction noise, have been the most affected by noise pollution. In this thesis, the measures developed to manage and mitigate the known effects of environmental noise and the contribution of building envelope designs in improving the acoustic quality of the built environment were examined. Among the building envelope designs, the architectural and acoustic design criteria recommended by regulations and standards for balcony elements, which are widely used in residential buildings, were defined. Within the scope of the thesis, the noise levels that a sample housing unit is exposed to in the environmental conditions were measured. The appropriate balcony geometry, the properties and positioning of the material used in acoustic design, and how they contribute to increasing the auditory comfort of the residents were investigated via Odeon simulation software. Based on obtained results, critical factors in balcony designs of new buildings and improvement of existing ones were determined.

Science Code : 80101

Key Words : Environmental noise, building envelope design, residential balconies, acoustic comfort, noise screening

Page Number : 101

Supervisor : Prof. Dr. Füsün DEMİREL

TEŞEKKÜR

Tez sürecimdeki değerli rehberliği ve katkıları için Prof. Dr. Füsün DEMİREL'e, örnek çalışmamdaki özverili yardımları için Merve ve Elif GÖRKEM'e çok teşekkür ederim. Birlikte mutlu ve bazen de hüzünlü günleri paylaştığımız tüm güzel insanlar, özellikle Dilara BİRLİK ve en başından beri bu yolda bana cömertçe eşlik eden Mustafa Bahadır GÜNER, candan dostluğunuz için teşekkür ederim. Hayattaki en büyük şansım, hep yanımda olan ailem, Berrak, Ahmet, Hatice, Hatime, Elham, Adnan, Feride bana olan inancınız ve koşulsuz sevginiz için minnettarım, bu tez sizlerin desteği olmadan asla gerçekleştirilemezdi.

Hayallerim doğrultusunda yürürken yolumu aydınlatan canım babam Talat ÜSTÜNER'in sevgi dolu anısına... Seni çok özlüyoruz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇEVRESEL GÜRÜLTÜNÜN ETKİLERİ VE ÖNLENMESİ	5
2.1. Çevresel Gürültünün Toplum ve İnsan Sağlığına Etkisi	5
2.2. Çevresel Gürültünün Ekonomik Maliyeti	8
2.3. Kent ve Bina Kabuğu Bağlamında Çevresel Gürültü Azaltma Önlemleri	9
3. ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ VE KONUT BALKONLARI	17
3.1. Çevresel Gürültü Karşısında Balkonların Akustik Performansını Etkileyen Tasarım Kriterleri	17
3.1.1. Ses dalgalarının davranışı.....	17
3.1.2. Çevresel gürültü kaynağının tipi.....	20
3.1.3. Ölçüm yöntemleri	20
3.1.4. Gürültü kaynağının ve alıcının birbirlerine göre konumları	21
3.1.5. Balkon geometrisi	22
3.1.6. Akustik malzeme kullanımı	23

	Sayfa
3.2. Konut Balkonlarının Ses Bariyeri Olarak Etkisi	24
3.3. Ulusal ve Uluslararası Yönetmeliklerin Konut Balkonları Özelinde İncelenmesi ve Performans Kriterlerinin Belirlenmesi	47
4. ÖRNEKLEM: ANKARA’DA METRO GÜRÜLTÜSÜNÜN HÂKİM OLDUĞU YÜKSEK KATLI BİR KONUT BALKONU	53
4.1. Örneklem Alanı ile İlgili Genel Bilgiler	53
4.2. Maruz Kalınan Gürültü Seviyelerinin Tespiti ve Analizi	54
4.3. Örneklemin Simülasyon Programıyla Analizi.....	62
4.1.1. Mevcut durumun simülasyon yöntemiyle analizi	62
4.1.2. Balkonun akustik performansının artırılması amacıyla geliştirilen öneriler.....	66
4.1.3. Önerilen balkon geometrilerinin akustik performans analizleri.....	70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	85
EKLER.....	97
EK-1. Örneklemin olduğu alanın uydu haritası (Google Haritalar); mavi pin incelenen apartman dairesinin konumunu gösterir	98
EK-2. Örneklem alanındaki ölçüm noktalara (Google Haritalar).....	99
EK-3. Örneklem alanında yapılan yerinde ölçüm sonuçları	100
ÖZGEÇMİŞ	101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Literatür özeti (gürültü kaynağı; trafik-T, insan- İ, demir yolu-D, bina yüksekliği; belirtilmemiş-B, alçak (1-5 kat)-A, orta (6-9 kat)-O, yüksek (10 ve üstü)-Y).....	25
Çizelge 3.2. Ölçülen ortalama ekleme kaybı (IL) (dB(A)) değerleri (figür 8 ve 9'dan alınmıştır).....	27
Çizelge 3.3. Ortalama ekleme kaybı (IL) (dB(A)) değerleri (figür 6'dan alınmıştır).....	28
Çizelge 3.4. Balkon cephesinin merkezindeki ortalama ekleme kaybı (IL) (dB(A)) değerleri (figür 5 ve 6'dan alınmıştır)	29
Çizelge 3.5. Kaynak açılarının sunduğu ortalama gürültü azaltma (figür 9'dan alınmıştır).....	30
Çizelge 3.6. Asimetrik balkonlardaki ortalama ekleme kaybı (IL) (dB(A)) değerleri (figür 3'ten alınmıştır)	31
Çizelge 3.7. Eğimli tavanların farklı balkon derinliklerinde sağladığı ortalama akustik gölgeleme değerleri (figür 4,7 ve 10'dan alınmıştır).....	32
Çizelge 3.8. Balkon derinliği ve parapet eğiminin ölçekli modelde ölçülen ortalama koruma (figür 10,12, 14, 16-18'den alınmıştır)	33
Çizelge 3.9. Çalışmasının özeti ve sonuçlar	36
Çizelge 3.10. Kara yolu trafik gürültüsüne göre normalize edilen ortalama A ağırlıklı SPL azalmaları ile gürültünün geliş açısıyla arasındaki ilişki (figür 8 ve tablo 1'den alınmıştır)	38
Çizelge 3.11. Tavanlarla sağlanan ortalama azalma (tablo 2'den alınmıştır).....	39
Çizelge 3.12. Kaynak cepheye 10 m mesafedeyken elde edilen SIL (dB) ve STI (STI_{EDT} ve STI_{RT60}) değerleri (figür 9 ve 14'ten alınmıştır)	42
Çizelge 3.13. Balkon alanı ve cephesi için hesaplanan ΔSIL değerleri. (figür 6'dan alınmıştır)	43
Çizelge 3.14. Değişkenlerin kombinasyonu ile sağlanan akustik koruma (dB(A)) (figür 6'dan alınmıştır).....	44
Çizelge 3.15. Katlardaki pencerelerde sağlanan ortalama koruma (dB(A)) (figür 7c'den alınmıştır)	45
Çizelge 3.16. Çalışmanın özeti	46

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Ölçüm noktaları ve konumları	55
Çizelge 4.2. Örneklem alanında yapılan sabah (07:45-10:15), öğleden sonra (15:00-17:30) ve akşam (19:00-20:30) ölçüm sonuçları (L_{Aeq}) (1-7 noktaları, ulaşım yolları çevresindeki ölçüm noktaları; a-h noktaları, örnek dairede ölçüm yapılan hacimleri temsil etmektedir; h noktası*, balkon pencereleri kapalıyken balkonda alınan ölçüm değerleridir).....	58
Çizelge 4.3. Anadolu Bulvarı kenarındaki 1., 2. Ve 7. Noktalarda yapılan ölçüm sonuçlarının (L_{Aeq}) ÇGDYY'deki kara yolu çevresel gürültü sınır değerleri ile karşılaştırılması.....	59
Çizelge 4.4. Metro hattı boyunca 3.-6. noktalarında yapılan ölçüm sonuçlarının (L_{Aeq}) yüzeydeki raylı taşıma sistemlerinin 15 km uzaklıktaki gürültü seviyeleri ile karşılaştırılması.....	60
Çizelge 4.5. Modelin yerinde ölçüm değerlerine göre kalibrasyonu için yüzeylere verilen malzemelerin ses yutuculuk ve saçılım katsayısı	62
Çizelge 4.6. Modelde kullanılan kaynak tipleri ve gürültü seviyeleri	64
Çizelge 4.7. Belirlenen alıcı noktalarındaki yerinde ve simülasyon yöntemiyle ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	65
Çizelge 4.8. Önerilen tasarımların özeti	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Gürültüye bağlı stres reaksiyonlarına yanıt olarak kardiyovasküler hastalıklarda ilerlemeyi gösteren şema (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)...	7
Şekil 2.2. Dikey yeşil cephe sistemleri (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)	12
Şekil 2.3. a) Plenum penceresinin geometrik parametreleri; dış ve iç pencere açıklığı genişlikleri (w_d , w_i) pencere yüksekliği (h), boşluk mesafesi (d) ve üst üste gelen uzunluktur (l); Plenum pencerenin çalışma modları, (b) akustik mod, (c) baypas modu, (d) kapalı pencere (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir).....	13
Şekil 2.4. Cephe çıkıntılarının referans diyagramları; (a) lento/yatay paneller, (b) dikey paneller, (c) saçaklar, (d) panjurlu saçaklar.....	14
Şekil 3.1. Aynasal yansıma; K: kaynak, A: alıcı, d_l : direkt ses, d_l : yansıyan ses, $\theta_i = \theta_r$: sesin geliş açısı ile yansıma açısı birbirine eşittir ve yüzeyin boyu- $l > \lambda$	17
Şekil 3.2. Dalga boyu (λ) ve yüzey boyutlarına (a, b) bağlı olarak aynasal ve dağınık yansıma koşulları.....	18
Şekil 3.3. Ses dalgalarının yutucu, yansıtıcı ve dağıtıcı yüzeylerdeki zamansal ve mekânsal özellikleri (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)	19
Şekil 3.4. Bariyer varlığında sesin kırılması; K: kaynak, A: alıcı	20
Şekil 3.5. Ses dalgalarının katlarda yukarılara çıkıldıkça alıcıya geliş açıları; (a) alt katlar, (b) orta katlar, (c) üst katlar.....	21
Şekil 3.6. Cephe balkon dizilimi; d_1 ve d_2 : kaynak mesafeleri, α : kaynak ile cephe arasındaki açı, balkon tipleri	28
Şekil 3.7. Test edilen balkon formları.....	30
Şekil 3.8. Ses dalgalarının boşluklara etki ettiği alanların şematik gösterimi (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)	32
Şekil 3.9. Parapet eğiminin perdeleme etkisinin şematik gösterimi (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir).....	33
Şekil 3.10. Yutucu malzemelerin yerleşiminin şematik gösterimi; (i)-balkonların tavanlarına, (ii)-parapetin iç yüzeyine, (iii)-cepheye, (iv)-balkon arka duvarına, (v)- (i) ve (ii) kombinasyonu, (vi)- (iii) ve (v) kombinasyonu, (vii)- (i) ve (iv) kombinasyonu, (viii)- (iv) ve (v) kombinasyonu	35
Şekil 3.11. Deneylerde kullanılan balkon tasarımları (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)	36

Şekil	Sayfa
Şekil 3.12. (a) Normal tip; 2 m genişliğinde parapetli standart balkon, (b) tip 1; 30°'lik eğimle tavana monte edilen reflektör 1, (c) tip 2; 60°'lik gürültü geliş açısına uygun tasarlanan reflektör 1 ve 2, (d) tutucu tip; standart balkonun tavanına yutucu eklenmiş hali (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)	38
Şekil 3.13. Deneylerde kullanılan tavan tasarımları (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)	39
Şekil 3.14. Deney düzeneğindeki sokak boyutları ve balkonlardaki alıcı konumları (orijinal görsel Türkçeleştirilmiştir)	41
Şekil 3.15. Deney düzeneğindeki alıcı ve referans konumu, balkon boyutları ve geometrisi (orijinal görsel Türkçeleştirilmiştir)	41
Şekil 3.16. S1.1; referans sokak tasarımı, F3.1; geleneksel balkon, F3.2; eğimli parapet, F3.3; eğimli parapet ve eğimli tavan, F3.4; eğimli parapet ve yutucu kaplı tavan, F3.5; İlk iki katta yutucu kaplı tavan ve 3. kattan itibaren eğimli parapet ve eğimli tavan	44
Şekil 3.17. Balkonların kesitleri ve ceplerdeki balkonların dizilim alternatifleri (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir).....	45
Şekil 3.18. Referans balkon ile balkon geometrilerindeki değişikliklerin şematik anlatımı (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)	46
Şekil 3.19. Cephe şekli seviye farkı ile ilgili parametrelerin gösterimi	51
Şekil 4.1. Örnek bina 11. kat planı; kırmızı ile işaretli alanlarda ölçümler yapılmıştır..	56
Şekil 4.2. Ölçümlerin yapıldığı ve önerilerin geliştirileceği tip balkon plan ve kesiti ...	61
Şekil 4.3. Örneklem alanının simülasyon programındaki kaynak ve alıcı konumları	63
Şekil 4.4. Simülasyon programındaki alıcı noktalarında A ağırlıklı ses basınç seviyeleri	64
Şekil 4.5. Balkon alanındaki farklı alıcı noktalarında hesaplanan SPL(A) değerleri	66
Şekil 4.6. Balkon bariyer alternatifleri; B0: referans tasarım- örnek balkon parapeti, B1: 1,10 m beton/tuğla parapet, B2: 1,10 m cam parapet, B3: 0,5 m kiriş	67
Şekil 4.7. Bariyer eğim alternatifleri; E0: 0° -döşemeye dik, E1: içe doğru 15° eğimli, E2: dışa doğru 15° eğimli.....	68
Şekil 4.8. Balkon duvarı alternatifleri; D0: referans tasarım- duvar yokken, D1: yan cephe beton/tuğla duvar, D2: yan cephede cam duvar, D3: ön cephede cam duvar, D4: her iki cephede cam duvar	68

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Yutucu malzeme uygulanan yüzey alternatifleri; Y0: referans tasarım-yutucu malzeme yokken, Y1: sadece tavana, Y2: sadece parapete, Y3: hem tavana hem parapete	69
Şekil 4.10. Balkon alanının akustik kalitesini arttırmak için önerilen geometri alternatifleri	70
Şekil 4.11. Önerilen balkon geometrilerinin katlardaki tüm alıcılar değerlendirildiğinde sağladığı minimum, maksimum ve ortalama SPL(A) değerleri	71
Şekil 4.12. Balkon alternatiflerinde ölçülen ortalama SPL(A) değerlerinin B0-E0-D0-Y0 referans balkonuyla arasındaki fark	72
Şekil 4.13. Referans tasarıma göre tek bir geometri ve malzemelerinde değişim yapılan balkon alternatiflerinin katlara göre performansları	73
Şekil 4.14. Önerilen balkonların referans balkona göre katlardaki ortalama SPL(A) farkı; a) 14. kat, b) 11. kat, b) 9. kat, b) 4. kat, b) giriş kat.....	78
Şekil 4.15. Önerilen balkonların 11. kat balkon önü referans noktalarındaki SPL(A) farkı.....	80

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Örnekleme alanındaki ölçümlerden fotoğraflar.....	57
Resim 4.2. Örnek dairedeki ölçümlerden fotoğraflar, sırayla a, b, c ve h noktası.....	57



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Örneklemin olduğu alanın 1:500 ölçekli vaziyet planı	54
Harita 4.2. Örneklem alanındaki yerinde ölçüm noktalarının 1:200 ölçekli vaziyet planında temsili gösterimleri	55



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
dB	Desibel
dB(A)	A ağırlıklı ses basınç düzeyi birimi
D_{2m,nT,w}	Ağırlıklı standardize edilmiş cephe düzeyi farkı
Hz	Hertz
IL	Ekleme kaybı
L₁₀, L₉₀, L_N	İstatistiki ses seviyeleri
L_{akşam}	Akşam ses basınç seviyesi
L_{eq}, L_{Aeq}	A ağırlıklı eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi
ΔL_{fs}	Cephe şekli seviye farkı
L_{gag}	Tüm gün gürültü seviyesi
L_{gece}	Gece ses basınç seviyesi
L_{gündüz}	Gündüz ses basınç seviyesi
s	Ses dağınım katsayısı
SPL, L_p	Ses basınç seviyesi
α	Yutuculuk katsayısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
BSI	İngiliz Standart Enstitüsü (<i>British Standard Institution</i>)
ÇGDYY	Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü (<i>World Health Organization- WHO</i>)
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasılat
ISO	International Organization of Standardization
SIL	Konuşma girişim seviyesi
STI	Konuşma iletim indeksi

Kısaltmalar**Açıklamalar****TS**

Türk Standardı

VGSDikey Yeşil Cephe Sistemleri
(*Vertical Greenery Systems*)**WTP**Ödeme istekliliği (*Willingness to Pay*)

1. GİRİŞ

Gürültü, canlı yaşamını olumsuz etkileyebilecek istenmeyen ses olarak tanımlanmaktadır [1]. Çevresel gürültü ise insan faaliyetlerinin yarattığı, bireylerin yaşam kalitesine zarar veren, istenmeyen zararlı dış ortam sesleridir [2]. Ekonomik, sağlık, eğitim gibi sebepler ile kentleşmenin artması ve nüfusun genişlemesi, yeni yerleşim alanları yaratmak ihtiyacı, plansız yapılaşmayı beraberinde getirmiştir. Gürültüye karşı hassasiyet seviyeleri farklı olan kullanımların (konutlar, sağlık ve eğitim kurumları, eğlence yerleri, idari ve ticari yapılar [3]) büyük ölçekli bir kentsel planlama yapılmadan aynı bölgelerde kurgulanması, gürültü sorununu daha da büyötmektedir.

Demografik genişleme aynı zamanda artan hareketlilik ve trafik de demektir. Yapılı çevrelerde ulaşımın geliştirilmesi ve gürültü kaynaklarının sayısının artması, gürültü seviyelerinin eş zamanlı yükselişine dolayısıyla da ciddi olumsuz etkilerin gözlenmesine sebep olmaktadır. Büyük ve yoğun anayolları, kent içi raylı ulaşım sistemleri ve sürekli inşaat gürültüsünün arasında kalan konutlar, çevresel gürültüden en çok etkilenen yapılarıdır. Bu nedenle, gürültüye karşı çok hassas olan konut yapılarının sakinlerinde, gürültünün zararlı etkilerinin azaltılması için akustik kalite seviyelerini arttırmayı hedefleyen çalışmalar önem kazanmaktadır.

Bu doğrultuda tez kapsamında, öncelikle çevresel gürültünün etkileri, gürültü yönetimi ve etki azaltma önlemleri incelenmiştir. Önlemler arasında bulunan bina kabuğu tasarımlarından özellikle konut yapılarında yaygın kullanılan balkon elemanlarının; öncelikle balkon içi alanı olmakla beraber dış çevresi ve komşu olduğu iç mekanlarla aralarındaki akustik kaliteyi iyileştirmede, gürültü bariyeri olarak potansiyeli araştırılmıştır.

Balkonlar kullanıcısına özel açık alanlar sağlaması, iç mekanların barındıramadığı çeşitli işlevler için ilave bir yaşam alanı sunabilmeleri açısından konutlar için vazgeçilmez tasarım elemanlarıdır. Bu bağlamda çeşitli ölçeklerdeki konut yapılarındaki balkon hacimlerinde sağlanması gereken bir işitsel konfordan bahsetmek mümkündür. Konut balkonlarının, yapılı çevrenin koşullarına (topoğrafya, kaynak tipi, yapılı çevrede maruz

kalınan gürültü seviyesi, kaynak ve alıcının birbirine göre konumu gibi) uygun olarak tasarlanmasıyla kullanıcılarının işitsel konforunun arttırılabileceği savunulmaktadır.

Bu tezin amacı, balkon ve benzer cephe geometrilerinin akustik gölge elemanı olarak etkisinin araştırıldığı akademik çalışmaları incelemek, ulusal ve uluslararası yönetmelikler, standartlarda belirtilen mimari ve akustik tasarım önerilerini tanımlamak, bu önerilerin mimari pratikte kullanılabilmesi için örnek bir konut biriminin balkonunda simülasyon yöntemiyle test etmek, testler sonucunda elde edilen gürültü seviyeleri literatürdekilerle karşılaştırarak ve mimarlık sektöründe yeni yapılacak ve/veya mevcut konut yapılarının iyileştirilmesinde yararlanılması için izlenecek tasarım adımları belirlemektir.

Konut balkonlarının tasarım aşamalarında, gürültü etkenlerinin tespit edilerek çevresel ve yapısal gerekliliklerden taviz vermeden uygun geometri ve malzeme seçimleri yapılarak ekonomik olarak zorlayabilecek büyük sistem değişiklikleri olmadan gürültü kontrolü sağlayabilmesi, sürdürülebilir bir çevre için oldukça önemlidir. Bu çalışmada belirlenen gürültü seviyelerinin gelecekte yapılacak balkon tasarımlarında işitsel konforun sağlanması açısından önemli bir bilgi birikimi oluşturacağı düşünülmektedir.

Bu hedefle çalışma yönteminde dört aşama izlenmiştir. İlk aşamada literatür araştırılarak tasarım kriterleri belirlenmiştir. İkinci aşamada kriterlerin test edilmesi için yoğun ulaşım yollarıyla çevreli yüksek katlı bir konut yapısı örneklem olarak seçilmiş, yapının çevresinde ve örnek bir dairede maruz kalınan gürültü seviyesi ISO 1996-2 standardına uygun olarak ölçülerek elde edilen veriler analiz edilmiştir. Üçüncü aşamada Google Haritalar uygulamasından alınan bilgiler ışığında SketchUp Pro 2021 programında üç boyutlu modellenen örneklem alanı, Odeon 15.16 Combined simülasyon programında yerinde ölçüm verileriyle uyumlu hale getirilmiş ve mevcut balkon tasarımının akustik performans analizi yapılmıştır. Son aşamada ise balkon alanında akustik konforun iyileştirilmesi için belirlenen tasarım kriterleri doğrultusunda öneriler geliştirilmiş ve Odeon programında simüle edilmiştir. Balkon tasarım önerilerinin performans analizi, önerilerin ses basınç seviyesinde (SPL) sağladığı azalmalar karşılaştırılarak yapılmıştır.

Örneklemin akustik performansı üzerine getirilen önerilerle gürültü seviyelerinde sağlanan azalma, belirlenen çalışma alanına özel ve örneklem alanıyla sınırlıdır. Örneklem

alanındaki ana gürültü kaynağı metro gürültüsü olup kara yolu gürültüsü ikincil gürültü kaynağı olarak değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasında problemin tanımlandığı, araştırmanın amacı, önemi, yöntemi ve sınırlılıklarının belirtildiği giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde; çevresel gürültünün toplum ve insan sağlığına etkileri, ekonomik maliyeti ve azaltılması amacıyla kentsel ve bina bağlamında geliştirilen önlemler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, çevresel gürültü karşısında balkonların akustiğini etkileyen tasarım kriterlerinin detaylı anlatımı yapılmıştır. Balkonlarla sağlanan gürültü seviyelerinin ve cepheye balkonların eklenmesinden sonra ses basınç seviyelerindeki düşüşün incelendiği akademik çalışmalar özetlenmiş, ulusal/uluslararası yasal düzenlemeler ve standartlar konut balkonları özelinde incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, metro gürültüsünün hâkim olduğu bir örneklem alanında ve örnek dairede maruz kalınan gürültü seviyeleri tespit edilmiş, örneklem alanı modellenerek simülasyon programı yardımıyla mevcut durum ve tasarım kriterlerine göre geliştirilen önerilerin analizi yapılmıştır. Son bölümde sonuçlar tartışılmış, gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. ÇEVRESEL GÜRÜLTÜNÜN ETKİLERİ VE ÖNLENMESİ

Gürültü kirliliği olarak da bilinen çevresel gürültü, özellikle yoğun nüfuslu kentsel alanlarda ve ulaşım ağlarına yakın yerleşim alanlarında diğer tüm çevresel sorunlar arasında en sık şikayet edilenlerden biridir ve özellikle ulaşım kaynaklı gürültü Batı Avrupa’da ciddi hastalıklara sebep olan ikinci en önemli çevresel faktördür ve sadece bu nedenle her yıl en az bir milyon sağlıklı yaşam yılının kaybedildiği bilinmektedir [4]. Avrupa Birliği bölgesinde, 113 milyon insan, en az 55 dB(A) düzeyinde uzun süreli gündüz-akşam-gece trafik gürültüsüne, 22 milyon yüksek düzeyde demir yolu gürültüsüne, 4 milyon yüksek uçak gürültüsüne ve 1 milyondan az insan da endüstrilerin neden olduğu yüksek gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır [5]. Sayısal veriler belirli bir coğrafyayı temsil etse de hayatımızın her anında bize eşlik eden gürültünün dünya genelindeki rakamlarının hafife alınmayacak seviyede olması muhtemeldir.

Bu bölümde çevresel gürültünün insan ve toplum sağlığı üzerine etkilerine ve ekonomik çıktılarına dair güncel literatür bilgileri sunulmuştur. Çevresel gürültünün önlenmesi için geliştirilen yöntemler ve tasarım stratejileri özetlenmiştir.

2.1. Çevresel Gürültünün Toplum ve İnsan Sağlığına Etkisi

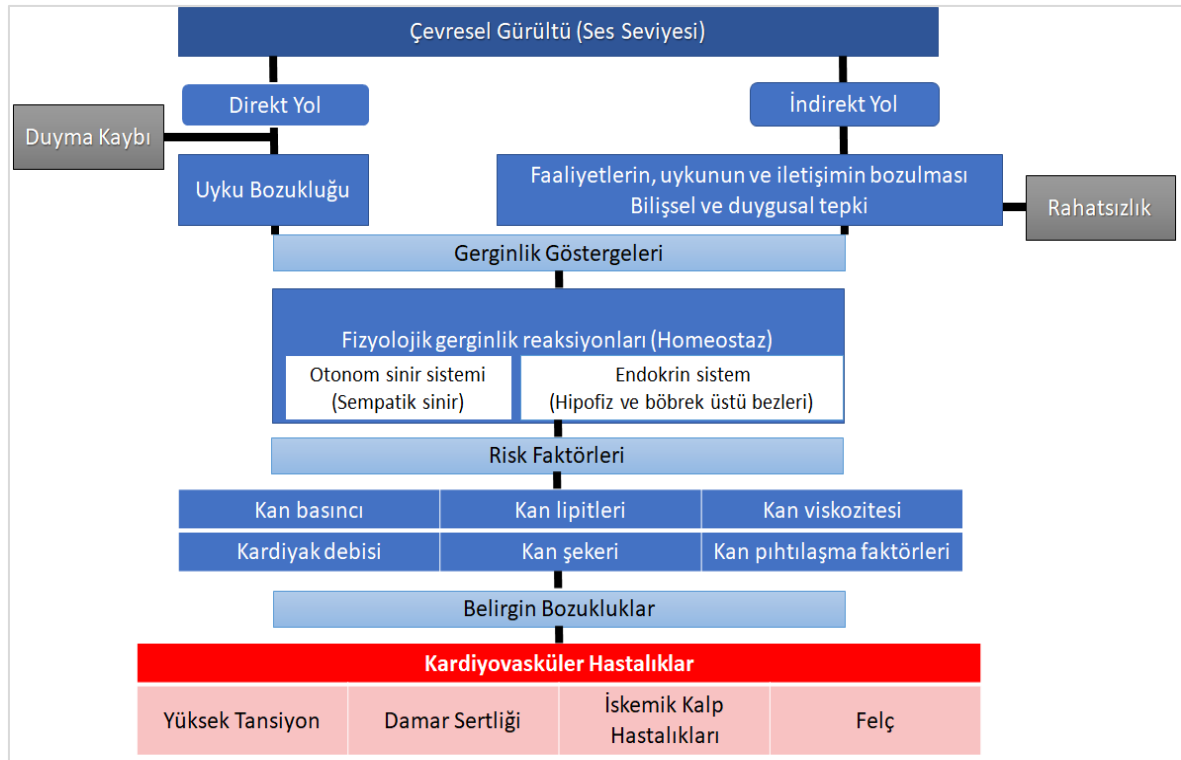
Gürültüye belirli seviyelerin üstünde ve/veya uzun süre maruz kalınması insan sağlığı için oldukça tehlikelidir. Gürültü kirliliği ile insan sağlığı ve toplum refahı arasındaki ilişki, uzun yıllardır önemli araştırmalara konu olmuş ve gürültüye maruz kalmanın işitsel ve işitsel olmayan, psikolojik ve fizyolojik sağlık sorunları doğurabileceği görülmüştür [6]. Yüksek düzeyde çevresel gürültüye maruz kalınması, gürültü kaynaklı rahatsızlık [7-13], uyku bozukluğu [11, 14-19], bilişsel bozukluklar [20], kısa veya uzun süreli işitme kaybı [21,22], kalp damar ve metabolik sistem hastalıkları [11, 23-26] ve olumsuz doğum sonuçları [27] ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca çevresel bir stres faktörü olarak gürültünün, endokrin ve otonom sinir sistemini uyarıp stres hormonu salgılanmasını arttırarak anksiyete, depresyon gibi psikolojik hastalıklara sebep olabileceği bulunmuştur [12, 20, 28-30]. Bunlarla birlikte gürültüden etkilenme düzeyi, gürültü kaynağının tipine, gürültü kirliliği karşısında yürütülen politikaların yönlendirmesine, toplumsal değerler, bireysel (yaş, cinsiyet, eğitim ve gelir seviyeleri, meslek grubu, medeni hal, etnik ve dini çeşitlilik,

gürültü hassasiyeti) ve durumsal (kent ve bina akustiği, mevsim, coğrafya) özelliklere göre farklılık gösterebilir [6, 10, 16, 31, 32].

Gürültü kaynaklı rahatsızlık ve uyku bozukluğu çevresel gürültüden kaynaklı hastalık yükünün en büyük kısmını oluşturmaktadır [2, 4, 33]. Rahatsızlık, günlük aktiviteleri, duyguları, düşünceleri, uykuyu veya dinlenmeyi engelleyen gürültüden kaynaklanabilir ve buna öfke, hoşnutsuzluk, hayal kırıklığı, mutsuzluk, anksiyete, klinik depresyon ve stresle ilgili semptomlar gibi tepkiler eşlik edebilir [12, 17]. Avrupa Birliği bölgesi içinde tüm gün, 53 dB(A) kara yolu gürültüsüne, 54 dB(A) demir yolu gürültüsüne, 45 dB(A) hava yolu gürültüsüne maruz kalınması, mutlak rahatsızlık riski ile orta derecede ilişkilendirilmiştir [33]. Aynı bölgede, vatandaşların gece gürültüsünün ciddi yan etkilerinden korunması için geceleri maruz kalınan kara ve demir yolu gürültü seviyelerinin sırasıyla 45 ve 44 dB(A) limit değerlerinin altında tutulmasını önermektedir. Kesintisiz gece uykusu insanın zihinsel ve fiziksel işleyişi için önemlidir. İnsanlar uyurken dahi çevresel sesleri algılar, değerlendirir ve tepki verir, bu sebeplerden gece gürültüye maruz kalınması uyku kalitesini pek çok yönde etkiler. Uykuya dalma süresinin uzaması, gece uyanma, sabah tamamen dinlenememe durumlarına karşı gündüz uyanıklık ve yüksek bilişsel performans, yüksek yaşam kalitesi ve sağlık için yeterli uzunlukta kesintisiz uyku gereklidir aksi durumda uyku bozukluğunun çevresel gürültüye maruz kalmanın en zararlı işitsel olmayan etkisi olduğu düşünülmektedir [4, 6, 14, 34, 35]. Trafik gürültüsüne maruz kalma ile ilişkili olarak, uyku sırasında artan kalp hızı, kan basıncında değişiklikler kaydedilmiştir [34]. Dahası, uyku yoksunluğu, metabolik ve endokrin fonksiyon gibi fizyolojik parametrelerdeki değişikliklerle, kardiyak otonom sinir sistemi aktivitesini değiştirdiği ve stres sırasında azalmış akut bağışıklık sistemi tepkileri ile ilişkilendirilmiştir [35]. Konut bölgelerinde maruz kalınan gece gürültüsünün uzun vadeli sağlık sonuçları yaratmasında gündüz gürültüye maruz kalınmasından daha önemli olabileceği gözlenmiştir [2, 6]. Ancak bireylerin konut alanları dışındaki günlük aktiviteler sırasında maruz kaldığı çevresel gürültünün de doğru tespit edilmesiyle sağlanacak daha gelişmiş ve etkili politikalar ve gürültü kontrol önlemleri sayesinde gürültü kaynaklı hastalıklara dair daha kapsamlı sonuçlar elde edilebileceğine değinilmiştir [10, 36, 37].

Gürültünün kalp ve dolaşım sistemi üzerindeki etkilerinin en yaygın sebebi, özellikle geceleri sürekli çevresel gürültüye maruz kalınması durumunda otonom sinir sistemi ve endokrin sisteminin uyarılmasına sebep olan stres faktörüdür denilmiştir (Şekil 2.1) [26].

Gürültüye bağlı stresin, kan basıncının artmasına, kalp atış hızının değişmesine, stres hormonlarının salınımının artmasına ve gürültüye bağlı uyku bozukluğu ile bozulmuş fiziksel aktivite durumlarının gelişimine sebep olduğu öne sürülmüştür [6, 38]. Yapılan diğer araştırmalarda da uzun süreli trafik gürültüsüne maruz kalan konutlardaki insanlar, doza bağlı olarak, artan kalp krizi [39], iskemik kalp hastalığı kaynaklı ölüm [29], diyabet [38, 40], obezite [25, 41] hipertansiyon [42] ve 64,5 yaşından büyük insanlar arasında daha yüksek felç [26, 43] riski ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 2.1. Gürültüye bağlı stres reaksiyonlarına yanıt olarak kardiyovasküler hastalıklarda ilerlemeyi gösteren şema [44] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

Çevresel gürültü kaynaklarının arasında yüksek sesli müziğe maruz kalma, özellikle eğlence mekanlarında ve kişisel müzik aletlerinden, çoğunlukla gençler ve genç yetişkinler arasında en sık görülen işitme kaybı sebebidir, ayrıca yüksek seviyelerde sürekli gürültü kulak çınlamasına (tinnitus) [4, 21, 22] bu da ileride konsantrasyon azalmasına, uyku bozukluğuna, anksiyeteye ve depresyona neden olabilmektedir [6, 22]. Bununla beraber, mesleki gürültüye maruz kalmadan kaynaklanan işitme tehlikeleri iyi bilinir ve uygun önleme politikaları geliştirilebilirken [28] genel popülasyonda çevresel gürültüden kaynaklı işitme kaybı için aynı aşama kaydedilememiştir [22].

Çevresel gürültünün sağlık üzerindeki bir diğer önemli etkisi bilişsel bozukluktur. Özellikle zihinsel gelişimin hızlı olduğu okul çağındaki çocuklarda gürültü etkileri, okuduğunu anlamamak gibi bilişsel yeteneklere ek olarak iletişim güçlükleri, dikkat bozukluğu, artan uyarılma, öğrenilmiş çaresizlik, hayal kırıklığı, gürültü kaynaklı rahatsızlığı ve uyku bozukluğunun performans üzerindeki sonuçlarını içerir [20]. Ayrıca yüksek düzeyde çevresel gürültüye sahip bölgeler genellikle sosyal olarak yoksun bırakıldığından bu bölgelerden gelen çocukların sosyal yoksunluğa maruz kalmayan çocuklara göre biliş testlerinde daha kötü performans gösterdiği gözlenmiştir [6].

2.2. Çevresel Gürültünün Ekonomik Maliyeti

Çevresel gürültünün toplumun yaşam kalitesi, refahı ve sağlığı üzerinde ciddi etkiler doğurabileceği bilindiği gibi gürültü kaynaklı masraflar da toplum için önemli bir yükür. Ulaşım kaynaklı gürültünün sosyal maliyetini belirlemek için genel olarak iki yöntem izlenir: koşullu değerlendirme ve hedonik fiyatlandırma [45]. Koşullu değerlendirme yönteminde anket üzerinden insanlara, gürültü kaynaklı sağlık sorunlarından kaçınmak için ne kadar ödemeye istekli oldukları (willingness to pay-WTP) sorulurken hedonik fiyatlandırma yöntemiyle trafik gürültüsü nedeniyle konut fiyatlarındaki değişiklikler incelenir. Geçmiş yıllardaki bir araştırmada Avrupa Birliğindeki 22 ülkede, kara yolu trafik gürültüsünün sosyal maliyetinin yılda en az 38 (30-46) milyar € olduğu tahmin edilmiştir; bu miktar, gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) yaklaşık %0,4'ü ve trafikle ilgili kazalar için olan sosyal maliyetlerin yaklaşık üçte biridir [46]. Kesintisiz bir gece uykusunun maliyeti ise gürültü kaynaklı rahatsızlığın ciddiyetine bağlı olmak üzere yaklaşık 5-20 € olarak belirlenmiştir [47]. İstambo ve diğerlerinin Avrupa bölgesinde yaptıkları başka bir araştırmada ise kara yolu trafik gürültüsünden kaçınmak için ortalama WTP tahminleri; genel sağlık riskleri için kişi başı yılda 90 €, şiddetli rahatsızlığın %13 azalması için kişi başına yılda 100 € ve gürültü seviyesinin 50 dB'den 65 dB'ye artışından kaçınmak için kişi başına yılda 320 € olarak bulunmuştur [48].

Gürültünün konut fiyatları üzerindeki etkisi, özellikle trafik yoğunluğunun yüksek olduğu yolların yakınında hissedilmekte ve trafik bölgelerine olan mesafe konut fiyatları üzerinde olumlu bir etkiye sahipken trafik yoğunluğu ile ters orantılı şekilde ilişkilidir [49,50]. Ekvador'un Machiali kentinde, gürültü seviyesinde bir birim (dB) artışın, emlak fiyatlarında %1,97 düşüşe neden olduğu ve Almanya'nın Münih kentinde kira fiyatlarının

ortalama olarak dB(A) başına %0,4 azaldığı bulunmuştur [51,52]. Düşük ve orta gelirli ülkelerde gürültüden korunma, halk sağlığı gündeminde üst sıralarda yer almasa da sonuçlar bize gürültüye küresel ölçekte öncelik verilmesi gerektiğini gösterir [53].

2.3. Kent ve Bina Kabuğu Bağlamında Çevresel Gürültü Azaltma Önlemleri

Kentleşmenin ve yeni yerleşim alanları yaratma ihtiyacının artmasıyla yükselen gürültü seviyeleri çevresel gürültünün, insan ve toplum sağlığı üzerindeki etkileri ve ekonomik çıktıları beraber değerlendirildiğinde, yönetimini ve azaltılmasını zorunlu kılmıştır. Gürültüye maruz kalınma seviyelerini belirlemek üzere hazırlanan gürültü haritaları, gürültünün nüfus üzerindeki etkisini azaltmak için alınacak önlemlerin geliştirilmesine temel oluşturur, gürültü haritalarına dayanarak kentsel alanlar ve ulaşım kaynakları için eylem planları hazırlanır [3,5].

Çevresel gürültü azaltma önlemleri üç alanda ele alınır; ilki gürültünün asıl kaynağında, ikincisi kaynak ile alıcı arasındaki yolda ve üçüncüsü de alıcının kendisindedir [5]. Kentsel alanlarda, gürültüyü azaltmayı ve yönetmeyi amaçlayan önlemlerin %50'den fazlası, kaynaktaki gürültünün azaltılmasına odaklanmaktadır. Araştırmalara göre kaynaktan alınan önlemler genellikle aralarında en etkilisidir [45], aynı zamanda genellikle daha uygun maliyetli oldukları için de tercih edilir ancak en uygun maliyetli çözümün kaynak ve alıcıda eş zamanlı alınacak önlemler ile sağlanabileceği belirtilmiştir [54]. Kara yolu gürültüsü için alınacak önlemlerde, kaynağın emisyon seviyesini değiştirmek için düşük gürültülü tekerlek ve asfalt tercih edilmesi en iyi sonucu verirken [55] ^[55] hız sınırları getirilmesi, ağır araç geçişlerine ve hava yollarındaki uçuşlara getirilen zaman sınırlamaları, demir yollarında ray tekerlek etkileşiminin iyileştirilmesi ve genel olarak tüm ulaşım yollarında trafik akışının düzenlenmesi alınacak önlemler arasındadır [5,56]. Tüm bunlarla beraber mevcut yerel durumlara bağlı olarak, kaynaktan alınacak önlemlerle her zaman istenen akustik iyileştirme sağlanamayabilir, maliyet, sürdürülebilirlik ve uygulanabilirlik de duruma göre zorlayıcı olabilir.

Kaynak ile alıcı arasındaki yolda alınan önlemler büyük kara yolları için ilk sırada, genel olarak ikinci sırada tercih edilmiştir ve bu amaçla en yaygın kullanılan yöntem gürültü bariyerleridir [5, 57]. 1960'ların sonlarından bu yana, teorik çalışmalar, ölçekli model ve

tam ölçekli saha deneyleri ile bariyerlerin arkasındaki ses seviyelerini tahmin etmek için pek çok araştırma yürütülmüştür [58]. Bariyerler, trafik ve yerleşim birimleri arasındaki doğrudan görüş hattını engelleyerek gürültünün alıcıya doğrudan ses yoluyla iletilmesini önler ve akustik gölge bölgelerinde en yüksek korumayı sağlar. Ancak kaynaktan gelen ses dalgaları, bariyerinin üst kenarından kırınımına uğrayarak ikinci bir kaynak etkisi oluşturup gölge bölgede baskın olabilir, bu sebeple özellikle 500 Hz altındaki frekanslarda daha az etkilidir [59]. Bu sorunu çözmek için, yüksekliklerinin arttırılması, uygun malzemeler seçilmesi (yansıtıcı veya yutucu gibi) ve düz bitişli geleneksel bariyerlerin yerine farklı kenar profilleri tasarlanması gibi değişikliklere gidilerek engellerin verimliliğini arttırmak için çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır [60, 61]. Standart düz gürültü bariyeri 3-6 m arasında tasarlandığında yaklaşık 5-12 dB akustik gölgeleme sağlarken artan her 1 m'de akustik koruma 1,5 dB artmıştır [62]. Bununla birlikte, olumsuz etkiler göz ardı edilemez; yolun her iki tarafındaki yerleşim bölgesindeki ışık yetersiz hale gelir, sürücünün görüşü engellenir, bu da kolayca sanal yorgunluğa neden olabilir ve bariyerin artan yüksekliği ve ağırlık artışı, temelini güçlendirmesini bu da maliyet artışı ile sonuçlanır. Aynı zamanda estetik kaygılar, güvenlik ve teknik nedenlerden dolayı genellikle pratik değildir [59,62]. Bariyerin üst kenarına yutucu malzemelerin eklendiği çalışmalarda, ses yutucu malzemelerin fiziksel sınırlamaları nedeniyle genellikle düşük frekanslarda kötü performans göstermiştir. Bu uygulamalardan alternatif olarak geliştirilenlerden aktif gürültü kontrol sisteminin entegre edildiği bariyerlerle ilave ortalama 7 dB akustik koruma sağlanmıştır [63]. Sesin bariyerin üstünden kırılma şeklini etkileyen üst kenar profili için en uygun geometriyi bulma amacıyla da son yıllarda pek çok araştırma yürütülmüştür [64, 65]. En iyi performansı T profilli bariyerlerin verdiği [65] ve eğimli tasarlanmış tırtıklı uçlu alternatif tasarımlarla da ilave 5 dB koruma sağlanabileceği bulunmuştur [59]. Sonuçta iyi bir üst kenar tasarımının akustik verimliliği arttıracığı söylenebilir. Tüm bunlara rağmen sınırlı arazinin ve yüksek yapılaşmaların yaygın olduğu kent merkezlerinde genellikle tercih edilmezler.

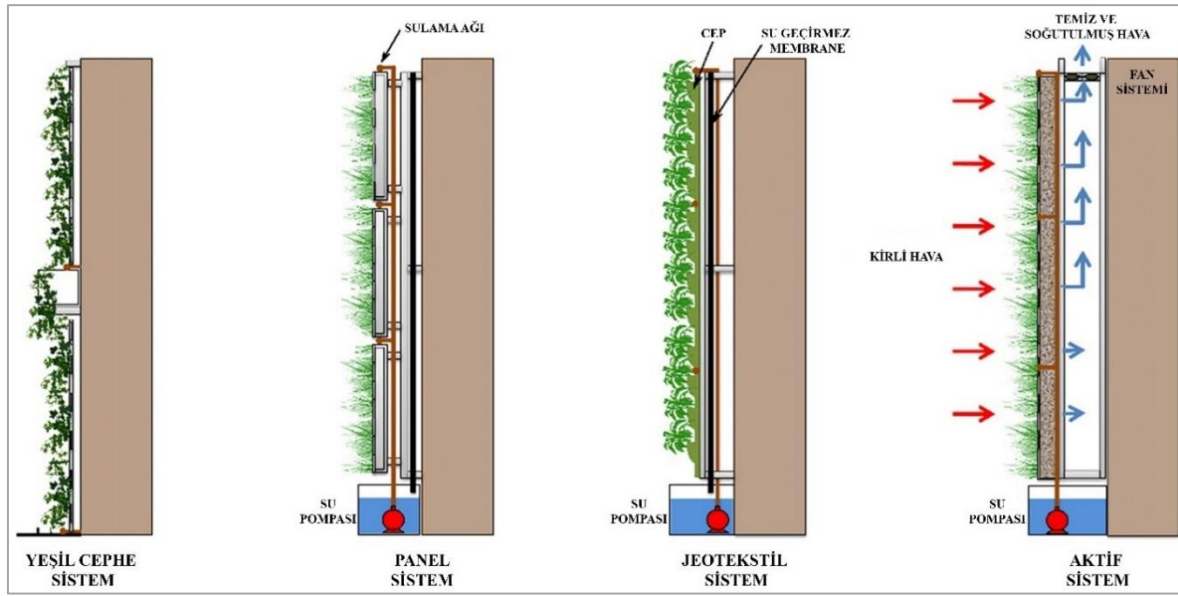
Gürültü bariyerlerinden farklı olarak bitki kuşakları ile sağlanan gürültü azalma miktarı bitki örtüsünün türüne ve kalınlığına bağlıdır [66]. İdeal durumlar sağlandığında gürültü seviyelerini 10-15 dB azalttığı bildirilmiştir ancak ihtiyaç duyduğu alan, yüksek arazi maliyeti ve bitki örtüsünün oluşması ve dolayısıyla etkili olması için geçen sürenin uzunluğu nedeniyle özellikle kentsel bölgelerde pratik olmayabilir [67]. Ayrıca trafik seviyesi yükseldiğinde bariyerlere göre daha düşük performans göstermektedirler [68].

Gürültü bariyerleri ile beraber gürültü kapanları (sound enclosures) kullanımı, gürültü hassasiyeti düşük yapılarla tampon bölge oluşturulması, yapıların yol sınırlarından geri çekilmesi, bazalar üzerine inşa edilmesi, yolun yerin altına alınması, yeniden güzergâh oluşturulması gibi uygulamalar da arazi kullanımı ve kentsel planlama yoluyla gürültünün yönetilmesi ve azaltılması için alternatif yöntemlerdir [5, 56, 57, 69, 70]. Tampon bölgeler, yerel yönetimler yol kenarındaki araziye veya gelecekte yola yakın yapılaşmayı önlemek için geliştirme haklarına sahip olduğunda mümkündür [67]. Ancak kullanılmamak üzere kıymetli arazilerin ayrılmak istenmemesi ve çoğu durumda zaten yerleşim yapılarının mevcut ulaşım yollarını sınırlaması nedenleriyle, tampon bölgeler oluşturmak genellikle uygun bir seçenek değildir. Aynı durum binaların geri çekilmesi ve podyumlar üzerinde inşa edilmesi için de geçerlidir. Kullanılabilir tüm alandan, özellikle ekonomik sebeplerle, azami fayda sağlanmak istenmesinden kaynaklı yaygın önlemler değildir.

Genişleyen ulaşım ağlarıyla eş zamanlı ve birden çok çevresel gürültü kaynağına maruz kalınması, gürültü kaynaklı rahatsızlık gibi sağlık sorunları karşısında fayda sağladığı bilinen, yüksek gürültü hassasiyeti olan mekanların (yatak odası gibi) binaların sessiz cephelerine konumlandırıldığı tasarımları artık mümkün kılmaz [71-73]. Bu durum karşısında en iyi önlemlerden biri de akustik verimi artırılmış bina kabuğu tasarımlarıdır. Bu seçenek, binaların yalıtımından daha az tercih edilse de çevresel gürültünün azaltılmasına karşı oluşturulan yöntemler arasında önemli yer tutar [5]. Bina kabuğu, bir binanın iç ve dış ortamlarını ayıran tüm bileşenlerini içerir. Duvarlar, temeller, çatı, pencere açıklıkları, ısı yalıtımı ve dış gölgeleme elemanlarından oluşur [74].

Bina cephesine ve çatısına uygulanan yeşil sistemler, çevresel gürültüye karşı yalıtım seviyesini arttırarak sağlayabilecekleri akustik koruma potansiyeli ile son yılların yaygın araştırma konusudur [74]. Dikey yeşil cephe sistemlerin (Vertical greenery systems-VGS) (Şekil 2.2), duvara montajlarından önce ve sonra ölçülen ses basınç seviyesindeki farktan sistemin sunduğu ekleme kaybı ve ses yutuculuk katsayısı araştırıldığında; elde edilen 2-4 dB ekleme kaybının, düşük ve orta frekanslarda bitkinin yerleştirildiği alt tabakanın kalınlığına, yüksek frekanslarda yaprak boyutlarına bağlı olduğu, yutuculuk katsayısının ise frekans ve bitki yoğunluğu arttıkça arttığı bulunmuştur [66]. 8- 10 cm kalınlığındaki alt tabakanın iyi bir yutuculuk performansı için minimum değerler olduğu görülmüştür [75]. Reverberasyon odasında ağırlıklı ses azaltma indeksi ($R'w$) 15 dB ölçülen modüler sistemlerin performansı, teorik model yöntemiyle sokak kanyonlarında test edildiğinde ise

elde edilen ekleme kaybı çok küçük seviyededir [76, 77]. Sokak kanyonlarındaki akustik performansın, yutuculuk katsayısından veya uygulandığı yüzey alanından daha çok dikey yeşil sistemlerinin kaynağa göre konumlanışından etkilendiği belirtilmiştir [78, 79]. Ölçekli model testlerindeki sonuçlarda da sokak kanyonlarındaki ekleme kaybı yaklaşık 2 dB'dir [78, 80]. Bu sistemlerde modüler panellerin yapısı, malzemeleri ve boyutları, birleşim detayları, bitkilerin yerleştirildiği alt tabakanın türü, kalınlığı ve nem içeriği, çeşitli bitki türleri ve kullanım yoğunluğu gibi birçok faktörün etkili olduğu görülmüştür [66, 81].

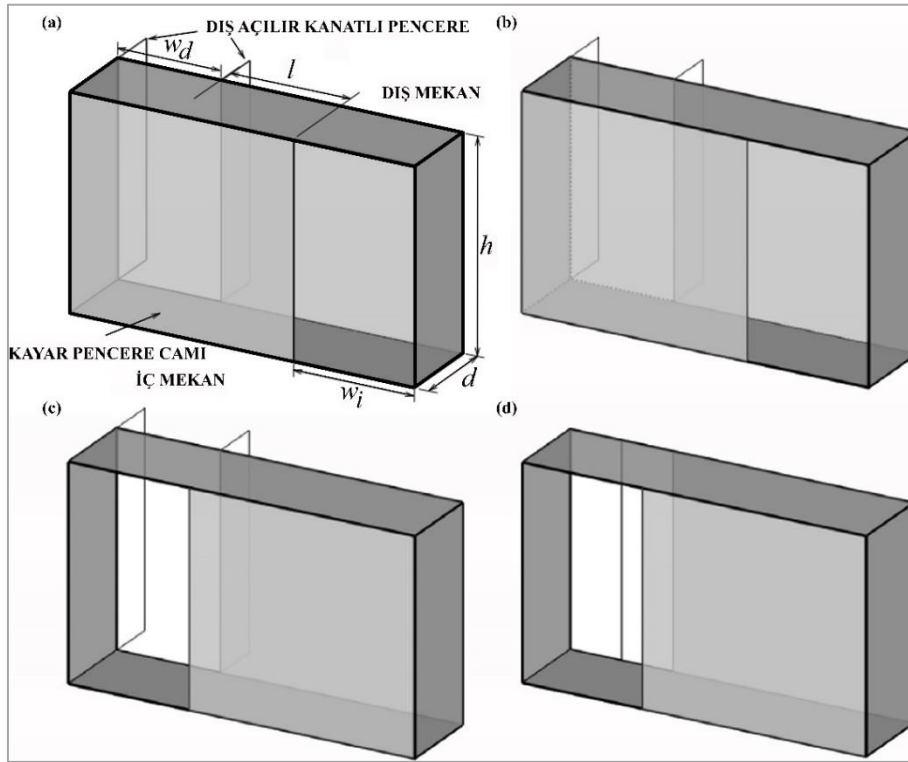


Şekil 2.2. Dikey yeşil cephe sistemleri [82] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

Yeşil cephe sistemlerinin genel akustik performansının belirlenmesi, tüm bu faktörlerin ayrı ayrı analiz edilmesiyle mümkündür. Önemli seviyede akustik koruma elde edebilmek için çok fazla değişkenin bilgisine ve doğru kombinasyonuna ihtiyaç duyulan bu istemlerin, ilk kurulum ve bakım maliyetlerinin de yüksek olması nedeniyle sadece akustik özellikleri için tercih edilmemesi önerilmiştir [66].

Bina yalıtımının artırılması için genellikle ilk başvuru seçenekleri biri de çift cam pencerelerin ses geçirgenliğini azaltmak amacıyla mühürlenmesi olur [70, 83]. Ancak bu uygulama havalandırma ihtiyacı için mekanik sistemler gerektirmesinden sürdürülebilir değildir. Özellikle son yıllarda araştırmacılar cephede gürültü kontrolünü, doğal havalandırma seçeneğini de iptal etmeden, plenum pencerelerle sağlamayı hedeflemektedir

[84]. Literatürde akustik pencere veya havalandırma penceresi olarak da geçen plenum pencereler, iki pencere camının kademeli açılarak hava geçişi sağlarken doğrudan ses aktarımını engellediği pencere sistemleridir [85, 86]. Dikey veya yatay yönde tasarlanabilen plenum pencerelerin performansları, camların üst üste gelen uzunluklarına (l), açıklık boyutlarına (w_d , w_i) aralarındaki boşluk mesafesine (d), pencere ile ses kaynağı yaptığı açıya ve sesin geliş açısına bağlıdır (Şekil 2.3) [69, 87].

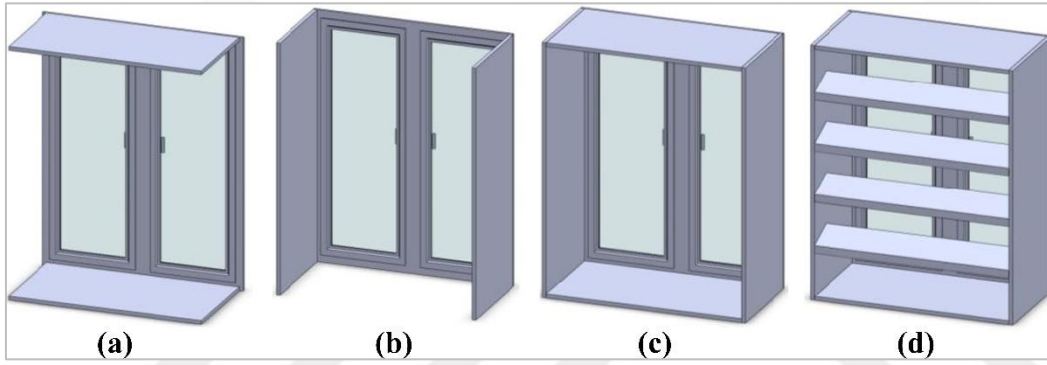


Şekil 2.3. a) Plenum penceresinin geometrik parametreleri; dış ve iç pencere açıklığı genişlikleri (w_d , w_i) pencere yüksekliği (h), boşluk mesafesi (d) ve üst üste gelen uzunluktur (l); Plenum pencerenin çalışma modları, (b) akustik mod, (c) baypas modu, (d) kapalı pencere [84] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

Sahada yapılan tam ölçek model testlerinde trafik gürültüsü varlığında plenum pencerelerin, standart pencerelerden 7-9,5 dB fazla akustik koruma sağladığı sonucuna ulaşılmıştır [88]. Plenum pencere mantığında düzenlenmiş modüler açıklıkların kombinasyonundan oluşan bir çift cidarlı giydirme cephelerinin de ağırlıklı ses azaltma indeksi ($R'w$) yutucu malzeme eklendiği durumlarda 27-47 dB'dir [89]. Plenum pencerelerin boşluk kısmına mikro delikli yutucular [90, 91] ve rijid silindir dizileri [92] gibi malzemelerin eklenmesi durumunda akustik performanslarının arttığı gözlenmiştir. Tüm bu yüksek akustik koruma sonuçlarına rağmen henüz yaygın bir kullanımı olmayan

plenum pencerelerin özellikle sokak kanyonlarındaki performansı bilinmektedir [84]. Plenum pencerelerin vadettiği doğal havalandırma performansı da yüksek oranda iklime ve rüzgâr şartlarına bağlı olduğundan ilerideki araştırmalarda kentsel alanlardaki verimliliği incelenmelidir.

Bina kabuğunun akustik performansını arttırmak amacıyla sürdürülebilir ve ekonomik bir başka alternatif olarak, dış ortam koşullarının (güneş ışığı, rüzgâr, vb.) iç mekân konforunu bozmasını önlemek için tasarlanan cephedeki lento, saçak, panjur gibi çıkıntıların akustik bariyer etkileri araştırılmıştır (Şekil 2.4) [74].



Şekil 2.4. Cephe çıkıntılarının referans diyagramları; (a) lento/yatay paneller, (b) dikey paneller, (c) saçaklar, (d) panjurlu saçaklar [70]

Cephe çıkıntıları geometrileri sayesinde aynasal yansımaları azaltarak daha dağınık (diffuse) bir akustik alan sağlayacaklardır. Yüksek katlı bir bina cephesinde katlar boyunca uzanan lento benzeri ince panellerin ses basıncı seviyesinde sağladığı azalma teorik modeller yardımıyla test edildiğinde, panellerin performansında geometrileri ve zeminden yüksekliklerinin etkili olduğu bulunmuştur [93]. Eğrisel tasarlanmış panellerin zeminden yukarıya çıkıldıkça en iyi performansı verdiği gözlenmiştir. Benzer şekilde parabolik tasarlanmış panellerin düşük katlı yapılardan oluşan bir sokak kanyonunda insan aktivitelerinden kaynaklanan gürültüye karşı performansı araştırılmıştır [94]. Şeffaf panellerin kurulumuyla sağlanan ekleme kaybı 6-10 dB'dir. Saçak ve panjurların akustik performansı teorik model ve ölçekli model yöntemleriyle test edildiğinde ses dalgalarının alıcıya yansarak gelmesinden kaynaklı özellikle alt katlarda düşük verim alınmıştır [95]. Eleman boyutlarının ve eğim açılarının performanslarına etkisi de test edilirken, 45° eğimli saçakların en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir. Panjurların boyutlarının, aralarındaki

mesafenin, eğimlerinin yutucu malzeme eklenerek test edildiği durumda ise panjurların bina cephesinde ses basınç seviyesini arttırma eğilimindeyken yutucu malzeme eklenmesiyle pozitif etki sağladığı görülmüştür [96]. Artan genişlikte ve cepheye dik panjurlar ses basınç seviyesinin azaltılmasında daha etkilidir. Ancak kentsel ölçekte panjurlara yutucu malzeme eklenmesi akustik çevreye dramatik bir katkı sağlamamıştır. Cephe çıkıntıları genel olarak değerlendirildiklerinde yüksek katlarda daha etkili olduğu gözlenirken performanslarını arttırmak ve özellikle sokak kanyonlarında oluşması muhtemel yüksek reverberasyonu önlemek için yutucu malzemelerle desteklenmeleri gerekmektedir. Çevresel gürültüye karşı sağladıkları akustik koruma düşüktür.

Balkonlar da cephe çıkıntılarındandır ancak yapılı çevre ile binaların iç mekanları arasındaki bölgede kişiye özel bir rekreasyon alanı sunmaları ile tüm diğer sistemlerden ayrılırlar [74]. Balkonlar, döşeme, tavan, parapet ve/veya korkuluk elemanlarıyla beraber bütün bir sistemdir ve bu elemanların pek çok farklı kombinasyonu ile geniş tasarım seçeneği sunar [97, 98]. Kişisel bir alan oluşturması, iklim özellikleri karşısında tampon bölge işlevi göstermesiyle beraber cephedeki kapı ve pencere gibi gürültüye toleransı düşük elemanlara kaynaktan doğrudan gelebilecek ses dalgalarını engelleyerek akustik bariyer olarak sunabilme performansı da uzun yıllardır önemli bir araştırma konusudur [99]. Özellikle konut yapılarında yaygın olarak tercih edilen balkonların, geometrileri ve ses dalgalarının bu geometriler üzerindeki davranışları, çevresel gürültüye karşı akustik performansının etkileyen önemli kriterlerdir [97, 100-102]. Gürültü kaynaklarının tipi ve kaynak ile alıcı konumlarının akustik korumaları üzerindeki etkinlikleri de önemlidir [103-105]. Balkonların belirlenen kritik yüzeylerine yutucu malzeme ve özel tasarım elemanları eklenerek akustik verimlilikleri önemli seviyede arttırılabilmektedir [106-108].

Bireylerin konut tercihlerinde balkon varlığının önemli bir etken olduğu bilinirken [109] diğer çevresel ve yapısal gerekliliklerden taviz vermeden (havalandırma, ısı ve rüzgar kontrolü) özellikle geometrilerinde yapılacak minör değişiklikler yapılı çevre, balkon alanı ve iç mekan akustik kalitesini önemli ölçüde geliştirebilir. Bulunduğu bölge koşullarının ve gürültü kaynaklarının doğru tespit edilmesi, şartlara uygun tasarım aşamasında gösterilecek hassasiyet ile ekonomik olarak zorlayabilecek büyük sistem değişiklikleri olmadan önemli seviyede gürültü koruması sağlayabilirler.

Tüm bu sebepler doğrultusunda bir sonraki bölümde, balkonlarla ilgili yukarıda bahsi geçen araştırmalar detaylıca incelenerek konut balkonlarının ses bariyeri olarak etkinliği analiz edilecek ve performanslarını arttırmak doğrultusunda önerilmiş tasarım kriterleri belirlenecektir.



3. ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ VE KONUT BALKONLARI

3.1. Çevresel Gürültü Karşısında Balkonların Akustik Performansını Etkileyen Tasarım Kriterleri

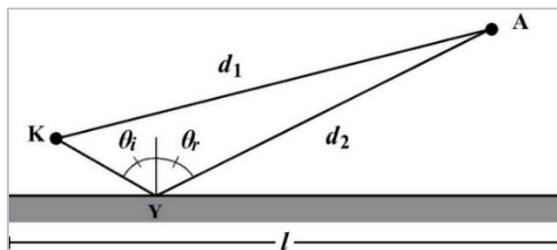
Balkonların akustik bariyer olarak etkisinin araştırıldığı çalışmalar incelenerek tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereken kriterler belirlenmiştir.

3.1.1. Ses dalgalarının davranışı

Ses dalgaları, yapılı çevrede ilerlerken ortamın fiziksel ve dinamik özelliklerinden etkilenir, dalga geometrisi ve ses basıncı değişir [110]. Kentsel alanda işitilen ses, kaynaktan alıcıya gelen doğrudan bir ses yolundan ve yüzeylerden, binaların cephelerinden yansıyan ilave ses yollarından oluşur [111,112]. Ayrıca, cephe çıkıntılarında dolayı kırılmaya uğrayan ses dalgaları, cephe bitiş malzemelerinden dolayı saçılır ve/veya yutulur. Bu nedenle bu bölümde, kentsel ortamda ve balkon yüzeylerinde gürültünün yayılmasının açıklanması için ses dalgalarının aynasal ve dağınık yansıması, kırılması ve yutulması olgularına değinilecektir.

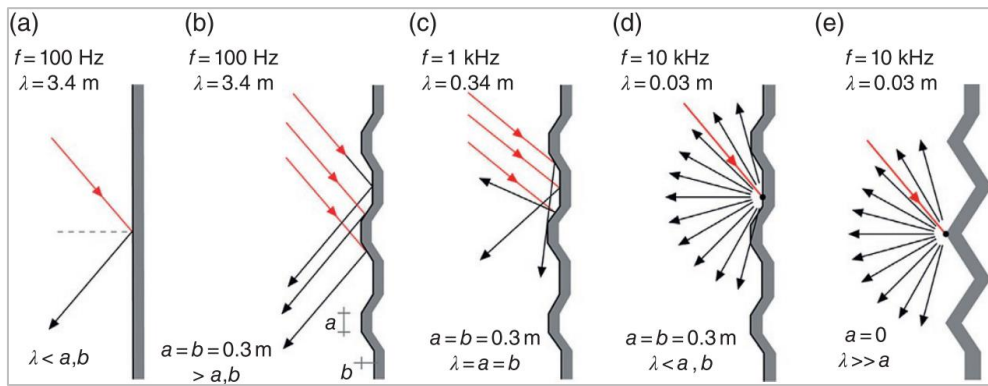
Bir yüzeyle karşılaşan ses enerjisi, yüzeyin akustik özelliklerine de bağlı olarak farklı oranlarda, iletilir, yutulur veya yansıtılır [112]. Ses yansıması aynasal veya dağınık bir şekilde meydana gelebilir.

Sesin karşılaştığı rijit yüzeyin boyutları, sesin dalga boyundan $\lambda/4$ daha büyük olduğunda ses dalgaları geometrik yansıma prensibine göre, bir ışık ışınına benzer şekilde, aynasal yansımaya uğrar (Şekil 3.1) [110].



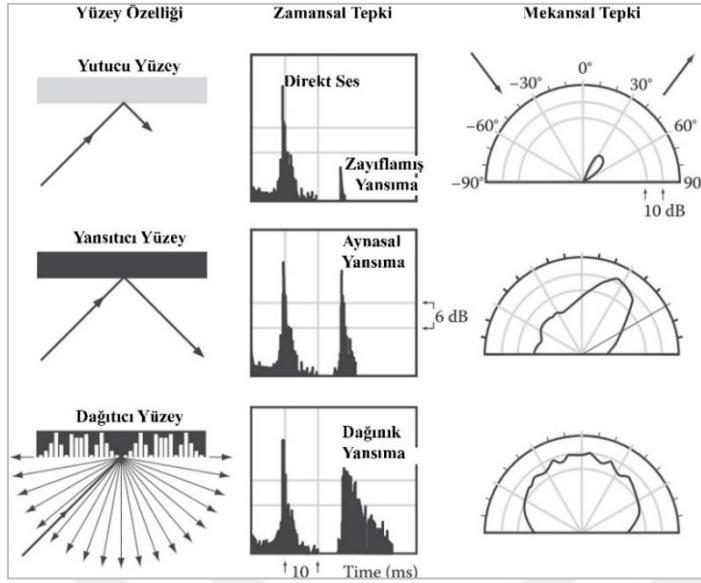
Şekil 3.1. Aynasal yansıma; K: kaynak, A: alıcı, d_1 : direkt ses, d_2 : yansıyan ses, $\theta_i = \theta_r$: sesin geliş açısı ile yansıma açısı birbirine eşittir ve yüzeyin boyu- $l > \lambda$

Ses dalgasının çarptığı rijit yüzeyin boyutu sesin dalga boyundan küçükse ve yüzey girinti, çıkıntı, malzeme geçişleri gibi düzensizlikler barındırıyorsa ses dağınık yansımaya uğrar [110, 113]. Ses dağıtıcı yüzeyin etkinliği, yüzey varyasyonlarının genişliği ve derinliği ile belirlenir (Şekil 3.2) [114]. Yüzeyin *ses dağınım katsayısı* (s) bir eksi aynasal yansımaya enerjisinin toplam yansıyan akustik enerjiye oranıyla hesaplanır [115]. Ses dağınım katsayısı yansıyan sesin yönlü dağılımını ifade eder ve frekansa bağlıdır. Enerji her yöne eşit olarak dağılmışsa değeri birdir ve tüm enerji tek bir yönde dağılmışsa değeri sıfırdır [113].



Şekil 3.2. Dalga boyu (λ) ve yüzey boyutlarına (a , b) bağlı olarak aynasal ve dağınık yansımaya koşulları [110]

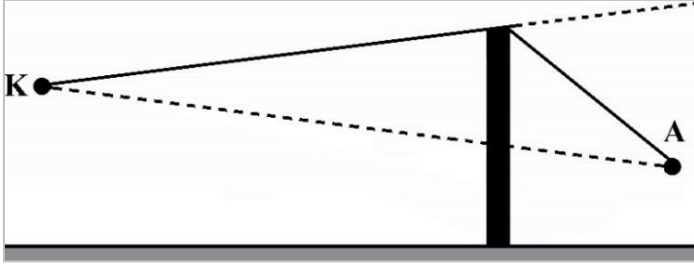
Ses dalgalarının bir yüzeye karşılaştıklarında enerjilerinin bir kısmının başka enerjiye dönüşmesi sesin yutulmasıdır [116]. Yüzeyde yutulan ses enerjisinin yüzeye gelen toplam enerjiye oranı *ses yutma katsayısı* (α) ile ifade edilir ve frekansa, yüzeyin gözenek yapısına, ses dalgalarının geliş açısına ve kalınlığına bağlıdır. $\alpha=0$ olduğunda yüzey tamamen yansıtıcı, $\alpha=1$ olduğunda ise yüzey tamamen yutucu özelliktedir.



Şekil 3.3. Ses dalgalarının yutucu, yansıtıcı ve dağıtıcı yüzeylerdeki zamansal ve mekânsal özellikleri [112] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

Konut yapılarında, cephedeki balkon sıralarının ve karşı cephenin varlığında ses dalgaları diğer balkon yüzeylerinden, tavanlarından ve karşı cepheden yansıyarak alıcıya ulaşır. Balkon geometrisi ve uygulanacak malzemelerin özellikleri sayesinde ses basınç seviyesini etkileyebilecek istenmeyen yansımalar azaltabilir. Daha iyi bir kent akustiği için ses dalgalarının bina kabuğunda aynasal yansıma uğramasından dağınık yansıma uğraması tercih edilmektedir [74]. Dış mekân gürültü seviyelerini artıran aynasal yansımaları en aza indirmek için bina kabuğu tek bir düz yüzeyden oluşmamalıdır. Dağınık yansıma, kademeli yerleştirilmiş veya dokulu tuğlalar veya açılı ahşap/metal kaplanmış dış elemanlarla sağlanabilir [114].

Ses dalgası ayrıca kırınım yoluyla yayılır. Sesin kırılması, ses dalgalarının bariyer, balkon parapetleri gibi nesnelerin köşelerinden, kenarlarından veya iki farklı empedansa sahip malzemelerin arasındaki sınırlardan eğilmesi veya akmasıdır (Şekil 3.4) [113, 117]. Sesin kırılmaya uğraması için karşılaştığı bariyerin boyunun sesin dalga boyuyla aynı boyutta veya daha küçük olmalıdır. Sesin kırılması durumunda ortam özelliklerinde hiçbir değişiklik yoktur. Bariyerlerin arkasındaki kırılan dalgaların ses basıncını belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri Fresnel kırınım yaklaşımıdır. Sonlu bir bariyerin yalnızca üst kenarına yakın noktalarının bariyerin arkasındaki akustik alana katkıda bulunduğunu öne süren bu yaklaşımdan balkonların bariyer etkisinin araştırıldığı ilk çalışmalarda yararlanılmıştır [83, 99, 118].



Şekil 3.4. Bariyer varlığında sesin kırılması; K: kaynak, A: alıcı

3.1.2. Çevresel gürültü kaynağının tipi

Balkonların akustik bariyer etkisi, genellikle kent içinde en yaygın gürültü kaynağı olan kara yolu trafik gürültüsünün olduğu alanlarda ve ayrıca demiryolu gürültüsü ile insan aktiviteleri/eğlence mekanları kaynaklı gürültülerin ana kaynak olduğu durumlarda analiz edilmiştir (Çizelge 3.16).

Çevresel gürültüyü azaltmak için önlemler geliştirilmeden önce gürültü sorununun doğru tanımlanması gereklidir. Sistemlerindeki pek çok gürültü bileşenlerinden kaynaklı olarak farklı gürültü kaynakları farklı akustik özelliklere sahiptir [110]. Ses basınç seviyeleri, frekans spektrumları, zaman ve ses dalgalarının yayılma şekilleri gibi faktörlere bağlı olarak hedeflenen akustik konfora ulaşmak için farklı yaklaşımlara ihtiyaç duyulur [117, 119-121].

3.1.3. Ölçüm yöntemleri

Çevre gürültüsüne karşı balkonların sağlayabileceği akustik korumayı tespit etmek için mevcut literatürde kullanılan yöntemlerin genel başlıklar şu şekilde sıralanabilir:

- Teorik tahmin modelleri,
- Ölçekli modellerle ölçüm,
- Yerde ölçüm veya tam boy modellerle ölçüm (mock-up).

Tasarım, geliştirme aşamalarında teorik ve ölçekli modellerin kullanılması akustik ihtiyaçlar doğrultusunda hızlı yüzey modifikasyonu sağlar [73]. Akustik konforun sürdürülebilir olması tasarımın ilk evrelerinde uygun geometriler oluşturulmasıyla

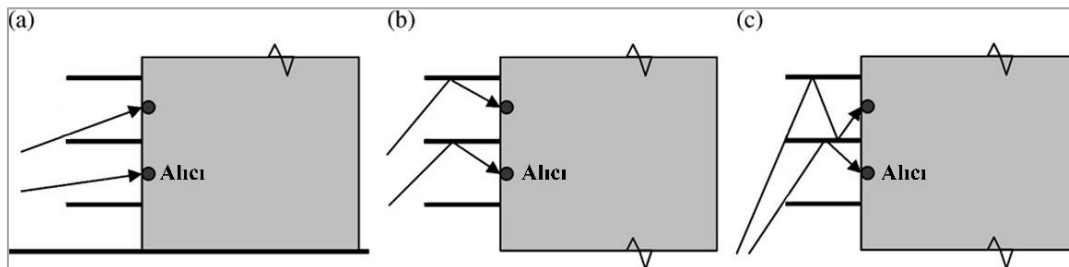
mümkündür. Mevcut cephelerin akustik performansına dair en doğru sonuçlar yerinde yapılacak ölçümlerle elde edilebilir. Bu sonuçlar doğrultusunda akustik ortamın iyileştirilmesi sürecinde tüm bu yöntemler beraber kullanılarak etkili bir çözüm geliştirilebilir.

3.1.4. Gürültü kaynağının ve alıcının birbirlerine göre konumları

Alıcıdaki gürültü seviyesini belirleyen etkenlerden kaynak ile alıcının birbirlerine göre konumlarıyla ilişkili olanlar şu şekilde sıralanabilir:

- Gürültü kaynağının alıcıya göre açısı,
- Kaynak ve alıcının yatay ve düşey düzlemde birbirlerine olan mesafeleri,
- Doğrudan ses dalgasının alıcıya geliş açısı,

Kaynak ile alıcı arasındaki mesafe yatayda ve düşeyde arttıkça alıcıda ölçülen gürültü seviyesi azalmaktadır [100,103]. Zemin seviyesinden yukarılara çıkıldıkça ses dalgalarının alıcıya geliş açısı artacağı için üst katlardaki alıcılarda tespit edilen ses basıncı seviyeleri daha azdır (Şekil 3.5). Alıcının balkon alanındayken parapetin gölge bölgesinde ve tavandan gelen yansımalarla korunmak için parapetle aynı hizada veya balkon döşemesine daha yakın olması da maruz kalınan gürültü seviyesini azaltır. Tasarlanacak balkon tipine baskın gürültü kaynağının alıcıya göre açısı belirlendikten sonra karar verilmelidir, araştırmalara göre belirli balkon tipleri için kritik kaynak açıları bulunmuştur [103,104].



Şekil 3.5. Ses dalgalarının katlarda yukarılara çıkıldıkça alıcıya geliş açıları; (a) alt katlar, (b) orta katlar, (c) üst katlar [107]

3.1.5. Balkon geometrisi

Balkonlar hedeflenen mimari tasarım doğrultusunda elemanlarının farklı varyasyonlarla bir araya getirilmesiyle cephede bulunabilir [114]. Balkon elemanları dönüştürülerek ve boyutlarında ayarlamalar yapılarak çevresel gürültünün etkisi azaltılmaya çalışılmıştır.

Balkon derinliği

Balkon derinliği kamuya açık alanlarda 1,5 m çapında dönme dairesine sahip bir tekerlekli sandalyeyi barındıracak kadar derin olmalıdırlar [114]. ^[114]. Literatürde incelenen konut balkonlarında ise genelde 1-3 m arasında değişen derinliklerin sağladığı gölgeleme etkisi araştırılmıştır. Balkon derinliği arttıkça balkon alanı içerisindeki veya cephedeki alıcı akustik gölge bölgede daha fazla kalacağından sağlanan akustik koruma artar [100, 101, 105, 122, 123]. Ancak derinlik arttıkça ses dalgalarının yansıyacağı yüzey alanı da artacağı için sağlanan akustik iyileşme etkisi de azalır [101]. Balkon derinliğinin etkisi, kaynağa olan mesafeye, zeminden yüksekliğe, balkon yüzey özelliklerine de bağlıdır.

Balkon tavanı

Balkon tavanının gürültü kaynağından, yapılı çevreden ve bulunduğu cephedeki diğer balkon çıkıntılarında gelen ses birleşenleriyle girdiği ilişki ses basıncı seviyesinde genellikle artışa sebep olur [97,98,100,103,104,124]. Tavan yansımalarından kaynaklı gürültü artışını azaltmak ve balkon arka duvarındaki açıklıkların akustik gölgede kaldığı yüzeyi arttırmak amacıyla eğimli tavanlar tasarlanmış, doğrudan ve yüzeylerden kırılarak gelen ses birleşenlerini balkon alanından uzaklaştırmak için ilave elemanlar denenmiştir [100,105,107,108,122,125–127]. Bu alternatiflerin olumlu etkilerinin yanında maliyetleri, uygulanabilirlikleri ve sürdürülebilirlikleri de değerlendirilmelidir.

Balkon bariyeri

Balkon bariyerleri güvenlik standartlarına uyması açısından konut yapılarında minimum 1,10 m olmalıdır [128]. Balkonlarda parapet, korkuluk, tavana kadar duvar, cam veya hepsinin bir arada kullanılması, gürültü kaynağının konumu, bariyerin en yüksek verimi

veren eğimi ve yüksekliği gibi değişkenler araştırılarak akustik koruma etkisi değerlendirilmiştir [98, 100, 101].

3.1.6. Akustik malzeme kullanımı

İşitilen sesin alıcıya doğrudan gelen ses yoluyla beraber rijit yüzeylerle karşılaştıklarında balkon tavanları gibi yüzeylerden yansımaya, parapet ve pencere denizliklerinde kırılmaya, girinti çıkıntılı cephe kaplamalarında saçılmaya uğrayan ses yollarının bütününden oluştuğundan yukarıda bahsedilmiştir. Yapılı çevre ve bina kabuğunda, bu yayılma yollarındaki ses enerjisini dağıtmak, gürültünün olumsuz etkilerini kontrol ederek iyi bir akustik ortam yaratmak amacıyla belirlenen kritik yüzeylere genellikle ses yutucu malzemeler uygulanmıştır [106, 107]. Bununla birlikte, gürültü kontrolü için ses yutucu malzemeler ile beraber ses dağıtıcı malzemeler de iyi bir akustik ortam yaratmak için kullanılır [112].

Ses yutucu malzemeler, genel olarak, gözenekli yutucular ve rezonant yutucular olarak iki sınıfa ayrılır [112]. Performansları yutuculuk katsayısı ile ifade edilen bu malzemeler seçilirken mekanların işlevine ve frekansa bağlı olarak mekanlarda ihtiyaç duyulan koruma seviyelerine dikkat edilmelidir.

Gözenekli yutucu malzemelerin içindeki eşit olarak dağılmış olan, küçük çaplı çok sayıda birbirine bağlı gözenek arasında yayılan ses enerjisini kaybeder. Köpükler, lifli malzemeler ve iç gözenekli kompozitler, gözenekli ses yutucu malzemeler olarak sınıflandırılır. Yüksek frekans aralığında iyi performans gösteren bu malzemeler ve üretim maliyeti ucuz oluşu, kolay erişilebilirlikleri ve uygulama aralığı giderek artmasıyla yaygın bir kullanıma sahiptir [129,130]. Ancak bu malzemeler, dış ortam uygulamalarında çevresel faktörler karşısındaki dayanıklılığının ve akustik etkinliğinin azalmaması için ayrıca hijyen ve sağlık sebeplerinden dolayı uygun şekilde kapatılmalıdır [131]. Mekân kullanımı için akılcı olmasa da kalınlıkları arttırılarak alçak frekanslarda da iyi performans göstermeleri sağlanabilir.

Rezonant yutucular, sistemin rezonans frekansında yutuculuk sağlamak için sönümlü kütle-yay sistemleridir [112]. Rezonans yutucu sistem olarak genellikle tek rezonatör ve kütle kısmında da delikli ve mikro perfore panel veya membran yutucu olarak ikiye

ayrılabilir [132]. Alternatif olarak, bir Helmholtz rezonatörde olduğu gibi, bir boşluğun boğaz kısmında titreşen hava da kütleyi oluşturabilir ve yay da bu durumda boşluktur. Rezonant yutucular, alçak frekanslarda çok iyi performans gösterse de bant aralığı dardır. Dış mekân kullanımına uygun yutucu malzemelere örnek olarak; perfore kaplamalı mineral yün, 200 mm boşluklu perfore levha, sıvasız akustik tuğla verilebilir [114]. Bunlarla beraber geniş bant aralığında gürültü kontrolü sağlanmak için son dönemde gözenekli ve rezonatör yutucuların beraber kullanıldığı sistem araştırmaları hız kazanmıştır [133-135].

Ortamdaki ses enerjisinin, kaldırılması için bir tedavi olarak ses yutucu malzemeler önerilirken, korunması gerektiğinde ses dağıtıcı malzemeler kullanılmalıdır [112]. Dağıtıcılar, gelen ses dalgalarını dağıtarak, belirli bir konumda yansıyan ses miktarını azaltabilir, böylece yansıyan ses dalgaları tarafından üretilen yankıları veya diğer istenmeyen etkileri ortadan kaldırabilir. Ses dağıtıcılar ve ses yutucular arasındaki seçim reverberasyon, kuşatılma veya anlaşılabilirlik gibi akustik parametrelerin tercih edilme durumlarına ve miktarlarına bağlı olacaktır. Bir ses dağıtıcının (veya bu konuda bir soğurucu) yerleştirileceği en uygun konum aynasal yansımaların oluştuğu yüzeylerdir. Ayrıca ses dağıtıcılar, genel olarak ses yutuculara göre mekanik olarak daha sağlamdırlar ve sert çevresel koşullar karşısında uygun bir çözüm sunabilirler.

3.2. Konut Balkonlarının Ses Bariyeri Olarak Etkisi

Balkonun yapılı çevre ile bina cephesi arasında tampon bölge oluşturarak cephenin akustik özelliklerini iyileştirebileceği on yıllardır araştırılmıştır [99]. Standart bir balkonun elemanlarının geometrisinde yapılacak değişikliklerin, yüzeylerine eklenecek yutucu özellikteki malzemeler ve alternatif tasarım elemanlarının gürültüye karşı sağlayabileceği koruma seviyesi pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu bölüm, çevresel gürültü kaynakları varlığında konut balkonlarının akustik özelliklerine ilişkin literatürde kullanılan yöntemleri ve elde edilen sonuçları gözden geçirmektedir.

Çizelge 3.1. Literatür özeti (gürültü kaynağı; trafik-T, insan- İ, demir yolu-D, bina yüksekliği; belirtilmemiş-B, alçak (1-5 kat)-A, orta (6-9 kat)-O, yüksek (10 ve üstü)-Y)

Kaynak	Araştırmaların Odaklandığı Bölge		Araştırma Yöntemleri			Gürültü Kaynağı	Bina Yüksekliği	Ortalama Gürültü Azaltma (dB(A))
	Dış Mekân ve Balkon Alanı	Bina Cephesi ve Bitişik Oda	Teorik Model	Ölçek Model	Yerinde Ölçüm			
(Mohsen & Oldham, 1977)		•	•	•		T	B	5
(Oldham & Mohsen, 1979)		•	•	•		T	B	8
(Oldham & Mohsen, 1980)		•	•	•		T	B	TR
(Li, Lui, Lau, & Chan, 2003)	•	•	•		•	T	Y	2-8
(Tang, 2005)		•		•		T	A	-2-8
(Tang, 2010)		•		•		T	A	-2-8
(El Dien, 2012)		•	•	•		T	O	0-4
(Tang, Ho, & Chan, 2019)		•		•		T	A	-6-6
(Kim & Kim, 2007)		•			•			27-36
(El Dien & Woloszyn, 2004)		•	•			T	O	-1-6
(El Dien & Woloszyn, 2005)		•	•	•		T	Y	6-12
(May, 1979)	•				•	T	Y	10
(Hothersall, Horoshenkov, & Mercy, 1996)	•		•					5-10
(Lee, Kim, Jeon, & Song, 2007)		•	•	•		T, İ	Y	5-15
(Cheng, Ng, & Fung, 2000)		•	•	•			Y	5
(Ishizuka & Fujiwara, 2012)	•		•	•		T	Y	7-10
(Ishizuka & Fujiwara, 2013)	•		•	•		D	Y	4-5
(Wang, Mao, Yu, & Jiang, 2015)	•	•	•			T	Y	10
(Naish, Tan, & Demirbilek, 2013)	•		•			T	Y	46-74
(Naish, Tan, & Demirbilek, 2014)	•	•	•			T	Y	TR, 2-15
(Magrini & Lisot, 2016)	•		•			T	A, O, Y	3-10
(Echevarria Sanchez, Van Renterghem, Thomas, & Botteldooren, 2016)	•	•	•			T	O	5-8
(Badino, Manca, Shtrepi, Calleri, & Astolfi, 2019)	•	•	•		•	İ	A	4-10

Bu alandaki ilk çalışmalardan biri Mohsen ve Oldham tarafından yapılmış; cephedeki akustik açıdan zayıf noktalar doğrudan dış gürültüye maruz kalmıyorsa bunlara 'kendini koruyan bina' denilmiştir [99]. Balkonların, pencere-kapı boşluklarını doğrudan gelen ses bileşenlerine karşı koruduğu durumda pencere düzlemindeki gürültü yoğunluğunu hesaplamak üzere bilgisayar programı geliştirilmiş ve sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla 1:10 ölçekli modelle de balkona bitişik odadaki ses seviyesi ölçülmüştür. Balkon yokken ve eklendikten sonraki farka bakılarak balkonun etkinliği hesaplanmıştır. Farklı balkon ve pencere tipleri, farklı kaynak mesafeleri ve açıları, bitişik odadaki 5 ayrı ölçüm noktasıyla 270 ayrı senaryonun gürültü seviyeleri tespit edilmiştir. Balkonların doğrudan gelen sese karşı üst katlara doğru artacak şekilde koruma sağladığı ve iyileştirme değerinin L_{10} için yaklaşık 5,5 dB(A) olduğu bulunmuş ayrıca seçilen tiplerdeki balkonların performansını tahmin etmek amacıyla da ampirik denklemler geliştirilmiştir. Çalışmada sabit nokta kaynağın tavanlı tek bir balkondaki etkisi incelendiğinden sonuçların diğer araştırmalarla karşılaştırılması limitlidir [99].

Araştırmacılar aynı deney düzeneği ve yöntemlerle yaptıkları ikinci çalışmalarında en fazla korumayı 2 m derinliğinde parapeti olan, en az korumayı da 1 m derinliğinde korkuluğu olan balkon tipinin sağladığını tespit etmiştir [83]. Balkon derinliğinin aksine balkonun cephedeki genişliği herhangi bir koruma sağlamazken balkon korumasının, kaynak cepheye paralel olduğunda açılı olduğundan daha fazla olduğu ve kaynakla alıcı arasındaki mesafe arttıkça koruma etkisinin azaldığı gözlenmiştir. Dördüncü kat seviyesinin üzerindeki parapetli bir balkonun sağladığı koruma L_{10} için yaklaşık 8 dB(A)'dır.

Balkon cephesindeki azalmanın pencere tipiyle yüksek ilişkili olduğu ve en fazla dikey pencere en az da yatay pencereyle korunma sağlanacağı bulunan araştırmacıların son çalışmasında grafiksel bir tasarım şeması geliştirilmiştir [118]. Bu şema kullanılarak doğrudan ve kırılan ses yolları arasındaki yol farkının, pencere merkezinin zeminle yaptığı açının (yükseklik açısı), pencerenin merkezinden parapetin köşesine olan açının ve pencerenin şeklinin bilindiği durumlarda, mimarın binaların akustik performansını değerlendirebilmesi ve istenen bir zayıflama değerini elde etmek için etkili bir tasarımın bulunması hedeflenmiştir.

Li ve diğerleri, trafik gürültüsüne maruz kalan konut balkonlarının gürültü azaltma etkisini araştırmak ve balkon içindeki ses alanını tahmin etmek amacıyla CRTN ve geometrik ışı

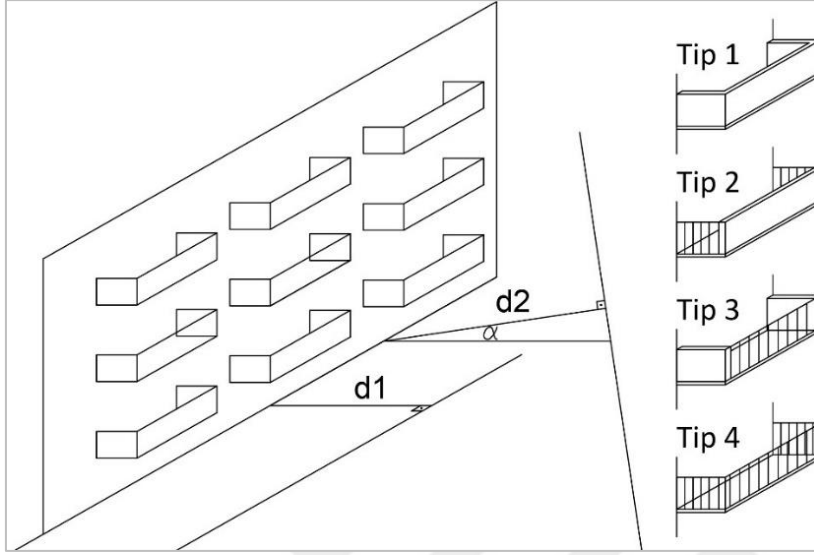
modellerini kullanarak bir yöntem geliştirmeyi hedeflemiştir [124]. Geliştirilen yöntem sonuçları, iki farklı sahada ve dört farklı balkon tipinde yerinde yapılan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Teorik modelde konsol balkonun bir yanı korkuluk, diğer yanı tavana kadar duvar ve önü parapettir. Ölçümlerin yapıldığı ilk sahada teorik modelle aynı olan balkonlara paralel ve dik iki gürültü kaynağı vardır ve ikinci sahada balkonların iki yanı korkuluk ve önü parapetle tasarlanmıştır, tek kaynak cepheye paraleldir ayrıca 11. kat balkonunun tavanı yoktur. İkinci sahadaki balkonlarda parapetin kara yolu gürültüsünü engellemekteki etkisini belirlemek için balkonların iki yanı parapet ve tavana kadar duvar olduğu durumlarda kontrol ölçümler yapılmıştır. Teorik model ile yerinde ölçümler arasındaki fark 0,5-6 dB(A) aralığındadır. Sonuçta, yüksek katlardaki balkonların tiplerinden bağımsız olarak daha fazla ekleme kaybı sağladığı ve tahmin edilenle ölçülen değerler arasında da balkon tavanından döşemesine doğru inildikçe farkın arttığı görülmüştür. Tavandan kaynaklı yansımalar olmadığında en yüksek koruma sağlanmış ve balkon döşemesinden tavana doğru gidildikçe ekleme kaybı azalmıştır. Bunun temel sebebi yukarılara doğru parapetin gölge alanından çıkılmasıdır. Kontrol tipolojilerinde, yolun balkona paralel ve gürültünün önden balkon alanına giriyor olmasından dolayı parapetin varlığı önemli bir fark yaratmamış, hatta yan duvarlardan kaynaklı ilave yansımaların balkonun koruma etkisini azaltabileceği gözlenmiştir. Bir korkuluk veya parapetin kara yolu trafik gürültüsüne karşı etkinliği kaynağın alıcıyla arasındaki açığa yani birbirlerine göre konumlarına bağlıdır [124].

Çizelge 3.2. Ölçülen ortalama ekleme kaybı (IL) (dB(A)) değerleri (figür 8 ve 9'dan alınmıştır [124])

Kat	Saha 1			Saha 2		
	3.	4.	5.	5.	9.	11.
Balkon Merkezindeki IL	1,8	2,4	2,9	0,4	1,3	3,5
Balkon Arka Duvarındaki IL	4,3	5,9	6,0	2,4	5,3	7,4

Kaynaktan alıcıya gelen ses sadece içinde bulunduğu balkonun elemanlarından yansıyan ve kırılan seslerle artmaz cephedeki balkon dizilerinin yüzeylerinden gelen ses bileşenleri de ilave gürültüye sebep olur [97]. Bu doğrultuda 3x3 matris düzeninde eşit aralıklarla tasarlanmış bir balkon dizisinin cephede sunduğu akustik koruma 1:10 ölçek modeli yöntemiyle incelenmiştir. 4 farklı konsol balkon tipinin, gürültü kaynağı balkona paralel ve 5, 10, 15 ve 20 m mesafedeyken (Şekil 3.6'da d1) sağladığı ekleme kaybı belirlenmiştir.

Ekleme kaybı (IL), deney düzeneğine balkonların montajından sonra ses basınç seviyesindeki (SPL) düşüş olarak tanımlanmış ve orta sütunun balkonlarının 25 noktasından spektral ölçümler yapılmıştır [97].



Şekil 3.6. Cephe balkon dizilimi; d1 ve d2: kaynak mesafeleri, α : kaynak ile cephe arasındaki açı, balkon tipleri [97, 103]

Genel gürültü azaltma etkilerine bakıldığında ‘kapalı (1. tip)’ tipinin en fazla ve ‘açık (4. tip)’ tipinin ise en az IL sağladığı görülmüştür [97]. Alıcı ile kaynak arasında mesafe arttıkça ‘açık’ ve ‘önü açık (3. tip)’ tipler tüm frekans aralığında herhangi bir akustik koruma sunmazken, ‘önü kapalı (2. tip)’ ve ‘kapalı’ tiplerin yüksek frekanslarda kısmen perdeleme sağlamıştır. Tüm balkon tipleri için balkon içindeki seviyelerde IL -2 ile 8 dB(A) arasında ölçülmüştür. Kaynak 5 m uzaklıktayken orta ve alt katlarda önü açık tip daha etkilidir. Kaynak uzaklaştıkça IL azalmış ancak önü kapalı olan balkonlar kısmi koruma sağlamıştır. Ayrıca ekleme kaybını tahmin edebilmek için balkon ve kaynak arasındaki önemli açıları belirleyerek ampirik formüller geliştirilmiştir.

Çizelge 3.3. Ortalama ekleme kaybı (IL) (dB(A)) değerleri (figür 6’dan alınmıştır [97])

Yola mesafesi	1.Tip			2.Tip			3.Tip			4.Tip		
Kat	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst
5 m	-1,9	-1,9	7,5	-2,0	-1,9	6,4	-0,4	-0,7	6,0	-1,9	-1,0	5,0
10 m	-0,5	0,0	5,2	-0,7	-0,5	4,4	-1,0	0,0	3,3	-0,6	0,0	3,3
15 m	0,5	1,7	4,7	0,0	1,4	4,2	-0,3	-0,3	1,6	-0,6	-0,3	1,2
20 m	0,7	0,7	3,7	0,5	0,0	0,0	-0,5	-0,3	1,1	-0,5	-0,3	1,1

Cepheyle kaynak arasındaki açının balkon IL'ye etkisini tespit etmek için aynı deney düzeneğini kullanılarak kaynak 10m'deyken ve cepheyle yaptığı açılar 30°, 60°, 90° iken (Şekil 3.6'da d_2 ve α) ölçümler yapmıştır [103]. Ses dalgaları açılı geldiğinde orta ile alt katlarda tavandan yansıyan sesin bir kısmı doğrudan balkondan çıkacağı için reverbere ses alanı azalmış ve daha az gürültü artışı görülmüştür. Orta ve alt katta gürültü seviyesi yükselme eğiliminde olsa da önü kapalı tiplerde artış daha azdır. Kaynakla alıcı arasında artan açı belli bir dereceye kadar IL'de artışa sebep olsa da açı 90° olduğunda 30°'dekine göre daha düşük IL görülmüştür. Açı dikken balkon içinde tutulan akustik enerji miktarı paralel kaynak konumuna göre daha azdır, bu da balkonun arka duvarında daha zayıf reverberasyona ve dolayısıyla daha az gürültü artışı sebep olmuştur. Sonuçta, her balkon tipi için maksimum IL sağlayan kritik bir gürültü geliş açısı olabileceği ve en yüksek IL'nin 1. Tip için $\alpha=45^\circ$, 2. ile 4. Tip için $\alpha<45^\circ$ ve 3. Tip için $\alpha=90^\circ$ 'deyken sağlandığı gözlenmiştir [103].

Çizelge 3.4. Balkon cephesinin merkezindeki ortalama ekleme kaybı (IL) (dB(A)) değerleri (figür 5 ve 6'dan alınmıştır [103])

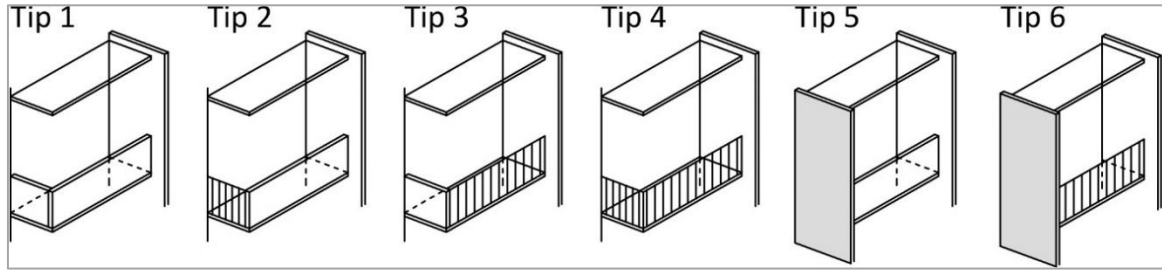
Eğim	1.Tip			2.Tip			3.Tip			4.Tip		
	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst
0°	-0,5	0,0	5,2	-0,7	-0,5	4,4	-1,0	0,0	3,3	-0,6	0,0	3,3
30°	3,0	4,0	8,0	0,5	1,0	4,0	1,5	2,0	4,0	-0,5	0,5	3,0
90°	1,0	4,5	8,0	-0,5	1,5	3,5	-1,5	2,5	3,0	-2,0	0,5	1,5

Kaynak açısının cephedeki etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada, 1 m derinliğindeki kapalı balkonlarda ölçekli model ve piramit ışın izleme yöntemleri ile 15°, 30° ve 45° kaynak açılarında deneyler yapılmıştır [104]. Balkon alanı içindeki reverberasyon etkisinin ihmal edildiği çalışmada sağlanan korunma hem zeminden yükseklikle hem de yol açıları ile orantılıdır ve Tang [103]'in sonucuna benzer şekilde gürültünün açılı geldiği durumda, paralel olduğu duruma göre gürültü seviyesinde daha az artış görülmüştür. Maksimum koruma 3.5 dB(A) ile 5. ve 6. katlarda olurken en verimli kaynak açısı 45° olarak bulunmuştur. Türetilen ampirik denklemlerle denenen koşullar için bina cephesi üzerindeki seviyelerde basit bir azalma öngörüsü sağlamak amaçlanmıştır.

Çizelge 3.5. Kaynak açılarının sunduğu ortalama gürültü azaltma (figür 9'dan alınmıştır [104])

Eğim		Katlarda Sağlanan Koruma (dB(A))							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Teorik	15°	0,2	0,5	1,5	1,5	2,0	1,5	2,3	2,0
	30°	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	2,2	2,5	2,1
	45°	1,0	1,5	1,5	2,0	2,7	3,0	2,5	2,5
Ölçekli Model	15°	0,3	0,6	1,3	2,0	2,2	2,0	2,5	2,3
	30°	1,0	1,3	1,3	1,8	2,5	2,5	3,0	2,5
	45°	1,0	1,4	1,4	2,5	3,5	3,5	3,1	3,0

Asimetrik tasarlanmış balkonların da kaynak açısına ve kat yüksekliğine göre sağladığı ekleme kaybı 1:3 ölçekli model yöntemiyle üç katlı bir balkon dizisinde ölçülmüştür [98]. Tavana kadar uzanan bir yan duvarın olduğu dört asimetrik balkon formu -90° ile 90° arasında ve yan duvarlarının ikisi de tavana kadar olan iki simetrik balkon formu 0° ile 90° arasındaki kaynak açılarıyla test edilmiş, yan duvarın ses kaynağına göre konumunun balkon IL'si üzerinde önemli etkisi olduğu, incelenen balkonlarda gürültü seviyesindeki artış ve azalış ± 6 dB(A) civarında gözlenmiştir.



Şekil 3.7. Test edilen balkon formları [98]

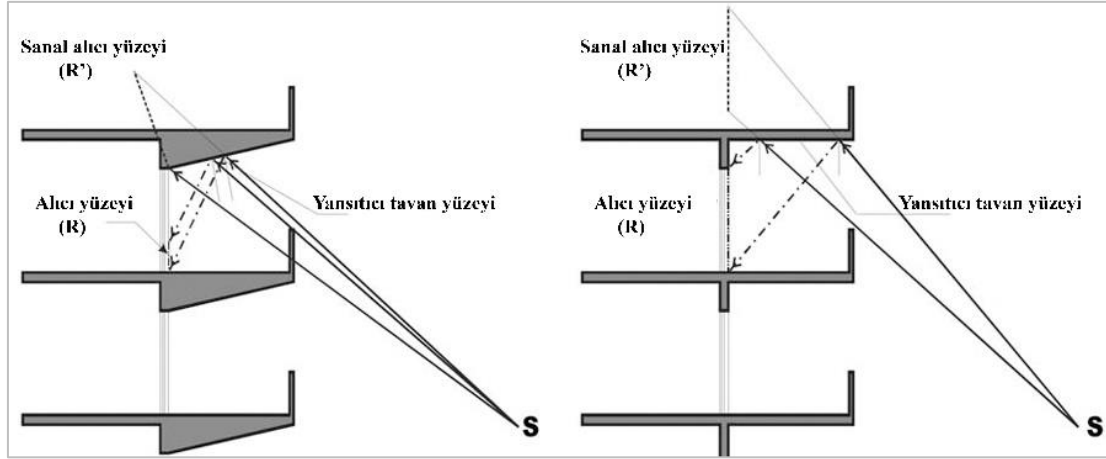
Balkonların önü kapalı olduğunda (Tip 1, 2) en yüksek koruma sağlanırken, yanı kapalı olan Tip 3, iki tarafı da açık olan Tip 4'e göre daha az koruma sağlamıştır [98]. Bu ses dalgalarının iki rijit yüzey arasında daha fazla yansımaya uğramasından kaynaklanmıştır. Asimetrik balkonlarda genel olarak alt katlara inildikçe IL artma eğiliminde olmuştur. Simetrik iki duvarı olan Tip 5 ve 6 ise üst ve orta katlarda tüm kaynak açıları için gürültü artışına sebep olmuştur. Kaynağa daha uzak konumdaki duvarın büyük ölçüde ses kaynağına maruz kaldığı 60°-75° kaynak açısında, daha fazla gürültü artışı görülmüştür. Sadece Tip 5 alt katta ve küçük kaynak açısında sınırlı bir akustik koruma sağlamıştır.

Çizelge 3.6. Asimetrik balkonlardaki ortalama ekleme kaybı (IL) (dB(A)) değerleri (figür 3'ten alınmıştır [98])

Eğim	1.Tip			2.Tip			3.Tip			4.Tip		
	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst	Alt	Orta	Üst
-90°	-2,0	-5,0	-4,5	-4,0	-4,0	-5,0	-4,0	-6,0	-4,7	-4,0	-4,5	-5,3
-60°	-1,5	-4,5	-4,0	-3,0	-4,0	-4,0	-3,5	-6,0	-3,7	-4,5	-5,0	-4,7
-30°	0,0	-2,0	-1,5	-1,0	-2,5	-2,2	-1,0	-2,5	-2,0	-1,5	-3,0	-2,2
0°	1,5	0,0	0,0	0,5	-1,0	-1,0	-0,5	-1,0	-0,5	-0,5	-2,0	-1,0
30°	3,7	2,0	1,8	3,5	2,5	2,2	0,5	0,5	1,0	1,5	1,0	1,8
60°	4,0	3,0	3,0	5,0	4,0	3,5	0,5	1,0	1,0	1,5	3,0	2,5
90°	5,7	5,5	4,0	5,5	6,0	4,2	2,0	2,5	2,0	4,5	5,0	3,7

Kim ve diğerleri, Tang'ın [98] çalışmasındaki Tip 6'ya benzeyen yanları duvar önü açık ve camla kapatılmış balkonların cephede sağladığı akustik korumayı tespit etmek için dokuz farklı apartman kompleksin 15 konut biriminde, ISO 140-5'e göre saha ölçümler yaparak camlı balkonların ağırlıklı ses azaltma indeksleri (R'_w) ile ağırlıklı standardize edilmiş cephe düzeyi farkı ($D_{2m,nT,w}$) tek sayılı yalıtım değerlerini araştırmışlardır [136]. Ölçüm sonuçları ölçüm yöntemlerine, gürültü kaynağı ve mesafesine, balkon ve pencerelerinin boyutlarına, kat yüksekliğine ve uygulamalardaki hatalara göre değişmekle beraber R'_w 24-29 dB ve $D_{2m,nT,w}$ 21-28 dB aralıklarında elde edilmiştir. Sonuçlar, serbest alan ve iç mekân ölçümlerinde 27,7 ile 36,2 dB(A) arasında değişen ses basınç seviyesi farklarıyla da uyumlu bulunmuştur. Derinliği 1-1,5 m olan ve iç mekanların hepsinden kayar kapı ve/veya pencerelerle erişim sağlanan balkonların, cephede de pencerelerle kapatılmasıyla cam- hava boşluğu- cam prensibiyle oluşturulan çift camlı ve plenum pencere sistemlerindeki gibi yüksek koruma sağlayabileceği gözlenmiştir [136].

El Dien ve Woloszyn balkon boyutlarıyla beraber geometrilerinin de dönüştürülerek trafik kaynaklı gürültüye karşı sağlanacak akustik korumayı araştırmak üzere kara yoluna 8 m mesafedeki 17 katlı bir yapının 1, 2, 3m derinliklerde ve 5°,10° ve 15° tavan eğimleriyle tasarlanan balkonlarında piramit ışın izleme ve 1:10 ölçekli modelleriyle deneyler yürütmüşlerdir [100]. Balkon tavanını eğmekteki temel prensip, yansıyan ışınların yönünü değiştirerek balkon arka duvarında bulunan açıklıkların gürültüden korunduğu yüzeyi arttırıp yansımaların ve dağınık enerji bileşenlerinin gücünü azaltmaktır.

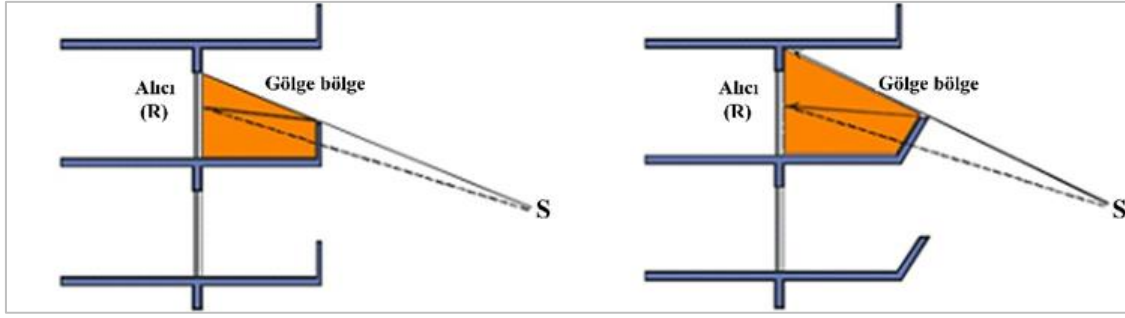


Şekil 3.8. Ses dalgalarının boşluklara etki ettiği alanların şematik gösterimi [100] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

Çizelge 3.7. Eğimli tavanların farklı balkon derinliklerinde sağladığı ortalama akustik gölgeleme değerleri (figür 4,7 ve 10'dan alınmıştır [100])

Derinlik	Eğim	Katlarda Sağlanan Azalma (dB(A))								
		1	3	5	7	9	11	13	15	17
1 m	5°	0,3	-0,5	0,7	-0,5	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0
	10°	0,3	-0,4	0,7	1,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
	15°	0,3	-0,4	0,6	1,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8
2 m	5°	0,2	-0,2	0,0	-0,2	0,4	0,8	4,3	1,0	1,0
	10°	-0,1	-0,5	-0,2	-0,2	1,7	0,5	3,5	0,8	0,7
	15°	-1,1	-0,8	-0,2	2,0	1,5	0,3	2,1	0,3	0,5
3 m	5°	0,0	0,3	0,6	0,5	0,6	6,0	0,7	0,7	1,0
	10°	0,0	0,4	3,2	0,2	-1,0	3,5	0,1	0,1	0,1
	15°	-1,2	1,5	1,7	0,2	2,0	3,0	0,4	0,4	0,4

Alt kat balkonlarında doğrudan gelen ses dalgalarının baskın olmasından dolayı tasarımın etkisi ancak 4. kat seviyesinden itibaren görülür ve SPL'deki azalma hem artan yükseklikle hem de balkon derinliği ile orantılıdır [100]. Diğer taraftan akustik koruma, tavan eğim açısı ile üst katlarda ters, alt katlarda doğru orantılı olduğu ve sağlanan ortalama azalma yaklaşık 0,5-6 dB(A) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Parapet eğiminin perdeleme etkisinin şematik gösterimi [101] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

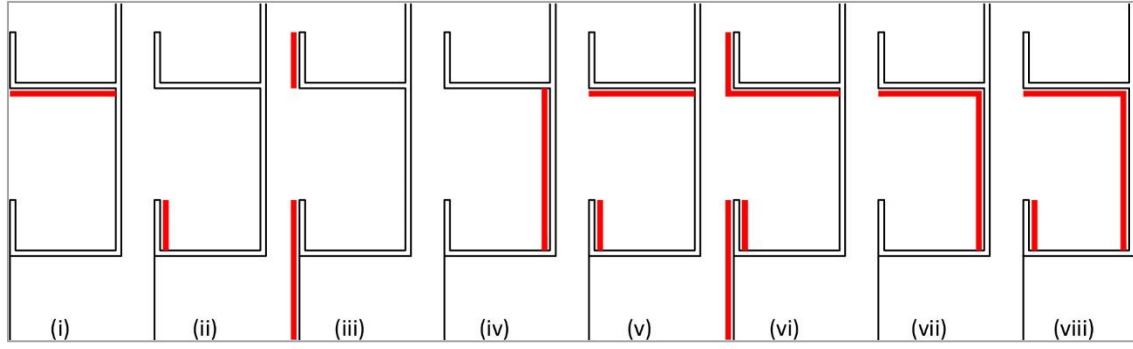
Farklı derinliklerdeki balkonlar ile cephedeki ses seviyesinde 4-8 dB(A) ve balkon parapeti eğimli tasarlandığında 2-4 dB(A) arasında ilave koruma sağlamıştır [101]. Parapete eğim vermekle balkon içindeki akustik gölge bölgelerini artırarak yansıyan ve saçılan enerji bileşenlerinin katkılarını azaltmak amaçlanır ancak derinlik arttıkça ses dalgalarının yansımaya ve kırılmaya uğrayacağı yüzeyler de artacağı için koruma etkisi azalır. Parapetin eğimi, 0°'den 30°'ye çıkartıldıkça balkon derinliği ve kat yüksekliği ile orantılı artan performans göstermiştir. Teorik modelde öngörülen koruma seviyesi ölçekli modele göre yaklaşık 2 dB(A) fazla olsa da eğimli parapetle, balkon yüzeylerine yutucu malzeme eklenen tasarımlara eşdeğer bir koruma sağlanabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 3.8. Balkon derinliği ve parapet eğiminin ölçekli modelde ölçülen ortalama koruma (figür 10,12, 14, 16-18'den alınmıştır [101])

Derinlik	Eğim	Katlarda Sağlanan Koruma (dB(A))						
		2	3	4	5	6	7	8
1 m	0°	7,0	5,5	6,5	6,2	6,5	6,0	5,5
	15°	+0,6	+0,6	+1,0	+0,9	+0,8	+0,8	+0,7
	30°	+0,3	+1,4	+1,7	+1,6	+1,2	+1,0	+1,7
2 m	0°	6,0	5,0	5,8	7,0	5,0	5,8	6,3
	15°	+0,5	+0,8	+0,6	+0,3	+0,7	+0,4	+0,5
	30°	+0,5	+2,0	+2,2	+0,5	+2,3	+3,0	+0,8
3 m	0°	5,5	4,2	5,5	5,0	5,8	7,0	6,5
	15°	+1,0	+0,5	+0,7	+0,2	+0,5	+0,9	+0,1
	30°	+1,2	+2,5	+0,7	+0,8	+1,9	+0,3	+0,1

Balkonların boyutlarında ve elemanlarının geometrilerinde yapılabilecek değişikliklerin yanı sıra balkonlara ses yutucu yüzeyler eklenerek çevresel gürültüyü azaltmadaki etkileri, May tarafından çevre yolu üzerindeki yüksek katlı konutlarının balkonlarında test edilmiştir [137]. İlk aşamada, zeminin çimenlik gibi yutucu özellik gösterdiği yoldan 80 m içerde 17. Kattaki kapalı bir balkonda ölçülen eşdeğer gürültü seviyesi (L_{eq}) balkondan yaklaşık 2,5 m ilerde belirlenen referans konumuna (R_{ref}) göre normalize edilmiş ve referans konumdaki ses seviyesinde cephedeki yansılardan dolayı 3 dB(A) artış olacağı varsayılmıştır. Balkon tavanındaki gürültünün ilave yansılardan dolayı R_{ref} 'den 7 dB(A) yüksek, parapet yüksekliğinin altındaki seviyelerdeki gürültünün R_{ref} 'e benzer seviyede olduğu ve balkon döşemesinden her 30cm yükseldikçe gürültü seviyesinde 1 dB(A) artış görülmüştür. Katlarda yukarılara çıkıldıkça zeminin yutuculuğunun azalmasından kaynaklı, zemindekenden yaklaşık 10 dB(A) daha fazla kara yolu trafik gürültüsüne maruz kalındığı tespit edilmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında, ses yutucu malzeme (I) tavana, (II) tavan ve balkonun arka duvarına, (III) tüm yüzeylere (yan duvarlar, zemin ve masif korkuluk önü dahil edilerek) uygulanarak sağlanan gürültü azaltma tespit edilmiştir. Ses yutucu malzemeler, 10 dB(A)'e kadar gürültüyü azaltmış, sadece tavana uygulandığı durumda 4-5 dB(A) ve balkon yüzeylerinin yaklaşık üçte birine uygulandığı durumda ise üst katlardaki gürültü seviyelerini zemin kat seviyelerine düşürmek için yeterli olan 7-8 dB(A) azalma sağladığı görülmüştür. Açık balkonlarda kapalı balkonlarda sağlanan azalmanın üçte ikisine ulaşılmıştır [137].

Yutucu malzemelerin balkonlardaki verimliliğinin incelendiği bir diğer çalışmada, 6,5 m mesafedeki kara yolu gürültüsünün yüksek katlı bina balkonun oluşturduğu ses alanını incelemek için iki boyutlu bir sınır elemanı sayısal modeli (two-dimensional boundary element numerical model) kullanılmıştır [106]. Kullanılan ses yutucu malzeme 10 cm kalınlığında mineral yün benzeri özellikte arkası sert lifli emici tabaka olarak tanımlanırken uygulandığı binanın ilk 4 katının balkonlarında ve balkonlardan 1 m mesafedeki referans konumlarda ölçümler yapılmıştır.

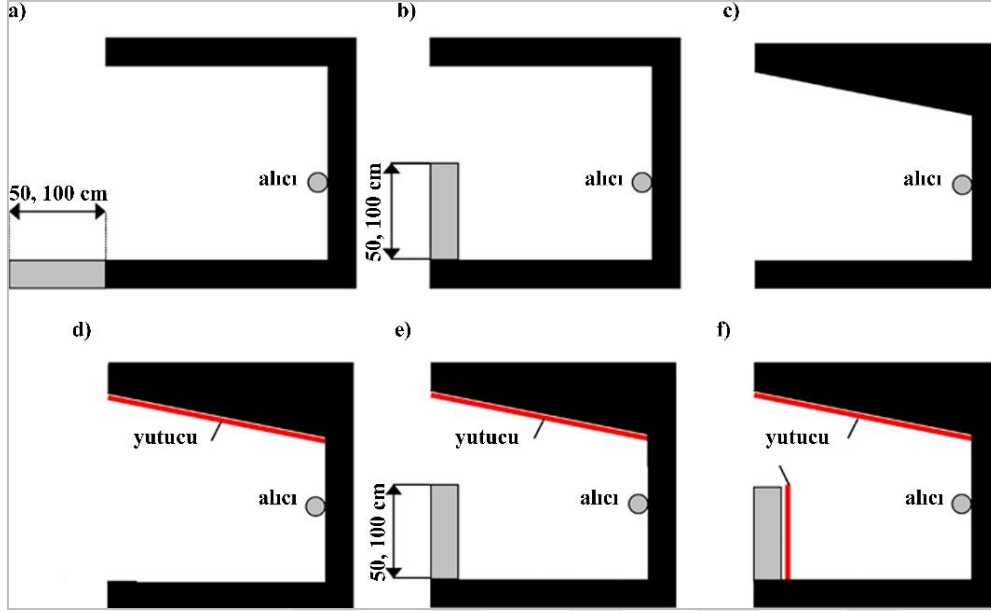


Şekil 3.10. Yutucu malzemelerin yerleşiminin şematik gösterimi; (i)-balkonların tavanlarına,(ii)-parapetin iç yüzeyine, (iii)-cepheye, (iv)-balkon arka duvarına, (v)- (i) ve (ii) kombinasyonu, (vi)- (iii) ve (v) kombinasyonu, (vii)- (i) ve (iv) kombinasyonu, (viii)- (iv) ve (v) kombinasyonu [106]

Yutucu malzeme 8 farklı düzenlemeyle yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). İki boyutlu model balkonların yan duvarlarına yapılacak uygulamanın etkisinin araştırılmasına izin vermemiştir ancak bunun balkonun arka duvarına ulaşılana benzer sonuçlar vermesi beklenmiştir [106]. Tavana (i) ve arka duvara (iv) yapılan uygulamalar balkon akustik alanında ortalama 6,3 dB(A) iyileşme sağlamıştır. En iyi korumayı tavanın, parapetin iç yüzeyinin ve cephenin yutucuyla kaplandığı (iv) tasarımı vermiştir. Uygulama (i) ile uygulama (vi) arasındaki farkın yalnızca 2.7 dB(A) ve yutucu alanının artırılmasında azalan getiriler kanunu olduğu görüldüğünden tasarım aşamasında en hesaplı ya da uygulanabilir çözüme gidilmesi önerilmiştir. Son olarak, karşılıklı iki cephe arasındaki çoklu yansımalar, balkon alanına giren ses enerjisini artırma eğiliminde olduğundan sokak kanyonundaki binalarda yapılacak uygulamalarda arka duvarın yutucuyla kaplanması (iv) daha uygun bulunmuştur.

Balkonlarda, geometrilerinde yapılacak değişikliklerle beraber ses yutucu malzeme kullanımının, bir apartman cephesindeki kara yolu trafiğini ve apartman kompleksinin avlusunda insan aktivitelerinden kaynaklı gürültüyü perdelemedeki etkisi teorik, 1:50 ölçekli model ve yerinde ölçüm yöntemleriyle araştırılmıştır [107]. Balkon arka duvarındaki SPL'yi düşürmek için 6 farklı tasarım önerisi, yanları kapalı olan 1,2 m derinlik ve 4,5 m genişte tasarlanmış balkon tipinde denenmiştir (Şekil 3.11). Ölçümler sonucunda tüm frekanslarda sağlanan ortalama azalmanın 1 kHz'deki sonuçlarla uyumlu olduğu bulunmuştur. Tek bir apartman cephesinde yapılan uygulamaların trafik gürültüsünü 16 dB(A)'ya kadar azaltabildiği ancak apartman kompleksindeki ölçümlerde yansıyan seslerin bolluğu ve uzun reverberasyon süresi nedeniyle daha düşük koruma

seviyeleri elde edilmiş ve maksimum 10 dB(A) azalma gözlenmiştir. Gürültü karşısında en yüksek korumayı 'f' tasarımı sağlamıştır [107].



Şekil 3.11. Deneylerde kullanılan balkon tasarımları [107] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

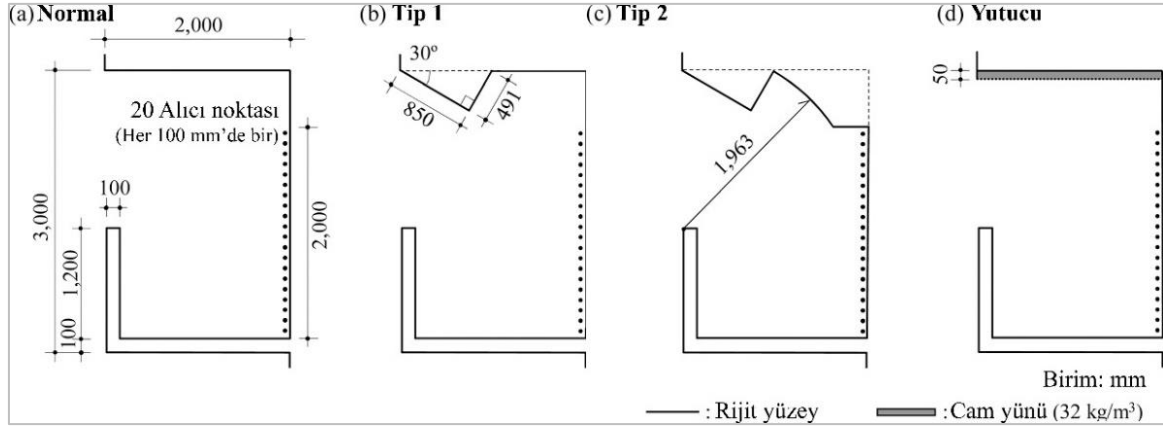
Çizelge 3.9. Çalışmasının özeti ve sonuçlar [107]

Balkon tasarımı	Testler sonucunda gürültü seviyesindeki tahmin edilen azalma
a) balkon döşemesine ek 50 veya 100 cm lento	50 cm lento daha etkili olsa da yansıma yüzeyini arttıracığı için bu tasarım genel olarak gürültü seviyesini artırma eğiliminde
b) 50 veya 100 cm yüksekliğinde ön parapet	100 cm parapet alt ve üst katlarda en iyi sonucu verir, azalma -1 ile 5.7 dB(A) arasındadır.
c) 15° eğimli tavan	6. kata kadar gürültü artışı görülmüştür ancak 7. Kattan itibaren sağlanan azalma 2.1 ile 8.8 dB(A) arasındadır.
d) 15° eğimli tavan + ses yutucu olarak velur	Alt katlarda artış görülse de 6 kattan itibaren sağlanan azalma 3.8 ile 11.6 dB(A) arasındadır.
e) tasarım d ve ön parapet	Tüm katlarda azalma sağlanmıştır ve değerler 5.6 ile 14.9 dB(A) arasındadır.
f) tasarım e + ön parapetin iç yüzeyine velur	Avludan yapılan testler de dahil olmak üzere tüm katlarda azalma sağlanmıştır. Değerler 5.5 ile 15.7 dB(A) arasındadır.

Yüksek katlı binaların pencerelerinin önüne yapılan Fransız balkonu benzeri çıkıntıların iç mekân gürültü seviyesini azaltmadaki etkisini tespit etmek için sayısal ve sanal kaynak

teorik yöntemleri ile ölçekli model yöntemleri kullanılarak deneyler yapılmıştır [122]. Görece daha düşük kurulum maliyeti ve minimum bakım gereksiniminden dolayı tercih edilen bu tip balkonların gürültü azaltmadaki veriminin gürültünün geliş açısına ve derinliğine bağlı olduğu, ses dalgalarının geliş açısı 15° ile 45° arasındayken perdeleme etkisinin açı arttıkça arttığı ve ortalama 3-5 dB koruma sağladığı bulunmuştur. Ses dalgalarının daha yüksek açılarda geldiği durumlarda ise artan yansımalarından dolayı balkonun sağladığı olumlu etki de azalmıştır. Balkon döşemesinin 120cm ve yukarı doğru 30° eğimle tasarlandığı durumda ilave 3 dB azalma, yüzeyi kadife ile kaplandığında ise 500 Hz'de 17 dB'lik bir ekleme kaybı sağlamıştır [122]. Ancak çalışma tek bir balkonun performans analizine dayandığı için kent içerisinde ve binanın tüm katlarında sağlayacağı perdeleme etkisi bilinmemektedir.

İncelenen çalışmalarda balkon alanında gürültü seviyesini arttıran en önemli etkenlerden biri ses dalgalarının tavandan yansıyarak alıcıya ulaşmasıdır. Bu etkiyi azaltmak amacıyla yüksek katlı binaların balkon tavanına, doğrudan ve kırılarak gelen sesi açık alana yansıtmak üzere reflektörler tasarlanmış ve trafik gürültüsüne karşı performansları orta katlardaki balkonlarda teorik ve ölçekli model deneyleriyle incelenmiştir [108]. İkili tasarlanan bu reflektörlerin birincisi dalgaların yayılma yönüne dik düz yüzeyi ile kaynaktan gelen doğrudan dalgaları aynı yönde yansıtmak üzere, ikincisi yay şekliyle parapet kenarları gibi noktalardan kırılan dalgaları kırılma doğrultusunda yansıtmak üzere özelleştirilmiştir (Şekil 3.12). Nokta kaynaktan gelen gürültü dört tip tavan tasarımının ve farklı geliş açıları ile test edilerek reflektörlerin 1/3 oktav bandında SPL'de sağladığı ortalama azalma bulunmuştur.

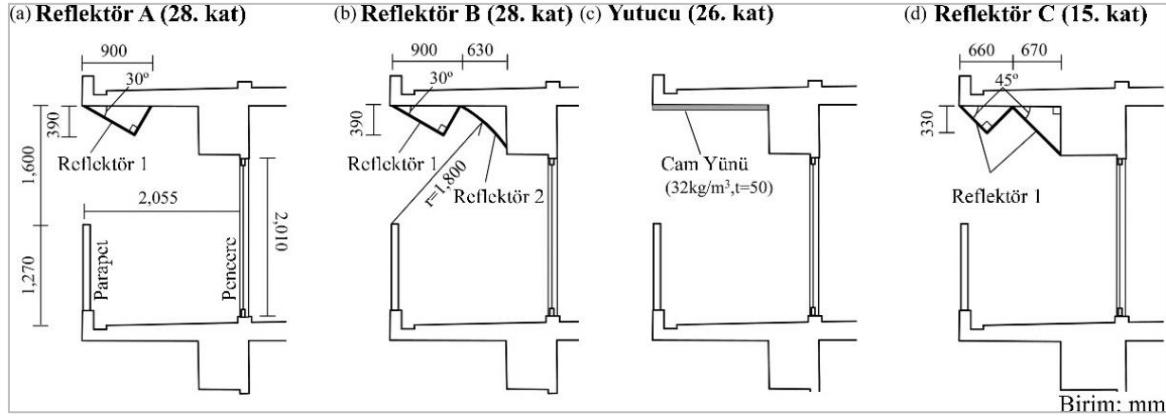


Şekil 3.12. (a) Normal tip; 2 m genişliğinde parapetli standart balkon, (b) tip 1; 30°'lik eğimle tavana monte edilen reflektör 1, (c) tip 2; 60°'lik gürültü geliş açısına uygun tasarlanan reflektör 1 ve 2, (d) yutucu tip; standart balkonun tavanına yutucu eklenmiş hali [108] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

Ses dalgaları tavana 60° ve üstündeki açılarla ulaştığında, buna uygun tasarlanan Tip 1 ve Tip 2 düşük frekanslarda yutucu tipten fazla ve frekans artıkça da artan performans sergilemiştir [108]. 1/3 oktav bandındaki SPL'leri kara yolu trafik gürültüsüne göre normalize edildiğinde, gürültünün geliş açısının verimliliği önemli düzeyde etkilediği görülmüştür. Sonuçta reflektörlü balkonların tasarım açıları gürültünün geliş açısıyla aynı veya daha büyük olduğunda kara yolu trafik gürültüsünü 7–10 dB(A) azalttığı ancak geliş açısının küçük olduğu düşük zemin seviyelerinde veya gürültü kaynağından uzak binalarda kullanıldığında verimli olmayacağı anlaşılmıştır.

Çizelge 3.10. Kara yolu trafik gürültüsüne göre normalize edilen ortalama A ağırlıklı SPL azalmaları ile gürültünün geliş açısıyla arasındaki ilişki (figür 8 ve tablo 1'den alınmıştır [108])

Yöntem	Tip	Gürültünün Geliş Açısı		
		30°	45°	60°
Teorik	Tip 1	-1,8	3,2	7,2
	Tip 2	-2,3	4,6	8,4
	Yutucu	3,0	6,5	7,0
Ölçekli Model	Tip 1	0,8	4,0	7,4
	Tip 2	0,3	5,4	8,1



Şekil 3.13. Deneylerde kullanılan tavan tasarımları [108] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

Reflektörlerin etkinliğinin tren gürültüsüne karşı yerinde ölçüm yöntemiyle test edildiği bir başka çalışmada, 4 hatlı demiryoluna komşu 40 katlı bir binanın 28. katında reflektör A ve B, 15. katında reflektör C ve kontrol grubu olarak da 26. katta yutucu tavan tasarımları kullanılmıştır (Şekil 3.13) [125]. Ölçümler sonucunda reflektörlerin yutucu özellikteki tavan tasarımlarından daha iyi olduğu ve bir trenin konutun önünden geçtiği esnada standart balkona kıyasla reflektörlü balkonların SPL'yi yaklaşık 5 dB(A) azalttığı ancak tren konuta yaklaşırken veya uzaklaşırken etkinliklerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu da ses dalgaları yatayda açılı geldiğinde daha düşük koruma sağladığı görülen önceki çalışmalarının sonuçlarıyla uyumlu olmuştur [103,104]. Uzak kaynak mesafelerinde, ses dalgalarının küçük geliş açılarında, genel verimlilik azalma eğilimindedir [125].

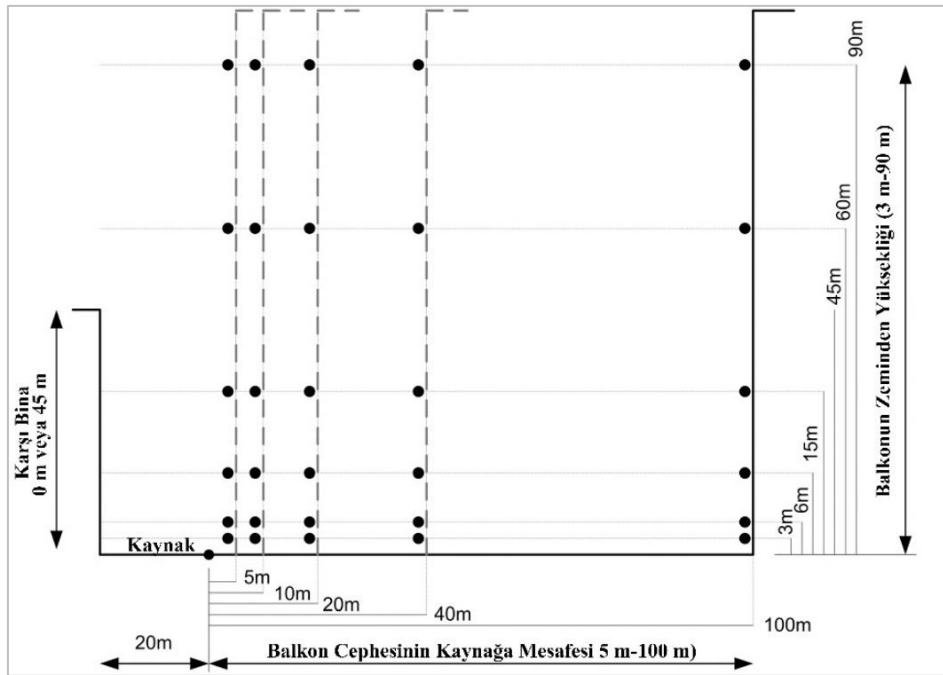
Çizelge 3.11. Tavanlarla sağlanan ortalama azalma (tablo 2'den alınmıştır [125])

Tavan Tipi	Kat Yüksekliği	Ses Dalgalarının Geliş Açısı	SPL'deki Azalma (dB(A))		
			Maksimum	Minimum	Ortalama
Reflektör A	28	65-75	5,6	2,9	4,1
Reflektör B	28	65-75	5,7	4,4	4,9
Reflektör C	15	51-65	5,6	3,9	4,8
Yutucu	26	63-74	4,6	3,0	3,8

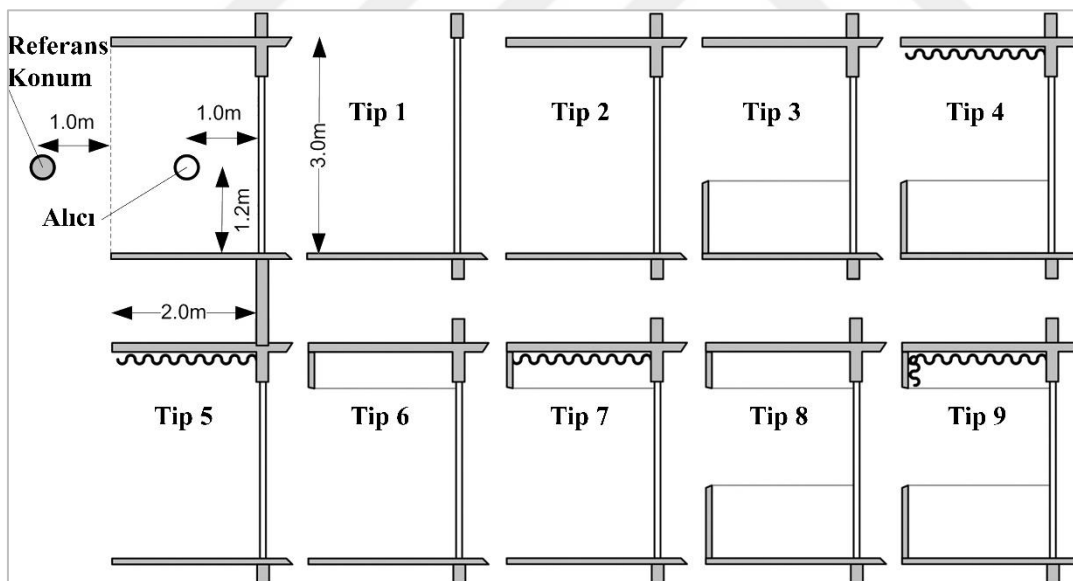
Tavandan gelen yansımaların balkon alanındaki olumsuz etkisini azaltmak üzere yürütülen çalışmaların bir diğerinde homojen olmayan düzensiz yüzeye sahip bir tavan tasarımının performansı sanal alıcı yöntemini ve ses kırınım teorisini birleştiren ışın tabanlı bir teorik model ve iki boyutlu bir sonlu eleman yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir [126]. Bu

tasarımla sesin normalde geldiği açıyla yansımayıp düzensiz yüzeyi sayesinde sesin geliş açısına yakın hatta negatifi yönünde bir açıyla yansımaları sağlayarak balkonun IL'sini arttırmak hedeflenmiştir. Kaynağın bina cephesine 2,5 m mesafede ve alıcının yüksek katlı bir binanın 4. katında olduğu düzenekte yapılan teorik ölçümler sonucunda önerilen tavanın, tüm frekanslarda gürültü seviyesini arttıran geleneksel tavana göre ortalama 10 dB IL sağladığı bulunmuştur. Teorik model, Helmholtz rezonatörü benzeri tüplerin belli aralıklar ve farklı boyutlarla bir araya getirilmesiyle pratikte de denemiştir. Fiziksel model düşük-orta frekans bandında daha düşük performans gösterse de orta-yüksek bandında ortalama 7 dB IL sağlamıştır [126].

Yapılı çevre ile balkon geometrileri arasındaki akustik ilişkileri keşfetmek ve konut balkonlarının verimli kullanımını sağlamak amacıyla balkonlardaki konuşma girişim seviyesi (SIL) ve konuşma iletim indeksi (STI) 9 balkon tipi, çeşitli sokak geometrilerinde 630 farklı senaryoda, geliştirilen teorik bir model yardımıyla araştırılmıştır (Şekil 3.14) [138]. Her senaryoda, sesin yayılma yollarından, karşı binanın varlığından ve balkon dışındaki bir referans noktada balkon cephesindeki yansılardan dolayı oluşan gürültü farkı eğilimlerini belirlemek ve karşılaştırmak için reverberasyon süresi, SIL ve STI hesaplanmıştır. Açık balkon tiplerinde (Tip 1,2,5,6,7), SIL değerleri balkon yüksekliklerinden bağımsızdır ancak kapalı balkon tiplerinde (Tip 3,4,8,9), kaynağın uzakta olduğu ve zeminden 1-2 m yüksekliklerde dahi parapet gürültü koruması sağlamıştır (Şekil 3.15). Balkon geometrisine bağlı olarak SIL'deki en yüksek değer Tip 2'de, en düşük değerler ise Tip 9'da görülmüş, tavana eklenen giriş SIL'de sadece küçük bir azalmaya ve kaynağın yakında olduğu durumlarda tavandan gelen ilave yansımalar SIL'de artışa sebep olmuştur [138].



Şekil 3.14. Deney düzeneğindeki sokak boyutları ve balkonlardaki alıcı konumları [138]
(orijinal görsel Türkçeleştirilmiştir)



Şekil 3.15. Deney düzeneğindeki alıcı ve referans konumu, balkon boyutları ve geometrisi [138] (orijinal görsel Türkçeleştirilmiştir)

Sonuçta, SIL’de sağlanan iyileştirme elemanların birlikte kullanımına, cadde ile balkon geometrisine bağlıdır [138]. Sesin izlediği yollar incelendiğinde ise SIL seviyesine en büyük katkının aynasal yansıma yollarından olduğu ve karşı binanın varlığında SIL’deki genel artışın 0,5 dB ile 2,5 dB arasında değiştiği ancak balkonların bulunduğu bina

cephesinden gelen yansımaların SIL'e karşı cepheden gelen yansılardan daha fazla katkı yaptığı gözlenmiştir. STI sonuçları ise kara yolu trafik gürültüsü kaynağının yakınında konuşma iletişiminin neredeyse imkânsız olduğunu göstermiştir. STI, "kötü" (STI = 0 ila 0,3), "zayıf" (STI = 0,3 ila 0,45), "orta" (STI = 0,45 ila 0,6), "iyi" (STI = 0,6 ila 0,75) ve "mükemmel" (STI = 0,75 ila 1,0) gibi kategorilere ayrılarak bakıldığında senaryoların %65'i "kötü", %31'i "zayıf" ve sadece %4'ü "orta" olarak derecelendirilmiş ve en iyi STI değerleri SIL'de olduğu gibi Tip 9'la elde edilmiştir. Sonuçta balkonlara yapılacak akustik tasarımların SIL ve STI parametrelerinde iyileştirme sağlayacağı görülmüştür [138].

Çizelge 3.12. Kaynak cepheye 10 m mesafedeyken elde edilen SIL (dB) ve STI (STI_{EDT} ve STI_{RT60}) değerleri (figür 9 ve 14'ten alınmıştır [138])

Ölçülen Parametre	Yükseklik	Balkon Tipi								
		Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Tip 6	Tip 7	Tip 8	Tip 9
SIL	3	72	74	70	68	74	74	74	69	67
	15	62	70	69	64	65	65	62	62	58
	45	55	60	57	52	56	60	57	57	52
	90	49	55	55	58	51	54	50	51	46
STI	3	0,10	0,10	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15
	15	0,15	0,10	0,05	0,15	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15
	45	0,30	0,20	0,30	0,40	0,35	0,30	0,25	0,25	0,38
	90	0,45	0,30	0,35	0,45	0,40	0,35	0,40	0,35	0,49

Araştırmacılar bulunduğu sokak geometrisine göre verimi en yüksek olabilecek balkon akustik uygulamalarını seçmede kullanılması için akustik tasarım rehberini hazırlamış ve aynı balkon tipleri ve deney düzeneğiyle 9720 farklı senaryoyu test etmiştir [123]. Balkon akustik uygulamalarının SIL'e etkisini tahmin etmek için yapılan regresyon analizinde, 9 değişken değerlendirilmiştir. Bu değişkenler; (1) kırınım yolu farkı, (2) toplam aynasal yansıma enerjisinin doğrudan enerjiye oranı, (3) referans nokta ile alıcı arasındaki mesafeden kaynaklı ses kaybı, (4) kaynakla balkon cephesi arasındaki uzaklık, (5) balkonun zeminden yüksekliği, (6) balkon derinliği, (7) karşı binaların yüksekliği, (8) bina cephelerinin dağınım katsayısı ve (9) balkon yüzeylerinin ortalama yutuculuğu olarak belirlenmiştir. Balkon alanı ve cephesinde her tip için yapılan ölçümlerde Δ SIL için en iyi

sonuçları Tip 9'un verdiği ancak Tip 4'ün pek çok durumda daha düşük maliyetli ve yüksek verimli olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.13. Balkon alanı ve cephesi için hesaplanan Δ SIL değerleri. (figür 6'dan alınmıştır [123])

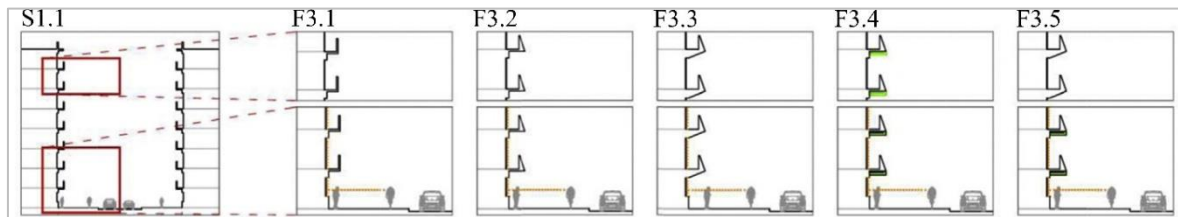
Ölçülen Bölge		Balkon Tipi								
		Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Tip 6	Tip 7	Tip 8	Tip 9
Balkon	Minimum	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	Maksimum	20,0	8,0	15,0	21,0	19,0	11,0	19,0	16,0	21,0
	Ortalama	6,5	4,0	7,0	1,5	6,5	5,0	6,5	8,0	14,5
Cephe	Minimum	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	Maksimum	21,0	8,0	13,0	21,5	19,5	9,5	20,0	14,0	22,0
	Ortalama	6,0	4,5	7,0	13,5	6,0	5,0	6,0	8,0	14,0

Mevcut bir kent kesitindeki gürültü alanı ve bunu etkileyen değişkenleri analiz etmek için SoundPLAN programının kullanıldığı bir başka araştırmada, kent kesitinin mevcut ve basitleştirilmiş versiyonu 3 boyutlu modellenerek bina yüksekliği, yol genişliği, cephede yutucu sıva kullanımı, katlardaki balkon varlığı, yeşil alanların ve akustik asfaltın varlığı, kaynaktaki ses basınç seviyesindeki farklardan dolayı araçların ortalama hızının kontrolü gibi değişkenlere göre analizler yapılmıştır [139]. Sonuçta; daha geniş yolların, kaynak ile alıcı arasındaki mesafe de artacağı için, daha fazla gürültü azaltma sağladığı, karşılıklı cepheler arasındaki yansımaların bina yüksekliğinden çok fazla etkilenmediği, cepheye yapılan yutucu sıva uygulaması ile sağlanan akustik korumanın kat seviyesi arttıkça arttığı ancak yolun genişlemesiyle de etkisinin azaldığı, kaynak yakındayken yeşil alanların ve akustik asfalt varlığının ses seviyelerini önemli ölçüde etkilemediği, araçların ortalama hızının kontrolünün gürültü seviyesinde yaklaşık 10 dB(A) iyileştirme sağladığı gözlenmiştir. Son olarak balkonların, araç yolu genişledikçe etkisi azalsa dahi, bina cephesindeki ses alanını değiştirdiği, üst katlara çıkıldıkça da etkinliğinin arttığı bulunmuştur.

Çizelge 3.14. Değişkenlerin kombinasyonu ile sağlanan akustik koruma (dB(A)) (figür 6'dan alınmıştır [139])

Değişkenler	Yolun genişliği (w) ve zeminden yükseklik (h) (Birim : m)					
	w:16, h:1,5	w:16, h:28,5	w:20, h:1,5	w:20, h:28,5	w:24, h:1,5	w:24, h:28,5
Yol genişliği ve yutuculuk	3,2	3,5	4,5	3,8	5,6	4,0
Yol genişliği, yutuculuk ve balkon	-	9,8	-	9,2	-	9,2

Sokak geometrilerinin SPL'ye etkisi hem binaların cephesinde ve hem kaldırımdaki yayada tam dalga zamanda sonlu farklar yöntemi (Finite-difference time-domain method, FDTD) ile incelenmiştir [127]. Bu teorik model yardımıyla cephede, F1-Genel bina şekli, F2-Alt katların geri çekilmesi, F3-Balkon geometrisi (Şekil 3.16), F4-Cephede üçgensel çıkıntılar, F5-Eğimli yerleştirilmiş pencereler olmak üzere 5 ana başlık ve 23 farklı tasarımda; sokakta S1-alçak bariyer, S2-yutucu eklenmiş alçak bariyer, S3-Kademeli cadde, S4-İki seviyeli cadde olmak üzere 4 ana başlık ve 19 farklı tasarımla toplamda 42 farklı senaryo test edilmiştir. 2 boyutlu sokak kesiti, merkezinden simetrik olacak şekilde her bir tarafında 8 katlı bina, 4,5 m kaldırım, 2 m bisiklet yolu, tek şeridi 3.5 m araç yolu ölçülerıyla tasarlanmıştır.



Şekil 3.16. S1.1; referans sokak tasarımı, F3.1; geleneksel balkon, F3.2; eğimli parapet, F3.3; eğimli parapet ve eğimli tavan, F3.4; eğimli parapet ve yutucu kaplı tavan, F3.5; İlk iki katta yutucu kaplı tavan ve 3. kattan itibaren eğimli parapet ve eğimli tavan [127]

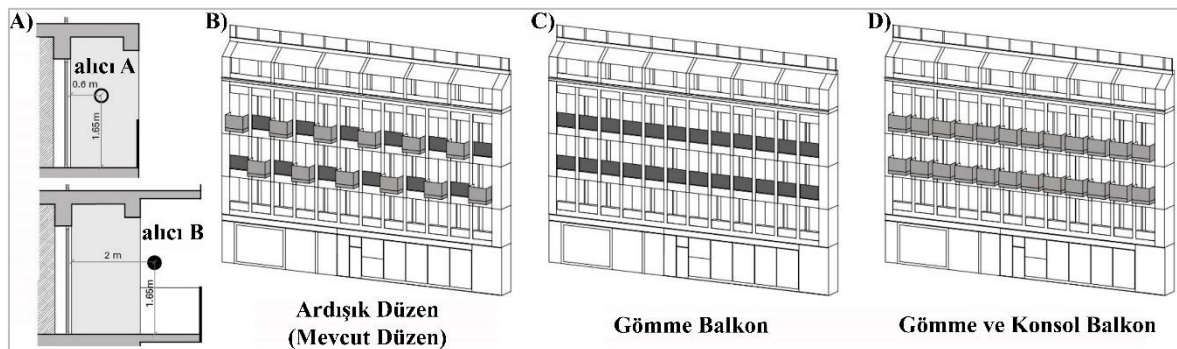
Araştırma sonuçlarına balkon tasarımları özelinde odaklanıldığında, Şekil 3.16'da gösterilen tasarımlar referans duruma göre (S1.1), kaldırımdaki yaya için az olsa da cephedeki SPL'yi azaltmış ve en çok F3.3, ikinci olarak da F3.4 tasarımları en iyi

korumayı sağlamıştır [127]. Katlara göre optimum azalmayı sağlayan cephe kombinasyonu F3.5 de 6 dB(A)'ya kadar ilave gürültü azalması sağlamıştır. Genel sonuçlar bina şeklinin, sokak geometrisinin ve sokak mobilyalarının varlığının, gürültü seviyesini azaltmada güçlü bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Cephe tasarımlarıyla kaldırımdaki yaya yüksekliklerinde 7 dB(A)'ya, cephedeki pencerelerde 12,9 dB(A)'ya kadar, sokak tasarımlarıyla da kaldırımlar boyunca 11,3 dB(A)'ya kadar akustik koruma sağlanabileceği bulunmuştur.

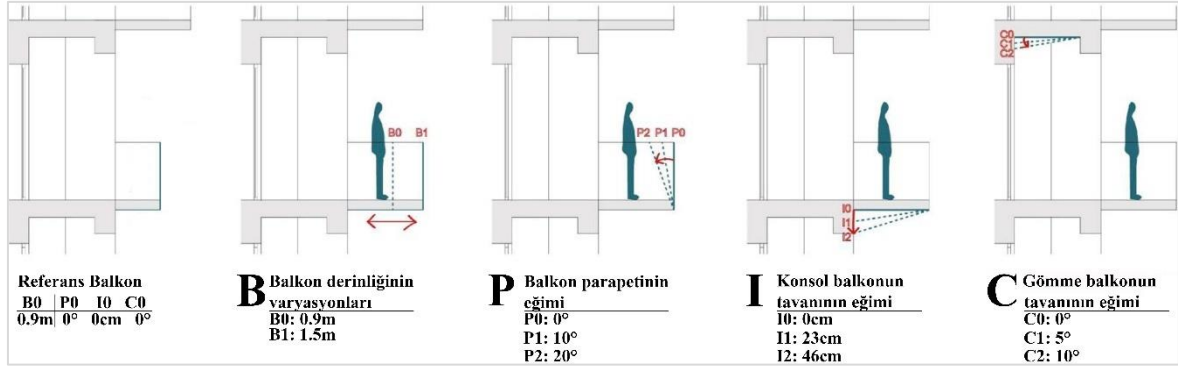
Çizelge 3.15. Katlardaki pencerelerde sağlanan ortalama koruma (dB(A)) (figür 7c'den alınmıştır [127])

Balkon Tasarımı	Katlarda Sağlanan Koruma (dB(A))							
	1	2	3	4	5	6	7	8
S1.1	-1,5	-1,0	1,5	3,0	4,3	5,3	7,1	7,8
F3.1	±0,0	+4,0	+3,6	+4,0	+4,5	+4,9	+5,6	+5,7
F3.2	±0,0	+4,4	+4,0	+5,0	+5,5	+5,9	+8,2	+8,6
F3.3	±0,0	+4,7	+6,5	+8,2	+9,7	+9,9	+9,9	+12,9
F3.4	±0,0	+5,0	+6,6	+8,1	+9,4	+11,7	+9,9	+8,9

Ulaşım araçları kaynaklı çevresel gürültü dışında özellikle gece hayatının yoğun olduğu bölgelerde eğlence aktivitelerinden kaynaklanan gürültünün etkili balkon tasarımlarıyla önlenmesi amacıyla mevcut bir bina cephesinde alternatif tasarımlar denenmiştir (Şekil 16) [105]. Dış mekân akustik konforunun artırılması için yapılan bu araştırmada 4 aşamalı bir yol izlenmiş ve tasarımların etkinliğini belirlemek üzere hem örnek binanın hem de karşı binanın cephesinde ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.17. Balkonların kesitleri ve ceplerdeki balkonların dizilim alternatifleri [105] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)



Şekil 3.18. Referans balkon ile balkon geometrilerindeki değişikliklerin şematik anlatımı [105] (orijinal şekil Türkçeleştirilmiştir)

Çizelge 3.16. Çalışmanın özeti [105]

Tasarım adımları	Testler sonucunda ses basınç seviyesinde tahmin edilen azalma (dB(A))
(1) Balkonların cephedeki yerleşimleri,	Ardışık düzen, sadece gömme balkon, gömme ve konsol balkonların beraber olduğu cephelerde sırasıyla 48,1 dB(A), 48,4 dB(A) ve 47,6 dB(A) SPL değerlerine ulaşılmıştır. Üst katlara çıkıldıkça balkonların perdeleme etkisi artmıştır.
(2) Balkon geometrilerindeki değişiklikler	1. adımda en iyi sonucu veren gömme ve konsol balkon modeli baz alınarak 19 alternatif tasarım geliştirilmiştir. En iyi akustik korumayı sağlayan B1-P0-I0-C0 ve B1-P1-I0-C0 tasarımları ile elde edilen azalma yaklaşık 1 dB(A)'dır. B0-P1-I1-C0 ve B0-P2-I1-C0 tasarımları ise cephede yaklaşık 1 dB(A) gürültü artışına sebep olmuştur.
(3) Balkon geometrisi ve yutucu malzeme uygulamaları	Balkonların performansı, elemanlarına uygulanan kaplama malzemelerinin akustik özelliklerine göre önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. Bu adımda model cephesinde maksimum 6,5 dB(A) ve karşı cephede ise yaklaşık 2 dB(A) akustik koruma sağlanmıştır. En iyi sonuçlar B1-P0-I0-C0 ve B1-P0-I2-C0 tasarımlarıyla elde edilmiştir.
(4) Yutucu yol kaplamasıyla karşılaştırma	Yapılan mimari ve akustik müdahaleler ile ortalama gürültü seviyesindeki düşüş model cephesinde 10 dB(A)'ya ve diğer cephede 3 dB(A)'ya kadar çıkmıştır ancak yol kaplamasıyla sadece 1,5 dB(A)'ya kadar azalma sağlanmıştır.

1. adım sonunda en iyi korumanın hem gömme hem konsol balkonun beraber olduğu cepheyle (Şekil 3.17'de D ile gösterilmiştir.) sağlandığı bulunmuştur [105]. 2. Adımda bu cephedeki balkonların geometrilerinde değişiklikler yapılarak 19 farklı tasarım denenmiştir (Şekil 3.18). 3. Adımda ise seçilen 8 balkon geometrisi, balkonun parapetlerine, balkon tavanına ve gömme balkonun iç yüzeylerine uygulamak üzere 4 farklı yüzey kaplamasıyla

512 alternatif denenmiştir. Son olarak 4. Adımda akustik asfalt ve mimari akustik uygulamalarının sağladığı SPL'deki azalmalar karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.16).

3.3. Ulusal ve Uluslararası Yönetmeliklerin Konut Balkonları Özelinde İncelenmesi ve Performans Kriterlerinin Belirlenmesi

Balkonların mimari tasarım kriterlerini belirlemek amacıyla ulusal ve uluslararası yönetmelikler ve standartlar incelenmiştir.

Ulusal düzeyde incelenen yönetmelikler; Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği ve uluslararası düzeyde incelenen yönetmelikler; İngiltere- Bina Yönetmeliği- Binalara Erişim ve Binaların Kullanımı, İrlanda- Sürdürülebilir Kentsel Konut- Yeni Daireler için Tasarım Standartları, Hong Kong- Yeşil ve Yenilikçi Yapılardır.

Balkonların mimari tasarımı için referans alınabilecek yayınlar olarak; BS 8579:2020 Balkon ve teras tasarımı rehberi (BS 8579:2020 Guide to the design of balconies and terraces), BS 6180: 2011 Binalardaki ve binaların etrafındaki engeller- Uygulama kuralları (BS 6180:2011 Barriers in and about buildings– Code of practice), BS 8300-2: 2018 Erişilebilir ve kapsayıcı bir yapılı çevrenin tasarımı Bölüm 2: Binalar- Uygulama kuralları (BS 8300-2:2018 Design of an accessible and inclusive built environment Part 2: Buildings– Code of practice), BS 9266: 2013 Erişilebilir ve uyarlanabilir genel ihtiyaç konut tasarımı– Uygulama kuralları (BS 9266:2013 Design of accessible and adaptable general needs housing– Code of practice) incelenmiştir.

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği: Amacı; plan, fen, sağlık ve sürdürülebilir çevre şartlarına uygun yapı ve yapılaşma ile projelendirmeye ve denetime ilişkin usul ve esasları belirlemek olan yönetmelikte balkonların tasarım şartları aşağıda sıralandığı gibidir [140]:

- Balkonlar bağımsız bölüm net alanı içinde değerlendirilmez.
- Balkon, tüm katlarda çıkma koşullarını taşımak kaydıyla, bina cephe hattı dışında ve/veya içinde, en az bir dış cephesi açık, bağlı oldukları oda ve/veya mutfak piyesinin kullanımını tamamlayan ve bu mekândan bölme elemanları ile ayrılmış, üstü açık veya kapalı alanları bağımsız bölüm toplam brüt alanına dahil edilir.

- Bağımsız bölüm net alanının %15'ini geçmemek kaydıyla açık çıkma şartlarını taşıyan balkonlar katlar alanına dâhil edilmez.
- Balkonlarda döşeme kotundan itibaren en az 1,10 m yüksekliğe kadar teknik gereklere ve standartlara uygun olarak korkuluk yapılması mecburidir.
- Korkuluklar, kırılmaz veya kırıldığında dağılmayan malzemeden ve insan çarpması dâhil, tasarım yüklerini karşılayacak taşıyıcı malzeme ve montaj sistemleri ile yapılır. Korkuluklar düşme, kayma, yuvarlanma gibi sebeplerle insanların can güvenliğini tehlikeye atacak boşluklar içermeyecek şekilde düzenlenir. Boşluklarda, yük altındaki deformasyonlar da dâhil, en fazla 0,10 m çapında geçişe izin verilir.
- Balkon kapıları 0,80 m düşürülebilir.

İngiltere- Bina Yönetmeliği – Binalara Erişim ve Binaların Kullanımı: İngiltere için Bina Yönetmeliği 2010'un gerekliliklerinin nasıl karşılanacağına dair pratik rehberlik sağlayan belgede balkonların tasarımına dair şu bilgileri içerir [141]:

- Balkon kapıları minimum 0,85 metre net açılma genişliğine sahip olmalıdır.
- Bir tekerlekli sandalye kullanıcısının balkon alanını kullanmasını sağlamak için balkonun minimum net genişliği 1,5 m derinliğinde olması ve herhangi bir kapı salınımı olmaksızın minimum 1,5 m seviyesinde net dönüş dairesi sağlanmalıdır.

İrlanda- Sürdürülebilir Kentsel Konut – Yeni Daireler için Tasarım Standartları: Konut geliştirme için standartlar belirlenen bu belgede, özel eğlence alanlarından (private amenity space) biri olarak tanımlanan ve apartmanların zemin seviyesinden yukarıdaki katlarında tasarlanmasını politika gereği ile zorunlu olduğu balkonların tasarımına dair şu bilgileri içermektedir [142]:

- Balkonlar için minimum 1,5 m derinlik gereklidir. Gölgenmeyi önlemek şartıyla daha derin balkonlar yapılabilir. Balkonlara öncelikle oturma odalarından erişilmesi tercih edilir.
- Bitişik balkonlar arasında mahremiyet amaçlı paneller sağlanmalı, balkon zeminleri sağlam ve kendinden drenajlı olmalıdır.
- Daire tiplerine göre minimum balkon alanları; stüdyo dairelerde 4 m², tek yatak odalı dairelerde 5 m², 3 veya 4 kişinin yaşadığı çift yatak odalı dairelerde 6-7 m², üç yatak odalı dairelerde ise 9 m² olarak belirlenmiştir.

- Korkuluk yüksekliği 1,10 m olmalıdır [143].

Hong Kong- Yeşil ve Yenilikçi Yapılar: Hong Kong Hükümeti konut balkonlarını yaşam ortamını iyileştirmek için ‘yeşil ve hoşluk veren özellikler’ kategorisine alarak bina geliştiricileri ve mimarları, balkonların kapladığı alanın %10’unun brüt kat alanı ve taban alanı hesaplamalarından muaf tutarak tasarımlarında bu tür özellikleri benimsemeye teşvik etmeği hedeflemiştir [144,145]. Balkonların belirlenen tasarım kriterleri şu şekilde sıralanır:

- Derinliği minimum 1,5 m olması gereken balkonların konumu, oturma odası, yemek odası veya yatak odası ile sınırlandırılmıştır.
- Balkonların en az %40’ı açık olmalı ve korkuluk seviyesinin üzeri kapalı olmamalıdır. Balkonlar brüt kat alanı ve taban alanı hesaplamalarından muaf tutulmaları için minimum 2 m² olmalıdır.

Standartlara göre balkon tasarım gereklilikleri; Balkon ve teras tasarımlarında kalite ve işlevsellik için bir ölçüt oluşturmayı amaçlayan bu standartta ilk olarak balkon tipleri tanımlanmış (örneğin; açık balkon, kapalı balkon, konsol balkon, gömme balkon, juliet balkon, vb.) sonrasında da mimari ve akustik tasarım prensiplerinden bahsedilmiştir [114]. Bu ve yukarıda bahsedilen standartlarda geçen başlıca kriterler aşağıda sıralandığı gibidir:

- Kamunun erişimine açık balkonlarda minimum 1,5 m çapında bir dönüş dairesine sahip bir tekerlekli sandalyeyi barındıracak kadar derin olmalıdırlar [114,146].
- Balkon korkuluğu 1,10 m olmalıdır [114,128,146].
- Balkon kapısının net genişliği 0,8 m olmalıdır [146]. Yüksek katlı yapılarda balkon kapıları dışarıya açılmamalıdır [114].
- Balkon döşemesi cam veya şeffaf olmamalıdır [147].
- Kapalı bir balkon için yüzey kaplamaları, nemli dış havada renk değiştirmeyen veya bozulmayan dış mekân malzemeleri olmalıdır [114].
- Balkonların her katta aynı hizada olduğu veya 11 m üzeri binalarda, balkon elemanları BS EN 13501-1: 2018’e uygun olarak A1 veya A2-s1, d0 sınıfına ulaşan malzemelerden yapılmalıdır [114].
- Bir balkonun akustik performansı ağırlıklı olarak aşağıdaki faktörler tarafından belirlenir [114].

- a) Hâkim dış gürültü kaynağının konumu ve türü, gürültünün geliş açısı, perdeleme elemanının konumu,
- b) Ses kaynağı ile alıcı arasındaki görüş hattı mesafesi (Azaltılması balkon akustiğine olumlu yansır.),
- c) Balkon elemanlarının malzemesi ve benzerliği (Mümkün olan yerlerde dolu kütleler (parapet gibi) kullanılmalı ve elemanlar arasındaki boşluklar en aza indirilmelidir.),
- d) Balkon yüzeylerinin özelliği (Yutucu veya yayıcı özellikteki bitiş malzemeleri kullanılması ve özellikle balkon tavanına yapılacak yutucu malzeme uygulamasının olumlu etkisinden bahsedilmiştir.),
- e) Cephede balkonların yerleşimi (Her katta aynı dikey hizadaki balkonlar daha iyi sonuç verir.),
- f) Balkona açılan kapı ve/veya pencere cephe açıklıklarının konumu (Balkonun ve cephe açıklığının birbirine dik konumda olduğu tasarımlar akustik korumayı arttırabilir.)

Yönetmeliklerde ve standartlarda önerilen kriterlere göre tasarlanmış balkon geometrisinin, çevresel gürültü karşısındaki akustik performansını değerlendirmek amacıyla yapılan incelenmede ülkemizde yürürlükte olan Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliğinde [148] konuya ilişkin özel bir bilgi bulunmadığı görülmüştür. Bina kabuğundaki balkon ve benzeri elemanların bariyer etkisini hesaplamak üzere, BS EN ISO 12354-3:2017 Binaların akustiği– Binaların akustik performansının elemanların performansından tahmini– Bölüm 3: Dışarıdaki sese karşı havada yayılan sesin yalıtımı (BS EN ISO 12354-3:2017 Building acoustics– Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound) standardından yararlanılabilir [149] ^[149]. Balkon gibi cephe elemanlarından kaynaklı cephe şekli seviye farkı (ΔL_{fs}) “Eş. 3.1” kullanılarak hesaplanabilir:

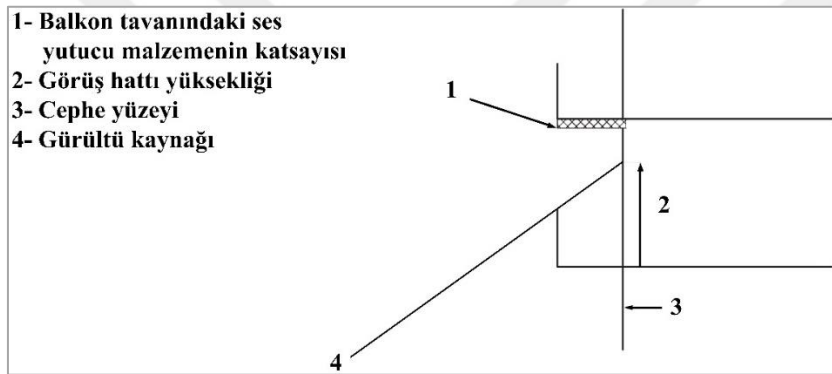
$$\Delta L_{fs} = L_{1,2m} - L_{1,s} + 3 \text{ dB} \quad (3.1)$$

Burada; ΔL_{fs} , kaynaktan gelen ile cephenin yüzeyindeki ses alanının ses basınç seviyesi farkı artı 6 dB olarak tanımlanır, yansıtıcı, düz bir cephe için 0 dB’dir.

$L_{1,2m}$, cephenin (bu araştırma için balkonun) 2 m önündeki, desibel cinsinden, ortalama ses basıncı seviyesidir;

$L_{1,s}$, cephe düzleminin dış yüzeyindeki, düzlemin yansıtma etkisi dahil edilmek üzere, desibel cinsinden, ortalama ses basıncı seviyesidir.

Seviye farkı cephe geometrisine, balkon tavanının yutuculuğuna ve kaynaktan gelen sesin yönüne bağlıdır (Şekil 3.19) [149]. Gelen sesin yönü, cephe düzleminde kaynaktan cephedeki alıcıya gelen görüş hattının yüksekliği ile karakterize edilir; ilgili kaynak konumu, en düşük yükseklikle sonuçlanan konumdur.



Şekil 3.19. Cephe şekli seviye farkı ile ilgili parametrelerin gösterimi [149]

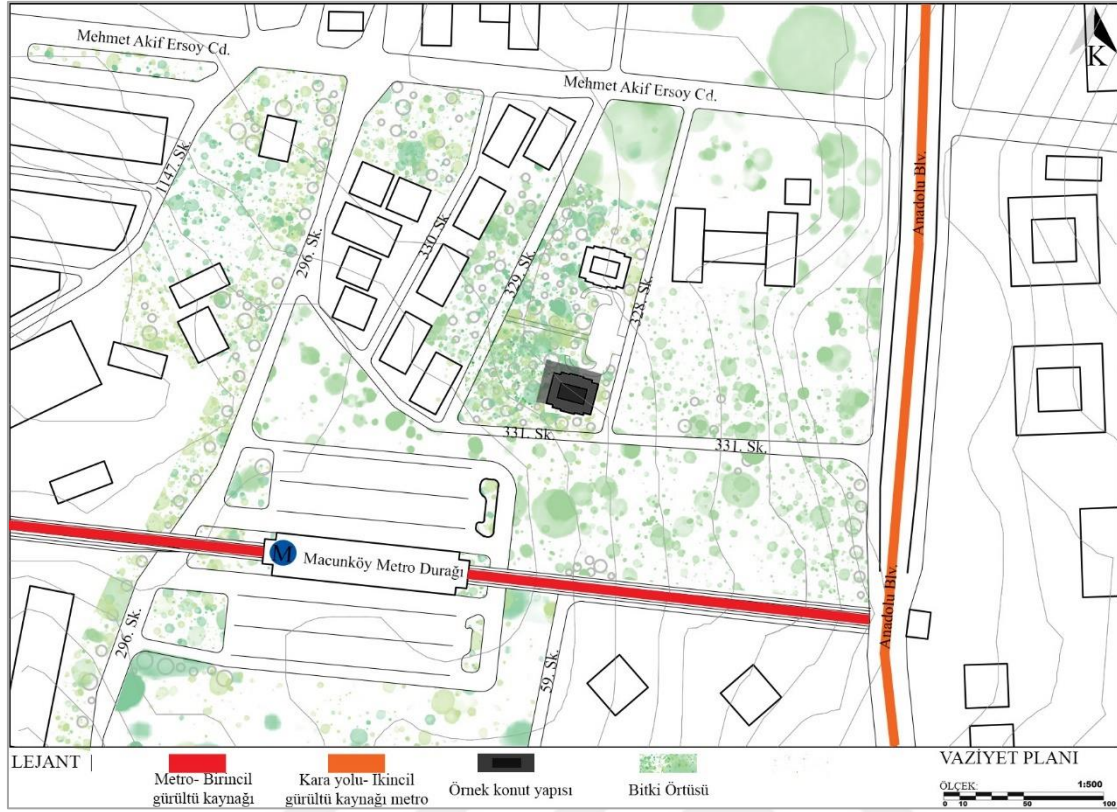


4. ÖRNEKLEM: ANKARA’DA METRO GÜRÜLTÜSÜNÜN HAKİM OLDUĞU YÜKSEK KATLI BİR KONUT BALKONU

Bu araştırma kapsamında, konut yapılarındaki balkon geometrilerinin metro (yerüstü raylı sistem) gürültüsü varlığında balkon alanı içinde gürültü seviyelerine etkileri incelenmiştir. Ana gürültü kaynağı ön cephesindeki metro gürültüsü olan ve doğu/yan cephesinde de yoğun kara yolu gürültüsünün hâkim olduğu bir konut binasının örnek bir dairesinde ve çevresinde belirlenen noktalarda yerinde ölçüm yöntemiyle gürültü seviyeleri tespit edilmiştir. Mevcut saha koşullarında elde edilen değerlerle akustik simülasyon programında hazırlanan örneklem modeli uyumlu hale getirildikten sonra balkon hacminde akustik koşulların iyileştirilmesi amacıyla farklı balkon geometrileri ve ses yutucu malzemenin farklı yüzeylere konumlandırılması ile öneriler geliştirilmiştir.

4.1. Örneklem Alanı ile İlgili Genel Bilgiler

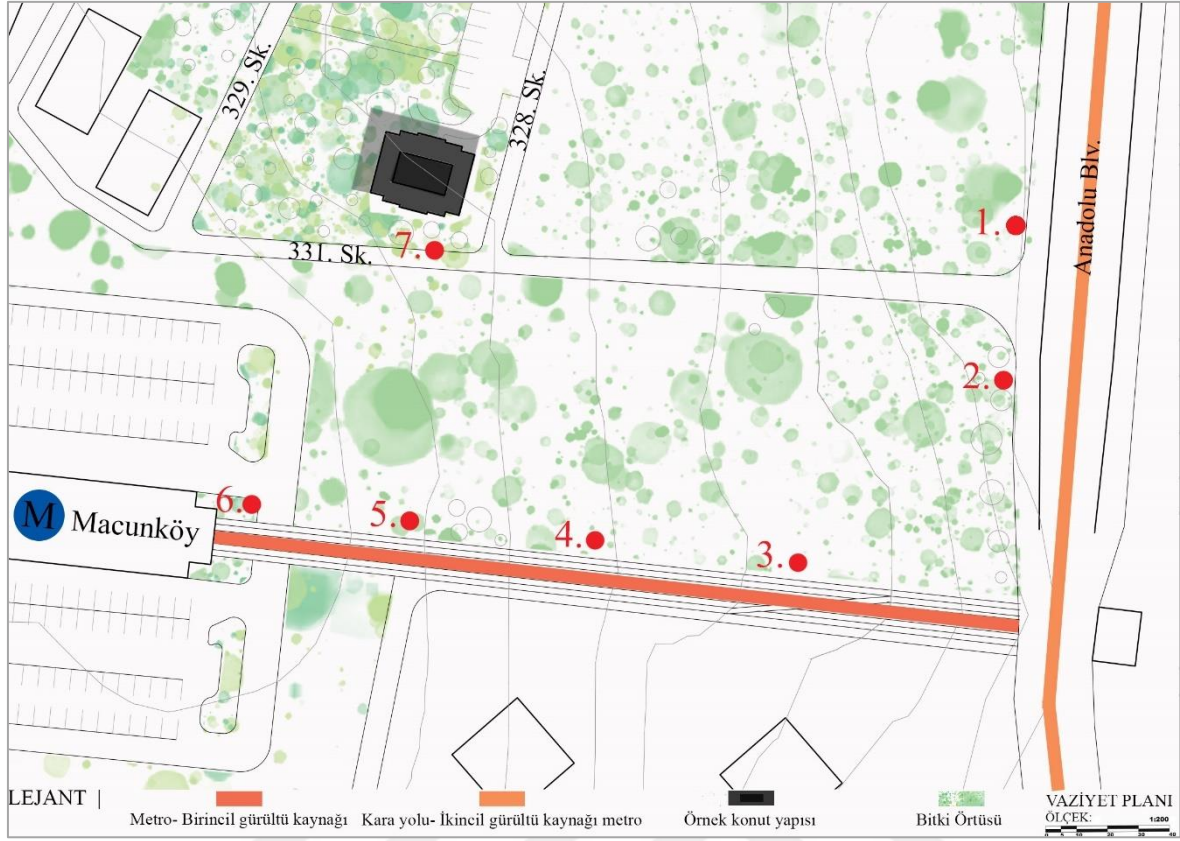
Tez kapsamında analiz edilecek site içerisindeki konut yapısı, Ankara’nın Yenimahalle ilçesinde Mehmet Akif Ersoy Mahallesi 328., 329. İle 331. Sokaklar arasındaki parselde yer almaktadır. Mahallede en yaygın bina türü konut yapılarıdır ve çoğunlukla yüksek katlı olarak inşa edilmişlerdir. Örneklem için seçilen konut binası, zemin kat dahil 15 kattan oluşmaktadır. Kat yüksekliği 2,8 m ve bina yüksekliği ise yaklaşık 42 m ‘dir. Binada ölçümlerin yapıldığı örnek daire, 11. Katta ve ulaşım yollarını doğrudan karşılayan şekilde binanın köşesindedir. Örneklemin arazi bilgilerine, ulaşım yollarına olan mesafesine ve araziye konumlanışına dair bilgilere Google Haritalar uygulamasından ulaşılmıştır (Harita 4.1). Bina, Kızılay-Batıkent metro hattının Macunköy durağından yaklaşık 116 m uzaklıkta, rayların uzanışına göre yaklaşık 7° açıyla konumlanmıştır. Arazi topografisinden kaynaklı olarak viyadük ayakları üzerine yerleştirilen 3 rayın olduğu metro, doğu-batı hattında çalışır. Aynı zamanda bina, 8 şeritten oluşan yaklaşık 48 m genişliğindeki Anadolu Bulvarı’na yaklaşık 185 m mesafede ve yaklaşık 9° açıyla konumlanmıştır. Ulaşım yolları ile bina arasında herhangi bir engel bulunmamaktadır.



Harita 4.1. Örneklemen olduğu alanın 1:500 ölçekli vaziyet planı

4.2. Örneklem Alanındaki Gürültü Seviyelerinin Tespiti ve Analizi

Araştırma için seçilen konut yapısı büyük ulaşım yollarına komşu durumdadır. Örnek dairede ve binanın çevresinde maruz kalınan gürültünün tespiti için, bu ulaşım yollarının belirlenen noktalarında ISO 1996-2-2017 (TS ISO 1996-2-2020) standardına uygun olarak Reten Electronic RS 104 ses seviyesi ölçer ile yavaş modda (langs) eşdeğer sürekli ses seviyesi (L_{Aeq}) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. RS 104 gibi sınıf 2 bir ses seviyesi ölçerin ölçüm hassasiyeti standartta $\pm 1,5$ dB olarak belirtilmiştir [150]. 21 Mayıs 2021 tarihinde, sabah 07:45-10:15, öğleden sonra 15:00-17:30 ve akşam 19:00-20:30 saatlerinde yapılan ölçümlerde hava sıcaklığı 32 °C, nem %50, rüzgâr hızı, gün içerisinde anlık değişikliklere uğramakla beraber, 4 km/sa olarak rapor edilmiştir. Ölçüm saatleri, pandemi koşullarından dolayı metronun operasyon saatlerine (06:00-21:45) ve kara yolu trafiğinin yoğunluğuna göre belirlenmiştir. Ölçümlerde ses seviyesi ölçer zeminden 1,5 m yüksekliğinde, gürültü kaynaklarına doğru çevrilmiş şekilde ve Çizelge 4.1'de belirtildiği konum ve mesafelere göre yerleştirilmiştir (Harita 4.2).



Harita 4.2. Örneklem alanındaki yerinde ölçüm noktalarının 1:200 ölçekli vaziyet planında temsili gösterimleri

Çizelge 4.1. Ölçüm noktaları ve konumları

Ölçüm noktaları	Konum
1. nokta	Anadolu Bulvarı'ndan 331. Sk.'a dönüşün olduğu ayırımdan önce, 1. Şeritte yolun orta aksından 4,8 m mesafede konumlanmıştır.
2. nokta	Anadolu Bulvarı'ndan 331. Sk.'a dönüşün olduğu ayırımdan sonra, araç üst geçidinin bittiği noktada, 1. Şeritte yolun orta aksından 4,8 m mesafede konumlanmıştır.
3. nokta	Tren makasının olduğu noktada raylara 3 m mesafede konumlanmıştır.
4. nokta	Rayların, viyadük ayaklarına oturtulmadan önceki sınırdaki, raylara 3 m ve 3. Noktaya 41,2 m mesafede konumlandırılmıştır.
5. nokta	Örnek dairenin balkonunun yaklaşık olarak tam karşısında konumlandırılmıştır. Bu noktada raylar zemin seviyesinden +6,3 m kotundadır.
6. nokta	Trenlerin metro binasına girmeden önceki sınırdaki ve 5. Noktaya 46,7 m mesafede konumlandırılmıştır.
7. nokta	Örnek binanın önündeki kaldırımda, 5. Nokta ile aynı hizada olacak şekilde konumlandırılmıştır.

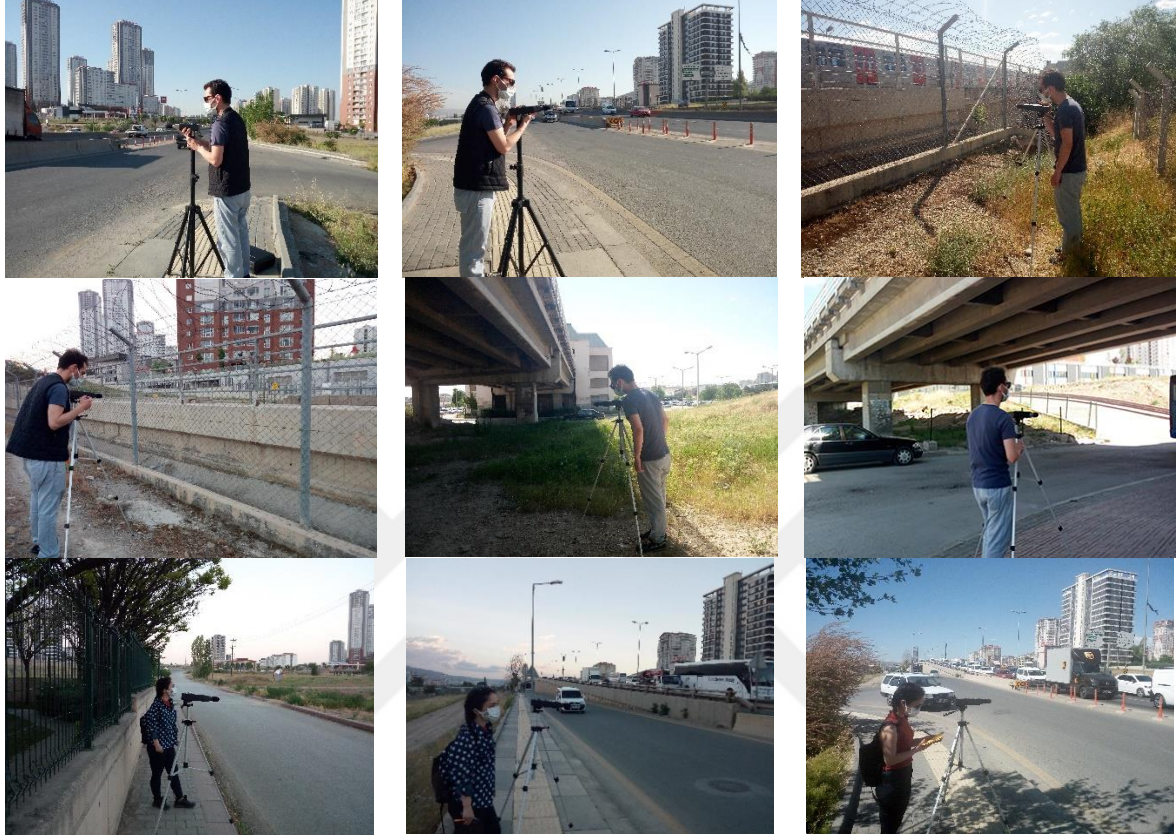
Örnek daire içerisinde de gürültü kaynaklarına doğru cephesi olan tüm hacimlerde ve balkonlarda, maruz kalınan çevresel gürültü seviyelerinin tespiti için yukarıda belirtilen zaman dilimlerinde ölçümler yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Örnek bina 11. kat planı; kırmızı ile işaretli alanlarda ölçümler yapılmıştır

Kara yolu kenarında belirlenen ölçüm noktalarında (1. ve 2. nokta), ölçüm yapılan tüm zaman aralıklarında, ses seviyesi ölçerde 5'er dakika süreyle her dakikada bir okuma yapılarak okunan eşdeğer sürekli ses seviyesi (L_{Aeq}) değerleri not alınmıştır. Elde edilen L_{Aeq} değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ölçüm yapılan noktalardaki gürültü seviyeleri belirlenmiştir. Metro hattından kaynaklı gürültünün tespiti için seçilen noktalardan (3., 4., 5. ve 6. nokta), Doğu (perondan ayrılan/giden tren) ve Batı (perona yaklaşan/gelen tren) hatlarının her birindeki 3'er tren geçişinde ses seviyesi ölçerde okunan L_{Aeq} değerleri not alınmıştır. Perona yaklaşan trenler ölçüm noktalarına daha yakın olduğu için tespit edilen gürültü seviyeleri perondan ayrılan trenlere göre daha fazladır, ancak yine de her bir nokta için elde edilen gürültü seviyeleri, okunan değerlerin aritmetik

ortalamasıdır. Örneklem binasının önünde bulunan yolun kaldırım seviyesinde 7. Ölçüm noktasında ölçülen gürültü seviyesi de 3-6. noktalarda yapıldığı gibi belirlenmiştir.



Resim 4.1. Örneklem alanındaki ölçümlerden fotoğraflar



Resim 4.2. Örnek dairedeki ölçümlerden fotoğraflar, sırayla a, b, c ve h noktası

Örnek dairede, metro hattına bakan hacimler a-e noktaları, kara yoluna bakan hacimler f-h noktaları olarak adlandırılmıştır. Arazi alanındaki ölçümlerle aynı şekilde kara yolu tarafındaki noktalarda tüm zaman aralıkları için 5'er dakika süreyle her dakikada bir ses

seviyesi ölçerle okunan eşdeğer sürekli ses seviyesi (L_{Aeq}) değerleri not alınmış ve alınan değerlerin aritmetik ortalaması nihai ölçüm sonucu olarak yazılmıştır. Metro hattı tarafındaki hacimlerde de aynı şekilde tren geçişlerinde alınan L_{Aeq} değerleri toplanarak aritmetik ortalamaları ölçüm sonucu olarak yazılmıştır. Ölçüm sonuçları ve arka plan gürültü değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Örnekleme alanında yapılan sabah (07:45-10:15), öğleden sonra (15:00-17:30) ve akşam (19:00-20:30) ölçüm sonuçları (L_{Aeq}) (1-7 noktaları, ulaşım yolları çevresindeki ölçüm noktaları; a-h noktaları, örnek dairede ölçüm yapılan hacimleri temsil etmektedir; h noktası*, balkon pencereleri kapalıyken balkonda alınan ölçüm değerleridir)

Ölçüm noktaları	Ölçüm sonuçları			Arka plan gürültüsü		
	Sabah	Öğleden sonra	Akşam	Sabah	Öğleden sonra	Akşam
1. nokta	79,6	76,2	76,8	-	-	-
2. nokta	83,4	75,8	78,0	-	-	-
3. nokta	67,8	70,7	70,0	53,7	47,2	52,8
4. nokta	66,5	67,7	68,7	48,6	48,1	49,9
5. nokta	68,3	68,0	68,5	43,7	45,3	45,0
6. nokta	68,7	68,2	69,3	44,5	45,2	48,8
7. nokta	55,3	55,2	55,7	47,3	45,1	50,5
a noktası	35,2	35,8	40,7	30’un altı	30’un altı	40
b noktası	60,8	61,2	61,3	55,0	55,1	54,5
c noktası	59,3	59,2	58,7	55,2	55,6	56,1
d noktası	42,8	42,7	42,3	33,3	33,4	34,8
e noktası	32,3	31,5	32,0	30’un altı	30’un altı	30’un altı
f noktası	31,2	30,8	31,0	30’un altı	30’un altı	30’un altı
g noktası	30,8	30,6	31,2	30’un altı	30’un altı	30’un altı
h noktası	59,8	59,6	55,2	47,3	45,1	50,5
h noktası*	39,6	39,4	40,2	30’un altı	30’un altı	30’un altı

Anadolu Bulvarı’ndaki ölçüm noktalarında, trafiğin akıcı olduğu sabah ölçümlerinde 2. Nokta, üst geçit bittiği ve yol şeritlerinin aynı kotta olduğu için ölçülen gürültü seviyesi 1. Noktadan yüksektir. Öğleden sonra yapılan ölçümlerde trafik durma noktasındayken akşam ölçümlerinde yavaş akan bir trafikte ölçümler gerçekleştirilmiştir, dolayısıyla gürültü seviyelerindeki düşüş trafik durumuna dayandırılmıştır. Örnek yapının önündeki 331. Sk.’da kaldırım seviyesindeki 7. Noktada, metrodansa araç geçişlerinden kaynaklı olarak kara yolu ana gürültü kaynağıdır. Anadolu Bulvarı’nda trafiğin yoğunlaştığı ve/veya durma noktasına geldiği saatlerde, özellikle sabah 8:00-11:00 ile öğleden sonra 15:00-

19:00 saatleri arasında, araçların alternatif olarak 331. Sk.'a saptığı gözlenmiştir. Bu noktadaki gürültü tipinin, araçların seyrek geçişlerinden kaynaklı olarak sürekli olan trafik gürültüsünden farklı olarak metro gürültüsüne benzediği gözlenmiştir. Kara yolu yanındaki 1., 2. Ve 7. Noktalardaki ölçülen gürültü seviyelerinin Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (ÇGDYY) mevcut yollar için verilen sınır değerler ile karşılaştırılması için $L_{gündüz}$ ve $L_{akşam}$ göstergeleri, ölçüm yapılan zaman dilimlerinden belirlenmiştir [3]. Göstergelerdeki zaman dilimleri, gündüz için 07:00-19:00 arasında 12 saat, akşam için ise 19:00-23:00 arasında 4 saattir. $L_{gündüz}$, gündüz zaman diliminin tamamı veya gündüz zaman dilimi içinde belli bir sürece göre belirlenmiş A ağırlıklı ses seviyesinin enerji ortalaması ve $L_{akşam}$, akşam zaman diliminin tamamı veya akşam zaman dilimi içinde belli bir sürece göre belirlenmiş A ağırlıklı ses seviyesinin enerji ortalamasıdır. Gündüz zaman dilimi içinde yapılan sabah ve öğleden sonra değerleri ISO 1996-2'de belirtildiği gibi "Eş. 4.1" kullanılarak $L_{gündüz}$ göstergesi elde edilmiştir. Akşam zaman diliminde tek ölçüm yapıldığından $L_{akşam}$ göstergesini elde etmek için ilave işlem yapılmamıştır. Ölçülen kara yolu gürültü seviyelerinin mevcut yollar için önerilen gürültü seviyelerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3).

$$Lk = 10 \lg \left(\frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} 10^{0,1L_i} \right) \quad (4.1)$$

Çizelge 4.3. Anadolu Bulvarı kenarındaki 1., 2. Ve 7. Noktalarda yapılan ölçüm sonuçlarının (L_{Aeq}) ÇGDYY'deki kara yolu çevresel gürültü sınır değerleri ile karşılaştırılması

Ölçüm noktaları	Mevcut yollar	
	$L_{gündüz}$ (dB(A))	$L_{akşam}$ (dB(A))
ÇGDYY Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak [3]	68	63
1. nokta	78,3	76,8
2. nokta	81,1	78,0
7. nokta	54,7	55,2

Macunköy metro hattı boyunca 3-6 noktalarında, metronun oluşturduğu gürültü seviyelerinin tespiti için ölçümler alınmıştır. Öte yandan, bulunan gürültü seviyelerinin standartlara uygunluğu bilinmemektedir çünkü ÇGDYY'de yerüstü raylı sistemlerinde platformlardan alınacak ölçümler için çevresel gürültü değerleri verilmiştir (yerüstü

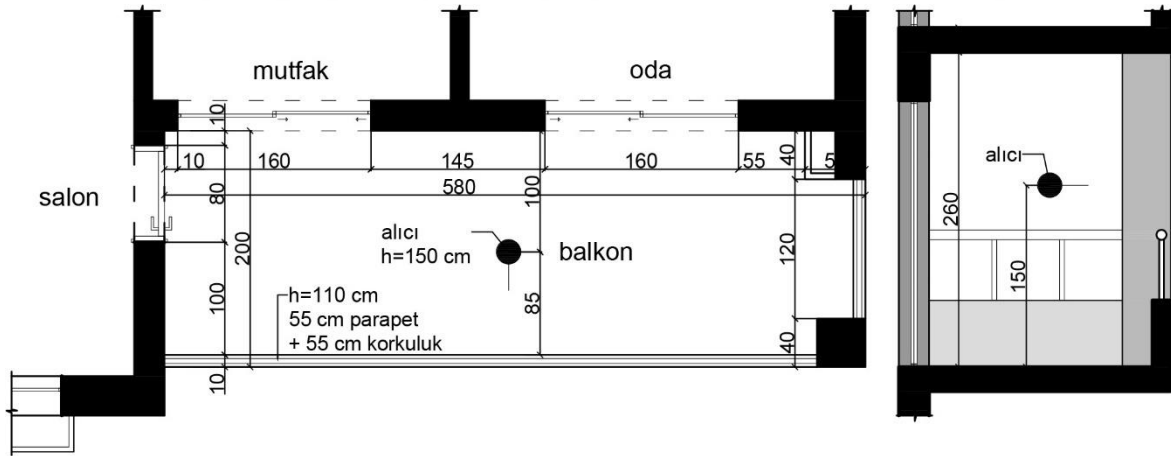
istasyonlarda platform kenarından 1,8m alınan ölçümlerdeki çevresel gürültü sınır değerleri (L_{eq}); duran ve kalkan trenler için 70 dB(A), geçen trenler için 75 dB(A), çalışır durumda bekleyen trenler için 65 dB(A) olmalıdır.) [3]. Ancak bu çalışmanın amacı, metro hattından kaynaklı gürültü seviyelerinin örnek konut balkon hacmindeki etkisinin ölçülmesi olduğundan metro binası içinden ölçüm alınmamış ve burada verilen sınır değerler ile elde edilen ölçüm sonuçları karşılaştırılmamıştır. Metro hattında elde edilen ölçüm sonuçları, Toprak (2002)'ın çalışmasında 72-90 dB(A) olarak belirtilen yüzeydeki şehir içi raylı taşıma sistemlerinden 15 km uzaklıktaki gürültü seviyeleri ile karşılaştırıldığında belirtilen seviyelerin altında kaldığı görülmüştür [151].

Çizelge 4.4. Metro hattı boyunca 3.-6. noktalarında yapılan ölçüm sonuçlarının (L_{Aeq}) yüzeydeki raylı taşıma sistemlerinin 15 km uzaklıktaki gürültü seviyeleri ile karşılaştırılması

Ölçüm noktaları	Mevcut yollar	
	$L_{gündüz}$ (dB(A))	$L_{akşam}$ (dB(A))
Yüzeydeki raylı taşıma sistemlerinden 15 km uzaklıktaki gürültü seviyeleri [151]	72-90	72-90
3. nokta	69,5	70,0
4. nokta	67,1	68,7
5. nokta	68,2	68,5
6. nokta	69,0	69,3

Konutlar yapı ölçeğinde gürültüye karşı 1. dereceden hassastır [148]. Konut hacimleri içinde ise yatak odaları 1., yaşam alanları 2. ve mutfaklar 3. derecede hassasiyete sahiptir. Konut hacimlerinde hiçbir faaliyet olmadıgındaki iç ortam gürültü seviyesi (L_{eq}) sınır değerleri yönetmelikte; yatak odalarında pencere kapalıyken 35 dB(A), pencere açıkken 45 dB(A), oturma odalarında pencere kapalıyken 45 dB(A), pencere açıkken 55 dB(A) olarak belirlenmiştir [3]. Konut biriminin iç mekanlarındaki ölçüm sonuçlarına göre oturma odası olan a noktası ve yatak odaları olan e, f, g noktaları, pencere kapalıyken önerilen sınır iç ortam gürültü seviyelerini sağlamaktadır. Balkonlar ve Fransız balkondaki (b, c ve h noktası) ölçüm sonuçlarına cepheden oluşabilecek yansımaların etkisini hesaba katmak için standarta uygun olarak -3 dB(A) seviyesinde düzeltme uygulanmıştır [150]. Sadece metro hattına doğrudan cephesi olan Fransız balkonda (b noktası) mekânsal olarak bir işlev tanımlanmazken ölçülen gürültü seviyelerinin cephede balkona (c noktası) göre daha önde ve gürültü kaynağına daha yakın olmasından dolayı yüksek bulunduğu düşünülmektedir.

Ön cephesinde metro ve doğu/yan cephesinde de kara yolu kaynaklı gürültünün hâkim olduğu balkon hacmine (c noktası), a, d ve e noktalarından erişim sağlanabilmekle beraber d ve e noktalarının havalandırma amacıyla kullanılacak tek kapı/pencere açıklıkları bu balkona açılmaktadır. Bu durumda, standartlardaki açık pencere için sınır değerlerin üstünde bir gürültüye maruz kalınmaktadır. Ayrıca bu sonuçlar, önceki bölümlerde bahsedildiği gibi maruz kalınan tüm gün gürültü seviyeleri (L_{gag}) için Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği, kara yolu gürültüsü için 53 dB ve demir yolu gürültüsü için 54 dB olan, limit değerlerin de üzerindedir. Bu doğrultuda, akustik koşullarının iyileştirmesi amacıyla, c noktası olarak tanımlanan, 2 m derinliğinde ve yaklaşık 6 m genişliğinde, arka duvarında 1,6x2,2 m boyutlarında 2 adet sürgülü cam kapı ve oturma alanına (a noktası) komşu olan yan duvarında 0,8x2,2 m kanatlı cam kapı olan gömme tip balkon hacmi için öneriler geliştirilecektir (Şekil 4.2). Kara yolu gürültüsünün hâkim olduğu yatak odası balkonu (h noktası) etkin kullanım için standartlara göre genişliği yetersizdir. Buna rağmen, tam boy cam panellerin olduğu bu balkonun, istenilen durumlarda (h noktası*), hem kendi hacmi içerisinde hem de komşu olduğu yatak odasındaki gürültü seviyesinin azalmasında etkili olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Ölçümlerin yapıldığı ve önerilerin geliştirileceği tip balkon plan ve kesiti

4.3. Örneklemin Simülasyon Programıyla Analizi

4.3.1. Mevcut durumun simülasyon yöntemiyle analizi

Simülasyonu yapılan örneklem alanının akustik performansının yerinde ölçüm sonuçlarıyla uyumlu hale getirilmesi

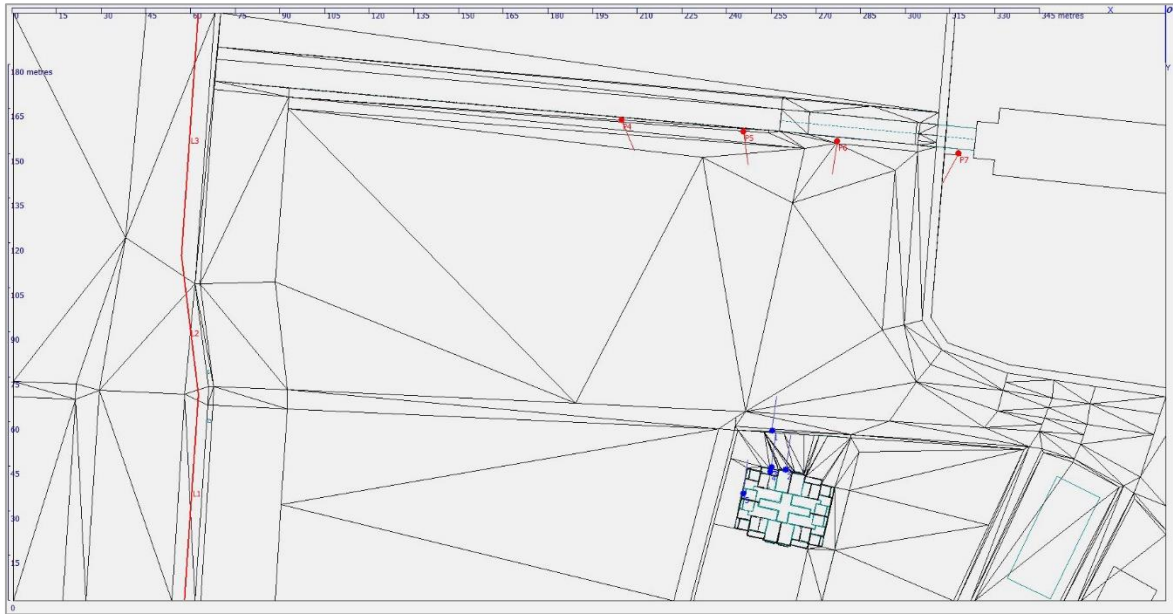
Yerinde yapılan ölçümlerden sonra örneklem alanının basitleştirilmiş 3 boyutlu modeli, topoğrafyaya dair bilgilerin de alındığı, Sketchup Pro 2021 programıyla hazırlanmış olup SU2Odeon eklentisi ile akustik simülasyonların yapılması için Odeon (v.15.16) programına aktarılmıştır. Örneklem alanındaki yüzeylerin malzemelerini temsil eden ve aynı zamanda, simülasyon sonucunda elde edilen değerlerin ölçülen değerlere göre kabul edilebilir bir uyumunu sağlayan ses yutuculuk ve saçılım katsayıları literatüre göre belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Odeon yazılımı, saçılım katsayısını 707 Hz için tek bir sayı olarak tanımlar [152]. Odeon programında akustik simülasyonların gerçekleşmesi için analizi yapılan geometrinin kapalı bir hacim olması gerektiğinden ve hesaplamaların kolaylaştırılması amacıyla örneklem alanı, gürültü kaynakları ve örnek konut yapısını içine alacak şekilde 380x200x65 m boyutlarında bir kutu ile sınırlandırılmış ve bu kutuya da hava özelliği tanımlanmıştır.

Çizelge 4.5. Modelin yerinde ölçüm değerlerine göre kalibrasyonu için yüzeylere verilen malzemelerin ses yutuculuk ve saçılım katsayısı

Malzeme açıklamaları	Yutuculuk katsayısı	Saçılım katsayısı
Hava [153]	1,00	-
Asfalt [154]	0,10	0,10
Kaldırım [153]	0,35	0,20
Toprak (%20 bitki örtüsü) [112]	0,85	-
Toprak (%80 bitki örtüsü) [112]	0,85	-
Cam (pencereler ve cam parapet) [152]	0,05	-
Bina cepheleri ve balkon parapetleri [154]	0,30	0,1
Balkon korkulukları (%100 transparan) [97]	0,00	-
Balkon zemin ve tavan (%100 yansıtıcı) [152]	0,00	-

Modelde kullanılan kaynakların gürültü seviyeleri, yerinde ölçüm sonuçlarından “Eş. 4.2” kullanılarak belirlenmiştir (L_{gece} değeri olmadan, 16 saatlik dilimdeki A ağırlıklı ses seviyesi belirlenmiştir.). Metro, yukarıda da bahsedildiği gibi çizgisel bir gürültü kaynağıdır. Ancak ölçümlerin yapıldığı metro hattının viyadük olarak inşa edilmesi düz bir hat boyunca metro seviyesinde ölçüm yapılmasına izin vermemiştir ve ölçüm noktalarından bazılarının (5. ve 6. nokta) viyadüğün altında kalmıştır. Akustik simülasyonlar için kullanılan Odeon programında ise metro gürültüsünü temsilen yerleştirilecek çizgi kaynaktaki gürültü dağılımı, yerinde ölçüm sonuçlarında gözlemlendiği gibi, polinomsal olarak tanımlanamamaktadır. Bu sebeplerle modelde tanımlanan metro gürültüsü, ölçüm yapılan noktalarla aynı konumda olacak şekilde 4 ayrı nokta kaynak olarak tanımlanmıştır. Kara yolu gürültüsü ise örnek binaya en yakın yol şeridinin ortası boyunca, zeminden 0,5 m yükseklikte çizgisel kaynak olarak modellenmiştir. Gürültü kaynakları ve alıcılar, Şekil 4.3’te gösterildiği gibi yerinde ölçüm noktalarıyla birebir uyumlu şekilde konumlandırılmıştır.

$$L_{gag} = 10 \lg \frac{1}{24} \left[12 \times 10^{\frac{L_{gündüz}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{akşam+5}}{10}} + 12 \times 10^{\frac{L_{gece+10}}{10}} \right] \quad (4.2)$$

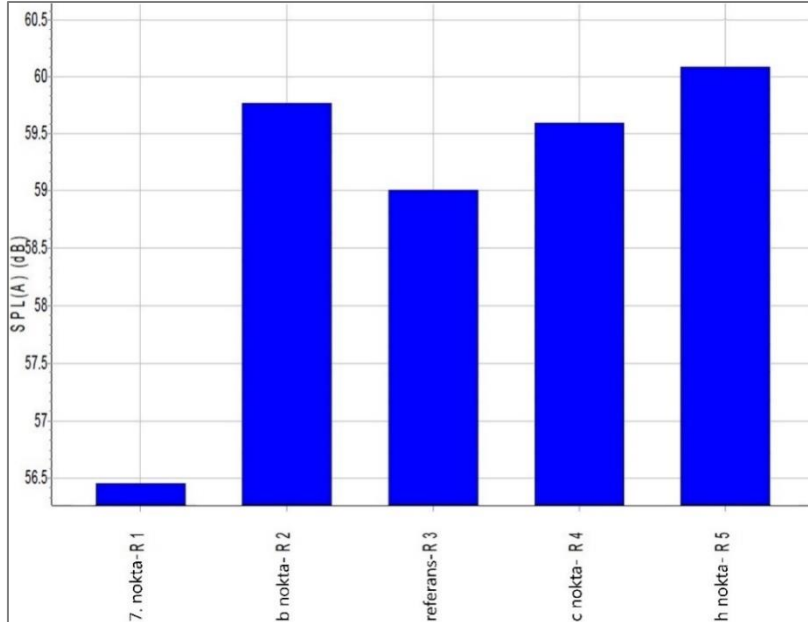


Şekil 4.3. Örneklem alanının simülasyon programındaki kaynak ve alıcı konumları

Çizelge 4.6. Modelde kullanılan kaynak tipleri ve gürültü seviyeleri

Kaynak tipi ve temsil ettiği yerinde ölçüm noktası	Gürültü seviyesi (dB(A))
L1, L2, L3 çizgisel kaynağı; 1. ve 2. nokta	80,7
P4 noktasal kaynağı; 3. nokta	71,6
P5 noktasal kaynağı; 4. nokta	69,9
P6 noktasal kaynağı; 5. nokta	70,2
P7 noktasal kaynağı; 6. nokta	71,0

Model ile yerinde ölçüm değerlerinin uyumlu hale getirilmesi için son olarak örnek bina önü kaldırım seviyesi (7. Nokta- R1), Fransız balkon (b noktası- R2), metro hattına bakan balkon (c noktası- R4), doğu/yan cephesindeki balkon (h noktası- R5) hacimlerine ve yerinde yapılan ölçümlerden farklı olarak referans bir değer olması için metro hattına bakan balkon önüne (referans- R3) birer alıcı yerleştirilmiştir. Simülasyon hesaplaması hassas ayarda (precision) gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4’de verilen simülasyon sonuçlarına göre bu alıcı noktalarında elde edilen gürültü seviyeleri, yerinde ölçülen gürültü seviyeleriyle karşılaştırılmış ve sonuçların kabul edilebilir bir aralıkta uyumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 4.7).

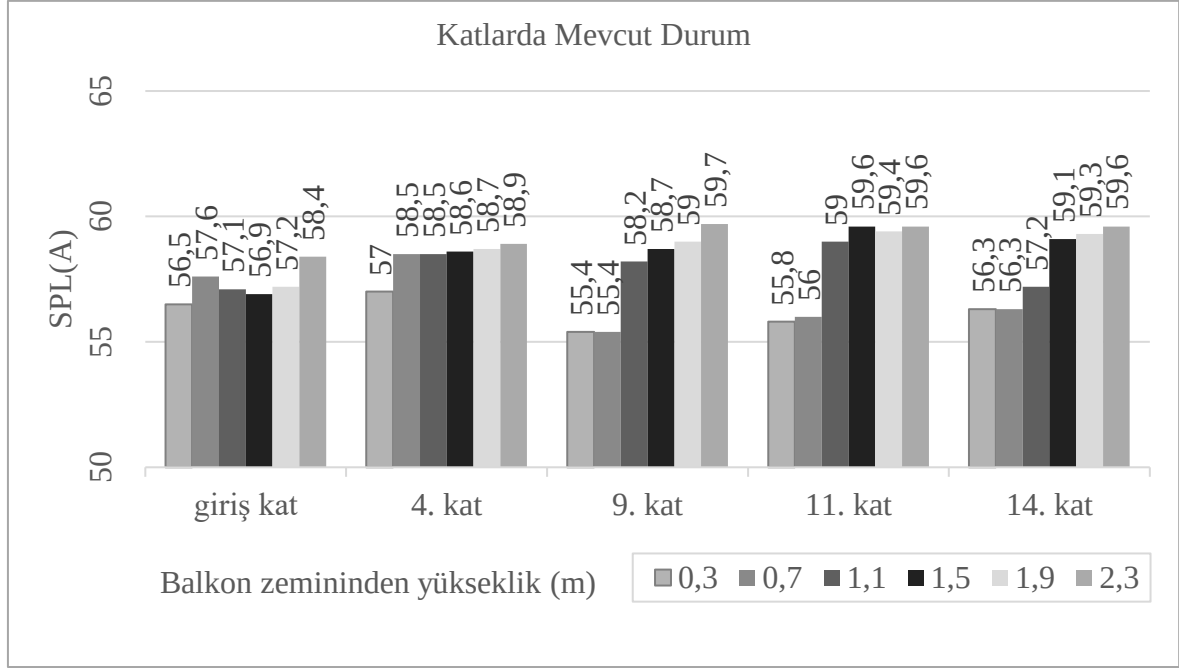


Şekil 4.4. Simülasyon programındaki alıcı noktalarında A ağırlıklı ses basınç seviyeleri

Çizelge 4.7. Belirlenen alıcı noktalarındaki yerinde ve simülasyon yöntemiyle ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Alıcı noktaları	Ölçüm sonuçları			Simülasyon sonuçları
	Sabah	Öğleden Sonra	Akşam	
7. nokta- R1	55,3	55,2	55,7	56,4
b noktası- R2	60,8	61,2	61,3	59,8
referans- R3	-	-	-	59,0
c noktası- R4	59,3	59,2	58,7	59,6
h noktası- R5	59,8	59,6	55,2	60,1

Yerinde ölçüm yöntemiyle sadece 11. katta veriler alınsa dahi simülasyon programının yardımıyla farklı kat seviyelerinde, mevcut durumun ve geliştirilen önerilerin akustik performansları gözlenebilir. Bu amaçla, gerekli olan hesaplama gücü ve zaman sınırlamalarından dolayı her kata değil ama giriş, 4., 9., 11. (örnek daire), 14. katlara, her katta ilki balkon zemininden 0,3 m yukarıda olmak üzere 0,4'er m aralıklı yerleştirilen 6 alıcı ile sadece 11. katta balkon önünden 1 m ileride ve balkon zeminden 1,5 m yukarıda bir adet referans alıcı olmak üzere, toplam 31 alıcı yerleştirilmiştir. Örnek konut yapısı balkonlarında hesaplanan mevcut durum SPL(A) seviyeleri Şekil 4.5. 'deki gibidir. Katlarda zeminden yukarıya çıkıldıkça gürültü seviyelerinin arttığı fakat katlar arasında maruz kalınan gürültü seviyeleri arasında önceki araştırmalarda bulunan gibi [137] dramatik bir farkın oluşmadığı gözlenmiştir. Bunun, örneklem alanındaki yapıli çevrenin koşullarından kaynaklandığı özellikle balkon yüzeyleri dışında yansıyarak ve saçılarak ses enerjisini arttırabilecek binalara uzak olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak uzaklığının, eğimli arazinin bariyer etkisi göstermesinin ve örnek binanın bahçesindeki ağaçların, yapının alt katlarında hesaplanan SPL(A) değerlerinin düşük olmasına sebep olmuştur. Balkon bariyerinin balkon döşemesine yakın alıcı noktalarında akustik gölge oluşturduğu, ancak alıcının kaynağı gördüğü, doğrudan ve tavandan yansıyan ses enerjisinin hâkim olduğu alıcı noktalarında yine literatüre paralel olarak SPL(A)'da artış görülmüştür [97,98,100].



Şekil 4.5. Balkon alanındaki farklı alıcı noktalarında hesaplanan SPL(A) değerleri

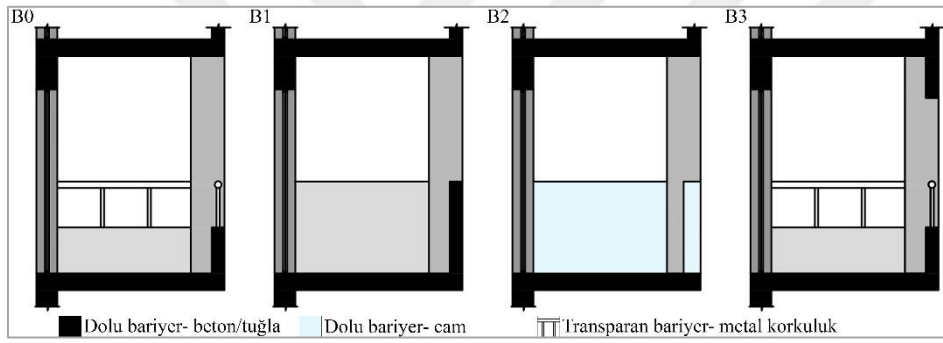
4.3.2. Balkonun akustik performansının artırılması amacıyla geliştirilen öneriler

Bu bölümde, balkon hacimlerinin akustik kalitesini arttırmak ve gürültü karşısında balkon geometrilerinin ses bariyeri olarak etkisini araştırmak amacıyla balkonun akustik performansını etkileyen kriterler dikkate alınarak tasarım önerileri geliştirilmiştir. Mevcut balkon tasarımının (Şekil 4.2) sınırlarına uygun olarak seçilen önerilerle kaynaklardan yayılan gürültünün, balkon alanındaki alıcılardan uzağa yönlendirilmesini hedeflenmiştir. Önerilerin akustik performansları, simülasyon programı yardımıyla elde edilen A ağırlıklı ses basınç seviyelerinin (SPL(A)), mevcut durum ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir (Bölüm 4.3.3'te detaylı anlatılmıştır.). Performans değerleri ayrıca, tüm gün maruz kalındığında insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerin görüldüğü sınır gürültü seviyelerine göre yorumlanmıştır. DSÖ'nün gürültü kaynaklı rahatsızlıkla ilişkilendirdiği sınır değerler, kara yolu için 53 dB(A) ve demir yolu için 54 dB(A)'dır [33]. Bu önerilerin etkinliği, kaynak konumları ve tipi, alıcı konumları, ölçüm yöntemlerine, balkon geometrilerine, malzeme tercihinine, özetle örnek çalışmanın özel durumuna göre değişiklik gösterebilmektedir.

Aşağıda önerilen her bir tasarım adımı, sınıflandırıldığı grup kodlarıyla beraber açıklanmıştır.

Balkon bariyeri (B)

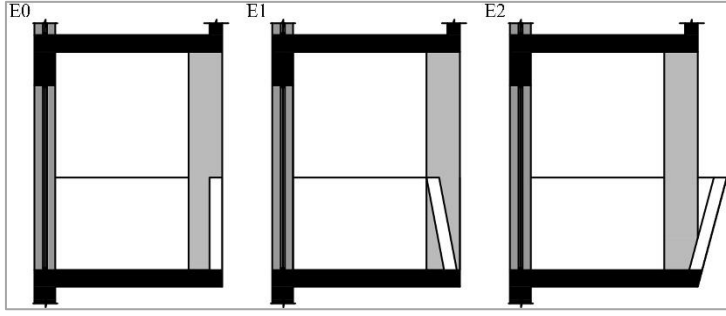
Bu tasarım adımında, balkon içindeki alıcıya doğrudan gelen ses dalgalarının balkon kenarlarındaki bariyerler sayesinde kırılmaya uğrayarak zayıflatılması ve alıcı noktalarının akustik gölge bölgelerinin arttırılması hedeflenir. Mevcut balkon bariyeri 1,10 m yüksekliğinde, 0,55 m beton parapet üzerine 0,55 m alüminyum korkuluk biçiminde tasarlanmıştır ancak korkulukların gürültü karşısında tamamen geçirgen olduğu bilinmektedir [97]. Alıcıdaki gürültü seviyelerinin azaltılması doğrultusunda, mevcut bariyer tasarımına (B0) alternatif olarak 1,10 m yüksekliğinde beton/tuğla (B1), cam (B2) parapetler ve balkon tavanından yansıyan ses dalgalarının engellenmesi için de tavandan 0,50 m sarkan kiriş (B3) önerilmiştir.



Şekil 4.6. Balkon bariyer alternatifleri; B0: referans tasarım- örnek balkon parapeti , B1: 1,10 m beton/tuğla parapet, B2: 1,10 m cam parapet, B3: 0,5 m kiriş

Bariyer eğimi (E)

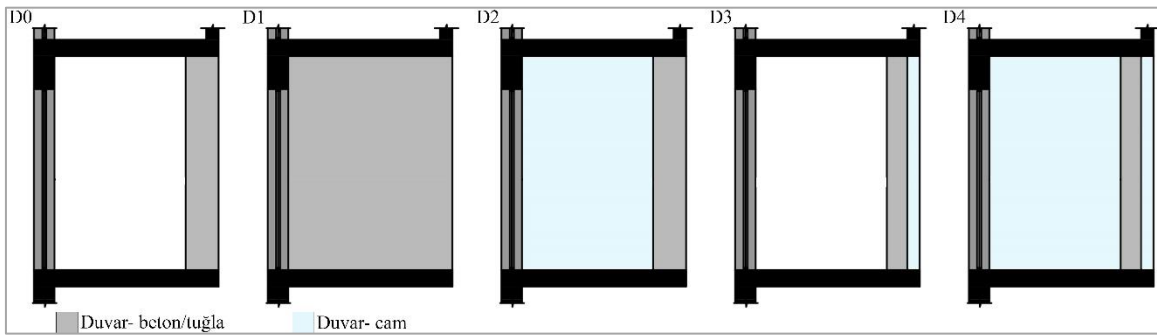
Bu adımda, balkon bariyerinin zemine dik olduğu (E0) duruma 2 alternatif önerilmiştir. İlki bariyerin içe (balkon alanına) doğru 15° eğimle tasarlandığı (E1) versiyondur. Balkon bariyerinin içe doğru eğilmesinde amaç, yansıyan ses dalgalarının açısını arttırarak balkon alanına girmeden dış ortama yönlendirmektir [105,127]. İkincisi bariyerin dışa doğru 15° eğimle tasarlandığı (E2) versiyondur. Dışa eğim verilmesiyle balkon içindeki akustik gölge bölgelerinin arttırılması, yansıyan ve saçılan ses dalgalarının akustik alana katkısının azaltılması amaçlanır [101].



Şekil 4.7. Bariyer eğim alternatifleri; E0: 0° -döşemeye dik, E1: içe doğru 15° eğimli, E2: dışa doğru 15° eğimli

Balkon duvarı (D)

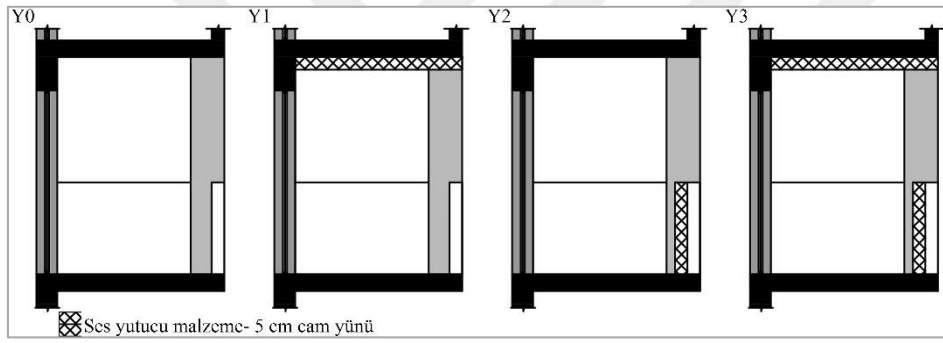
Bu tasarım adımında, estetik ve manzaradan taviz vermeyecek şekilde, kaynakla alıcının birbirine göre konumuna uygun yerleştirilen tavana kadar tam boy duvarlar sayesinde doğrudan gelen ses dalgalarının engellenmesi hedeflenir. Duvarın olmadığı referans durum D0 olarak tanımlanmıştır. Balkonun doğu/yan cephesinde, kara yolu gürültü kaynağının örnek balkona göre yaklaşık 90° açıyla konumlandığı cephede, beton/tuğla duvar tasarımı D1 ve aynı cepheye tam boy camekan tasarımı D2 şeklinde tanımlanmıştır. Metro hattına bakan güney/ön cephede, doğal aydınlatma ve manzaranın kapanmaması için önerilen tam boy camekan tasarımı D3, her iki cepheye de camekan tasarımı D4 olarak kodlanmıştır.



Şekil 4.8. Balkon duvarı alternatifleri; D0: referans tasarım- duvar yokken, D1: yan cephe beton/tuğla duvar, D2: yan cephede cam duvar, D3: ön cephede cam duvar, D4: her iki cephede cam duvar

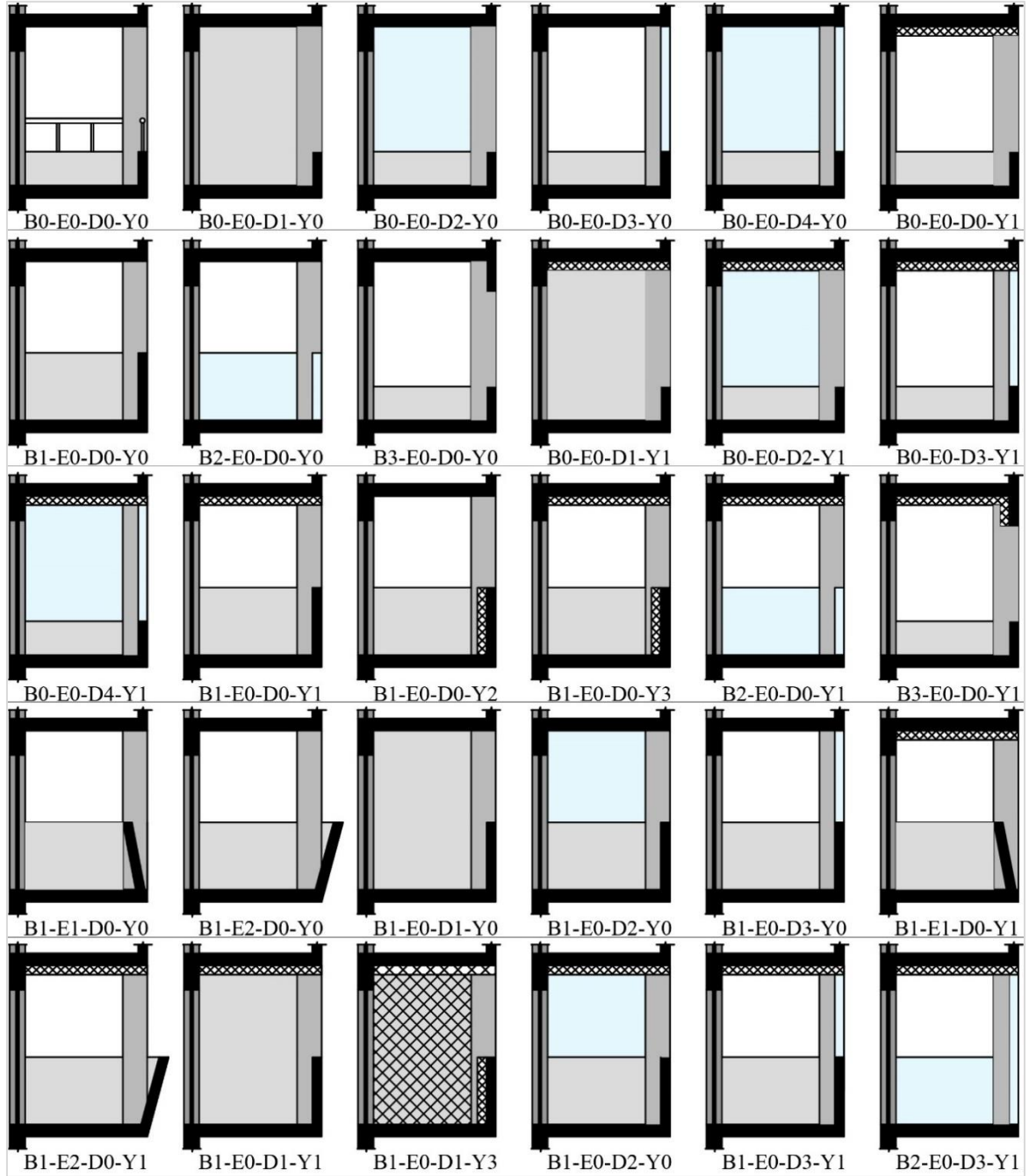
Yutucu malzeme (Y)

Ses dalgaları, yansıtıcı özellikteki sahip balkon tavan, döşeme kaplaması gibi rijid yüzeylerinden yansımaya uğrayarak balkon alanına giren ses enerjisini artırma eğilimindedir [97,98,103,124]. Yansımaların etkisini azaltmak amacıyla bu adımda, referans tasarımın (Y0) sadece tavanına yutucu malzeme uygulandığı (Y1), sadece beton/tuğla parapete yutucu malzeme uygulandığı (Y2) ve hem tavana hem parapete yutucu malzeme uygulandığı (Y3) tasarım önerileri geliştirilmiştir (Şekil 4.9). Tam boy beton/tuğla duvar-D1 ile Y3 tasarımının beraber denendiği öneride yutucu malzeme duvar boyunca uygulanmaktadır. Yüzeylere uygulanan 5 cm kalınlığındaki cam yününün yutuculuk katsayısı $\alpha = 0,75$ 'tir [112].



Şekil 4.9. Yutucu malzeme uygulanan yüzey alternatifleri; Y0: referans tasarım- yutucu malzeme yokken, Y1: sadece tavana, Y2: sadece parapete, Y3: hem tavana hem parapete

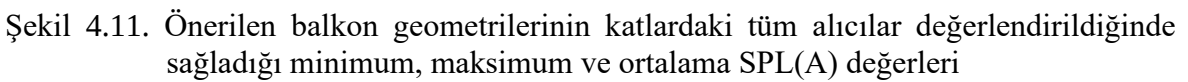
Bu olası adımlarının farklı kombinasyonlarla bir araya getirildiği 29 farklı öneri, tüm katlarda örnek tip balkonuna uygulanmıştır ve balkon alanında sağladıkları SPL(A) azalmaları mevcut durum sonuçları referans alınarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4.9). Buna ilave olarak, her bir balkon tasarımının dış mekân gürültü seviyelerini azaltmadaki etkisi örnek dairenin (11. kat) parapetinden 1 m ileriye yerleştirilen referans alıcı konumlarındaki SPL(A) değerleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Akustik performansı araştırılan balkon geometrileri, geometrilerin sınıflandırıldığı kodlarla beraber Şekil 4.10'da verilmiştir. Balkon korkuluğunun referans tasarım B0-E0-D0-Y0 dışında grafiksel gösterimi yapılmamıştır ancak bariyer yüksekliği tüm tasarımlarda 1,10 m'dir.

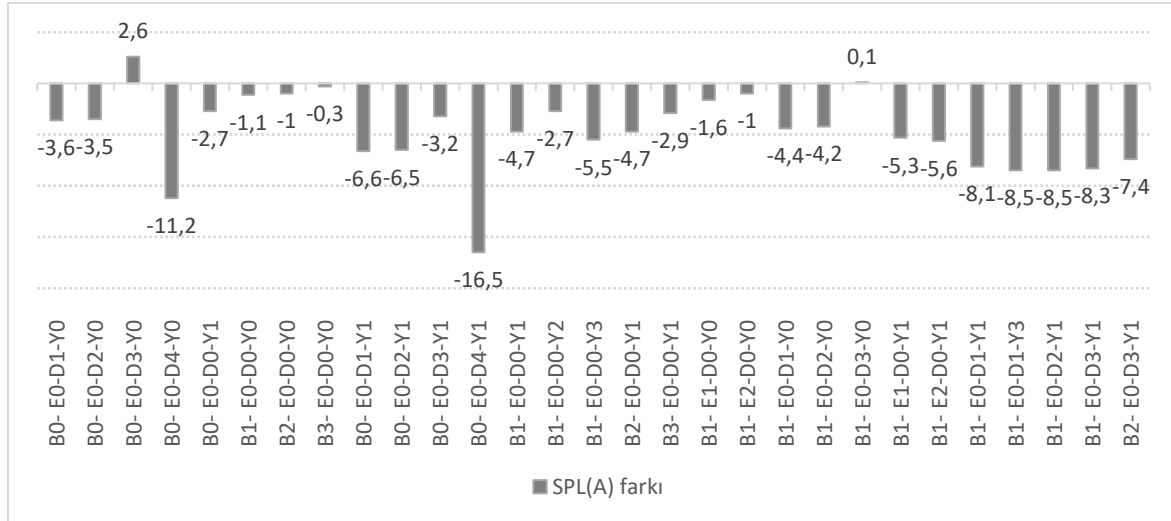


Şekil 4.10. Balkon alanının akustik kalitesini arttırmak için önerilen geometri alternatifleri

4.3.3. Önerilen balkon geometrilerinin akustik performans analizleri

Konut yapısının katlarında balkon zeminine göre 6 farklı seviyede 31 alıcı yerleştirilmiştir. İncelenen her bir alternatifin etkisi, alıcılarda ölçülen A ağırlıklı ses basıncı seviyesindeki (SPL(A)) azalma veya artışlar karşılaştırılarak analiz edilmiştir.





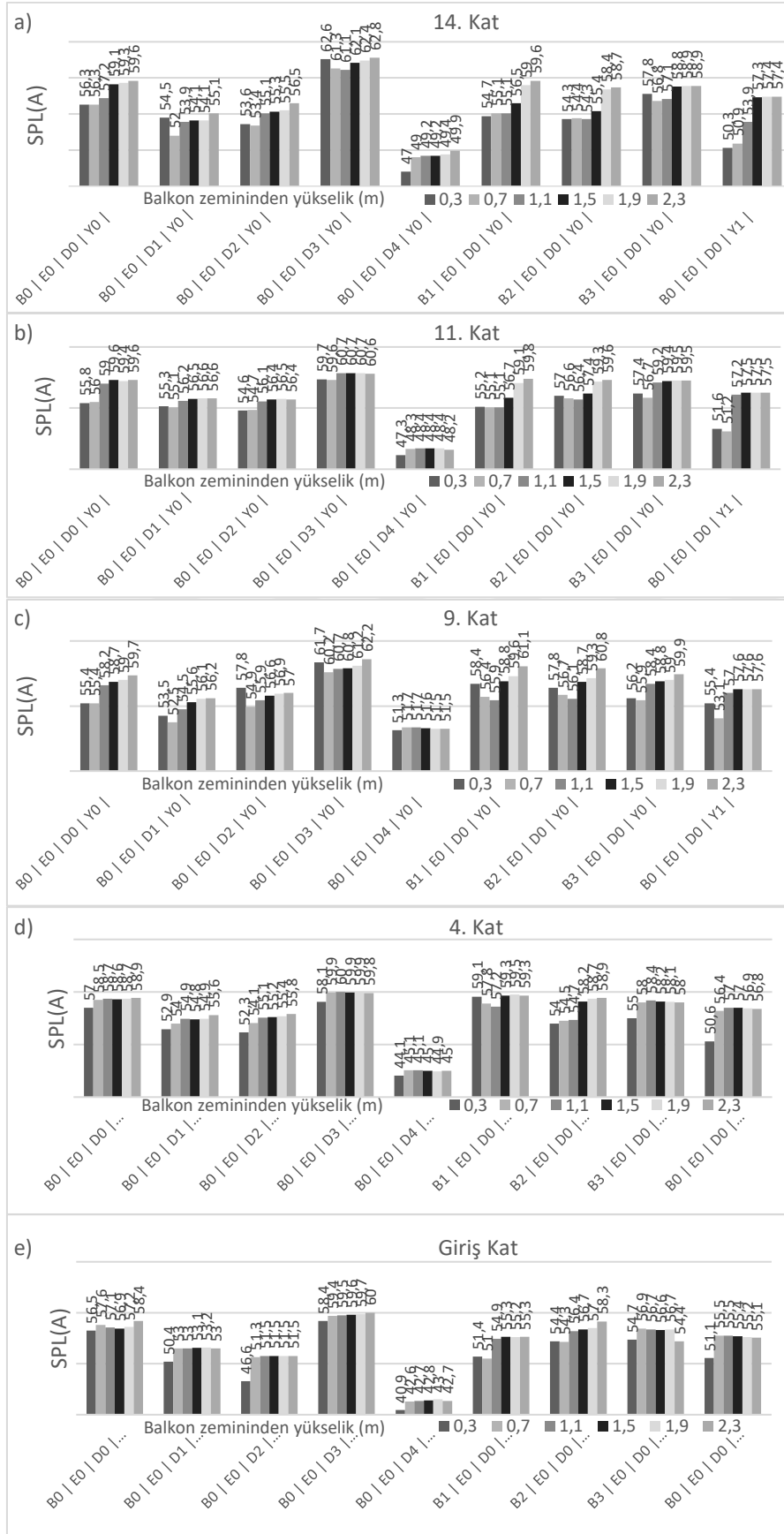
Şekil 4.12. Balkon alternatiflerinde ölçülen ortalama SPL(A) değerlerinin B0-E0-D0-Y0 referans balkonuyla arasındaki fark

Simülasyon sonucunda mevcut tasarıma alternatif olarak önerilen balkonların, katlarda balkon alanının orta noktasına yerleştirilmiş alıcılarda ölçülen en düşük, en yüksek ve ortalama SPL(A) değerleri Şekil 4.10'da ve örnek balkonun mevcut tasarımı B0-E0-D0-Y0 ile önerilen balkon alternatiflerinin ortalama SPL(A) değerleri arasındaki fark Şekil 4.11'de verilmiştir.

İncelenen balkon geometrileri ve malzemeleri arasında, gürültü kaynağının konumları itibariyle tasarlanan her iki cephede tam boy duvar (D4) adımının dahil edildiği alternatifler en yüksek gürültü azalmasını sağlamıştır. Balkondan tavanından yansıyan ses birleşenlerinin etkisini azalmak için eklenen 0,5 m kiriş (B3), literatürle uyumlu şekilde [138], diğer alternatiflere kıyasla ihmal edilebilir bir etki göstermiştir. Bununla beraber D3 adımı, balkon yüzeylerinin rijid olduğu alternatiflerde balkon alanındaki gürültü seviyelerinin artmasına sebep olmuştur. Genel sonuçlar ilerideki bölümlerde daha detaylı irdelenecektir.

Balkon elemanlarındaki tekil geometri ve malzeme değişikliklerinin analizi

Örnek konut balkonunun referans alındığı araştırmada, balkon elemanlarının sadece birinde yapılacak değişikliğin katlardaki ve balkon zemininden farklı yükseklikte konumlanan alıcılardaki etkisi detaylı incelenmiştir.



Şekil 4.13. Referans tasarıma göre tek bir geometri ve malzemelerinde değişim yapılan balkon alternatiflerinin katlara göre performansları

Bu analizle, balkon geometrisinde tercih edilen her bir elemanın sağladığı etkiyi araştırmak ve bu elemanların birlikte kullanıldığı alternatifler incelenirken yüzeylerde tercih edilen cam, beton gibi yansıtıcı ve cam yünü gibi yutucu malzemelerin akustik katkısının belirlenmesi hedeflenmiştir.

B0-E0-D0-Y0 balkonu, ölçüm yapılan tüm katlarda, ortalama aynı SPL(A) değerini vermiştir. 0,55 m yüksekliğindeki parapetin giriş ve 4. Katta balkon zeminine yakın seviyelerde dahi gölgeleme sağlamadığı, üst katlarda ise yükseklik açısının artmasıyla parapet kenarlarından kırılan ses dalgalarının zemine yakın (0,3-0,7 m ve 14. Katta 1,1 m) seviyelerde etkisinin azaldığı görülmüştür.

B0-E0-D1-Y0 önerisiyle tam boy duvar ile kara yolu gürültüsünün balkon alanındaki etkisi azaltılmak istenmiştir. Referans duruma göre, katlarda ortalama SPL 2-4,5 dB(A) arasında düşüş göstermiştir. Bu tasarımla tüm alıcı noktalarında gürültü seviyeleri azalırken balkon içinde homojen bir akustik alan olduğu gözlenmiştir. Parapet seviyesinin üstündeki alıcı noktalarında elde edilen neredeyse sabit gürültü değerlerinin balkon tavanından yansıyan ses bileşenlerinin azaltılmasından kaynaklı olduğu sonucuna ulaşılabilir.

B0-E0-D2-Y0 önerisi, balkon manzarasını kapatmadan tam boy cam duvar ile kara yolu gürültüsünü azaltmak için getirilmiştir. Tasarım, balkon alanındaki toplam enerjide doğrudan gelen ses dalgalarının hâkim olduğu alt katlarda en iyi performansı gösterirken yansıyan ses bileşenlerinin etkisinin arttığı üst katlarda B0-E0-D1-Y0 ile aynı veya daha kötü performans göstermiştir. Buna, cam duvardan kaynaklı, yansıtıcı özellikteki yüzey alanının artmasının sebep olduğu söylenebilir.

B0-E0-D3-Y0, manzaranın kapanmaması ve estetik sebeplerden dolayı, ön cephede metro gürültüsünün doğrudan gelişini engellemek üzere referans balkona eklenen tam boy cam duvar önerisidir. Bu öneri, tüm katlardaki gürültü seviyelerinde 4 dB(A)'ya kadar artışa sebep olmuştur. Ön cephedeki cam duvar ses enerjisinin, balkon kolonu ile balkon arka duvarı arasındaki koridor boyunca ilerleyerek balkon alanından ayrılmadan çoklu yansımalarla uğramasına sebep olmuştur.

Halihazırda örnek dairenin yatak odası balkonunda ve örnek balkon hizasındaki diğer katlarda kullanıldığı gözlenen B0-E0-D4-Y0 önerisi, çift cam veya plenum pencerenin kütle-boşluk-kütle tasarım mantığına benzer biçimde oluşturulan [84,136] tüm cephelerin cam duvarlarla kapatıldığı alternatiftir. Gürültü seviyesinde ortalama 6-15 dB(A) azalma görülen bu tasarımla, başka bir adım eklenmeden dahi DSÖ'nün kara ve demiryolu için önerdiği sınır değerler sağlanmıştır. İlerideki çalışmalarda D4 elemanının ses azaltma indeksinin, Kim ve arkadaşlarının (2007) araştırmasında olduğu gibi standarda (ISO 16283-3:2016) uygun şekilde tespit edilmesiyle önerinin akustik performansı daha doğru tespit edilebilir. Yine de yatak odası balkonunda (h noktası) benzer şekilde kullanılan elemanın yerinde ölçüm sonuçlarına dayanarak tasarımın yüksek performans sağladığı söylenebilir. Bu tasarımın balkon hacminin akustik kalitesini artırmasının yanı sıra, yoğun güneşli zamanlarda balkon hacminin aşırı ısınmasına sebep olabileceği [155] ancak soğuk ve rüzgârlı hava durumlarında, balkonun sakinleri tarafından kullanımını daha uzun bir periyota yayabileceği sonucuna varılır.

B1-E0-D0-Y0, literatürde pek çok kere araştırılan kapalı balkon tipinin örnek balkona uygulandığındaki etkisi incelenmek üzere önerilmiştir. Katlardaki gürültü seviyelerinde ortalama -0,5-3,4 dB(A) fark oluşturmıştır. Sonuçlar, benzer gömme balkon tipinin araştırıldığı Lee ve arkadaşlarının (2007) çalışmasıyla uyumlu bulunurken konsol balkon tiplerinin akustik gölgeleme etkisi inceleyen Tang (2005)'in sonuçlarından kısmen farklıdır. Farklılıkların özellikle kaynak alıcı mesafesi gibi örneklem alanındaki çevresel faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tasarımla en iyi sonuç giriş katta elde edilmiştir. Bahçe seviyesinde kalan bu katta, parapet yüksekliğinin altındaki alıcılarda sesin kırılmasının ve bitki örtüsünün etkisi ile önemli bir gürültü azalması görülmüştür. Ortalama SPL(A) değerlerinde minör artış görülen 4 ve 9. Kat balkonlarının zemin seviyesindeki alıcılarda ise, doğrudan gelen ses dalgalarının balkon alanını terk edemeyip balkon döşemesinden çoklu yansımalarla uğraması sebebiyle, gürültü seviyesinde artış görülmüştür.

B2-E0-D0-Y0 önerisinde, kapalı balkon alternatifi cam parapet kullanılarak incelenmiştir. Yansıtıcı yüzey alanının artmasından kaynaklı olarak referans balkona göre ortalama SPL farkı -0,5-2 dB(A) arasında bulunmuştur. Bununla beraber, B1-E0-D0-Y0'e göre tüm katlarda tutarlı bir fark görülürken 4. katta 2 dB(A) daha iyi akustik gölgeleme tespit

edilmiştir(Şekil 4.13-d). Bu durumda, ses dalgalarının kırılarak enerjisinin azaldığı söylenebilir.

B3-E0-D0-Y0 önerisi ile B0-E0-D0-Y0'nin ortalama gürültü seviyeleri arasında -0,5- 1 dB(A) fark bulunmuştur. Kaynakla alıcı arasındaki yataydaki mesafenin uzun olması ve ses dalgalarının kırılmaya uğramadan balkon alanına dolması sebepleri dolayısıyla B3'ün bariyer etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.

B0-E0-D0-Y0 kodlu örnek balkonun yüzeylerinden yansıyan ve saçılan ses dalgalarının etkisi, B0-E0-D0-Y1'de tavana yutucu malzeme eklenerek azaltılmak istenmiştir. Katlarda yukarılara çıkıldıkça performansı artan öneri, balkon alanlarındaki ortalama SPL değerlerinde 1,4-3,4 dB(A) iyileşme sağlamıştır.

Son olarak, 9. Kat sonuçlarına not düşülmüştür. Örnek konut binasında farklı büyüklükte ve tipte daireleri daireler bulunmaktadır. Metro hattına bakan cephesinde zeminden 9. Kata kadar 4+1 plan düzeninde daireler varken 10. Kattan itibaren 3+1 plan düzeninde daireler cephe boyunca devam eder. Plandaki bu değişiklik cephede de gözlenmiştir. 9. Katta önerilerin simülasyon sonuçlarının, cephedeki bu değişimden kaynaklı ilave yansımalar ve ses enerjisinin, alt katlarda gibi topoğrafya eğimi, toprak ve bitki örtüsünün yutuculuğundan kaynaklı azalmaya uğramadan, doğrudan balkon alanına dolmasından etkilenerek yüksek olduğu sonucuna varılabilir.

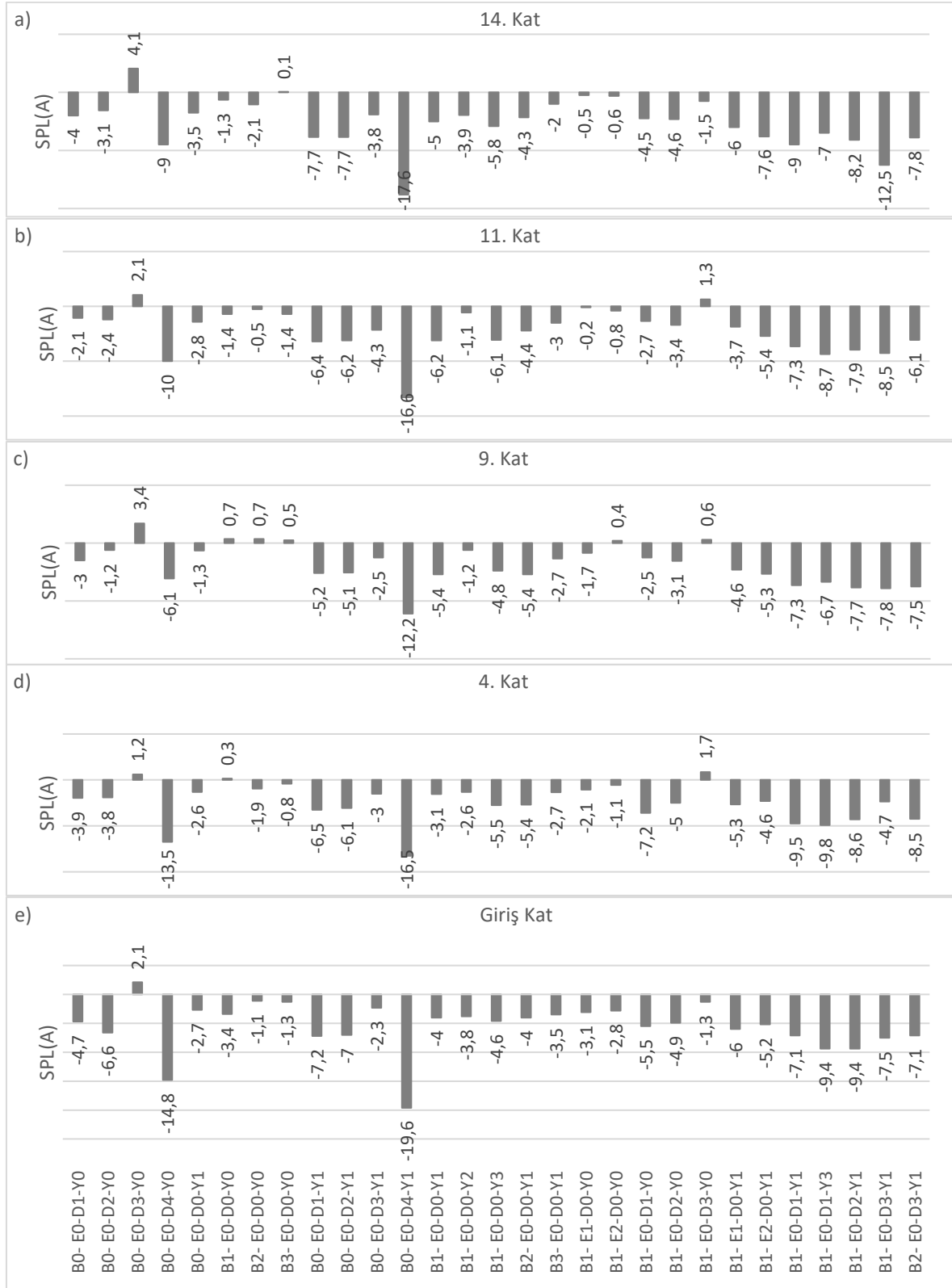
Balkon elemanlarında yapılan tekli değişikliklerin, B0-E0-D4-Y0 tasarımı hariç, balkondaki gürültü seviyelerinde önemli bir değişiklik sağlamadığı görülmüştür. Bu sonuçta, en çok kaynakla alıcının birbirine göre konumunun ve mesafesinin etkisi olduğu düşünülebilir. En iyi performansı veren alternatifler sırasıyla B0-E0-D4-Y0, B0-E0-D1-Y0 ve B0-E0-D0-Y1'dir. Gürültünün sebep olduğu sağlık sorunlarından kaçınmak ve limit değerleri sağlayabilmek amacıyla bir sonraki ara başlıkta elemanların kombinasyonları analiz edilmiştir.

Önerilen balkonların katlardaki gürültü azaltma performans analizi

Kara yolu kaynaklı gürültünün doğrudan balkon alanına girmesinin engellenmesi için D1 ve D2 tasarım adımları belirlenmiştir (Bölüm 4.3.2). Bunlar, farklı bariyer (B0, B1) ve

yutucu malzeme (Y1, Y3) adımlarıyla kombine edilerek en iyi performansı veren öneriler araştırılmıştır. Bu adımların olduğu balkonlarda hesaplanan SPL(A), B0-E0-D1-Y1, B0-E0-D2-Y1, B1-E0-D0-Y1, B1-E0-D1-Y1 ve B1-E0-D2-Y1 tüm katlarda, B1-E0-D1-Y0 ve B1-E0-D2-Y0 sadece alt katlarda sınır değerlerin altındadır [33]. Metrodan doğrudan gelen gürültüyü engellenmek amacıyla denenen D3 adımının olduğu önerilerde, ses dalgaları balkon alanında daha uzun süre yansımaya uğrar ve diğer cam tam duvarlı tasarımlara göre daha düşük performans gösterir. ($D2 \cong 1,5$ m, $D3 \cong 6$ m)(Şekil 4.14). D3, B1-E0-D3-Y1 ve B2-E0-D3-Y1 balkonlarının gürültü seviyesinde 5-12 dB(A) azalma ile en yüksek performansını göstermiş ve katlarda yukarı çıkıldıkça gürültü seviyeleri genelde azalmıştır. B1-E0-D3-Y1 balkonunda, kara yolu gürültüsü B1-B2 parapetlerinin bariyer etkisi ve tavandaki yutucu malzeme sayesinde zayıflarken D3 metrodan gelen doğrudan ses dalgalarının engeller. Bu sayede B1-E0-D2-Y1 balkonuyla ortalama aynı SPL(A) değerleri elde edilmiştir. Bu iki balkon karşılaştırıldığında, alıcı ile kaynak birbirine paralel konumdayken balkon ebatlarının, bariyer yüksekliğinin ve tavana yutucu malzeme uygulamanın balkon alanındaki gürültü seviyelerine etkisi gözlenmiştir. D4 adımının olduğu kombinasyonlar dışında en yüksek azalmayı bu öneriler verir (Şekil 4.14). Komşu cephelerden yansımaların olmadığı örnek konutta yansıtıcı cam yüzeylerdeki artış dış ortam gürültü seviyelerinin artmasına sebep olmamıştır. Ancak aynı tasarım sokak kanyonu gibi sıkışık bir kent düzeninde kullanıldığında, yansıyan ses enerjisinin etkisi ile gürültü seviyelerinde artışa sebep olabilir [73].

Alıcı ile kaynak arasındaki görüş hattını azaltarak balkon alanındaki akustik gölge bölgeyi arttırmak amacıyla tasarlanan parapetlerin etkisi, kaynak ile alıcı arasındaki yüksekli açısı arttıkça azalma eğilimindedir. Bu durumda, yansıma yoluyla artan ses enerjisinin azaltılması için balkon tavanına uygulanacak yutucu malzemelerin önemli rol oynadığı özellikle B1-E0-D0-Y1, B2-E0-D0-Y1, B1-E1-D0-Y1 ve B1-E2-D0-Y1 tasarımlarında gözlenmiştir.



Şekil 4.14. Önerilen balkonların referans balkona göre katlardaki ortalama SPL(A) farkı; a) 14. kat, b) 11. kat, b) 9. kat, b) 4. kat, b) giriş kat

Balkon bariyerinin balkon alanına doğru 15° eğimle B1-E1 ve balkon alanından dışa doğru 15° eğimle tasarlanan B1-E2 balkonları, doğrudan gelen ses dalgalarının etkili olduğu giriş ve 4. katların gürültü seviyelerinde 1-3 dB(A) iyileşme sağlamıştır. Ancak üst katlarda yansıyan ses bileşenlerinin artan etkisi dolayısıyla gözlenen iyileşme literatürle paralel şekilde ~1 dB(A) civarındadır [101,105]. Eğimli parapet tasarım adımları Y1 ile denendiğinde ise özellikle balkon içinde, parapet seviyesi ve altındaki alıcılarda konforlu bir akustik ortam sağladığı sonucuna ulaşılabilir.

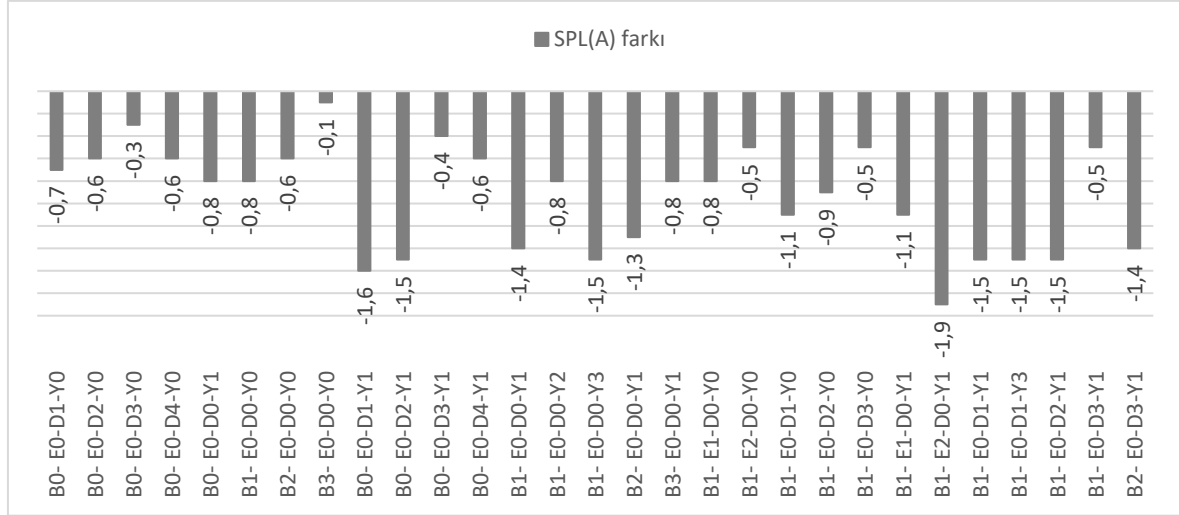
Balkon tavanı dışında parapete yutucu malzeme uygulanan tasarımların (Y2-Y3) gürültü seviyelerinde önemli bir fark görülmemiştir bu sebeple, atlanabilecek bir adım olarak değerlendirilebilir.

Bunlara ek, yansıtıcı özellikteki döşeme kaplaması ve balkona komşu olduğu tüm hacimlerden cam kapılarla erişim sağlanıyor olmasıyla beraber özellikle cam yüzeylerin kullanıldığı önerilerde, zemine yakın alıcı noktalarındaki yüksek gürültü seviyeleri gözlenmiştir. Bu seviyelerdeki artış, komşu olduğu içi mekâna kapı pencere gibi akustik olarak zayıf noktalardan geçerek iç mekân gürültü seviyelerinde de artışa sebep olabilir. Balkon içinde homojen bir akustik alan oluşturulması ve sebep olabileceği olumsuz etkilerken kaçınmak için gelecekteki çalışmalarda farklı özellikte döşeme malzemeleri denenebilir.

Balkon alanın akustik kalitesini arttırmak için önerilen 29 balkon tasarımının sonuçları, DSÖ'nün gürültü kaynaklı rahatsızlık için belirlediği sınır değerler ile karşılaştırıldığında bu tasarımların önemli bir kısmının sınır değerleri sağladığı sonucuna varılmıştır.

Önerilen balkonların dış ortam gürültü seviyelerine etkisi

Balkon geometri ve malzeme tercihlerindeki değişikliklerin dış ortam gürültü seviyesine etkisini araştırmak üzere, 11. Kat balkon bariyerinin 1 m önüne ve zeminden 1,5 m yukarıya referans alıcı yerleştirilmiştir. Değerlendirmeler referans balkon ve buna getirilen önerilerde ölçülen gürültü seviyeleri farkına göre yapılmıştır.



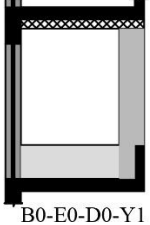
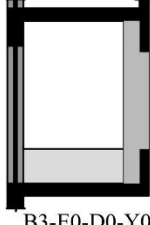
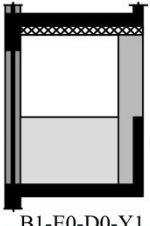
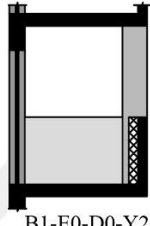
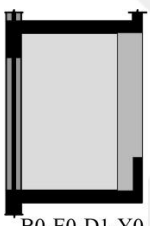
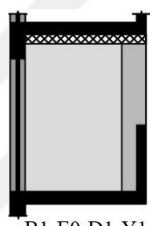
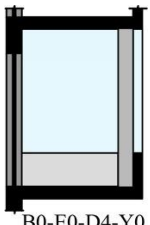
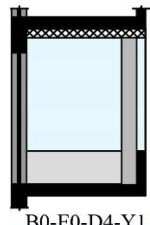
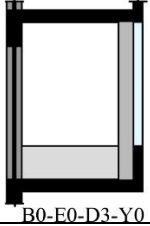
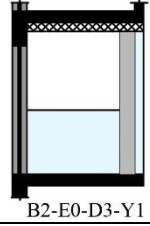
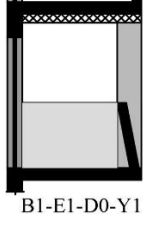
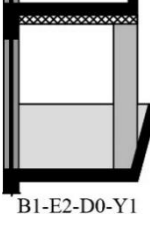
Şekil 4.15. Önerilen balkonların 11. kat balkon önü referans noktalarındaki SPL(A) farkı

Balkon elemanlarında yapılan tekil değişikliklerde önemli bir fark gözlenmezken balkon tavanına yutucu malzeme, beton parapet ve yan duvar uygulamaları (B0-E0-D0-Y1, B1-E0-D0-Y0, B0-E0-D1-Y0) yaklaşık 1 dB(A) azalma sağlamıştır. Kara yolu gürültüsünün balkon alanına doğrudan ulaşmasını engelleyen D1 ve D2 adımları, farklı yutucu malzeme konumları ve bariyer tasarımlarıyla gruplandığında ise dış ortam gürültü seviyesindeki azalma 1,5 dB(A) civarındadır. Balkondaki gölge bölgeyi arttırmak üzere öne 15° eğimli parapetin yutucu özellikteki tavanla kombinasyonu ise referans noktada ölçülen en düşük değeri vermiştir (B1-E2-D0-Y1).

Bu verilerden yola çıkarak balkon akustik kalitesinin iyileştirilmesi için önerilen tasarımlar, aynı zamanda, dış ortam gürültüsünü azaltma potansiyeline de sahiptir denilebilir. Bununla beraber, tek bir referans alıcıdaki ölçüm sonuçlarına dayanarak genel bir yargıya varılmamalıdır. Tüm cephe boyunca ve cepheye farklı uzaklıklarda konumlanan alıcılarda ölçümler yapılarak bu konuda bütün bir sonuç elde edilebilir. Ancak bu analiz için ihtiyaç duyulan hesaplama gücü ve zaman sınırlılıklarından dolayı daha ileri seviye simülasyonlar yapılamamıştır.

Yapılan özgün çalışmada mevcut duruma ilave 29 farklı tasarım denenmiştir. Önceki paragraflarda detaylı analizleri yapılan bu tasarımların kısa bir özeti Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Önerilen tasarımların özeti

Tasarım önerileri	Değerlendirmeler	Tasarım önerileri	Değerlendirmeler
 B0-E0-D0-Y1	Bu tasarımla, balkon alanında ölçülen gürültü seviyesinde ortalama 1,4-3,4 dB(A) iyileşme sağlanmıştır. Katlarda yukarılara çıkıldıkça performansı artan öneri, önerilen diğer tasarım adımlarıyla olan kombinasyonlarında da yüksek performans verir.	 B3-E0-D0-Y0	Mevcut durum ile arasındaki SPL değerlerinde 0,5- 1 dB(A) fark bulunmuştur. Balkon tavanına yakın yüksekliklerde gürültü seviyelerinin arttığı gözlenen bu tasarımın gürültü bariyeri etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.
 B1-E0-D0-Y1	Katlardaki gürültü seviyelerinde ortalama -0,5-3,4 dB(A) iyileşme sağlayan B1-E0-D0-Y0 tasarımına yutucu malzeme ilavesiyle B1-E0-D0-Y1 tasarımı tüm katlarda hesaplanan gürültü seviyeleri 53 dB(A)'nın altında bulunmuştur.	 B1-E0-D0-Y2	Katlarda balkon döşemesine yakın alıcı noktalarında gürültü seviyelerinde 1-6 dB(A) azalma sağlamıştır. Yutucu malzemelerin balkon tavanı dışında uygulandığı tasarımlar genel olarak gürültü seviyelerinin iyileştirilmesinde önemli bir katkı sağlamamıştır.
 B0-E0-D1-Y0	Kara yolu gürültüsü konumuna göre yapılan bu balkon tasarımıyla katlardaki tüm alıcı noktalarında 3-8 dB(A) arasında azalma gözlenmiştir.	 B1-E0-D1-Y1	Balkon alanının akustik kalitesini en çok arttıran tasarımlardan biridir. Tüm alıcı noktalarında hesaplanan gürültü seviyeleri 54 dB(A)'nın altında bulunmuştur. Ayrıca dış mekân gürültü seviyesini de 1,5 dB(A) azaltmıştır.
 B0-E0-D4-Y0	Farklı kullanım amaçlarıyla sıklıkla tercih edilen bu tasarımın akustik performansı, tekil geometri değişiklikleri ile sağlanan en yüksek azalmayı vermiştir. Mevcut duruma göre 6-15 dB(A) arası fark gözlenmiştir.	 B0-E0-D4-Y1	Tüm katlarda homojen bir ses alanı sağlayan bu tasarım, balkon alanındaki alıcı noktalarında hesaplanan SPL değerleri 46 dB(A)'nın altındadır. Kullanıcısının akustik konforunu en fazla arttıran tasarımdır.
 B0-E0-D3-Y0	Balkon alanındaki alıcılarda hesaplanan gürültü seviyeleri 1-6 dB(A) arasında artmıştır. Bu tasarım sayesinde kaynak konumuna göre balkon boyutlarının belirlenmesinin ne kadar önemli olduğu anlaşılmıştır.	 B2-E0-D3-Y1	Bariyer yüksekliği artırılarak ve yutucu malzeme ilavesiyle balkon alanındaki gölge bölge artırılmış, doğrudan ve yansıyan ses bileşenlerinin balkon akustik alanına etkisi azaltılmıştır. Tüm alıcılardaki hesaplanan SPL değerleri 54 dB(A)'nın altındadır.
 B1-E1-D0-Y1	Mevcut duruma göre ortalama 5 dB(A) azalma sağlarken farklı katlarda genelde B1-E0-D0-Y1 tasarımından düşük performans göstermiştir. Kaynakla alıcı arasındaki mesafe fazla olduğunda eğimli parapet tasarımları tercih edilmeyebilir.	 B1-E2-D0-Y1	Katlarda yukarılara çıkıldıkça tavadan yansıyarak balkon alanına dolan ses enerjisinin etkisi azalmıştır ve gürültü seviyesi ortalama 5 dB(A) düşmüştür. B1-E0-D0-Y1 tasarımına göre yaklaşık 1 dB(A) ilave koruma sağlamamıştır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, konut balkon tasarımlarının balkon alanındaki çevresel gürültü seviyelerinin azaltılmasındaki etkinliği araştırılmıştır. Bu amaçla ilk aşamada, literatür incelenmiş, balkon tasarımıda önemi vurgulanan mimari ve akustik kriterler tanımlanmıştır. Bu kriterlerin mevcut bir konut balkonunda etkisini belirlemek için ikinci aşamada, seçilen örnek bir balkonun yakın çevresinde ve balkon alanında ölçümler yapılmıştır. Üçüncü aşamada, SketchUp Pro 2021 programı kullanılarak üç boyutlu modellenen örneklem alanı, Odeon 15.16 Combined akustik simülasyon programında yerinde ölçüm sonuçlarıyla uyumlu hale getirilmiştir. Son aşamada da balkon alanında akustik konforun iyileştirilmesi için öneriler geliştirilmiş ve bunlar akustik programla simüle edilmiştir. Öneriler, balkon elemanlarının geometri ve malzemelerine göre belirlendiği bir dizi tasarım adımını içermektedir. Önerilerin akustik performans analizleri, önerilerin sağladığı ile mevcut balkon tasarımındaki gürültü seviyeleri karşılaştırılarak yapılmıştır.

Karşılaştırmalar sonucunda, örnek balkon için önerilen tasarımların balkon alanındaki gürültü seviyelerini ciddi düzeyde azalttığı görülmüştür. İki ayrı çevresel gürültü kaynağına maruz kalan örnek balkonda, kaynakların alıcıya göre konumlanışının balkonda ölçülen gürültü seviyelerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Önerilen tasarımlarda, ses enerjinin izlediği yayılma yolunda yapılan değişikliklerle alıcıya doğrudan gelen sesin engellenmesi ve alıcı ile kaynak arasındaki görüş hattının azaltılarak balkon alanındaki gölge bölgenin artırılması sağlanmıştır. Bu bağlamda, balkon bariyerinde boşluksuz rijid malzeme kullanımı dahi balkonun akustik gölgeleme etkisini arttırmıştır. Akustik bölgenin artmasındaki bir diğer faktörün de alıcı ile kaynak arasındaki mesafe olduğu bulunmuştur. Tavana kadar uzanan duvarların kaynaklara paralel konumlandırıldığı öneriler, balkon alanındaki gürültü seviyesinin azaltılması için denenen en etkili tasarım olmuştur. Balkon elemanlarında önerilen geometri ve malzemelerin alternatif kombinasyonları, balkon alanındaki gürültü seviyelerinin 17 dB(A)'ya kadar azalmasını sağlamıştır. Ayrıca, incelenen tasarımların önemli bir çoğunluğunda tespit edilen gürültü seviyeleri, DSÖ'nün gürültü kaynaklı rahatsızlıkla ilişkilendirdiği sınır değerinin altında kalmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda; tasarım aşamasındaki balkonların, bulunduğu alanın çevresel koşulları, maruz kaldıkları gürültü kaynaklarının tipi, kaynağa göre

konumu, geometrisi ve ebatları doğru şartlar ve yaklaşımlar altında belirlendiği takdirde gürültü bariyeri olarak potansiyelinin çok yüksek olduğu söylenebilir.

Balkonlar, sakinlerinin kullanımına özel, açık mekanlar olması itibariyle konut yapılarında büyük öneme sahiptir. Tasarım aşamalarında, çevresel ve yapısal gerekliliklerden taviz vermeden balkonun elemanlarında yapılacak küçük değişikliklerin konut sakinlerinin akustik konforunu, bununla bağlantılı olarak da sağlığını ve refah seviyesini nasıl olumlu etkileyebileceği araştırma sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Bu çalışmada, ölçümlerin yapıldığı cihazın ve simülasyonlar için kullanılan programın dış ortam akustik koşullarının araştırılması için en ideal seçenek olmayışıyla beraber ihtiyaç duyulan hesaplama gücü ve zaman tez kapsamında ileri seviye analizlerin yapılmasını engellemiştir. Gelecekte başka araştırmacılar bu konuyu, mevcut durum tespitinde standarda uygun, hassas sonuçlar veren frekans bazlı değerlendirmelerin yapılabileceği bir ölçüm cihazı kullanarak detaylandırabilir. Teorik analizlerde, Odeon karşılaştırmalı veri sunmak için gerekli imkânı sunsa da SoundPLAN ve benzeri programlar yapılı çevrenin akustik analizinde daha uygun bir alternatif olabilir.

KAYNAKLAR

1. King, E. M. and E. A. (2014). *Environmental noise pollution noise mapping, Public Health, and Policy* (First Edition). San Diego: Elsevier, 1-268.
2. Murphy, E., King, E. A., and Rice, H. J. (2009). Estimating human exposure to transport noise in central Dublin, Ireland. *Environment International*, 35(2), 298–302.
3. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2010). *Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği*. Resmi Gazete, (27601).
4. World Health Organization. (2011). *Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe*. WHO Regional Office for Europe.
5. European Environment Agency. (2020). *Environmental noise in Europe - 2020*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
6. Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., and Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325–1332.
7. Guski, R., Schreckenberg, D., and Schuemer, R. (2017). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1539.
8. Paiva, K. M., Cardoso, M. R. A., and Zannin, P. H. T. (2019). Exposure to road traffic noise: Annoyance, perception and associated factors among Brazil's adult population. *Science of the Total Environment*, 650, 978–986.
9. Pultznerova, A., Eva, P., Kucharova, D., and Argalasova, L. (2018). Railway noise annoyance on the railway track in northwest Slovakia. *Noise and Health*, 20(94), 90–100.
10. Méline, J., Van Hulst, A., Thomas, F., Karusisi, N., and Chaix, B. (2013). Transportation noise and annoyance related to road traffic in the French RECORD study. *International Journal of Health Geographics*, 12.
11. Clark, S., C., Smuk, M., Gallacher, J., and Babisch, W. (2021). Road traffic noise, noise sensitivity, noise annoyance, psychological and physical health and mortality. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 20(1), 1–15.
13. Hong, J., Lee, S., Lim, C., Kim, J., Kim, K., and Kim, G. (2018). Community annoyance toward transportation noise: Review of a 4-year comprehensive survey in Korea. *Applied Acoustics*, 139(April), 229–234.
14. Muzet, A. (2007). Environmental noise, sleep and health. *Sleep Medicine Reviews*, 11(2), 135–142.

15. Pirrera, S., De Valck, E., and Cluydts, R. (2010). Nocturnal road traffic noise: A review on its assessment and consequences on sleep and health. *Environment International*, 36(5), 492–498.
16. Perron, S., Plante, C., Ragettli, M. S., Kaiser, D. J., Goudreau, S., and Smargiassi, A. (2016). Sleep disturbance from road traffic, railways, airplanes and from total environmental noise levels in montreal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8).
17. Douglas, O., and Murphy, E. (2016). Source-based subjective responses to sleep disturbance from transportation noise. *Environment International*, 92–93, 450–456.
18. Ristovska, G., and Lekaviciute, J. (2013). Environmental noise and sleep disturbance: Research in central, eastern and south-eastern Europe and newly independent states. *Noise and Health*, 15(62), 6–11.
19. Basner, M., and McGuire, S. (2018). WHO environmental noise guidelines for the european region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3).
20. Clark, C., and Paunovic, K. (2018). WHO environmental noise guidelines for the european region: A systematic review on environmental noise and cognition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2).
21. Beach, E., Williams, W., and Gilliver, M. (2013). Estimating young Australian adults' risk of hearing damage from selected leisure activities. *Ear and Hearing*, 34(1), 75–82.
22. Śliwińska-Kowalska, M., and Zaborowski, K. (2017). WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and permanent hearing loss and tinnitus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10).
23. Münzel, T., Miller, M. R., Sørensen, M., Lelieveld, J., Daiber, A., and Rajagopalan, S. (2020). Reduction of environmental pollutants for prevention of cardiovascular disease: it's time to act. *European Heart Journal*, 41(41), 3989–3997.
24. Khosravipour, M., and Khanlari, P. (2020). The association between road traffic noise and myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 731, 139226.
25. Münzel, T., Schmidt, F. P., Steven, S., Herzog, J., Daiber, A., and Sørensen, M. (2018). Environmental Noise and the Cardiovascular System. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688–697.
26. van Kempen, E., Casas, M., Pershagen, G., and Foraster, M. (2018). WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: A summary. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), 1–59.

27. Nieuwenhuijsen, M. J., Ristovska, G., and Dadvand, P. (2017). WHO environmental noise guidelines for the european region: A systematic review on environmental noise and adverse birth outcomes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10).
28. Domingo-Pueyo, A., Sanz-Valero, J., and Wanden-Berghe, C. (2016). Disorders induced by direct occupational exposure to noise: Systematic review. *Noise and Health*, 18(84), 229–239.
29. Cai, Y., Ramakrishnan, R., and Rahimi, K. (2021). Long-term exposure to traffic noise and mortality: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence between 2000 and 2020. *Environmental Pollution*, 269, 116222.
30. Brown, A. L., and van Kamp, I. (2017). WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review of transport noise interventions and their impacts on health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(8), 1–44.
31. Miedema, H. M. E., and Vos, H. (1999). Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105(6), 3336–3344.
32. Tong, H., and Kang, J. (2021). Relationships between noise complaints and socio-economic factors in England. *Sustainable Cities and Society*, 65(October 2020), 102573.
33. World Health Organization. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO Regional Office for Europe.
34. Bodin, T., Björk, J., Ardö, J., and Albin, M. (2015). Annoyance, sleep and concentration problems due to combined traffic noise and the benefit of quiet Side. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(2), 1612–1628.
35. de Kluizenaar, Y., Janssen, S. A., van Lenthe, F. J., Miedema, H. M. E., and Mackenbach, J. P. (2009). Long-term road traffic noise exposure is associated with an increase in morning tiredness. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(2), 626–633.
36. Kaddoura, I., Kröger, L., and Nagel, K. (2017). An activity-based and dynamic approach to calculate road traffic noise damages. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54(2238), 335–347.
37. Ma, J., Li, C., Kwan, M. P., Kou, L., and Chai, Y. (2020). Assessing personal noise exposure and its relationship with mental health in Beijing based on individuals' space-time behavior. *Environment International*, 139(April), 105737.
38. Zare Sakhvidi, M. J., Zare Sakhvidi, F., Mehrparvar, A. H., Foraster, M., and Dadvand, P. (2018). Association between noise exposure and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 166(July), 647–657.

39. Sørensen, M., Andersen, Z. J., Nordsborg, R. B., Jensen, S. S., Lillelund, K. G., Beelen, R., Schmidt, E. B., Tjønneland, A., Overvad, K., and Raaschou-Nielsen, O. (2012). Road traffic noise and incident myocardial infarction: A prospective cohort study. *PLoS ONE*, 7(6), 1–7.
40. Sørensen, M., Andersen, Z. J., Nordsborg, R. B., Becker, T., Tjønneland, A., Overvad, K., and Raaschou-Nielsen, O. (2013). Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Incident Diabetes: A Cohort Study. *Environmental Health Perspectives*, 121(2), 217–222.
41. Pyko, A., Eriksson, C., Oftedal, B., Hilding, A., Östenson, C. G., Krog, N. H., Julin, B., Aasvang, G. M., and Pershagen, G. (2015). Exposure to traffic noise and markers of obesity. *Occupational and Environmental Medicine*, 72(8), 594–601.
42. Münzel, T., and Sørensen, M. (2017). Noise Pollution and Arterial Hypertension. *European Cardiology Review*, 12(1), 26.
43. Sørensen, M., Hvidberg, M., Andersen, Z. J., Nordsborg, R. B., Lillelund, K. G., Jakobsen, J., Tjønneland, A., Overvad, K., and Raaschou-Nielsen, O. (2011). Road traffic noise and stroke: A prospective cohort study. *European Heart Journal*, 32(6), 737–744.
44. Münzel, T., Gori, T., Babisch, W., and Basner, M. (2014). Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *European Heart Journal*, 35(13), 829–836.
45. Nijland, H. A., Van Kempen, E. E. M. M., Van Wee, G. P., and Jabben, J. (2003). Costs and benefits of noise abatement measures. *Transport Policy*, 10(2), 131–140.
46. Boer, L. C. (Eelco) den, and Schrotten, A. (Arno). (2007). *Traffic noise reduction in Europe Health effects , social costs and. August*, 1–64.
47. Riethmüller, S., Müller-Wenk, R., Knoblauch, A., and Schoch, O. (2008). Monetary value of undisturbed sleep. *Noise and Health*, 10(39), 46–54.
48. Istamto, T., Houthuijs, D., and Lebret, E. (2014). Willingness to pay to avoid health risks from road-traffic-related air pollution and noise across five countries. *Science of the Total Environment*, 497–498, 420–429.
49. Szczepańska, A., Senetra, A., and Wasilewicz-Pszczółkowska, M. (2020). The influence of traffic noise on apartment prices on the example of a European Urban Agglomeration. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3), 1–14.
50. Guijarro, F. (2019). Assessing the impact of road traffic externalities on residential price values: A case study in Madrid, Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24).
51. Zambrano-Monserrate, M. A., and Ruano, M. A. (2019). Does environmental noise affect housing rental prices in developing countries? Evidence from Ecuador. *Land Use Policy*, 87(May), 104059.

52. Kuehnel, N., and Moeckel, R. (2020). Impact of simulation-based traffic noise on rent prices. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 78(November 2019), 102191.
53. Sieber, C., Ragettli, M. S., Brink, M., Olaniyan, T., Baatjies, R., Saucy, A., Vienneau, D., Probst-Hensch, N., Dalvie, M. A., and Rössli, M. (2018). Comparison of sensitivity and annoyance to road traffic and community noise between a South African and a Swiss population sample. *Environmental Pollution*, 241, 1056–1062.
54. Nijland, H. A., and Van Wee, G. P. (2005). Traffic Noise in Europe: A Comparison of Calculation Methods, Noise Indices and Noise Standards for Road and Railroad Traffic in Europe. *Transport Reviews*, 25(5), 591–612.
55. Ögren, M., Molnár, P., and Barregard, L. (2018). Road traffic noise abatement scenarios in Gothenburg 2015 – 2035. *Environmental Research*, 164(July 2017), 516–521.
56. European Environmental Agency. (2014). *Noise in Europe 2014*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
57. Ohiduzzaman, M. D., Sirin, O., Kassem, E., and Rochat, J. L. (2016). State-of-the-art review on sustainable design and construction of quieter pavements-Part 1: Traffic noise measurement and abatement techniques. *Sustainability (Switzerland)*, 8(8).
58. Li, K. M., and Tang, S. H. (2003). The predicted barrier effects in the proximity of tall buildings. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 114(2), 821–832.
59. Zhaomeng, W., Kian Meng, L., Priyadarshinee, P., and Pueh, L. H. (2018). Applications of noise barriers with a slanted flat-tip jagged cantilever for noise attenuation on a construction site. *JVC/Journal of Vibration and Control*, 24(22), 5225–5232.
60. May, D. N., and Osman, N. M. (1980). Highway noise barriers: new shapes. *Journal of Sound and Vibration*, 71(1), 73–101.
61. Shao, W., Lee, H. P., and Lim, S. P. (2001). Performance of noise barriers with random edge profiles. *Applied Acoustics*, 62(10), 1157–1170.
62. Sun, L., Zhao, Y., Zhang, J., Chen, D., and Zhang, X. (2021). *Research and application of noise barriers in highway construction*. E3S Web of Conferences IAECST.
63. Borch, F., Carfagni, M., Martelli, L., Turchi, A., and Argenti, F. (2016). Design and experimental tests of active control barriers for low-frequency stationary noise reduction in urban outdoor environment. *Applied Acoustics*, 114(March 2021), 125–135.
64. Crombie, D. H., Hothersall, D. C., and Chandler-Wilde, S. N. (1995). Multiple-edge noise barriers. *Applied Acoustics*, 44(4), 353–367.

65. Voropayev, S. I., Ovenden, N. C., Fernando, H. J. S., and Donovan, P. R. (2017). Finding optimal geometries for noise barrier tops using scaled experiments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(2), 722–736.
66. Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Tan, P. Y., Chiang, K., and Wong, N. C. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(2), 411–420.
67. Ow, L. F., and Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, 120, 15–20.
68. Jiang, L., and Kang, J. (2016). Combined acoustical and visual performance of noise barriers in mitigating the environmental impact of motorways. *Science of the Total Environment*, 543, 52–60.
69. Torresin, S., Albatici, R., Aletta, F., Babich, F., Oberman, T., and Kang, J. (2019). Acoustic Design Criteria in Naturally Ventilated Residential Buildings: New Research Perspectives by Applying the Indoor Soundscape Approach. *Applied Sciences*, 9(24), 5401.
70. Tang, S. K. (2017). A review on natural ventilation-enabling façade noise control devices for congested high-rise cities. *Applied Sciences (Switzerland)*, 7(2).
71. de Kluizenaar, Y., Salomons, E. M., Janssen, S. A., van Lenthe, F. J., Vos, H., Zhou, H., Miedema, H. M. E., and Mackenbach, J. P. (2011). Urban road traffic noise and annoyance: The effect of a quiet façade. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(4), 1936–1942.
72. Peris, E., and Fenech, B. (2020). Associations and effect modification between transportation noise, self-reported response to noise and the wider determinants of health: A narrative synthesis of the literature. *Science of the Total Environment*, 748, 141040.
73. Krimm, J., Tehen, H., and Knaack, U. (2017). Updated urban facade design for quieter outdoor spaces. *Journal of Facade Design and Engineering*, 5(1), 63–75.
74. Yang, W., and Jeon, J. Y. (2020). Design strategies and elements of building envelope for urban acoustic environment. *Building and Environment*, 182(July), 107121.
75. Davis, M. J. M., Tenpierik, M. J., Ramírez, F. R., and Pérez, M. E. (2017). More than just a Green Facade: The sound absorption properties of a vertical garden with and without plants. *Building and Environment*, 116, 64–72.
76. Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Bures, S., Álvaro, J. E., Erkoreka, A., and Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*, 89, 46–56.
77. Van Renterghem, T., Hornikx, M., Forssen, J., and Botteldooren, D. (2013). The potential of building envelope greening to achieve quietness. *Building and Environment*, 61, 34–44.

78. Jang, H. S., Lee, S. C., Jeon, J. Y., and Kang, J. (2015). Evaluation of road traffic noise abatement by vegetation treatment in a 1:10 urban scale model. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(6), 3884–3895.
79. Guillaume, G., Gauvreau, B., and L’Hermite, P. (2015). Numerical study of the impact of vegetation coverings on sound levels and time decays in a canyon street model. *Science of the Total Environment*, 502, 22–30.
80. Jang, H. S., Kim, H. J., and Jeon, J. Y. (2015). Scale-model method for measuring noise reduction in residential buildings by vegetation. *Building and Environment*, 86, 81–88.
81. Van Renterghem, T., and Botteldooren, D. (2011). In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Building and Environment*, 46(3), 729–738.
82. Franco, A., Fernández-Cañero, R., Pérez-Urrestarazu, L., and Valera, D. L. (2012). Wind tunnel analysis of artificial substrates used in active living walls for indoor environment conditioning in Mediterranean buildings. *Building and Environment*, 51(November 2019), 370–378.
83. Oldham, D. J., and Mohsen, E. A. (1979). The acoustical performance of self-protecting buildings. *Journal of Sound and Vibration*, 65(4), 557–581.
84. Li, X., Tang, S. K., Yim, S. Y. C., Lee, R. Y. C., and Hung, T. (2020). Noise reduction of plenum windows on the façade of a high-rise residential building next to heavy road traffic. *Building and Environment*, 186(October), 107353.
85. Kang, J., and Brocklesby, M. W. (2005). Feasibility of applying micro-perforated absorbers in acoustic window systems. *Applied Acoustics*, 66(6), 669–689.
86. Yu, X., Lau, S. K., Cheng, L., and Cui, F. (2017). A numerical investigation on the sound insulation of ventilation windows. *Applied Acoustics*, 117, 113–121.
87. Tong, Y. G., and Tang, S. K. (2013). Plenum window insertion loss in the presence of a line source—A scale model study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(3), 1458–1467.
88. Tong, Y. G., Tang, S. K., Kang, J., Fung, A., and Yeung, M. K. L. (2015). Full scale field study of sound transmission across plenum windows. *Applied Acoustics*, 89, 244–253.
89. Bajraktari, E., Lechleitner, J., and Mahdavi, A. (2015). The sound insulation of double facades with openings for natural ventilation. *Building Acoustics*, 22(3–4), 163–176.
90. Kang, J. (2006). An acoustic window system with optimum ventilation and daylighting performance. *Noise and Vibration Worldwide*, 37(11), 9–17.
91. Lee, H. M., Haris, A., Lim, K. M., Xie, J., and Lee, H. P. (2020). Solving noise pollution issue using plenum window with perforated thin box. *Crystals*, 10(7), 1–10.

92. Tang, S. K. (2018). Reduction of sound transmission across plenum windows by incorporating an array of rigid cylinders. *Journal of Sound and Vibration*, 415, 25–40.
93. Tadeu, A., António, J., Mendes, P. A., and Godinho, L. (2007). Sound pressure level attenuation provided by thin rigid screens coupled to tall buildings. *Journal of Sound and Vibration*, 304(3–5), 479–496.
94. Gagliano, A., Nocera, F., Cicero, A., Marletta, L., and Evola, G. (2020). Mitigation of environmental noise in urban streets through lightweight transparent screens. *Noise Mapping*, 7(1), 57–73.
95. Sakamoto, S., and Aoki, A. (2015). Numerical and experimental study on noise shielding effect of eaves/louvers attached on building façade. *Building and Environment*, 94, 773–784.
96. Fausti, P., Secchi, S., and Zuccherini Martello, N. (2019). The use of façade sun shading systems for the reduction of indoor and outdoor sound pressure levels. *Building Acoustics*, 26(3), 181–206.
97. Tang, S. K. (2005). Noise screening effects of balconies on a building facade. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118(1), 213–221.
98. Tang, S. K., Ho, C. Y., and Chan, W. Y. (2019). Insertion loss of asymmetrical balconies on a building façade. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(3), 1580–1594.
99. Mohsen, E. A., and Oldham, D. J. (1977). Traffic noise reduction due to the screening effect of balconies on a building façade. *Applied Acoustics*, 10(4), 243–257.
100. El Dien, H. H., and Woloszyn, P. (2004). Prediction of the sound field into high-rise building facades due to its balcony ceiling form. *Applied Acoustics*, 65(4), 431–440.
101. El Dien, H. H., and Woloszyn, P. (2005). The acoustical influence of balcony depth and parapet form: experiments and simulations. *Applied Acoustics*, 66(5), 533–551.
102. Naish, D. A., Tan, A. C. C., and Demirbilek, F. N. (2010). Predictions of road traffic noise on residential balconies using a specular and diffusion model. *20th International Congress on Acoustics 2010, ICA 2010 - Incorporating Proceedings of the 2010 Annual Conference of the Australian Acoustical Society*, 3, 2431–2437.
103. Tang, S. K. (2010). Scale model study of balcony insertion losses on a building façade with non-parallel line sources. *Applied Acoustics*, 71(10), 947–954.
104. El Dien, H. H. (2012). The influence of an inclined line source close to building facades with balconies. *Noise Control Engineering Journal*, 60(4), 363–373.
105. Badino, E., Manca, R., Shtrepi, L., Calleri, C., and Astolfi, A. (2019). Effect of façade shape and acoustic cladding on reduction of leisure noise levels in a street canyon. *Building and Environment*, 157(April), 242–256.

106. Hothersall, D. C., Horoshenkov, K. V., and Mercy, S. E. (1996). Numerical modelling of the sound field near a tall building with balconies near a road. *Journal of Sound and Vibration*, 198(4), 507–515.
107. Lee, P. J., Kim, Y. H., Jeon, J. Y., and Song, K. D. (2007). Effects of apartment building façade and balcony design on the reduction of exterior noise. *Building and Environment*, 42(10), 3517–3528.
108. Ishizuka, T., and Fujiwara, K. (2012). Traffic noise reduction at balconies on a high-rise building façade. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(3), 2110–2117.
109. Keleş, Ş. (2021). Konut tercihi üzerine konut mekânının etkisi: bir yapısal eşitlik modeli uygulaması. *Journal of Awareness*, 21–28.
110. Kurra, S. (2020). *Environmental Noise and Management* (First edition). Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 1-856.
111. Lyon, R. H. (1974). Role of multiple reflections and reverberation in urban noise propagation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 55(3), 493–503.
112. Cox, T. J. ve D’Antonio, P. (2017). *Acoustic absorbers and diffusers theory, design and application* (Third Edition). Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group, 1-577
113. Vorländer, M. (2008). *Auralization: Fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality* (Birinci Baskı). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
114. British Standards Institution. (2020). *BS 8579:2020 Guide to the design of balconies and terraces*. BSI Standards Publication.
115. British Standards Institution. (2014). *BS ISO 17497-1:2004 +A1:2014 Acoustics-Sound-scattering properties of surfaces- Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room*. BSI Standards Publication.
116. Özgüven, H. N. (2008). *Gürültü kontrolü endüstriyel ve çevresel gürültü* (Genisletilmiş İkinci Baskı). Ankara: Türk Akustik Derneği, 1-271.
117. Demirkale, S. Y. (2007). *Çevre ve yapı akustiği mimarlar ve mühendisler için el kitabı* (Birinci Baskı). İstanbul: Birsan Yayınevi, 1-509.
118. Oldham, D. J., and Mohsen, E. A. (1980). A technique for predicting the performance of self-protecting buildings with respect to traffic noise. *Noise Control Engineering*, 15(1), 11.
119. Can, A., Leclercq, L., Lelong, J., and Botteldooren, D. (2010). Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observations. *Applied Acoustics*, 71(8), 764–770.

120. Garrido, M. J. B., Torija, A. J., Fernandez, M. D., and Ballesteros, J. A. (2016). Differences between road traffic and leisure noise in urban areas. Developing a model for automatic identification. *Acta Acustica united with Acustica*, 102(1), 35–44.
121. Ouis, D. (2001). Annoyance from road traffic noise: A review. *Journal of Environmental Psychology*, 21(1), 101–120.
122. Cheng, W. F., NG, C. F., and Fung, K. C. (2000). The theoretical model to optimize noise barrier performance at the window of a high-rise building. *Journal of Sound and Vibration*, 238(1), 51–63.
123. Naish, D. A., Tan, A. C. C., and Demirbilek, F. N. (2014). Simulating the effect of acoustic treatment types for residential balconies with road traffic noise. *Applied Acoustics*, 79, 131–140.
124. Li, K. M., Lui, W. K., Lau, K. K., and Chan, K. S. (2003). A simple formula for evaluating the acoustic effect of balconies in protecting dwellings against road traffic noise. *Applied Acoustics*, 64(7), 633–653.
125. Ishizuka, T., and Fujiwara, K. (2013). Full-scale tests of reflective noise-reducing devices for balconies on high-rise buildings. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(2), EL185–EL190.
126. Wang, X., Mao, D., Yu, W., and Jiang, Z. (2015). Acoustic performance of balconies having inhomogeneous ceiling surfaces on a roadside building facade. *Building and Environment*, 93(P2), 1–8.
127. Echevarria Sanchez, G. M., Van Renterghem, T., Thomas, P., and Botteldooren, D. (2016). The effect of street canyon design on traffic noise exposure along roads. *Building and Environment*, 97, 96–110.
128. British Standards Institution. (2011). *BS 6180:2011 Barriers in and about buildings - code of practice*. BSI Standards Publication.
129. Fediuk, R., Amran, M., Vatin, N., Vasilev, Y., Lesovik, V., and Ozbakkaloglu, T. (2021). Acoustic properties of innovative concretes: A review. *Materials*, 14(2), 1–28.
130. Pereira, M., Carbajo, J., Godinho, L., Ramis, J., and Amado-Mendes, P. (2021). Improving the sound absorption behaviour of porous concrete using embedded resonant structures. *Journal of Building Engineering*, 35(June 2020), 102015.
131. Asdrubali, F., Schiavoni, S., and Horoshenkov, K. V. (2012). A review of sustainable materials for acoustic applications. *Building Acoustics*, 19(4), 283–312.
132. Tang, X., and Yan, X. (2017). Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 101, 360–380.

133. Mahesh, K., and Mini, R. S. (2021). Theoretical investigation on the acoustic performance of Helmholtz resonator integrated microperforated panel absorber. *Applied Acoustics*, 178, 108012.
134. Zhao, X. D., Yu, Y. J., and Wu, Y. J. (2016). Improving low-frequency sound absorption of micro-perforated panel absorbers by using mechanical impedance plate combined with Helmholtz resonators. *Applied Acoustics*, 114, 92–98.
135. Sakagami, K., Fukutani, Y., Yairi, M., and Morimoto, M. (2014). A theoretical study on the effect of a permeable membrane in the air cavity of a double-leaf microperforated panel space sound absorber. *Applied Acoustics*, 79, 104–109.
136. Kim, M.-J., and Kim, H.-G. (2007). Field measurements of façade sound insulation in residential buildings with balcony windows. *Building and Environment*, 42(2), 1026–1035.
137. May, D. N. (1979). Freeway noise and high-rise balconies. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 65(3), 699–704.
138. Naish, D. A., Tan, A. C. C., and Demirbilek, F. N. (2013). Speech interference and transmission on residential balconies with road traffic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(1), 210–226.
139. Magrini, A., and Lisot, A. (2016). A simplified model to evaluate noise reduction interventions in the urban environment. *Building Acoustics*, 23(1), 36–46.
140. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). *Planlı alanlar imar yönetmeliği*. Resmi Gazete (30113).
141. Ministry of Housing, Communities and Local Government, Building Regulations Advisory Committee, and Department for Digital, Culture, M. and S. (2015). *The Building Regulations 2010 Access to and use of buildings M. 1(1)*, 69.
142. Department of environment heritage and local government. (2020). *Sustainable Urban Housing : Design Standards for New Apartments*. March, 48.
143. Department of environment heritage and local government. (2020). *Technical Guidance Document K Stairways, Ladders, Ramps and Guards*. December, 1–16.
144. Building department, lands department and planning department, the government of the hong kong special administration region, Green and Innovative Buildings. *Joint Practice Note No. 1*, 30.
145. İnternet: Green Buildings. GovHK. URL: <https://www.gov.hk/en/residents/environment/sustainable/buildings.htm>, Son Erişim Tarihi: 12.07.2021
146. British Standards Institution. (2013). *BS 9266: 2013 Design of accessible and adaptable general needs housing – Code of practice*. BSI Standards Publication.

147. British Standards Institution. (2018). *BS 8300-2: 2018 Design of an accessible and inclusive built environment*. BSI Standards Publication.
148. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik*. Resmi Gazete, (30082).
149. British Standards Institution. (2017). *BS EN ISO 12354-3:2017 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 3*. BSI Standards Publication.
150. International Organization for Standardization. (2017). *ISO 1996-2: 2017 Acoustics- Description, measurement and assessment of environmental noise- Part 2: Determination of sound pressure levels*.
151. Toprak, R. ve Aktürk, N. (2002). Raylı ulaşım sistemlerinin neden olduğu gürültü ve çevresel etkileri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (417), 33-38.
152. Odeon A/S. (2019). *Odeon Room Acoustics Software, Version 15.16 Combined Edition: User Manual & Global Material Library*. Odeon A/S Report, Denmark.
153. Calleri, C., Shtrepi, L., Armando, A., and Astolfi, A. (2018). Evaluation of the influence of building façade design on the acoustic characteristics and auditory perception of urban spaces. *Building Acoustics*, 25(1), 77–95.
154. Hupeng, W., Kang, J., and Hong, J. (2019). Effects of urban street spatial parameters on sound propagation. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(2), 341–358.
155. Ribeiro, C., Ramos, N. M. M., and Flores-Colen, I. (2020). A review of balcony impacts on the indoor environmental quality of dwellings. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16).



EK-1. Örneklemin olduğu alanın uydu haritası (Google Haritalar); mavi pin, incelenen apartman daresinin konumunu gösterir



EK-2. Örneklem alanındaki ölçüm noktalarına (Google Haritalar)



EK-3. Örneklem alanında yapılan yerinde ölçüm sonuçları

Ölçüm Noktaları	Ölçüm Sonuçları																Genel Notlar		
	Sabah (07:45-10:15)						Öğleden Sonra (15:00-17:30)						Akşam (19:00-20:30)						
1. nokta	77	81	79	80	81	-	76	79	77	76	73	-	80	75	77	74	78	-	*a noktasında yapılan aşşam ölçümlerinde arka planda çalışan fan sesi dış mekân gürültüsünü maskeleymiştir. **Mutfaktaki balkon kapısında doğramayla kapı arasında boşluk olduğu için ölçülen gürültü seviyesinin yüksek olduğu düşünülüyor. ***h noktasında camekan kapalıyken ölçülen gürültü seviyeleri.
2. nokta	85	85	80	84	83	-	77	72	77	75	78	-	79	80	75	78	78	-	
3. nokta	70	68	70	65	68	66	73	68	75	68	73	67	71	67	72	70	72	68	
4. nokta	69	64	69	65	68	64	69	66	70	67	69	65	73	66	69	67	71	66	
5. nokta	71	65	73	66	70	65	69	65	73	65	70	66	71	66	72	65	72	65	
6. nokta	71	66	71	67	70	67	71	65	69	68	71	65	69	66	74	66	70	70	
7. nokta	56	56	55	56	56	53	55	55	55	56	55	55	57	56	56	56	55	54	
a noktası*	34	36	36	38	34	33	36	36	35	36	36	36	40	40	41	41	41	41	
b noktası	65	63	66	63	65	61	64	64	65	64	64	64	65	64	66	63	65	63	
c noktası	59	66	59	66	61	63	60	65	59	63	61	65	59	64	59	63	62	63	
d noktası**	43	44	44	46	40	40	40	46	41	45	41	43	42	44	43	43	39	43	
e noktası	31	33	32	32	34	32	31	32	32	30	33	31	32	32	30	34	32	32	
f noktası	31	31	31	32	31	-	31	30	31	32	30	-	31	30	31	31	32	-	
g noktası	30	31	31	31	31	-	30	31	30	32	30	-	31	31	31	32	31	-	
h noktası	63	64	64	62	61	-	62	63	62	62	64	-	58	55	61	60	57	-	
h noktası***	42	45	40	43	43	-	43	38	41	46	44	-	42	44	44	41	46	-	

*a noktasında yapılan akşam ölçümlerinde arka planda çalışan fan sesi dış mekân gürültüsünü maskeleymiştir.
 **Mutfaktaki balkon kapısında doğramayla kapı arasında boşluk olduğu için ölçülen gürültü seviyesinin yüksek olduğu düşünüyor.
 ***h noktasında camekan kapalıyken ölçülen gürültü seviyeleri.



GAZİ GELECEKTİR..