

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi Projesi ve Akustik Konfor Analizi

* Füsün DEMİREL, ** Sebahat Gül İLİSULU

*Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Maltepe, 06570, Ankara

**Başkent Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bağlıca, 06530, Ankara

ÖZET

Bu makalede; tiyatro salonlarının akustik konfor analizlerinin yapılabilmesi amacıyla performans kriterleri tanımlanmış ve seçilen bir salon, akustik konfor koşulları açısından değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, araştırma için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin açtığı Beyoğlu Sahnesi yarışmasında birincilik ödülü alan proje, örneklem olarak seçilmiştir. Projede yer alan üç salondan, "Büyük Salon'un" akustik konforunu ortaya koyan, reverberasyon süresi (T_{mid}), erken sönümlenme süresi (EDT), sesin berraklığı veya netliği (C_{80}), konuşmanın belirginliği (D_{50}), erken yan yansıma oranı (LF_{80}), konuşmanın iletim indeksi (STI) gibi parametrelere yönelik performans kriterleri, ODEON 10.02 hacim akustiği simülasyon programı aracılığı ile analiz edilmiş ve uygun görülmeyen akustik koşullar için öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mimari akustik, hacim akustiği, tiyatro salonları

Project of İstanbul Metropolitan Municipality Beyoğlu Scene and Acoustical Comfort Analysis

ABSTRACT

In this article, the theater halls for the purpose of analysis of acoustic comfort, performance criteria are defined and selected a room, acoustic comfort conditions were evaluated. As the case, the project, which recieved the first prize from İstanbul Metropolitan Municipality at Beyoğlu Scene quest is depicted. Among the three halls of the Project, the Grand Hall is analyzed using ODEON 10.02 software in terms of performance criteria regarding reverberation time (T_{mid}), early decay time (EDT), clarity (C_{80}), definition (D_{50}), early lateral energy fraction (LF_{80}) and speech transmission index (STI); and proposals have been deemed appropriate for the acoustic conditions.

Key Words: Architectural acoustics, room acoustics, theatre buildings

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tiyatro, konser, konferans salonu, oditoryum gibi kültürel faaliyetlerin yapılmasına olanak sağlayan yapılar, toplumların kültürel düzeyinin yüksekliğini gösterir. Bir mekanda işlevine uygun ideal fiziki ortamı oluşturmak için pek çok düzenleme yapılmaktadır. İşitsel konforun önemli olduğu bu tip mekanlarda belirli akustik performans kriterlerinin sağlanması zorunludur. Bu durumun gerçekleşmesi mimari biçimleniş, hacmi çevreleyen yüzeyler ve kullanılan malzemelerin akustik özellikleri ile ilişkilidir.

Dinleyici salonları ve akustik konfor bağlamında yapılan ilk çalışmalarda, sadece reverberasyon süresi göz önüne alınırken, son yıllarda yapılan çalışmalarda farklı hacim akustiği parametreleri de göz önünde bulundurulmaktadır [1].

2. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmanın amacı; tiyatro salonlarında akustik konfor açısından önemli olan performans kriterlerini ortaya koymak ve bu kriterlerin tiyatro salonlarının akustik konforuna olan etkilerini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda makalede; öncelikle tiyatro salonlarının

akustik konfor koşullarına yönelik performans kriterleri ortaya konulmuştur. İkinci aşamada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin açtığı Beyoğlu Sahnesi yarışmasında birincilik ödülünü alan proje örneklem olarak seçilmiş, projede yer alan üç salondan "Büyük Salon", ODEON 10.02 hacim akustiği simülasyon programı ile analiz edilmiş ve ön tasarım aşamasında tespit edilen olumsuz akustik koşullarını ortadan kaldıracak öneriler geliştirilmiştir.

3. TİYATRO SALONLARINDA AKUSTİK AMAÇLI PERFORMANS KRİTERLERİNİN OLUŞTURULMASI (ACOUSTICAL PERFORMANCE CRITERIA OF THE THEATRE HALLS)

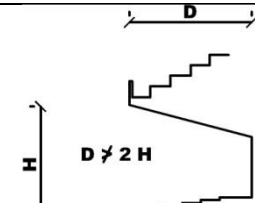
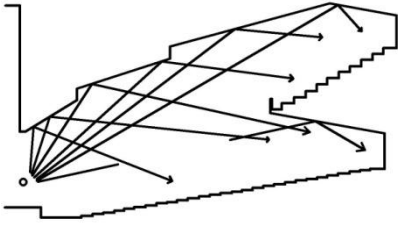
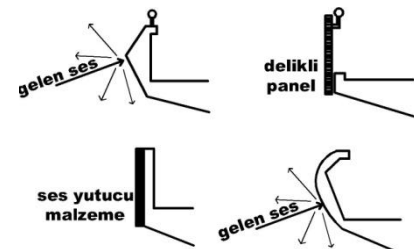
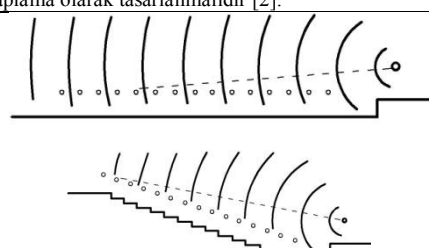
Tiyatro amaçlı kullanılan salonlarda; konuşma işlevi olduğu kadar müzik işlevi de tasarım girdilerinden biridir. Bu sebepten ötürü tiyatro salonlarında akustik konfor koşulları sağlanırken konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanması kadar, müziğin nitelikli duyulmasının da sağlanması önemlidir. Ancak, konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanmasının daha baskın bir tasarım girdisi olması varsayımından hareketle, tiyatro salonlarında gereksinim duyulan akustik konfor koşullarının sağlanabilmesi amacıyla tanımlanan tasarım ve hacim akustiği parametrelerine yönelik performans kriterleri; Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

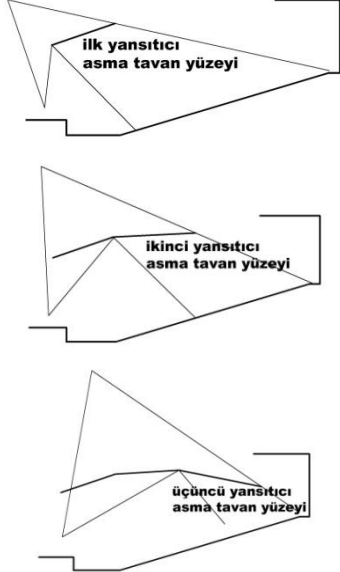
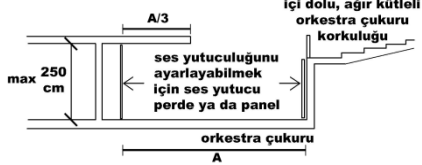
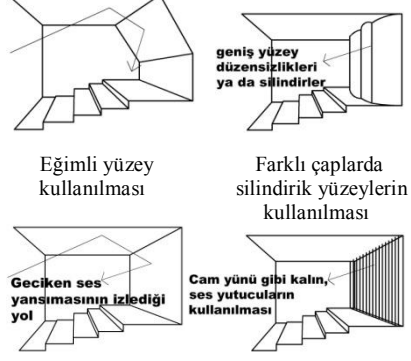
e-posta: fusund@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2012.16.1, 19-28


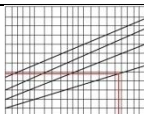
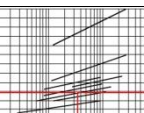
Tablo 3.1. Tiyatro salonlarında tasarım parametrelerine yönelik performans kriterleri

Çevresel Koşullar	<ul style="list-style-type: none"> Tiyatrolar, gürültü üretecek aktivitelerden, gürültülü bir sokaktan, tren yolundan, endüstri alanlarından olabildiğince uzak olarak konumlandırılmalıdır [2]. 	
Sahne ile İzleyici Arasındaki Uzaklık	<ul style="list-style-type: none"> Tiyatrolarda, oyuncu ve seyirci arasındaki yakınlık çok önemlidir. Seyirci, oyuncunun her türlü mimik ve vücut hareketlerini görebilmelidir. Bu bağlamda sahne ile en uzak oturma grubu arasındaki mesafe 20 m'yi geçmemelidir [2]. Genelde küçük salonlar tercih edilmektedir. Fakat ekonomik nedenlerden ötürü salonun büyümesi söz konusu ise yelpaze plan şemasına sahip, balkonlu tasarımlar tercih edilmektedir [2]. Yelpaze plan şemasına sahip salonlarda yan duvarların açılımı, konuşmanın doğrultusu göz önüne alınarak 30° ve 60° arasında olmalıdır [3]. 	
Hacim/kişi (m³)	<ul style="list-style-type: none"> Balkonlu tasarımlar mekanın yüksekliğini arttırmaktadır. Bu durum, kişi başına düşen hava hacmini, reverberasyon süresini ve kullanılması gereken ses yutucu malzeme miktarını arttırmaktadır [3]. 	Kişi Başına Önerilen Hava Hacmi
		3-6 m³ [4]
Balkon	<ul style="list-style-type: none"> Tiyatronun atmosferinin iyileştirilmesi açısından derin olmayan balkon tasarımları tercih edilmektedir [2]. Akustik gölgenin önlenmesi amacıyla balkon derinliği, balkon yüksekliğinin iki katından fazla olmamalıdır [2]. 	 <p>Balkon derinliği ve yüksekliği arasındaki ilişki</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Tavan kesiti; balkon altlarında yansıyan sesin akışını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır [2]. Sesin ulaşmasını sağlamak için balkon döşemesi eğimli olmalıdır [2]. Balkon korkulukların dış yüzeyinin iç bükey yüzey olması, odaklanmaya neden olmaktadır. Bu akustik problem, korkulukların cam elyafi gibi ses yutucu malzemelerle kaplanması ile giderilebilmektedir [2, 5]. 	 <p>Salon tavan yüzeylerinin ses yansımalarına etkisi</p>
		 <p>Balkon parapetleri için iyileştirme alternatifleri</p>
Oturma Grupları	<ul style="list-style-type: none"> Salonun, seyircili ve seyircisiz olarak aynı ses yutma özelliğini gösterilebilmesi için plastik ve deri kaplamalı malzemeden kaçınılmalı, kumaş kaplamalı koltuklar tercih edilmektedir [2]. 	
Sahne	<ul style="list-style-type: none"> Sahnedeki akustik konfor koşulları salon ile aynı nitelikte olmalıdır. Sahne yüzeyleri sesi seyirciye direkt yansıtacak şekilde tasarlanmalıdır. Sahne döşemesi en az 2 cm hava boşluklu ahşap kaplama olarak tasarlanmalıdır [2]. 	
İzleyici Oturma Alanının Eğimi ve Yüzeyi	<ul style="list-style-type: none"> Yeterli döşeme eğimi sağlanarak seyircinin görüşü mümkün olduğunca iyileştirilmelidir. Eğim açısının %8'in altına düşmemesi gerekmektedir. Ancak, fazla eğimlendirilmiş döşeme, salonun tavan yüksekliğini artırarak kişi başına düşen hava hacmini artmasına neden olmaktadır [2, 3, 5, 6]. 	 <p>Döşeme eğimi ve sesin yayılması</p>

Tablo 3.1. (Devam) Tiyatro salonlarında tasarım parametrelerine yönelik performans kriterleri

<p>Tavan</p>	<ul style="list-style-type: none"> Sesin arka oturma gruplarına ulaşabilmesi için tavanlar yansıtıcı olarak tasarlanmalıdır [2]. Yansıtıcılar yerleştirilirken direkt ses ile yansıyan sesin aldığı yol arasındaki farkın 20 m'yi geçmemesi gerekmektedir [2]. Mekan fazla yüksek değil ve salon zemini yeteri kadar eğimlendirilmiş ise düz bir tavan gerekli yansımaları oluşturmak için yeterli olmaktadır [5]. Mimari tasarım açısından eğrisel yüzeylere sahip tavan yansıtıcıları kullanılabilir. Bu tür yansıtıcıların çapı; eko ve odaklanma gibi akustik kusurlara yol açmamak için tavan yüksekliğinin iki katı ya da yarısından daha az olmalıdır [5]. Tavanda kullanılan yansıtıcı yüzeylerin herhangi bir yöndeki boyutu 2,5 m'den az olmalıdır [2]. Yüksek dereceli yansımalar sağlanabilmesi için seçilen malzemenin kütlesinin ağır olması gerekmektedir [2]. 	 <p>Tavan yansıtıcılarının yerleştirilmesi</p>
<p>Orkestra Çukuru</p>	<ul style="list-style-type: none"> Müziyen başına 1 m² alana ihtiyaç duyulmaktadır [2, 7, 8]. Orkestra çukuru, sahnenin döşeme yüzeyinden en fazla 2,5 m aşağıda olmalıdır [2, 7, 8]. Orkestra ile oyuncu arasındaki dengenin korunması için sahnenin, orkestra çukurunun 1/3'ünden daha fazlasını örtmemesi gerekmektedir [2, 7, 8]. Orkestra çukuru duvar yüzeyleri, çukurdaki sesin ayarlanabilmesi için hareketli yutucu panellerle kaplanmalıdır [2, 7, 8]. Orkestra çukurunun korkulukları, ön sırada bulunan izleyicilerin aşırı derecede ses yüksekliğine maruz kalmalarını önlemek amacıyla içi dolu-ağır kütleli malzemelerden seçilmelidir [2, 7, 8]. 	 <p>Orkestra çukurunun kesiti</p>
<p>Ses Güçlendirici (Elektro-akustik) Sistemler</p>	<ul style="list-style-type: none"> Sahne üstünde; bir araya toplanmış ses güçlendirici sistemler kullanılmalıdır [9]. Yüksek frekanslı hoparlörler direkt dinleyiciye yönlendirilmelidir [3]. Büyük tiyatrolarda; sahne üstüne yerleştirilmiş ses güçlendirici sistemlere, balkon altlarındaki sesi güçlendirmek amacıyla ek önlemler alınmalıdır [2, 3, 9]. 	
<p>Arka ve Yan Duvar</p>	<ul style="list-style-type: none"> Geç yansımaları neden olacak pürüzsüz ve yansıtıcı yüzeyler, ses yutma katsayısı yüksek olan malzemeler ile kaplanmalıdır [2]. Ses yutucu malzemelerin kullanılmadığı durumlarda, saçıcılık sağlayacak yüzeyler tasarlanmalıdır [2, 5, 9]. 	 <p>Ekoya neden olan arka duvar yüzeyi</p> <p>Ses yutucu yüzey uygulaması</p>

Tablo 3.2. Tiyatro salonlarında hacim akustiği parametrelerine yönelik performans kriterleri

		Kaynak	Konuşma İşlevi	Müzik İşlevi
Reverberasyon Süresi (T_{mid})	<ul style="list-style-type: none"> T_{mid} (500-1000 Hz ort.) 	Barron [10]	0.70 sn - 1.00 sn	-
		Maekawa [11]	0.88 sn - 1.18 sn	1.46 sn - 1.66 sn
		Bistafa ve Granado [12, 13]	0.70 sn - 1.00 sn	-
		Brüel&Kjaer [14] (3509 m ³ için)	0.80 sn - 1.00 sn	1.60 sn - 1.80 sn
		Egan [9] (3509 m ³ için)	0.80 sn - 1.20 sn	1.60 sn - 2.00 sn
	Moore [3] (3509 m ³ için)	1.00 sn - 1.20 sn	1.60 sn - 1.80 sn	
Erken Sönümlenme Süresi (EDT)	<ul style="list-style-type: none"> EDT (500-1000 Hz ort.) 	TS EN ISO 3382-1 [15]	-	1.00 sn - 3.00 sn
		Odeon [16]	-	1.70 sn - 2.30 sn
		Bistafa ve Granado [12, 13]	<1.00 sn	-
		Mehta ve ark. [2]	EDT < T_{mid}	EDT > T_{mid}
Konuşmanın Belirginliği (D_{50})	<ul style="list-style-type: none"> D_{50} (500-1000 Hz ort.) 	TS EN ISO 3382-1 [15]	0.30 - 0.7	-
		Kuttruff [17]	>0.50	-
		Thiele [18]	>0.50	-
Erken Yan Yansıma Oranı (LF_{80})	<ul style="list-style-type: none"> LF_{80} (125-1000 Hz ort.) 	TS EN ISO 3382-1 [15]	-	0.05 - 0.35
		Odeon [16]	-	>0.25
Sesin Berraklığı veya Netliği (C_{80})	<ul style="list-style-type: none"> C_{80} (500-1000 Hz ort.) 	TS EN ISO 3382-1 [15]	-	-5 dB - +5 dB
		Odeon [16]	-	-1 dB - +3 dB
		Beranek [19]	-	-4 dB - +4 dB
		Luykx ve ark. [20]	+7 dB	0 dB
		Bistafa ve Granado [12, 13]	>+ 2 dB	-
Konuşmanın İletim İndeksi (STI)	<ul style="list-style-type: none"> STI 	Odeon [16]	0.00 - 0.30 Kötü 0.30 - 0.45 Zayıf 0.45 - 0.60 Orta 0.60 - 0.75 İyi 0.75 - 1.00 Çok iyi	-
		IEC60268-16 [21]		
Bas Oranı (BR)	<ul style="list-style-type: none"> BR 	Beranek [22]	-	T_{mid} > 1.80 sn ise, 1.1 - 1.25 T_{mid} < 1.80 sn ise, 1.1 - 1.45
Arka Plan Gürültü Düzeyi	<ul style="list-style-type: none"> Her hacmin işlevine bağlı olarak kabul edilebilir bir arka plan gürültü düzeyi bulunmaktadır. 	ÇGDYY [23]	30 dBA (~ NC 20)	

4. İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ BEYOĞLU SAHNESİ PROJESİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE AKUSTİK ANALİZİ (ACOUSTICAL ANALYSIS OF İSTANBUL METROPOLITAN MUNICIPALITY BEYOĞLU SCENE BY COMPUTER SIMULATION METHOD)

4.1. Örneklem İle İlgili Genel Bilgiler (General Information of The Example)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından Beyoğlu ilçesinde bulunan Şehir Tiyatroları bünyesinde programa uygun tiyatro kompleksine ait projeler ile yakınındaki alanlarda çevre düzenleme projesinin elde edilmesi amacıyla ulusal ve tek kademeli olarak düzenlenen yarışma Temmuz 2008'de sonuçlanmış olup, proje henüz uygulanma aşamasına geçememiştir. Proje alanı, İstanbul'un en eski tarihsel merkezlerinden olan Beyoğlu-Pera bölgesinde, Galata Kulesi yakınında, tarihi Beyoğlu Belediye Binasıyla aynı meydana bakan ve çevresi çok sayıda tescilli yapıyla kuşatılmış, Şişhane Meydanı'ndadır.

- Müelliflerinin; Işıl Gökçe, Duygu Demirtürk, Mehmet Emre Tuncel, Murat Çanakçı, Mükerrerem Babaoğlu, Ahmet Hayri Dönmez
- Danışmanlarının; Prof. Dr. Füsün Demirel (Akustik)¹, Sabri Kutlay (Elektrik Tesisatı),

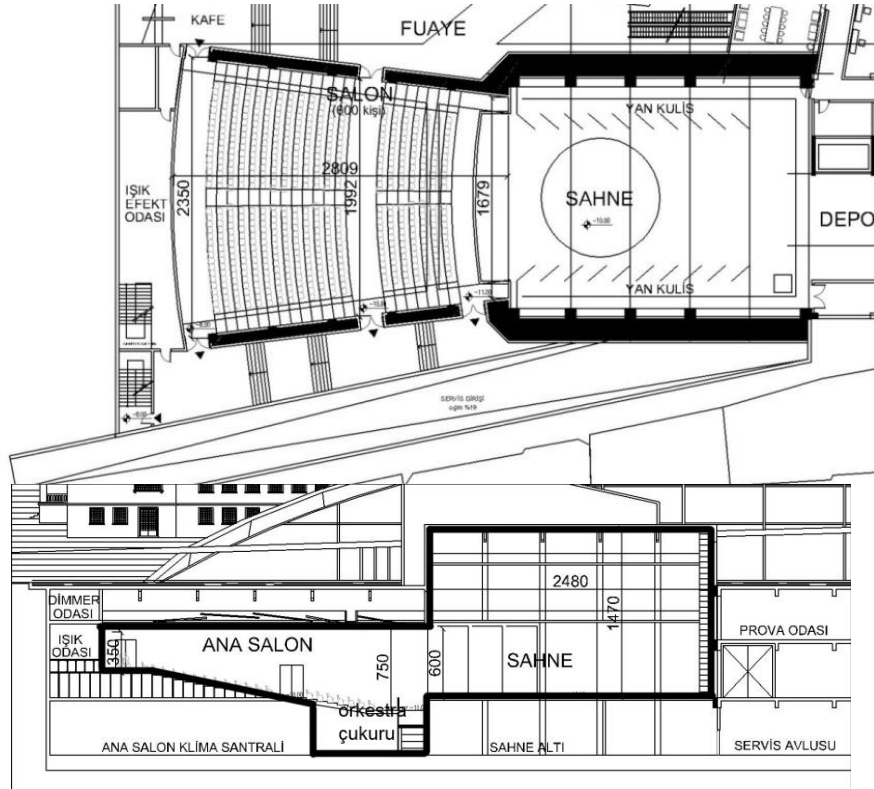
Musa Dağ (Makine Tesisatı) olduğu ekibin hazırladığı proje, bu amaca en uygun proje olarak değerlendirilerek birincilik ödülüne layık görülmüştür.

Salonun Geometrisi: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi “Büyük Salonu’nun” formu yelpaze biçiminde olup bu form, dinleyiciyi sahneye (ses kaynağına) yaklaştırması nedeni ile tasarıma başlama kararı için olumludur.

Salonun Hacmi ve İzleyici Kapasitesi: Yelpaze biçimli plan şemasına sahip olan salonun hacmi; 3509 m³ olup, 600 seyirciye izleme imkanı sağlamaktadır. Salonun yüksekliği en yüksek yerde 7.5 m, en alçak yerde 3.5 m olup, kişi başına 5.8 m³ hava hacmi düşmektedir. Sofita boşluğunun hacmi; 7290 m³ olup, salonun toplam hacmi 10.799 m³'tür [24,25].

4.2. Örneklemin Odeon 10.02 Hacim Akustiği Simülasyon Programı İle Analizi (The Modelling Process By Odeon 10.02 Simulation Software)

Araştırmada seçilen örneklemin, ODEON 10.02 ile akustik benzetiminin yapılabilmesi için mimari proje, geometri ve boyutlarında değişiklik yapılmadan AutoCAD.dxf dosyası olarak 3D yüzey elemanları kullanılarak modellenmiş, ODEON 10.02 hacim akustiği simülasyon programına yüklenen model ile 3D



Şekil 4.1. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi “Büyük Salonu’nun” plan ve kesiti

¹ Akustik danışmanlık hizmeti; İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi proje yarışması sürecinde, tiyatro salonlarının ön tasarımına yönelik olarak verilmiştir.

Geometry Debugger komutuyla modelin doğruluğu test edilmiş, 3D yüzey elemanları ile tanımlanmış yüzeylere çeşitli ses yutma katsayısına sahip malzemeler atanarak, modelin ışın sızdırmazlık testi yapılmıştır.

Aşağıda; İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'ne ait "Büyük Salonu'nun" akustik konfor koşullarının analizi için alınan kararlar verilmiştir;

Taramada kullanılan ışın sayısı: Çalışma, ODEON tarafından önerilen 45.355 ışın sayısı ile taranarak, 'engineering' nokta sinyal parametresi ve 'lambert' saçıcılık yöntemine dayalı yapılmıştır.

Bir ışının maksimum yansıma sayısı: Çalışmada; ODEON hacim akustiği simülasyon programının önerdiği maksimum 2000 yansıma sayısı kullanılmıştır.

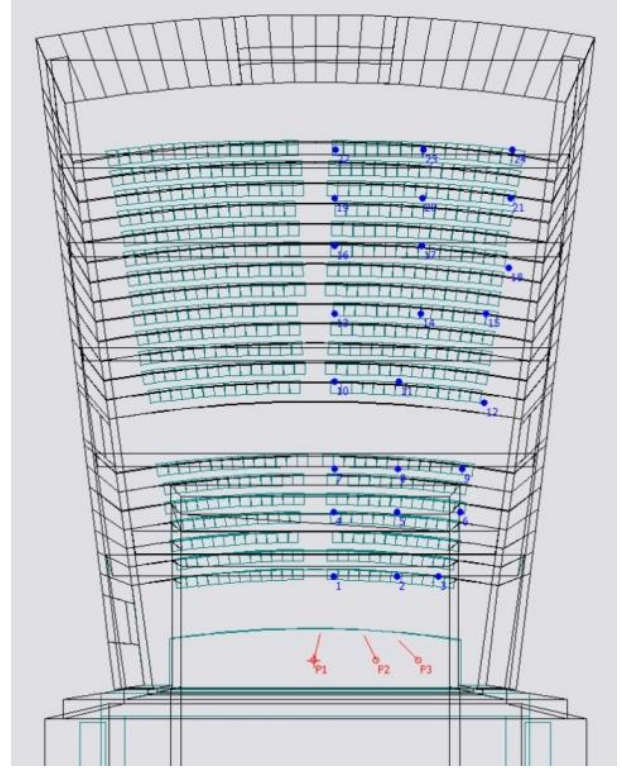
Bir ışının maksimum yansıma süresi: Sağlıklı sonuçların elde edilmesi için "reverberasyon süresi ya da reverberasyon süresinin en az 2/3'ü kadar alınmalı" [16] yönergesi üzerine çalışmada, maksimum yansıma süresi; 4000 ms olarak kabul edilmiştir.

Sanal kaynakların yansıma derecesi: Model düzgün yüzeylerden oluşan sade bir forma sahip olduğu için ilk yansımaların enerjisinin hesaplanmasında, 2. dereceye kadar olan sanal kaynaklar kullanılmıştır.

Arka plan gürültü düzeyi: Tiyatro salonları için gereken iç ortam gürültü düzeyi sınır değerleri; Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY) [23] doğrultusunda 30 dBA (~ NC20) olarak alınmıştır.

Ses kaynağı ve alıcı kararları: Sözü edilen hacmin akustiğinin ayrıntılı bir şekilde analizi ve değerlendirilmesi için hacim genelinde toplam 21 adet alıcı ile sahne üzerinde 4 adet ses kaynağı kullanılmıştır. Ses kaynağı olarak frekanslara göre değişim göstermeyen (omni), 4 adet nokta kaynak seçilmiştir. Bu kaynaklara 70 dB ses gücü seviyesi tanımlanmıştır. 21 adet alıcı, hacmin büyük ve simetrik olmasından dolayı salonun bir yarısına konumlandırılmıştır (Şekil 4.2).

Alıcı noktalarında hesaplanan akustik parametrelerinin gerçeğe yakın olmasını sağlamak amacıyla, gerçek durum tespiti için kullanılan ölçüm yöntemlerinde izlenen TS EN ISO 3382-1 [15] standardındaki alıcılarla ilgili belirtilen tanımlamalara uyulmuştur.



Şekil 4.2. Kaynak ve alıcı noktalarının modeldeki konumları

Hacim yüzeylerinin malzeme kararları: Çalışmada; salonu çevreleyen yüzeylerin yutuculuk ve saçıcılık özellikleri ODEON 10.02 hacim akustiği simülasyon programı içinde bulunan malzeme listesinden seçilerek atanmış ve sözü edilen malzemelerin akustik özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu tabloya bakıldığında anlaşılacağı üzere ön tasarım aşamasında kullanılan malzemelerin ses yutma katsayıları, tasarımın geliştirilmesi aşamasında kullanılan malzemelerin ses yutma katsayılarından daha düşüktür. Uygun akustik konfor koşullarını sağlamak için, ön tasarım aşamasında kullanılan malzemelerin yansıtıcılık katsayıları azaltılarak, tasarımın geliştirilme aşamasında; yutuculuk değerleri daha yüksek malzemeler seçilmiştir.

Tablo 4.1. Salonu çevreleyen yüzeylerdeki malzeme değişiklikleri ve ses yutma katsayıları

Malzemenin Kullanıldığı Yüzeyler	Ön Tasarım Aşaması								Tasarımın Geliştirilmesi Aşaması							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Salon Yan Duvarları	1.6-2.2 cm ahşap kaplama + 5 cm cam yünü + alt konstrüksiyon (tüm yüzeyler)								1.6-2.2 cm ahşap kaplama+5 cm cam yünü+alt konstrüksiyon (120 cm yerden yüksekte, 50 cm x 300 cm boyutlarında)							
	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
Salon Arka Duvarı	1.8 cm delikli ahşap kaplama+akustik keçe+5 cm taş yünü								1.8 cm delikli ahşap kaplama+akustik keçe+5 cm taş yünü							
	-	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	-	-	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	-
Salon Döşemesi	Betonarme döşeme üzerine kalın halı kaplama								Betonarme döşeme üzerine kauçuk+halı kaplama							
	0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.65	0.08	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	0.73
Salon Tavanı	0.8 cm ahşap kaplama+5 cm alt konstrüksiyon								0.8 cm ahşap kaplama+5 cm alt konstrüksiyon							
	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11
Kapılar	Masif ahşap kapı								Masif ahşap kapı							
	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
Cam	Ağır cam yüzey								Ağır cam yüzey							
	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
Koltuk (Saçıcılık:0.70)	Kolçaklı koltuk								Kolçaklı koltuk							
	0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90	0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90
Sahne Yan Duvarları	Boyalı Betonarme Duvar								1.6-2.2 cm ahşap kaplama+5 cm cam yünü+alt konstrüksiyon							
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
Sahne Arka Duvarları	Boyalı betonarme duvar								Delikli 2.7 cm alçı plak kaplama (d=4.5 cm, duvardan 30 cm uzakta)							
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.45	0.45	0.55	0.60	0.90	0.86	0.75	0.75
Sahne Döşemesi	Betonarme döşeme üzerine ahşap parke								Betonarme döşeme üzerine ahşap podyum							
	0.04	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.40	0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	0.10
Sofita	Boyalı betonarme duvar								Delikli 2.7 cm alçı plak kaplama (d=4.5 cm, duvardan 30 cm uzakta)							
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.45	0.45	0.55	0.60	0.90	0.86	0.75	0.75
Orkestra Çukuru Korkuluğu	1cm kalınlığında kontra plak								1cm kalınlığında kontra plak							
	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11

4.3. Analiz Sonuçları (Results Of The Analysis)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nde yer alan ve tiyatro işlevine yönelik olarak kullanılması hedeflenen Büyük Salon'un, "ön tasarım"

ve "tasarımın geliştirilmesi" aşamalarında yapılan akustik performans analizleri ve değerlendirilmesi Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. İ.B.B.Beyoğlu Sahnesi projesinin "Büyük Salonu'nun" ön tasarım ve tasarımın geliştirilmesi aşaması için akustik analiz sonuçları

Parametre	Kaynak	Kabul Edilebilir Değer	Ön Tasarım Aşaması Analiz Sonuçları	Değerlendirme	Tasarımın Geliştirilmesi Aşaması Analiz Sonuçları	Değerlendirme
T_{mid} (500-1000 Hz ort.)	Barron [10]	0.70 sn - 1.00 sn	6.20 sn	olumsuz	1.16 sn	olumlu
	Maekawa [11]	0.88 sn - 1.18 sn				
	Moore [3]	1.00 sn - 1.20 sn				
	Egan [9]	0.80 sn - 1.20 sn				
	Brüel&Kjaer [14]	0.80 sn - 1.00 sn				
	Bistafa ve Granada [12, 13]	0.70 sn - 1.00 sn				
EDT (500-1000 Hz ort.)	Bistafa ve Granada [12, 13]	<1.00 sn	5.70 sn	olumsuz	0.66 sn	olumlu
	Mehta ve ark. [2]	EDT< T_{mid}				
C₈₀ (500-1000 Hz ort.)	Luykx ve ark. [20]	+7 dB	-3.4	olumsuz	8.25	olumlu
	Bistafa ve Granada [12, 13]	>+2 dB				
D₅₀ (500-1000 Hz ort.)	TS EN ISO 3382-1 [15]	0.30 - 0.70	0.25	olumsuz	0.735	olumlu
	Kuttruff [17]	>0.50				
	Thiele [18]					
LF₈₀ (125-1000 Hz ort.)	TS EN ISO 3382-1 [15]	0.05 - 0.35	0.194	olumlu	0.191	olumlu
STI	Odeon [16]	0.30 - 0.45 Zayıf	0.41	olumsuz	0.67	olumlu
	IEC60268-16 [21]	0.60 - 0.75 İyi				

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu makale kapsamında, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi "Büyük Salonu'nun" tiyatro etkinliği için uygunluğu, hacim akustiği açısından analiz edilmiş ve uygun akustik koşulların oluşturulmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir. Örneklem olarak seçilen salonun hacim akustiği parametrelerinin belirlenebilmesi için ODEON 10.02 hacim akustiği simülasyon programından araç olarak yararlanılmıştır.

Yapılan analiz sonucunda, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi "Büyük Salonu'nun ön tasarım aşamasında" reverberasyon süresi; orta frekanslar için 6.20 sn olarak hesaplanmış ve gerçekleştirilen araştırmalar ışığında tiyatro işlevi için kullanılması öngörülen salonun reverberasyon süresinin, istenen sınır değerleri üzerine çıktığı görülmüştür. Bu durum, salonu çevreleyen yüzeylerin "ön tasarım aşamasında" ağırlıklı olarak yansıtıcı yüzeylere sahip olmasından kaynaklanmakta olup, tiyatro işlevine yönelik olarak hedeflenen akustik koşullar bağlamında, salon ve sahne duvarlarında kullanılan yansıtıcı yüzeylerin azaltılması, sofita kulesinin tavanının yutucu

malzemeyle kaplanmasıyla, "tasarımın geliştirilmesi aşamasında" reverberasyon süresi; orta frekanslar için 1.16 sn ile istenilen seviyelere düşürülebilmektedir (Tablo 4.2).

Yapılan analiz sonuçlarına göre; İ.B.B. Beyoğlu Sahnesi "Büyük Salonu'nun ön tasarım aşaması" için erken sönümlenme süresi; orta frekanslarda 5.70 sn iken, "tasarımın geliştirilmesi aşaması" sonunda 0.66 sn olarak hesaplanmıştır. Böylece, reverberasyon süresine göre EDT kısalması ve tiyatro salonları için tavsiye edilen sınır değerleri sağlanabilmektedir (Tablo 4.2). "Ön tasarım aşaması" için yapılan analiz sonuçlarında; arka oturma gruplarındaki alıcı noktalarında erken sönümlenme süresine ait değerler azalma gösterirken, "tasarımın geliştirilmesi aşaması" sonunda ise salonda homojenlik sağlanabilmektedir.

Sesin berraklığı veya netliği açısından bakıldığında ise salonun "ön tasarım aşaması" için yapılan analizde; reverberasyon süresinin yüksek olması, reverberant ses enerjisini artırarak C_{80} parametresinin negatif değer almasına neden olmuş ve salon genelinde tiyatro işlevi için gereken akustik konfor koşulları sağlanamamıştır. "Tasarımın

geliştirilmesi aşamasında” yapılan iyileştirilmeler sonucunda, ses yutucu yüzeylerin etkisi ile reverberasyon süresi kısaltılmış ve C_{80} parametresinin, tiyatro işlevi için gereken sınırlar arasında kalması sağlanabilmiştir (Tablo 4.2).

Konuşmanın belirginliği parametresi için yapılan “ön tasarım aşaması” analizinde; reverberasyon süresinin uzun olması nedeniyle D_{50} parametresi, istenilen sınır değer aralığını sağlayamamıştır. “Tasarımın geliştirilmesi aşamasında” ise bu değer; reverberasyon süresinin kısaltılması ile 0.50 değerinin üzerine çıkarak, istenilen olumlu koşullar sağlanabilmiştir (Tablo 4.2).

Çalışmada, erken yan yansıma oranlarını belirlemek amacıyla yapılan “ön tasarım aşaması” ve “tasarımın geliştirilmesi aşaması” analizlerinde; yelpaze biçimine sahip salonun erken yan yansıma oranları, her iki durumda da tiyatro işlevi için önerilen sınır değerleri arasında kalmıştır (Tablo 4.2).

Konuşmanın iletim indeksi için yapılan “ön tasarım aşaması” analizinde STI değeri; 0.41 ile salon genelinde “zayıf” seviyede iken, “tasarımın geliştirilmesi” sonunda erken sönümlenme süresinin kısaltılmasına bağlı olarak 0.67 değerine ulaşmış, salon genelinde “iyi” seviyede konuşmanın anlaşılabilirliği sağlanabilmiştir (Tablo 4.2).

Bu bağlamda, yapılan çalışma ışığında; İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi Projesi “Büyük Salonu’nun ön tasarım aşamasında”; T_{mid} , EDT, C_{80} , D_{50} , ve STI değerlerinin kabul edilebilir değer aralıkları dışında olduğu görülmüş, “tasarımın geliştirilmesi aşamasında”; salonu ve sahneyi çevreleyen yüzeylerde kullanılan malzemelerin akustik özelliklerinin ve yerleşimlerinin yeniden düzenlenmesi ile konuşmaların net ve nitelikli duyulması sağlanarak salon, tiyatro işlevi için gerekli akustik konfora ulaştırılabilmektedir.

Yapılan bu çalışma ile akustik konfor koşullarına yönelik tedbirlerin projenin tasarım aşamasından başlayarak alınmasının ne kadar önemli olduğunun vurgulanması ve böylece daha sonra ortaya çıkacak akustik müdahalelere gerek kalmayarak, yapım maliyetinin artmasının önüne geçilebileceği bir kez daha gözler önüne serilebilmiştir.

6. KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

T_{mid}	: Reverberasyon Süresi
EDT	: Erken Sönümlenme Süresi
C_{80}	: Sesin Berraklığı veya Netliği
D_{50}	: Konuşmanın Belirginliği
LF_{80}	: Erken Yan Yansıma Oranı
L_w	: Ses Gücü Seviyesi
STI	: Konuşmanın İletim İndeksi
BR	: Bas Oranı

7. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma; 2006/2009-43 kodlu Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesinin bir bölümü olup, Gazi Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

8. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ahnert, W., Feistel, S., Schmitz, O., “Modern Tools in Acoustic Design of Concert Halls and Theatres-Use and Limitations of Computer Simulation and Auralisation”, **XIII Session of the Russian Acoustical Society**, Moscow, 863-874, 2003.
- Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J. “Architectural Acoustics Principles and Design 1st ed.”, **Prentice Hall**, New Jersey, 207-307, 1999.
- Moore, J.E., “Design For Good Acoustics and Noise Control”, **Macmillan Education LTD**, London, 138-205, 1988.
- DIN 18041, “Acoustic Quality in Small to Medium Sized Rooms”, 2004.
- Knudsen, V.O., Harris, C.M., “Acoustical Designing in Architecture”, **Acoustical Society of America**, USA, 151-188, 1988.
- Long, M., “Architectural Acoustics 1st ed.”, **Elsevier Academic Press**, London, 579 610, 653-779, 2006.
- Doelle, L.L., “Environmental Acoustics”, **McGraw-Hill**, USA, 23-98, 1972.
- Ham, R., “Theatres: Practical Guidance For Design and Adaptation”, **University Press**, Cambridge, 2-26, 32-38, 1987.
- Egan, D., “Architectural Acoustics”, **McGraw-Hill**, USA, 81-170, 2007.
- Barron, M., “Auditorium Acoustics and Architectural Design 1st ed.”, **E&F N Spon Press**, London, 223-297, 1993.
- Maekawa, Z. ve Lord. P., “Environmental and Architectural Acoustics 1st ed.”, **E&F N Spon**, Londra, 1-33, 63-113, 245-273, 1994.
- Bistafa, S.R., Granado, M.V., “A Survey of The Acoustic Quality For Speech in Auditoriums”, **Electronic Journal Technical Acoustics**, 15: 1-16, 2005.
- Bistafa, S.R., Granado, M.V., “Objective Measurements of Speech Intelligibility in Proscenium Type of Theatres”, **XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acustica SOBRAC**, Rio de Janeiro, 1-6, 2002.
- Brüel&Kjaer, “Dictionary”, **K. Larsen & Son A/S**, Denmark, 2010.
- TS EN ISO 3382-1, “Acoustics- Measurement of Room Acoustic Parameters-Part 1: Performance Spaces”, ISO, 2010.
- Christensen, C. L., “Odeon Room Acoustics Program User Manual”, **Odeon A/S**, Denmark, 1-136, 2009.
- Kuttruff, H., “Room Acoustics 3rd ed.”, **Elsevier Applied Science**, Londra, 1991.
- Thiele, R., “Die Richtungsuerteilung und Zeitfolge der Schallrückwürfe in Raumen (Directional distribution and time sequence of sound reflections in rooms)”, **Acoustica**, 1:31, 1956.
- Beranek, L.L., “Acoustical Measurements Revised ed.”, **Acoustical Society of America**, USA, 1988.

20. Luykx, M., Vercammen, I., Metkemeijer, M., "Acoustic Design of Theatres for Natural Speech and/or Variable Acoustics", **Proceedings of the Institute of Acoustics**, 30(3):141-151, 2008.
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. Beranek, L.L., "Concert and Opera Halls: How They Sound 1st ed.", **Acoustical Society of America**, New York, 1996.
23. Çevre ve Orman Bakanlığı, "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY)", **Resmi Gazete**, Türkiye, 2011.
24. İlisulu, G., **Tiyatro Salonlarının Akustik Açısından Değerlendirilmesi ve Bir Örnek Çalışma: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
25. Demirel, F., İlisulu, G., **Dinleyici Salonlarında Akustik Konforun Araştırılması ve Bir Örnek Çalışma**, Gazi Üniversitesi BAP Projesi Kesin Raporu, No: 06/2009- 43, Ankara, 2009.
26. Demirel, F., "Mimari Akustik", Yayınlanmamış Ders Notları, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Ankara, 2013.