

DERSLİKLERDE GÜRÜLTÜ DENETİMİ: BİR ÖRNEK ÜZERİNDEN İNCELEME

Okan ŞİMŞEK *

Öz

Rahatsız edici ve istenmeyen ses olarak tanımlanan gürültü, günümüzde önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Nüfusun artması, şehirleşme ve teknolojik gelişmeler sonucu hızla artan çevresel gürültü bireyler üzerinde fizyolojik/psikolojik rahatsızlıklar gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkmasına ve hacim içerisindeki etkinliğin zedelenmesine sebep olmaktadır. Günümüzde konut, eğitim ve sağlık yapısı gibi birçok gürültüye hassas yapılarda, yapı dışı ve yapı içi gürültüler başlıca problemlerden biri haline gelmiştir. Bu gürültülerden en çok etkilenen yapıların başında ise eğitim yapıları gelmektedir. Eğitim yapılarında temel iletişim, konuşma ve konuşmanın anlaşılabilirliği üzerine kuruludur. Bu iletişimin kopmamasında dersliklerin yapı kabuğu ve bölme elemanları birincil rol oynamaktadır. Dersliklerde yapı kabuğunun sağlaması gereken ses yalıtımı değerleri, yapı kabuğunu etkileyen dış gürültünün özelliklerine ve alıcı ile kaynak hacimlerin işlevlerine bağlı olarak değişir. Bu amaçla, derslik hacimlerindeki etkinliği zedelemeyecek akustik ortamın sağlanması için 'Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik' çerçevesinde Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliği değerlendirmeye alınmıştır. Yapı kabuğunun ve bölme elemanlarının mevcut performanslarını ortaya koyarak uygun yapı kabuğu ve bölme elemanı kesit seçenekleri için, Insul bilgisayar programından yararlanılarak önerilerde bulunulmuştur. Kısaca bu çalışmada, gürültü denetimi açısından yönetmeliğe uygun bir derslik önerisinin nasıl geliştirilebileceğine ilişkin bir yöntem önerisi ortaya konulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Dersliklerde gürültü denetimi; Ses yalıtımı; Binaların gürültüye karşı korunması hakkında yönetmelik

* Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü / osimsek@eskisehir.edu.tr. ORCID ID: 0000-0003-3500-9438

NOISE CONTROL IN CLASSROOMS: A CASE STUDY

Okan ŞİMŞEK *

Abstract

Described as disturbing and unwanted sound, noise has become an important environmental problem today. Environmental noise, which increases rapidly as a result of population growth, urbanization and technological developments, causes negative consequences such as physiological / psychological disturbances on individuals and impair the effectiveness in the volume. Nowadays, outside and inside noise has become one of the main problems in many noise sensitive buildings such as housing, education and health. Educational buildings are the primary structures that are most affected by noise. Educational buildings should be designed to eliminate noise to support an effective communication between students and teachers. The building envelope and partition elements within the classrooms play a primary role in this communication break. The sound insulation values that should be provided by the building envelope in classrooms vary depending on the characteristics of the external noise affecting the building envelope and the functions of the receiver and source volumes. For this purpose, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University Faculty of Engineering amphitheater was evaluated within the framework of the 'Regulation on Noise Protection of Buildings' to understand whether the acoustic environment harms or supports the efficiency of the classroom volumes. After demonstrating the current performance of the structure shell and partition elements; suggestions for the appropriate structure shell and partition element section options were made via the use of "Insul" computer program. In brief, this study discusses a methodology on how to design a classroom in accordance with the regulation in terms of noise control.

Keywords: Noise control for classrooms; Sound insulation; Noise control regulation

* Eskişehir Technical University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture / osimsek@eskisehir.edu.tr. ORCID ID: 0000-0003-3500-9438

Copyright© **Elven** Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi (**Elven** Journal of Dokuz Eylül University Faculty of Architecture)

<https://dergipark.org.tr/en/pub/eksen>

Received: 28.08.2020 Accepted: 10.05.2021

GİRİŞ

Gürültü, genel olarak hoşla 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. Gürültü, hızlı kalp atışı, solunumun hızlanması, işleme kayıpları, kulak çınlamaları ve bazı psikolojik hastalıkların nedeni olabilir. Çocuklarda ise gürültünün ciddi etkileri arasında öğrenme güçlüğü ve odaklanma problemleri yer almaktadır. 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 olumsuz etkileyen faktörlerden birisidir. 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 (Garg, Kumar ve Maji, 2013; Hongisto, Mäkilä ve Suokas, 2015; Jagiatinskis, Mickaitis ve Fiks, 2013; Monteiro, Machimbarrena, Tarrero ve Smith, 2017; Pääkkönen, Vehviläinen, Jokitulppo, Niemi, Nenonen ve Vinha, 2015).

Gürültüyle mücadelede, temel olarak hacim akustiği ve gürültü denetimi ilkeleri kullanılır. Hacim akustiği, kapalı hacimlerdeki reverberasyon süresi başta olmak üzere hacim akustiği parametrelerinin düzenlenmesidir. Gürültü denetimi ise, yapı kabuğu ve bölme elemanları aracılığıyla iletilen seslerin düzeylerini kontrol altında tutmak için alınacak önlemleri kapsar. Bu çerçevede yapılarda gürültü kontrolüyle ilgili bilgileri içeren mevzuat olan "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" 31 Mayıs 2017 Tarihinde 30082 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanmış ve 31 Mayıs 2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik aracılığıyla her türlü yapı, işletme ve tesisin faaliyetleri sırasında bireylerin etki altında kalacağı, her türlü gürültünün, kişilerin, iyi duyma ve algılama koşullarının gerçekleşmesi için, bireylerin fizyolojik ve psikolojik yapılarına gelebilecek her türlü zararı azaltabilecek tasarım, yapım, kullanım ve bakım açısından dikkat edilmesi gereken hususlar tanımlanmıştır (Bayazit, Kurra, Özbilen ve Şentop, 2018; European Environment Agency, 2014; Jariwala, Syed, Pandya, Minarva ve Gajera, 2017; Springer Handb. Acoust., 2007).

Ulusal ve uluslararası literatürde eğitim yapılarındaki gürültü denetimi ilkeleri üzerine önemli araştırmalar yapılmıştır. Ankara Müzik Muallim Mektebi Mamak Belediyesi Konservatuvar binasına ait yapı elemanlarının ses geçiş kayıpları; simülasyon programı aracılığı ile ortaya konulmuş ardından binada çevresel gürültü düzeyi, arka plan gürültü düzeyi ve yapı elemanlarının ses geçiş kaybı ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; simülasyon programı sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirmeleri yapılmış ve uygun olmayan durumlar için öneriler geliştirilmiştir (Demirel ve Özçetin, 2014). Başka bir çalışmada ise konservatuvar yapılarında gürültü denetimi konusu ele alınmış ve yönetmelik kapsamında tanımlanan, yapı kabuğu ve iç bölme elemanlarında sağlanması gereken sınır değerleri sağlayan kesitlerin saptanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, kurgusal bir konservatuvar yapısı ele alınarak, yönetmeliğin önerdiği standartlara uygun hesaplama yapan bir akustik simülasyon programından yararlanılarak, gereken yalıtım değerlerini sağlayan kesitler belirlenmiştir. Böylece, gürültü denetimi açısından yönetmeliğe örnek bir uygulama ortaya konmuştur (Untuç ve Yüğrük Akdağ, 2017). Reader ve Nakazato' nun 2018 yılında yaptıkları çalışmada ise okullarının akustik performansının uluslararası gereksinimlere göre gözden geçirilmesi amacıyla çeşitli sınıfların ses yalıtımı ve gürültü kontrol parametreleri saha ölçümleri ve simülasyonları ile elde edilmiştir (Raeder ve Nakazato, 2018). Zannin ve Loro' nun 2007 yılında yaptıkları çalışmada ise Brezilya devlet okullarındaki sınıfların akustik kalitesi değerlendirilmiştir. Sınıfların arka plan gürültüsü Brezilya Standardına göre değerlendirilmiştir. Koridor ve sınıfları ayıran duvarların ses iletim kaybı değerleri standartlarda talep edilen değerlerden çok düşük olduğu tespit edilmiştir (Zannin ve Loro, 2007).

Ulusal ve uluslararası literatürün bir özeti olarak, eğitim yapılarındaki gürültü denetimi ilkeleri üzerine önemli araştırmalar yapılmış olmasına rağmen ülkemizde 31 Mayıs 2018 tarihinde yürürlüğe girmiş olan Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik çerçevesinde belirlenmiş sınır değerlerin uygulanması için doğru yapı elemanlarının seçilmesi ile ilgili önemli bir eksiklik olduğu tespit edilmiştir. Zamanla eğitim yapılarının yapım sistemleri, yapı elemanları, ortalama kat adetleri değişmektedir. Gelişen teknoloji ile eğitim yapısı elemanları giderek hafiflemektedir. Buna karşın eğitim yapıları içinde kullanılan

elektrikli aletlerin hem sayısında hem de çeşidinde artış görülmektedir. Ayrıca sıkışık kentlerde karayollarına yakın konumlanarak, yüksek düzeyde trafik gürültüsüne maruz kalan eğitim yapılarına da sıkça rastlanmaktadır. Bu nedenle kentlerimizde sıkça rastlanan eğitim yapı tipolojilerine ve kullanıcılarının ihtiyaçlarına uygun olarak yorumlanması, öneriler sunulması gerekmektedir. Bu kapsamda ele alınan bu çalışmada incelenen örneğin var olan mevcut bir yapı olması, kullanılan simülasyon programı yönetmeliğin önerdiği standartlara uygun hesaplama yapan bir simülasyon programı olması, seçilen örneğin gürültüden etkilenen yapıların başında gelen örneklerden biri olması ve 31 Mayıs 2018 tarihinde revizyona uğramış Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkındaki Yönetmelik kapsamındaki güncel tablolar ve talimatlar üzerinden ele alınmasıyla sınır değerlerin uygulanması için doğru yapı elemanlarının seçilmesi ile ilgili önemli bir eksikliğin giderilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bir bölme elemanının pratik ses yalıtım hesabı için literatürde basitleştirilmiş hesap yöntemleri bulunmaktadır. Ancak dolaylı geçişler, hacim büyüklüğü ve hacimlerin toplam ses yutuculuğu gibi dolaylı etkilerin hesaba katıldığı bilgisayar programları ile sonuçlar daha hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmektedir. Bu çalışmada; literatürde belirtilen yalıtım değerleri incelenerek, derslik hacmi içindeki ve derslik hacmini çevreleyen yapı elemanlarında sağlanması gereken yalıtım değerleri ile buna uygun kesit seçenekleri Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliği üzerinden önerilmektedir. Bunun için BS EN 12354-1,3 (September, 2017) numaralı standartların kullanıldığı, INSUL yapı akustiği hesaplama programından yararlanılmıştır. Çalışmaya sadece hava doğuşlu sesler dahil edilmiş olup, dış gürültü için trafik gürültüsü değerlendirmeye alınmıştır.

DERSLİKLERDE YAPI DIŞI ve YAPI İÇİ GÜRÜLTÜLER İÇİN GÜRÜLTÜ DENETİMİ

Yapı cephesinin yalıtımı için kabul edilen frekans aralıkları 1/3 oktav bantlarda ve 100 - 3150 Hz arasındadır. Yönetmelikte belirtilen DnT,A,tr değeri, $D2m,nT,w$ değerinin 100 Hz - 3150 Hz aralığında saptanan Ctr spektrum uyarılama terimi ile beraber gösterilmiş halidir.

Tablo 1. Eğitim tesisleri ve mekan işlevlerine bağlı gürültüye hassasiyet/gürültülülük dereceleri (Bayazıt vd., 2018).

| BİNA ÖLÇEĞİNDE | | | MEKAN ÖLÇEĞİNDE | | |
|--|-----------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Bina işlevi | Kaynak olması durumu | Alıcı olması durumu | Mekan | Kaynak olması durumu | Alıcı olması durumu |
| | Gürültülülük derecesi | Hassasiyet derecesi | | Gürültülülük derecesi | Hassasiyet derecesi |
| Eğitim Tesisleri | OG | II | Derslikler | OG | I |
| | | | Özel Derslikler ² | YG | II |
| | | | İdari Odalar | OG | II |
| | | | Spor Salonu | YG | III |
| | | | Okuma Odaları | DG | I |
| | | | Sirkülasyon Alanları ¹ | OG | III |
| | | | Teknik Merkezler | YG | III |
| | | | Kreşler | Oyun-yemek alanı | YG |
| | Yatak odaları | DG | I | | |
| I - Gürültüye karşı çok hassas bina ve kullanım | | | YG - Yüksek düzeyli gürültü üretimi | | |
| II - Gürültüye karşı hassas bina ve kullanım | | | OG - Orta düzeyli gürültü üretimi | | |
| III - Gürültüye karşı az hassas bina ve kullanım | | | DG - Düşük düzeyli gürültü üretimi | | |

Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında yeni yapılacak binalarda ses yalıtımı sınır değerlerini belirleme sürecinde öncelikle gürültü kaynağının bulunduğu ortamdaki gürültü düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Alıcı hacmi etkileyen gürültü düzeyleri; yapı dışı çevresel gürültü kaynağı

olabileceği gibi bitişik bir hacimdeki başka bir iç gürültü kaynağı sebebiyle oluşabilir. Öncelikle alıcı odasını etkileyen gürültü düzeyleri belirlenirken kaynağın özelliklerine bakılması gerekir. Daha sonra ise yapı elemanlarından istenen en düşük hava doğuşlu ses yalıtım performansı değerleri belirlenmelidir.

Yapı kabuğu elemanlarından istenen ses yalıtımının belirlenmesinde ise önce mekanların gürültüye hassasiyet düzeyleri yönetmelikteki EK-2 Tablo 2,1'den (Tablo 1) yararlanılarak belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra EK-3 Tablo 3,1'den (Tablo 2) faydalanarak yapı kabuğundan beklenen yalıtım değeri belirlenecektir.

Tablo 2. Dış gürültü düzeylerine ve alıcı odası hassasiyet derecesine göre sağlanacak en düşük ses yalıtım değerleri (Bayazıt vd., 2018).

| ALICI ODASI HASSASİYET | AKUSTİK PERFORMANS SINIFI | | | | | |
|------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| I | L _{gag} -14 | L _{gag} -18 | L _{gag} -22 | L _{gag} -26 | L _{gag} -30 | L _{gag} -34 |
| II | L _{gag} -17 | L _{gag} -21 | L _{gag} -25 | L _{gag} -29 | L _{gag} -33 | L _{gag} -37 |
| III | L _{gag} -20 | L _{gag} -24 | L _{gag} -28 | L _{gag} -32 | L _{gag} -36 | L _{gag} -40 |

Derslikler için yönetmelikteki EK-2 Tablo 2,1'de (Tablo 1) yer alan tabloya göre derslikler alıcı olması durumunda gürültüye karşı çok hassas bina ve kullanım kategorisinde yer almaktadır. Sonraki aşamada EK-3 Tablo 3.1'den (Tablo 2) yararlanılarak derslikler için sağlanması gereken C akustik performans sınıfı için istenen cephe yalıtım değeri, dış çevre gürültülerinin düzeyini belirten gösterge olan ve A ağırlıklı uzun süreli ortalama ses düzeylerinden elde edilen gündüz-akşam-gece düzeyinden (L_{gag}) 22 dB çıkarılarak belirlenecektir.

Bölme elemanlarının sağlanması gereken ses yalıtımının belirlenmesinde ise EK-3 Tablo 3.4'te (Tablo 3.) belirtilen komşuluk ilişkilerine göre bölme elemanlarından istenen en düşük hava doğuşlu ses yalıtım değerleri kullanılacak; Tablo 3.4'te (Tablo 3.) yer almayan bir komşuluk ilişkisi varsa, öncelikle kaynak ve alıcı hacmin gürültülülük ve gürültüye duyarlılık düzeyleri EK-2 Tablo 2.1'den (Tablo 1) faydalanılarak tespit edilecektir. Kaynak ve alıcı hacmin gürültülülük ve duyarlılık düzeyleri tespit edildikten sonra yönetmelikteki EK-3 Tablo 3.2 aracılığı ile istenen hava doğuşlu ses yalıtım değeri belirlenecektir. Derslikler için yönetmelikteki EK-3 Tablo 3.4'de (Tablo 3) yer alan tabloya göre dersliğin alıcı, sirkülasyon alanının kaynak kategorisinde yer aldığı tespit edildikten sonra derslikler için sağlanması gereken C akustik performans sınıfı için istenen bölme elemanı yalıtım değeri 52 dB olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

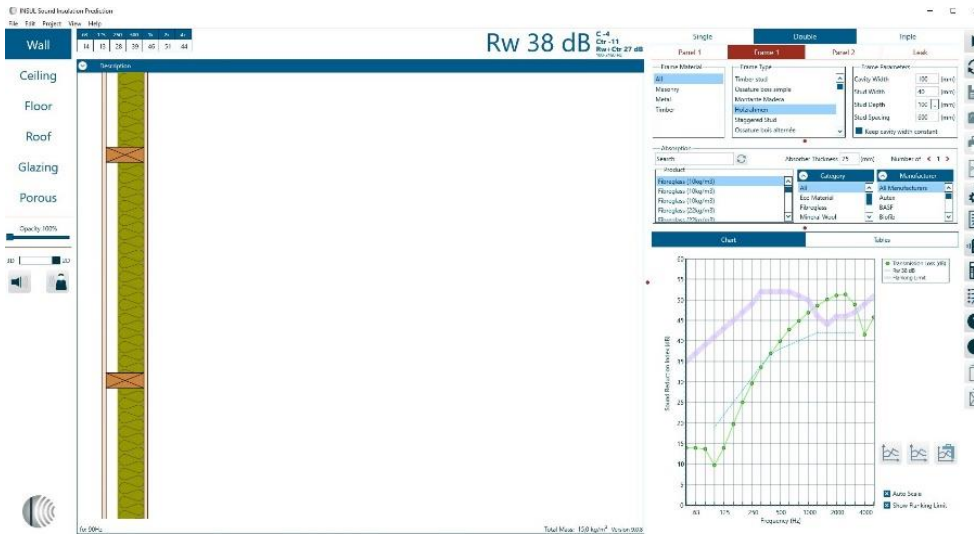
Tablo 3. Eğitim tesislerinde komşu hacimler arasında sağlanacak en düşük hava doğuşlu ses yalıtım değerleri ($D_{nT,A}$, dB) (Bayazıt vd., 2018).

| Bina İşlevi | KOMŞULUK İLİŞKİSİ | | AKUSTİK PERFORMANS SINIFI | | | | | |
|------------------|---|--|---------------------------|----|----|----|----|----|
| | Kaynak Odası | Alıcı Odası | A | B | C | D | E | F |
| EĞİTİM TESİSLERİ | Derslik İdari oda Sirkülasyon alanı | Derslik Okuma odası Yatak odası (Kreş) | 62 | 58 | 52 | 48 | 44 | 40 |
| | Özel derslik Spor salonu Oyun alanı (Kreş) Teknik merkez | Derslik Okuma odası Yatak odası (Kreş) | 68 | 64 | 58 | 54 | 50 | 46 |
| | | Özel Derslik Oyun alanı (Kreş) | 65 | 61 | 55 | 51 | 47 | 43 |
| | Yatak odası(Kreş) | Yatak odası(Kreş) | 56 | 52 | 46 | 42 | 38 | 34 |

ADANA ALPARSLAN TÜRKİŞ BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ AMFİ DERSLİĞİ ÜZERİNDE GÜRÜLTÜ DENETİMİ ÇALIŞMASI

Bu çalışma ile Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliği değerlendirmeye alınarak, kullanıcı konforu için yeterli akustik ortamın sağlanacağı uygun kesit seçenekleri önerilmesi amaçlanmıştır. Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik çerçevesinde belirtilen yalıtım değerlerini sağlayan C kalite sınıfı hedeflenmiştir.

Örnek derslik yapısı incelemesi için BS EN 12354-1,3 (September, 2017) numaralı standartların kullanıldığı INSUL ses geçiş kaybı hesaplama yazılımından yararlanılmıştır (Şekil 1). Derslik yapısı eğimli döşemeye sahip amfi düzeninde olup; çalışma kapsamında sonuçlar duvarların hava doğuşlu seslere karşı performansı ele alınarak sunulmuştur.



Şekil 1. Insul ses geçiş kaybı hesaplama yazılımı

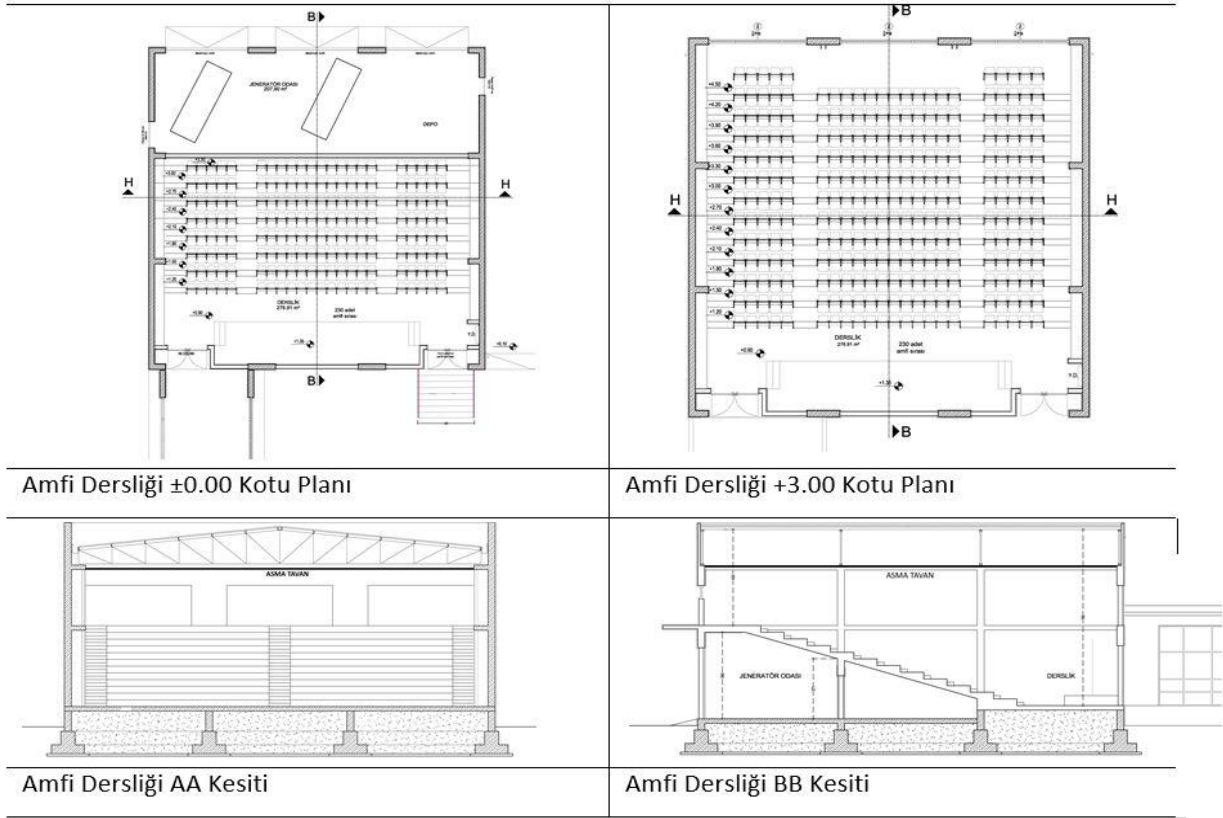
Kabuller

Bu çalışmada yapı dışı gürültü için yoğun bir akışın olduğu trafik gürültüsü değerlendirmeye alınmış olup derslik yapı kabuğu yüzeyine 75 dB ses ulaştığı kabul edilmiştir. Uygun yalıtım için Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı hedeflenmiştir; $DnT,A,Tr = D2m,nT,w + Ctr,100-3150 \geq 75 \text{ dB}-22\text{dB}$ hesabı kullanılmış ve yapı kabuğu için yeterli yalıtım $DnT,A,Tr \geq 53\text{dB}$ olarak kabul edilmiştir.

Bölme elemanları için ise komşu hacimler arasında sağlanacak en düşük hava doğuşlu ses yalıtım değeri Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte yer alan Tablo 3.4.'deki (Tablo 3) tablodan komşuluk ilişkisi göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Uygun yalıtım için Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı hedeflenmiştir. Komşuluk ilişkisi göz önüne alındığında kaynak hacim sirkülasyon alanı, alıcı hacim derslik olarak ele alındığında; $DnT,A = DnT,w + C,100-3150 \geq 52 \text{ dB}$ hesabı kullanılmış ve bölme elemanları için yeterli yalıtım $DnT,A \geq 52 \text{ dB}$ olarak belirlenmiştir.

Amfi Dersliğinin Mevcut Gürültü Denetimi Tespiti

Mevcut durumda Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Amfi Dersliği 276 m² alana ve 216 adet koltuğa sahiptir (Şekil 2). Duvar elemanı için betonarme ve gazbeton kesitler üzerine hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş cam yünü dolgulu kumaş kaplı paneller ve ahşap levhalar kullanılmıştır.



Şekil 2. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliği plan ve kesitleri. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

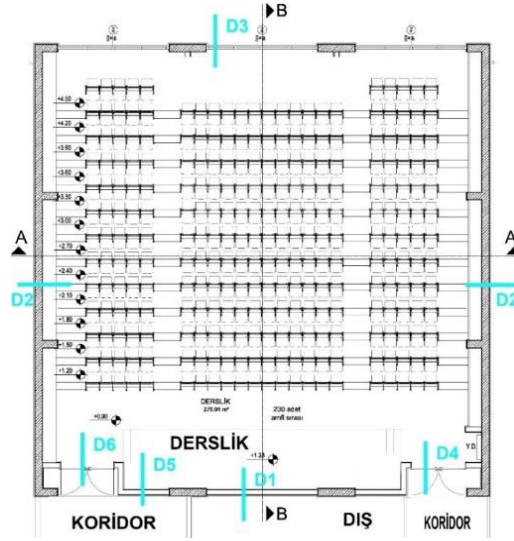
Dersliğin döşemesi eğimli betonarme olarak bırakılırken eğitiminin bulunduğu sahne döşemesi yerden 70 cm yükseltilecek ahşap kaplanmıştır. Tavanda ise şilteli perfore metal asma tavan kullanılmıştır. Kapıları ahşap, koltukları ise metal üzerine kumaş kaplamadır.

Yapının Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkındaki Yönetmelik (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2017)'te belirtilen C sınıfı yapı olabilmesi için duvarlarda gerekli ses kaybı değerleri verilmiştir (Tablo 4). Şekil 3'te hesaplamaların yapıldığı duvarlar için duvar isimleri gösterilmiştir. Bu hesaplamalardan D1, D2, D3 ve D4 duvarlarında kaynak dış gürültü olduğu için Tablo 2'den yararlanılmıştır. D5 ve D6 için ise Tablo 3 kullanılmıştır.

Tablo 4. Yapının duvarlarının yönetmeliğe göre sağlanması gereken ses geçiş kaybı değerleri. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| Duvar Adı | Kaynak Hacim | Alıcı Hacim | Alıcı Hacmin Yönetmeliğe Göre Sağlanması Gereken Ses Geçiş Kaybı Değeri (dB) |
|-----------|---------------------------|-------------|--|
| D1 | Dış Çevre | Derslik | 53 |
| D2 | Dış Çevre | | 53 |
| D3 | Dış Çevre | | 53 |
| D4 | Koridor-Sirkülasyon Alanı | | 38 |
| D5 | Koridor-Sirkülasyon Alanı | | 52 |
| D6 | Koridor-Sirkülasyon Alanı | | 38 |

Ayrıca kapı içeren bileşik cidarlar için Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik Madde 11-(3)'de kapı içeren yapı elemanlarında kapı ile beraber sağlanan ses yalıtım değerinin bu yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden en fazla 14 dB düşük olmasına izin verilmesi ibaresi yer almaktadır. Bu sebeple kapı içeren bileşik cidarlarda sağlanması gereken ses geçiş kaybı değerleri 14 dB çıkarılarak Tablo 4'deki değerlere ulaşılmıştır.



Şekil 3. Duvar isimleri. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

Amfi Dersliğinin Mevcut Reverberasyon Süresi Hesabı

Mevcut durumda Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Amfi Dersliğinin yapı kabuğu ve bölücü elemanlarının ses geçiş kaybı tespiti yapılırken alıcı hacmin reverberasyon süresi, hacim büyüklüğü ve değerlendirmeye alınan yapı elemanının toplam alanı önemli faktörlerdendir. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinde kullanılan yapı elemanları, malzemeleri ve özellikleri Tablo 5'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada yapı elemanlarının ses geçiş kaybı hesapları yapılmadan önce alıcı hacmin reverberasyon süresi hesabı bilinen ve hala kabul edilen ampirik Sabine formülü kullanılarak yayınlık ses alanı kuramına göre hesaplanmıştır (Şekil 4). Öncelikle her bir yapı elemanının ses geçiş kayıpları ve yapı elemanının toplam alanı kullanılarak bileşik cidar hesabı yapılmış daha sonra ise alıcı hacmin reverberasyon süresi, hacim büyüklüğü ve ilgili yönetmelikte belirtilen referans reverberasyon süresinin hesaba katıldığı formül ($DnT=R'+10\log*((0,16*V)/(T0*Ss))$) kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 5. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinde kullanılan yapı elemanları, malzemeleri ve özellikleri. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| ELEMAN | MALZEME | ÖZELLİK |
|--------------|-------------------|----------------------------------|
| Sahne Döşeme | Ahşap Parke | |
| Salon Döşeme | Beton | |
| Yan duvarlar | Ahşap Levha | 1,2 m'ye kadar Ahşap Levha |
| | Kumaş Kaplı Panel | 2cm dolgulu kumaş kaplı panel |
| Arka Duvar | Ahşap Levha | 1m'ye kadar Ahşap Levha |
| | Kumaş Kaplı Panel | 2cm dolgulu kumaş kaplı panel |
| Tavan | Asma Tavan | Şilteli Perfore Metal Asma Tavan |
| Kapılar | Ahşap | |
| Koltuklar | Kumaş Kaplama | |

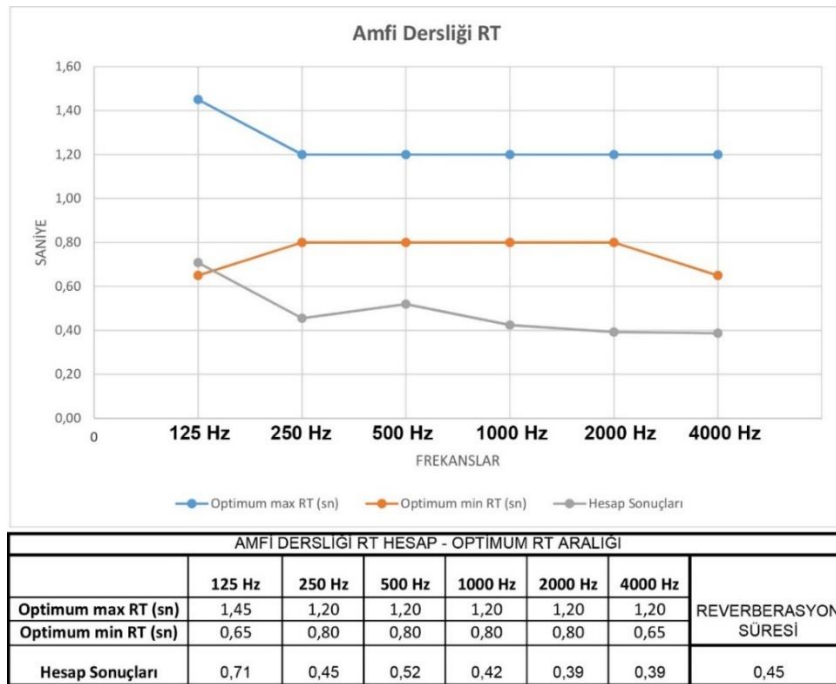
Optimum reverberasyon süresi maksimum ve minimum değerleri için DIN 18041[13] standardı kullanılmıştır.

| | | Hacim: 1260,00 | m ³ | | | kişi: 216 | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|------------------------|----------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--|
| | | FREKANSLAR | | | | | | | | | | | | | |
| AÇIKLAMALAR | MALZEMELER | ALAN (m ²) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | | | | | | |
| | | aS | a | aS | a | aS | a | aS | a | aS | a | aS | a | aS | |
| Havanın Yutuculuğu | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,032 | 0,001 | 15,120 | 0,003 | 40,320 | 0,008 | | |
| Yüzeyler : m ² | | | | | | | | | | | | | | | |
| Salon (yan ve arka duvarlar) | Latalar Üzerine Ahşap Levha | 63,00 | 12,6 | 0,20 | 10,08 | 0,16 | 8,82 | 0,14 | 7,56 | 0,12 | 6,93 | 0,11 | 6,30 | 0,10 | |
| Salon (yan ve arka duvarlar) | 2 cm Dolgu Kumaş Kaplı Panel | 112,62 | 28,2 | 0,25 | 37,16 | 0,33 | 56,31 | 0,50 | 73,20 | 0,65 | 73,20 | 0,65 | 78,83 | 0,70 | |
| Salon(kapı-arka div.) | Ahşap Kapı | 6,52 | 1,6 | 0,25 | 1,43 | 0,22 | 1,11 | 0,17 | 0,59 | 0,09 | 0,59 | 0,09 | 0,52 | 0,08 | |
| Salon (asma tavan) | Şilteli Perfore Metal Asma Tavan | 286,49 | 160,4 | 0,56 | 229,19 | 0,80 | 157,57 | 0,55 | 183,35 | 0,64 | 203,41 | 0,71 | 200,54 | 0,70 | |
| Salon (asma tavan) | Tavanda Düz Alçı Panel | 0,00 | 0,0 | 0,05 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,07 | |
| Sahne (döşeme) | Sahne Ahşap Parke Döşeme | 33,55 | 1,3 | 0,04 | 1,34 | 0,04 | 2,35 | 0,07 | 2,35 | 0,07 | 2,35 | 0,07 | 2,35 | 0,07 | |
| Salon (Döşeme) | Döşeme üzerine tespit edilmiş 5mm. Halı | 0,00 | 0,0 | 0,04 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,29 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 0,43 | |
| 1/2 Boş Koltuk | Kolçaklı, sünger + deri kaplı koltuk | 108,00 | 9,7 | 0,09 | 14,04 | 0,13 | 16,20 | 0,15 | 16,20 | 0,15 | 11,88 | 0,11 | 7,56 | 0,07 | |
| 1/2 Dolu Koltuk | Kolçaklı, sünger + deri kaplı koltuk | 108,00 | 21,6 | 0,20 | 43,20 | 0,40 | 59,40 | 0,55 | 64,80 | 0,60 | 64,80 | 0,60 | 54,00 | 0,50 | |
| Sahne (yan duvarlar) | Duvarda Alçı Sıva | 77,67 | 3,9 | 0,05 | 4,66 | 0,06 | 5,44 | 0,07 | 6,21 | 0,08 | 3,88 | 0,05 | 5,44 | 0,07 | |
| | Projeksiyon Perdeleri | 9,52 | 0,4 | 0,04 | 0,57 | 0,06 | 0,95 | 0,10 | 1,90 | 0,20 | 2,86 | 0,30 | 3,81 | 0,40 | |
| Salon Arka Duvar | İnce Kumaş Perdeler | 10,80 | 0,4 | 0,04 | 0,65 | 0,06 | 1,08 | 0,10 | 2,16 | 0,20 | 3,24 | 0,30 | 4,32 | 0,40 | |
| Salon (arka duvar-simultane) | Kapalı Çift Cam | 0,00 | 0,0 | 0,02 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | |
| | | 0,00 | 0,00 | 0,3 | 0 | 0,22 | 0 | 0,18 | 0 | 0,14 | 0 | 0,09 | 0 | 0,04 | |
| | | 0,000 | 0,00 | 0,04 | 0 | 0,06 | 0 | 0,1 | 0 | 0,2 | 0 | 0,3 | 0 | 0,4 | |
| | | 0,00 | 0,12 | 0,12 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,07 | |
| | | 0,00 | 0,12 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,05 | |
| Toplam Yüzey alanı ve Yutuculuk | | 816,17 | 240,42 | 342,33 | | 309,23 | | 358,33 | | 373,14 | | 363,67 | | | |
| a : Ortalama yutma çarpanı | | | 0,29 | 0,42 | | 0,38 | | 0,44 | | 0,46 | | 0,45 | | | |
| Yüzeylerin Yutuculuğu : Ay | | | 284,5 | 0,0 | 443,3 | 0,0 | 388,2 | 0,0 | 471,3 | 0,0 | 498,1 | 0,0 | 480,9 | 0,0 | |
| TOPLAM YUTUCULUK:A (m ²) | | | 284,48 | 443,30 | | 388,24 | 475,33 | 513,22 | | 521,19 | | | | | |

| YANSIŞIM SÜRELERİ: (sn) | 1/2 Dolu Koltuk | 0,71 | 0,45 | 0,52 | 0,42 | 0,39 | 0,39 |
|-------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
|-------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|

Şekil 4. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinin reverberasyon süresinin Sabine formülü kullanılarak hesabı. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinin frekanslara göre reverberasyon süreleri ve DIN 18041[13] standardına göre karşılaştırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.


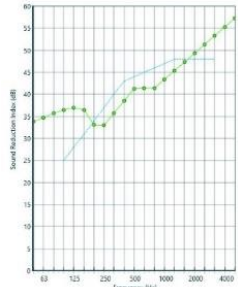


Şekil 5. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinin frekanslara göre reverberasyon süreleri ve DIN 18041[13]. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

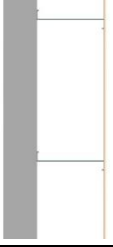

Amfi Dersliği Mevcut Yapı Kabuğunun ve Bölücü Duvarlarının Hava Doğuşlu Seslere Karşı Performansları

Mevcut durumda Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinin yapı kabuğu ve bölücü elemanlarının ses geçiş kaybı tespiti yapılırken alıcı hacmin reverberasyon süresi, hacim büyüklüğü ve değerlendirmeye alınan yapı elemanının toplam alanı önemli faktörlerdendir. Öncelikle her bir yapı elemanının ses geçiş kayıpları ve yapı elemanının toplam alanı kullanılarak bileşik cidar hesabı yapılmış daha sonra ise alıcı hacmin reverberasyon süresi, hacim büyüklüğü ve ilgili yönetmelikte belirtilen referans reverberasyon süresinin hesaba katıldığı formül ($DnT=R'+10\log*((0,16*V)/(T0*Ss))$) kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır (Tablo 6-11).

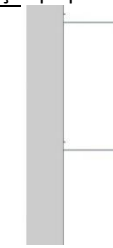
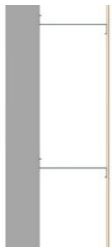
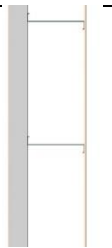
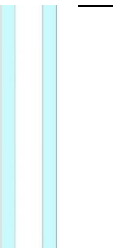
Tablo 6. Derslik güney cephesinin hava doğuşlu seslere karşı performansı. (**Kaynak:** Çalışma kapsamında yazar tarafından oluşturulmuştur).

| Kullanım Yeri: Yapı cephesi, derslik güney cephesi | | | |
|--|---|---|--|
| Duvar : D1 (200mm gazbeton duvar) | | | |
| Duvar Kesiti | Yapı Elemanları | | Ses Azaltma Endeksi |
|  | 10mm alçı sıva 200mm gazbeton blok duvar 10mm alçı sıva | |  |
| Kütle (kg/m ³) | 690 | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 44 (-1;-3) |
| Kalınlık(mm) | 220 | R'w | 42 |
| Alan (m ²) | 95 | R'w + Ctr | 39 |
| Alıcı Hacim (m ³) | 1260 | DnT,A,tr | 45,7 |
| Alıcı Hacmin Reverberasyon Süresi (sn) | 0,45 | Sonuç $DnT=R'+10\log*((0,16*V)/(T0*Ss))$ | 45,7 ≤ 53 olduğu için 220 mm iki yanı 10 mm alçı sıvalı gazbeton yapı kabuğu performansı yönetmelik sınır değerine uygun değildir. |

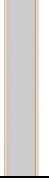

Tablo 7. Derslik doğu ve batı bileşik cidarlarının hava doğuşlu seslere karşı performansı. (**Kaynak:** Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| | | | |
|---|--|--|--|
| Kullanım Yeri | Yapı cephesi, derslik doğu ve batı cepheleri bileşik cidarları | | |
| Duvar: D2 | 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm ahşap levha ve 20mm mineral yünü dolgulu kumaş kaplı panel | | |
| 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm ahşap levha | 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm mineral yünü dolgulu kumaş kaplı panel | | |
| Duvar Kesiti | Yapı Elemanları | Duvar Kesiti | Yapı Elemanları |
|  | 300mm betonarme duvar 600mm hava boşluğu 20mm ahşap levha |  | 300mm betonarme duvar 600mm hava boşluğu 20mm mineral yünü dolgulu kumaş kaplı panel |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 64 (-1;-5) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 61 (-2;-6) |
| Kütle (kg/m ³) | 2900 | Kütle (kg/m ³) | 2490 |
| Kalınlık(mm) | 920 | Kalınlık(mm) | 920 |
| Alan (m ²) | 21,6 | Alan (m ²) | 51 |
| $=10 \cdot \text{LOG}((S1+S2+S3+S_n)/((S1/(10^{R1/10}))+S2/(10^{R2/10}))+S3/(10^{R3/10}))+S_n/(10^{Rn/10})))$ | Sonuç (Bileşik cidarın ses geçiş kaybı) DnT=R'+10log*((0,16*V)/(T0*Ss)) | 61,7 ≥ 53 olduğu için 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm ahşap levha ve 20mm mineral yünü dolgulu kumaş kaplı panel yapı kabuğu performansı yönetmelik sınır değerine uygundur. | |


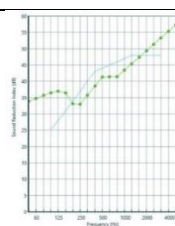
Tablo 8. Derslik kuzey cephesi bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı performansı. (**Kaynak:** Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| | | | | | | | |
|--|--|--------------------------------|--|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------|
| Kullanım Yeri | Yapı cephesi, derslik kuzey cephesi | | | | | | |
| Duvar: D3 | 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm mineral yünü dolgulu kumaş kaplı panel | | | | | | |
| 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm mineral yünü dolgulu kumaş kaplı panel | 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm ahşap levha | | 200mm gazbeton duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm ahşap levha | | 12mm hava boşluğu bulunan 6mm kalınlığa sahip çift cam | | |
|  |  | |  | |  | | |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 61 (-2;-6) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 64 (-1;-5) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 46 (-0;-3) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 36 (-1;-3) |
| Kütle (kg/m ³) | 2490 | Kütle (kg/m ³) | 290 | Kütle (kg/m ³) | 2490 | Kütle (kg/m ³) | 2430 |
| Kalınlık(mm) | 920 | Kalınlık(mm) | 920 | Kalınlık(mm) | 820 | Kalınlık(mm) | 24 |
| Alan (m ²) | 11 | Alan (m ²) | 4 | Alan (m ²) | 16 | Alan (m ²) | 11 |
| $=10 \cdot \text{LOG}((S1+S2+S3+S_n)/((S1/(10^{R1/10}))+S2/(10^{R2/10}))+S3/(10^{R3/10}))+S_n/(10^{Rn/10})))$ | Sonuç (Bileşik cidarın ses geçiş kaybı): DnT=R'+10log*((0,16*V)/(T0*Ss)) | | 48,4 ≤ 53 Amfi dersliğinin mevcut kuzey yapı kabuğu bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı performansı yönetmelik sınır değerine uygun değildir. | | | | |



Tablo 9. Derslik güney cephesi ile dış alan arasındaki bileşik cidarın hava doğuşlu seslere karşı performansı. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| | | | |
|---|---|--|---|
| Kullanım Yeri | | Derslik ile koridor arasındaki bileşik cidar | |
| Duvar: D4 | | Üzerinde kapı bulunan iki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton bileşik cidar | |
| İki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton duvar | | İki yanı 10mm ahşap levha arası cam yünü dolgulu, toplam 60mm kapı | |
|  | 10mm alçı sıva 200mm gazbeton blok duvar 10mm alçı sıva |  | 10mm ahşap levha 40mm cam yünü 10mm ahşap levha |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 44 (-1;-3) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 32 (-2;-6) |
| Kütle (kg/m ³) | 690 | Kütle (kg/m ³) | 375 |
| Kalınlık(mm) | 220 | Kalınlık(mm) | 60 |
| Alan (m ²) | 11,4 | Alan (m ²) | 4,7 |
| $=10 \cdot \text{LOG}((S1+S2+S3+S_n)/((S1/(10^{R1/10}))+S2/(10^{R2/10}))+S3/(10^{R3/10}))+S_n/(10^{Rn/10})))$ | Sonuç (Bileşik cidarın ses geçiş kaybı) | 34,8 ≤ 38 (53-14*) Amfi dersliğinin mevcut güney bölücü bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı performansı yönetmelik sınır değerine uygun değildir. *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik Madde 11-(3), kapı içeren yapı elemanlarında kapı ile beraber sağlanan ses yalıtım değerinin bu yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden en fazla 14 dB düşük olmasına izin verilir. | |

Tablo 10. Derslik güney cephesi ile sirkülasyon alanı arasındaki bölücü duvarın hava doğuşlu seslere karşı performansı. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| | | | |
|---|---|---|--|
| Kullanım Yeri | | Derslik ile sirkülasyon alanı arasındaki bölücü duvar | |
| Duvar: D5 | | İki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton duvar | |
|  | 10mm alçı sıva 200mm gazbeton blok duvar 10mm alçı sıva |  | |
| Kütle (kg/m ³) | 690 | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 44 (-1;-3) |
| Kalınlık(mm) | 220 | R'w | 42 |
| Alan (m ²) | 26 | R'w + C | 41 |
| Alıcı Hacim (m ³) | 1260 | DnT,A | 51,3 |
| Alıcı Hacmin Reverberasyon Süresi (sn) | 0,45 | Sonuç $DnT=R'+10 \log*((0,16 \cdot V)/(T0 \cdot Ss))$ | 51,3 ≤ 52 olduğu için 220mm iki yanı 10mm alçı sıvalı gazbeton yapı kabuğu performansı yönetmelik sınır değerine uygun değildir. |

Tablo 11. Derslik güney cephesi ile sirkülasyon alanı arasındaki bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı performansı.

| Kullanım Yeri | Derslik ile sirkülasyon alanı arasındaki bileşik cidar | | |
|--|--|--|---|
| Duvar: D6 | Üzerinde kapı bulunan iki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton bileşik duvar | | |
| İki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton duvar | | İki yanı 10mm ahşap levha arası cam yünü dolgulu, toplam 60mm kapı | |
|  | 10mm alçı sıva 200mm gazbeton blok duvar 10mm alçı sıva |  | 10mm ahşap levha 40mm mineral yünü 10mm ahşap levha |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 44 (-1;-3) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 32 (-2;-6) |
| Kütle (kg/m ³) | 690 | Kütle (kg/m ³) | 375 |
| Kalınlık(mm) | 220 | Kalınlık(mm) | 60 |
| Alan (m ²) | 9,6 | Alan (m ²) | 6,5 |
| $=10 \cdot \text{LOG}((S1+S2+S3+S_n)/((S1/(10^{R1/10}))+ (S2/(10^{R2/10}))+ (S3/(10^{R3/10}))+ (S_n/(10^{Rn/10}))))$ | Sonuç (Bileşik cidarın ses geçiş kaybı) | 33,6 ≤ 38 (52-14*) Amfi dersliğinin mevcut güney bölücü bileşik cidar performansı hava doğuşlu seslere karşı yönetmelik sınır değerine uygun değildir. *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik Madde 11-(3), kapı içeren yapı elemanlarında kapı ile beraber sağlanan ses yalıtım değerinin bu yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden en fazla 14 dB düşük olmasına izin verilir. | |

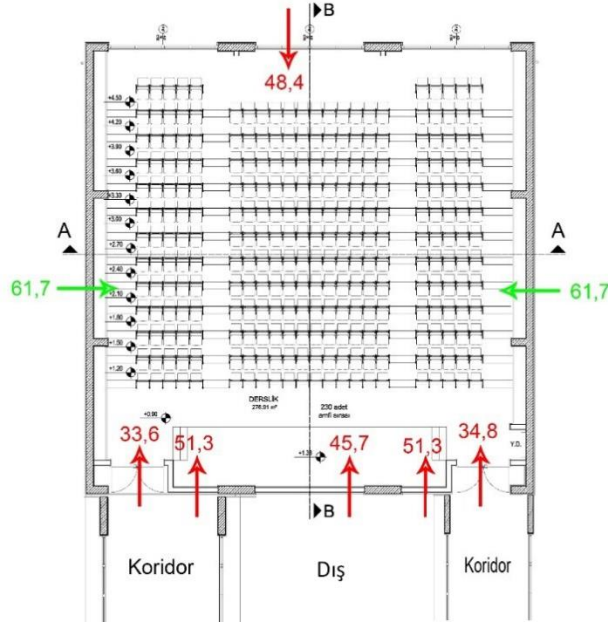
Amfi Dersliğinin Mevcut Yapı Kabuğu ve Bölücü Duvarlarının Hava Doğuşlu Seslere Karşı Performanslarının İyileştirilmesi

Mevcut durumda Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinin yapı kabuğu ve bölücü elemanlarının ses geçiş kaybı tespiti yapılmıştır. Dersliğin doğu ve batı cephelerindeki bileşik cidarlar Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı için hedeflenen yapı kabuğundaki DnT,A,tr ≥ 53 dB yeterli yalıtım değerlerini sağlamıştır.

Dersliğin kuzey cephesindeki betonarme ve gazbeton duvar üzerine sıkı tespit edilmiş ahşap paneller ve kumaş kaplı elemanlarla birlikte pencere elemanının oluşturduğu bileşik cidar yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı için hedeflenen yapı kabuğundaki DnT,A,tr ≥ 53 dB için yeterli yalıtım değerlerini sağlayamamıştır.

Dersliğin güney cephesindeki iki yanı sıvalı gazbeton duvar hem yapı kabuğu hem de bölücü duvar olarak yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı için hedeflenen yalıtım değerlerini sağlayamamıştır.

Ayrıca yine dersliğin güney cephesinde kullanılan iki yanı sıvalı gazbeton duvar ile birlikte kullanılan kapının oluşturduğu bileşik cidarlar hem yapı kabuğu hem de bölücü duvar olarak yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı için hedeflenen yalıtım değerlerini sağlayamamıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinin yapı kabuğu ve bölücü duvarlarının hava doğuşlu seslere karşı ses geçiş kayıpları. (**Kaynak:** Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

Amfi Dersliğinin Gürültü Denetimi için Uygun Yapı Kabuğu Seçeneklerinin Belirlenmesi

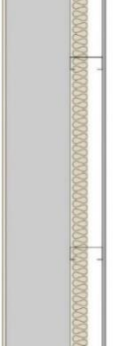
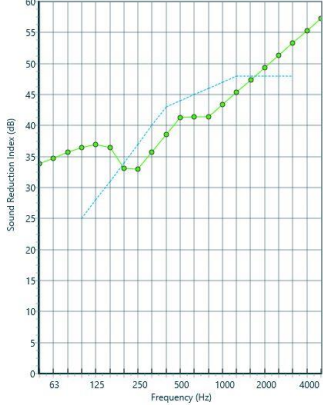
Mevcut durumda Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinin yapı kabuğu ve bölücü elemanlarının ses geçiş kaybı tespiti bir önceki bölümde yapılmıştır.

Bu bölümde ise Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik çerçevesinde belirtilen C akustik performans sınıfı için hedeflenen yalıtım değerlerinin sağlanamadığı kısımlar için öneriler geliştirilmiştir (Tablo 12-16).

Tablo 12. Derslik güney cephesi ile dış alan arasındaki mevcut duvar ve öneri duvarın hava doğuşlu seslere karşı performanslarının karşılaştırılması (**Kaynak:** Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).




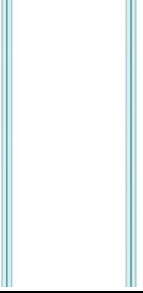
| Öneri | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|----------------------------|-----|--------------|-----|------------------------|----|-------------------------------|------|--|------|--------------------------------|------------|-----|----|-----------|----|----------|------|--------------------|
| Duvar: D1 | 200mm gazbeton duvar üzerine hava boşluğu bırakılarak çelik konstrüksiyon ile tespit edilmiş 10mm alçı paneller. Hava boşluğu arası 50mm mineral yünü dolgulu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> -10mm alçı sıva -200mm gazbeton blok duvar -50mm mineral yünü -U profil çelik konstrüksiyon -10mm alçı panel | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <tr> <td>Kütle (kg/m³)</td> <td>690</td> </tr> <tr> <td>Kalınlık(mm)</td> <td>320</td> </tr> <tr> <td>Alan (m²)</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>Alıcı Hacim (m³)</td> <td>1250</td> </tr> <tr> <td>Alıcı Hacmin Reverberasyon Süresi (sn)</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz</td> <td>58 (-2;-6)</td> </tr> <tr> <td>R'w</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>R'w + Ctr</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>DnT,A,tr</td> <td>45,7</td> </tr> <tr> <td>Sonuç (DnT)</td> <td>56,7 ≥ 53</td> </tr> </table> | Kütle (kg/m ³) | 690 | Kalınlık(mm) | 320 | Alan (m ²) | 95 | Alıcı Hacim (m ³) | 1250 | Alıcı Hacmin Reverberasyon Süresi (sn) | 0,45 | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 58 (-2;-6) | R'w | 56 | R'w + Ctr | 50 | DnT,A,tr | 45,7 | Sonuç (DnT) |
| Kütle (kg/m ³) | 690 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kalınlık(mm) | 320 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alan (m ²) | 95 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alıcı Hacim (m ³) | 1250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alıcı Hacmin Reverberasyon Süresi (sn) | 0,45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 58 (-2;-6) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R'w | 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R'w + Ctr | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DnT,A,tr | 45,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sonuç (DnT) | 56,7 ≥ 53 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tablo 13. Derslik güney cephesi ile sirkülasyon alanı arasındaki mevcut duvar ve öneri duvarın hava doğuşlu seslere karşı performanslarının karşılaştırılması. (**Kaynak:** Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| Öneri | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|----------------------------|-----|--------------|-----|------------------------|----|-------------------------------|------|--|------|-----------------------------|------------|-----|----|---------|----|-------|------|--------------------|
| Duvar: D5 | 200mm gazbeton duvar üzerine hava boşluğu bırakılarak çelik konstrüksiyon ile tespit edilmiş 10mm alçı paneller. Hava boşluğu arası 50mm mineral yünü dolgulu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | -10mm alçı sıva -200mm gazbeton blok duvar -50mm mineral yünü -U profil çelik konstrüksiyon -10mm alçı panel | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |  | <table border="1"> <tr> <td>Kütle (kg/m³)</td> <td>690</td> </tr> <tr> <td>Kalınlık(mm)</td> <td>320</td> </tr> <tr> <td>Alan (m²)</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Alıcı Hacim (m³)</td> <td>1257</td> </tr> <tr> <td>Alıcı Hacmin Reverberasyon Süresi (sn)</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz</td> <td>58 (-2;-6)</td> </tr> <tr> <td>R'w</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>R'w + C</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>DnT,A</td> <td>66,3</td> </tr> <tr> <td>Sonuç (DnT)</td> <td>66,3 ≥ 53</td> </tr> </table> | Kütle (kg/m ³) | 690 | Kalınlık(mm) | 320 | Alan (m ²) | 26 | Alıcı Hacim (m ³) | 1257 | Alıcı Hacmin Reverberasyon Süresi (sn) | 0,45 | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 58 (-2;-6) | R'w | 56 | R'w + C | 54 | DnT,A | 66,3 | Sonuç (DnT) |
| Kütle (kg/m ³) | 690 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kalınlık(mm) | 320 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alan (m ²) | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alıcı Hacim (m ³) | 1257 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alıcı Hacmin Reverberasyon Süresi (sn) | 0,45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 58 (-2;-6) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R'w | 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R'w + C | 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DnT,A | 66,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sonuç (DnT) | 66,3 ≥ 53 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



Yukarıdaki iki öneride 200mm gazbeton duvar üzerine çelik konstrüksiyon ile tespit edilmiş alçı panellerden oluşmuş duvar yapı elemanı (çift tabakalı duvar) tipinde, duvar çekirdeğini gazbeton malzeme oluşturmaktadır. Burada iç kaplama olarak alçı levhalar kullanılmış ve duvara 30 mm U profiller ile konstrüksiyon oluşturularak tespit edilmiştir. Profil dikmeler duvara sıkı tespit edilmiştir. Gazbeton duvar ile alçı levhalar arasındaki 10mm boşluğa ses yutucu malzeme olarak 5mm taş yünü kullanılmıştır. Bu durumda Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı için hem yapı kabuğunda hem de bölücü duvarda istenen yalıtım değeri elde edilmiştir.

Tablo 14. Derslik kuzey cephesi öneri bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı performansı. (**Kaynak:** Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).


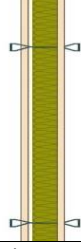
| Kullanım Yeri | Yapı cephesi, derslik kuzey cephesi | | | | | | | | |
|--|---|--|--|---|------------|---|------------|--|--|
| Duvar: D3 | | | | | | | | | |
| 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm mineral yünü dolgulu kumaş kaplı panel | 300mm betonarme duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm ahşap levha | 200mm gazbeton duvar üzerine 600mm hava boşluğu bırakılarak sıkı tespit edilmiş 20mm ahşap levha | 100mm hava boşluğu bulunan 8mm kalınlığa sahip çift lamine cam | | | | | | |
|  | |  | |  | |  | | | |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 61 (-2;-6) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 64 (-1;-5) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 46 (-0;-3) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 50 (-2;-7) | | |
| Kütle (kg/m ³) | 2490 | Kütle (kg/m ³) | 290 | Kütle (kg/m ³) | 2490 | Kütle (kg/m ³) | 2430 | | |
| Kalınlık(mm) | 920 | Kalınlık(mm) | 920 | Kalınlık(mm) | 820 | Kalınlık(mm) | 117 | | |
| Alan (m ²) | 11 | Alan (m ²) | 4 | Alan (m ²) | 16 | Alan (m ²) | 11 | | |
| $=10 \cdot \text{LOG}((S1+S2+S3+S4)/((S1/(10^{(R1/10)}))+(S2/(10^{(R2/10)})))+(S3/(10^{(R3/10)})))+(S4/(10^{(Rn/10)})))$ | | Sonuç (Bileşik cidarın ses geçiş kaybı) $DnT=R'+10\log^* ((0,16 \cdot V) / (T0 \cdot Ss))$ | | $54,9 \geq 53$ Amfi dersliğinin iyileştirilmiş kuzey yapı kabuğu bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı gösterdiği performans yönetmelik sınır değerine uygundur. | | | | | |

Yukarıdaki öneride mevcut durumdaki 12 mm hava boşluğu bulunan 6 mm kalınlığa sahip çift cam, bileşik cidarın en hassas elemanı olarak bileşik cidarın ses geçiş kaybını ciddi oranda düşürmektedir. Bileşik cidarın diğer üç elemanı aynı tutulup sadece cam elemanı değiştirilerek yeterli ses geçiş kaybının sağlanması yoluna gidilmiştir. Öneri olarak 100 mm hava boşluğu bulunan 8 mm kalınlığa sahip çift lamine cam kullanılarak yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı için yapı kabuğunda istenen yalıtım değeri elde edilmiştir.

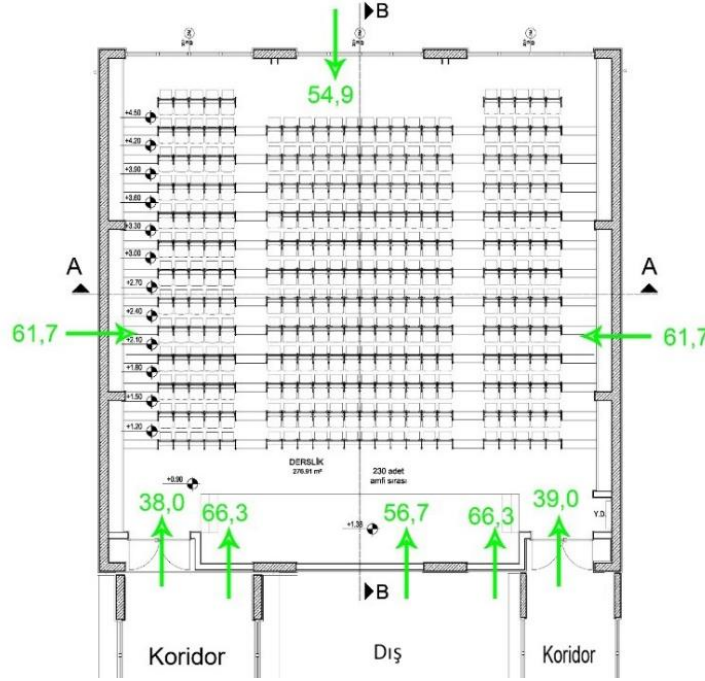
Tablo 15. Derslik güney cephesi öneri bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı performansı. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| | | | |
|---|--|--|--|
| Kullanım Yeri | Derslik ile sirkülasyon alanı arasındaki bileşik cidar | | |
| Duvar: D6 | Üzerinde kapı bulunan iki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton bileşik cidar | | |
| İki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton duvar | İki yanı 10mm ahşap levha arası cam yünü dolgulu, toplam 200mm kapı | | |
|  | 10mm alçı sıva 200mm gazbeton blok duvar 10mm alçı sıva |  | <ul style="list-style-type: none"> • 10mm ahşap levha • 180mm mineral yünü • 10mm ahşap levha |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 44 (-1;-3) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 38 (-3;-8) |
| Kütle (kg/m ³) | 690 | Kütle (kg/m ³) | 375 |
| Kalınlık(mm) | 220 | Kalınlık(mm) | 200 |
| Alan (m ²) | 9,6 | Alan (m ²) | 6,5 |
| $=10 \cdot \text{LOG}((S1+S2+S3+S_n)/((S1/(10^{R1/10}))+S2/(10^{R2/10}))+S3/(10^{R3/10}))+S_n/(10^{Rn/10})))$ | Sonuç (Bileşik cidarın ses geçiş kaybı) | 38,02 ≥ 38 (52-14*) Amfi dersliğinin iyileştirilmiş güney bölücü bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı gösterdiği performans yönetmelik sınır değerine uygundur. <i>*Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik Madde 11-(3), kapı içeren yapı elemanlarında kapı ile beraber sağlanan ses yalıtım değerinin bu yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden en fazla 14 dB düşük olmasına izin verilir.</i> | |

Tablo 16. Derslik güney cephesi öneri bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı performansı. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

| | | | |
|---|--|---|--|
| Kullanım Yeri | Derslik ile koridor arasındaki bileşik cidar | | |
| Duvar: D4 | Üzerinde kapı bulunan iki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton bileşik cidar | | |
| İki yanı 10mm alçı sıvalı 200mm gazbeton duvar | İki yanı 20mm ahşap levha arası cam yünü dolgulu, toplam 200mm kapı | | |
|  | 10mm alçı sıva 200mm gazbeton blok duvar 10mm alçı sıva |  | 10mm ahşap levha 180mm mineral yünü 10mm ahşap levha |
| Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 44 (-1;-3) | Rw (C;Ctr) (dB) 100-3150 Hz | 39 (-3;-4) |
| Kütle (kg/m ³) | 690 | Kütle (kg/m ³) | 375 |
| Kalınlık(mm) | 220 | Kalınlık(mm) | 200 |
| Alan (m ²) | 11,4 | Alan (m ²) | 4,7 |
| $=10 \cdot \text{LOG}((S1+S2+S3+S_n)/((S1/(10^{R1/10}))+S2/(10^{R2/10}))+S3/(10^{R3/10}))+S_n/(10^{Rn/10})))$ | Sonuç (Bileşik cidarın ses geçiş kaybı) | 39 ≥ 38 (53-14*) Amfi dersliğinin iyileştirilmiş güney bölücü bileşik cidarının hava doğuşlu seslere karşı gösterdiği performans yönetmelik sınır değerine uygundur. <i>*Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik Madde 11-(3), kapı içeren yapı elemanlarında kapı ile beraber sağlanan ses yalıtım değerinin bu yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden en fazla 14 dB düşük olmasına izin verilir.</i> | |

Yukarıdaki öneride mevcut durumda üzerinde kapı bulunan iki yanı 10 mm alçı sıvalı 200 mm gazbeton bileşik cidarının hassas elemanı olan kapı, bileşik cidarın ses geçiş kaybını ciddi oranda düşürmektedir. Bileşik cidarın diğer elemanı sabit tutulup sadece kapı elemanı değiştirilerek yeterli ses geçiş kaybının sağlanması yoluna gidilmiştir. Öneri olarak 20 mm iki ahşap levha arasındaki cam yünü 40 mm yerine 180 mm kullanılarak yönetmelikte belirtilen C akustik performans sınıfı için hem yapı kabuğunda hem de bölücü duvarda istenen yalıtım değeri elde edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliğinin yapı kabuğu ve bölücü duvarlarının iyileştirme sonrası hava doğuşlu seslere karşı ses geçiş kayıpları. (Kaynak: Çalışma kapsamında oluşturulmuştur).

SONUÇ

İnsanların yaşamlarının büyük bölümünü geçirdiği, yoğun iletişimin, paylaşımın ve öğrenmenin gerçekleştiği dersliklerde uygun fizik ortam koşullarının sağlanmasında, gürültü denetimi ile ilgili gereksinimlerin sağlanması, önemli belirleyicilerdendir. Bu nedenle, yapının bulunduğu bölgeye ve gürültüye karşı duyarlılığına göre, uygun yapı kabuğu kesitleri belirlenmeli, ekonomik, teknik gibi etkenler de göz önüne alınarak uygun kesit seçimine gidilmelidir. Yapı içi gürültüler açısından da, yatayda ve düşeyde hacimleri birbirinden ayıran duvar ve döşemelerde yeterli ses yalıtımının sağlanması önem taşır. Duvar elemanlarında yalnızca hava doğuşlu seslerin yalıtımına yönelik incelemeler yeterli olmakla birlikte darbe geçişli sesler dikkate alınmamaktadır.

Bu çalışmada derslik yapılarının yapı kabuğunda ve iç bölme elemanlarında gürültü açısından konfor koşullarının sağlanması için 31 Mayıs 2017 Tarihinde 30082 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanmış ve 31 Mayıs 2018 tarihinde yürürlüğe girmiş olan "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" çerçevesinde önerilen yalıtım değerleri incelenmiştir. Ardından, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi amfi dersliği üzerinden mevcut yapı elemanlarının ses yalıtım değerleri incelenmiş ve yönetmelikteki C sınıfı için istenen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Yönetmelikteki sınır değerlere uymayan yapı elemanları için yeni öneriler geliştirilerek yönetmelikte belirtilen, dersliklerde gürültü açısından kabul edilebilecek konfor koşulunu sağlayacak ses yalıtım değerlerinin sağlanması amaçlanmıştır. Yapı elemanlarının ses yalıtım performansı, BS EN 12354-1,3 standartlarına uygun olarak,

Insul programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Böylece, yapı elemanlarının uygulama sonrası ses yalıtım performanslarının nasıl olacağının değerlendirilebilmesi de olanaklı olmaktadır.

Bu çalışma aracılığıyla eğitim yapılarında sıklıkla tercih edilen yapı malzemelerinin akustik performansları Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik çerçevesinde örnek bir dersliğin mevcut durumu üzerinden ele alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Daha sonra iyileştirme uygulamalarında sıklıkla tercih edilen mineral yünü, alçı panel levha, farklı cam çeşitleri ve kapı türleri gibi uygulanabilir öneriler getirilerek mevcut durumun iyileştirilmesi sağlanmıştır. İlerleyen çalışmalar için dersliklerdeki yapı kabuğu ve bölme elemanlarının performans analizleri ve bunlara getirilecek önerilerin çoğaltılması planlanarak mevcut dersliklerin ve gelecekte yapılması planlanan dersliklerin gürültü denetimi açısından uygun yapı kabuğu ve bölme elemanı seçeneklerinin belirlenmesine kaynak oluşturması amaçlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Bayazıt, N. T., Kurra, S., Özbilen, B. Ş., ve Şentop, A. (2018). *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği Açıklama ve Uygulama Kılavuzu*. <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/binalarin-gurultuye-karsi-korunmasi-yonetmeli-gi-aciklama-ve-uygulama-klavuzu.pdf>
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik*. Türkiye: Resmi Gazete.
- Demirel, F., ve Özçetin, Z. (2014). Ankara Musiki Muallim Mektebi Mamak Belediyesi Konservatuvar Binası ve gürültü kontrol analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(4), 835–845. <https://doi.org/10.17341/gummfd.34000>
- European Environment Agency. (2014). Noise in Europe 2014 — European Environment Agency. *Publications Office of the European Union içinde*. <https://doi.org/10.2800/763331>
- Garg, N., Kumar, A., ve Maji, S. (2013). Significance and implications of airborne sound insulation criteria in building elements for traffic noise abatement. *Applied Acoustics*, 74(12), 1429–1435. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.05.012>
- Hongisto, V., Mäkilä, M., ve Suokas, M. (2015). Satisfaction with sound insulation in residential dwellings - The effect of wall construction. *Building and Environment*, 85, 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.010>
- Jagniatinskas, A., Mickaitis, M., ve Fiks, B. (2013). Development classification scheme for evaluation dwellings sound insulation performance in Lithuania. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.057>
- Jariwala, H. J., Syed, H. S., Pandya, Minarva J., ve Gajera, Y. M. (2017). Noise pollution & Human health: A review. *Indoor and Built Environment*, 1–4.
- Monteiro, C., Machimbarrena, M., Tarrero, A. I., ve Smith, R. S. (2017). Translation between existing and proposed harmonized airborne sound insulation descriptors: A statistical approach based on in-situ measurements. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.017>
- Pääkkönen, R., Vehviläinen, T., Jokitulppo, J., Niemi, O., Nenonen, S., ve Vinha, J. (2015). Acoustics and new learning environment - A case study. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.07.001>
- Raeder, A., ve Nakazato, M. (2018). Study case on the acoustic quality of classrooms in Brazil. *INTER-NOISE 2018 - 47th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Impact of Noise Control Engineering*, 26-29 Ağustos 2018.
- September, I. C. (2017). *BS EN ISO 12354-1 : 2017 BSI Standards Publication Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements*.
- Springer Handbook of Acoustics. (2007). *Springer Handbook of Acoustics içinde*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30425-0>
- Untuç, B., ve Yüğrük Akdağ, N. (2017). Yapılarda gürültü denetimi – Bir örnek kapsamında değerlendirmeler. *Artium*, 5(2), 11–21. <http://artium.hku.edu.tr/tr/pub/artium/327795>
- Zannin, P. H. T., ve Loro, C. P. (2007). Measurement of the ambient noise level, reverberation time and transmission loss for classrooms in a public school. *Noise Control Engineering Journal*, 55(3), 327–333. <https://doi.org/10.3397/1.2734939>