



Investigation of the effects of building facade features and road width on environmental noise level on urban road sections

Okan Şimşek*^{ID}, Aslı Özçevik Bilen^{ID}

Department of Architecture, Architecture and Design Faculty, Eskişehir Technical University, Eskişehir, 26555, Turkey

Highlights:

- The spread of noise in urban areas
- The effect of facade features and road widths on the propagation of noise
- Effects of parameters affecting noise propagation on street canyon formation

Keywords:

- Environmental noise
- facade features
- road width
- street canyons
- noise maps

Article Info:

Research Article

Received: 18.04.2021

Accepted: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.919498

Correspondence:

Author: Okan Şimşek

e-mail:

osimsek@eskisehir.edu.tr

phone: +90 534 687 9303

Graphical/Tabular Abstract

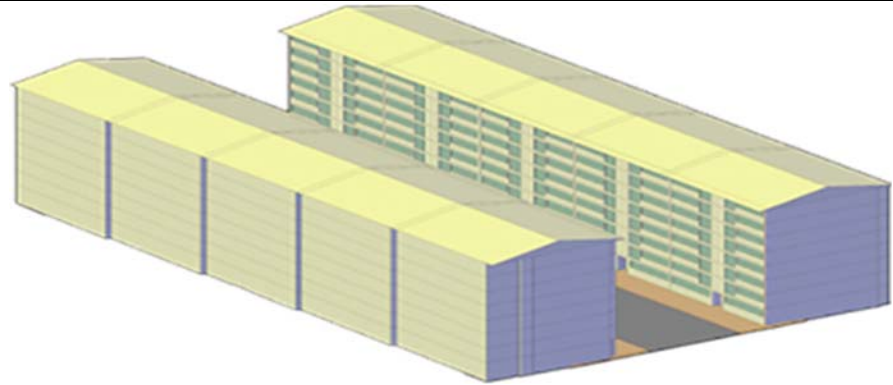


Figure A. Three-dimensional model used in the simulations of Atatürk Street

Purpose: The aim of this study is to examine the propagation of noise in urban areas, which is one of the most important problems of today's cities, through simulations depending on the changes in parameters that affect the propagation of sound.

Theory and Methods: For this purpose; Turkey Eskişehir having an average population, a busy two-lane transportation arteries around the adjacent 7-8 storey Atatürk Avenue is a street where the building was chosen as the case study. In the study, the current physical state of Atatürk Street was animated through the acoustic simulation program (which has an algorithm called "ray tracing" that takes into account the effects of multiple reflections, first and second order diffractions) and the variations created by applying many different facade features and road width applications on the animation. The effect on the formation of the street canyon was evaluated by comparing the variations with the current situation.

Results: The results of the study showed that the facade characteristics and different road widths have a significant effect on the propagation of environmental noise in the facade plane and in the entire road section. In this context; Although the presence of console, balcony and parapet in the facade setup and the presence of parapet slope have a negative effect on the ground floor; it has serious positive effects on the upper floors; terraced facades have a great positive effect on the difference in noise level, even though it is partly due to the increased distance between the facade plane and the traffic line; As the facade materials, the bottom of the balcony and the interior of the parapet are covered with sound absorbing equipment, creating a positive effect on all floors; In terms of road widths, it was concluded that the positive effect of different widths was mostly observed at the ground floor level.

Conclusion: The outputs presented in this study are considered to be a guide for urban planners and architects in determining the relevant parameters affecting the propagation of sound in existing settled cities and in design decisions to be taken at urban scale.



Yapı cephe özellikleri ve yol genişliğinin çevresel gürültü düzeyine etkisinin kentsel yol kesitleri üzerinden incelenmesi

Okan Şimşek*^{ORCID}, Aslı Özçevik Bilen^{ORCID}

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 26555 Tepebaşı Eskişehir, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Kentsel alanlarda gürültünün yayılma durumu
- Gürültünün yayılmasında cephe özelliklerinin ve yol genişliklerinin etkisi
- Gürültü yayılımını etkileyen parametrelerin sokak kanyonu oluşumu üzerindeki etkileri

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 18.04.2021

Kabul: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.919498

Anahtar Kelimeler:

Çevresel gürültü,
yapı cephe özellikleri,
yol genişliği,
sokak kanyonları,
gürültü haritaları

ÖZ

Hızla artan çevresel gürültü özellikle her iki tarafı yüksek katlı yapılarla kuşatılmış cadde ve sokaklarda çoklu cephe yansımaları aracılığıyla düzeyini arttırarak kentsel sokak kanyonlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Literatürde tespit edilen ve az sayıda bulunan sokak kanyonları ile ilgili çalışmalarda, farklı cephe özelliklerinin ve yol genişliklerinin kentsel gürültü azaltımı üzerindeki birleşik etkisinin analiz edilmediği ve gürültünün kentsel alanlardaki yayılımının sadece cephe düzlemi üzerinde analiz edilerek bütün sokak kesiti üzerinden incelenmediği görülmüştür. Bu tespit üzerinden hazırlanan bu çalışmanın amacı, günümüz kentlerinin en önemli problemleri arasında yer alan gürültünün kentsel alanlardaki yayılım durumunu, belirlenen bir kentsel alanda sesin yayılımını etkileyen parametrelerden mimari ve kentsel tasarım ile doğrudan ilişkili parametrelerin değişimine bağlı olarak simülasyonlar üzerinden incelemektir. Bu amaçla; Türkiye nüfusu ortalamasına sahip Eskişehir’de, 2 şeritli yoğun bir ulaşım arteri etrafında bitişik nizam 7-8 katlı yapıların bulunduğu bir cadde olması ile Türkiye kentlerinde yaygın uygulanan yol ve yapı uygulamasına sahip Atatürk Caddesi, örnek çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonuçları, cephe özellikleri ve farklı yol genişliklerinin, cephe düzlemindeki ve bütün yol kesitindeki çevresel gürültünün yayılması üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada sunulan çıktıların, kentsel ölçekte alınacak tasarım kararlarında ve mevcut yerleşik kentlerde sesin yayılımını etkileyen ilgili parametrelerin belirlenmesinde kent plancıları ve mimarlar açısından yol gösterici olacağı düşünülmektedir

Investigation of the effects of building facade features and road width on environmental noise level on urban road sections

H I G H L I G H T S

- The spread of noise in urban areas
- The effect of facade features and road widths on the propagation of noise
- Effects of parameters affecting noise propagation on street canyon formation

Article Info

Research Article

Received: 18.04.2021

Accepted: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.919498

Keywords:

Environmental noise,
facade features,
road width,
street canyons,
noise maps

ABSTRACT

Rapidly increasing environmental noise causes the formation of urban street canyons by increasing its level through multiple facade reflections, especially in streets and streets surrounded by high-rise buildings on both sides. In the studies on street canyons that have been identified in the literature and are few in number, the combined effect of different facade features and road widths on urban noise reduction is not analyzed and the propagation of noise in urban areas is analyzed only on the facade plane. It was observed that it was not examined over the whole street section. The aim of this study, which is prepared based on this determination, is to examine the propagation of noise in urban areas, which is one of the most important problems of today's cities, through simulations depending on the changes in parameters that affect the propagation of sound. For this purpose; Turkey Eskişehir having an average population, a busy two-lane transportation arteries around the adjacent 7-8 storey Atatürk Avenue is a street where the building was chosen as the case study. The results of the study showed that the facade characteristics and different road widths have a significant effect on the propagation of environmental noise in the facade plane and in the entire road section. The outputs presented in this study are considered to be a guide for urban planners and architects in determining the relevant parameters affecting the propagation of sound in existing settled cities and in design decisions to be taken at urban scale.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gürültü, genel olarak hoş gitmeyen, konforumuz açısından istenmeyen, rahatsız edici bir çevre kirliliği olarak tanımlanır. Verdiği bu rahatsızlığa ek olarak kişiler üzerinde, fizyolojik, psikolojik ve iş performansı yönünden olumsuz etkileri de vardır: örneğin; hızlı kalp atışı, solunumun hızlanması, işitme kayıpları, kulak çınlamaları, çeşitli psikolojik hastalıklar vb. Çocuklarda ise gürültünün ciddi etkileri arasında öğrenme güçlüğü ve odaklanma problemleri yer almaktadır [1, 2]. Bu durumda önemli çevre sorunlarından biri olan gürültü, müdahale edilmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle hızlı ve plansız kentleşmenin yaşandığı bölgelerde, gürültü toplum sağlığını ve konforunu dolayısıyla yaşam kalitesini olumsuz etkileyen faktörlerden birisidir [3]. Gürültüyü yok ederek gürültüsüz bir ortamda yaşamak olanaksız olabilir, ancak gürültünün toplum ve birey sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini kontrol altına alarak en aza indirmek mümkündür [4, 5]. Gürültüye hassas alanlarda yol güzergahı, işlev ve cephe tasarımı değişikliği yapmak kamusal açık alanlardaki gürültünün artmasına veya azalmasına sebep olarak kullanıcı konfor düzeylerini etkiler [6]. Hızlı ve plansız kentleşme sonucu iki yanı yüksek katlı yapılarla kuşatılmış kentsel alanlar, gürültünün cadde, sokak ve meydanlarda çoklu cephe yansımaları aracılığıyla düzeyini arttırarak kentsel sokak kanyonlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, cephe tasarımının uygun şekilde tasarlanması halinde kentsel akustik konforun artması beklenmektedir [7].

Bu cephe tasarımları ve kentsel sokak kanyonları, mimarlar ve şehir plancılarının çevresel gürültüyü hesaba katmadan kentsel ölçekte aldığı kararlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, sokaklar boyunca gürültü düzeylerini azaltabilecek mimari yaklaşımlar ve cephe değişiklikleri hakkında çok az bilgi bulunmakla birlikte; kentsel bir sokak kanyonunda, genel ses basıncı düzeyini azaltmak için kullanılacak iki yöntemden bahsedilebilir. Birincisi cephe kurgusuyla gürültü yansımalarını kontrol ederek yansımaların sokak kanyonundan ayrılmasını sağlamak iken; ikincisi, akustik enerjide etkili kayba yol açan yutma katsayısı yüksek malzemeleri yapı cephelerinde kullanmaktır [8]. Çoklu yansımaların etkisi ve saçılmanın kentsel çevrede önemi, ilk önce Lyon tarafından değerlendirilmiştir[9]. Lyon, uçak gürültüsünün bir kentsel alana girmesiyle birlikte sesin açık arazi koşullarının üzerine çıkabileceğini göstermiştir.

Szabov, yapı cephelerinin ses yutma özelliklerinin, farklı yol yüzeyi özelliklerinin ve farklı yol genişliklerinin genel olarak gürültü düzeylerine etkisini, farklı varyasyonlar üzerinden tartışmıştır. Çalışmada, bir akustik simülasyon programı kullanılarak elde edilen iki farklı model kurgu üzerinden bina cephesindeki ses yutucu malzemenin gürültü düzeyi üzerindeki azaltıcı etkisinin yüksek katlarda çok daha fazla belirgin olduğu bulunmuştur. Ayrıca yol genişliğinin, ses yutucu bir malzemeyle kaplı cephenin verimliliğini etkilediği sonucuna varılmıştır. 24 m genişliğindeki bir

sokak kanyonunda ses yutma etkisinin, 12 m genişliğindeki nispeten dar bir sokak kanyonuna göre kıyasla daha az belirgin olduğu sonucuna varılmıştır [10].

Calleri, dış mekan gürültüsü azaltımı için optimize edilmiş cephe tasarımlarının ön tasarım aşamalarına entegre edilmesi olasılığını araştırmıştır. Çalışmada, yapı cephe kaplaması ve binanın zemin katındaki ses yutucu malzemelerin, zemin katın üzerine yerleştirilen alıcılar için ihmal edilebilir etkileri olduğu, balkon geometrilerindeki değişikliklerin gürültü azaltımı için önemli bir etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır [11]. İsmail ve Oldham'ın 2002 yılında yaptığı çalışmada ise kentsel sokak kanyonunun alçak uçan uçaklardan kaynaklanan gürültü üzerine etkisi araştırılmıştır. Araştırmada, gürültü düzeyinin, bina yüksekliğinin uçuş yüksekliğine oranı ile orantılı olarak arttığı, ancak sokak genişliği değişiminin gürültü düzeyi azaltımında küçük bir etkisi olduğu ortaya konmuştur [12].

Hossam El Dien ve Woloszyn ise balkon derinliği ve korkuluk formunun, yollara yakın bina cephelerinin gürültü denetimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sekiz katlı bir binada çeşitli balkon derinlikleri ve iki korkuluk eğimi modellenmiştir. Piramit ışın izleme simülasyonları ve ölçek model üzerinden ses basınç düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada, balkon arka duvarında ve serbest alan koşullarında simülasyonda öngörülen ve alanda ölçülen A-ağırlıklı ses basıncı düzeyi düşüşleri karşılaştırılmıştır. Çeşitli balkon derinlikleri ile elde edilen gürültü azaltımı 4 dBA ile 8 dBA arasında değişirken, korkulukların eğimi ile 0,5 dBA ile 4 dBA arasında ek bir gürültü azaltımı elde edilebileceği sonucuna varılmıştır [13].

Yapı cephelerinde balkon tasarımı üzerine yapılan konuyla ilgili çok sayıda araştırma, bir cephedeki farklı balkon şekillerinin ölçümlerle ve simülasyonlarla cephenin üzerindeki ses basınç düzeyini büyük oranda azaltabildiğini göstermiştir [14-16]. Bu araştırmalar, balkonların cepheye ulaşan gürültü azaltımına sağladığı katkıya bağlı olarak ses basınç düzeylerini incelemiş ve farklı balkon derinlikleri, korkulukları ve balkon alt yüzey eğimlerinin etkisini araştırmışlardır [17, 18].

Balkonların farklı yüzeylerine uygulanan ses yutucu malzemelerin faydaları da birçok çalışmada ele alınmıştır [18, 19]. Bu çalışmalara göre, balkonların alt yüzeylerine ses yutucu malzemeler uygulanarak cephede 9 dBA'ya kadar ses basınç düzeyinde azalmalar elde edilirken, tüm balkona ses yutucu malzemeler uygulanarak 10 dBA'ya kadar ses basınç düzeyinde azalmaların elde edildiği sonuçlarına varılmıştır [20, 21].

Literatürdeki çalışmalarda;

- Kentsel sokak kanyonları üzerindeki yol ve yapı uygulamalarında sesin yayılımını etkileyen (gürültü azaltımı sağlayabilecek) parametrelerin (cephe kurgusu (cephe biçimi, balkon tasarımı), cephe malzemeleri ve yol

genişlikleri) ayrı ayrı ele alındığı ve ilgili parametrelerin birleşik etkilerinin henüz incelenmediği

- Gürültünün kentsel alanlardaki yayılımının sadece cephe düzlemi üzerinde ele alınarak bütün sokak kesiti üzerinde henüz araştırılmadığı açıkça görülmektedir.

Ayrıca ilgili çalışmalarda yöntem olarak, simülasyon ve alan ölçmelerinin kullanılmasına karşın; kentsel ölçekte çok karmaşık bir yayılım gösteren gürültünün görünür kılınmasına, farklı noktalardaki değişen gürültü düzeylerinin tespit edilerek noktasal çözümler üretilmesine, farklı tasarım çözümleri geliştirilmesine ve sadece bir noktada değil bütün kesit üzerinde ses basınç düzeylerinin değerlendirilmesine olanak sağlayan kesit gürültü haritalarından oldukça az yararlanıldığı tespit edilmiştir.

Literatüre dayalı yapılan tespitler üzerinden bu çalışmada, yapı cephe kurgularının, cephe malzemelerinin ses yutma özelliklerinin ve farklı yol genişliklerinin sokak kanyonlarındaki gürültü düzeyleri üzerindeki birleşik etkisi araştırılmaktadır. Buna göre;

- Türkiye kentlerinde yaygın uygulanan yol ve yapı uygulamasına sahip bir örnek çalışma alanı seçilmiştir.
- Çalışma alanının mevcut fiziksel durumu literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan ODEON (V 14.0 Auditorium) programı kullanılarak simüle edilmiş ve mevcut koşullarda akustik yayılım incelenmiştir.
- Simülasyon üzerinde literatürde yer alan çok sayıda farklı cephe biçimi (düz cephe, konsolları olan cephe ve teraslamalı cephe), balkon tasarımı (balkon derinliği, parapet durumu ve eğimi), cephe malzemeleri (ses yutucu malzeme uygulaması) ve yol genişlikleri uygulamaları yapılarak varyasyonlar oluşturulmuştur.
- Varyasyonlardaki akustik yayılım kendi aralarında ve mevcut koşullar ile birlikte karşılaştırmalı analiz edilmiştir.
- Çalışma kapsamında belirlenen kentsel alanda sesin yayılımını etkileyen parametrelerin sokak kanyonunu oluşumuna etkileri kesit gürültü haritaları aracılığıyla değerlendirilmiştir.

2. ALAN ÇALIŞMASI (FIELD WORK)

2.1. Çalışma Alanı ve Mevcut Fiziksel Durumu (Cephe Özellikleri)

(Study Area and Current Physical Condition (Facade Features))

Örnek çalışma alanının seçimi için Türkiye nüfusu ortalamasına sahip Eskişehir kenti belirlenmiş ve çalışma alanı olarak Eskişehir Atatürk Caddesi seçilmiştir (Şekil 1). Atatürk Caddesi'nin seçilme nedeni caddenin 2 şeritli yoğun bir ulaşım arteri etrafında bitişik nizam 7-8 katlı yapıların oluşturduğu kentsel sokak kanyonunu niteliği taşıması ile Türkiye kentlerinde yaygın uygulanan yol ve yapı uygulamasına sahip olması ve birçok farklı cephe özelliğine sahip yapı örneğini barındırıyor olmasıdır.

Atatürk Caddesi boyunca mevcut fiziksel durumu, Şekil 2'de basit grafiklerle ifade edilmiştir. Şekilde cadde boyunca yer

alan yapı örnekleri, yapıların cephe özelliklerine (düz yüzeyli, farklı konsol mesafesine sahip, dolu eğimli balkon parapetine sahip, dolu düz balkon parapetine sahip ve teraslamalı cephe) göre sınıflandırılarak çizim ve fotoğraflar halinde sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanı olarak seçilen Atatürk Caddesi'nin Eskişehir genelindeki konumu
(The location of Atatürk Street, chosen as the working area, in Eskişehir)

2.2. Simülasyon Üzerinde Geliştirilen Varyasyonlar (Cephe Özellikleri ve Yol Genişlikleri)

(Developed Variations on Simulation (Facade Features and Road Widths))



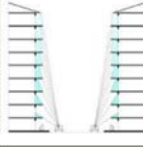

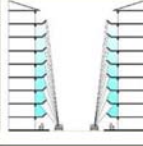

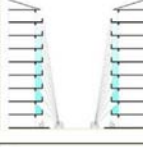



Atatürk Caddesi'nin mevcut fiziksel durumu üzerinde çok sayıda farklı cephe biçimi (düz cephe, konsolları olan cephe ve teraslamalı cephe), balkon tasarımı (balkon derinliği, parapet durumu ve eğimi), cephe malzemeleri (ses yutucu malzeme uygulaması) ve yol genişlikleri uygulamaları yapılarak 28 tane varyasyon oluşturulmuş ve simüle edilmiştir. Simülasyonları yapılan varyasyonlar ve özellikleri Tablo 1'de detaylı olarak gösterilmiştir. Bu varyasyonlar, literatür tespitine dayanarak yapı cephe özelliklerinin cephe malzemelerinin ses yutma özelliklerinin ve farklı yol genişliklerinin sokak kanyonlarındaki gürültü düzeyleri üzerindeki birleşik etkisini temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Bu çalışmada mevcut durum ile birlikte toplam 29 tane simülasyonda akustik yayılım analizi karşılaştırılmalı olarak ele alınmıştır.

2.3. Simülasyon Prosedürü (Simulation Procedure)

Kentsel sokak kanyonunun akustik açıdan değerlendirilmesi için ses basınç düzeyi değerlerinin elde edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen simülasyonlar öncesinde bölgenin mevcut fiziksel durumunun üç boyutlu modeli SketchUp 2017 yazılımında hazırlanmıştır.

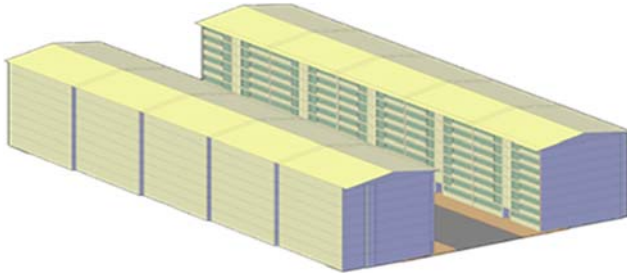
Hazırlanan model, ODEON (V 14.0 Auditorium) simülasyon programına aktarıldıktan sonra program kapsamında gerekli kontroller gerçekleştirilmiş ve modelde herhangi bir hata olup olmadığı denetlenmiştir.

Mevcut fiziksel duruma ait cephe kurgusuna ulaşan ses basınç düzeyine, karşıdaki ve yanlardaki yapı cephelerinin etkisini dahil edebilmek için model çevresiyle birlikte hazırlanmıştır. Hazırlanan mevcut durum simülasyonu, yedi

Açıklama	Kesit çizimleri	Atatürk Caddesi'nden yapı örneği fotoğrafı
Atatürk Caddesi'nden yer alan düz yüzeyli bir cepheye sahip yapı örneği ve kesit çizimi		
Atatürk Caddesi'nden yer alan farklı konsol mesafelerine sahip yapı örneği ve kesit çizimi		
Atatürk Caddesi'nden yer alan dolu eğimli balkon parapetine sahip yapı örneği ve kesit çizimi		
Atatürk Caddesi'nden yer alan dolu düz balkon parapetine sahip yapı örneği ve kesit çizimi		
Atatürk Caddesi'nden yer alan ve yukarı katlara doğru teraslama cephe özelliğine sahip yapı örneği ve kesit çizimi		

Şekil 2. Çalışma alanı olarak seçilen Atatürk Caddesi'nde yer alan yapı örnekleri ve kesit çizimleri
(Building samples and section drawings in Atatürk Street selected as a working area)

katlı 24 m yüksekliğindeki bitişik nizam yapıların, 18 m genişliğinde bir yol boyunca hizalanması ve yolun her iki tarafında 3,15 m genişliğindeki kaldırımların düzenlenmesi ile Atatürk Caddesi'ni temsil etmektedir (Şekil 3). Akustik simülasyonlarda kaynak olarak yolun orta aksına konumlanmış ve yerden 1,20 m yükseklikte konuşma ve trafik tayfına karşılık gelen BB93_RAISED_NATURAL.SO8 (SWL:75,4 dBA) nokta kaynağının birbirinden 2 m mesafede tüm yol boyunca çoğaltılmasıyla oluşturulan trafik çizgi kaynağı kullanılmıştır [22].



Şekil 3. Atatürk Caddesi'nin simülasyonlarında kullanılan üç boyutlu model
(Three-dimensional model used in the simulations of Atatürk Street)

İlgili düzenlemeler sonrası simülasyondaki yüzeylere mevcut cephe malzeme atamaları gerçekleştirilmiştir. Mevcut malzeme tespitlerinden sonra malzemelerin

frekanslara bağlı ses yutma çarpanı değerleri için Odeon simülasyon yazılımı kütüphanesinden faydalanılmıştır. İlgili malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma çarpanları Tablo 2'de verilmektedir.

Ayrıca, aşağıdaki yazılım parametreleri literatürdeki simülasyonlarla karşılaştırılarak analizlerin doğru ve anlaşılır bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için yazılıma girdi olarak kabul edilmiştir [23]:

- Işın izleme algoritmasıyla birlikte görüntü kaynağı yöntemi kullanılmış ve bütün modellerde hava sıcaklığı 20°C ve nem %50 olarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir;
- Kesit gürültü haritaları için; 0,2 x 0,2 m ızgara alanı ile cephenin ortasından geçerek tüm caddeyi kaplayan dikey kesit düzlemine yerleştirilmiş alıcılar;
- Cepheye etki eden ses basınç düzeyleri için; her katın cephesinde o katın döşeme hizasından 0,7 m, 1,4 m ve 2,1 m yüksekliklerine yerleştirilmiş ve cepheden 0,2 m uzaklıkta her kata 3 nokta alıcı gelecek şekilde toplam 24 nokta alıcıyla simülasyonların kurgulanması ve her kat için ilgili kattaki üç nokta alıcının aritmetik ortalaması alınarak değerlendirme yapılması;
- birbirinden 2 m mesafede bir dizi nokta kaynağı olarak çoğaltılan trafik çizgi kaynağı (araçlar);
- Referans yapıda yapılan her türlü değişimin bütün yapılarda eş zamanlı olarak değiştirilmesi.

Tablo 1. Atatürk Caddesi'nin mevcut durumu ve simülasyon üzerinde geliştirilen varyasyonlar ile özellikleri
(The current situation of Atatürk Street and the variations and features developed on the simulation)

Varyasyonlar	Cephe kurgusu				Cephe malzemesi					Genişliği
	Cephe biçimi		Balkon tasarımı		Parapet Eğimi (derece)	Konsol Altı Ses Yutucu Gereç	Balkon Altı Ses Yutucu Gereç	Balkon Parapet İç Ses Yutucu Gereç	Yol	
	Konsol	Üst Katlarda Geri Çekilme (teraslama)	Balkon Derinliği	Parapet durumu						
Mevcut	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18 m
1	1 m	-	-	-	-	-	-	-	-	18 m
2	1 m	-	-	-	-	var	-	-	-	18 m
3	-	-	1 m	Boşluklu	-	-	-	-	-	18 m
4	-	-	1m	Dolu	-	-	var	var	-	18 m
5	2 m	-	-	-	-	-	-	-	-	18 m
6	2 m	-	-	-	-	var	-	-	-	18 m
7	-	-	2 m	Boşluklu	-	-	-	-	-	18 m
8	-	-	2 m	Dolu	-	-	var	var	-	18 m
9	3 m	-	-	-	-	-	-	-	-	18 m
10	3 m	-	-	-	-	var	-	-	-	18 m
11	-	-	3 m	Boşluklu	-	-	-	-	-	18 m
12	-	-	3 m	Dolu	-	-	var	var	-	18 m
13	-	-	1 m	Dolu	10	-	-	-	-	18 m
14	-	-	1 m	Dolu	20	-	-	-	-	18 m
15	-	-	1 m	Dolu	30	-	-	-	-	18 m
16	-	-	1 m	Dolu	45	-	-	-	-	18 m
17	-	1 m	-	-	-	-	-	-	-	18 m
18	-	1 m	-	Dolu	-	-	-	-	-	18 m
19	-	2 m	-	-	-	-	-	-	-	18 m
20	-	2 m	-	Dolu	-	-	-	-	-	18 m
21	-	3 m	-	-	-	-	-	-	-	18 m
22	-	3 m	-	Dolu	-	-	-	-	-	18 m
23	-	4 m	-	-	-	-	-	-	-	18 m
24	-	4 m	-	Dolu	-	-	-	-	-	18 m
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25 m
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30 m
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40 m
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50 m

Tablo 2. Atatürk Caddesi'nin mevcut fiziksel durumuna ait simülasyonda kullanılan cephe malzemeleri ve frekansa bağlı ses yutma çarpanları

(The facade materials used in the simulation of the current physical condition of Atatürk Street and the frequency-dependent sound absorption multipliers)

No	Yüzey	Malzeme Kodu*	Malzeme	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Yapı Cepheleri	4036	Sıva	0,14	0,14	0,10	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03
2	Yol	6000	Asfalt	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02
3	Kaldırım	6001	Kilit Parke Taşı	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,1	0,1
4	Pencereler	10003	Lamine çift cam	0,1	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02
5	Gökyüzü	99		1	1	1	1	1	1	1	1
6	Balkon Tavanı	12006	Mineral Yünü (50mm)	0,7	0,7	0,45	0,65	0,60	0,75	0,65	0,65
7	Parapet İç Yüzeyi	12006	Mineral Yünü (50mm)	0,7	0,7	0,45	0,65	0,60	0,75	0,65	0,65

*:[22]

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmadaki değerlendirmeler,

- Atatürk Caddesi'nin mevcut fiziksel duruma ait cephe kurgusundaki alıcı noktalarında simülasyon sonucu hesaplanan A ağırlıklı ses basınç düzeyi ($SPLA_{mevcut}$) değerleri ile
- Geliştirilen varyasyonların cephesindeki alıcı noktalarında simülasyon sonucu hesaplanan A ağırlıklı ses basınç düzeyi ($SPLA_{varyasyon}$) değerlerinin karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir.

3.1. Atatürk Caddesi'nin Simülasyon Yöntemi ile Mevcut Akustik Yayılım Analizi (Current Acoustic Analysis of Atatürk Street with Simulation Method)

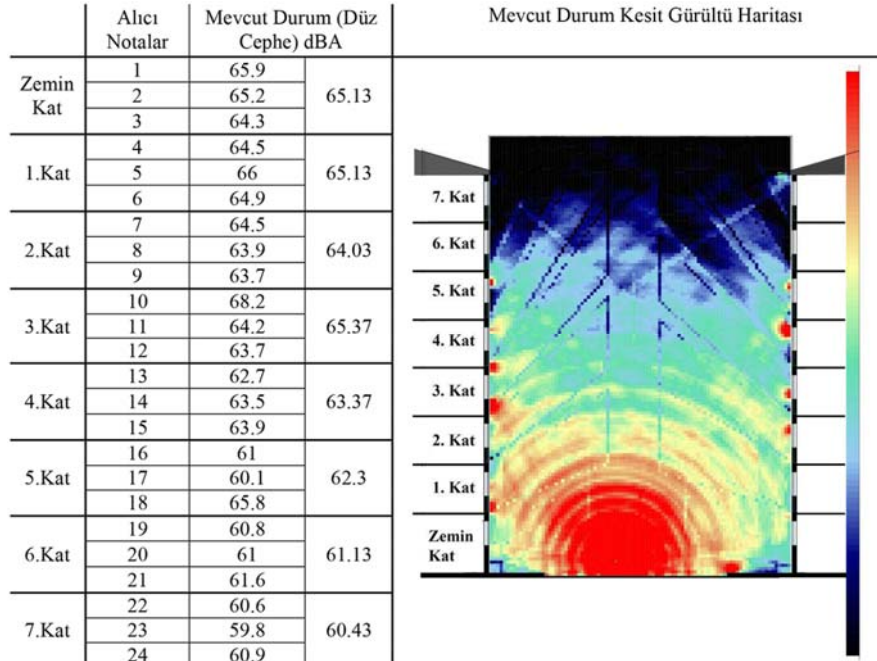
Simülasyonu yapılarak analiz edilen Atatürk Caddesi'ndeki mevcut fiziksel duruma ait cephe kurgusundaki alıcı noktalarında simülasyon sonucu ölçümlenen A ağırlıklı ses basınç düzeyi değerleri ve kesit gürültü haritası Şekil 4'de gösterilmiştir.

3.2. Geliştirilen Varyasyonların Simülasyon Yöntemi ile Akustik Yayılım Analizi ve Karşılaştırmalı Değerlendirmesi (Acoustic Analysis and Comparative Evaluation of Developed Variations with Simulation Method)

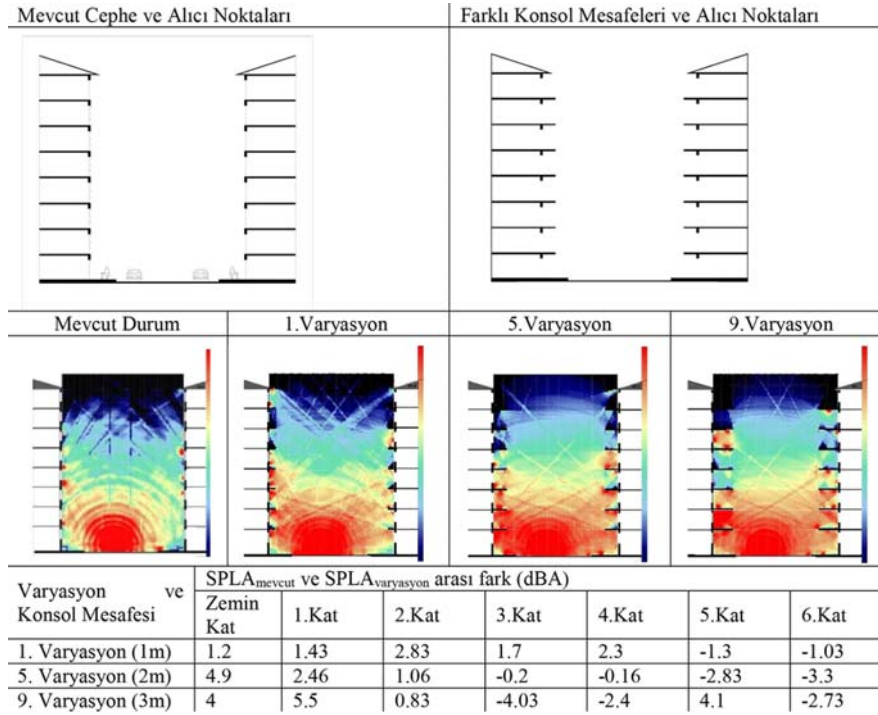
Çalışma kapsamında belirlenen kentsel alanda sesin yayılımını etkileyen parametrelerin sokak kanyonu oluşumuna etkileri, kesit gürültü haritaları ile tablolar halinde sunulmuştur (Şekil 5-13). Varyasyonlardaki akustik

yayılım kendi aralarında ve mevcut koşullar ile birlikte karşılaştırmalı analiz edilmiştir. Simülasyon üzerinde çok sayıda farklı cephe biçimi (düz cephe, konsolları olan cephe ve teraslama cephe), balkon tasarımı (balkon derinliği, parapet durumu ve eğimi), cephe malzemeleri (ses yutucu malzeme uygulaması) ve yol genişlikleri uygulamaları yapılarak varyasyonlar oluşturulmuştur. Bu varyasyonlar aşağıda verilmiştir.

- Konsolun sokak kanyonu oluşumuna etkisini analiz etmek için, farklı konsol mesafesine sahip 3 (varyasyon 1-5-9) cephe ile konsolsuz mevcut cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 5)
- Balkon derinliğinin sokak kanyonu oluşumuna etkisini analiz etmek için, farklı balkon derinliklerine sahip 3 (varyasyon 3-7-11) cephe ile mevcut balkonsuz cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 6)
- Parapet eğiminin sokak kanyonu oluşumuna etkisini analiz etmek için, farklı parapet eğimlerine sahip 4 (varyasyon 13-14-15-16) cephe ile mevcut parapetsiz cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 7)
- Parapetsiz teraslamanın sokak kanyonu oluşumuna etkisini analiz etmek için, farklı geri çekme mesafelerine sahip parapetsiz 4 (varyasyon 17-19-21-23) cephe ile mevcut parapetsiz cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 8)
- Dolu parapetli teraslamanın sokak kanyonu oluşumuna etkisini analiz etmek için, farklı geri çekme mesafelerine sahip dolu parapetli 4 (varyasyon 18-20-22-24) cephe ile mevcut parapetsiz cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 9)
- Konsol, balkon ve yutucu gereç kullanımının sokak kanyonu oluşumuna etkisini analiz etmek için;



Şekil 4. Atatürk Caddesi'nin mevcut fiziksel durumuna ait simülasyon sonucu elde edilen akustik yayılım analizi (A ağırlıklı ses basınç düzeyleri ve kesit gürültü haritası) (Acoustic analysis obtained as a result of simulation of the current physical condition of Atatürk Street (A-weighted sound pressure levels and cross-section noise map))



Şekil 5. Mevcut cephe ile farklı konsol mesafelerine sahip cepheler arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları

(A-weighted sound pressure level differences and street cross-sectional noise maps between

- 1m konsolu olan cephe (varyasyon 1), 1m konsolu olan ve konsol altında ses yutucu geçiş olan cephe (varyasyon 2), 1m balkonlu olan boşluklu parapete sahip cephe (varyasyon 3), 1m balkonlu olan ve balkon altı-parapet içi ses yutucu geçiş olan dolu parapetli cephe (varyasyon 4) varyasyonları ile mevcut parapetsiz cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 10)
- 2m konsolu olan cephe (varyasyon 5), 2m konsolu olan ve konsol altında ses yutucu geçiş olan cephe (varyasyon 6), 2m balkonlu olan boşluklu parapete sahip cephe (varyasyon 7), 2m balkonlu olan ve balkon altı-parapet içi ses yutucu geçiş olan dolu parapetli cephe (varyasyon 8) varyasyonları ile mevcut parapetsiz cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 11)
- 3m konsolu olan cephe (varyasyon 9), 3m konsolu olan ve konsol altında ses yutucu geçiş olan cephe (varyasyon 10), 3m balkonlu olan boşluklu parapete sahip cephe (varyasyon 11), 3m balkonlu olan ve balkon altı-parapet içi ses yutucu geçiş olan dolu parapetli cephe (varyasyon 12) varyasyonları ile mevcut parapetsiz cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 12)
- Yol genişliklerinin sokak kanyonu oluşumuna etkisini analiz etmek için, mevcut cephe kurgusunda 4 (varyasyon 25-26-27-28) farklı yol genişliğine sahip cephe ile mevcut cephe SPLA değerlerinin karşılaştırması (Şekil 13) şeklindedir.

3.2.1. Konsolun sokak kanyonu oluşumuna etkisi (The effect of the console on the formation of a street canyon)

Şekil 5'e göre; Konsolun gürültü azaltımındaki olumlu etkisi (gürültü düzeyinde azalma) yalnızca üst katlar için

geçerlidir. Zemin katta ve aşağı katlarda konsol altından yansımalarla konsolun varlığı olumsuz etki (gürültü düzeyinde artma) yaratmaktadır. Konsol derinliklerinin farklı olmasının gürültü azaltımında ki olumlu etkisi hakkında anlamlı bir ilişki gözlemlenmemiştir. Ancak konsol derinliğinin artması zemin katta ve aşağı katlarda konsol derinliği arttıkça olumsuz etkisinin arttığı gözlemlenmiştir.

3.2.2. Balkon derinliğinin sokak kanyonu oluşumuna etkisi (The effect of balcony depth on the formation of a street canyon)

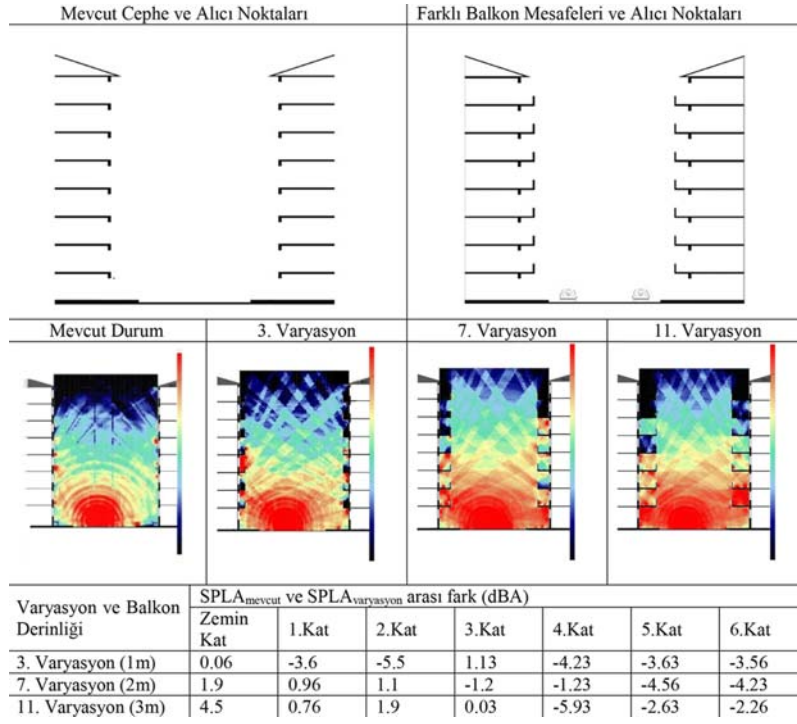
Şekil 6'ya göre; parapetin varlığı, açık korkuluklarla ya da konsollarla karşılaştırıldığında daha büyük bir azalma yaratır; bu olumlu etki üst katlarda artar.

3.2.3. Parapet eğiminin sokak kanyonu oluşumuna etkisi (The effect of parapet slope on street canyon formation)

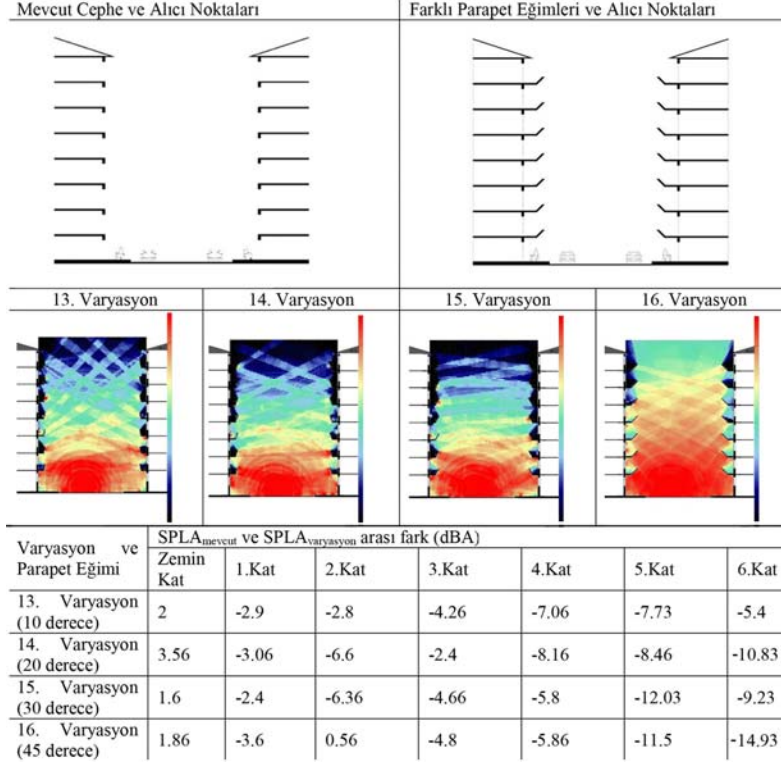
Şekil 7'ye göre; balkon derinliği 1 metre olarak sabit tutulup farklı parapet eğimleriyle yapılan simülasyonlarda parapet eğimlerinden dolayı zemin seviyesine tekrar ses yansımalarıyla zemin kattaki gürültü düzeylerinde olumsuz etki yaratırken zemin kat dışındaki bütün katlarda olumlu etki yaratmıştır.

3.2.4. Parapetsiz teraslamanın sokak kanyonu oluşumuna etkisi (The effect of parapet-free terracing on the formation of a street canyon)

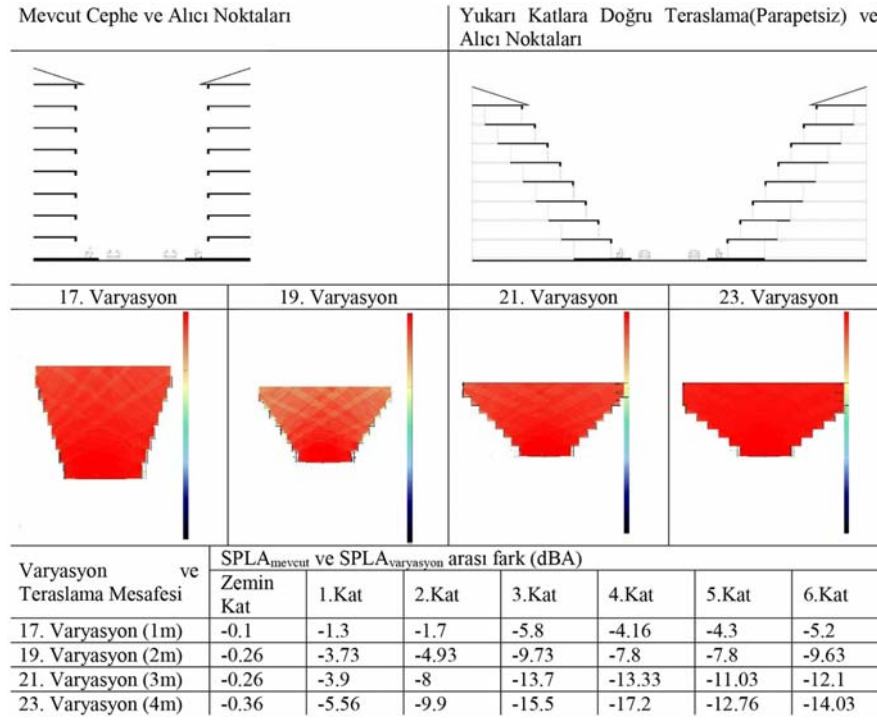
Şekil 8'e göre; parapetsiz teraslama cepheler, gürültü düzeyi üzerinde büyük bir olumlu etki yaratır; en az 3m'lik



Şekil 6. Mevcut cephe ile farklı balkon mesafelerine sahip cepheler arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları (A-weighted sound pressure level differences between the existing façade and facades with different balcony distances and street section noise maps)



Şekil 7. Mevcut cephe ile farklı parapet eğimlerine sahip cepheler arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları (A-weighted sound pressure level differences and street section noise maps of facades with different parapet slopes with the existing facade)



Şekil 8. Mevcut cephe ile farklı ölçülerde parapetsiz teraslamalara sahip cepheler arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları (A-weighted sound pressure level differences and street section noise maps between the existing facade and the facades with different sizes of parapet-free terraces)

teraslamalarda, düzey farkı 10 dBA'dan daha büyük olabilir. Zemin kat dahil bütün katlarda olumlu etki yaratmıştır. Bu etki kısmen cephe düzlemi ile trafik hattı arasındaki artan mesafeden kaynaklanmaktadır. Ancak zemin kat cephe düzlemi ile trafik hattı arasındaki mesafe sabit kaldığı halde zemin kat düzey farkı üzerinde ki olumlu etki üst katlardaki cephe yansımalarının zemin seviyesindeki olumsuz etkisini kanıtlamaktadır.

3.2.5. Dolu parapetli teraslamanın sokak kanyonu oluşumuna etkisi (The effect of full parapet terracing on street canyon formation)

Şekil 9'a göre; parapetli teraslama cepheler, gürültü düzeyi üzerinde büyük bir olumlu etki yaratır; en az 2m'lik teraslamalarda, düzey farkı 10 dBA'dan daha büyük olabilir. Ancak bu etki kısmen cephe düzlemi ile trafik hattı arasındaki artan mesafeden kaynaklanmaktadır. Parapetsiz teraslama cephelerle karşılaştırma yapıldığında ise, parapetin varlığı zemin kat seviyesinde parapet yüzeyinden yansımalarla olumsuz etki yaratırken üst katlarda akustik gölge alanını arttırarak olumlu etki yaratmıştır.

3.2.6. Konsol, balkon ve yutucu gereç kullanımının sokak kanyonu oluşumuna etkisi (The effect of the use of consoles, balconies and absorbing equipment on the formation of a street canyon)

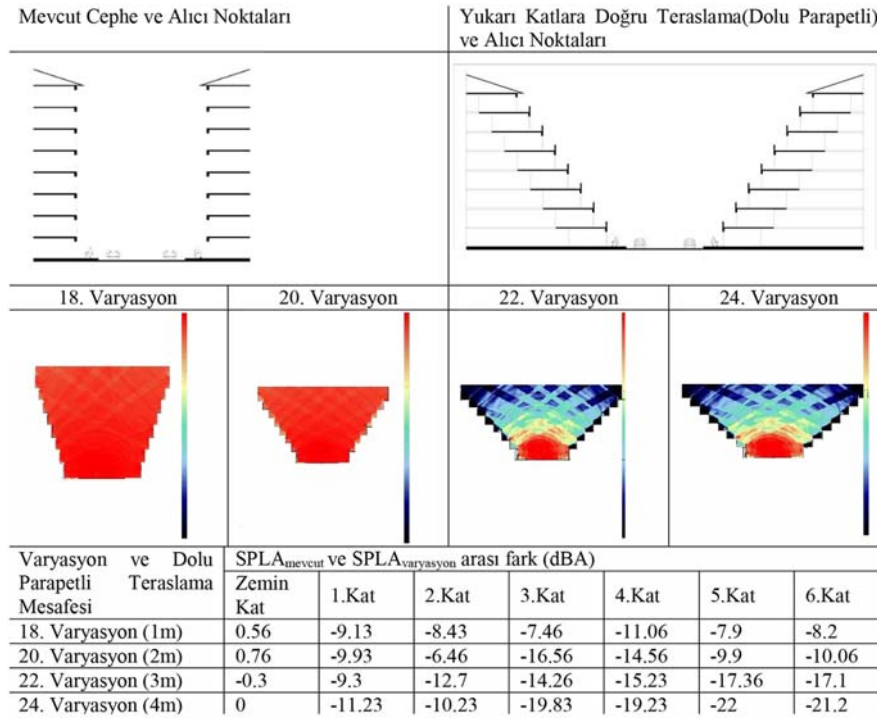
Ses yutucu malzeme kullanılan cephelerin yer aldığı Şekil 10-11 ve 12'den aşağıdaki hususlar çıkarılabilir:

- Farklı konsol mesafelerinde konsol altının ses yutucu gereçle kaplanmış olması kaplanmamış olması haline göre zemin kat seviyesinde 1-3 dBA olumlu etki yaratmışken bu olumlu etki üst katlarda 8 dBA' ya kadar çıkmıştır.
- Farklı balkon mesafelerinde balkon altının ve parapet içinin ses yutucu gereçle kaplanmış olması kaplanmamış olması haline göre zemin kat seviyesinde 1-3 dBA olumlu etki yaratmışken bu olumlu etki üst katlarda 12 dBA' ya kadar çıkmıştır.
- Farklı balkon mesafelerinde balkon altının ve parapet içinin ses yutucu gereçle kaplanmış olması zemin kat seviyesi hariç bütün katlarda olumlu etki yaratmıştır.
- Üst katlara doğru ses yutucu gereçlerin etkisi artar.
- Genel olarak, ses yutucu malzeme kullanımını en aza indiren ve aynı zamanda bu malzemeyi iklim şartlarından koruyan daha iyi çözüm, ses yutucu malzemenin balkon tavanında ve parapetin iç yüzeyinde kullanılmış olmasıdır.

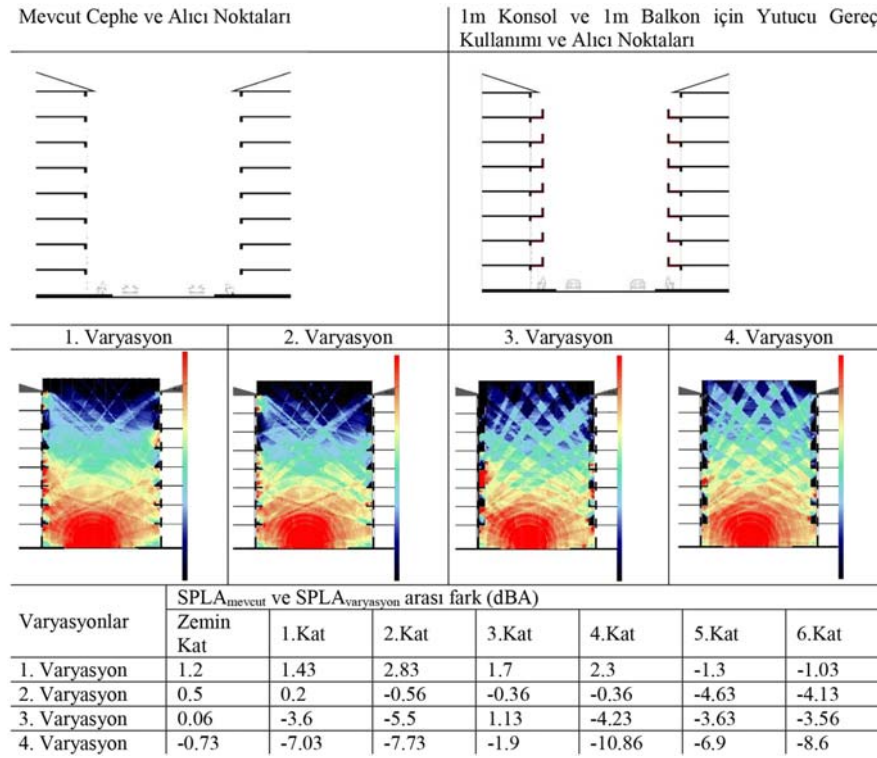
3.2.7. Yol genişliklerinin sokak kanyonu oluşumuna etkisi (The effect of road widths on the formation of a street canyon)

Şekil 13'e göre;

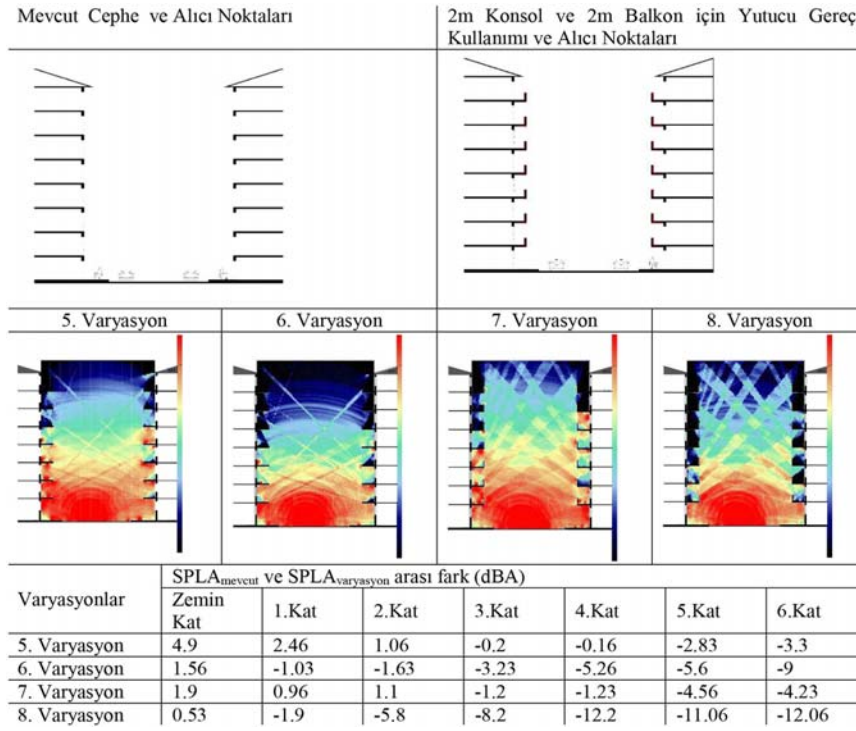
- Farklı yol genişliklerinin olumlu etkisi en çok zemin kat seviyesinde gözlemlenmiştir.
- 50 m'lik yol genişliğinde mevcut duruma göre zemin kat seviyesinde 9 dB' in üzerinde bir olumlu etki gözlemlenmiştir.



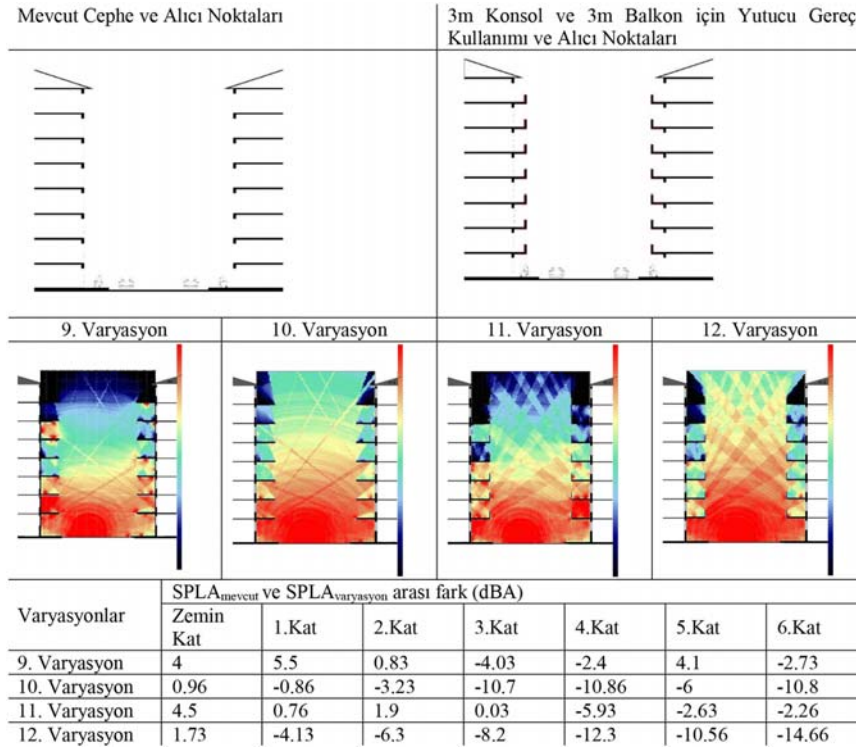
Şekil 9. Mevcut cephe ile farklı dolu parapetli teraslamalara sahip cepheler arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları (A-weighted sound pressure level differences and street section noise maps between the existing facade and the facade with different terraces)



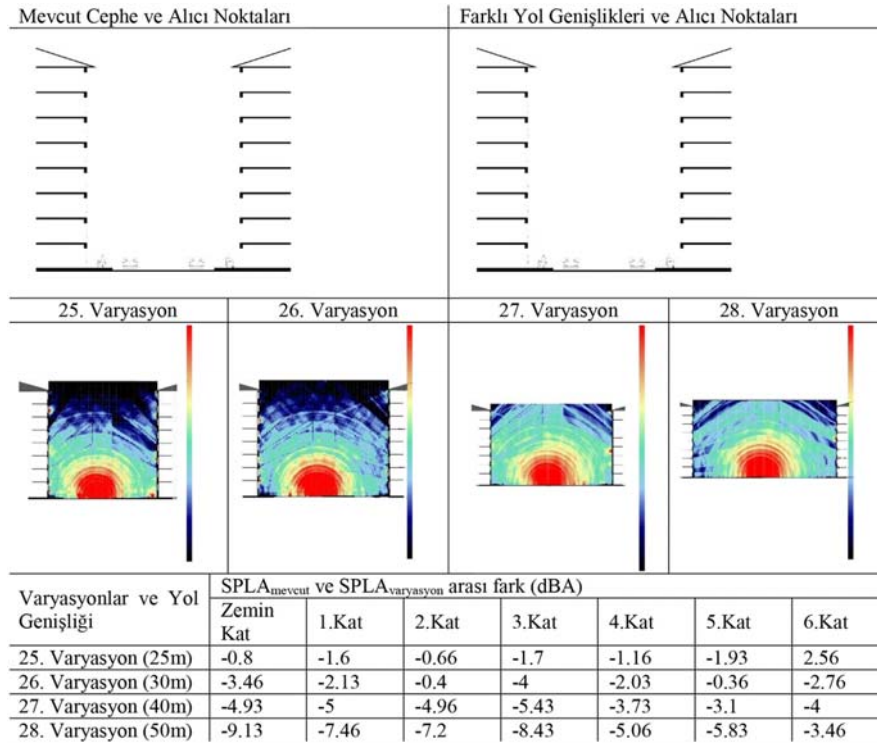
Şekil 10. Mevcut cephe ile 1m konsol ve 1m balkona sahip cephelerin yutucu gereç kaplanması arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları (A-weighted sound pressure level differences and street cross-section noise maps between the existing facade and the absorber coating of the facades with 1m console and 1m balcony)



Şekil 11. Mevcut cephe ile 2m konsol ve 2m balkona sahip cephelerin yutucu gereç kaplanması arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları (A-weighted sound pressure level differences and street cross-section noise maps between the existing façade and the absorber coating of the façades with 1m console and 1m balcony)



Şekil 12. Mevcut cephe ile 3m konsol ve 3m balkona sahip cephelerin yutucu gereç kaplanması arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları (A-weighted sound pressure level differences and street cross-section noise maps between the existing façade and the absorber coating of the façades with 3m console and 3m balcony)



Şekil 13. Mevcut cephe ile farklı yol genişliklerine sahip yapı cepheleri arasındaki A ağırlıklı ses basınç düzeyi farkları ve cadde kesit gürültü haritaları

(A-weighted sound pressure level differences between the existing facade and building facades with different road widths and street section noise maps)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Çalışma kapsamında, cephe özelliklerinin ve yol genişliklerinin gelen ses üzerindeki etkisini incelemek amacıyla Eskişehir'deki Atatürk Caddesi'nin simülasyon üzerinden mevcut gürültü düzeyi sonuçları, çok sayıda farklı cephe özelliklerinin (cephe kurgusu (cephe biçimi, balkon tasarımı) ve malzemeleri) ve yol genişliklerinin olduğu varyasyonların sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapı cephelerinden gelen çoklu ses yansımalarının, sadece kaynak seviyesinde değil, tüm bina cephesi boyunca ses basıncı düzeylerindeki değişimi gürültü haritaları ve tablolar aracılığıyla karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalar sonucu, cephe kurgusunun, kullanılan malzemelerin ve farklı yol genişliklerinin cephe düzlemindeki ve bütün yol kesitindeki çevresel gürültünün yayılması üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bu bağlamda kentsel alanda sesin yayılımını etkileyen parametrelerden;

Cephe kurgusunun (cephe biçimi (düz cephe, konsolları olan cephe ve teraslamalı cephe), balkon tasarımı (balkon derinliği, parapet durumu ve eğimi)) sokak kanyonu oluşumuna etkisi;

- Konsolun gürültü azaltımındaki olumlu etkisi, yalnızca üst katlar için geçerlidir. Zemin katta ve aşağı katlarda konsol altından yansımalarla konsolun varlığı olumsuz etki yaratmaktadır.

- Dolu parapetin varlığı, açık korkuluklarla ya da konsollarla karşılaştırıldığında daha büyük bir gürültü azalması yaratmaktadır; bu olumlu etki üst katlarda artmaktadır.
- Parapet eğimleri, zemin seviyesine tekrar ses yansımalarıyla zemin kattaki gürültü düzeylerinde olumsuz etki yaratırken zemin kat dışındaki bütün katlarda olumlu etki yaratmaktadır.
- Parapetsiz teraslamalı cepheler, gürültü düzeyi üzerinde büyük olumlu bir etki yaratmakta; en az 3m'lik teraslamalarda, düzey farkı 10 dBA'dan daha büyük olabilmektedir. Zemin kat dahil bütün katlarda bu olumlu etki görülmektedir. Bu etki, kısmen cephe düzlemi ile trafik hattı arasındaki artan mesafeden kaynaklanmaktadır. Ancak zemin kat cephe düzlemi ile trafik hattı arasındaki mesafe sabit kaldığı halde zemin kattaki ses basınç düzeyindeki azalma, üst kat cephe yansımalarının zemin seviyesindeki olumsuz etkisini kanıtlamaktadır.
- Parapetli teraslamalı cepheler, gürültü düzey farkı üzerinde büyük olumlu bir etki yaratmakta; en az 2m'lik teraslamalarda, düzey farkı 10 dBA'dan daha büyük olabilmektedir. Ancak bu etki, kısmen cephe düzlemi ile trafik hattı arasındaki artan mesafeden kaynaklanmaktadır. Parapetsiz teraslamalı cephelerle karşılaştırma yapıldığında ise, parapetin varlığı zemin kat seviyesinde parapet yüzeyinden yansımalarla olumsuz etki yaratırken; üst katlarda akustik gölge alanını artırarak olumlu etki yaratmaktadır.

Cephe malzemelerinin (ses yutucu malzeme uygulaması) sokak kanyonu oluşumuna etkisi;

- Farklı konsol mesafelerinde (1-2-3 m) konsol altının ses yutucu gereçle kaplanmış olması, kaplanmamış olması haline göre zemin kat seviyesinde 1-3 dBA olumlu etki yaratmakta iken; bu olumlu etki üst katlarda 8 dBA'ya kadar çıkmaktadır.
- Farklı balkon mesafelerinde (1-2-3 m) balkon altının ve parapet içinin ses yutucu gereçle kaplanmış olması, kaplanmamış olması haline göre zemin kat seviyesinde 1-3 dBA olumlu etki yaratmakta iken; bu olumlu etki üst katlarda 12 dBA'ya kadar çıkmaktadır.
- Farklı balkon mesafelerinde (1-2-3 m) balkon altının ve parapet içinin ses yutucu gereçle kaplanmış olması, zemin kat seviyesi hariç bütün katlarda olumlu etki yaratmaktadır.
- Üst katlara doğru ses yutucu gereçlerin etkisi artmaktadır.

Yol genişliklerinin sokak kanyonu oluşumuna etkisi;

- Farklı yol genişliklerinin olumlu etkisi en çok zemin kat seviyesinde gözlemlenmektedir.
- 50m'lik yol genişliğinde mevcut duruma göre zemin kat seviyesinde 9 dBA'nın üzerinde bir olumlu etki gözlemlenmektedir.

Bu bağlamda çalışmanın çıktıları, kentsel ölçekte alınacak tasarım kararlarında ve mevcut yerleşik kentlerde yapı cephe kurgularının, cephe malzemelerinin ve yol genişliklerinin belirlenmesinde yol gösterici niteliktedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Monteiro C, Machimbarrena M, Tarrero AI, Smith RS, Translation between existing and proposed harmonized airborne sound insulation descriptors: A statistical approach based on in-situ measurements. *Applied Acoustics*, 116, 94–106, 2017.
2. Hongisto V, Mäkilä M, Suokas M, Satisfaction with sound insulation in residential dwellings - The effect of wall construction, *Building Environment*, 85, 309–320, 2015.
3. Pääkkönen R, Vehviläinen T, Jokitulppo J, Niemi O, Nenonen S, Vinha J, Acoustics and new learning environment - A case study", *Applied Acoustics*, 100, 74–78, 2015.
4. Jagniatinskis A, Mickaitis M, Fiks B, Development classification scheme for evaluation dwellings sound insulation performance in Lithuania, *Procedia Engineering*, 57, 443–449, 2013.
5. Garg N, Kumar A, Maji S, Significance and implications of airborne sound insulation criteria in building elements for traffic noise abatement, *Applied Acoustics*, 74 (12), 1429–1435, 2013.
6. Özçetin Z, Demirel F, Ankara Celal Bayar Bulvarı'nın karayolu gürültüsü açısından eski ve yeni düzenlenmesinin karşılaştırılması, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (1), 477–496, 2020.
7. Science for Environment Policy, Noise abatement approaches, *Future Brief* 17, 28, 2017.
8. Echevarria Sanchez GM, Van Renterghem T, Thomas P, Botteldooren D, The effect of street canyon design on traffic noise exposure along roads, *Building Environment*, 97, 96–110, 2016.
9. Lyon RH, Role of multiple reflections and reverberation in urban noise propagation, *J Acoust Soc Am*. 1974.
10. Szabó D, Paulina Š, Rychtáriková M, Impact of Building Façade Properties on Noise Levels in Street Canyons, *Proceedings of Euronoise*, 967–970, 2018.
11. Calleri C, Manca R, Shtrepi L, Astolfi A, Building façades optimization at preliminary design stage for outdoor noise mitigation. *Euronoise*, 2427–34, 2017.
12. Ismail MR, Oldham DJ, The effect of the urban street canyon on the noise from low flying aircraft, *Building Acoustics*, 9 (3), 233–251, 2002.
13. El Dien HH, Woloszyn P, The acoustical influence of balcony depth and parapet form: Experiments and simulations, *Applied Acoustics*, 66 (5), 533–551, 2005.
14. May DN, Freeway noise and high-rise balconies, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 65 (3), 699-704, 1979.
15. Tang SK, Ho CY, Tso TY, Insertion losses of balconies on a building façade and the underlying wave interactions, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136 (1), 213-225) 2014.
16. Tang SK, Noise screening effects of balconies on a building facade, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118 (1), 213-221, 2005.
17. Tong YG, Tang SK, Yeung MKL, Full scale model investigation on the acoustical protection of a balcony-like façade device, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130 (2), 673-676, 2011.
18. Lee PJ, Kim YH, Jeon JY, Song KD, Effects of apartment building façade and balcony design on the reduction of exterior noise, *Building Environment*, 42 (10), 6517-6528, 2007.
19. Echevarria Sanchez GM, Van Renterghem T, Thomas P, Botteldooren D, The effect of street canyon design on traffic noise exposure along roads. *Building Environment*, 97, 96-110, 2016.
20. Kropp W, Bérillon J, A theoretical model to consider the influence of absorbing surfaces inside the cavity of balconies *Acta Acustica united with Acustica*, 86 (3), 485-494, 2000.
21. Hothersall DC, Horoshenkov K V., Mercy SE, Numerical modelling of the sound field near a tall building with balconies near a road, *Journal of Sound and Vibration*, 198 (4), 507-515, 1996.
22. ODEON Room Acoustics Software User's Manual., Lyngby Denmark, 2019.
23. Busa L, Secchi S, Baldini S, Effect of façade shape for the acoustic protection of buildings, *Building Acoustics*, 17 (4), 317–338, 2010.