

DOĞRAMA ÖZELLİKLERİ VE AÇILIŞ BİÇİMLERİNİN YALIN CAMIN AKUSTİK PERFORMANSINA ETKİSİ¹

Gülçin Gülsüm Konuk Taştan¹, Işıl İplik², Şensin Yağmur³

¹ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, gulsum.tastan@std.yildiz.edu.tr, 0000-0002-5538-9565

² Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, isil.ipik@nisantasi.edu.tr, 0000-0003-1768-9847

³ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, sensina@yildiz.edu.tr, 0000-0001-7975-6801

Özet

Avrupa Birliği Komisyonu tarafından 1996 yılında yayınlanan "Green Paper" deklarasyonu ile çevresel kirlilik olarak kabul edilen gürültü sorununun, insan sağlığı üzerindeki etkilerini konu alan çok sayıda çalışma ve uluslararası kuruluşların yönergeleri, hükümetleri bu konuda önlem almaya teşvik etmektedir. Bu sebeple, çevresel gürültünün denetlenmesine yönelik sınır değerlerin belirlendiği yönetmelikler yayınlanmaktadır. İlgili yönetmelik hükümlerine göre binalarda gürültü denetimi sağlamak için yapı kabuğunda önlemler alınması gerekmektedir. Saydam ve opak bileşenlerden oluşan yapı kabuğunun akustik performansında, zayıf bileşen olan camın teknik özellikleri önem arz etmektedir. Camın akustik performansını belirlemek için kullanılan hesaplama araçlarında; tek cam ve çoklu cam kesitleri çerçevesiz "yalın cam" olarak modellenenmektedir. Bu durumda, pencere sisteminin parçası olan; doğrama gereci, açılış biçimi, binilerin ya da ara boşluğun yalıtım durumu ve çift doğrama kullanımı ihmal edilmektedir. Literatürde pencere sistemleri ile yapılmış ölçmeler yer almaktadır. Fakat hesaplama araçlarında modellenen yalın cam kesitleri ile pencere sistemi özelliklerinin karşılaştırıldığı, böylelikle ihmal edilen teknik özelliklerin akustik performansa etkisinin değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada, literatürdeki ölçme sonuçlarından yararlanılarak; doğrama gereci, açılış biçimi, yalıtım durumu ve çift doğrama kullanımının öncelikle camın akustik performansına etkisi irdelenmiş, ikinci adımda INSUL Acoustic Calculator V8 yazılımında "yalın cam" kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar; doğrama gereci, açılış biçimi, çift pencere kullanımı ve basit sızdırmazlık önlemlerinin camın akustik performansına etkisinin ve yalın cam hesaplamaları arasındaki değişimin ± 3 dB aralığında kaldığını, ileri düzey yalıtımlarda ise 7 dB fark meydana geldiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Camın Ses Geçiş Kaybı, Doğrama Gereci, Açılış Biçimi, İkincil Pencere, Ses Yalıtımı.

THE EFFECT OF JOINERY MATERIAL AND WINDOW OPENING STYLE ON THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF PLAIN GLAZING

Abstract

Numerous studies on the effects of the noise problem on human health, which was accepted as environmental pollution with the "Green Paper" declaration published by the European Commission in 1996, and the directives of international organizations encourage governments to take measures in this regard. Therefore, regulations against noise pollution, including limitations are being published. According to these regulations, measures must be taken at the envelope of the building to ensure noise control within buildings. Since the opaque element is the weak part of the envelope, its technical properties are important in terms of acoustic performance. In the acoustic analysing tools, frameless "simple glass sections" are modelled, using single-glazing, and multiple-glazing. As a result, the parts of the window system such as joinery material, opening style, insulation of overlaps or sealing, and the use of secondary glazing are neglected. In the literature, there are measurements including window systems. However, there is no comparison study about these measurements and "simple glass sections" modelled in the calculation tools. Thus, evaluating the effect of neglected technical properties on acoustic performance is needed.

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Geliş/Received: 20.03.2023 Kabul/Accepted: 24.06.2023

¹ Bu çalışma; YTÜ, FBE, Mimarlık ABD Yapı Fiziği programında yapılan "Türkiye'deki Farklı Çevre Koşulları İçin Yapı Kabuğu Performansının Belirlenmesine Yönelik Ön Tasarım Destek Aracı Geliştirilmesi" isimli doktora tezinden üretilmiştir.

Konuk Taştan, G. G., İplik, I., ve Yağmur, Ş. (2023). Doğrama Özellikleri ve Açılış Biçimlerinin Yalın Camın Akustik Performansına Etkisi. *KARESİ Journal of Architecture*, 2(1): 30-44.

In this study, the effect of joinery material, opening style, insulation and secondary glazing on the acoustic performance is examined in the first step. Then the results obtained in INSUL Acoustic Calculator V8 software using "simple glass sections" are compared with measured values obtained in the literature. It is observed that the effect of joinery material, opening style, secondary glazing and simple sealing on the acoustic performance vary within the range of ± 3 dB, whilst a 7 dB difference occurred in advanced insulation.

Key words: Sound Transmission Loss of Glass, Joinery Material, Opening Style, Secondary Glazing, Sound Insulation.

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi sonrası; gürültü kaynaklarının çoğalması ve çeşitlenmesi, ulaşımda yaşanan gelişmeler, kentsel nüfusun artması, apartman yaşamının başlaması ve farklı gürültü düzeyindeki işlevlerin bir arada yer alması sonucu bina kullanıcıları için çevresel gürültü problemi ortaya çıkmıştır. 1996'da yayımlanan "Green Paper" deklarasyonunda gürültünün de çevre kirliliğinin bir parçası olduğu ilan edilmiş (Avrupa Birliği Komisyonu, 1996) ve 2002'de Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi (2002) tarafından üye ülkeler için çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimine yönelik bir direktif yayınlanmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (2011) kentsel gürültüden etkilenen kişilerde ortaya çıkan rahatsızlıklara bağlı olarak, gürültünün toplum sağlığını hızla olumsuz etkileyen önemli bir çevre sorunu olduğunu açıklamıştır.

Gürültünün insan sağlığı ve çalışma verimliliği üzerindeki etkilerine yönelik yapılan çok sayıda araştırma, binalarda gürültü denetiminin ve hacimlerde işitsel konforun önemini ortaya koymuştur (Dedeler, 2008; Mir ve ark., 2023; Murphy & King, 2022; Münzel ve ark., 2021; Toprak & Aktürk, 2004). İşitsel konfor, duyulması istenen seslerin rahatlıkla duyulabildiği, istenmeyen, hoşta gitmeyen seslerin duyulmadığı bir fiziksel çevrede bulunmanın getirdiği konfor durumudur. İç mekânda işitsel konforun elde edilebilmesinin başlıca koşullarından biri de dış ortamda oluşan istenmeyen seslerin iç ortama geçişinin engellenmesidir. Bunun için makro ölçekten mikro ölçeğe doğru; kaynaktan denetim, kaynak ile alıcı arasındaki iletim ortamında denetim, alıcıda denetim adımları uygulanır. Makro ölçekte denetim; gürültü eylem planı hazırlanması, gürültülü işleve sahip yapılardan yayılan gürültünün ve ulaşım gürültüsünün sınırlandırılması, imar planı ölçeğinde gürültü haritalaması yapılması, yapı ile gürültü kaynağı arasında önlem alınması, yerleşim planında gürültünün bir ölçüt olarak belirlenmesi, yapı kabuğunda yeterli kesitlerin sağlanması adımları takip edilerek yapılır (European Environment Agency, 2014; Hintzsche ve ark., 2008). Makro ölçekte önlemlerin denetlenmesi ve planlanmasında kamu otoritelerinin yönergeleri takip edilmektedir. Mimari uygulama pratiğinde ise yönelimi değiştirme, gürültü kaynaklarını bertaraf etme gibi önlemleri almak çoğu zaman mümkün olmadığından çözüm yapı kabuğunda aranmaktadır. Yapı kabuğu; temel döşemesi, cephe duvarı ve çatı örtüsü bileşenlerinden oluşan, iç ortam ile dış ortamı ayıran yapı bileşenidir. Gürültü denetimi açısından, tüm katlar boyunca devam eden cephe duvarının akustik performansı önem taşımaktadır. Yapı duvarının akustik performansı opak ve saydam bileşenlerin ses geçiş kaybı değerlerinin logaritmik ortalaması

sonucunda elde edilmekte ve zayıf elemanın ses geçiş kaybı, toplam ses geçiş kaybında etkin rol oynamaktadır (Everest & Pohlmann, 2022; Goelzer ve ark., 2001; Hassan, 2009; Rossing & Rossing, 2014). Zayıf eleman ile güçlü eleman arasındaki ses geçiş kaybı değeri farkı arttıkça, zayıf elemanın bileşik cidara olumsuz etkisi artmaktadır. Örneğin yapı kabuğunda ağırlıklı olarak zayıf alanı oluşturan camın alanı düşük olsa da ses geçiş kaybı değerine bağlı olarak bileşik cidara etkisi yüksek olabilmektedir.

Tablo 1’de literatürde yer alan Eş. 1’den yararlanılarak hesaplanan bileşik cidarda ses geçiş kaybının saydamlık oranı ve elemanların ses geçiş kaybı değeri farkına göre değişimi görülmektedir.

$$R=10 \times \log \left(\frac{(S_1+S_2)}{(S_1 \times 10^{-R_1/10} + S_2 \times 10^{-R_2/10})} \right) \quad (1)$$

S₁: Duvarın alanı

R₂: Camın Ses Geçiş Kaybı

S₂: Cam Alanı

R: Bileşik Cidarın Ses Geçiş Kaybı

R₁: Duvarın ses geçiş kaybı

Tablo 1. Doğrama gerecinin akustik performansa etkisi (dB).

Saydamlık Oranı	R _{w,duvar} – R _{w,cam} Farkı					
	5	10	15	20	25	30
0	50	50	50	50	50	50
20	48,5	45,6	41,5	36,9	31,9	27
30	47,9	44,3	39,9	35,3	30,1	25,2
40	47,4	43,4	38,8	34,0	28,9	24,0
50	46,9	42,6	37,9	33,1	27,9	23,0
60	46,5	42,0	37,1	32,3	27,1	22,2
100	45,0	40,0	35,0	30,0	25,0	20,0

Literatürde başta konut işlevi olmak üzere, ofis, alışveriş merkezi, eğlence vb. işlevlere sahip binaların yapı kabuğunda gürültü denetimini konu alan çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan simülasyon programları; doğrama gereci, açılış biçimi, bini sayısının sağladığı akustik yalıtımın katkısı ya da çift doğrama kullanımını modellemeye imkân vermediğinden, bahsi geçen durumlar ihmal edilerek “yalın cam” performansı dikkate alınmaktadır (Baranok Ak & Yüğrük Akdağ, 2017; Di Bella ve ark., 2015; Ferrara ve ark., 2021; Özdem Gürtürk & Yüğrük Akdağ, 2020). Doğrama özellikleri ve açılış biçimlerinin ihmal edilmesinin bileşik cidarın akustik performansında ne ölçüde değişime sebep olduğunun belirlenmesi hesaplamaların güvenilirliği açısından önem taşımaktadır.

Literatürde; doğramalı pencere sistemlerinin, farklı açılış biçimlerinin ve yalıtımlı/yalıtımsız uygulamaların ölçmelerine yönelik çalışmalar yer almaktadır (Bradley & Birta, 2000; Chiltern Dynamics Lab., 2021; Şentop, 2013; Taylor Woodrow Tech. Lab., 2021; Urbán ve ark., 2016). Buna karşın ölçülen değerler ile, hesaplamalarda kullanılan “yalın camların” değerlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada; aynı kalınlık ve boşluk değerine sahip doğramasız “yalın camlarla” literatürdeki ölçme sonuçları karşılaştırılmış ve akustik performansa etkisi irdelenmiştir.

2. YÖNTEM

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 31 Mayıs 2017 tarih 30082 sayılı ile “Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik” yayımlanmıştır. Yönetmelik hükümlerine göre cephe duvarının işitsel performansı “ağırlıklı standardize edilmiş cephe düzeyi farkı ($D_{nT,A,tr}$)” göstergesi ile değerlendirilmektedir. Bu gösterge; yapı elemanının “ağırlıklı ses azaltım indeksi (R_w)”, “spektrum uyarlama terimlerinin (C,C_{tr})” ve “standardize edilmiş düzey farkı (D_{nT})” bir arada değerlendirilmesi sonucu elde edilmektedir (TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017). “Ağırlıklı ses azaltım indeksi (R_w)” ve trafik gürültüsü uyarlamalarında kullanılan “spektrum uyarlama terimi (C_{tr})” yapı elemanı kesitlerine göre değişim göstermektedir. Standardize edilmiş düzey farkı (D_{nT}) ise hacmin yansımam süresinin, referans hacmin optimum yansımam süresine oranlanması sonucunda elde edildiğinden, hacimlere göre değişim gösteren ve doğrudan yapı elemanına ait olmayan bir göstergedir. Bu sebeple, literatürdeki çalışmalara paralel olarak yalın camın ve pencere sistemlerinin ses geçiş kaybı karşılaştırmalarında “ R_w ” ve “ C_{tr} ” göstergeleri kullanılmıştır.

Çalışmanın amacına uygun olarak; farklı doğrama gereci, açılış biçimi ve yalıtım durumuna sahip tek ya da çift doğramalı pencere sistemlerinin laboratuvar ortamında yapılmış ölçmelerinden yararlanılmıştır. Bu bakış açısıyla; bir makale (Urbán ve ark., 2016), bir tez (Şentop, 2013), bir laboratuvar ölçmesi raporu (Bradley & Birta, 2000), bir bildiri (Yılmaz & Dinçer, 2015) ve iki laboratuvar ölçmelerine dayalı katalog (Chiltern Dynamics Lab., 2021; Taylor Woodrow Tech. Lab., 2021) olmak üzere 6 farklı kaynaktan yararlanılmıştır. “ C_{tr} ” spektrum uyarlama terimi; makale, tez, bildiri ve laboratuvar ölçmesi raporu kaynaklarında ölçülmüş, katalog çalışmalarında ölçülmemiştir. Ölçme sonuçları ile hesap sonuçları karşılaştırılırken bu durum dikkate alınmış, spektrum uyarlama terimi ölçülen çalışmalarda “ $R_w + C_{tr}$ ” değerleri, ölçülmemiş çalışmalarda ise “ R_w ” değerleri karşılaştırılmıştır. Urbán ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı ara boşluk mesafesi ve boşluk yalıtımına sahip çift pencere kullanımlarının “KU Leuven akustik laboratuvarlarında” ISO 10140-4 standardına uygun yapılmış ölçmelerine yer verilmiştir. Şentop (2013) tarafından yapılan çalışmada, binalarda gürültü kontrolünü sağlamak için yapı elemanı seçim aracı oluşturmak amacıyla literatürdeki çok sayıda ölçme sonucu derlenmiştir. Bu çalışmada; farklı doğrama gereci, kanat açılış biçimleri ve yalıtım özelliklerine sahip pencerelere yönelik ölçme sonuçları bulunmaktadır. Kanada Ulusal Araştırma Konseyi desteği ile Bradley ve Birta (2000) tarafından yapılan çalışmada 100’den fazla yapı cephesi elemanının “IBANA (Insulating Buildings Against Noise from Aircraft)” projesi kapsamında “ASTM E90” yönergelerine uygun olarak yapılan ölçme sonuçları yer almaktadır. Çalışmanın pencereler bölümünde farklı doğrama gereci ve açılış biçimine sahip pencere sistemlerinin ses geçiş kaybı değerleri bulunmaktadır. Yılmaz ve Dinçer (2015) tarafından yapılan çalışmada PVC doğramalı pencere sistemleri “İTÜ Mimarlık Fakültesi, Fiziksel Çevre Kontrolü

Laboratuvarı”nda, TS EN ISO 10140-2 standardına uygun olarak ölçülmüştür. Chiltern Dynamics Lab. (2021) tarafından yapılan çalışmada “Chiltern Dynamics” laboratuvarında “BS EN ISO 10140-2” standardına uygun olarak farklı açılış biçimlerine sahip 150-200 mm hava boşluklu “çift pencere sistemi” ölçmeleri yer almaktadır. Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021) tarafından yapılan çalışmada, Selectaglaze firmasının ürünlerine yönelik “BS EN ISO 140-3” standardına uygun olarak 50/100/150/200 mm boşluğa sahip “çift pencere sistemlerinin” farklı açılış biçimlerine göre ölçme sonuçları gösterilmiştir. İncelenen kaynaklarda “ R_w ” yerine STC (Sound transmission class) ya da STI (sound transmission index) gibi göstergelerin kullanılması durumunda, yönetmelikte yer alan (TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017) “ R_w ” göstergesi ve “ C_{tr} ” spektrum uyarlama terimi hesabı, frekansa göre ölçme verileri kullanılarak ISO 717-1 standardına uygun olarak hesaplanmıştır.

“Yalın cam” hesaplamalarında, laboratuvar ölçmeleri ile %95-%100 korelasyona sahip olması sebebiyle literatürde sıklıkla tercih edilen “Insul Acoustic Calculator V8” yazılımı kullanılmıştır (Şekil 1) (Aksoylu ve ark., 2016; Demirel & Özçetin, 2014; Kurra, 2012; Lin ve ark., 2021).



Şekil 1. INSUL acoustic calculator V8 yazılımının ara yüzü.

3. BULGULAR

Doğrama gerci, açılış biçimi ve yalıtım durumunun akustik performansa etkisini değerlendirmek amacıyla; önce ölçme sonuçları birbirleriyle kıyaslanmış, daha sonra “Insul Acoustic Calculator V8” yazılımında yapılan “yalın cam” hesap sonuçları ile ölçme sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylelikle hesaplamalarda pencere sistemlerine ait özelliklerin ihmal edilerek “yalın cam” kullanılmasının, kabuğun akustik performansına etkisi irdelenmiştir. Yalın cam hesaplamalarında ölçmelerde kullanılan camın; kalınlığı, yapısal özellikleri (düz/lamine/temperli), ara boşluk ölçüsü (mm) ve ara boşluk dolgusu (hava/argon) dikkate alınmıştır (Şekil 2).

Şekil 2. Camın yapısal özelliklerinin, kalınlığının, ara boşluk mesafesinin programa girilmesi.

3.1. Doğrama Gerecinin Etkisi ve “Yalın Cam” Hesaplarına Göre Değişimi

Bradley ve Birta (2000) tarafından yapılan çalışmada aynı teknik özelliklere sahip pencere sistemlerinin ses geçiş kaybı değerleri ahşap/alüminyum/PVC doğrama ile ölçülmüştür. Ölçme sonuçlarına göre gereç değişikliğinin akustik performansa etkisi olmamıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Doğrama gerecinin akustik performansa etkisi (dB).

Açılım Biçimi	Cam (mm)	Doğrama gereci	Ölçme (R_w+C_{tr})
Kanat açılım	3+13+3 düz cam+hava boşluğu+düz cam	Ahşap	27*
		Alüminyum	27*
		PVC	27*

* Bradley ve Birta (2000)

“Yalın cam” hesapları ile ölçme sonuçları arasında; Bradley ve Birta (2000) tarafından farklı doğrama gereçleri ile yapılan çalışmada 2 dB, Urbán ve ark. (2016) tarafından yapılan ahşap doğramalı ölçmelerde 1 dB, Şentop (2013) tarafından derlenen ağır ahşap kasalı ölçmelerde (-2) dB, Yılmaz ve Dinçer (2015) tarafından yapılan PVC doğramalı ölçmelerde 1-3 dB fark olduğu görülmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı doğrama gereçleri ile yapılan ölçmelerin hesap sonuçları ile karşılaştırılması (dB).

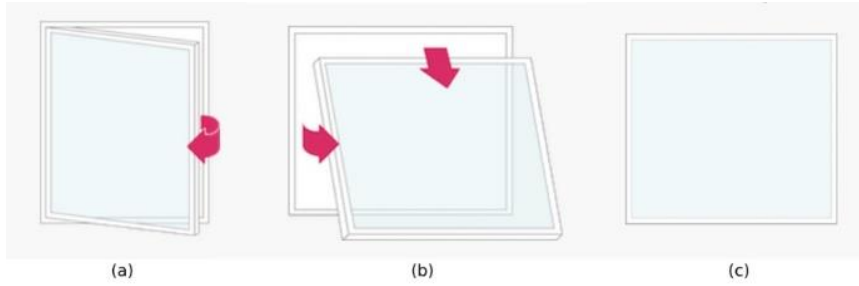
Açılım Biçimi	Cam (mm)	Doğrama gereci	Ölçme (R_w+C_{tr})	Hesap (R_w+C_{tr})	Fark (Ölçme-Hesap)
kanat açılım	3+13+3 düz cam+hava boşluğu+düz cam	Ahşap	27*	25	2
		Alüminyum	27*	25	2
		PVC	27*	25	2
sabit	12+264+8,6 düz cam+hava boşluğu+lamine cam	Ahşap	51**	50	1
	12+364+8,6 düz cam+hava boşluğu+lamine cam		52**	51	1
sabit	8 düz cam	Ahşap (Ağır)	28***	30	-2
	16 düz cam		31***	33	-2

sabit	4+16+4 düz cam+hava boşluğu+düz cam	PVC	29****	26	3
	4+12+8,76 düz cam+hava boşluğu+lamine cam		34****	33	1

* Bradley ve Birta (2000), ** Urbán ve ark. (2016), *** Şentop (2013), **** Yılmaz ve Dinçer (2015)

3.2. Açılış Biçiminin Etkisi ve “Yalın Cam” Hesaplarına Göre Değişim

Bradley ve Birta (2000), Şentop (2013) ve Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021) tarafından yapılan çalışmada aynı teknik özelliklere sahip pencere sistemlerinin kapalı durumda iken, ses geçiş kaybı değerleri farklı açılış biçimleri ile ölçülmüştür. Ölçmeler, Bradley ve Birta (2000) tarafından, kanat açılım, sürgü ve çift sürgü; Şentop (2013) tarafından, sabit kanat ve kanat açılım; Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021) tarafından, kanat açılım, dışa itilen ve sabit kanat kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3). Ölçme sonuçları, açılış biçimindeki değişimlerin tek doğramalı pencere sistemlerinin akustik performansını +1dB’den fazla, çift doğramalı pencere sistemlerininkini ise hiç etkilemediğini göstermiştir (Tablo 4, Tablo 5).



Şekil 3. Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021) tarafından yapılan ölçmelerde kullanılan açılış biçimleri: (a) kanat açılım, (b) dışa itilen, (c) açılım yok.

“Yalın cam” hesapları ile ölçme sonuçları arasında; Bradley ve Birta (2000) tarafından yapılan çalışmada 1-2 dB, Şentop (2013) tarafından derlenen çalışmada (-2)-(-3) dB fark olduğu, Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021) tarafından yapılan ölçmelerde fark olmadığı görülmektedir (Tablo 4, Tablo 5).

Tablo 4. Tek doğramalı pencere sistemlerinde açılış biçiminin akustik performansa etkisi ve hesap sonuçları ile karşılaştırılması (dB).

Doğram a gereci	Cam (mm)	Açılım	Ölçme (R_w+C_{tr})	Hesap (R_w+C_{tr})	Fark (Ölçme-Hesap)
PVC	3+13+3 düz cam+hava boşluğu+ düz cam	kanat açılım	27*	25	2
		sürgü	26*	25	1
		çift sürgü	26*	25	1
A lış ap		sabit	25**	28	-3

	6 düz cam	kanat açılım	26**	28	-2
--	--------------	--------------	------	----	----

* Bradley ve Birta (2000), ** Şentop (2013)

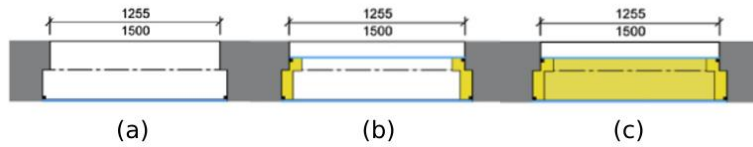
Tablo 5. Çift doğramalı pencere sistemlerinde açılış biçiminin akustik performansa etkisi ve hesap sonuçları ile karşılaştırılması (dB).

Doğrama gereci	Cam (mm)	Açılım	Ölçme (R _w)	Hesap (R _w)	Fark (Ölçme-Hesap)
Alüminyum	6+50+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine cam	kanat açılım	42*	42	0
		dışa itilen	42*	42	0
		açılım yok	42*	42	0

*Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021)

3.3. Yalıtım Durumunun Etkisi ve “Yalın Cam” Hesaplarına Göre Değişim

Bradley ve Birta (2000) tarafından yapılan ölçmelerde pencere sistemlerindeki binilerin yalıtım durumu, farklı doğrama gereci alternatifleri ile ölçülmüştür. Ölçme sonuçlarına göre, doğrama gereci fark etmeksizin binilerde yapılan yalıtımın akustik performansa etkisi olmamıştır. Urbán ve ark. (2016) tarafından, pencere sistemlerindeki ara boşluk yalıtımının camın akustik performansına etkisi araştırılmıştır. Bunun için yalıtımsız, sadece köşe noktaları yalıtımlı, ara boşluk çerçevesi tamamen yalıtımlı seçenekler oluşturulmuştur (Şekil 4). Yalıtım gereci olarak 12 mm mineral yünü kullanılmıştır. Ölçme sonuçları, yapılan yalıtımın camın akustik performansı üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir.



Şekil 4. Urbán ve ark. (2016) tarafından yapılan ölçmelerde kullanılan yalıtım biçimleri: (a) yalıtımsız ara boşluk, (b) ara boşluk köşelerinde yalıtım, (c) ara boşluk çerçevesi tam yalıtımlı.

“Yalın cam” hesapları ile ölçme sonuçları arasında; Bradley ve Birta (2000) tarafından yapılan çalışmada 2 dB, Urbán ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada 7 dB fark olduğu görülmektedir.

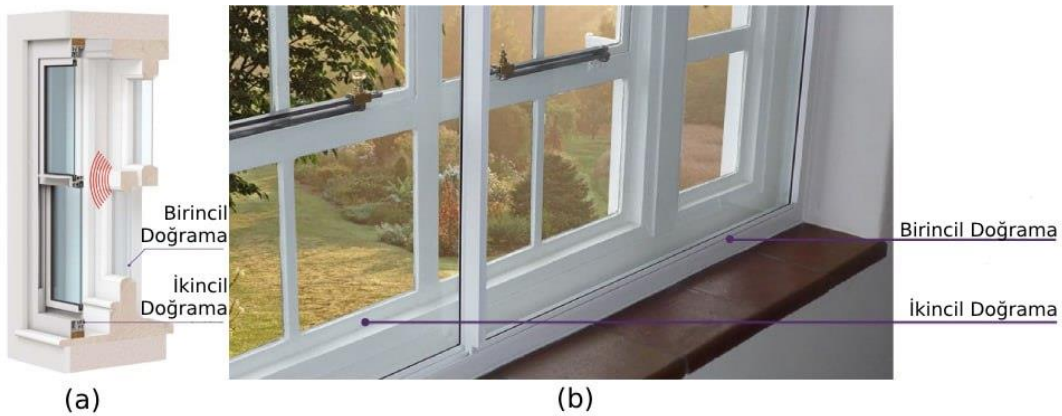
Tablo 6. Yalıtım durumunun akustik performansa etkisi ve hesap sonuçları ile karşılaştırılması(dB).

Cam (mm)	Doğrama gereci	Yalıtım durumu	Ölçme (R_w+C_{tr})	Hesap (R_w+C_{tr})	Fark (Ölçme-Hesap)
3+13+3 düz cam+hava boşluğu+düz cam	Ahşap	Yalıtımsız bini	27*	25	2
		Yalıtımlı bini	27*	25	2
	Alüminyum	Yalıtımsız bini	27*	25	2
		Yalıtımlı bini	27*	25	2
	PVC	Yalıtımsız bini	27*	25	2
		Yalıtımlı bini	27*	25	2
12+314+8,6 düz cam+hava boşluğu+lamine cam	Ahşap	Yalıtımsız ara boşluk	51**	51	0
		Ara boşluk köşelerinde yalıtım	58**	51	7
		Ara boşluk çerçevesi tam yalıtım	58**	51	7

*Bradley ve Birta (2000), ** Urbán ve ark. (2016)

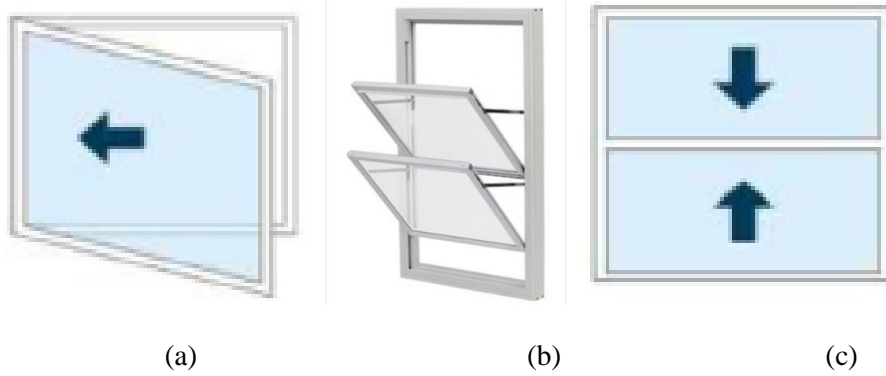
3.4. Çift Doğramalı Pencere Sistemlerinin Etkisi ve “Yalın Cam” Hesaplarına Göre Değişim

Çift doğrama kullanımı mevcut doğrama ile arada 50/100/150/200 mm boşluk bıraktıktan sonra camın ikincil doğrama kullanılarak uygulanmasıdır (Şekil 5). Tarihi yapılarda yapının özgünlüğünün bozulmadan ısı ve akustik performansının artması için tercih edilebilmektedir. Bununla beraber yönetmelikte belirtilen akustik performansın, özellikle yüksek gürültülü ortamlarda sağlanabilmesi için kullanılabilir seçenekler arasında yer almaktadır (TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).



Şekil 5. Çift doğramalı pencere sistemi (a) kesit (Taylor Woodrow Tech. Lab., 2021), (b) görsel (Strattonglass, 2023).

Chiltern Dynamics Lab. (2021) tarafından 200 mm boşluk ile dışa itilen vasistas, düşey sürgü ve kanat açılım biçimleri için; 4 -6 mm temperli cam ve 6,4 - 8,8 mm lamine cam kullanılarak; birincil pencerenin 4 mm ya da 6 mm olması durumları ölçülmüştür (Şekil 6, Tablo 8). Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021) tarafından 50/100/150/200 mm boşluk ile kanat açılım, dışa itilen ve sabit kanat açılım biçimleri için 6,4 mm, 6,8 mm, 8,8 mm lamine cam kullanarak ölçmeler yapılmıştır (Şekil 3, Tablo 8). Çalışmada elde edilen ölçme sonuçlarına göre hiçbir açılım biçimi akustik performansı etkilemediğinden Tablo 8'te bulgular cam kalınlığı ve ara boşluk mesafesine göre gösterilmiştir.



Şekil 6. Chiltern Dynamics Lab. (2021) tarafından yapılan ölçmelerde kullanılan açılım biçimleri; (a) kanat açılım, (b) dışa itilen vasistas, (c) düşey sürgü.

Ölçme sonuçlarına göre birincil doğramada kullanılan camın kalınlaşması çift doğramanın performansını 1-2 dB artırmaktadır (Tablo 7). İkincil doğramada kullanılan camın laminasyonunun ve/veya kalınlığının artırılması +1 dB değişime sebep olmuştur (Tablo 8, Tablo 9).

Tablo 7. Çift doğramalı pencere sistemlerinde ilk cam kalınlığının akustik performansa etkisi (dB).

Doğrama gereci	Açılım	Cam (mm)	Ölçme (R_w)
Ahşap	Dışa itilen vasistas	4+200+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine cam	48*
		6+200+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine cam	50*
		4+200+4 düz cam+hava boşluğu+temperli cam	47*
		6+200+4 düz cam+hava boşluğu+temperli cam	48*
	Kanat açılım	4+200+4 düz cam+hava boşluğu+temperli cam	50*
		6+200+4 düz cam+hava boşluğu+temperli cam	51*

*Chiltern Dynamics Lab. (2021)

Tablo 8. Çift doğramalı pencere sistemlerinde ikincil cam kalınlığının akustik performansa etkisi (dB).

Doğrama gereci	Açılım	Cam (mm)	Ölçme (R _w)
Ahşap	dışa itilen vasistas	6+200+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine cam	50*
		6+200+8,8 düz cam+hava boşluğu.+lamine cam	49*
Alüminyum	Kanat açılım	6+50+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	42**
		6+50+8,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	43**
Alüminyum	Açılım yok	6+100+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	46**
		6+100+8,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	47**

*Chiltern Dynamics Lab. (2021), **Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021)

Tablo 9. Çift doğramalı pencere sistemlerinde laminasyon kalınlığının akustik performansa etkisi (dB).

Doğrama gereci	Açılım	Cam (mm)	Ölçme (R _w)
Alüminyum	Kanat açılım	6+50+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	41**
		6+50+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	42**
Alüminyum	Açılım yok	6+100+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	45**
		6+100+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	46**

*Chiltern Dynamics Lab. (2021), **Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021)

Boşluğun 150 mm'ye kadar artırılması sistemin performansını artırırken 150-200 mm arasındaki değişimin performansa etkisi olmamıştır. "Yalın cam" hesapları ile ölçme sonuçları arasındaki değişim 0- (-3) dB arasında olmuştur. Hesap sonuçları ölçme sonuçlarına göre yüksek kalmıştır. Boşluk mesafesi arttıkça, hesap sonuçları ile ölçme sonuçları arasındaki fark 1 dB artmıştır (Tablo 10).

Tablo 10. Çift doğramalı pencere sistemlerinde ara boşluğun akustik performansa etkisi ve hesap sonuçları ile karşılaştırılması (dB).

Doğrama gereci	Açılım	Cam (mm)	Ölçme (R _w)	Hesap (R _w)	Fark (Ölçme-Hesap)
Alüminyum	Kanat açılım	6+50+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	41**	42	-1
		6+100+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	45**	47	-2

6+150+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	47**	49	-2
6+200+6,4 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	47**	50	-3
6+50+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	42**	42	0
6+100+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	46**	47	-1
6+150+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	48**	49	-1
6+200+6,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	48**	50	-2
6+50+8,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	43**	44	-1
6+100+8,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	47**	49	-2
6+150+8,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	49**	51	-2
6+200+8,8 düz cam+hava boşluğu+lamine c.	49**	52	-3

*Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021)

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Gürültü kirliliği insan sağlığını tehdit eden çevresel sorunlardan biridir. Çevresel gürültünün önlenmesinde planlama ve denetlemeye yönelik makro önlemlerin yanı sıra yapı elemanlarında denetim yapılması gerekmektedir. Yapı kabuğunda alınacak gürültü önlemlerinde opak ve saydam alanlardan oluşan bileşik cidarın performansında, zayıf alan olan camın etkisi önem taşımaktadır. Gürültü analizlerinin yapıldığı programlarda pencere sistemine ait özellikler ihmal edilerek “yalın cam” kesitlerinin performansı hesaplanmaktadır. Bu durumda; doğrama gereci, açılış biçimi, yalıtım durumu ve ikincil doğrama kullanımı değerlendirilememektedir. Literatürde pencere sistemlerinin özellikleri dahil edilerek yapılan ölçmeler olmasına karşın ölçme sonuçları ile “yalın cam” hesaplarının karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışma kapsamında literatürde yer alan ölçmelerden yararlanılarak öncelikle pencere sistemi özelliklerinin camın akustik performansına etkisi, daha sonra “yalın cam” hesaplarında elde edilen değerler ile arasındaki farklar araştırılmıştır.

İnsan kulağının hassasiyeti ± 3 dB’dir (Damaske, 2008; Everest & Pohlmann, 2022; Goelzer ve ark., 2001). ± 3 dB değişimin algılanması güç olduğundan akustik analizlerde önemli değişimlere sebep olmamaktadır. Bununla beraber hesap sonuçlarının ölçme sonuçlarına göre “3” dB daha düşük olması uygulamada gerçekleştirilebilecek hataları tolere edecek bir pay olarak görüldüğünden güvenli bölge olarak kabul edilmektedir (Hassan, 2009; Urbán ve ark., 2016). Literatürdeki ölçmeler ışığında aşağıdaki değerlendirmeleri yapmak mümkündür:

- Aynı cam kesiti ile yapılan ölçmelerde, doğrama gerecindeki farklılık pencere sisteminin akustik performansı üzerinde değişime sebep olmamıştır.
- Açılış biçimi değişikliğinin camın akustik performansına 1 dB'den fazla etkisi olmamıştır.
- Binilerde yapılan yalıtımın camın akustik performansı üzerinde önemli bir etkisi olmamış, ara boşlukta yapılan yüksek nitelikli yalıtım camın performansını +7 dB yükseltmiştir.
- Çift doğramalı pencere sistemlerinde; birincil ve ikincil camda kalınlık artışı ile laminasyon kalınlığının artırılması +1, +2 dB değişime sebep olmuştur.

Pencere sistemleri ile yapılmış ölçmeler simülasyon programında yapılmış yalın cam hesapları ile karşılaştırıldığında aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- Doğrama kullanılarak yapılmış ölçmeler ile "yalın cam" performansı hesapları arasındaki değişimler ± 3 dB aralığında kalmıştır. Ağır ahşap kasa hariç diğer doğramalı ölçme sonuçları "yalın cam" kullanılarak elde edilen hesap sonuçlarından yüksek olduğu için hesaplamalar güvenli tarafta kalmıştır.
- Farklı açılış biçimleri kullanılarak yapılmış ölçmeler ile "yalın cam" performansı hesapları arasındaki değişimler ± 3 dB aralığında kalmıştır. Tek cam kullanılarak yapılan ölçmeler hariç, ölçme sonuçları "yalın cam" kullanılarak yapılan hesaplamalardan yüksek olduğu için hesaplamalar güvenli tarafta kalmıştır.
- Yalıtımlı bini kullanılarak yapılmış ölçmeler ile "yalın cam" performansı hesapları arasındaki değişimlerin ± 3 dB aralığında kaldığı, yüksek yalıtımlı seçeneklerde ise belirgin farklar olduğu görülmüştür. Yalıtımlı sistemler ile yapılan ölçme sonuçlarında "yalın cam" kullanılarak yapılan hesaplamalardan yüksek değerler elde edilmiş, hesaplamalar güvenli tarafta kalmıştır.
- Çift doğrama kullanılarak yapılmış ölçmeler ile "yalın cam" performansı hesapları arasındaki değişimlerin ± 3 dB aralığında kaldığı görülmüştür. Çift doğrama ile yapılan ölçme sonuçları "yalın cam" kullanılarak yapılan hesaplamalardan düşük olduğu için hesap sonuçları güvenli tarafta kalmamıştır.

Bu çalışma; çift cam ara boşluğunda yapılan nitelikli yalıtım durumu hariç, pencere sistemi özelliklerinin akustik performans analizlerini etkileyecek düzeyde olmadığını göstermiştir. Sadece ikincil doğrama kullanımında hesap sonuçları yüksek çıkmış, diğer bileşenlerde ölçme sonuçları yüksek olmuştur. Bu durumda ikincil doğrama kullanımı analizlerinde ve nitelikli ara boşluk yalıtımında ölçme sonuçlarının referans alınması gerektiği, diğer durumlarda güvenli bölgede kalan ve sonuçları önemli düzeyde etkilemeyen yalın cam hesapları ile devam edilebileceği görülmüştür.

Yapılan çalışma ile mimari akustik alanında sıklıkla karşılaşılan bir sorunun cevabı araştırılmış, simülasyon programlarında modellenemeyen pencere sistemi özelliklerinin akustik performansa etkisi irdelenmiş, elde edilen sonuçlar ile uygulama alanına ve bilimsel çalışmalara katkı sağlanmıştır.

Kaynakça

- Aksoylu, C., Mendi, Ş. E., & Arda, S. (2016). Ses yalıtımında ses azaltım indisi modellerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 961-970. <https://doi.org/https://doi.org/10.17341/gazimmfd.278451>
- Avrupa Birliği Komisyonu. (1996). Green Paper. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:51996DC0570&rid=2>
- Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi. (2002). Directive 2002/49/EC of The European Parliament and of The Council. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>
- Baranok Ak, B. K., & Yüğrük Akdağ, N. (2017, Nisan 19-22). Öğrenci Yurtların Gürültü Sorunu-Bir Örnek Kapsamında Soruna Yönelik Çözüm Önerileri [Sözlü sunum]. 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye. <http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2017/05/2017-138.pdf>
- Bradley, J., & Birta, J. (2000). Laboratory measurements of the sound insulation of building facade elements. Kanada Ulusal Araştırma Konseyi, <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=b516cfd0-0170-4427-9532-77daf90974d5>
- Chiltern Dynamics Lab. (2021). Acoustic Performance Results. Clearview Secondary Glazing. <https://clearviewsg.co.uk/wp-content/uploads/2017/10/Acoustic-Performance-Data-Sheet.pdf>
- Damaske, P. (2008). *Acoustics and hearing*. Springer
- Dedeler, H. (2008). Bir işletmede işyeri fiziksel risk etmenlerinin çalışanların sağlığına olan etkisinin saptanması ve değerlendirilmesi. (Tez No. 203454) [Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi]. Edirne.
- Demirel, F., & Özçetin, Z. (2014). Ankara Müzik Muallim Mektebi Mamak Belediyesi Konservatuvar Binası ve gürültü kontrol analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(4), 835-845. <https://doi.org/https://doi.org/10.17341/gummfd.34000>
- Di Bella, A., Granzotto, N., Elarga, H., Semprini, G., Barbaresi, L., & Marinosci, C. (2015). Balancing of thermal and acoustic insulation performances in building envelope design Inter-noise and Noise-con Congress and Conference Proceedings, San Francisco, California, USA.
- Dünya Sağlık Örgütü. (2011). Çevresel gürültüden kaynaklanan hastalık yükü: Avrupa'da kaybedilen sağlıklı yaşam yıllarının sayısallaştırılması. JRC European Commission. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326424/9789289002295-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- European Environment Agency. (2014). *Noise in Europe (No 10/2014)*. EEA. <https://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014>
- Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2022). *Master handbook of acoustics*. McGraw-Hill Education.
- Ferrara, M., Vallee, J. C., Shtrepi, L., Astolfi, A., & Fabrizio, E. (2021). A thermal and acoustic co-simulation method for the multi-domain optimization of nearly zero energy buildings. *Journal of Building Engineering*, 40, 102699. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.102699>
- Goelzer, B., Hansen, C. H., & Sehrndt, G. (2001). Occupational exposure to noise: evaluation,

- prevention and control. World Health Organisation.
http://www.who.int/occupational_health/publications/occupnoise/en/
- Hassan, O. A. (2009). Building acoustics and vibration: theory and practice. World Scientific Publishing Company.
- Hintzsche, M., Cüppers, M. J., Rainer Kühne, M., Marohn, H.-D., & Schade, L. (2008). Çevresel gürültü değerlendirmesi ve yönetimi ile ilgili AB direktiflerinin uyumlaştırılması ve uygulamaları Avrupa Birliği Eşleştirme Projesi TR/2004/IB/EN/02. TC Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Kurra, S. (2012). Comparison of the models predicting sound insulation values of multilayered building elements. *Applied Acoustics*, 73(6-7), 575-589.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.11.008>
- Lin, J. Y., Yang, C. T., & Tsay, Y. S. (2021). A Study on the Sound Insulation Performance of Cross-laminated Timber. *Materials*, 14(15), 4144. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma14154144>
- Mir, M., Nasirzadeh, F., Bereznicki, H., Enticott, P., Lee, S., & Mills, A. (2023). Construction noise effects on human health: Evidence from physiological measures. *Sustainable Cities Society*, 91, 104470.
- Murphy, E., & King, E. A. (2022). Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy. Elsevier.
- Münzel, T., Sørensen, M., & Daiber, A. (2021). Transportation noise pollution and cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 18(9), 619-636.
- Özdem Gürtürk, S., & Yüğrük Akdağ, N. (2020). Açık planlı bürolarda, işitsel konforun tasarım parametresi olarak alınmasına yönelik bir yaklaşım örneği. *Megaron*, 15(2), 298-307.
<https://doi.org/10.14744/MEGARON.2020.44452>
- Rossing, T. D., & Rossing, T. D. (2014). Springer handbook of acoustics. Springer.
- Strattonglass. (2023). Secondary double glazing. <https://www.strattonglasswindows.co.uk/brochure-download?thankyouid=1771&thankyousalt=vx2napeh81rva8ai>
- Şentop, A. (2013). Binaların Gürültü Kontrolü Etkin Tasarımı İçin Yapı Elemanı Seçim Aracı. (Tez No. 335927) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul.
- Taylor Woodrow Tech. Lab. (2021). Rw dB valves for Selectaglaze Ltd Secondary Glazing Systems. Selectaglaze. <https://www.selectaglaze.co.uk/technical-support/technical-downloads>
- TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). Binaların gürültüye karşı korunması hakkında yönetmelik. Resmigazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/05/20170531-7.htm>
- Toprak, R., & Aktürk, N. (2004). Gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 61(1), 49-58.
- Urbán, D., Roozen, N. B., Zařko, P., Rychtarikova, M., Tomařovič, P., & Glorieux, C. (2016). Assessment of sound insulation of naturally ventilated double skin facades. *Building Environment*, 110, 148-160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.004>
- Yılmaz, S., & Dinçer, M. A. (2015, Ekim 19-20). Farklı gürültü bölgelerinde tuğla çekirdekli kompozit cephelerin uygulanabilirliği. 11. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi, İstanbul

