

Heydar Aliyev Merkezi Oditoryumu Akustik Tasarım Süreci

The Acoustic Design Process for the Auditorium
at the Heydar Aliyev Centre

ENGLISH SUMMARY ON PAGE 151

ZÜHRE SÜ GÜL*
MEHMET ÇALIŞKAN**

» 1. Giriş

Azerbaycan'ın Bakü şehrinde yer alan Heydar Aliyev Kültür ve Kongre Merkezi temel olarak kütüphane, müze, oditoryum ve çokkamaçlı salon işlevlerini barındıran hacimlerin tek bir çatı altında bir araya gelmesi ile yapılaşmıştır. Yürütülen akustik tasarım süreci akustik ölçütler doğrultusunda farklı kullanımlara uygun konfor değerlerini sağlamaya yönelik yöntem/teknik, detay ve malzeme üzerine çözüm önerilerini kapsar. Bu süreçte mimari ve estetik konsept/değerlerin sınırları içerisinde kalmak önceliklidir.

Zaha Hadid Architects (ZHA) imzasına sahip yapı sürekli tek bir örtü halinde katlanarak devam eder ve kıvrımları arasında temel işlevler tanımlanır. Müze kütleleri cam cephesiyle doğal peyzajdan yukarı doğru hafif bir tepe olarak yükselir. Başka bir baskın eleman kuzeydeki kütüphane kıvrımının daha dik ve göze çarpan kütleleridir. Oditoryum ve çokkamaçlı

salon, dış kabuğun alçalarak Kültür Meydanı olarak tariflenen topografyaya aktığı yatay kütlelerin içerisinde konumlandırılmıştır. Her iki mekân meydana ile plazaya doğrudan açılır.

1200 kişilik oditoryum konferans, konser ve opera kullanımlarına evsahipliği yapacak bir çokkamaçlı salon kurgusundadır. Tasarımında dar kesitte iç içe geçmiş halkaların birbirini sarması ile bütünleşen oditoryum iç hacmi ahşap bitirme yüzeyleri ve koltuklar haricinde farklı bir malzemeye yer vermez. Ana giriş kapıları iç galerilerle bağlantılı fuayelere açılır. Bütün bu galeriler ise çatı örtüsü altında birbirine bağlaşıp akustik alanlar yaratır (1, 2).

2. Oditoryum Akustik Tasarımı

Mimari akustikte birbirine zıt akustik koşulları gerektiren konuşma ve müzik etkinliklerinin bir arada kullanımı çözümü en zor mekân tipini doğurur. Farklı kullanımlar için gerekli akustik konfor koşullarından ödün vermemek üzere değişken akustik alanların yaratılması gerekmektedir. Örneğin

Şekil 1. Heydar Aliyev Merkezi, meydan.
Fig. 1. Heydar Aliyev Centre, plaza.

Foto: Yasemin K. Enginöz



konuşmanın anlaşılabilirliği çınlamanın düşük olduğu daha kuru bir mekânda yüksek düzeyde sağlanabilirken bu tarz bir mekân opera ya da senfonik müzik için ölü ve doğal ses düzeyleri ya da öznel olarak sesin yüksekliği açısından yetersiz kalacaktır. Senfonik müzikte mekânın akustik açıdan canlı ve dinleyici alanlarında homojen ses dağılımına sahip olması gerekmektedir. Bununla ilgili olarak sesin yakınlığı/oda izlenimi, canlılık, sıcaklık, berraklık, parlaklık, sahne ve orkestra alanında denge, karışım ve birliktelik, doku, tonal kalite ve dinamik aralık gibi bütün öznel parametreleri uygun aralıklara getirmek için ilgili nesnel akustik parametreler üzerinden bir optimizasyon çalışması gereklidir.

Heydar Aliyev Kültür Merkezi akustik tasarımındaki güçlük benzer şekilde konferans, konser ve opera performanslarına yer verecek çokamaçlı kullanıma uygun birbirinden farklı ve zıt akustik gereksinimlerin tümünü birden sağlayabilmektir. Her bir işlev için öncelik sırasına göre optimum değerleri yakalayabilmek üzere malzeme, form, konum ve hacim mimari girdileri kullanılarak bir optimizasyon/en iyileştirme çalışması yürütülmüştür. Ana mimari çizgide herhangi bir değişiklik/tolerans söz konusu olmadığı için malzeme ve yüzeylerde önemli değişimlere sebep vermeden farklı gereksinimlere yönelik uygun akustik koşulları sağlayabilmek önceliklidir.

Projenin ilk aşamasında uluslararası standartlara göre çokamaçlı kullanıma uygun akustik parametre sınır değerleri belirlenmiştir. Mimari grubun konsept projesi üzerinden ön çalışma yapılarak, var olan tasarımın akustik açıdan yeterliliği değerlendirilmiştir. Ön değerlendirme için gerekli olan akustik model geliştirilmiş ve var olan malzeme, hacim ve formlarla ilk olarak akustik simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Akustik simülasyona veri olarak girmek üzere mekânın tümünün gemi gövde kesitinde kaplandığı masif ahşap malzeme örneğinin empedans tüpünde ses yutma katsayısı değerleri ölçülmüştür.

Mekân mimari yaklaşım gereği tümüyle iç bükey hatlarla dalgalanmalardan oluşan hiçbir düz çizgi ve dik köşe oluşumuna izin vermeyen



Foto: Hélène Binet

bu yansıtıcı ahşap yüzeylerden oluşmaktadır. İç bükey yüzeyler ses odaklanmaları ve sert yansımaları neden olarak, salon içerisinde belli bölgelerde sesin patlamasına öteki alanlarda ise ölü noktaların oluşumuna yol açar. Bu nedenle büyük iç bükey geometri sese duyarlı mekânlarda çok tercih edilmeyen yüzey formudur. Benzetimlerle de desteklenen bu marazı engellemek üzere ilk aşamada yüzey formlarını büyük dairesel dilimlerden daha küçük dalgalanmalara kaydırarak salon içinde saçınıcı artırarak düzgün bir ses alanı oluşturmak hedeflenmiştir.

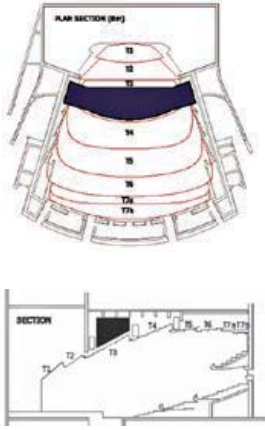
İkinci olarak mekânın farklı işlevlere göre kullanımını desteklemek üzere bir yöntem geliştirme çalışması yürütülmüştür. Değişken akustik koşullar ancak mimari parametrelerden malzeme ya da hacmin kullanıma göre farklılaştırılması ile yaratılabilir. Mekânın mevcut malzemelerinin farklı kullanımlar için değiştirilmesinin mimari olarak uygun görülmemesi ve döner yüzeylerin hem mühendislik hem de ekonomik olarak önerilmesinin doğru bir çözüm olmaması ile yeni yöntem arayışına gidilmiştir. Bu noktada akustik biliminde yeni bir araştırma konusu olan bağlaşıklık hacimlerde enerji sönümlemesinden yararlanılmıştır.

Optimizasyon çalışmaları sırasında geri dönüşümlü olarak akustik benzetimlerden yararlanılmış, benzetimlere girdi olacak malzeme önerilerinin saçınıcı karakteristikleri geliştirdiğimiz yazılımlarla test edilmiş, ses yutma katsayısı değerleri

ise empedans tüpü ölçümleri ile hesaplanmıştır. Oda akustiği kapsamında ileriki bölümlerde ayrıntıları sunulan çalışmalara ek olarak yapı akustiği ve gürültü kontrolü çerçevesinde çalışmalar yürütülmüştür. Salonu öteki yan mahallerden ayıran iç ve dış kabuk hiçbir ses köprüsüne sebebiyet vermeyecek şekilde kutu içinde kutu yaklaşımında birbirinden kopartılarak, her birleşim noktası için özel akustik detaylar geliştirilmiştir. Bu sayede fuaye, müze alanı, mekân hacimleri gibi çevre mahallerden oditoryum içerisine iletilecek gürültüye engel olunarak benzer şekilde oditoryumdan öteki kamusal alanlara sızması olası ses de en aza indirilmiştir.

2.1. Bağlaşıklık/Akuple Hacimlerde Ses Alanları: Heydar Aliyev Merkezi Oditoryumu akustik tasarım sürecinde bağlaşıklık hacim tekniği ile zamana göre ses akışının kontrolü, mimari tasarıma en az müdahale yanısıra gerçekçi ve uygulanabilir bir yöntem olarak tercih edilmiştir. Bu bölümde Oditoryumun çokamaçlı kullanımına yönelik farklı ses alanı senaryoları oluşturmada uygulanan teknik ve geliştirilen çözüm önerileri anlatılmaktadır.

Son zamanlarda mimari akustikte bağlaşıklık hacim sistemleri zıt/farklı akustik alanları yaratabilme potansiyelleri nedeniyle yurtdışında özellikle konser salonu tasarımlarında uygulanmaya başlanmıştır. Bu sayede berraklık ve çınlama gibi birbirini ters yönde etkileyen iki akustik parametre aynı anda sağlanabilirken öte yandan



Şekil 1. Bağlaşık hacim konumu; plan (üstte), kesit (altta); kaynak: MEZZO Stüdyo, 2010.

Fig. 1. Location of the coupled volume; plan (above), cross-section (below); source: MEZZO Stüdyo, 2010.

	Aktivite	Sahne kabuğu	Orkestra çukuru	Bağlaşık hacim kapakları	Orkestra
	Konferans	Kaldırılmış halde	Kapalı	Kapalı	Yok
	Konser	Yerinde	Kapalı	Açık	Sahne üzerinde
	Opera	Kaldırılmış halde	Açık	Kısmen açık	Orkestra çukuru içerisinde

Çizelge 1. İşleve yönelik akustik tasarım önerileri, kaynak: MEZZO Stüdyo, 2010.
Table 1. Acoustic design proposals relating to function, source: MEZZO Stüdyo, 2010.

yine benzer yöntemle farklı müzik üslup/tarzında performansların gereksinim duyduğu değişken akustik koşullar yaratılabilmektedir. Ayrıca konuşma ve müziğin bir arada kullanılacağı mekânlarda değişken hacim-malzeme eşleşmeleri ile çınlama süreleri kontrol altına alınabilmektedir. Bu teknik çerçevesinde çınlama odası işlevinde büyük ve yansıtıcı ek hacimler ana mekâna/salona sahne kulesi (sahne



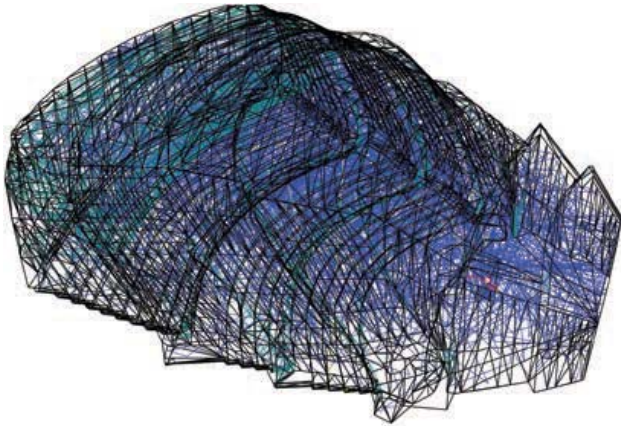
Şekil 2. Sahnedan salona doğru ODEON 3DOpenGL görünüşü, kaynak: MEZZO Stüdyo, 2010. Fig. 2. View of ODEON 3DOpenGL seen when looking from stage to auditorium, source: MEZZO Stüdyo, 2010.

kulesi kupağı), salon yan duvar yüzeyleri ya da salon tavanındaki (dağınık kupağı) kapak ya da kapılar vasıtasıyla bağlanarak mekânlar arası enerji akışı sağlanabilir (3, 4).

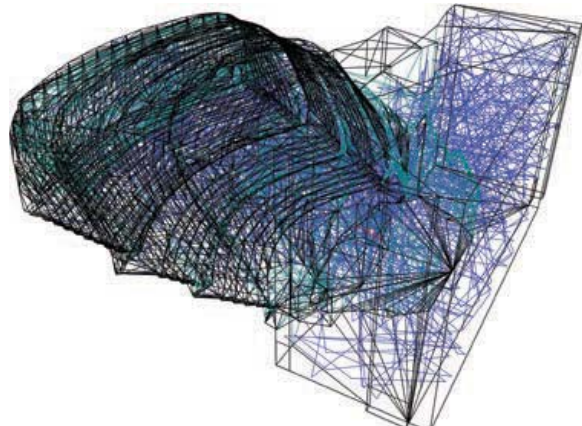
Bağlaşık hacim sistemi temelde iki ya da daha çok hacmin kupağı kapağı olarak tanımlanan akustik açıdan geçirgen bir yüzey ile birbirine bağlanmasından oluşur. Böyle bir sistemde ses enerjisinin sönümlenmesi için gerekli süre mekânların kapalı durumlarında (bağlanmamış) birbirinden yeterli düzeyde farklıysa, kapaklar açık iken enerjisi fazla olan mekândan ötekine doğru bir ses akışı gerçekleşir. Bu enerji akışı gereksinim duyulan akustik karakterleri sağlayan çoklu eğimli (non-exponential) bir sönümlenme eğrisi yaratır (5). Hızlı/erken sönümlenen ilk enerji ile konuşmada netlik, müzikte berraklık ve detayların birbirinden ayrımı

sağlanırken daha yavaş sönümlenen ve bağlaşık hacimlerden gelen geç enerji ile konuşmada sesin gücü, anlaşılabilirlik, müzikte çınlama ile mekân tarafından kuşatılma/zarflanma hissi gibi normalde birbirine zıt öznel-nesnel ölçütler birlikte sağlanabilir. Dünyada akustik tasarımlarında bağlaşık hacim konseptinden yararlanan önemli konser salonları arasında şunlar sıralanabilir: Festival Hall, (Tampa, FL, ABD); Great Hall, (Hamilton, Ontario, Kanada); Lucerne Concert Hall, (Lucerne, İsviçre); Myerson-McDermott Hall, (Dallas, TX, ABD); Verizon Hall, (Philadelphia, PA, ABD); Bass Performance Hall, (Fort Worth, TX, ABD); Symphony Hall, (Birmingham, İngiltere).

Akustik kupağı yöntemi ile değişken, uzun/kısa, belirgin ve performansa bağımlı ses alanları yaratmak ya da başka bir deyişle akustik parametreleri kontrol



Şekil 3. Oditoryum ışın izleme modeli, sahne kulesi hariç, kaynak: MEZZO Stüdyo, 2010. Fig. 6. Auditorium ray tracing model, apart from backstage, source: MEZZO Stüdyo, 2010.



Şekil 4. Konferans kullanımı ışın izleme modeli, kaynak: MEZZO Stüdyo, 2010. Fig. 4. Ray tracing model for lecture use, source: MEZZO Stüdyo, 2010.

etmek bir takım mimari parametrelerin optimize edilmesine bağlıdır. Bunların içerisinde ana geometri, hacim, boyutlar, form, malzeme özellikleri ile kuplaj kapaklarının boyut ve konumları yer alır. Heydar Aliyev Merkezi Oditoryumu akustik tasarımında akustik parametre değerlerini işleve uygun sınırlara çekebilmek üzere bütün bu mimari parametreler üzerinden yoğun bir optimizasyon çalışması yürütülmüştür. Özet olarak bağlaşıklık hacim yöntemi ile Oditoryum asma tavanı üzerinde belli bir hacim kapatılmış (Bkz. Şekil 1, T3), bu hacmin içerisinde kullanılan malzemeler ve boyutları ile oynanarak doğal çınlama süresi ana hacmin üç katı olacak şekilde akort edilmiştir. Bağlaşıklık hacim tavanında döner kapılar kapatılıp açılarak belli oranlarda ana hacme birleşmektedir. Bağlaşıklık hacmin ana hacme katılması ile salon içerisine bu ek hacimden ses enerjisi fazlası akmakta, sonradan gelen ve ses sönmüleme eğrisinin kuyruğunu uzatan bu enerji ile öznel olarak mekân daha canlı ve sesi güçlendirir niteliğe kavuşmaktadır. Bu sayede konferans kullanımı için salon üstü hacmi ana mekânında kapılar kapatılarak daha düşük çınlama süresi ve yüksek anlaşılabilirlik değerleri elde edilirken, kapılar istenilen farklı oranlarda açılarak opera veya konser kullanımına uygun daha yüksek çınlama süreleri sağlanmaktadır.

Salon tavanı arkasındaki bağlaşıklık hacmin konser işlevinde akustik verimlilik sağlamak üzere kullanımının yanısıra bir başka bağlaşıklık hacim olarak sahne kulesi farklı bir amaç için kullanılmıştır. Bu konseptte hacim tümüyle ses yutucu malzeme ile ölü hale getirilmiş, salonun konuşmaya yönelik kullanımlarında sönmüleme merkezi olarak farklı bir işlev üstlenmiştir. Opera ve konferans kullanımında salonun mevcut hacminin fazla gelmesi ile sahne üstü kanopisi açılmış, sahne kulesi, bağlaşıklık hacim ve salon arasında enerji dengelerinin kurulması sağlanmıştır. Farklı kullanımlara uygun hacim-orkestra kabuğu kurguları Çizelge 1’de özetlenmektedir.

2.2. Akustik Benzetim/Simülasyon Çalışmaları: Farklı mimari akustik kurguları tasarım aşamasında değerlendirebilmek ve nesnel akustik

parametreleri dinleyici noktalarında hesaplayabilmek üzere bilgisayar benzetimleri dünyada en yaygın olarak kullanılan yöntemdir (6, 7). Heydar Aliyev Merkezi Oditoryumu akustik benzetimlerinde ODEON Hacim Akustığı programı kullanılmıştır (8). Benzetimlerde geometrik altlığı proje müellifi Zaha Hadid Architects’in ilettiği olduğu mimari model üzerinden basitleştirilerek geliştirilen akustik model oluşturmaktadır.

Geliştirilen akustik modelde 8.426 adet yüzey bulunmaktadır (Şekil 2). Salonun tahmini akustik etkileşimli hacim sahne kulesi ve akuple hacim hariç 8.215 m³tür.

Akustik modelin simülasyon programına aktarılması ile öncelikle ışın izleme tekniği kullanılarak ses patikaları gözlenmiş ve modelin su sızdırmazlığı test edilmiştir (Şekil 3). Daha sonra ilgili yüzeylere malzemelerin ses yutma katsayıları tanıtılmıştır. Bu malzemelerden başlıcası olan 5 cm kalınlığındaki masif ahşap duvar, tavan bitirmeleri için kullanılacak meşe-MDF kesitinin ses yutma katsayısı MEZZO Stüdyo laboratuvarında empedans tüpü ölçümleri ile belirlenmiştir. ZHA tarafından seçilmiş olan koltuğun akustik verileri üretici firmadan temin edilmiştir. Konuşmacı, orkestra ve solist ifadesindeki ses kaynağı konumları konferans, konser ve opera için ayrı ayrı tanımlanmış, alıcı olarak dinleyici koltuk yüzeyleri seçilmiştir. Dinleyici yüzeylerinin 90x90 gridlere bölünmesi ile simülasyonun bir grup çıktısını oluşturan ses dağılım haritaları elde edilmiştir. Kullanımlara göre akustik analiz sonuçları sonraki bölümlerde özetlenmektedir. Değerlendirmelerde kullanılan akustik parametre sınır değer ve aralıkları (Çizelge 2) çokamaçlı salon kullanımı ve salon hacmi göz önüne alınarak belirlenmiştir (9, 10).

Parametre	Öneri aralık	Hissedilebilir fark
Konferans		
T30	1.0 - 1.4s (500-1000Hz ortalaması)	5% (yaklaşık 0.1 s)
EDT	0.9 - 1.4s (500-1000Hz ortalaması)	5% (yaklaşık 0.1 s)
SPL	salon içi ses düzeyi farklılıkları <10 dB	2dB
C80	0 ile +4dB	1dB
Konser		
T30	1.7 - 2.4s (500-1000Hz ortalaması)	5% (yaklaşık 0.1 s)
EDT	1.6 - 2.4s (500-1000Hz ortalaması)	5% (yaklaşık 0.1 s)
SPL	salon içi ses düzeyi farklılıkları <10 dB	2dB
C80	-4 - 0dB	1dB
LF	> 0.20	0.05
G	salon içi ses düzeyi farklılıkları <10 dB	2dB
Opera		
T30	1.4 - 1.8s (500-1000Hz ortalaması)	5% (yaklaşık 0.1 s)
EDT	1.4 - 1.8s (500-1000Hz ortalaması)	5% (yaklaşık 0.1 s)
C80	-2 ile +2dB	1dB
LF	> 0.15	0.05
G	salon içi ses düzeyi farklılıkları <10 dB	2dB

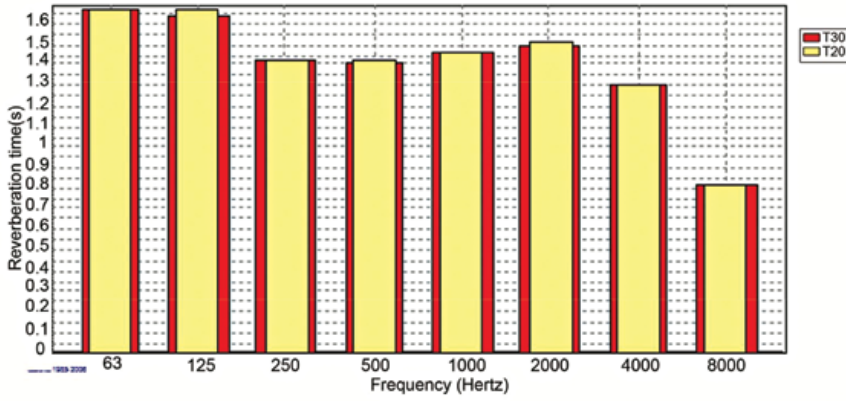
Çizelge 2. Akustik parametre hedef değerleri.

Table 2. Target values for acoustic parameters.

3. Akustik Tasarım Analizleri

3.1. Konferans Kullanımı: Konferans kullanımı çokamaçlı salonun öncelikli etkinliği olarak tariflenmektedir. Dolayısıyla bu senaryoda konuşmanın anlaşılabilirliği önem kazanmaktadır. Yansıtıcı ahşap yüzeylerle birlikte yüksek hacim, çınlama süresini artıran faktörlerdir. Çınlama süresinin istenilen sınırların üstünde olması ise anlaşılabilirliği olumsuz yönde etkiler. Çınlama kontrolü için ses yutma alanının artırılması gerekmektedir. Bu sebeple öncelikle salon arka duvarlarında meşe çıtalar arkasına ses geçirgen kumaş kaplı mineral yünü saklanmıştır. Bununla birlikte koltuk ve dinleyicilerin ses yutma alanına katkısı belirli bir sınırdan kalmış ve çınlama sürelerini daha fazla düşürmek üzere ek önlemler gerekmiştir. Çözüm olarak konferans senaryosunda açık olarak tariflenen sahne kulesinin ses sönmüleme merkezi olarak kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 4). Bunu sağlamak üzere sahne kulesi bütün duvar ve tavan yüzeylerinde tozumaya karşı ön yüzeyleri ses geçirgen siyah cam-tekstili kaplı, yüksek ses yutma kapasitesine sahip, 10 cm kalınlıkta ve 50 kg/m³ yoğunlukta mineral yünü uygulanmıştır.

Alınan önlemler konsept tasarım üzerinden yürütülen benzetimlerde elde edilen çınlama sürelerinin yaklaşık



Şekil 5. Konferans kullanımı global çınlama süreleri (T30&T20), kaynak: MEZZO Stüdyo, 2010.
Fig. 5. Global reverberation periods for lecture use (T30&T20), source: MEZZO Stüdyo, 2010.

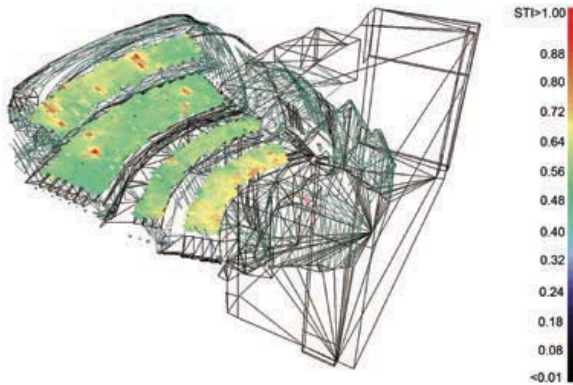
0,3 s dolayında düşürülerek globalde 1,4 s'lik limitlerin altına çekilmesini sağlamıştır (Şekil 5). Öte yandan farklı dinleyici konumlarında birbirine yakın/ eşdeğer çınlama süreleri gözlenmektedir. Bu durum arka duvarda daha yoğun ve küçük ölçekte, yan duvarlarda ise kıyasla daha geniş boyutlarda form bölünmeleri/ parçalamalarının ses saçımına olumlu etkisi olarak değerlendirilebilir.

Arka duvardaki çıtaların ses saçımına katkısı sayesinde kaynağa en uzak konumdaki bu geniş çaplı iç bükey yüzeyin oluşturabileceği ses patlaması ve eko benzeri marazlar engellenmiştir. Çınlama süreleri ile doğrudan ilintili olan konuşmanın anlaşılabilirliği indisi (STI) haritalarına göre %90 dinleyici alanında 0.55 üzerinde değerler ile "Orta-İyi" olarak ifade edilen anlaşılabilirlik sağlanmıştır (Şekil 6). Konuşmacının güçlendirmesiz doğal sesi üzerinden yapılan bu değerlendirme elektro-akustik sistem varlığında anlaşılabilirliğin "İyi-Çok İyi" nitelemesine ulaşacağını ifade etmektedir.

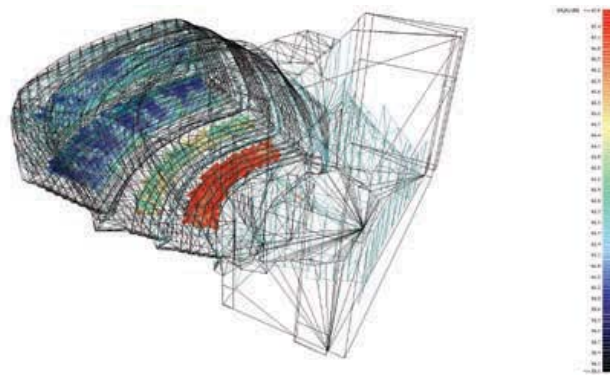
Konuşmanın anlaşılabilirliği indisine bir başka etken arka plan gürültüsüdür. Salon dış kabuğu çevresel gürültünün çatı, fuaye gibi dolaylı yollardan mekân içerisine geçişine yeterli düzeyde engel olacak şekilde tasarlanmıştır. Kutu içinde kutu konseptinde geliştirilmiş kesit katmanlaşması dış kabuğu iç kabuktan akustik anlamda tümüyle kopartmaktadır. Titreşim yalıtıcı tavan askı elemanları, çift cidarlı duvar sistemleri ve dilatasyon/yüzer döşeme önlemleri ile gürültü kontrolünün ifadesi olan yapı yollu (IIC) ve hava doğuşumlu ses geçiş kaybı indisi (STC) değerleri ölçütleri rahatlıkla sağlanmaktadır. Başka bir gürültü kaynağı olarak havalandırma sistemi (HVAC) uluslararası standartlarda çokamaçlı salonlar için belirtilen NR-25 ölçütünü sağlayacak şekilde GMD Mühendislik tarafından çalışılmıştır. Benzetimlere bütün senaryolar için arka plan gürültüsü olarak frekans bazında NR-25 karşılığı değerler (dBA) girdi olmuştur (11).

3.2. Konser Kullanımı: Konuşma için yeterli ses yutma alanı sağlandıktan sonra konser performanslarında ön plana çıkan müzikle ilintili akustik parametrelerin optimizasyonuna başlanmıştır. Bu aşamada konuşmanın anlaşılabilirliğinin ön planda olduğu konferans kullanımında kıyasla düşük olan çınlama sürelerinin yükseltilmesi gerekmektedir. Salonu müzik kullanımına uygun hale getirmek üzere önceki başlıklarda detaylandırılan bağlaşıklık hacim konseptinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda konferans kullanımında uygulanan bitirme yüzeylerine müdahale edilmemiş, hacim ilişkilerinde oynamalar ile çözüm aranmıştır. Öncelikle sahneye yerleştirilen orkestranın kendi içerisindeki dengesini faydalı ses yansımaları ile korumak üzere ön sahne etrafında bir sahne kabuğu tasarlanmıştır. Bu sayede salon ses sönümleme merkezi olan sahne kulesinden akustik anlamda tümüyle koparılmıştır. Bu haliyle hâlâ yetersiz kalan çınlama sürelerini yükseltmek ve aynı zamanda berraklık değerlerini çok düşürmemek amacıyla salon üzeri tavanında kapatılan hacmin (çınlama odası) kapakları tümüyle açılarak salona ek ses enerji akışı sağlanmıştır.

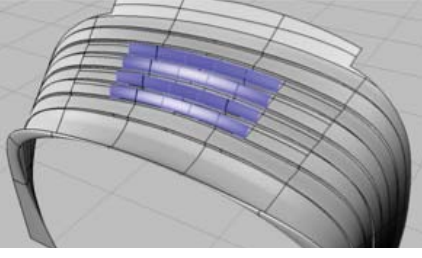
Bağlaşıklık alan hacmi mimarının izin verdiği konum ve boyutlarda tasarlanmıştır. İzin verilen ölçülerle yaklaşık 600 m³'lük hacim sahneye en yakın halka üzerindeki tavan boşluğuna konumlandırılmıştır. Ses enerjisinin bağlaşıklık alan hacminden salona doğru akmasına olanak sağlayacak çınlama süresi farklılığı hacim içerisinde kullanılan baskın yansıtıcı yüzeyler ve az sayıda yutucu yüzey arasındaki dengeyle elde



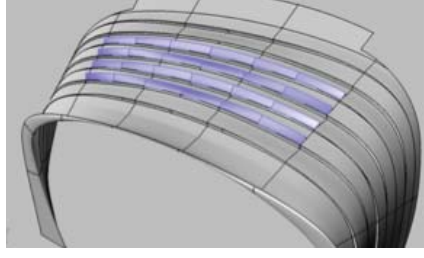
Şekil 6. Konferans kullanımı STI dağılım haritası, kaynak: (MEZZO Stüdyo, 2010)
Fig. 6. STI distribution map for lecture use, source: (MEZZO Stüdyo, 2010).



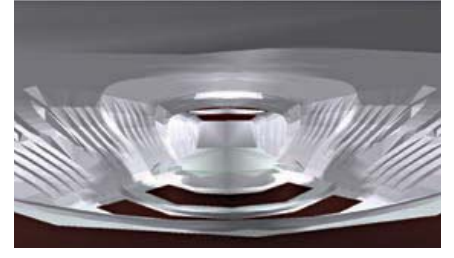
Şekil 10. Konser kullanımı SPL(A) dağılım haritası, kaynak: MEZZO Stüdyo, 2010.
Fig. 10. SPL(A) distribution map for concert use, source: MEZZO Stüdyo, 2010.



Şekil 7. Bağlaşık hacim kapakları, SANSET İKOOR önerisi, kaynak: SANSET İKOOR, 2010.
Fig. 7. Coupled volume covers, SANSET İKOOR proposal, source: SANSET İKOOR, 2010.



Şekil 8. Bağlaşık hacim kapakları, ZHA Architects önerisi, kaynak: Zaha Hadid Architects, 2010.
Fig. 8. Coupled volume covers, ZHA Architects proposal, source: Zaha Hadid Architects, 2010.



Şekil 9. Salondan sahneye doğru ODEON 3DOpenGL görünümü, kaynak: MEZZO Stüdyo, 2010. Fig. 9. View of ODEON 3DOpenGL as seen from stage to auditorium, source: MEZZO Stüdyo, 2010.

edilmiştir. Öte yandan mimari ekibin görsel anlamda onay verdiği, akustik yeterliliğin sağlandığı ve uygulamada en makul alternatif belirlenene kadar, kuplaj kapaklarının konum, boyut ve açılım yönleri ile ilgili pek çok çalışma yürütülmüştür (Şekil 7-8). Büyük tek bir açıklık yerine ses saçınımına olanak sağlayan ve estetik anlamda daha uygun bulunan parçalı modül önerisi kabul edilmiştir. Kapakların genişlikleri seste renklenmeye ve frekans bazında rezonansa sebebiyet vermeyecek, öte yandan yeterli ses akışına olanak sağlayacak boyutlarda tasarlanmıştır. Kontrol edilebilir kapaklar sayesinde aynı zamanda konser ve opera kullanımlarında gereksinim duyulan farklı oranda enerji akışları üretilebilmiştir.

Bütün bu akustik tasarım önerileri ile çınlama süreleri (T30) orta frekanslarda konser salonlarında farklı tarz/üslupta pek çok klasik müzik performansı için ideal olarak belirlenen 2 s mertebesine çekilmiştir. Öte yandan düşük frekansların orta frekanslara göre belirli düzeyde baskın olması ile elde edilen ve sıcaklık öznel parametresine karşılık gelen nesnel parametrelerden bas oranı 1,30 değeri ile ölçütleri rahatlıkla sağlamaktadır.

3.3. Opera ve Bale Kullanımı: Opera ve bale etkinliklerine evsahipliği yapacak salon benzetimlerinde kullanıma uygun olarak orkestra çukur kapakları açılmış ve çukur içerisinde orkestra ses kaynağı olarak tanımlanmıştır (Şekil 9). Konser senaryosundaki sahne kabuğu kaldırılarak operada dekor ve ışık sisteminin kontrolüne/değişimine yönelik teçhizatı barındıran sahne kulesi salona dahil edilmiştir. Sahne kulesi ve salon içerisindeki malzemeler konferans ve konser kullanımında olduğu gibi sabit bırakılmıştır. Konser kullanımına göre

daha düşük, fakat konferansa göre daha yüksek çınlama süresi gereksinimindeki bu kurguda denge bağlaşık hacim kapaklarının kısmi olarak açılması ile sağlanmıştır.

Akuple hacimdeki ses enerjisinin geri dönüşü konferansa göre çınlama süresini artırmış ve yumuşak geçişli çoklu ses enerjisi sönmüleme eğrisi oluşturmuştur. Opera kullanımı benzetim sonuçlarına göre dinleyici noktalarında gözlenen ortalama 1,65 s'lik çınlama süresi değerleri öneri aralık olan 1,4 ile 1,8 s'yi sağlamaktadır. Dünyada sıralamada akustığı en iyi olan konser salonlarında orta frekanslarda çınlama süresi ortalamaları 1,6 s - 1,8 s aralığında değişmektedir. Çokamaçlı bir kurguda tasarlanan Oditoryum opera akustığı bu koşullarda çok iyi olarak nitelendirilebilir. Elde edilen 1,18'lik bas oranı değeri opera-bale kullanımına uygundur. Dinleyici konumlarında ses düzeyi (SPL-A) dağılımları ses gücü (yükseklikte) ve eşdeğer/homojen ses alanı değerlendirmesinde önemlidir. Opera kullanımında dinleyici konumları arasındaki farklılık 10dB'den az olarak gözlenmektedir (Şekil 10). Bu değer sesin mekân içerisinde homojen yayıldığını ve akustik marazların en aza indirildiğini ifade etmektedir.

4. Sonuç

Heydar Aliyev Merkezi akustik tasarım sürecinde konferans, konser ve opera çoklu kullanımına olanak sağlayacak şekilde malzeme, detay ve hacim parametreleri değerlendirilerek gereksinime yönelik farklı akustik çözümler üretilmiştir. Mimari dilin oldukça baskın olduğu bu yapıda görsel anlamda en az düzeyde müdahale ile akustik konfor koşullarının optimize

edilmesi temel zorluk olmakla birlikte, bu kısıtlamalar bilimsel anlamda yeni tekniklerin geliştirilmesi ve pratikte uygulanmasına kapı açmıştır.

Bağlaşık alanlar konseptinde tavan arasına saklanmış akuple hacim konser ve opera kullanımlarında kapakların gerekli düzeylerde açılması ile çınlama süresini yükselterek dinleyici konumlarında canlı ses alanlarının yaratılmasına olanak sağlamıştır. Öte yandan kapatılan kapaklar ile bu hacim konferans kullanımında hariç tutulmuş, bunun yerine uygulanan yüzey malzemeleri ile ölü hale getirilen sahne kulesi salona dahil edilmiştir. Bu sayede açık pencere mantığında sahneye kaçan fazla enerjinin ve zararlı olabilecek ses yansımalarının salona dönüşü engellenmiş, çınlama süresi konuşmanın anlaşılabilirliğini iyileştirecek şekilde öteki işlevlere kıyasla düşürülmüştür. Sonuç olarak üç kullanım senaryosunda da akustik konfor koşullarının olası en iyi düzeylere çekilmesi mümkün olmuştur.

Heydar Aliyev Merkezi Oditoryumu akustik tasarım sürecinde geliştirilmiş mimari ile bütünlük çözümler, akustik bilimi ve ilgili teknolojilerin dünya çapında ulaşılmış olduğu düzeydedir. Bütün bu birikimin üzerine yeni fikirler eklenmiş, kuramsal ve deneysel çalışmaların katkısıyla bağlaşık hacim tekniğinin konferans, konser ve opera kullanımlarına yönelik uygulaması bir ilk olmuştur. Mimari dilin çerçevesinde akustığın yansısı pek çok disiplinin bir arada uyumlu çalışması sonucu olarak ortaya çıkan bu ürünün teknik ve estetik anlamda bundan sonra uygulanacak benzer işlevdeki çokamaçlı oditoryumlar için bir prototip/model olması umut edilmektedir.



Foto: Yasemin K. Enginöz

Notlar ve Kaynaklar

1. Gül, Z. S.; Çalışkan, M.; "Acoustical Considerations in the Design of Heydar Aliyev Center Auditorium" Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010, Melbourne, Avustralya, 29-31 Ağustos 2010.
2. Gül, Z. S.; Çalışkan, M.; "Acoustical Design of Inner Galleries in Heydar Aliyev Center" Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, Sydney, Avustralya, 23-27 Ağustos 2010.
3. Jaffe, J. C.; "Selective Reflection and Acoustic Coupling in Concert Hall Design, in Music&Concert Hall Acoustics" Conference Proceedings from MCHA 1995, (Academic Press, New York, 1995), pp.85-94.
4. Johnson, R.; Kahle, E.; Essert, R.; "Variable Coupled Volume for Music Performance, in Music&Concert Hall Acoustics" Conference Proceedings from MCHA 1995 (Academic Press, New York, 1995), pp.372-385.
5. Gül, Z. S.; "Systematic Investigations on Energy Decays in Acoustically Coupled Spaces Using Scale-Model Technique", (Master's Thesis, RPI, Temmuz 2006, Troy, NY, ABD).

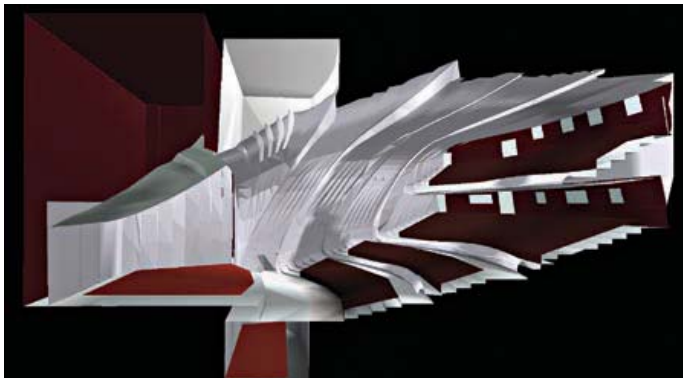
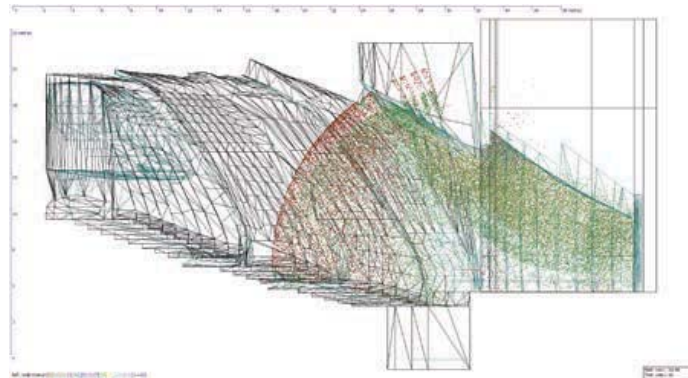
6. Schmidt, A. M. D.; Kirkegaard, P. L.; "On Architectural Acoustics Design using Computer Simulation" Eleventh International Congress on Sound and Vibration, Temmuz 2004, Petersburg.
7. Rindel, J. H.; "The Use of Computer Modeling in Room Acoustics" Journal of Vibroengineering, 3, 219-224, 2000.
8. Christensen, C. L.; ODEON Room Acoustics Program Version 10.01 User Manual, Lyngby, 2009.
9. Çalışkan, M.; "Mimari Akustik", Ders Notları, (İZOCAM Yapı Eğitim Merkezi, 2004).
10. Long, M.; "Architectural Acoustics", (Elsevier Academic Press, 2006).
11. Beranek, L. L.; "Noise and Vibration Control", (McGraw-Hill, NY, 1971).

*Zühre Sü Gül

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, MEZZO Stüdyo Ltd.

**Mehmet Çalışkan

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliđi Bölümü, MEZZO Stüdyo Ltd.



The Acoustic Design Process for the Auditorium at the Heydar Aliyev Centre

ZÜHRE SÜ GÜL, MEHMET ÇALIŞKAN

» The auditorium within the Heydar Aliyev Center serves for an audience of 1200 and incorporates conference, concert and opera use altogether. Confronting the multi-functional performance program of the space together with uncompromising aesthetic considerations, coupled space concept has been adopted as an acoustical and architectural design aid. This paper presents mainly the dependable acoustics attained by the coupling of auxiliary spaces by employing of the right-sized coupled volume connected with proper finishing materials and variable aperture size which consequences in the differentiation of reverberation time within the main volume -namely multi-purpose auditorium- and the coupled room. Fixing the volume and room finishes as for getting the desired energy decay behavior; aperture size has come up to be the essential parameter to concentrate on. The proposed solution for conference, music and inter-related activities is for the best of early and late sound field energy decay control. The proper reverberation times are studied for the main hall alone and coupled space separately to find the results as of the optimum reverberation times over frequency range of the auditorium for performance-specific. Aperture size has an essential role in balancing the reverberation time distributions of the auditorium and coupled space. Stage tower acoustics and thoroughly wooden surfaces of auditorium are studied together with the coupled volume in search of optimum reverberation times for different purposes of coupling spaces. Within this study coupled volume is used as a design tool out of recent acoustical innovations. The form and materials within the main volume is worked out together to get the optimum sound energy decay forms for different activities. Apart from coupled space concept, stage house design, auditorium main back-wall design and side-wall face irregularities are studied within the aim of having an even-distribution of sound field throughout the hall. This paper presents the successful outcomes of a coupled volume design within such a collection of irregular forms out of minimum aesthetic compromises.