

MÜZİK ÇALIŞMA ODALARI AKUSTİK TASARIMI: CSO KONSER SALONU BİREYSEL VE KORO ÇALIŞMA ODALARI

Özgün Sinal¹, Zeynep Bora Özyurt², Zühre Sü Gül³, Mehmet Çalışkan⁴

¹**MEZZO Stüdyo Ltd**, Ankara, Türkiye

Tel: 312 210 18 25 e-posta: ozgun@mezzostudio.com

²e-posta: zeynep@mezzostudio.com

³**Bilkent Üniversitesi**, Ankara, Türkiye

Tel: 312 290 18 17, e-posta: zuhre@bilkent.edu.tr

⁴**MEZZO Stüdyo Ltd**, İstanbul, Türkiye

Tel: 216 330 11 88 e-posta: prof.mehmetcaliskan@gmail.com

ÖZET

Müzisyenler müzik provaları ve performansları haricinde zamanlarının önemli bir bölümünü bireysel ve grup halinde yapılan çalışmalara ayırmaktadır. Dolayısıyla bu amaçlara hizmet eden mekânların akustik tasarımı titizlik gerektirmektedir. Bu çalışmada bireysel, grup ve genel müzik çalışma odalarında hava ve yapı doğuşumlu gürültü kontrolü ile titreşim yalıtımı ilkelerine uygun geliştirilen detaylar sunulmaktadır. Hacim akustiği tasarımında ise, farklı enstrüman gruplarının gerektirdiği geniş frekans spektrumunda ideal çınlama sürelerini sağlamaya yönelik çözümler önem kazanmaktadır. Özellikle, akustik titreşim biçimleri (oda modları) nedeniyle küçük hacimli müzik odalarında düşük frekanslarda yaşanabilecek işitsel tutarsızlık ve rahatsızlıkları önleyebilmek amacıyla, iç mimari tasarım bütünlüğüne uygun olarak geliştirilen panel rezonatör bildirisi kapsamında sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Müzik çalışma odaları, hacim akustiği, panel rezonatör, çınlama süresi

ACOUSTICAL DESIGN OF MUSIC PRACTICE ROOMS: CSO CONCERT HALL INDIVIDUAL AND CHOIR PRACTICE ROOMS

ABSTRACT

Musicians, aside from music rehearsals and performances, spend most of their time in music practice rooms as individuals or in groups. Therefore, the acoustic design phase for such rooms requires diligence. In this study, details are developed and optimized for airborne and structure-borne sound insulation and vibration isolation for individual, ensemble and general music practice rooms. As for room acoustics design, solutions are presented to provide compatible reverberation times with special consideration for the wide-range spectrum of frequencies of different instrument groups. Particularly, for small music practice rooms where room modes can pose problems, a panel resonator is designed to prevent aural inconsistencies at low frequencies, whilst keeping the integrity of interior architectural design concepts.

Keywords: Music practice rooms, room acoustics, resonant panel, reverberation time

1. GİRİŞ

Yapımı halen devam eden Ankara AKM Cumhurbaşkanlığı Senfoni Orkestrası (CSO) Konser Salonu ve Koro Çalışma Binaları Projesi, 1992 yılında düzenlenen uluslararası mimari proje yarışması sonucunda birinci seçilen Uygur Mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Yapı 5 bloktan (A-E) oluşmakta olup 62557 m² kullanım alanına sahiptir. Projenin akustik tasarımını, Doğu Almanya Döneminde yapılan Leipzig Konser Salonu'nun da akustik danışmanı olan Prof. W. Fasold ve birlikte çalıştığı Fraunhofer Bina Fiziği Enstitüsü (Fraunhofer-Institut für Bauphysik) üstlenmiştir [1]. Akustik tasarım çalışmalarının günümüzden 23 yıl önce yapılması sebebiyle, zaman içindeki teknolojik gelişmelerden yararlanılması amaçlanmış, söz konusu akustik raporların günümüz teknolojisi ile tekrar değerlendirilmesi gündeme gelmiştir.

Bu bildiri kapsamında yapının A ve C bloklarında yer alan ve örnek olarak seçilen genel çalışma salonları, grup çalışma odaları ve münferit (bireysel) çalışma odalarının akustik değerlendirmeleri yer almaktadır. Değerlendirmelerde 25 Mart 1996 tarihli Fraunhofer Bina Fiziği Enstitüsü tarafından hazırlanan Bina Akustiği Ön Taslak Çalışma Raporu referans alınmaktadır [2].

Çalışma iki ana bölümde sunulmaktadır. İlk bölüm, müzik çalışma odalarının akustik özelliklerini karakterize eden; hacmin büyüklüğüne, hacim içinde yürütülen işleve ve akustik gereksinimlere göre belirlenen ideal çınlama sürelerinin sağlanmasına yönelik değerlendirmeleri içermektedir. Değerlendirmelerde, farklı enstrüman/müzisyen gruplarının üreteceği geniş frekans spektrumu göz önünde bulundurulmuştur. Hacmen ve oransal olarak daha küçük odalarda düşük frekanslar sebebiyle oluşabilecek akustik marazlar/oda modları ayrıca dikkate alınmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise çalışma odaları içinde sağlanması gereken arka plan gürültüsüne yönelik gürültü kontrolü önlemleri yer almaktadır.

2. HACİM AKUSTİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ

Hacim akustiği tasarımı süreci Uygur Mimarlık ve Çağdan – Burak Adı Ortaklığı ile koordineli olarak yürütülmektedir. Çalışmada Fraunhofer Bina Fiziği Enstitüsü tarafından belirlenen çınlama süresi kriterleri yanı sıra, uluslararası mimari akustik literatüründe kaynak olarak gösterilen ikinci bir referanstan yararlanılmıştır [3].

Hacim akustiği kontrolleri yapılan müzik çalışma odaları/salonları için belirlenen ideal çınlama süreleri Tablo 1'de özetlenmektedir. Hacimlerin her birinde yer alan bitirme malzemeleri ve ilgili ses yutma karakteristikleri ise Tablo 2'de verilmektedir. Hazırlanan çalışmaya göre [2] projede bulunan hacimler düşük, orta ve yüksek olacak şekilde farklı akustik gereksinimlere göre gruplandırılmıştır.

Tablo 1. Müzik çalışma odaları/salonları ve optimum (ideal) çınlama süresi değerleri

Müzik çalışma odaları/salonları	Hacim (m ³)	Akustik gereksinim tanımı [2]	Çınlama süresi (s)	
			(500 Hz) [2]	(500Hz, 1kHz ve 2kHz ort) [3]
Genel çalışma salonları	~ 540	Yüksek	0,5 (0,8*)	0,8
Grup çalışma odaları	~ 180	Orta	0,5 (0,8*)	0,6 – 0,7
Münferit çalışma odaları	~ 40	Orta	0,5 (0,8*)	0,6
* Çoğu hacimde 0,5 s hedeflenmektedir. Bazı mahallerde mekânın hacmine ve yürütülen işleve göre 0,8 s daha uygun olabilir.				

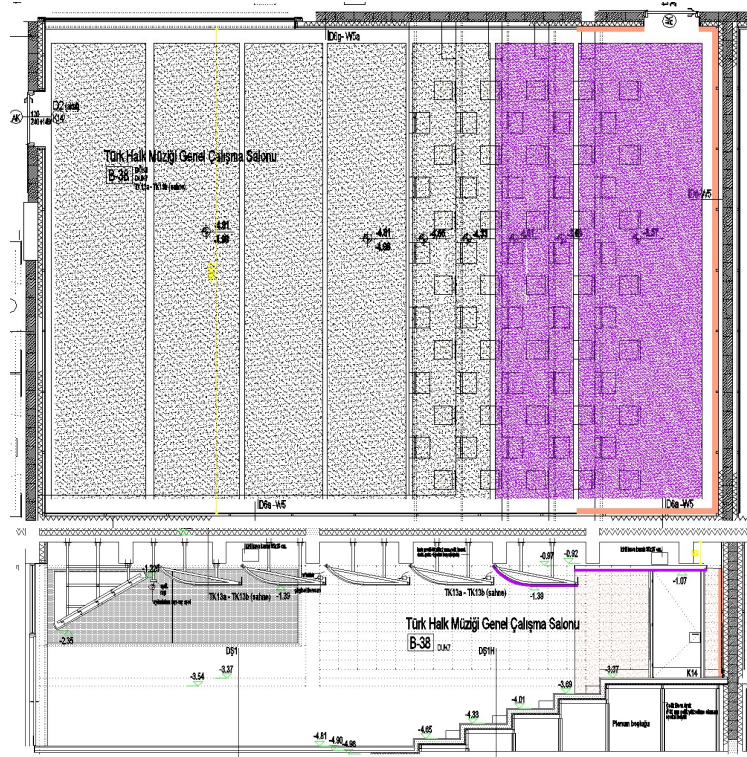
Tablo 2. Müzik çalışma odaları/salonlarında yer alan malzemelerin ses yutma özellikleri

Malzeme Konumu	Malzeme Tanımı	Oktav bandı merkez frekansları (Hz)				
		125	250	500	1000	2000
Döşeme yüzeyleri	Ahşap döşeme kaplaması	0,10	0,07	0,05	0,05	0,04
	Poliüretan reçine (esnek) döşeme kaplaması	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Tavan yüzeyleri	Boyasız düz beton tavan yüzeyleri	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
	Ahşap kaplama MDF tavan panelleri 14mm	0,25	0,15	0,10	0,09	0,08
	Dairesel delikli perfore ahşap panel – 16mm ve 32mm aralıklarla merkezleri konumlandırılmış 8mm çapında delikleri olan 10mm kalınlığında ahşap tavan panelleri, panel arkasında min. 40mm kalınlığında her iki yüzü siyah cam tülü kaplı taşıyıcı levha	0,45	0,85	0,95	0,80	0,55
Duvar yüzeyleri	Dairesel delikli perfore ahşap panel – 16mm merkez aralıklı, 5mm çapında delikleri olan 10mm kalınlığında ahşap panel, arkasında 200mm boşlukta 40mm kalınlığında her iki yüzü siyah cam tülü kaplı taşıyıcı levha	0,40	0,80	0,90	0,90	0,55
	Ahşap kaplama MDF tavan panelleri 14mm	0,25	0,15	0,10	0,09	0,08
Cam yüzeyler	10 mm temperli cam + min. 30mm HB (6+6) mm şeffaf lamine cam	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02
Kapı	Ahşap kaplama MDF kapı yüzeyleri	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10

2.1. Genel Çalışma Salonları

Fraunhofer Bina Fiziği Enstitüsü tarafından hazırlanan raporda, çalışma salonları yüksek akustik gereksinimli oda olarak sınıflandırılmıştır. Bu salonlar için orta frekanslarda ideal (optimum) çınlama süresi kriterlerinin sağlanması gerekmektedir. İhtiyaç duyuluyor ise düşük frekanslarda ek önlemler alınması gerekliliği vurgulanmıştır. Bu bildiri için tip olarak seçilen Türk halk müziği genel çalışma salonu plan ve kesit çizimi Şekil 1’de verilmektedir.

Geniş frekans aralığında çınlama kontrolünün sağlanabilmesi için, genel çalışma salonlarının asma tavan ve duvar yüzeylerinde kullanılmak üzere ayrı iki perforasyon örüntüsüne sahip (farklı delik çapı ve delikler arası merkez aralığı) ahşap panel kullanımı önerilmiştir (Şekil 1). Salon arka duvar yüzeylerinde ve asma tavan panellerinin en arka iki sırasında mimari tasarıma uygun, parçalı/dağınık şekillerde yerleştirilecek şekilde perfore ahşap panel kullanımı önerilmektedir. Öneri tasarım ile, arka duvar kaynaklı geç yansımaların engellenmesi ve salon için hedeflenen çınlama sürelerinin sağlanması amaçlanmıştır. Buna göre Sabine formülünden [4] yararlanılarak hesaplanan çınlama süreleri (T60) değerleri Tablo 3’te sunulmaktadır.



Şekil 1. Türk halk müziği genel çalışma salonu – plan ve kesit

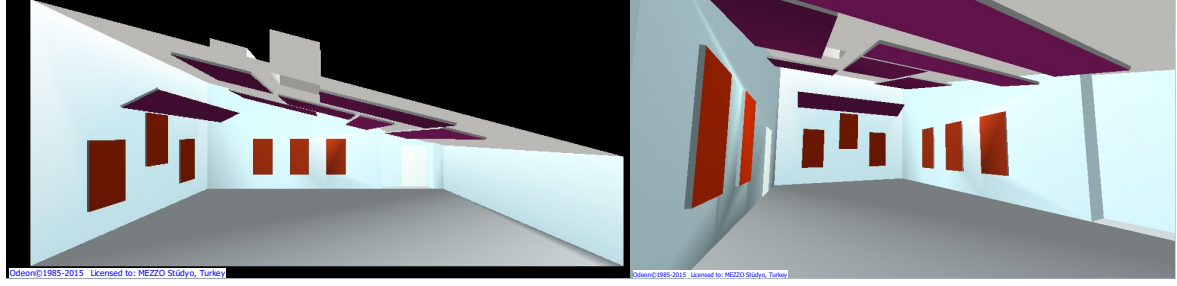
Tablo 3. Müzik çalışma odaları/salonlarında hesaplanan çınlama süreleri (T60)

Hacim (m ³)	Oktav bandı merkez frekansları (Hz)						Kriter çınlama süresi (s) 500 Hz [2]	Kriter çınlama süresi (s) (500Hz, 1kHz ve 2kHz ort.) [3]
	125	250	500	1000	2000	500-1000- 2000 ort.		
~ 540	0,89	0,69	0,75	0,74	0,91	0,80	0,8	0,8
							Uygun	Uygun

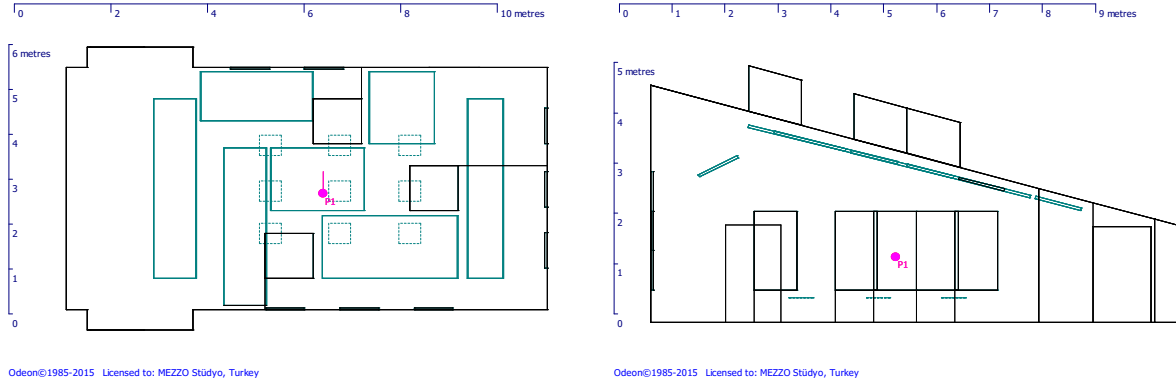
Özellikle tasarıma en az müdahale ile elde edilen toplam yutuculuk alanı belirlenen çınlama süresi kriterlerinin sağlanmasında yeterli olmuştur.

2.2. Grup Çalışma Odaları

Grup çalışma odalarının çınlama kontrolü denetiminde, genel çalışma salonlarından farklı olarak ODEON Oda Akustiği Yazılımı 14.04 (Combined) [5] ile yürütülen benzetimlerden yararlanılmıştır. Mimari proje üzerinden geliştirilen tip grup çalışma odasının akustik modeli 132 yüzeyden oluşmaktadır. Benzetim çalışmasında kullanılan modele ait görseller Şekil 2’de, modelde kullanılan ses kaynağı konumu plan ve kesit üzerinde Şekil 3’te gösterilmektedir.

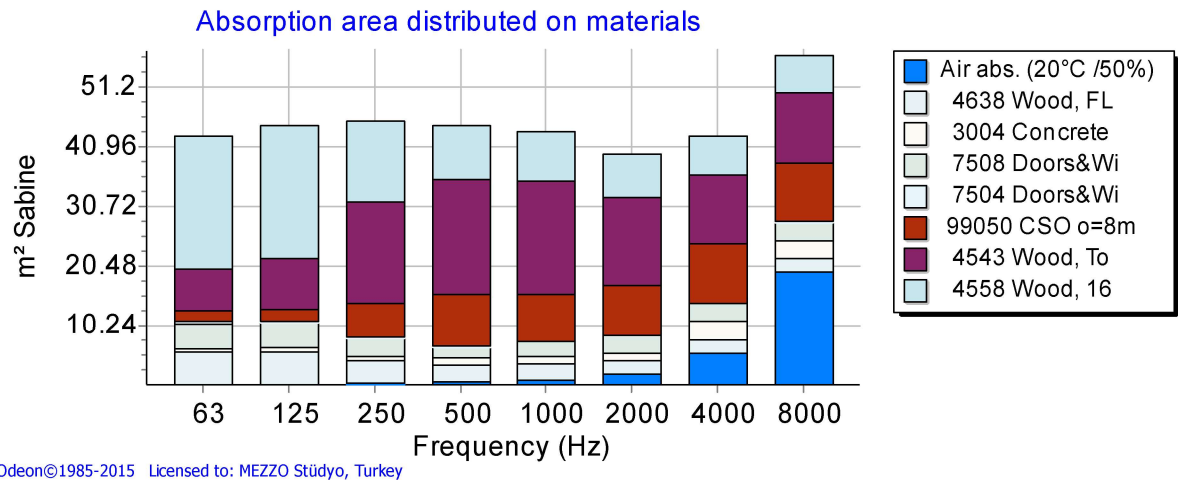


Şekil 2. Grup çalışma odası ODEON grafik modeli, 3DOpenGL görünüşü

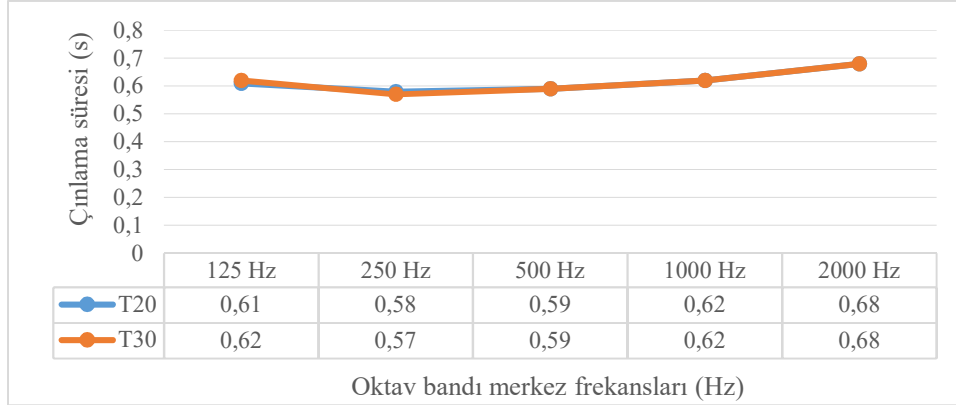


Şekil 3. Grup çalışma odası ODEON modeli ses kaynağı konumu – plan ve kesit gösterimi

Genel çalışma salonlarındaki akustik tasarım prensibi, grup çalışma odalarında da uygulanmaktadır. Böylece, genel çalışma odalarındaki yaklaşım, yine tavan ve duvar yüzeylerinde iki ayrı örüntüyü taşıyan perfore ahşap paneller kullanılması yönündedir. Buna göre mekân içi ses yutma alanının m^2 Sabine cinsinden yüzeylere göre dağılımı Şekil 4'te, yürütülen benzetim çalışması sonucunda elde edilen çınlama süreleri ise Şekil 5'te sunulmaktadır.



Şekil 4. Grup çalışma odası içi ses yutma alanının yüzeylere göre dağılımı



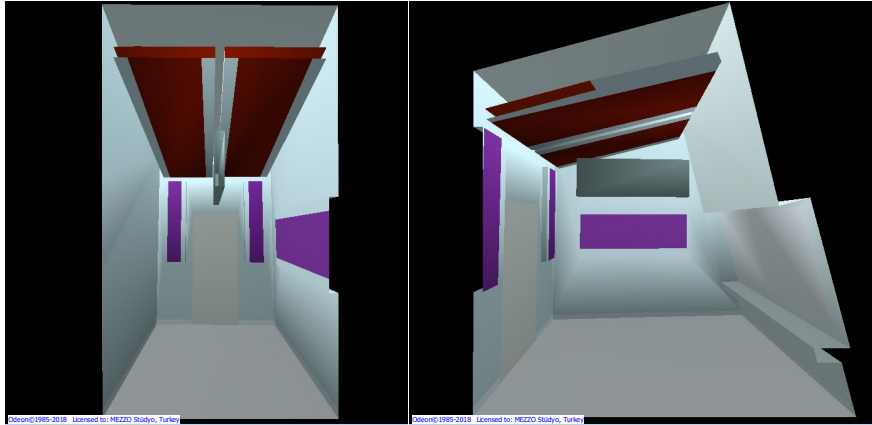
Şekil 5. Oktav bandı merkez frekanslarında grup çalışma odası çınlama süreleri (T20, T30)

Önerilen akustik tasarım prensibi ile grup çalışma odalarında kritik frekans aralıklarında etkin olan çınlama kontrolü önlemleri alındığında, elde edilen çınlama süreleri doğrultusunda grup çalışma odalarında müzik aktivitelerine yönelik akustik konfor koşullarının sağlanacağı anlaşılmaktadır. Mekânda bulunacak müzisyenlerin 1000 Hz ve 2000 Hz frekanslarında ses yutma alanına katkı sağlayacağı (kıyafet, kumaş vb) öngörüldüğünden, görece olarak (yaklaşık 0.1s) yüksek olan 2000 Hz frekansı için ek bir yutuculuk alanı önerilmemiştir.

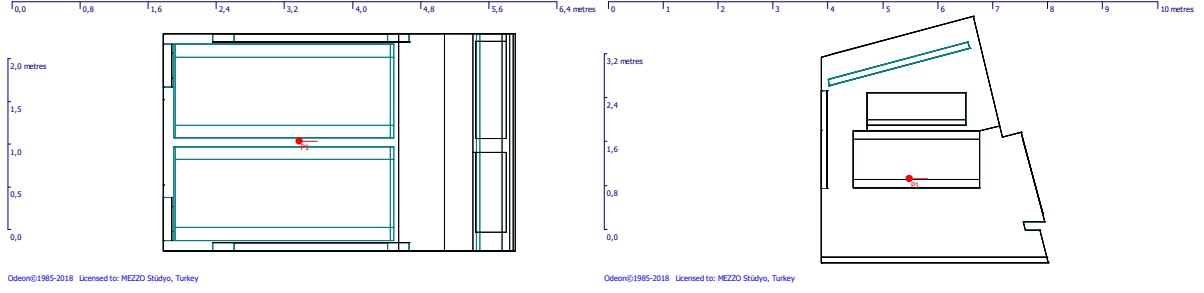
2.3.Münferit (Bireysel) Çalışma Odaları

Münferit çalışma odalarında da, benzer akustik tasarım prensibi takip edilmiştir. Mimari proje üzerinden geliştirilen tip münferit çalışma odasının akustik modeli 73 yüzeyden oluşmaktadır. Benzetim çalışmasında kullanılan modele ait görseller Şekil 6’da, modelde kullanılan ses kaynağı konumu plan ve kesit üzerinde Şekil 7’de gösterilmektedir.

Genel ve grup çalışma odalarından farklı olarak, küçük hacimli münferit çalışma odalarında, çınlama süresi odanın akustik karakteristiğini belirlemekte yeterli olamamaktadır (Şekil 6, Şekil 7). Bunun en önemli sebebi, karşılıklı paralel duvar yüzeyleri arasında gidip gelen ses dalgalarıdır. Bu dalgalar sert yansımalarla beraber üst üste gelerek veya birbirini sıfırlayarak düşük frekans bölgesinde durağan dalga biçimlerinin oluşmasına neden olur ve odadan beklenen akustik gerekliliklerin sağlanması güçleşir. Diğer bir değişle odada modların dağılımı seyrekleşir ve dağınık olmayan bu koşulda ayırık modlar hissedilebilir/seçilir hale gelir.



Şekil 6. Münferit çalışma odası ODEON grafik modeli, 3DOpenGL görünüşü



Şekil 7. Münferit çalışma odası ODEON modeli ses kaynağı konumu – plan ve kesit gösterimi

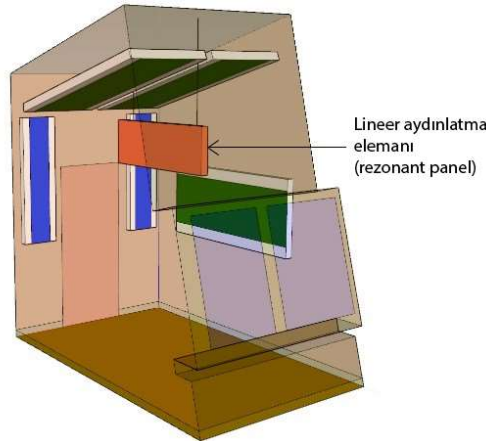
Tip olarak çalışılan münferit çalışma odasında bulunan karşılıklı paralel duvar yüzeyleri arasındaki 2,5m’lik mesafe dolayısıyla oluşacak oda modları (titreşim biçimleri), düşük frekans bölgesinde baskındır. Oda içindeki bu modal davranış sebebiyle, yapılan çınlama süresi hesapları veya elde edilen benzetim sonuçları daha yüksek veya daha düşük olabileceğinden tutarlı ve güvenilir bir sonuç teşkil etmeyecektir. Düşük frekans bölgesinde yapılan çınlama süresi hesaplamalarının geçerli olduğu limit frekansı, Schroeder limit (cut-off) frekansı formülü ile tespit edilmektedir [6]. İlgili formül aşağıda sunulmaktadır.

$$f_s = 2000 \sqrt{\frac{T60}{V}} \quad (1)$$

V: Oda hacmi (m³)

T60: Çınlama süresi (s)

İlgili formüle göre, tip münferit çalışma odasındaki limit frekansı 216 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu durum, münferit çalışma odasında 216 Hz ve altındaki frekanslarda hesaplanan veya benzetim ile elde edilen çınlama süresinin, modal davranış sebebiyle tutarlı kabul edilemeyeceği anlamına gelmektedir. Bu sebeple düşük frekans bölgesinde oluşacak oda modlarının olumsuz etkilerinin önüne geçmek için ilave önlem alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Düşük frekanslarda oda içinde oluşabilecek durağan dalgaların önlenmesi amacıyla mevcut projede tasarlanan lineer aydınlatma elemanı, düşük frekans bölgesinde etkin ses yutuculuğu sağlayacak ve rezonant (titreşen) görevi görecektir şekilde yeniden tasarlanmıştır. Tasarıma ilişkin görsel Şekil 8’de sunulmaktadır.



Şekil 8. Rezonant (titreşen) panel tasarımı

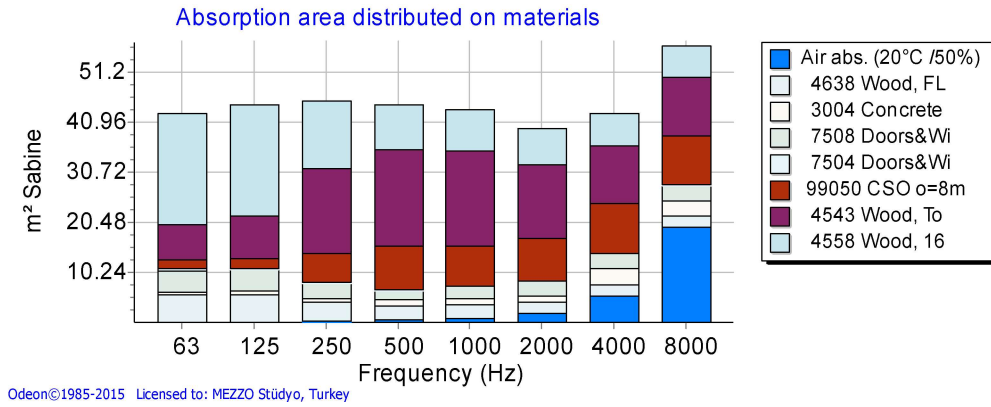
Mevcut projede perfore panel olarak gösterilen aydınlatma elemanı 8 mm kalınlığında, yüzey yoğunluğu 5 kg/m² olan düz yüzeyli MDF paneller ile çevrelenmiştir. Bu panellerin arasındaki 100mm boşluk içine 100mm kalınlığında 50 kg/m³ yoğunluğunda taşıyıcı / mineral yünü levha yerleştirilmiştir (Şekil 6). Tasarlanan elemanın rezonans frekansı, aşağıda verilen formülden yararlanarak 70 Hz olarak hesaplanmış olup, uygulama kolaylığı ve müzik enstrümanlarının frekans aralığını karşılaması yönünden uygun bulunmuştur [7].

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{Md}} \quad (2)$$

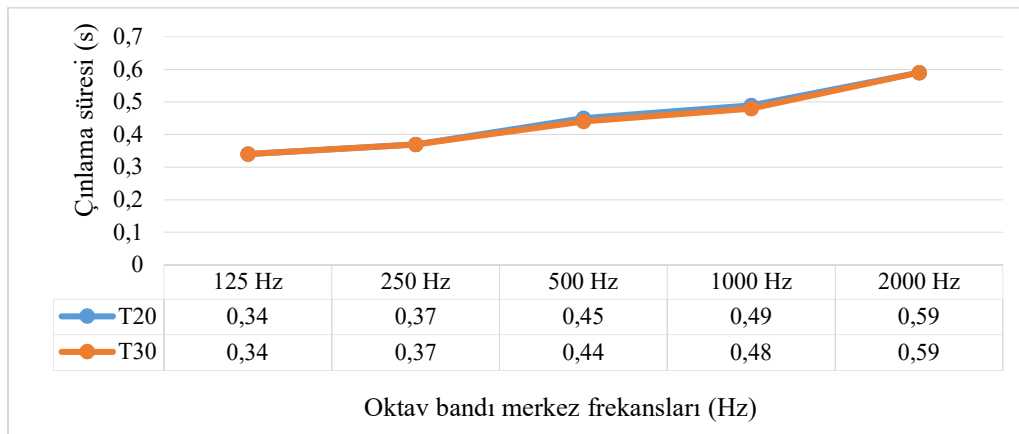
M : Panel yüzey yoğunluğu (kg/m²)

d : Panel arkasındaki boşluk (cm)

Buna göre, tip münferit çalışma odalarında ses yutma alanının m² Sabine cinsinden yüzeylere göre dağılımı Şekil 9’da, yürütülen benzetim çalışması sonucunda elde edilen çınlama süreleri ise Şekil 10’da sunulmaktadır.



Şekil 9. Münferit çalışma odası içi ses yutma alanının yüzeylere göre dağılımı



Şekil 10. Münferit çalışma odası çınlama süreleri (T20, T30)

Söz konusu akustik önlemlerle beraber, farklı enstrüman/müziyen gruplarının yürüteceği bireysel çalışmalar için mekândan beklenen akustik konfor koşulların sağlayacağını söylemek mümkündür.

3. YAPI AKUSTİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ

Çalışmada ele alınan tip müzik çalışma odaları/salonları gürültüye hassas hacimler olduğundan, hava ve yapı doğuşumlu ses yalıtımı ayrıca önem kazanmaktadır. Çalışma odalarından komşu çalışma odalarına ve binanın tümüne iletilecek hava ve yapı doğuşumlu gürültünün kontrolünde, hacimlerin iç ve dış kabuğu kutu içinde kutu (house-in-house) prensibi ile birbirinden koparılmıştır. Bu sayede, yapı yoluyla taşınan gürültü için sürdürülebilir bir çözüm sağlanmaktadır.

Kutu içinde kutu prensibinde, oda içinde oluşturulan iç kabuk ile bina taşıyıcı sistemi arasında katı (rijit) bir bağlantı/köprüleme oluşumu engellenmektedir. Aynı zamanda dış ve iç kabuk arasındaki hava boşluğunda kullanılan taş yünü/mineral yünü gibi sönümleyici malzemeler ile düşük frekanslarda gerekli ses yutumu sağlanabilmektedir. Ek olarak, yine düşük frekanslarda etkin bir yutucu olarak mevcut tasarıma uyarlanan ve titreşen panel olarak da kullanılan lineer aydınlatma elemanının iç kabuk ile bağlantısı elastik askı elemanları ile sağlanmaktadır. Başta duvar-döşeme, duvar-tavan birleşimlerinde olmak üzere iç kabukta bulunan pencere ve kapı pervazları ile yapı elemanları arasında esnek malzemelerin (kauçuk) kullanımı gibi detaylar önem arz etmektedir.

Duvar katmanlarının dış kabuğunda bulunan 30cm kalınlığındaki betonarme duvar tek başına $Rw65$ 'i sağladığından, iç kabuk ve aradaki hava boşluğunda yer alan sönümleyici malzeme ile gerekli ses yalıtımı değeri rahatlıkla sağlanmaktadır. Yapı yollu titreşim ve gürültü iletiminin en yoğun olduğu zeminde ise 30cm betonarme döşeme üzerine 3cm kalınlığında, 150 kg/m^3 yoğunluğunda taş yünü / mineral yünü ve 11.5cm kalınlığında yüzer döşeme betonu ile düşey ekseninde yeterli hava ve yapı doğuşumlu ses yalıtımı sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, ayrıca, A blokta koridordan yapı yoluyla prova odasına iletilecek ayak sesi kaynaklı gürültünün yerinde (sahada) ölçümü gerçekleştirilmiş (Şekil 11), böylece yüzer döşemenin etkinliği sınanmıştır. Bununla beraber prova odası ve koridor döşemelerini noktasal bağlayan yerden ısıtma sisteminin etkisi ile farklı tasarım seçenekleri test edilmiştir.



Şekil 11. Ayak sesi kaynaklı yapı yollu gürültünün saha ölçümü düzeneği

Özdeş PCB yapımı 333B32 modeli iki ivme ölçer kullanılarak 3 farklı kaide düzeneğinde Samurai v.2.6 yazılımı aracılığıyla aynı anda iki kanalda alınan verilerin işlenmesi sonucunda döşemelerin altında ısı yalıtımı için kullanılan malzemeler (XPS/EPS) varlığında iki döşeme parçası arasında oluşan titreşim enerjisi akışı çalışılmıştır. Buna göre ilgilenilen 0 - 200 Hz frekans aralığında darbe ile oluşan titreşim enerjisinin ısı yalıtımlı iki döşeme arasında akışı ile ilgili herhangi bir sorun yaşanmayacağı ölçümlerle doğrulanmıştır.

4. SONUÇ

Ankara AKM Cumhurbaşkanlığı Senfoni Orkestrası (CSO) Konser Salonu ve Koro Çalışma Binaları Projesi müzik çalışma odaları/salonlarında hacim ve yapı akustiği değerlendirmeleri müzisyenlerin akustik konfor ihtiyaçlarını sağlamak amacıyla süreç içinde yüksek bir hassasiyetle ele alınmıştır. Müzik çalışma odalarının/salonlarının hacim akustiği değerlendirmelerinde çınlama süresinin sağlanması yanı sıra mekân içinde sesin homojen olarak dağıtılması hedeflenmiştir. Önerilen ses yutucu malzemeler ile eşdeğer bir akustik alan oluşturulması amaçlanmıştır. Özellikle küçük hacimli müzik çalışma odalarının tasarım sürecinde, karşılıklı paralel duvar ve tavan yüzeylerine farklı açılarda eğim verilerek paralel yüzeyler arasında oluşacak süregiden yansımaların önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Yine küçük hacimli odalarda kritik olan düşük frekanslarda oluşabilecek oda modları için ise farklı örüntülerde perfore paneller ve hacme özel rezonant / titreşen panel ile çözüm önerileri geliştirilmiştir. Bu süreçteki akustik tasarım yaklaşımı, hem işlevsel hem de mimari tasarım bütünlüğüne uygun çözümleri bir arada sunmak yönündedir. Yapı akustiği tasarımında ise, sürdürülebilir çözümler amaçlanmış, dolayısıyla gürültü veya hassas mahallerde algılanabilir ses maruziyetini en aza indirmeye çalışılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bildiri kapsamında akustik değerlendirmeleri sunulan projenin tasarımcısı Uygur Mimarlık kurucu ortakları Sayın Semra Uygur ve Sayın Özcan Uygur başta olmak üzere proje tasarım ekibine; uygulayıcısı Çağdan – Burkay Adi Ortaklığı saha ekibine, özellikle Sayın Vedat Oğuzman ve Sayın Oğuz Ramazanoğlu'na akustik tasarım sürecindeki katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca, titreşim ölçümlerindeki yardımlarından dolayı Sayın Dr. Salih Alan'a teşekkürlerimizi sunarız.

5. KAYNAKLAR

- [1] İlknur Sudaş. (2015, 4 Haziran). “*Bu Tip Anıtsal Yapıların Sonlanması için Başbakanlık ya da Cumhurbaşkanlığı Düzeyinde Sahiplenilmesi Gerekliyor*”. 19 Mayıs 2019 tarihinde <http://www.arkitera.com/soylesi/690/cumhurbaskanligi-senfoni-orkestrasi-konser-salonu> adresinden erişildi.
- [2] Fraunhofer Bina Fiziği Enstitüsü. (1996). Bina Akustiği Ön Taslak Çalışma Raporu.
- [3] Beranek, L.L. (1993). *Acoustics*, ASA, NY.
- [4] Sabine, W.C. (1922). *Collected papers on acoustics*. London, England: Oxford University Press.
- [5] Christensen, C.L., Koutsouris, G., and Gil. J. (2016). ODEON Room Acoustics Software. Version 13.
- [6] Schroeder M. R. & Kuttruff K. (1962). On Frequency Response Curves in Rooms: Comparison of Experimental, Theoretical, and Monte Carlo Results for the Average Frequency Spacing between Maxima. *J. Acoust. Soc. Am.*, 34, 76–80.
- [7] Kuttruff, H. (2000) *Room Acoustics*, 4th edn. E&FN FN Spon, London.