

Bir Çok Amaçlı Salonun Akustik Tasarımı

Türker Talayman

Fores Akustik Ltd.Şti., Suadiye – İstanbul

ÖZET

İstanbul'da projelendirilen çelik konstrüksiyon bir yapı içerisinde 300 kişilik bir çok amaçlı salonun akustik tasarım detayları verilmiştir. Seçilmiş olan elipsoid form nedeniyle çeşitli akustik problemleri olacağı öngörülmüştür. Çelik yapı nedeniyle gürültü kontrolüne özellikle dikkat edilmiştir. Salonun doğal akustiğinin akustik enstrümanlarla gerçekleştirilerek oda müziği gibi en fazla 20 parçalık orkestralarla gerçekleştirilecek müzik performanslarına daha uygun bir akustik ortam yaratacak şekilde tasarlanması talep edilmiştir. İç bükey formdan kaynaklanacak odaklanma etkisinin giderilebilmesi için QRD (Quadratic Residue Diffuser) tipi saçıcıların yoğun bir şekilde kullanımı öngörülmüş, değişik saçıcılık özelliklerine göre sanal akustik model çalışmasıyla hacim akustiği parametrelerinin değişimi etüd edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı salon, saçıcı, akustik modelleme

SUMMARY

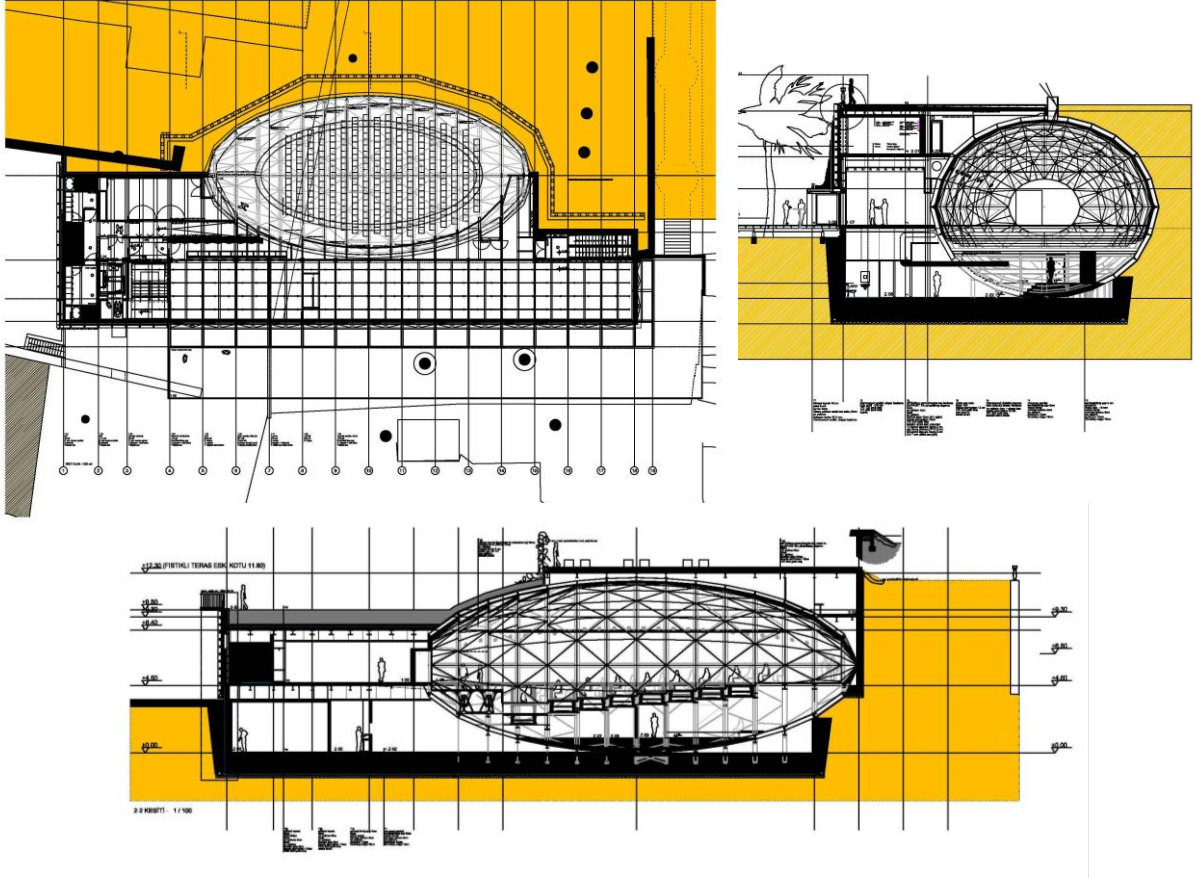
300 seat capacity multi-purpose hall which will have a scalene ellipsoid form is designed to be located in a fully steel construction building. It can be foreseen that a large concave form would inherit several acoustical problems. Besides room acoustics, special attention paid to structural acoustic and vibration control issues during design phase. The main goal was to design a multi-purpose hall with more emphasis on music function and provide optimum acoustic conditions inside the hall for chamber music in particular. Through virtual acoustic modeling different surface treatment options were investigated. In order to eliminate problems resulting from focusing, it was decided to use extensive number of QRD (Quadratic Residue Diffuser) panels inside the hall.

Keywords: Multi-purpose hall, diffuser, virtual acoustic modeling

1. GİRİŞ

İstanbul'da bir çok amaçlı salon ve buna bağlı destek birimlerinin oluşturulması projesiyle ilgili yürütülmüş olan gürültü ve titreşim kontrolü, salon harici hacimlerde çınlanım kontrolü ve son olarak çok amaçlı salon içerisinde akustik kontrole yönelik çalışmalar aşağıda sunulmuştur. Bina dahilinde değişik hacimlerde hedeflenen akustik ölçütler verilmiş, buna yönelik planlanmış olan akustik detaylarından örnekler sunulmuştur. Çok amaçlı salon olarak kullanılması düşünülen ana hacmin işlevler açısından akustik değerlendirmesi yapılmış ve mimari proje tarafından empoze edilen formun fiziki şartları göz önünde tutularak doğal akustik performansının iyi şekilde detaylandırılması hedeflenmiştir.

Gerçekleştirilen akustik projelendirme sırasında mimari projeye en az seviyede müdahale edilmeye gayret edilmiş, mimari ve akustik çözümler optimize edilmeye çalışılmıştır. Bina dahilindeki ana hacim olan çok amaçlı salon için seçilen skalen (elipsoidi tarif eden üç yarı eksen a , b ve c ise $a \neq b \neq c$ olan) elipsoid şeklindeki mimari form, statik ve imalat kolaylığı açısından elipsoid kabuk ve ana taşıyıcı sistem için tercih edilen çelik konstrüksiyon, işlev ve kullanıma yönelik olarak salonun farklı akustik şartları sağlaması talebi çeşitli tasarım zorluklarına neden olmuştur. Mimari tasarıma ilişkin genel prensipler aşağıda verilmiştir.



Şekil.1 – Genel mimari yapı ve ana elipsoid kabuğun çevreyle olan ilişkisini gösterir plan ve kesitler

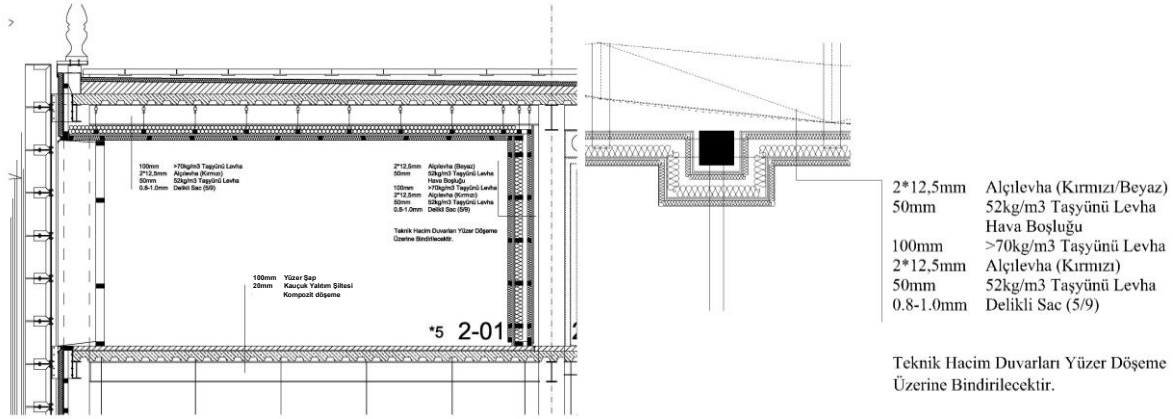
2. TASARIM ÖLÇÜT VE DETAYLARI

Çok Amaçlı Salon ve destek birimleriyle ilgili olarak akustik tasarım iki ana başlık altında ele alınabilir: Bunlar, dış mahallerin gürültü ve titreşimlerinin içeri taşınmasının engellenmesi amacıyla yönelik gürültü kontrolü ve Çok Amaçlı Salon başta olmak üzere hacim akustiği açısından akustik konforu yüksek ve dengeli, fonksiyonların gerekliliklerini yerine getirebilecek hacimlerin yaratılabilmesi için hacim akustiği alanlarıdır.

Proje dahilinde yoğun miktarda kullanılacak çelik malzemesi gürültü kontrolü açısından önemli problemler oluşturmaktadır. Fiziki yapısı itibarıyla çelik içerisindeki ses hızı diğer bilinen konvansiyonel yapı malzemelerine göre çok daha yüksektir. Bu nedenle çelik konstrüksiyona ulaşan sesler hızlı bir şekilde, çelik yapının uzak noktalarına dahi rahatlıkla ulaştırılabileceği göz önünde bulundurularak, gürültüye hassas alanların çelik yapıyla olan ilişkisi irdelenmiştir.

a. Gürültü ve titreşim kontrolü

Proje dahilinde havalandırma, asansör ve kullanılacak tüm mekanik sistemler olası gürültü ve titreşim kaynakları olarak değerlendirilmiş, bu sistemlerin doğrudan elipsoid iç kabuğu veya elipsoidin yapısal olarak temasta bulunmak zorunda olduğu ortak yapı elemanlarıyla (ör.döşemeler, bölücü duvarlar, vb.) arasında gürültü ve titreşim yalıtımı planlanmıştır. Çok Amaçlı Salonu besleyecek müstakil bir havalandırma sistemi çözülmüştür. Ancak bu sisteme ait cihaz ve binanın diğer bazı noktalarını besleyecek cihazların toplam iki teknik oda içerisine yerleştirilmesi söz konusu olmuştur. Tüm bu sistemlerin gürültü ve titreşimlerinin engellenebilmesi için teknik odaların yüzer döşeme sistemi ve bu yüzer döşeme üzerinde oluşturulacak bir iç yalıtım kabuğuyla çözülmesi hedeflenmiştir. İç kabuğun dış çelik ve betonarme kompozit sistemle katı ilişkide yatay ve düşeyde kullanılan elastomer askılar ile engellenmiştir. Yüzer zemin çelik kirşler üzerine inşa edilen betonarme döşemenin üzerine serilecek 20mm kalınlığında 800kg/m^3 yoğunluğa sahip ilgili, mekanik sistemlerden gelen yük altında yaklaşık sistemin 25Hz düzeyinde bir doğal frekansa sahip olmasını sağlayacak kauçuk malzeme ile sağlanacaktır. Bu kauçuk levha üzerine 10cm yüzer döşeme betonu dökülecek ve teknik ekipmanlar bu döşemeye kendi elastomerik ayaklarıyla oturtulacaktır. Duvar ve tavanda uygulanacak iç kabuk dışarıda gürültü kontrolü, içeride ise çınlanım kontrolü sağlayacak iki farklı detayı barındıracaktır. Havadan yayılan gürültü için çok katmanlı alçıpanel konstrüksiyonu kullanılıp, dış kabuk ile arasında yoğun ($>70\text{kg/m}^3$) taşıyıcı şilte kullanılacaktır. Bu yalıtım kabuğunun içerisinde ise yansımaya bağlı ses basınç düzeyi artışını engellemek için 5cm kalınlığında 52kg/m^3 yoğunluktaki taşıyıcı üzerine %25 delik oranına sahip perfore sac levhalardan oluşturulacak yutucu kaset elemanlar uygulanacaktır. Teknik hacimlere ait kapılar ses yalıtımı yüksek, alt eşiği sabit bir ürünlerden seçilip, çift kanatlı ve çelikten imal edilmiş olacaktır. Kapılardan istenen ses yalıtım düzeyi en az $R_w = 48\text{dB}$ 'dir. Ana teknik hacimin dış ortam ile hava alışverişini sağlayacak yarıklarında akustik plenum kutuları oluşturulup buralarda çift sıralı akustik menfez kullanılması planlanmış, kanallardaki ses gücü düzeyine bağlı olarak cihaz çıkışlarında kaset tip susturucular kullanılması planlanmıştır.



Şekil.2 – Teknik hacimlerin yalıtım kabuğunun prensip detayları

Yapısal gereklilikler nedeniyle salonu oluşturan dış statik kabuk ile mimari ve akustik tefrişi kapsayacak iç kabuğun komşu mahallerle ilişkide bulunacağı noktalar vardır. Söz konusu çelik elipsoid yapı, alttan bir betonarme temele oturacak, yan yüzeylerinin yarısı toprak ile bir su yalıtım detayıyla ilişkide bulunacaktır. Temel betonu üzerine çelik kabuk oturtulurken yine yüksek yoğunlu ve taşıma kapasitesine sahip elastomer şilte serilmesi, elipsoidin üzerindeki konstrüksiyonlarla ilgili olarak statik gereklilikle inşa edilecek betonarme perdelerin elipsoid yüzeyine bastığı noktalarda elastomer şilte şeritleri kullanılacaktır. Özellikle binanın statik taşıyıcı elemanları başta olmak üzere çelik elipsoid dış kabuğun binaya ait tüm çelik kolon, kiriş, perde duvar, döşeme, bölme duvar (salon giriş kapısı koridoru, kulisten sahne giriş koridoru, simultane tercüman bölmeleri, vb.), tesisat geçişleri gibi katı iletme neden olacak noktalarda dilatasyon planlanmış ve nokta yalıtım detayları oluşturulmuştur.

Binanın çelik sisteminin yangına karşı korunması için kullanılması düşünülen malzemelerden püskürtme olarak uygulanabilen protland çimentosu ve vermikülit karışımı esaslı bir ürünün akustik yutum özelliğine de sahip olması itibariyle seçilmesi sağlanmıştır. Söz konusu malzeme özellikle çelik elipsoidin tüm iç yüzeyinde uygulanması akustik projelendirme açısından önemlidir. Üretici tarafından sağlanan akustik yutum test sonuçlarından elde edilen bilgilere göre malzemenin 20mm kalınlığında (NRC=0,60) uygulanması uygun bulunmuştur. Bu malzeme hem çelik yüzeyinden kaynaklanacak yansımaların gözenekli yapısı itibariyle azaltılmasına yardımcı olacak, sesin çelik kabuğa iletiminin kesilmesinde belirli oranda faydalı olacak, hem de gövde içerisindeki titreşimlerin sönümlenmesi tüm yüzeyleri kaplayacak olması itibariyle de fayda sağlayacaktır.

Fuaye alanı dış ortam ile elipsoid kabuk arasında bir ara bölümde düşünülmüştür. Söz konusu hacim bina boyunca devam eden yaklaşık 4,5m yüksekliğe sahip görece büyük bir hacim olarak ortaya çıkmaktadır. Mimari projede kullanılması istenen malzemeler genellikle yüksek yansıtıcılağa sahip cam, çelik, ahşap zemin kaplaması gibi malzemeler olması itibariyle çınlanım kontrolü için tavan ve fuayenin dış ortama bakan doğramalarının üzerindeki alınlr kullanılabilir durumdadır. Çınlanım kontrolü için tavanda uygulanacak yangın koruma malzemesinin daha yüksek bir kalınlıkta kullanılarak NRC=0,75 düzeyine erişilmesi hedeflenmiş ve böylece bir malzeme iki amaç için kullanılması planlanmıştır. Doğrama üzerindeki sağır alçıpanel duvar bölümünde de 20mm akustik sıva uygulaması yapılarak tüm fuaye alanı içerisindeki çınlanım süresi düşürülmeye çalışılmıştır. Dış ortamdaki kaynaklı gürültülerin engellenebilmesi için cam yüzeyinde çok katmanlı akustik cam kullanılması

([3+3]mm akustik lamine cam+16mm hava boşluğu + [4+4] akustik lamine cam) planlanmıştır. Doğramayla birlikte bu cephenin $R_w=43\text{dB}$ düzeyinde bir yalıtım performansına sahip olması hedeflenmiştir.

b. Hacim akustiği

Salonun doğal akustiğinin akustik enstrümanlarla gerçekleştirilerek oda müziği tarzında, sahnenin yaklaşık 40m^2 olması itibarıyla da en fazla 20 parçalık orkestralarla gerçekleştirilecek müzik performanslarına daha uygun bir akustik ortam yaratacak şekilde tasarlanması talep edilmiştir. Buna yönelik olarak 1900m^3 hacime sahip olan ve bu tip konserler için görece küçük olan bu salonun orta frekanslardaki çınlanım süresi düzeyinin dolu durumda $RT_{60}=1,0\text{s}$ civarında olması hedeflenmiştir. Bu nedenle salon dahilinde özellikle dinleyici grubunun yüksek yutuculuğa sahip olması ve hacim dahilinde önemli bir yüzey oluşturması nedeniyle kabuk içerisinde yansıtıcı ve saçıcı yüzeylerin yoğun miktarda kullanılması hedeflenmiştir. İç bükey formdan kaynaklanacak odaklanma etkisinin giderilebilmesi için QRD (Quadratic Residue Difuser) tipi saçıcıların kullanımı öngörülmüştür. Ancak bu saçıcı yüzeylerin yerleşiminde de değişik düzenler üzerine çalışılarak iç bükey kabuğun ses dalgalarını odaklayıcı özelliği en düşük düzeyde tutulmaya çalışılmıştır. Değişik saçıcılık katsayılarına göre akustik model çalışmasıyla hacim akustiği açısından tasarım etüd edilmiştir. Akustik parametreler açısından hedeflenen değerler aşağıdaki gibidir.

- 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 -1 dB ile 3 dB arasında,
- G – Ses Kuvveti: Tüm seyirci alanı içerisinde 3dB ve üzeri.

Çok Amaçlı Salon'un iç yüzeyinin dış yüzeydeki elipsoid formu mümkün olabildiğince takip etmesi proje ekibi tarafından talep edilmiştir. Statik gerekliliklerle birlikte elipsoid formun üçgenlerle ifade edilmiş ve aynı yapı iç akustik kabuk için de devam ettirilmiştir. Geometrik akustik bağlamında elipsoid form, odaklanma gibi çeşitli zorluklar içermektedir. Bunu aşabilmek için elipsoidin iki geometrik merkez noktasından birine çok yakın bulunan sahne içerisinde oluşan ses dalgalarının mümkün olabildiğince odaklanmadan, dağınık bir yapıda seyirci bloğunun üzerine ulaştırılması hedeflenmiştir. Sahnede bulunan bir ses kaynağından yayılan ses dalgalarının içbükey sahne kabuğundan kaynaklanan odaklanmasını engellenebilmesi için sahne yan ve üst duvarlarında saçıcı (diffuser) yüzeyler kullanılacaktır. Bu saçıcı yüzeyler masif ve sert bir cins ahşaptan hazırlanacak sistematik bir şekilde, derin oyukları bulunan bir yapıda olacaktır. Bu saçıcıların etkin olabildikleri frekans aralığı derinlik ve genişliklerine bağlıdır. Bu sistem detaylarında genellikle asal sayılardan oluşan bazı sayı dizileri temel alınarak tasarım yapılmaktadır. Böylece sistemin olabildiğince periyodik tekrarlama yapmaması hedeflenmektedir. Ancak fiziksel gereklilikler nedeniyle bu saçıcıların yan yana kullanılarak büyük yüzeyler oluşturulması durumunda daha büyük ölçekli bir periyodisite oluşması söz konusudur [1] . Hem bu tekrarlanan düzen dolayısıyla saçıcılığın düşük frekanslardaki etkisinin iyileştirilmesi hem de içbükey formdan ileri gelen odaklanma etkisinin kırılması için saçıcıların birbirlerine göre daha önde ve arkada olacak şekilde montaj yapılması planlanmıştır. Ayrıca saçıcıların kanal yönlerinde de değişiklikler yapılarak yüzeylerin olabildiğince düzgünsüzleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu yerleşim basit olarak

kanalların uzun kenar boyunca elipsoid simetri eksenini tarif eden ana aksa paralel (yatay yerleşim) veya bu aksa dik (dikey yerleşim) olarak ifade edilmiştir. Kullanılması planlanan saçıcı elemanlara ilişkin bazı örnek görseller aşağıda verilmiştir.



Şekil.3 – Salon dahilinde kullanılacak saçıcı yüzeye ait iki farklı elemana ait görseller

Saçıcılardan arta kalan bölümlerde iç kabuğun yansıtıcı yüzeylerinin aynı zamanda düşük frekanslı yutuculuğa sahip olabilmesi için 16mm kalınlığında MDF veya kontraplak malzemeden imal edilmesi ve arkasında 5cm kalınlığında 52kg/m^3 yoğunlukta taşıyıcı levha kullanılması öngörülmüştür. Bu yutucu malzemeye ilave olarak çelik elipsoid yapının yangın açısından korunabilmesi için uygulanacak püskürtme yalıtım malzemesi akustik yutuculuğa da sahip olması itibariyle fayda sağlayacaktır. Salonun seyirci giriş kapısının bulunduğu arka bölümde salon giriş kapısıyla iç ahşap kabuk arasında bir tünel oluşmaktadır. Bu tünelin duvar ve tavandındaki ses yalıtım katmanına ek olarak içten en az %19 perforasyon oranına sahip delikli veya yarıklı ahşap pano arkası taşıyıcı levha ile kaplanacaktır. Bu uygulama ile sahneden gelip bu tünele ulaşan sesler yutulup salona geri dönmesi engellenecektir. En arka bölümde bulunan simetri ekseninin de geçtiği bölümde toplanan yansımaların sönmülmesi çok önemlidir. Bu itibarla bu bölgede arka boşluğu da mineral yünü takviye yapılarak kumaş kaplı akustik paneller kullanılması öngörülmüştür.

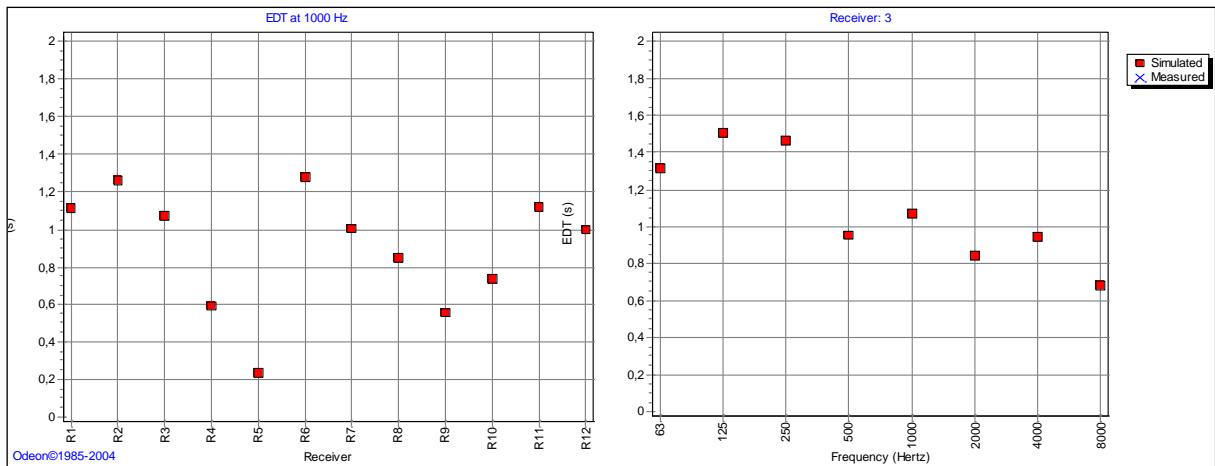
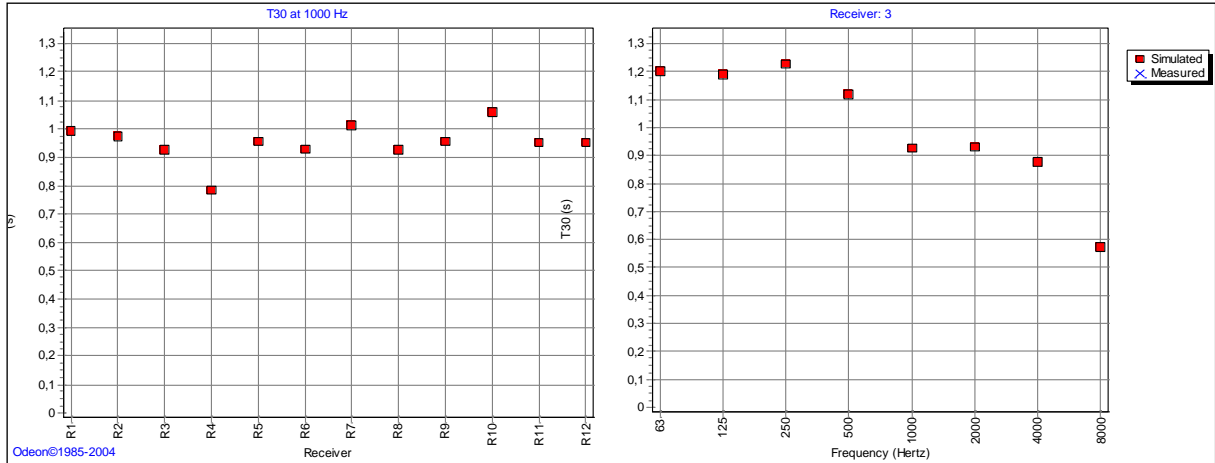
Akustik model çalışmasında salon dahilinde kullanılması kabul edilen malzemelere ilişkin bilgiler Tablo.1'de verilmiştir. Salonun iç akustik kabuğunu oluşturacak bu malzemeler dış kabuk yüzeyinden en az 30cm uzaklıkta bulunacak, statik kuşakların içerisinde kalacak şekilde kurulacak çelik kutu profil karkasa montaj edilecektir. Ahşap panellerle çelik karkas arasında polietilen ses yutucu malzeme kullanılacaktır. Yutucu taşıyıcı malzeme tüm kabuğu dışarıdan saracak olup, taşıyıcı levha ahşap akustik panellere değmeyecek şekilde montaj edilecektir. Böylece düz panoların düşük frekanslardaki panel yutucu etkisi maksimize edilecektir.

Salon içerisinde çeşitli mekanik sistemlerin yansıra teknik aydınlatma ve ses sistemlerinin asılması amacıyla planlanan ve tavandan sallanacak platform sistemi önemli bir yüzey düzgünsüzlüğü sağlayacaktır. Ancak yine de tavan altından belirli kotlarda ve belirli fiziksel büyüklüklerde üçgen yansıtıcı ve saçıcı elemanlar sarkıtılması planlanmıştır. Bu elemanların üç boyutta yerleşiminde sahneden gelen ses dalgalarının olabildiğince seyirci bloğu üzerine ve dağınık bir şekilde yansıtılması hedeflenmiştir. Bu malzemelerin havada asılı durumda yansıtıcılar olması ayrıca genel çınlanımın artırılmasına ve ses ışınlarının serbest yol uzunluklarının (mean free path) uzamasına yardımcı olacağı değerlendirilmiştir.

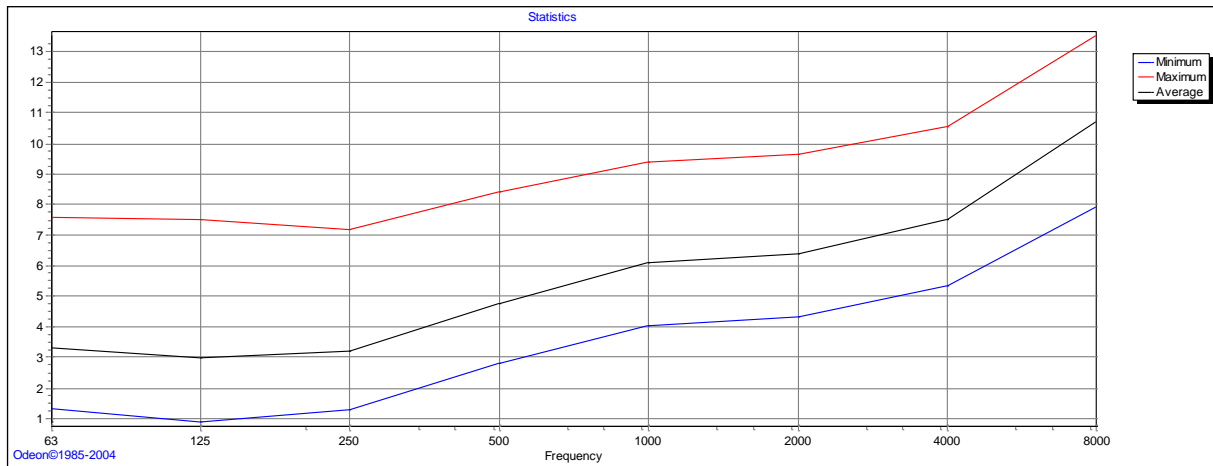
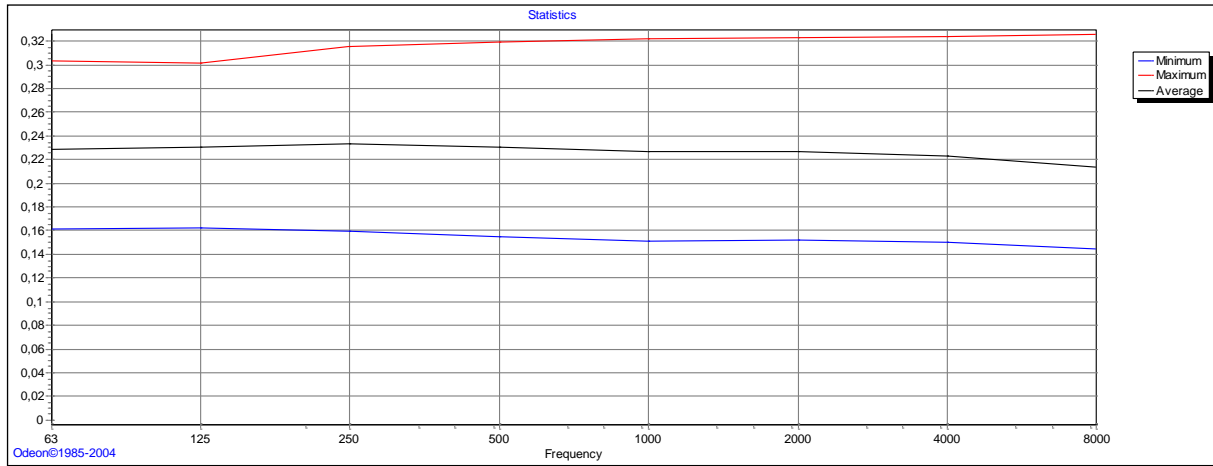
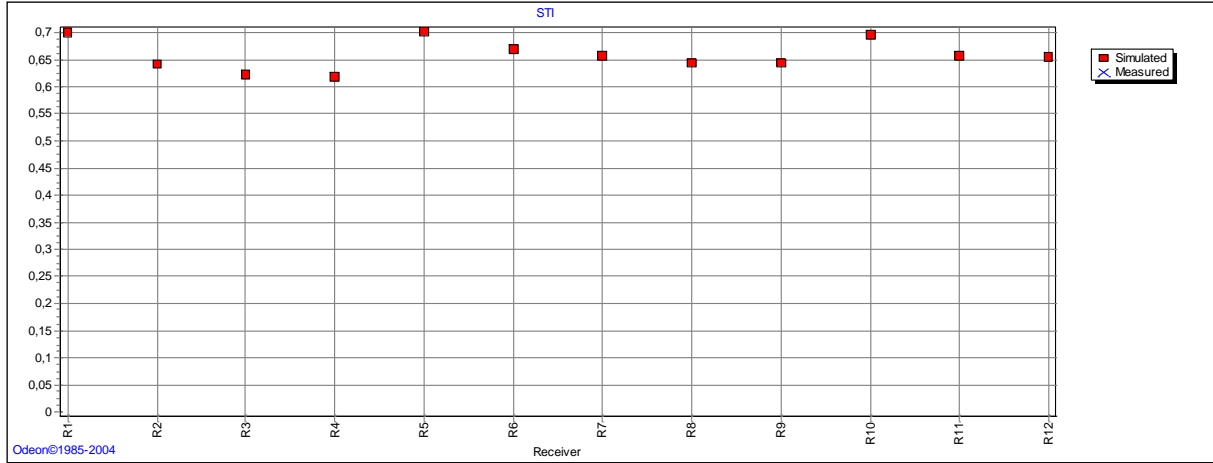
Tablo.1 – Akustik hesaplarda kullanılan yutuculuklar tablosu

Malzeme	Frekansa Bağlı Yutuculuk Miktarı (α_s)						Alanı
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
16mm Düz Ahşap Akustik Panel	0,18	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	287m ²
Ahşap Saçıcı Akustik Panel	0,,12	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	305m ²
Dolu Koltuklar – Hafif Döşemeli Koltuk	0,51	0,64	0,75	0,80	0,82	0,83	170m ²
Halı (Sert zemin üzerinde)	0,01	0,01	0,04	0,30	0,27	0,35	269m ²
Sahne Zemini (Kalın Ahşap Kaplama)	0,15	0,11	0,10	0,07	0,07	0,07	42m ²
Çift Cam(Gözlem Odaları)	0,01	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	4m ²
50mm(>70kg/m ³)Camyünü Akustik Panel	0,70	0,45	0,65	0,60	0,75	0,65	15m ²

Yukarıda verilen uygulamaların gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilebilecek akustik performansa yönelik akustik modelleme sonuçlarına ilişkin bazı özet bilgiler aşağıda verilmiştir.



Şekil.4 – Sanal akustik modele göre salon dahilinde değişik alıcı noktaları için çınlanım ve erken sönüm süresi değerleri



Şekil.5 – Sanal akustik modele göre salon dahilinde değişik alıcı noktaları için konuşmanın anlaşılabilirliği, erken yanal enerji oranı ve berraklık parametrelerinin istatistiki sonuç tabloları

3. SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışmada elipsoid formdan ileri gelen aksaklıkların giderilmesine özel önem verilmiş ve buna yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir. Salon içerisinde bir elektroakustik düzenek kurulacak olmakla birlikte tasarım aşamasında salonun doğal akustiğinin elektronik güçlendirmeye ihtiyaç duymadan en uygun şekilde performans göstermesi hedeflenmiştir. Ancak yoğun bir şekilde kullanılması planlanmış olan akustik saçıcı elemanların uygulanması durumunda dahi EDT parametresinin salon dahilindeki farklı alıcı noktalarında geniş bir aralık içerisinde olacağı anlaşılmaktadır. Salon geometrisine çok bağlı olan EDT parametresi, sönüm eğrisinin ilk 10dB azalmanın gerçekleştiği bölümlerle ilgilenmesi itibarıyla özellikle müzik fonksiyonu için ayrı bir önemi vardır. Erken ve güçlü erken yansımaların oluşması buna neden olmaktadır. Bu itibarla EDT açısından performansın iyileştirilebilmesi için dinleyici bloğunun yan yansımaları güçlü bir şekilde aldığı noktalarda geniş saçıcı yüzeyler planlanmıştır. Ancak buna rağmen özellikle salonun en arka sıralarındaki performansın düşük olacağı değerlendirilmiştir.

Salon dahilinde saçıcı ve yansıtıcı yüzeylerin yoğun bir şekilde kullanılmış olması doğal akustik performans açısından diğer önemli bazı parametrelerin beklenen düzeyler civarında olmasını sağlamıştır. Çınlanım süresi dağılımı (RT_{60}) ve erken yanal yansıma oranları (LF_{80}) hedeflenen aralık içerisinde olup, berraklık (C_{80}) parametresi orta ve yüksek frekanslarda hedeflenenden yüksek çıkmıştır. Yoğun miktarda kullanılan yansıtıcı yüzeyler ve hacimin küçük olması nedeniyle ortaya çıkan bu durumda klasik müzik fonksiyonu için uygun akustik şartları [2] sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Cox, Trevor J., D'Antonio, Peter; Acoustic Absorbers and Diffusers – Theory, Design and Application, p.248-257, 2004
2. Templeton, Duncan; Acoustics in the Built Environment, p.64, 2nd Edition, 1997