

9.Ulusal Akustik Kongresi
ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara
26-27 Mayıs 2011

SAKIP SABANCI MÜZESİ ÇOK AMAÇLI SALONU

Türker Talayman

Talayman Akustik Müh.Ltd.Şti., Kozyatağı, İstanbul, Türkiye
Tel: 216 445 88 43, e-posta: turker.talayman@talayman.com

ÖZET

Yapı ve hacim akustiği açısından proje detayları daha önce sunulmuş olan Sakıp Sabancı Müzesi Çok Amaçlı Salonu kullanıma açılmıştır. Elipsoit formundaki özgün mimari tasarımıyla ilişkilendirilerek “The Seed” ticari adıyla faaliyet gösteren salon 300 kişilik kapasiteye sahip olup temel olarak oda müziği etkinlikleri için tasarlanmıştır. Yapının genel olarak çelik konstrüksiyondan imal edilmiş olup akustik açıdan hem planlama hem de imalat süreçlerinde yoğun çalışma gerektirmiştir. Konser etkinliklerinin haricinde özel mekanik sistemlerle dinleyici alanının basamaklı yapısı sahne ile aynı kota yükseltilerek tüm salonun tek bir planda kullanılması da mümkün kılınmıştır. Bu çalışma ile dinleyicilerin olmadığı ve zemin platformları basamaklı şekilde konsere göre düzenlenmiş durumda ISO 3382-1 uyarınca gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları, salonun projelendirme sürecindeki hedef kriterleriyle karşılaştırılarak elde edilen akustik performans aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı salon, ISO 3382 ölçümleri

SAKIP SABANCI MUSEUM MULTI-PURPOSE HALL

ABSTRACT

Sakıp Sabancı Museum in Istanbul hosts a multi-purpose hall in an ellipsoid form with 300 seating capacity. In accordance with the unique architectural design of the hall, the building is named as “The Seed”. The main building, including outer shell of the hall, is constructed out of steel. The inner shell of the hall is fully covered with wooden panels which follow the main form shaped by the steel construction of the ellipsoid form. As being designed mainly for chamber music concerts, the design, application and supervision of this unique building required extensive effort throughout the phases of the project. Architectural design incorporated an additional feature to raise the audience platforms in order to achieve a totally flat plan for other activities. This work includes the result of ISO 3382-1 acoustical measurements carried out in the unoccupied hall arranged in concert setup. The results were evaluated in the light of design criteria objectives that were presented in a previous work.

Keywords: Multi-purpose hall, ISO 3382-1 measurements

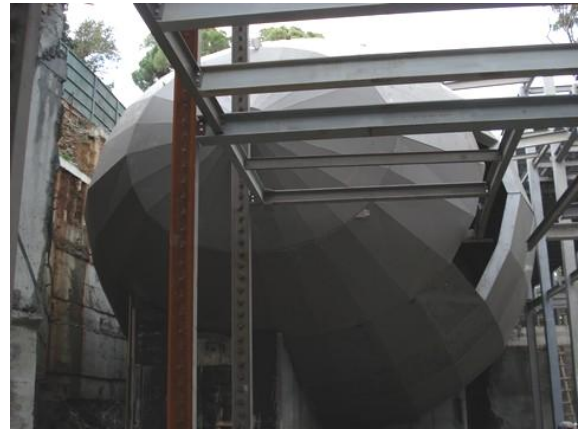
1. GİRİŞ

İstanbul'da bulunan Sakıp Sabancı Müzesi dahilinde kullanıma açılan Çok Amaçlı Salon (ÇAS) içerisinde ISO 3382-1 standardı uyarınca hacim akustiği parametrelerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha önce sunulmuş [1] olan projelendirme sürecine ilişkin detaylar ile nihai durumda elde edilen performansa ilişkin sonuçlar sunulmuştur.

Özgün mimari tasarımına bağlı olarak seçilen mimari form, yapı ve malzemeler sonucunda öngörülen akustik sorunların giderilebilmesi için dikkatli gürültü denetimi ve hacim akustiği detay planlaması yapılmış ve yerinde kontroller yapılarak hedeflenen değerlerden uzaklaşmamasına çaba gösterilmiştir. Nihai durumda elde edilen akustik performansın ölçümleri planlanmış ve bu çalışma kapsamında ilk etap ölçümler tamamlanarak sonuçları aktarılmıştır. Birinci etap ölçümlerde belirlenen çok sayıda noktada ÇAS içerisindeki objektif parametreler olan geri plan gürültü düzeyleri, konuşmanın anlaşılabilirliğinin yanı sıra integral alınan darbe tepkisi metoduna bağlı olarak yansıma süreleri (RT_{20} , RT_{30}), erken sönüm süreleri (EDT), berraklık (C_{80}), netlik (D_{50}) parametreleri ve sahnedeki noktalarda ise ek olarak ölçülmüştür. Çift kanallı ve özel mikrofonlu bir ölçüm düzeneği gerektiren yanal enerji (LF) parametreleriyle özel akustik odada sistem kalibrasyonu gerektiren ses kuvveti (G) parametresinin ölçümleri ileri tarihli bir çalışmaya bırakılmıştır.

2. SALONAAİT DETAYLAR

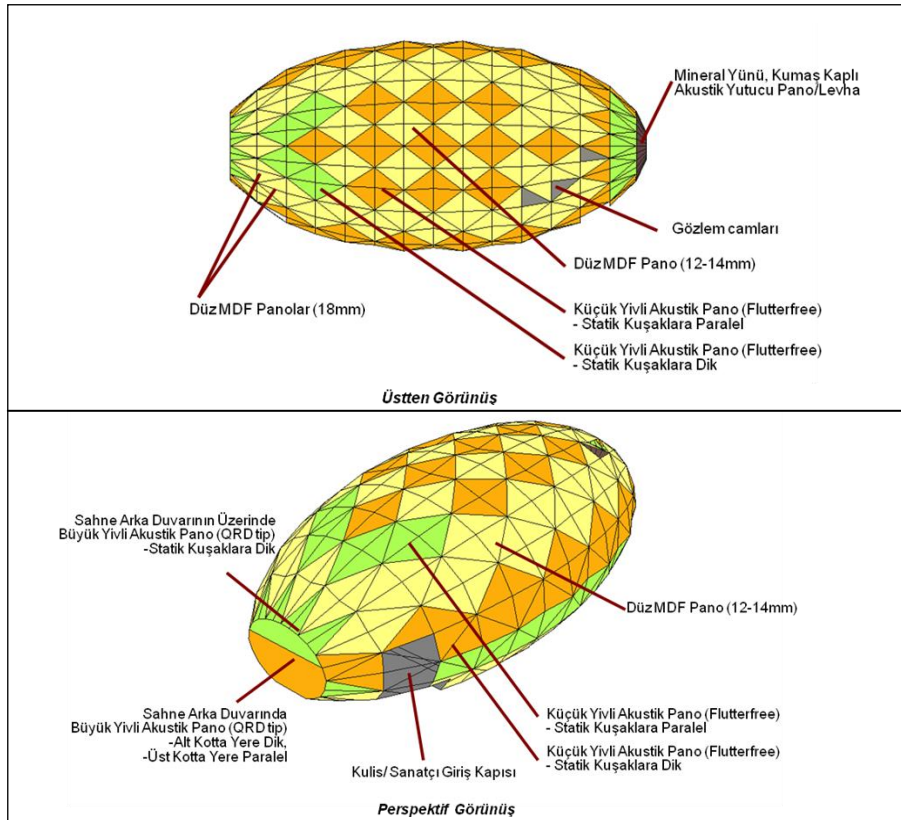
Mimari tasarımın kurgusu tamamen çelik bir bina içerisinde yine tamamen çelik bir kabuk şeklinde imal edilen bir etkinlik salonunu içermektedir. Gürültü denetimi sorunlarının yanı sıra bu salonun formunun scalen elipsoit olarak belirlenmiş olması hacim akustiği açısından da sorunlar oluşturmuştur. Gürültü ve titreşim denetiminin sağlanabilmesi için salon kabuğunu oluşturan çelik yapı ile ana yapı arasındaki doğrudan bağlantılar en az düzeye getirilmiş ve özellikle teknik odalar yüzler döşemeler ile ana yapıdan ve salon yapısından ayrıştırılmıştır.



Resim 1. Elipsoit formda ve çelik bir yapıya sahip Çok Amaçlı Salonun dış kabuğu

Salonun iç kabuğu da temel olarak elipsoit formunu takip etmek üzere kurgulanmıştır. Ancak içbükey formların neden olduğu akustik arızaların etkilerinin azaltılabilmesi için söz konusu

form iç kabuğa taşınırken bazı geometrik farklılıklar yaratılmaya çalışılmıştır. Elipsoit form statik nedenlerden dolayı oluşturulan çelik putrelden imal edilen dairesel ana taşıyıcı kuşaklara bağlı düzlemsel üçgen çelik levhaların dıştan kaynatılmasıyla elde edilmiştir. İçte kalan çelik taşıyıcı kuşak sistemi aynı zaman içinde oluşturulan ahşap kabuğun da altyapısını oluşturmuştur. Elipsoidi tarif eden bu formda yüzey düzensizlikleri yaratılarak yansımaların odaklanması etkisinin azaltılması hedeflenmiştir. Buna göre taşıyıcı kuşakların tarif ettiği içbükey formun bazı tanımlı bölgelerdeki düğüm noktalarından salonun içerisine doğru 20-35cm aralığında taşınarak yüzeylerde geometrik düzensizlikler yaratılmıştır. Bunun yanı sıra salon dahilinde görece yüksek yansımın süresi elde edilebilmesi, ışımsal yansımaların saçılabilmesi ve içbükey formların dar açılı yansımalar ile sesin içbükey yüzeylere yakın ilerleyerek istenmeyen algılar oluşturmasının (fısıldayan kubbe etkisi) bir miktar önüne geçebilmek için yoğun miktarda saçıcı yüzeyler kullanılmıştır. Bu yüzeylerde Schröder tipi ya da ticari olarak daha çok bilindiği üzere QRD (Quadratic Residue Difuser) tipi saçıcıların kullanımı gerçekleştirilmiştir. İmalat ve montaj sorunları göz önüne alınarak sahne bölümünde daha düşük frekans değerlerine kadar saçınım sağlayabilecek kuyu derinliği fazla olan büyük yivli QRD elemanlar, salonun sahne haricindeki bölümlerinde ise daha yüksek frekans değerlerinde saçınım sağlayabilen kuyu derinliği az olan küçük yivli QRD elemanlar kullanılmıştır. QRD kullanılmayan yüzeylerde ise genel olarak düz ahşap panolar kullanılarak bir miktar ışımsal yansımaya ve düşük frekanslı yutuma müsaade edilmiştir. İç ahşap kabuğu oluşturan tüm bu ahşap yüzeylerin altyapısında ana çelik kuşaklara bağlı bir alt konstrüksiyon ve ahşap takozlar kullanılmıştır. Bu teknik ile düğüm noktaları içeri doğru taşınarak düzensizlikler yaratılmıştır. Aşağıda sözü edilen sisteme tasarımına ilişkin görseller forma ilişkin düzensizlik yaratılmaya çalışılan düğümler ve malzeme yerleşimlerini de içerecek şekilde sunulmuştur.



Şekil 1. İç akustik kabuk tasarımına ilişkin form ve malzeme detayları



Resim 2. Duvarlardaki saçıcılar ve yerleşimlerine ilişkin görünüş ile genel görünüş

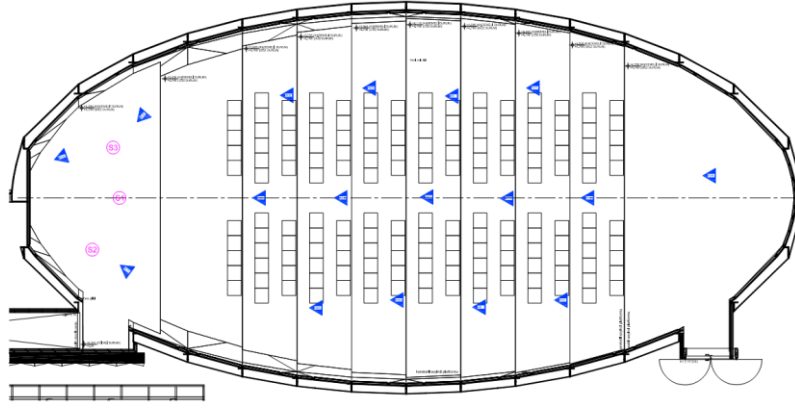
Çok amaçlı olarak kullanılan salonun konser durumundaki dinleyici sayısı 300 kişi olarak belirlenmiştir. Hareketli zemin platformlarının işlevselliği ve farklı işlevler arasında kolaylıkla geçebilmek için dinleyici koltuğu olarak sandalye kullanılması planlanmış olup salon 100-300 kişilik etkinlikler için kullanılabilir. Salon hacmi platformlar en düşük durumda indirilerek konser düzeneğine geçildiğinde yaklaşık $V=1900m^3$ düzeyine ulaşmaktadır. 300 kişilik bir oturumda kişi başı $6,3 m^3$ /kişi olarak hesaplanmaktadır. Bu düzey müzik işlevi için düşük bir düzey olup, bu durum seçilen mimari forma bağlı olarak önemli hacim kayıplarıyla ilişkilidir. Tasarım sürecinde konser etkinliği göz önüne alınarak ÇAS için belirlenmiş ölçütler aşağıdaki gibi özetlenebilir [1].

- SPL_b - Geri plan gürültü düzeyi: NC-20
- RT_{60} - Çınlanım süreleri: Düşük frekans bandında 1,2s, orta frekans bandında 1,0s, yüksek frekans bandında 0,9s,
- EDT – Erken sönüm süreleri: RT_{60} değerlerinden en çok %10 aşağıda,
- LF – Erken yanıl enerji oranı: Tüm seyirci alanı için 0.25 ve üzeri,
- C80 – Berraklık: Tüm seyirci alanı için -1dB ile +3dB arasında,
- G – Ses kuvveti: Tüm seyirci alanı içerisinde 3dB ve üzeri
- STI- Konuşmanın anlaşılabilirliği: 0,65 ve üzeri

3. AKUSTİK ÖLÇÜMLER

a. Ölçüm yöntem ve detayları

Bu çalışma kapsamında ÇASın sadece konser etkinliğine göre düzenlenmiş durumu incelenmiştir. Ölçümler hacim boş durumda ve 160 sandalye yerleştirilmiş durumda alınmıştır. Tavan ve duvarlarda düz ve yivli ahşap panolar, yerde keçeli halı ve arkada duvardaki elipsoidin kapandığı bölgede de taşıyıcı levhaların üzerine kumaş kaplama uygulaması bulunmaktadır. Ölçümler için ISO 3382-1 standardı uyarınca salonun darbe tepkisi ölçümleri yapılmış olup, bunun yanı sıra havalandırma açık ve kapalı durumda geri plan gürültü düzeyleri ve STIPA yöntemiyle konuşmanın anlaşılabilirliği ölçümleri yapılmıştır. Salon dahilinde toplam 17 adet algılama noktası belirlenmiş olup bu noktalardan üç tanesi sahne içerisinde seçilmiştir. Kaynak noktaları sahne üzerinde belirlenmiş olup biri salonun merkez simetri aksı üzerinde olmak üzere toplam üç adet kaynak noktası belirlenmiştir. Darbe tepkisi ölçümlerinde bu üç kaynak nokta kullanılmış, konuşmanın anlaşılabilirliği ölçümlerinde ise sadece merkez simetri aksı üzerindeki nokta kullanılmıştır. Ölçüm noktalarına ilişkin plan aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2. Ölçüm noktaları planı (S-Kaynak, R-Algılama Noktası)

ISO 3382 standardı uyarınca yapılan ölçümler sonucunda 125-8000Hz aralığındaki 7 oktav bandında RT, EDT, C80 ve D50 parametreleri, bunların yanı sıra dinleyici alanı genelinde SPL_b ve STI parametreleri, sahnede ise müzisyenlerin kendilerini ve diğer müzisyenleri duyumuyla ilişkili destek faktörü ST_{Early} incelenmiştir. Tüm algılama noktalarında yapılan darbe tepkisi ölçümlerinde her ölçüm için 4 darbe tepkisinin ortalaması alınmıştır. Ses kaynakları sahne üzerinde belirlenmiş noktalarda sahne zemininden 1,50m yükseklikte, algılama noktalarında ise mikrofon zeminden 1,20m yüksekte konumlandırılmışlardır. Darbe tepkisi ölçümlerinde çok yönlü kaynaktan geniş bant gürültü spektrumuna sahip logaritmik sinüs süpürümü (log sweep) tipi bir sinyal yayınlanmış ve geri plan gürültüsünün olası etkileri yüksek sinyal gürültü oranı sağlanarak ihmal edilebilir hale getirilmiştir.

b. Ölçüm sistemi

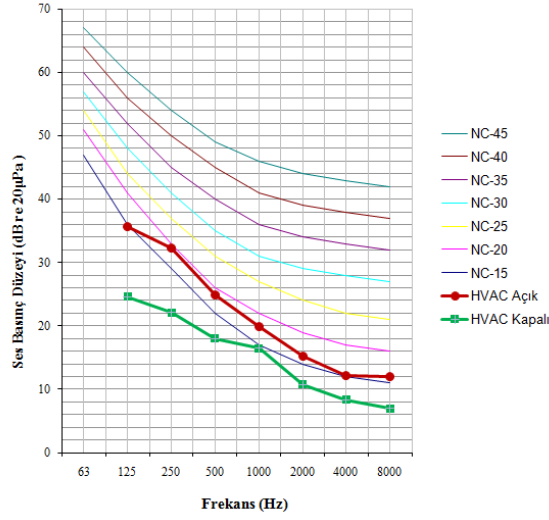
Ölçümler darbe tepkisinin ölçümü ve işlenmesi için kullanılan “EASERA” yazılımını koşturan bir dizüstü bilgisayar, hassas nitelikte bir usb ses kartına ek olarak ISO 3382’ye uygun oniki yüzlü hoparlör, Tip 1 akustik analizör, yükselteç ve gerekli aksesuarlardan oluşan bir ölçüm sistemi kullanılmıştır. Ölçüm sistemi sadece sinyal giriş hattı tarafında kalibre edilmiş olup, tüm sistem parçalarıyla birlikte bir yankısız oda veya çınlanım odası içerisinde akustik kalibrasyona tabi tutulmamıştır. Bu nedenle ses kuvveti (G) olarak tarif edilen ve ölçülen darbe tepkisinin barındırdığı ses enerjisinin serbest alan koşullarında aynı sistemle 10m’de elde edilen ses enerjisine oranı olarak hesaplanan değer bu çalışmada verilmemiştir.

Tablo 1. Ölçümlerde kullanılan cihazlar

Marka	Tip	Tanım
Norsonic	Nor 131	Ses Ölçüm Cihazı
Norsonic	Nor 140	Ses Ölçüm ve Yapı Akustiği Analiz Cihazı
Norsonic	Nor 1251	Kalibrasyon Doğrulama Cihazı
Norsonic	Nor 276	Oniki Yüzlü Ses Kaynağı
Norsonic	Nor 280	Güç Yükseltici
KB	TA-STI	Tek Sürücülü Küçük Ses Kaynağı
Native Instruments	AK-1	USB Ses Kartı
SDA	EASERA v1.1	PC Tabanlı Ölçüm Yazılımı
Diğer	-	Muhtelif Kablo ve Aksesuarlar

c. Ölçüm sonuçları

Salon dahilinde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur. Öncelikle geri plan gürültü düzeyleri hedef ölçüt olan NC-20 ile karşılaştırılmıştır. Ölçülen geri plan gürültü profili havalandırma kapalı olduğu durumda NC-15, havalandırma açık olduğu durumda ise NC-20 ölçütünü sağlamaktadır.



Şekil 3. Geri plan gürültüsü profili

Dinleyici alanı içerisinde 14 noktada, sahnede ise 3 noktada gerçekleştirilen darbe tepkisi ölçümleri sonuçlarından elde edilen EDT, RT20, RT30, C80 ve D50 parametreleriyle STI parametrelerinin ortalama değerleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 2. Objektif parametrelerin dinleyici alanındaki genel dağılımı (* ile gösterilen değerler ilgili parametrenin frekans bantlarında altı çizili olarak verilen değerlerinin ortalamasıdır.)

Açıklama	Oktav Bantları (Hz)							Ortalama	Tasarım Hedefi	ISO 3382 Tipik Aralığı
	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Dinleyici Bölümü										
EDT	1,78	1,82	1,59	1,21	1,07	0,69	0,50	1,24	EDT _{Low} =1,1s; EDT _{Mid} =0,9s; EDT _{High} =0,8s	1,0;3,0s
Std.Sapma	0,48	0,33	0,33	0,30	0,25	0,10	0,08	0,21		-
RT20	1,88	1,88	1,57	1,22	1,09	0,77	0,62	1,29	RT _{Low} =1,2s; RT _{Mid} =1,0s; RT _{High} =0,9s	-
Std.Sapma	0,18	0,12	0,07	0,08	0,05	0,04	0,04	0,05		-
RT30	1,95	1,88	1,59	1,16	1,02	0,71	0,59	1,27	RT _{Low} =1,2s; RT _{Mid} =1,0s; RT _{High} =0,9s	-
Std.Sapma	0,27	0,10	0,06	0,09	0,07	0,05	0,07	0,06		-
C80	0,3	0,9	<u>2,0</u>	<u>3,7</u>	4,3	6,4	8,7	2,8 (*)	-1dB;+3dB	-5dB; +5dB
Std.Sapma	3,1	2,6	2,2	1,5	1,4	1,3	1,3	-	-	-
D50	0,39	0,44	<u>0,49</u>	<u>0,60</u>	0,63	0,68	0,76	0,55 (*)		0,30; 0,70
Std.Sapma	0,16	0,14	0,13	0,08	0,08	0,07	0,06	-		-
STI	-	-	-	-	-	-	-	0,61	≥0,65	-
Std.Sapma	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-

Tablo 3. Objektif parametrelerin sahne içerisindeki genel dağılımı (* ile gösterilen değerler ilgili parametrenin frekans bantlarında altı çizili olarak verilen değerlerinin ortalamasıdır.)

Açıklama	Oktav Bantları (Hz)							Ortalama	Tasarım Hedefi	ISO 3382 Tipik Aralığı
	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Sahne Bölümü										
ST _{Early}	-3,80	<u>-7,32</u>	<u>-7,02</u>	<u>-7,28</u>	<u>-6,34</u>	-4,72	-6,14	-6,98 (*)	-	-24dB;-8dB
Std.Sapma	3,58	2,15	1,81	3,50	3,02	3,49	3,44	2,41	-	-
EDT	1,98	1,73	1,72	1,19	1,02	0,38	0,27	1,18	-	-
Std.Sapma	0,74	0,90	0,43	0,57	0,41	0,11	0,08	0,31	-	-
RT20	1,67	1,70	1,48	1,14	1,07	0,69	0,59	1,19	-	-
Std.Sapma	0,13	0,09	0,10	0,05	0,08	0,21	0,19	0,07	-	-
RT30	1,72	1,74	1,41	1,02	0,97	0,64	0,58	1,15	-	-
Std.Sapma	0,12	0,07	0,17	0,06	0,08	0,20	0,19	0,09	-	-
C80	5,8	6,6	<u>6,9</u>	<u>8,2</u>	8,1	11,2	13,7	7,5 (*)	-	-
Std.Sapma	2,9	3,1	1,4	1,9	1,6	1,3	1,9	-	-	-

4. SONUÇ

Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve yerinde yapılan gözlemler ışığında salon dahilinde akustik parametrelerin çok geniş bir aralıkta değişkenlik gösterdiği değerlendirilmiştir. Ortalama değerler olarak bakıldığında salon hacmi, dinleyici kapasitesi ve sahne büyüklüğü göz önüne alınarak oda müziği için uygun olan salonun Barron'a [2] göre dolu durumda orta frekanslardaki yansımın süresi 1,2-1,7s aralığında olmalıdır. Bu açıdan bakıldığında ÇAS'ın dolu durumdaki yansımın düzeyleri bu aralık içerisine girecektir. Subjektif değerlendirmeler dikkate alındığında müzisyenler yapılan görüşmelerde sahne içerisindeki duyumdan memnun oldukları ve dengeli bir ses elde edebildikleri bilgisi alınmıştır. Dinleyici bölgesi için öznel değerlendirmeler ile objektif değerleri karşılaştıran bir istatistik çalışması henüz yapılmamıştır.

Objektif parametreler açısından bakıldığında salonun farklı noktalarında parametrelerin aldığı değerlerin yüksek standart sapma değerleri ile yansımın değerlerinin spektrumunda düşük ve yüksek frekanslar arasındaki dengesizlik salon dahilindeki öne çıkan sorunlardır. Özellikle dinleyicilerin salonlar hakkında öznel değerlendirmeleri açısından önemli bir parametre olan EDT'nin değişkenliği projelendirme evresindeki akustik modelde olduğu gibi ölçüm sonuçlarıyla da görülmüştür. Başta seçilen içbükey mimari formdan kaynaklanan çeşitli akustik sorunları en aza indirebilmek için yoğun miktarda kullanılan küçük yivli saçıcı yüzeylerin yanı sıra zeminde kullanılan halının akustik konfor açısından yüksek frekansların daha çabuk sönmelerine neden olduğu görülmüştür. Hem EDT hem de RT parametrelerinin ortalama değerlerinin frekans dağılımlarında görüldüğü üzere salonun düşük ve yüksek frekans bantları arasında tarif edilen bas oranı tercih edilen oranların üzerindedir. Model çalışmasında görülmeyen ancak gerçek durumda görülen bu durum uygulanan malzemelerin yutuculukları ile modelde kullanılan malzemelerin yutuculukları arasındaki farktan ortaya çıkmaktadır. Modelde kullanılan ve düşük frekanslarda yutucu sağlayan arkasında hava boşluğu ve gözenekli yutucu bulunan ahşap panolar malzemelerin belirli bir

büyükte ve titreşim yaparak panel yutucu olarak çalışabildiği kabulüne uygun malzemelerdir. Ancak gerçekte uygulanan ahşap panolar görece küçük boyutlara sahip üçgen formunda olup uygulama sırasında geniş alt konstrüksiyonların üzerine çok noktadan sabitlenmiş durumdadır. Bu nedenle panolar yeterli miktarda panel yutucu olarak çalışmamaktadır. Dolayısıyla düşük frekanslardaki yansıma süreleri uzamaktadır. Bazı küçük parçalı orkestra etkinliklerinde düşük frekanslardaki bu yüksek yansıma programının daha 'sıcak' karşılanmasına neden oldu görülmekle özellikle hızlı parçalarda düşük oktavlardaki nota değişimindeki anlaşılabilirliğin yansıma bağı olarak düşük olduğu gözlemlenmiştir. 125 ve 250Hz bantlarındaki yansıma değerlerinin düşürülebilmesi için salon dahilinde sahne ve sahneye yakın bölümlerindekiler kalmak şartıyla diğer düz ahşap panoların yutuculuk frekansları ayarlanmış perfore panolarla değişimi düşünülmelidir.

Konser fonksiyonu göz önüne alındığında dinleyicilerin oturumu için sağlanan sandalyelerin çok yutucu olmadığı düşünülerek zeminde kullanılan halının yüksek frekanslarda yutuculuk getirmeyecek bir malzeme ile değiştirilmesi söz konusu olabilecektir. Hareketli seyirci platformu üzerindeki kaplama olan halının yerine çok daha yansıtıcı olan pvc veya linolyum esaslı zemin malzemeleri kullanılabilir. Ancak salonun çok amaçlı olarak kullanılması ve kullanım süreci içerisinde konuşmaya dayalı etkinliklerin sayısının müzik etkinliklerine göre sayıca daha çok gerçekleşmiş olması nedeniyle mevcut halının değişimi düşünülmeyebilecektir.

Özgün mimarisi ve seçilen yapı tekniği itibarıyla yapı akustiği açısından birçok zorluk içeren binada gerçekleştirilen uygulamaların asgari akustik şartları sağlayabildiği gözlemlenmiştir. ÇAS'un formuna ilişkin sorunlara yönelik ilave uygulamalar yapma olanağı gözükmemekle birlikte hacim akustiği açısından yapılacak bazı iyileştirmeler ile daha dengeli yansıma profili elde etmek mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Talayman,T., Bir Çok Amaçlı Salonun Akustik Tasarımı, 8.Ulusal Akustik Kongresi, Kemer,2008
[2] Barron, M., Auditorium Acoustics and Architectural Design, pp.196-197, 1993