


Çok Amaçlı Salonlarda Değiştirilebilir Akustik Tasarım: Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu Örneği

*¹Okan Şimşek

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 26555, Eskişehir,
osimsek@eskisehir.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 09.06.2020

Kabul Tarihi: 08.04.2021

Öz

Çok amaçlı salonlar, ülkemizde farklı nitelikteki etkinliklerin gerçekleştirilmesi için sıklıkla tercih edilmektedir. Literatürde çok amaçlı salonlarla ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen çalışmalarda incelenen salonlarda icra edilen işlev sayısı çok sınırlı tutulmuş ayrıca sinema işlevini de inceleyerek bu işlev için de öneri getirilen çalışmalara rastlanamamıştır. Literatürdeki boşluğu dolduracak olan bu çalışmada, konser, konferans, tiyatro ve sinema etkinlikleri için akustik açıdan uygun koşulları sağlaması gereken bu salonlara örnek oluşturabilecek nitelikte Anadolu Üniversitesi bünyesindeki 421 kişilik çok amaçlı salon analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Salonun hacim akustiği açısından uygun koşulları sağlayabilmesi için değiştirilebilir hacim ve değiştirilebilir yüzey gereçleri önerilmiştir. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu için yapılan hacim akustiği analizleri doğrultusunda, ülkemizde yürürlükte olan yönetmeliklerin, uluslararası standartların ve literatürde önerilen kabul edilebilir akustik konfor koşullarının sağlanmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu öneriler doğrultusunda, Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda icra edilen dört farklı işleve yönelik ulusal/uluslararası mevzuatlarda önerilen kabul edilebilir akustik konfor koşulları sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı salon, mimari akustik, hacim akustiği, akustik tasarım, değiştirilebilir akustik tasarım

Replaceable Acoustic Design in Multi-Purpose Halls: Cinema Anadolu Multi-Purpose Hall Example

*¹Okan Şimşek

¹Eskişehir Technical University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, osimsek@eskisehir.edu.tr

Abstract

Multi-purpose halls are often preferred for the realization of different events in our country. Although there are many related studies in multi-purpose halls in the literature, the number of functions performed in the halls examined in the studies was kept very limited, and studies suggesting this function were not found by examining the cinema function as well. In this study, which will fill the gap in the literature, a multi-purpose hall of 421 people in Anadolu University, which can serve as an example for these halls, which should provide acoustically appropriate conditions for concerts, conferences, theater and cinema events, was analyzed and evaluated. In order to provide suitable conditions in terms of volume acoustics, replaceable volume and replaceable surface materials have been proposed. In line with the volume acoustics analysis conducted for the Cinema Anadolu Multi-Purpose Hall, suggestions have been developed to provide regulations in force in our country, international standards and acceptable acoustic comfort conditions recommended in the literature. In line with these suggestions, acceptable acoustic comfort conditions recommended in the national / international regulations for four different functions performed in the Cinema Anadolu Multi-Purpose Hall are provided.

Keywords: Multi-purpose hall, architectural acoustics, room acoustics, acoustic design, replaceable acoustic design

1. GİRİŞ

Bir ortamda insanı yakından etkileyen ve saran fizik koşullarının tümüne yapı fiziği denilmektedir. Isı, ışık, ses, renk, nem gibi etkenler yapı fiziği öğeleri olarak bir mekanın

fiziki ortam koşullarının oluşmasına neden olurlar. Bu fiziki etkenler mimaride önemli bir yer tutarlar. Kullanıcılar için uygun ortamlar tasarlamak zorunda olan mimarlar, kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik yapısına uygun olarak yaşama, öğrenme, çalışma, sosyalleşme vb. faaliyetlerini

*Sorumlu Yazar: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Eskişehir, Türkiye, osimsek@eskisehir.edu.tr, 05346879303

yerine getirecek mekanları tasarlarlar. Tasarlanan bu mekanların fiziki ortam koşulları bireylerin üzerinde fizyolojik, psikolojik ve iş performansı yönünden ciddi etkileri vardır [1-5].

Yapılarda fizik ortam denetiminin bir bölümü olan ses denetiminin, gürültü denetimi ve hacim akustiği olmak üzere iki hedefi vardır. Gürültü denetimi, yapı kabuğu ve bölme elemanları aracılığıyla iletilen seslerin düzeylerini kontrol altında tutmak için alınacak önlemleri kapsar. Bu sayede 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 zarar ortadan kaldırılmış olur. Hacim akustiği ise, kapalı hacimlerdeki reverberasyon süresi başta olmak üzere hacim akustiği parametrelerinin düzenlenmesidir [6-9].

Yapı ya da mekanın işlevine göre, bazı fizik ortam öğeleri diğerlerinden daha öncelikli olabilir. Örneğin, temel işlevi işitsel etkinliğe dayanan konferans, toplantı, konser salonu benzeri salonlarda işitsel; temel işlevi işitsel ve görsel etkinliğe dayanan opera, bale, tiyatro, sinema benzeri salonlarda işitsel ve görsel konfor koşullarının sağlanması birinci derecede önem taşır. Hacmin fiziksel sınırlarının oluşumu, tefrişi-iç planlaması ve iç yüzey gereçlerinin seçimi aşamalarında mekanın konuşma ya da müzik etkinliğine hizmet edecek olması, alınacak kararlarda belirleyici olmaktadır. Günümüzde ise, genellikle ekonomik nedenlerde ötürü, salonlarda birden fazla işlev gerçekleşmekte ve bu tür salonlar “çok amaçlı salon” olarak adlandırılmaktadır. Bu tip salonların mekansal ve teknik özelliklerinin konuşma ve müzik etkinliklerine uygun olarak tasarlanması, gerektiğinde değiştirilebilir elemanlarla akustik ortamın uygun hale getirilmesi sağlanmalıdır.

Literatürde çok amaçlı salonlarla ilgili yapılan bazı çalışmalarda ise, Maria Cairolı çok amaçlı salonlar üzerine yaptığı bir çalışmada dairesel bir plana sahip oditoryum için akustik tasarım yaklaşımları ve çözüm önerileri getirmiştir. Çok amaçlı bir hacim yaratmak için hareketli mimari elemanların farklı kombinasyonlarını kullanarak simülasyon programlarını kullanarak önerilen geliştirmiştir [10]. Yapılan başka bir çalışmada ise esas olarak konserler için tasarlanmış tipik bir salonun bilgisayar programı kullanılarak akustik tasarımı gerçekleştirilmiştir. Hareketli tavan tasarımı, ses yutucu ve dağıtıcı elemanlarının kullanılmasıyla değiştirilebilir akustik tasarım elde edilmiştir [14]. Barron ve Kissner’in yaptığı çalışmada ise çok amaçlı salonlar için hem konuşma hem de müzik işlevine uygun olası bir akustik tasarım yaklaşımı geliştirilmiştir. Reverberasyon süresinin beklenenden daha uzun olduğu örnek iki salon üzerinden gerçekleştirilen çalışma hem konuşma hem de müzik işlevine uygun olması istenen salonlara öneriler getirmiştir [12]. Literatür özeti olarak çok amaçlı salonlarla ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen çalışmalarda incelenen salonlarda icra edilen işlev sayısı çok

sınırlı tutulmuş ayrıca sinema işlevini de inceleyerek bu işlev için de öneri getirilen çalışmalara rastlanamamıştır.

Bu çalışma kapsamında, çok amaçlı salonlarda akustik tasarım konusu, Anadolu Üniversitesi bünyesinde bulunan, konuşmaya dayalı etkinliklerin (konferans ve tiyatro) yanı sıra, sinema ve kimi zaman da konser etkinlikleri için kullanılacak bir salon ile örneklenmiştir. Çalışmada, aktif olarak kullanılan 421 kişi kapasiteli salonun mevcut durumu için akustik değerlendirmeler, sesin nesnel parametrelerinden; reverberasyon süresi (RT), erken düşme süresi (EDT), netlik (C80), açıklık (D50), konuşmanın anlaşılabilirliği (STI), A ağırlıklı ses basınç düzeyi (SPLA), yanal enerji oranı (LF80) ve zamansal ağırlık merkezi (Ts) üzerinden yapılmıştır. Sesin nesnel parametrelerini elde etmek amacıyla ODEON (V 14.0 Auditorium) hacim akustiği simülasyon programı kullanılarak çok amaçlı salonunun analizleri gerçekleştirilmiş ve geliştirilen önerilerden elde edilen bulguların ulusal/uluslararası mevzuat ile karşılaştırılarak, geliştirilen önerilerin doğruluğu kanıtlanmıştır [13].

2. MATERYAL VE METOT

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu, 16 m x 31,50 m boyutlarında, dikdörtgen planlıdır. Akustik tavan olmadan hacmi 2330 m³ olan salonun kapasitesi 421 kişidir. Salon yüksekliği ortalama 5,10 m, açık sahne ise döşemeden 1,30 m yüksekliktedir (Şekil 1). Kişi başına düşen hacim 5,53 m³ olup bu değer göz önüne alındığında hacim çok amaçlı salon işlevi için gerekli olan literatürde önerilen optimum kişi başına düşen değerlere çok yakın olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

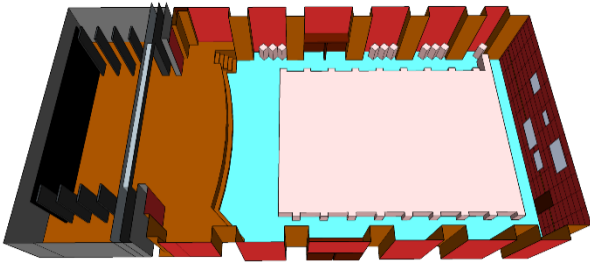
Tablo 1. İşlevlere göre önerilen kişi başına düşen hacim

Salon	Hacim (m ³ /Kişi)			
	Doelle [14]			Maekawa [15]
	Min	Max	Önerilen	Önerilen
Konuşma	2,3	4,3	3,1	4-6
Tiyatro-Sinema	2,8	5,1	3,5	4-6
Opera	4,5	7,4	5,7	6-8
Çok amaçlı	5,1	8,5	7,1	6-8
Konser	6,2	10,8	7,8	8-10

Salonun akustik açıdan değerlendirilmesi için sesin nesnel parametre değerlerinin elde edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen simülasyonlar öncesinde mekanın üç boyutlu modeli SketchUp 2017 yazılımında hazırlanmıştır (Şekil 2). Hazırlanan model ODEON (V 14.0 Auditorium) hacim akustiği simülasyon programına aktarıldıktan sonra program kapsamında gerekli kontroller gerçekleştirilmiştir. Öncelikle modellerde herhangi bir hata olup olmadığı denetlenmiş sonrasında yüzeylere malzeme girişleri gerçekleştirilmiştir.

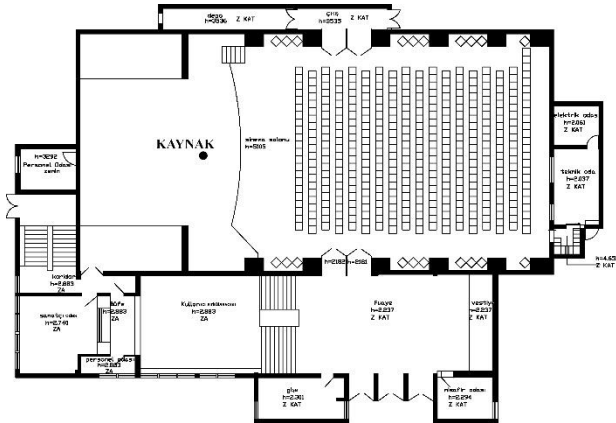


Şekil 1. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun iç görünümü



Şekil 2. Salon için hazırlanmış üç boyutlu model

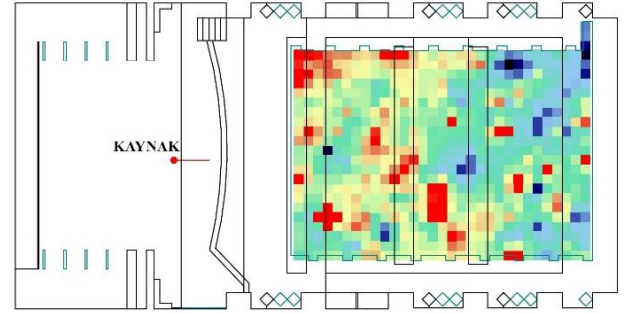
Simülasyonlarda kaynak olarak sahne ortasında konumlanmış 1,50 metre yükseklikte yüksek düzeyli konuşma tayfına karşılık gelen BB93_RAISED_NATURAL.SO8 (SWL:75,4 dBA) kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Salonun planı ve kaynak konumu

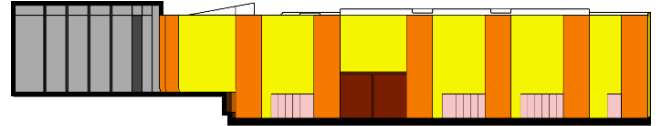
Salonun parter bölümünde döşemeden 1,20m yükseklikte seçilen alıcı alanı 0,50m*0,50m ızgara sistemi olarak tanımlanarak parametrelerin salon genelindeki dağılım durumları görsel ve sayısal olarak elde edilmiştir (Şekil 4). Hacim akustiği parametrelerinin salon genelindeki dağılım durumlarının incelenmesinde ODEON (V 14.0 Auditorium) hacim akustiği simülasyon programından elde edilen X5, X50 ve X95 değerlerinden ve yüzdelik dağılım

grafiklerinden yararlanılmıştır. (Xn: Koşulun sağlandığı dinleyici alanı(%) yüzdesi)



Şekil 4. Salonun alıcı noktaları için tanımlanan ızgara düzlemi

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun iç mekan yüzeylerinde kullanılan kaplama malzemeleri Şekil 5'deki kesit düzleminde ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları Tablo 2'de verilmektedir.



Kumaş Kaplı Panel (Mevcut)	Ahşap Kaplama (Mevcut)	Ahşap Kapı (Mevcut)
Sıva (Mevcut)	Alçı Tavan (Mevcut)	Koltuk (Mevcut)

Şekil 5. Salon genelinde kullanılan mevcut malzemelerin kesit düzlemindeki yerleşimi

Program çalıştırdıktan sonra sesin nesnel parametre değerlerine ait elde edilen sonuçlar ulusal/uluslararası mevzuat ve literatürde önerilen optimum değer aralıkları ile karşılaştırılmıştır. Sonrasında ise optimum sınır değerler dışında kalan nesnel parametre değerlerinin optimum düzeylerde elde edilebilmesi için değiştirilebilir hacim ve değiştirilebilir iç yüzey gereçleri kullanılarak farklı işlevlere göre farklı önerilerde bulunulmuştur. Geliştirilen bu önerilerin tekrar simülasyonu gerçekleştirilerek çok amaçlı salonun konser, konferans, tiyatro ve sinema işlevleri için elde edilen bulguların ulusal/uluslararası mevzuat ile karşılaştırılarak, geliştirilen önerilerin doğruluğu kanıtlanmıştır.

3. BULGULAR

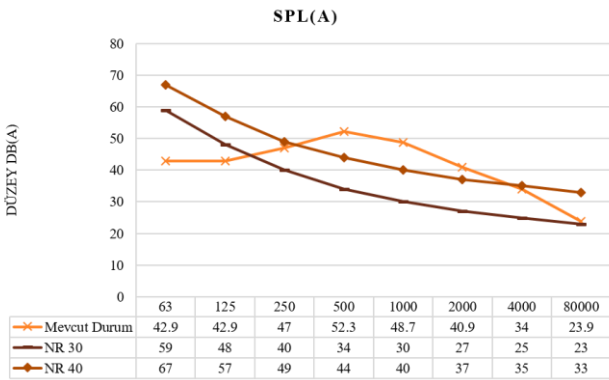
Salon ile ilgili değerlendirmeler; reverberasyon süresi (RT), erken düşme süresi (EDT), netlik (C80), açıklık (D50), konuşmanın anlaşılabilirliği indeksi (STI), A ağırlıklı ses basınç düzeyi(SPLA), yanal enerji oranı (LF80) ve zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametrelerinin literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri ile karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun iç mekan yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu[16]	Malzeme	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Sahne Döşemesi	3005	Parke	0,2	0,2	0,15	0,10	0,10	0,05	0,10	0,10
2	Duvar Panelleri	12004	Kumaş Kaplı	0,15	0,15	0,7	0,6	0,6	0,85	0,9	0,9
3	Sahne Duvarları	4000	Sıva	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
4	Camlar	10004	Lamine Çift Cam	0,15	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
5	Salon Döşemesi	6001	PVC Kaplama	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,1	0,1
6	Tavan	4043	Alçı	0,3	0,3	0,12	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05
7	Kolonlar	3066	Ahşap Kaplama	0,28	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11	0,11
8	Kapılar	10007	Ahşap	0,14	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1	0,1
9	Sahne Perdesi	8010	Kumaş	0,14	0,14	0,35	0,55	0,72	0,7	0,65	0,65
10	Yan Sahne Bölücüleri	4000	Sıva	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
11	Dinleyici Alanı	11057	Kumaş Kaplı Koltuklar	0,35	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55	0,55

3.1. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun Mevcut Durum Akustik Analizi Ve Değerlendirilmesi

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu mevcut durumu genelinde ses düzeyinin seslendirmesiz koşulda yetersiz olabileceği simülasyon sonucu elde edilen A ağırlıklı ses düzeylerinin NR 30 ve NR 40 kabul edilebilir fon gürültüsü değerleri ile karşılaştırılmasıyla görülmüştür. Konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önem taşıyan 500Hz, 1000Hz, 2000Hz ve 4000Hz frekanslarında salondaki ses düzeyleri ile kabul edilebilir fon gürültüsü düzeyleri arasındaki ayrımların yetersiz olduğu görülmektedir (Şekil 6).

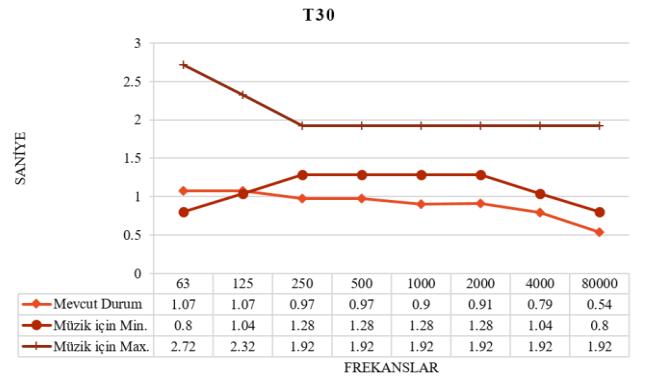
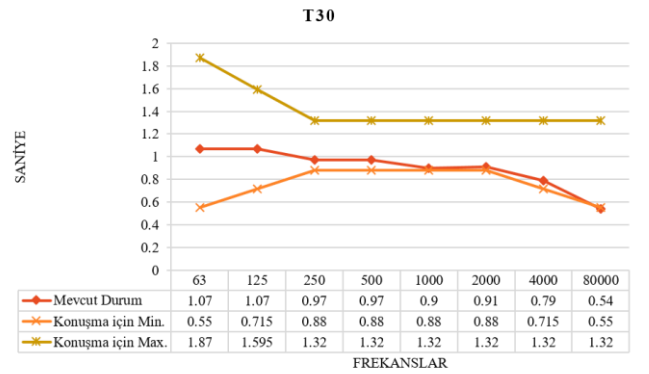


Şekil 6. Salon genelinde ses düzeylerinin NR30 ve NR40 fon gürültüsü düzeyleri ile karşılaştırılması

Salon geneli için 1/1 oktav bant aralıklarına göre, mevcut durum için elde edilen reverberasyon süresi değerleri farklı işlevleri göz önünde bulundurularak kabul edilebilir reverberasyon süreleri ile karşılaştırılmıştır. Konuşma işlevi açısından mevcut durum için elde edilen değerler, tüm frekanslar için kabul edilebilir değerleri sağlamakla birlikte, müzik işlevi açısından mevcut durum kabul edilebilir değerlerin çok altında kaldığı, sadece 63 Hz – 125 Hz(düşük

frekans bölgesi) aralığında sağlayabildiği görülmektedir (Şekil 7).

Salonun mevcut akustik koşullarını ortaya koymak için yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular; aşağıdaki Tablo 3'de sunulmuştur.



Şekil 7. Salonun mevcut reverberasyon süresi değerlerinin konuşma ve müzik işlevleri için kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

Tablo 3. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun mevcut durumunun farklı işlevlere göre hacim akustiği açısından analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerler		Mevcut Durum Analizi			Koşulun Sağlandığı Dinleyici Alanı (%)	Değerlendirme
			X5	X50	X95		
RT30 (500-1000 Hz) Reverberasyon Süresi, sn [17]	Müzik	1.6	0.875	0.93	1.015	0	UYGUN DEĞİL
	Konferans	1.1				90	UYGUN
	Tiyatro	1.1				90	UYGUN
	Sinema	0.6				0	UYGUN DEĞİL
EDT (500-1000 Hz) Erken Düşme Süresi, sn [18]	Müzik	EDT>1,00s	0.795	0.905	1.04	10	UYGUN DEĞİL
	Konferans	EDT<1,00s				90	UYGUN
	Tiyatro	EDT<1,00s				90	UYGUN
	Sinema	-				-	-
SPL(A) Ses Basınç Düzeyi, dBA [19]	Müzik	Fon gürültüsünün(40 dB) 10 dB üzeri	49.1	52.4	56.2	82	UYGUN DEĞİL
	Konferans					82	UYGUN DEĞİL
	Tiyatro					82	UYGUN DEĞİL
	Sinema					82	UYGUN DEĞİL
D50 (500-1000 Hz) Açıklık [20]	Müzik	-	0.53	0.62	0.68	-	-
	Konferans	0,30 - 0,70				100	UYGUN
	Tiyatro	0,30 - 0,70				100	UYGUN
	Sinema	-				-	-
C80 (500-1000 Hz) Netlik [20]	Müzik	(-5dB) - (+5dB) aralığı	3.25	4.85	5.95	59	UYGUN DEĞİL
	Konferans	-				-	-
	Tiyatro	-				-	-
	Sinema	-				-	-
STI Konuşmanın Anlaşılabilirlik İndeksi [21]	Müzik	-	0.63	0.67	0.7	-	-
	Konferans	> 0,60				100	UYGUN
	Tiyatro	> 0,60				100	UYGUN
	Sinema	-				-	-
LF80 (500-1000 Hz) Yanal Enerji Oranı [22]	Müzik	0,20-0,25	0.162	0.22	0.283	49	UYGUN DEĞİL
	Konferans	0,05-0,35				100	UYGUN
	Tiyatro	0,05-0,35				100	UYGUN
	Sinema	-				-	-
Ts (500-1000 Hz) Zamansal Ağırlık Merkezi [20]	Müzik	70-150ms(1000Hz)	49	54.5	66.5	0	UYGUN DEĞİL
	Konferans	60-80ms(500 - 4000Hz)				18	UYGUN DEĞİL
	Tiyatro	60-80ms(500 - 4000Hz)				18	UYGUN DEĞİL
	Sinema	-				-	-

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu mevcut durumu için hacim akustiği parametrelerinin aldığı değerler ile literatürde yer alan kabul edilebilir değerler ve gerekli koşulun sağlandığı yüzdelik dinleyici alanı değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Elde edilen reverberasyon süresi(T30) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; mevcut durumun konuşma işlevi açısından tamamen sağladığı, müzik işlevi açısından neredeyse tamamen sağlamadığı söylenebilir. Erken düşme süresi(EDT) parametresi açısından ise reverberasyon süresinde olduğu gibi mevcut durumun daha çok konuşma işlevi için uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca, salon genelinde yayıncı ses alanı koşulunun sağlanması için EDT/T30 oranının 0,8 - 1,1 arasında olması

istenmektedir[23]. Bu değer, mevcut durum için 0,97 olduğundan salon genelinde yayıncı yani homojen dağılımlı bir ses alanı olduğu varsayılabilir.

Salon geneli için 1/1 oktav bant aralıklarına göre konuşmanın anlaşılabilirliğinin göstergesi olan STI ve 500 Hz - 1000 Hz orta frekans bölgesinde konuşmanın belirginliğinin göstergesi olan D50 parametreleri dinleyici alanın tamamında kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir. Müziğin netliğinin göstergesi olan C80, yine müzik işlevi sırasında sarmalanmışlık hissini güçlendiren LF80 ve Ts parametreleri açısından parametre değerlerinin müzik işlevi açısından kabul edilebilir olmadığı görülmektedir.

Tablo 4. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu için farklı işlevlere göre geliştirilen senaryoların iç mekan yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme	Alanı (m ²)	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Salon Yan Duvarları	Hareketli Ses Yutucu Perdeler	147 m ²	0,15	0,15	0,7	0,6	0,6	0,85	0,9	0,9
2	Salon Yan Duvarları ve Sahne Ağzı	Yansıtıcı Ahşap Paneller	172 m ²	0,17	0,15	0,1	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
3	Salon Döşemesi	Halı	143 m ²	0,08	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73	0,73

Parametrelerin dinleyici alanı genelindeki dağılım durumları incelendiğinde Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu mevcut durumu konuşma işlevi için daha uygun olduğu söylenebilir. Bu bulgular ışığında Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun hem konuşma hem de müzik işlevi açısından uygun akustik konfor koşulları sağlayabilmesi için müzik, konferans, tiyatro ve sinema işlevlerine yönelik ihtiyaç duyulan akustik koşullar ayrı ayrı ele alınarak değiştirilebilir hacim ve değiştirilebilir iç yüzey gereçleri önerilmiştir.

3.2. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun İşlevlerine Yönelik Akustik Tasarım Önerileri

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun da icra edilen 4 farklı işlev için ortak bir salon tasarımı geliştirilmiştir. Salonun kullanım senaryosu değiştiğinde her biri için değişken akustik koşulları sağlamak için, salon tasarımı değiştirilmeden sahne ağzı ve salon yan duvarlarında uygulanacak hareketli sistemler ve düzenlemeler önerilmiştir. İlk aşamada salonda icra edilen bütün işlevlerde sabit tutulacak ve dinleyicilerin ilk ses yansımalarını almasına katkı sağlayacak sahne üzerine dış bükey elemanlarla birlikte yansıtıcı bir tavan tasarımı ve mevcut durumda ses yutucu olan salon yan duvarlarındaki elemanların ses yansıtıcı elemanlarla değiştirilmesi önerisi geliştirilmiştir (Şekil 8).

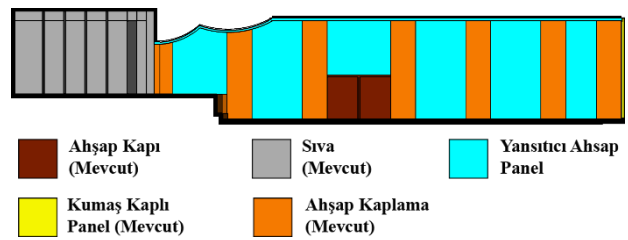
Aynı hacim içerisinde farklı işlevlerin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan akustik konfor koşullarının sağlanması amacıyla geliştirilen önerilerin birbirleri ile bütünleştirilmesiyle tasarlanmış olan, Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda;

- Sahnenin, hacimden hareketli ses yansıtıcı paneller yardımıyla koparılarak reverberasyon süresinin azaltılması konferans ve sinema işlevlerinde,
- Salon yan duvarlarındaki ses yansıtıcı yüzeylerin, hareketli (manuel) ses yutucu perdeler sayesinde konferans, tiyatro ve sinema işlevlerinde sağlanması gereken akustik konfor koşullarının sağlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmüştür.
- Makaralı sistemlere sahip hareketli ses yutucu perdeler, salonun betonarme üzerine ahşap kaplama yapılmış kolonları arasındaki boşlukta hareket edeceği ve yansıtıcı ahşap tavan tasarımının arkasına gizleneceği düşünülmüştür.

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda değişken akustik konfor koşullarının sağlanması için sahne ağzı ve salon yan duvarlarında uygulanacak hareketli sistemlerin yüzeylerinde kullanılacak malzemeler ve malzemelerin 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları Tablo 4'te verilmiştir.

3.2.1. Konser işlevi analizleri ve değerlendirmeleri

Bu çalışma kapsamında, Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda icra edilecek konser işlevine yönelik olarak sağlanması gereken akustik konfor koşulları salon tasarımı sabit tutularak (Şekil 8) sağlanabilmiştir. İlk aşamada salonda icra edilen bütün işlevlerde sabit tutulacak sahne üzerine dış bükey elemanlarla birlikte yansıtıcı bir tavan tasarımı ve mevcut durumda ses yutucu olan salon yan duvarlarındaki elemanların ses yansıtıcı elemanlarla değiştirilmesi önerisi diğer işlevlere göre daha yüksek reverberasyon süresine ihtiyaç duyan konser işlevi için tasarlanmıştır. Diğer işlevlerde daha düşük reverberasyon süresi ihtiyaçları kademeli olarak değiştirilebilir hacim ve malzeme yutuculukları kullanılarak gerekli akustik koşullar sağlanmıştır.



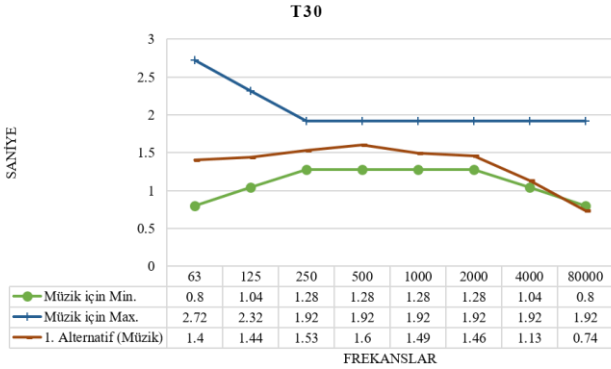
Şekil 8. Konser işlevi için salon genelinde önerilen dış bükey tavan tasarımının ve malzemelerin kesit düzlemindeki yerleşimi

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun konser işlevi için elde edilen reverberasyon süresi (T30) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; RT değeri 500-1000 Hz'de (orta frekans bölgesi) literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir. Sadece 8000 Hz'de literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerin biraz altında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9).

Konser işlevi için ulusal/uluslararası mevzuata uygun akustik konfor koşulları sağlanarak, önerinin doğruluğu kanıtlanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu için geliştirilen önerinin konser işlevi açısından simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi

Hacim Parametreleri	Akustiği	Optimum Değerler	Mevcut Durum			Koşulun Sağlandığı Dinleyici Alanı (%)	Değerlendirme
			X5	X50	X95		
T30 (500-1000 Hz) Reverberasyon Süresi, sn [17]	Konser	1.6	1.46	1.54	1.665	100	UYGUN
EDT (500-1000 Hz) Erken Düşme Süresi, sn [18]	Konser	EDT>1,00s ya da 0.8<EDT/T30<1.1	1.29	1.48	1.725	100	UYGUN
SPL(A) Ses Basınç Düzeyi, dBA [19]	Konser	Fon gürültüsünün 10 dB üzeri	53.2	55.4	58.2	100	UYGUN
D50 (500-1000 Hz) Açıklık [20]	Konser	-	0.315	0.42	0.53	-	UYGUN
C80 (500-1000 Hz) Netlik [20]	Konser	(-5dB) - (+5dB) aralığı	-0.25	1.1	2.75	100	UYGUN
STI Konuşmanın Anlaşılabilirlik İndeksi [21]	Konser	-	0.52	0.56	0.61	-	UYGUN
LF80 (500-1000 Hz) Yanal Enerji Oranı [22]	Konser	0.20-0.25	0.211	0.267	0.328	52	UYGUN
Ts (500-1000 Hz) Zamansal Ağırlık Merkezi [20]	Konser	70-150ms (1000Hz)	81.5	99.5	114.5	100	UYGUN

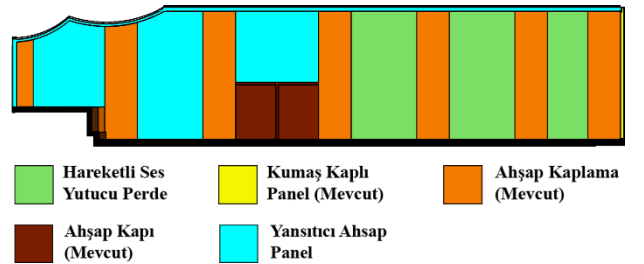
**Şekil 9.** Konser işlevi için T30 parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

3.2.2. Konferans işlevi analizleri ve değerlendirmeleri

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda dinleyici alanı yan duvarlarının ses yansıtıcı panellere sahip olması hacimdeki reverberasyon süresinin uzun çıkmasına sebep olmaktadır. Konuşmanın anlaşılabilirliği indeksi, anlamının ön planda olduğu konferans işlevinde önemli bir hacim akustiği parametresi olarak değerlendirilmektedir. Reverberasyon süresinin kabul edilebilir değerlerin üstünde çıkması salon içerisinde konuşmanın anlaşılabilirliği indeksini negatif yönde etkileyecektir.

Salonda icra edilecek konferans işlevine yönelik gerekli akustik konfor koşullarının sağlanması için;

- reverberasyon süresinin azaltılması için, sahne ağızı; hareketli ses yansıtıcı yüzeyle kapatılarak toplam hacim azaltılmış,
- salon kısmının sahneye yakın duvarları yansıtıcı olarak sabit tutulurken arka kısımları hareketli perdeler sayesinde ses yutucu haline dönüştürülmüştür (Şekil 10).

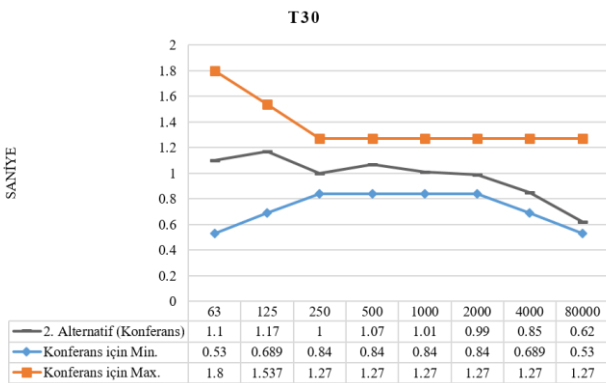
**Şekil 10.** Konferans işlevi için salon genelinde önerilen akustik tasarımın kesit düzlemindeki yerleşimi

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda icra edilecek konferans işlevi için literatürde kabul edilebilir değerleri sağlayan akustik konfor koşullarının sağlanabilmesi amacıyla salonun duvar ve tavan malzemelerini içeren iyileştirmelerle (Şekil 8) birlikte Şekil 10'de verilen akustik tasarım önerisi geliştirilmiştir.

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun konferans işlevi için elde edilen reverberasyon süresi(T30) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; RT değeri 500-1000 Hz'de (orta frekans bölgesi) literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir (Şekil 11).

Tablo 6. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu için geliştirilen önerinin konferans işlevi açısından simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi

Hacim Parametreleri	Akustiği	Optimum Değerler	Mevcut Durum			Koşulun Sağlandığı Dinleyici Alanı (%)	Değerlendirme
			X5	X50	X95		
T30 (500-1000 Hz) Reverberasyon Süresi, sn [17]	Konferans	1.06	0.97	1.02	1.16	100	UYGUN
EDT (500-1000 Hz) Erken Düşme Süresi, sn [18]	Konferans	EDT>1,00s ya da 0.8<EDT/T30<1.1	0.97	1.095	1.22	100	UYGUN
SPL(A) Ses Basınç Düzeyi, dBA [19]	Konferans	Fon gürültüsünün 10 dB üzeri	53.2	55.3	58.7	100	UYGUN
D50 (500-1000 Hz) Açıklık [20]	Konferans	0.30 – 0.70	0.38	0.47	0.57	100	UYGUN
C80 (500-1000 Hz) Netlik [20]	Konferans	-	1.15	2.55	3.85	-	UYGUN
STI Konuşmanın Anlaşılabilirlik İndeksi [21]	Konferans	> 0,60	0.57	0.6	0.64	55	UYGUN
LF80 (500-1000 Hz) Yanal Enerji Oranı [22]	Konferans	0.05-0.35	0.2	0.26	0.33	100	UYGUN
Ts (500-1000 Hz) Zamansal Ağırlık Merkezi [20]	Konferans	60-80ms(500 – 4000Hz)	65	75.5	87.5	75	UYGUN

**Şekil 11.** Konferans işlevi için T30 parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

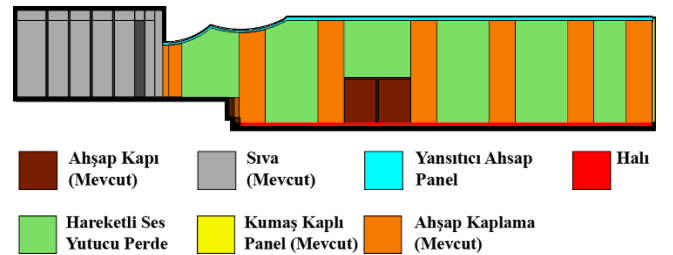
Konferans işlevi için; Şekil 10'da gösterildiği şekilde, ses yutucu ve yansıtıcı yüzeylerin önerilmesi ile ulusal/uluslararası mevzuata uygun akustik konfor koşulları sağlanarak, önerinin doğruluğu kanıtlanmıştır (Tablo 6).

3.2.3. Tiyatro işlevi analizleri ve değerlendirmeleri

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun tiyatro işlevi için kabul edilebilir reverberasyon süresi, konser işlevi için kabul edilebilir reverberasyon süresine göre daha düşüktür. Ayrıca tiyatro işlevinde sahne aktif olarak kullanılacağı için konser işlevinde olduğu gibi sahne açık olarak kullanılacaktır. Hacmin artmasıyla birlikte artan reverberasyon süresinin tiyatro için kabul edilebilir aralığa getirilmesi gerekmektedir.

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda icra edilecek tiyatro işlevine yönelik gerekli akustik konfor koşullarının sağlanması için;

- Tiyatro işlevinin temel eylemi olan oyunların gerçekleştirilebilmesi için sahne ağızı; hareketli ses yansıtıcı yüzeyler kullanılmayarak sahne salona dahil edilmiştir (Şekil 12).
- Sahnenin salona dahil edilmesiyle birlikte artan hacim, reverberasyon süresinin artmasına sebep olmuştur. Tiyatro işlevi için reverberasyon süresinin kabul edilebilir aralığa getirilmesi için salon kısmının ses yansıtıcı olan duvarları hareketli perdeler sayesinde ses yutucu haline dönüştürülmüştür (Şekil 12).
- Dinleyici alanının sirkülasyon alanı toplam yutuculuğu arttırmak için halı kaplanmıştır (Şekil 12).

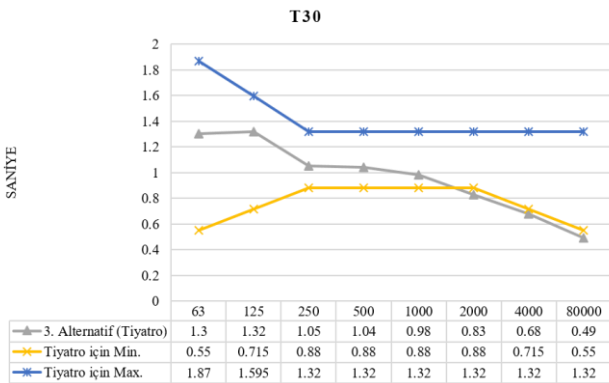
**Şekil 12.** Tiyatro işlevi için salon genelinde önerilen akustik tasarımın kesit düzlemindeki yerleşimi

Tablo 7. Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu için geliştirilen önerinin tiyatro işlevi açısından simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi

Hacim Parametreleri	Akustiği	Optimum Değerler	Mevcut Durum			Koşulun Sağlandığı Dinleyici Alanı (%)	Değerlendirme
			X5	X50	X95		
T30 (500-1000 Hz) Reverberasyon Süresi, sn [17]	Tiyatro	1.1	0.93	0.99	1.13	100	UYGUN
EDT (500-1000 Hz) Erken Düşme Süresi, sn [18]	Tiyatro	EDT>1,00s ya da 0.8<EDT/T30<1.1	0.64	0.8	0.97	100	UYGUN
SPL(A) Ses Basınç Düzeyi, dBA [19]	Tiyatro	Fon gürültüsünün 10 dB üzeri	50.1	52.2	55.7	100	UYGUN
D50 (500-1000 Hz) Açıklık [20]	Tiyatro	0.30 – 0.70	0.54	0.68	0.77	90	UYGUN
C80 (500-1000 Hz) Netlik [20]	Tiyatro	-	4.15	6.15	7.85	-	UYGUN
STI Konuşmanın Anlaşılabilirlik İndeksi [21]	Tiyatro	> 0,60	0.65	0.7	0.74	55	UYGUN
LF80 (500-1000 Hz) Yanal Enerji Oranı [22]	Tiyatro	0.05-0.35	0.16	0.21	0.27	100	UYGUN
Ts (500-1000 Hz) Zamansal Ağırlık Merkezi [20]	Tiyatro	60-80ms(500-4000Hz)	46	59	75	50	UYGUN

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun tiyatro işlevi için elde edilen reverberasyon süresi(T30) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; RT değeri 500-1000 Hz'de (orta frekans bölgesi) literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir. Sadece 2000-8000 Hz'de (yüksek frekans bölgesi) literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerin biraz altında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13).

Tiyatro işlevi için, Şekil 12'de verildiği gibi, ses yutucu ve yansıtıcı yüzeylerin önerilmesi ile ulusal/uluslararası mevzuata uygun akustik konfor koşulları sağlanarak, önerinin doğruluğu kanıtlanmıştır (Tablo 7).



Şekil 13. Tiyatro işlevi için T30 parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

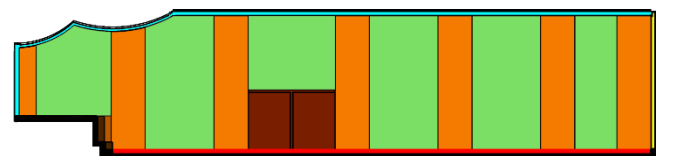
3.2.4. Sinema işlevi analizleri ve değerlendirmeleri

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun sinema işlevi için diğer işlevlerden çok daha düşük bir reverberasyon süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple hacmin akustik açıdan

oldukça yutucu olması beklenmektedir. Bu durumun başlıca sebebi hacimde gerekli akustik koşullarının yapay seslendirme sistemleriyle sağlanmasıdır. Bu sebeple Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun sinema işlevi için sadece reverberasyon süresi literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu durum için konferans işlevinde olduğu gibi sahne ağı hareketli panellerle kapatılarak toplam hacim azaltılmıştır.

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda icra edilecek sinema işlevine yönelik gerekli akustik konfor koşullarının sağlanması için;

- reverberasyon süresini azaltmak için sahne ağı hareketli yüzeyle kapatılarak toplam salon hacmi azaltılmış,
- sinema işlevi için reverberasyon süresinin kabul edilebilir aralığa getirilmesi için salon kısmının ses yansıtıcı olan yan duvarları hareketli perdeler sayesinde ses yutucu haline dönüştürülmüş,
- dinleyici alanının sirkülasyon alanı, toplam yutuculuğu arttırmak için halı kaplanmıştır (Şekil 14).



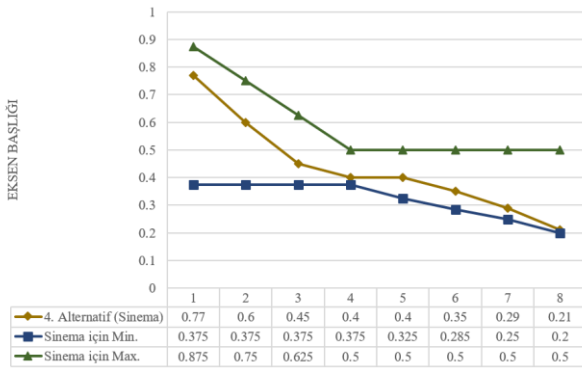
- Hareketli Ses Yutucu Perde
- Kumaş Kaplı Panel (Mevcut)
- Ahşap Kaplama (Mevcut)
- Ahşap Kapı (Mevcut)
- Yansıtıcı Ahşap Panel
- Halı

Şekil 14. Sinema işlevi için salon genelinde önerilen akustik tasarımın kesit düzlemindeki yerleşimi

Tablo 8. Konser, konferans, tiyatro ve sinema işlevi için sahne kullanım kılavuzu

Alternatif	İşlev	Toplam Salon Hacmi (m ³)	Sahne (hareketli yansıtıcı yüzey)	Ağzı ses	Salon Yan Duvarlarında Hareketli Ses Yutucu Perdeler	Dinleyici Sirkülasyon Alanında Hali
1. Alternatif	Konser	2330	Açık		Kapalı	Yok
2. Alternatif	Konferans	1787	Kapalı (25 m ²)		Yarı Açık (78 m ²)	Yok
3. Alternatif	Tiyatro	2330	Açık		Açık (147 m ²)	Var (143 m ²)
4. Alternatif	Sinema	1787	Kapalı (25 m ²)		Açık (147 m ²)	Var (143 m ²)

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nun sinema işlevi için elde edilen reverberasyon süresi (T30) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; RT değeri 500-1000 Hz'de (orta frekans bölgesi) dahil bütün frekans bölgelerinde literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Sinema işlevi için T30 parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerle karşılaştırılması

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu mevcut durumunda, yapılan simülasyon çalışması sonucunda hacimde icra edilen 4 farklı işlev için literatürde önerilen kabul edilebilir akustik konfor koşullarının sağlanamadığı tespit edilmiştir. Kabul edilebilir akustik konfor koşullarının sağlanabilmesi için salonda; duvar ve tavan yüzeylerinde değişiklikler yapılarak salon tasarımı sabit tutulmuş (Şekil 8), konser, konferans, tiyatro ve sinema işlevleri için kabul edilebilir hacim akustiği parametreleri değiştirilebilir hacim ve değiştirilebilir iç yüzey gereçleri ile sağlanmıştır. Sahne ağzı hareketli ses yansıtıcı yüzeye kapatılarak değiştirilebilir hacim, salon yan duvarlarında ses yutucu hareketli perde sistemi ve dinleyici sirkülasyon alanında ise halı aracılığı ile değiştirilebilir iç yüzey gereçleri önerilerek salon kullanım kılavuzu geliştirilmiştir (Tablo 8).

Hacimde genel olarak, salon arka duvarında, geç gelen yansımaları ortadan kaldırmak ve yankı tehlikesini engellemek için ses yutucu gereçler kullanılmıştır. Salon yan duvarlarında ise salon içerisinde en yüksek reverberasyon süresine ihtiyaç duyan konser işlevi için ses yansıtıcı yüzeyler kullanılmıştır. Daha sonra hacimde icra edilecek işleve göre hareketli ses yutucu perdeler aracılığıyla kademeli olarak hacmin toplam yutuculuğu artırılarak o

işlev için gereken reverberasyon süresine ulaşılmıştır. Salonun sahne kısmı üzerinde, kaynaktan çıkan sesin ilk yansımalarla doğrudan alıcıya ulaşması amacı ile dış bükey ses yansıtıcı yüzeyler önerilmiştir. Hacimde icra edilecek olan her türlü işleve yönelik olarak geliştirilen alternatifler Odeon yazılımı aracılığıyla simülasyonları gerçekleştirilmiş hacim akustiği parametreleri her işlev için ayrı ayrı ortaya konmuştur. Yapılan bu çalışmalar ışığında; Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu'nda gerçekleştirilecek olan farklı işlevler (konser, konferans, tiyatro ve sinema) için geliştirilen alternatifler sonucunda ulaşılan değerler, ulusal/uluslararası mevzuat ile karşılaştırılarak geliştirilen alternatiflerin doğruluğu kanıtlanmıştır (Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7).

Bu çalışma aracılığı ile farklı işlevlerin aynı hacim içerisinde çözümlenmesi gerekliliği ve akustik açıdan uygun çözümlerin oluşturulması Sinema Anadolu Çok Amaçlı Salonu örneği üzerinden 4 farklı işlev için incelenmiştir. Bu bağlamda bu çalışma çok amaçlı salonlarda alınacak tasarım kararlarında yol gösterici olacak ve literatürdeki açığı kapatmaya katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1]. Monterio, C., Machimbarrera, M., Tarrero, A.I., Smith, S.R. (2017). Translation Between Existing And Proposed Harmonized Airborne Sound Insulation Descriptors: A Statistical Approach Based On In-Situ Measurements. Applied Acoustics, 116, 93-107.
- [2]. Hongisto, V., Mäkilä, M., Suoakas, M. (2015). Satisfaction With Sound Insulation In Residential Dwellings -The Effect Of Wall Construction. Building and Environment, 85, 309-321.
- [3]. Pääkkönen, R., Vehviläinen, T., Jokitulppo, J., Niemi, O., Nenonen, S., Vinha, J. (2015). Acoustics and New Learning Environment – A Case Study. Applied Acoustics, 100, 75-78.
- [4]. Jagniatinskis, A., Mickaitis, M., Fiks, B. (2013). Development Classification Scheme for Evaluation Dwellings Sound Insulation Performance in Lithuania. Procedia Engineering, 57, 443-450.
- [5]. Garg, N., Kumar, A., Maji, S. (2013). Significance and Implications of Airborne Sound Insulation Criteria in Building Elements for Traffic Noise Abatement. Applied Acoustics, 74, 1429-1436.
- [6]. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü. (2018). Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği Açıklama ve Uygulama

Kılavuzu. Ankara, Ziyaret tarihi Mart 23, 2020, <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/binalarin-gurultuye-karsi-korunmasi-yonetmeligi-aciklama-ve-uygulama-klavuzu.pdf>.

[7]. Rossing T. D. (2007). Springer Handbook of Acoustics. Springer, New York, 1280.

[8]. EEA. (2014). Noise in Europe 2014. European Environment Agency, Copenhagen.

[9]. Jariwala H. J., Syed H. S., Pandya M. J. ve Gajera Y. M. (2017). Noise Pollution & Human Health: A Review. Noise and Air Pollution: Challenges and Opportunities, Mart 2017, 29 Ağustos 2017 tarihinde ResearchGate'e yüklendi.

[10]. M. Cairoli, "The architectural acoustic design for a multipurpose auditorium: Le Serre hall in the Villa Erba Convention Center", *Appl. Acoust.*, c. 173, s. 107695, Şub. 2021, doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107695.

[11]. A. Krokstad ve S. Strøm, "Acoustical design of the multi-purpose 'Hjertnes' hall in Sandefjord", *Appl. Acoust.*, c. 12, sayı 1, ss. 45–63, Oca. 1979, doi: 10.1016/0003-682X(79)90038-0.

[12]. M. Barron ve S. Kissner, "A possible acoustic design approach for multi-purpose auditoria suitable for both speech and music", *Appl. Acoust.*, c. 115, ss. 42–49, Oca. 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2016.08.018.

[13]. Odeon A/S, "Room Acoustics Modelling Software, V 14.0 Auditorium", Denmark, (2009).

[14]. Doelle, L.L. (1965). Acoustics in Architectural Design. Bibliography 29, National Research Council,

Ottawa, 516.

[15]. Maekawa, Z., Lord, P. (1994). Environmental and Architectural Acoustics. Spon Press, UK, 376.

[16]. Odeon A/S, "Room Acoustics Modelling Software Malzeme Kütüphanesi, V 14.0 Auditorium", Denmark, (2009).

[17]. DIN. (2016). Acoustic quality in rooms - Specifications and instructions for the room acoustic design, DIN 18041: 2016-03.

[18]. Bistafa, S.R., Granada, M.V. (2005). A Survey of The Acoustic Quality For Speech in Auditoriums. Electronic Journal Technical Acoustics, 15, 1-16.

[19]. Şerefhanoglu, M., Gürültü Denetiminde Kabul Edilebilecek Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi, YÜ, 1984.

[20]. ISO. (2009). Acoustics – Measurement of rooms acoustic parameters – Part 1: Performance spaces, BS EN ISO-3382-1.

[21]. IEC60268-16, third edition, "Sound system equipment, part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index", CEI/IEC publication, 2003-05.

[22]. Bistafa, S.R., Granada, M.V. (2002). Objective Measurements of Speech Intelligibility in Proscenium Type of Theatres. XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acustica SOBRAC, 2002, Rio de Janeiro, 1-6.

[23]. Voronina N. (1996). Improved empirical Model of Sound Propagation Through a Fibrous Material. Applied Acoustics, 48, 121–132.