

Konuşmanın Gizliliğinin Artırılmasına Yönelik Bir Uygulama

S.Türker Talayman, Frederico Fialho(*)

(*) Pro-Plan Ltd.şti., Levent – İstanbul

ÖZET

Sanal akustik modelleme yöntemi ile varolan veya yeni inşa edilecek bir hacmin akustik incelemesinin yapılması zaman ve maliyet tasarrufu yanında değişik senaryoların ele alınan hacim içerisinde nasıl sonuç vereceğinin karşılaştırılabilmesine imkan vermesi açısından önemli bir yöntemdir. Konuşmanın gizliliği konusunda sorunlar yaşanan bir hacim, ODEON ver6.5 akustik modelleme yazılımı kullanılarak incelenmiş ve özel üretim elemanları da içeren farklı çözüm senaryolarının sonuçları karşılaştırılarak en uygun olanı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Akustik modelleme, Konuşmanın gizliliği*

SUMMARY

Virtual acoustic modeling technique provides a powerful toolbox for the acoustic design of existing or especially for new buildings that are in intial design phase.. With use of acoustic modeling software it is possible to save valuable design time, therefore reduce the design costs. More importantly, the technique enables simulation of different scenarios and provides means to compare the results without actually building the acoustic tuning proposal. As a modeling application a space with speech privacy problems was investigated by the use of ODEON ver6.5 modeling software and solution proposals even including custom design elements have been compared.

Keywords: *Acoustic Modeling, Speech privacy*

1. GİRİŞ

Mimari form, malzeme ve fonksiyonlarda yaşanan değişimler kullanıcıların algılarında, ürün veya performans değerlendirmelerinde değişikliklere neden olmaktadır. Buradan hareketle diğer alanlarda da yaşanan değişim ve gelişmelerle beslenen kültürlerin benzer şekilde mimari anlayışlarda değişime neden olduğu söylenebilir. Ortaçağ'dan bu yana klasik müzik alanında yaşanan değişimlere bakıldığında, bazı durumlarda mimari anlayışın bazı durumlarda da müzikal yaklaşımların performans alanlarını şekillendirdiği görülebilir. Her ne kadar değişimler süregelmekte olsa da, bazı temel akustik konfor ölçütleri güncelliğini kaybetmemektedirler. Söz konusu ölçütlerin temelinde müzik fonksiyonunu barındıran bir hacimde icra edilen eserin, tiyatro gibi konuşma fonksiyonunu barındıran bir hacimde ise ulaştırılmak istenen bilgilerin tüm dinleyiciler tarafından en iyi şekilde algılanabileceği, aranan fonksiyona en iyi cevabı verecek uygun akustik ortamın yaratılması yatmaktadır. Ancak hacim akustığı alanının salt konser veya tiyatro salonları gibi yapılarla sınırlı olmayan, fonksiyonlarla değişim gösteren bir dal olduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Değişen ve gelişen dünya düzeni nedeniyle şehir yaşamı hızlı bir ilerleme kaydetmiş ve kendine has problemleri beraberinde geliştirmiştir. Akustik açıdan bakıldığında yerleşim yerlerini etkileyen şantiye, fabrika, kara ve hava taşıtlarının gürültüleri; yer sıkıntısı nedeniyle yükselen binalar ve bu binalara ait ofislerde çalışan çok sayıda çalışanın içinde bulundukları ortamın akustik özellikleri; cam, metal, yapay taş gibi görece daha parlak ve sert hal alan yapı malzemelerinin tercih edilmesi nedeniyle yaşanan sönüm problemleri örnek verilebilir. Bazı problemler bilinen teknik, eleman ve malzemelerle çözülebilirken bazıları ise varolan bir takım malzemelerin fiziksel veya uygulama özelliklerinin değiştirilmesi ile akustik açıdan kullanmaya değer hale getirilerek, bazı durumlarda ise probleme özel malzeme veya çözümler geliştirilerek giderilmektedir. Çözümler, kaynağın özelliklerinde yaşanacak değişimlerden bağımsız olarak iş görece pasif önlemler olabildiği gibi, kaynağa bağımlı çalışan aktif önlemler de olabilmektedir. Akustik tasarım veya iyileştirme projelerinde öngörülen veya varolan problemin doğasına göre her iki yaklaşıma ait önlemler ortak olarak kullanılarak, mimari ve akustik fonksiyonun gereklerini en iyi şekilde karşılayacak çözümler getirilmeye çalışılmaktadır.

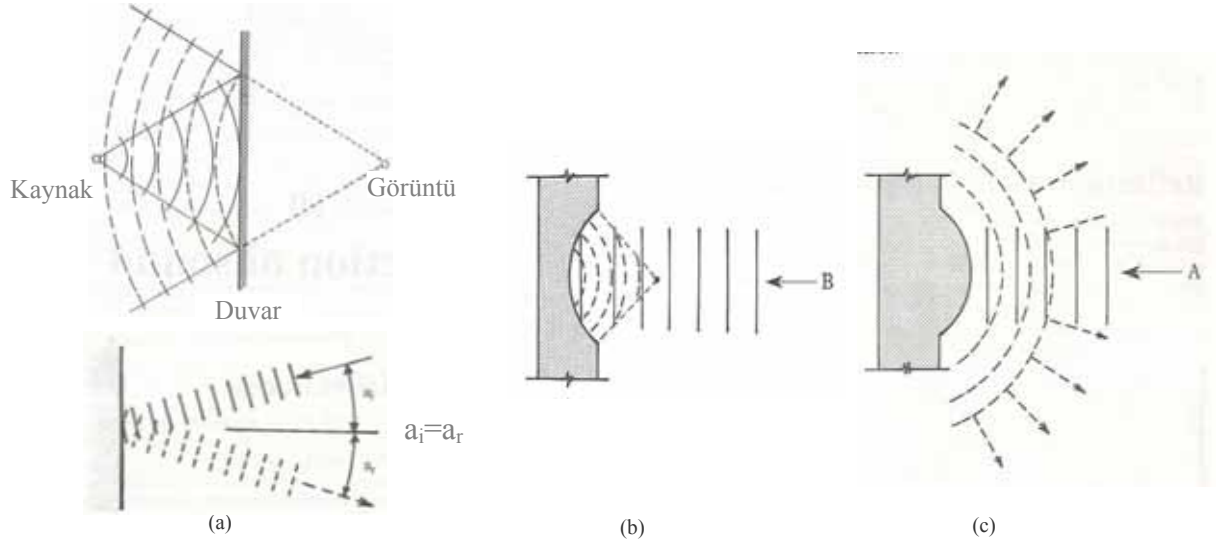
Bu çalışma kapsamında İstanbul Ulus'ta bulunan bir restoranda yaşanan akustik problemler incelenmiş ve çözüm önerileri getirilmiştir. Proje uygulama aşamasında olup, ilerleyen bölümlerde çözüm önerisinin evrimi ve bu çalışma sırasında kullanılan araçlar tanıtılacaktır.

2. SESİN HACİM İÇERİSİNDEKİ DAVRANIŞI

Sesin bir hacim içerisinde davranışının incelenmesi ve değerlendirilebilmesi için hacimin fonksiyonu, geometrisi ve malzeme özellikleri; ses kaynağının akustik özellikleri yanında kaynak ve alıcıların geometrisi, pozisyonu ve yönü gibi parametreler de ele alınmalıdır. Kaynaktan çıkan sesin hacim içerisindeki davranışı sesi oluşturan frekans bileşenlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sözü edilen birçok etkin parametrenin değerlendirilebilmesi adına sesin hacimi oluşturan nesne ve sınır yüzeylerle ilişkisinin değerlendirilmesinde bazı sadeleştirmelere gidilmiştir. Buradan hareketle havada yayılan ses dalgasının bir yüzey veya nesne ile karşılaştığında yansıdığı, saçıldığı, kırıldığı, etkileşim sırasında enerjisinin bir kısmını bırakarak yutulduğu söylenebilir. Sesin frekans içeriğine ve dolayısıyla dalgaboyuna ek olarak, etkileşimde bulunduğu yüzey yada nesnenin özelliklerine, uzaklık, yüzey normali ile yaptığı açı gibi geometrik özelliklere veya mekanik özelliklere bağlı olarak yansıma, saçınım, kırınım ve yutum gibi olayların biri veya çoklu kombinasyonları görülebilir.

a. Yüzey Yansımaları

Yüzey yansımaları temelde üç bölümde toplanabilir. Bunlar düz, içbükey ve dışbükey yüzeylerden gerçekleşen yansımalar olarak sınıflandırılabilir. Yayılan ses dalgasının yüzeye ulaştığı anda gerçekleşen olayları daha anlaşılabilir kılmak adına ışık ve ayna analogisi kullanılmaktadır. Işık gibi ses olayı da iki farklı durum ile açıklanmaya çalışılmaktadır. 300-400Hz'den daha yüksek frekanslardaki sesin ışın, bunun altında kalan düşük frekans bölgesindeki seslerin ise dalga şeklinde davrandıkları varsayılmaktadır.



Şekil.1 Yüzey yansıma çeşitleri (Everest,A., *Master Handbook of Acoustics*, 1994)

Yüzeylerle olan etkileşimlerde, sesin frekansı veya diğer bir deyişle dalgaboyu ile yansıma yüzeyinin boyutları büyük önem taşımaktadır. Şekil.1(a) yansıma yüzeyi sesin dalgaboyuna oranla büyük olması durumunda düz yüzeydeki yansımaları göstermektedir. İdeal bir yansıtıcı yüzey olduğu varsayılırsa kaynaktan çıkan küresel dalgalar düz yüzeye ulaştıklarında yüzeyin normali ile yaptıkları açı ile geri yansıtılacaklardır. Işık ve ayna analogisinde olduğu gibi kaynaktan yansıtıcı yüzeyi arasındaki mesafe ile aynı olacak şekilde zahiri bir kaynak düşünülmesi durumunda yansımadan sonra gerçekleşen dalga hareketi daha kolay anlaşılabilir. Kaynak ile yansıtıcı yüzey arası uzaklık arttıkça, kaynaktan çıkan özellikle yüksek frekanslı küresel ses dalgaları düzlemsel dalgalara yakın bir form almaktadırlar. Böylesi yüksek frekanslı düzlemsel ses dalgasının yansıtıcı yüzeye belirli bir açı ile gelmesi durumunda gerçekleşecek yansıma Şekil.1 (b)'de verilmiştir. Snell Kanunu'nunda belirtildiği gibi ses dalgasının yüzey normali ile yaptığı geliş açısı ile yansıma açısı birbirine eşittir.

Dışbükey yüzeylere ulaşan düzlemsel dalgalar ise yüzeyin geometrisi nedeniyle farklı yansıma noktalarından farklı gecikmelerle yansıtılmaktadırlar. Şekil.1.(c)'de görüldüğü gibi yansıtıcı yüzeyinin boyutlarına göre daha küçük dalgaboyları ile hareket eden düzlemsel dalgalar yüzeyden saçılarak yansımaktadırlar. Ancak içbükey yüzeylere ulaşan ses dalgaları ise içbükey yüzeyin geometrisi ile belirlenen bir noktaya odaklanmaktadırlar. Düz, dışbükey ve dikkatli planlanması şartıyla içbükey yüzeylerin hepsi hacim akustiği açısından önemli araçlardır.

b. Fonksiyon ve forma bağı akustik özellikler

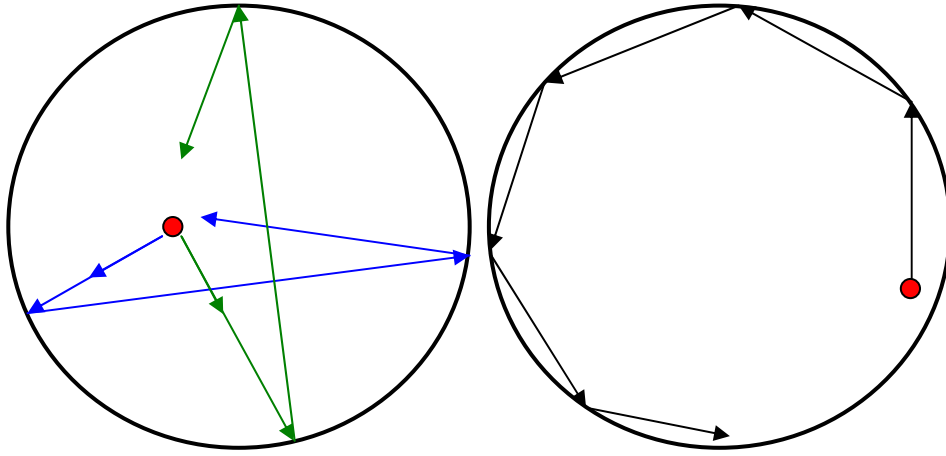
Geçmişe bakıldığında yapılarda kullanılan malzemeler, akustik özellikleri ve yerleşimleri ile ilgili doğru uygulamaların pratik bazı deneyimler sonucunda gerçekleştirilebildiği farkedilmektedir. Antik Yunan ve Roma tiyatrolarının planı, oturma bölümlerinin zemin ile yaptığı açı, özellikle sahne zemini ve sahne arkasında taş malzeme kullanılarak yansıtıcılar yapılması, Mimar Sinan'ın cami kubbelerinin boyutlarını belirlemedeki titizliği, İsveç ve Danimarka'daki bazı antik kiliselerin duvarlarında ve Mimar Sinan'ın cami kubbelerinde kullanılan sistemli ve düzenli boşluklar ile rezonatör etkisinden faydalanarak düşük frekanslı çınlanım gürültüsüne çözüm aramaları örnek gösterilebilir. 19.yy sonu itibarıyla W.Sabine tarafından çerçevesi çizilmeye başlanan hacim akustiği alanı bugün gelinen noktada hacimlerin işlevlerine göre genel kabul gören bazı tasarım ölçütlerini içermekte, bunlar nesnel olarak ölçülüp değerlendirilebilmektedir.

Hacmin kullanım amacına göre akustik özellikler de değişiklik göstermektedir. Bir ses kayıt stüdyosu, sınıf, açık plan ofis, konser veya sinema salonundan beklenen farklı özellikler vardır. Amaçlar gibi boyutlar, malzemeler, kaynak ve alıcıların yerleşimleri de farklılıklar göstermektedir. Akustik açıdan bakıldığında bazı durumlarda sesin mümkün olduğunca tüm dinleyici sathına ulaştırması istenirken bazı durumlarda sesin planlanmayan bir alıcıya ulaşmasının engellenmesi istenebilmektedir. Bir hacim akustik açıdan ele alındığında yukarıda verilen yansıma tipleri ve bunun gibi diğer akustik olayların kombinasyonları görülebilir. Hacmin kullanım amacına göre akustik elemanlar boyutlandırılıp yerleştirilmektedir. Örneğin, bir tiyatro salonunda sesin kaynaktan izleyicilere doğal yollarla ulaştırılması istendiğinde sahne, sahne civarı ve tavanda geniş yansıtıcı yüzeyler kullanarak akustik enerjinin seyircilere en iyi şekilde ulaştırılması hedeflenmektedir. Söz konusu yansıtıcılar düz veya daha geniş bir alana etki edebilmek için dışbükey olabilmektedirler. Ancak yine aynı salonun arka yüzeyleri yutucu yapılarak, bu noktaya ulaşan seslerin tekrar salona geri dönüp sahneden gelen direkt gelen ses ile arasındaki zaman farkından dolayı algıyı olumsuz etkilememesi hedeflenmektedir.

Fonksiyonlar ve akustik özelliklere baktığımızda bazı genellemeler yapılabilir. Konuşma fonksiyonu veya kaynak ile ilgili yön bilgisinin önemli olduğu durumlarda yutumu yüksek veya akustik olarak ölü ortamlar tercih edilir. Müzik dinletisi için türüne bağlı olmakla birlikte konuşmaya göre daha canlı akustik ortamlar istenir. Hacime bağlı akustik özellikler dışında hacim içerisinde izin verilen geri plan gürültü seviyeleri de fonksiyona göre değişiklik göstermektedir.

Form açısından bakıldığında simetrik ve dairesel formlar bazı akustik problemler getirmektedirler. İki paralel yüzey arasında bulunan bir kaynaktan çıkan ses dalgaları, paralel yüzeyler arasında gerçekleşen ardı ardına yansımalar sonucunda bir kuşun kanat çırpmasına benzer seslerin oluşmasına neden olur. Bunun dışında iki paralel yüzey arasındaki mesafeye sığan dalgaboyu ve bu dalgaboyunun tam katlarındaki sesler arada kalan mesafede bazı noktalarda iyi duyulurken bazı noktalarda iyi duyulamazlar. Paralel ve simetrik yüzeyler dışında dairesel formlar da bazı problemler getirmektedir. Formun merkezine yakın bir noktada bulunan kaynaktan çıkan ses dalgaları yüzeylere çarparak tekrar kaynağa doğru yönelirler. Benzer şekilde dairesel formun sınırlarına yakın bir noktadaki kaynaktan çıkan ses dalgaları sınır yüzeylerle yaptığı çok sayıda küçük yansıma sonucu tekrar kaynağa yönelirler (Şekil.2.). Sözü edilen bu yansımalar nedeniyle akustik konfor bozulmaktadır. Buradan hareketle bir kubbede yaşanacak problemler de öngörülebilir. Ancak kubbe formları

ap, yay açısı ve yseklikleri kaynak-alıcı çiftinin pozisyonlarına göre doğru seilebilirse faydalı akustik elemanlar haline getirilebilirler.



Şekil.2. Dairesel formda yansımalar

c. *Konuşmanın gizliliği*

Hacim akustiği açısından ele alınan mekanlarda, genellikle öngörülen bir veya birden fazla kaynak-alıcı çiftleri incelenmekte ve fonksiyona göre kaynak ve alıcı arasında nasıl bir ilişki sağlanması gerektiği değerlendirilmektedir. Sınıf, konferans salonu, tiyatro gibi mekanlarda kaynaktan çıkan bilginin en az kayıpla alıcılara ulaştırılması ve dolayısıyla konuşmanın anlaşılabilirliği esastır. Konuşmanın anlaşılabilirliği kaynak ve geri plan gürültüsü oranı ile genel çınlanım süresine bağlıdır [1]. Hacim içerisindeki geri plan gürültüsü kaynağa göre düşük seviyelerde ve hacim akustik olarak l ise konuşmanın anlaşılabilirliği yüksektir. Kapalı bir tren istasyonu örneğinde olduğu gibi, ysek genel gürültü seviyesi ve sert yapı malzemeleri kullanılması nedeniyle ınlanımı ysek bir hacimde konuşmanın anlaşılabilirliği çok düşük olacaktır.

Konuşmanın anlaşılabilirliğinin lm STI (Speech Transmission Index) metodu olarak adlandırılan bir metotla gerçekleştirmektedir. Bu metot, özünde bilinen bir kaynaktan çıkan sesin hacim içerisinde yayılırken uğradığı bozunmanın belirlenmesini içerir ve sonucunda 0 ve 1 arasında bir değer verir. STI sonuçları ile ilgili genel kabul gören sınıflandırma aşadıki gibidir:

STI	Değerlendirme
0,00 - 0,30	Kötü
0,30 - 0,45	Zayıf
0,45 - 0,60	Kabul Edilir
0,60 - 0,75	İyi
0,75 - 1,00	Mükemmel

Konuşmanın gizliliği ise anlaşılabilirliğin tersi durumu gibi düşünülebilir. Bazı durumlarda kasıtlı olarak anlaşılabilirliğin düşürülmesi hedeflenebilir. Geçmişte Osmanlı saraylarının bazı mekanlarında önemli konuşmaların iletilmesini engellemek adına fiskiyeler yerleştirilerek maskeleye yapılmaya çalışıldığı bilinmektedir. Günümüzde benzer mantıkla hacim içerisine tüm frekans bantlarında değişik oranlarda bileşenler içeren gürültü yayan sistemlerle maskeleye yapılmaktadır. Özellikle açık plan şeklinde düzenlenmiş ofislerde, çalışanların

konsantrasyonlarını bozacak telefon konuşması ve benzeri gürültüleri maskelemek için kullanılan bu sistemler aynı zamanda gizliliğin artırılmasını sağlamaktadır. Basit olarak filtrelenmiş bir beyaz gürültünün yaygın bir şekilde hacim içerisinde yayınlanması olarak tarif edilebilecek sistemde kaynak ve geri plan gürültüsü oranının azaltılarak konuşmanın gizliliğinin artırılması hedeflenmektedir [2].

d. Akustik değerlendirme araçlarından sanal modelleme

Sesin bir hacim içerisinde davranışının incelenmesi ve değerlendirilebilmesi için hacmin fonksiyonu, geometrisi ve malzeme özellikleri; ses kaynağının akustik özellikleri yanında kaynak ve alıcıların geometrisi, pozisyonu ve yönü gibi parametreler ele alınmalıdır. Bu parametrelerin objektif olarak değerlendirilebilmesi ve ölçülebilmesi için gerekli standartlar oluşturulmuştur [3]. Hacmin fonksiyonuna göre bağlı olarak bazı parametreler öne çıkmakla birlikte çınlanım süresi (erken sönüm süresi - early decay time), yan yansıma enerji birikimi (lateral energy fraction) (direkt gelen sesin barındırdığı enerjinin yansıyarak gelen ses enerjisine oranı), konuşmanın anlaşılabilirliği ve geri plan gürültü düzeyi her durumda hacmin akustik analizi sırasında ilk olarak ele alınacak parametrelerdir. Akustik ölçüm esnasında geniş frekans aralığında bilgi içeren tanımlı bir ses ile uyarılması sonucu hacmin, bu uyarıya olan cevabının kaydedilerek giriş çıkış işaretleri arasındaki oda transfer fonksiyonunun elde edilmesi, ses basınç düzeyi dışındaki parametrelerinin belirlenmesi için yeterli olacaktır. İlave hesaplama yöntemleri kullanarak tanımlı kaynağın bilinen ses gücü düzeyinden alıcı noktasındaki ses basınç düzeyi hesaplanabilir.

Varolan veya yeni yapılacak bir hacmin akustik incelemesi ölçüme ek olarak bazı hesap ve değerlendirme yöntemlerini içermektedir. Bunlar kaynaktan yayılan ışınların takibine dayalı veya geometrik akustik temelli olabileceği gibi, bilgisayar teknolojisinin sağladığı işlem gücü sayesinde sonlu elemanlar yöntemi (FEM), sınır elemanlar yöntemi (BEM) gibi sesin dalga hareketini temel alan yöntemler de olabilirler. Geliştirilmiş olan bazı yazılımlar bir veya birçok yöntemi birlikte kullanarak akustik tasarımın gerçeğe en yakın şekilde gerçekleştirilmesini hedeflemektedirler. Bir hacmi inşa etmeden sanal ortamda oluşturulacak model üzerinde çalışmalar yapılabilmesi zaman tasarrufu, maliyetlerin azaltılması ve değişik malzeme veya form seçeneklerinin model üzerinde koşullararak daha doğru sonuçlar elde edilebilmesini sağlamıştır. Yazılımların sürekli olarak evrim geçirmesi ve bilgisayarların işlem kapasitesinin gün geçtikçe artması, sanal model ile gerçek arasındaki farkı ciddi şekilde eritmiştir.

Bugün gelinen noktada, akustik modelleme yazılımları ile bir hacmin detaylı akustik incelemesini yapmak mümkün olabilmektedir. Yazılımlar, hacmin geometrik özellikleri ile hacmi oluşturan yüzeylerin akustik özelliklerini dikkate alarak gerçekleştirilen, yüklü miktarda hesaplama sonucu belirlenen kaynak ve alıcı noktaları için hacmin transfer fonksiyonu verebilmektedirler. Bu transfer fonksiyonu üzerinde gerçekleştirilecek çeşitli hesaplamalar sonucu ihtiyaç duyulan akustik parametreler elde edilebilmektedir. Hacim içerisinde tarif edilecek yüzeyler üzerinde parametrelerin nasıl bir dağılım içerisinde olduğunun hesaplanabilmesi akustik tasarımcısına önemli avantajlar getirmektedir. Yazılımlar akustik parametreler ile yetinmeyip sanal olarak elde edilen hacim transfer fonksiyonunu yankısız odada (anechoic) kayıt edilen ses kaydı üzerine konvüle ederek kaynağın o hacimde nasıl duyulacağını ortaya koyabilmektedir.

2. KONUŞMANIN GİZLİLİĞİNE YÖNELİK ÇALIŞMA

Dairesel formda inşa edilen yaklaşık yüz yirmi kişilik bir restoranın akustik incelemesi yapılarak sorunlar tespit edilmiş, akustik modelleme üzerinde koşturulan çözüm önerileri ile en geçerli çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

a. Varolan durum ve değerlendirme

İşletme tarafından konuşmaların özellikle cam bölüm boyunca aktarılması ve formun merkezine doğru seslerin yoğunlaşması nedeniyle şikayetler olduğu bildirilmiştir. Boş durumda yerinde yapılan incelemeler müşterilere sunulmak istenen manzara nedeniyle dairese formdaki restoranın ön bölümünün tamamen cam bölmeden oluştuğu görülmüştür. Hacim içerisinde taşıyıcı sisteme ait kolonlar mevcut olup malzeme olarak yerde ahşap parke, tavanda ise asma tavan şeklinde arkasında camyünü bulunan alçıpanel kullanıldığı görülmüştür. Hacim içerisinde önemli derecede yutuculuk kumaş kaplama, yutuculuğu yüksek sandalyeler tarafından sağlanmaktadır. Restoran insanların getireceği yutuculuk da hesaba katıldığında akustik olarak canlı olmayan bir hacim özelliği göstermektedir.

b. Ölçüm sonuçları

Hacim içerisinde insanların bulunmadığı bir durumda aşağıda listesi verilen cihazların kullanımı ile çok noktada ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo.1’de sunulmuştur.

- Brüel & Kjær Type 3560C PULSE Analizör
- Brüel & Kjær Type 2260 El Tipi Ses Analizörü
- Brüel & Kjær Type 4231 Ses Seviyesi Kalibratörü
- Brüel & Kjær Type 4295 OmniSource Ses Kaynağı
- Brüel & Kjær Type 2716 Amplifikatör
- Brüel & Kjær Type 7830 Qualifier Yazılımı

Ölçüm Noktası	Çınlanım Süreleri RT_{60} (s)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
1	0,71	0,90	0,94	0,86	0,90	0,79
2	0,97	0,87	0,83	0,95	0,96	0,78
3	0,65	0,89	0,92	0,86	0,92	0,78
4	0,89	0,97	0,82	0,95	0,94	0,76
5	0,63	0,87	0,86	0,98	0,85	0,79
6	1,05	0,83	0,89	0,88	0,91	0,84
7	1,04	0,94	0,85	0,97	0,87	0,80
8	1,03	0,90	0,89	0,93	0,91	0,82
9	0,75	0,95	0,79	1,01	0,86	0,85
10	1,04	0,74	0,91	0,86	0,93	0,82

Tablo.1 Çınlanım süresi ölçüm sonuçları

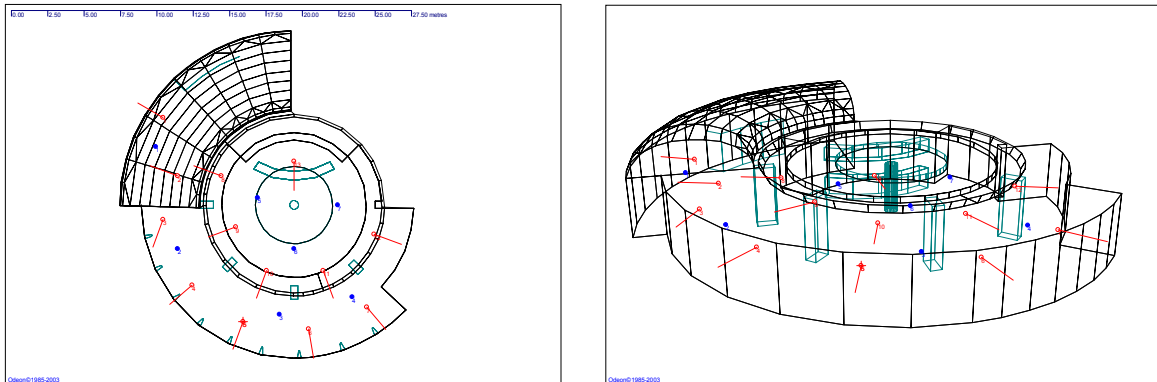
3. ÇÖZÜM ÇALIŞMASI

Yapılan inceleme, ölçüm ve değerlendirme sonucunda problemin akustik modelleme ile çözümünün etkin bir yöntem olacağına karar verilmiştir. Akustik modelleme için Danimarka Teknik Üniversitesi Akustik Bölümü tarafından geliştirilen ODOEN Combined ver6.5 yazılımı kullanılmıştır.

a. Akustik modelin oluşturulması ve kalibrasyon

Akustik modelleme yazılımları ile inceleme yapılabilmesi için bazı ön hazırlıklar yapılması gerekmektedir. Büyük bir hacim ele alındığında tüm formu ve yüzey özellikleri incelenebileceği gibi yukarıda sözü edilen akustik olayların görülebildiği en küçük tekil elemanlara kadar inilebilir. Ancak yoğun miktarda detaya girmek hacim akustiği anlamında ana resmin görülmesini bazen engelleyebilir. Akustik olaylar kaynak sesin dalgaboyu ile ilişkili olduğundan sesin dalgaboyundan küçük yüzeylere sahip karışık bir form akustik olarak zorluklar getirecektir. Küçük yüzeyler birleştirilerek elde edilecek görece büyük yüzeyler üzerinden yapılacak incelemeler daha hızlı ve sağlıklı sonuçlar verecektir. Buradan hareketle yüzeylerin 10x10cm'den küçük olmamasına dikkat edilmiştir. Röleve çalışması temel alınarak üç boyutlu model başka bir yazılımda oluşturulmuş ve yüzeylerde açık kalmayacak şekilde modellenmesine dikkat edilmiştir. Model ODEON'a aktarılıp geometrisi kontrol edildikten sonra aslına uygun bir şekilde yüzeylere malzemeler atanmıştır. Ölçümlerin gerçekleştirildiği ortam taklit edilerek hesaplanan sonuçlar ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Malzeme tipleri, yutuculuk ve saçıcılık özellikleri değiştirilerek hesap ve ölçüm sonuçlarının yakınlaşması, bir başka deyişle modelin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Buradan sonra tespit edilen problemlerin giderilebilmesi için çeşitli öneri senaryoları modele koşturulmuş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Akustik tasarımda ölçüt olarak konuşmanın anlaşılabilirliği (STI), ses basınç düzeyi (SPL_A) ve çınlanım süreleri (RT_{60}) parametreleri diğerlerine oran daha yakından izlenmiştir. Hesaplamalarda farklı pozisyonlarda çok sayıda aynı özelliklerde kaynaklar kullanılmış ve alıcılar için yatayda ve yerden 1.2m yukarıda tarif edilen bir değerlendirme yüzeyinin bütünü ele alınmıştır. Ancak sonuçlara ait gösterimin kolayca yapılabilmesi için sadece cam doğrama yakınlarında konuşlandırılan Kaynak No:3 ve alıcı kombinasyonları için detaylar verilmiştir. Diğer alıcı noktalarına ait sonuçların gösteriminde parametrelere ilişkin atanan aralıklar dahilinde renk kodlaması kullanılmıştır.



Şekil.2. Kaynaklar (S1-S13) ve Alıcıların (R1-R7) pozisyonları

b. Öneriler

Çözüme yönelik değişik senaryolar kurgulanmış ve bu senaryolarda malzeme cins ve yerleşimleri farklılaştırılarak konuşmanın anlaşılabilirliği ve ses basınç düzeyindeki değişimler incelenmiştir. Yutucu yüzey eklemesi, saçıcı yüzey eklemesi, geri plan gürültüsünün maskeleye ile artırılması yanında cam doğramanın içbükey özelliğini bozmak amacıyla özel tasarlanan gürültü engellerinin etkinliği ODEON yazılımı ile değerlendirilmiştir. Önlemler ve senaryolar arasındaki farklar Tablo.2’de sunulmuştur.

Önlem Tanımları

Önlem 1: Ön bölümde tavan ve kolon yüzeylerine yutucu yüzey eklemesi ($\alpha = 0,60$)

Önlem 2: Cam bölümün tamamına yutucu yüzey eklemesi ($\alpha = 0,50$)

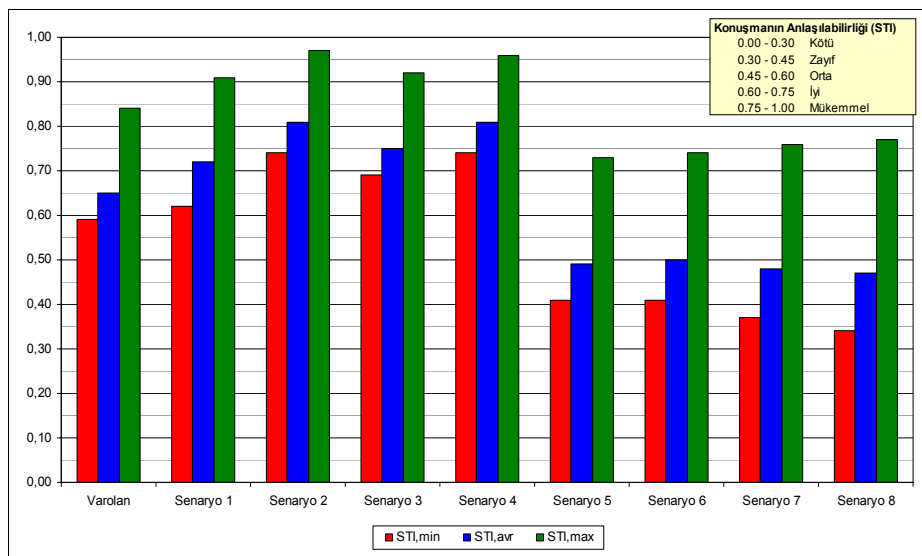
Önlem 3: Cam bölüme yansıma engelleyici ve yutucu şeffaf engel eklemesi ($\alpha = 0,50$)

Önlem 4: Gürültü ile maskeleye

Önlem 5: Ön bölümde tavan ve kolon yüzeylerinin saçıcı hale getirilmesi

Senaryo No	Önlem 1	Önlem 2	Önlem 3	Önlem 4	Önlem 5
1	✓				
2	✓	✓			
3	✓		✓		
4	✓	✓	✓		
5				✓	
6			✓	✓	
7	✓		✓	✓	
8		✓	✓	✓	
9			✓		✓

Tablo.2 Modelleme sırasında koşturulan senaryoların önlem kombinasyonları



Tablo.3 Senaryolara ait Kaynak No.3’e göre STI ortalamalarının karşılaştırması

c. En uygun çözüm: saçınım ve yutucu engeller

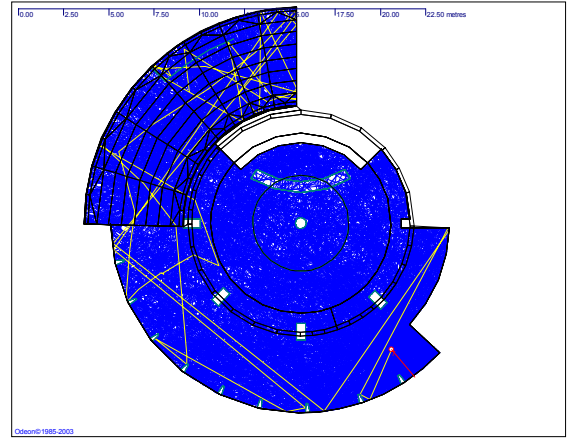
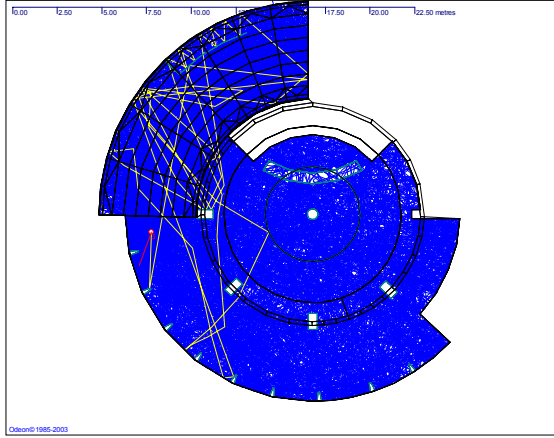
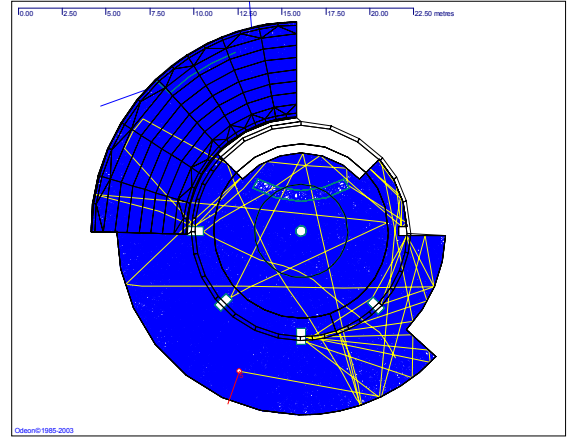
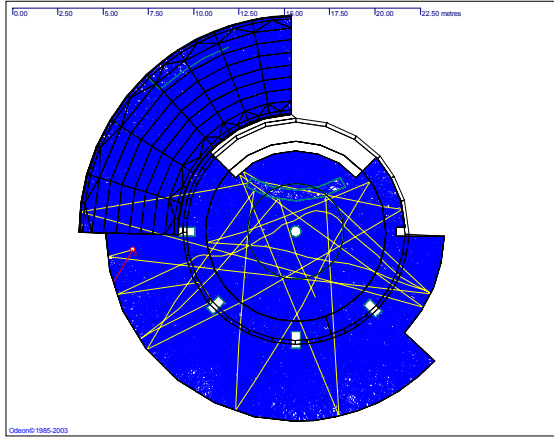
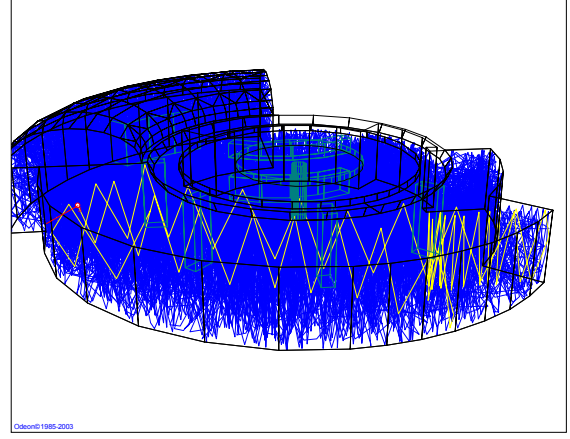
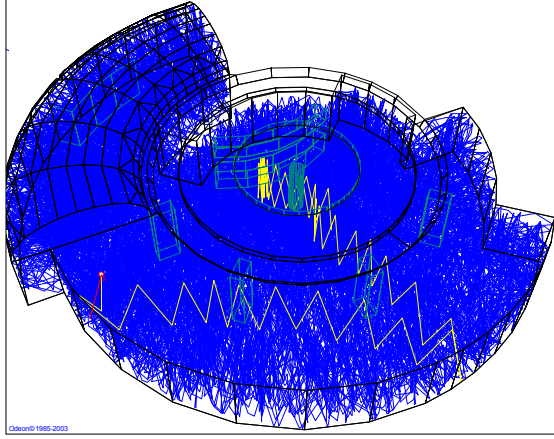
Akustik tasarım sonuçlarının yanısıra işletme yetkilileri ile yapılan değerlendirmeler sonucunda en geçerli ve yapılabilir çözümün cam doğrama önünde özel tasarlanmış ses yutucu engeller ile tavana saçıcılık getirilmesi olduğu ortaya çıkmıştır. Engeller saydam pleksiglass veya akrilik malzemeden imal edilecek, mikro delikli hale getirilip yutum özelliği katılacaktır. Engeller yerden tavana kadar yükselecek ve cam doğramadan 50cm öne çıkacak şekilde planlanmış olup, cam doğrama boyunca toplam dokuz adet yerleştirilmesi öngörülmüştür. Söz konusu engel tasarımı ile, cama dar açıyla gelen ses dalgalarının cam doğrama boyunca seri yansımalar yapmasının engellenmesi hedeflenmektedir. Gürültü ile maskeleme senaryosundan çıkan sonuç ortamda yüksek ve karmaşık bilgi içeren bir geri plan gürültüsünün konuşmanın gizliliğini iyileştirdiğidir. Maskelemeye benzer bir etkinlik sağlayabilmek ve işletmenin ilk uygulama etabına gürültü maskeleme sisteminin dahil edilmemesi talebini karşılayabilmek adına, yatayla paralel ve alçıpanel malzemeden imal edilen tavanın düzensiz saçıcı yüzeylerle değiştirilmesi çözümü oluşturulmuştur. Söz konusu düzensiz form için PVC gergi tavan malzemesi öngörülmüş olup, tavan bölümlere ayrılarak düzensiz şekilde imal edilecek karkas sistem üzerine gerilmesi planlanmıştır. Ayrıca ön bölümde bulunan dikdörtgen prizma şeklindeki taşıyıcı kolon elemanlar dışbükey ahşap kaplama ile giydirilerek, direkt sesin yan ve üst yüzeylerden gelen yansımalarla güçlendirilme etkisinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle hacim içerisinde rastgele yönlendirilen ses dalgalarının konuşma bilgisi taşınması engellenecektir. Buna ek olarak gerçekleşen kaotik yansımalar, azalan yutum nedeniyle daha uzun süre hacim içerisinde etkili olup geriplan gürültüsünün artmasını sağlayacaklardır.

4. SONUÇ

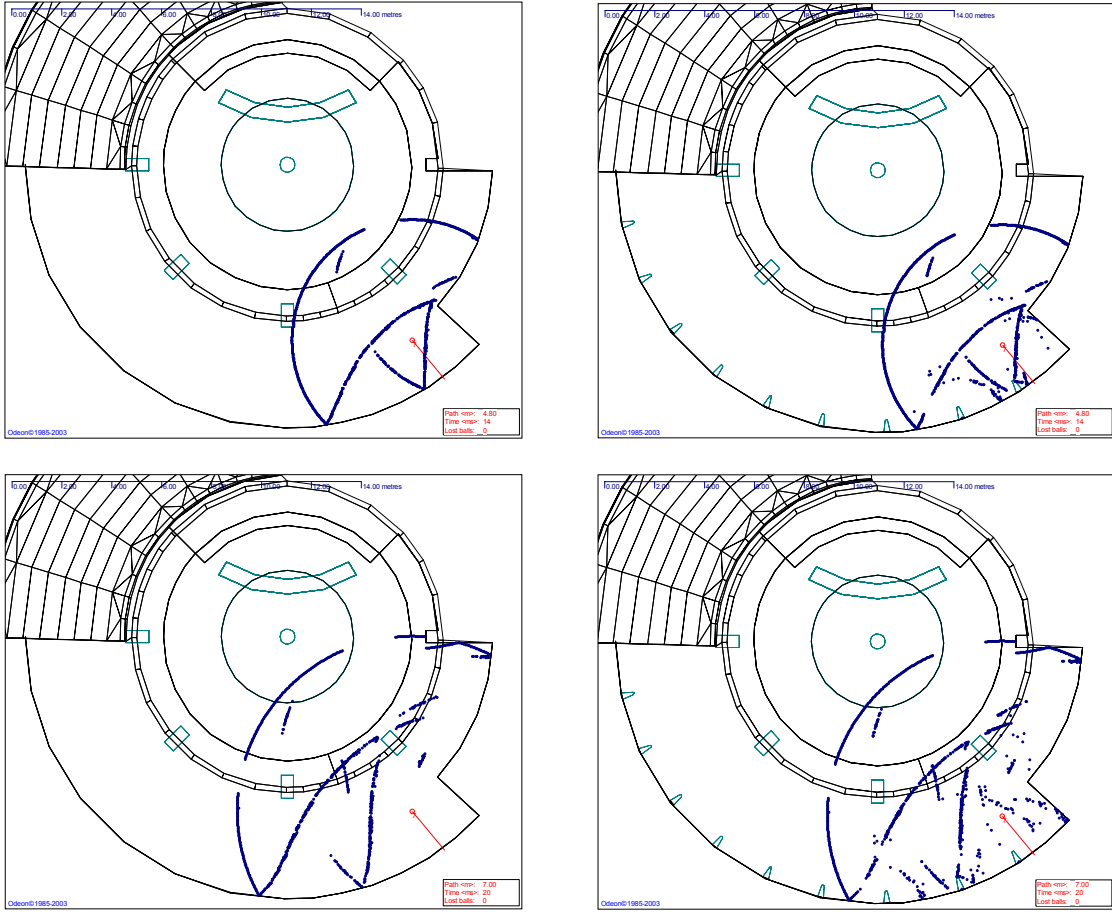
Sanal akustik modelleme yöntemi ile varolan veya yeni inşa edilecek bir hacmin akustik incelemesinin yapılması zaman ve maliyet tasarrufu yanında değişik senaryoların ele alınan hacim içerisinde nasıl sonuç vereceğinin karşılaştırılabilmesine imkan vermesi açısından önemli bir yöntemdir. Ancak ODEON ve benzeri modelleme yazılımlarına hakimiyet için belirli bir teknik altyapıya sahip olmak gerektiği ve modelin oluşturulmasındaki titiz planlamanın değerlendirme aşamasında büyük fayda getirdiği unutulmamalıdır. ODEON ile en basitinden en karmaşığına kadar modeller oluşturulabildiği, ancak model karmaşıklıklaça gerekli hesaplama zamanının uzadığı ve sonuçların kalitesinde dalgalanmalar yaşanabileceği göz ardı edilmemelidir. Fakat değişen malzemeler, mimari anlayışlar ve karmaşıkleşan formların akustik incelemesinde akustik modelleme yazılımının vazgeçilemez hale geldiği gözlemlenmektedir. Güçlü bir akustik modelleme yazılımı olan ODEON, ilk çıkış noktasında oditoryumların tasarımında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir yazılım iken bugün itibariyle sürüm 7.0'ye ulaşmış olup elektroakustik düzeneklerin mahal içerisindeki performansının değerlendirilmesinden endüstriyel ortamlar ve metro istasyonları gibi mahallerin akustik performanslarının incelenmesine kadar geniş bir profesyonel kullanım alanı bulmaktadır.

5. KAYNAKLAR

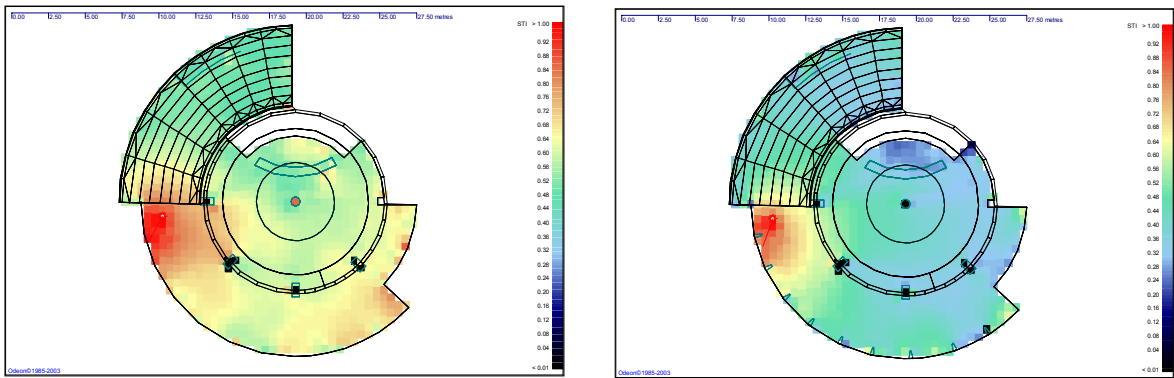
1. Talayman,T., Ayder,E., Belek,H.T.; Öğrenim Kalitesinin Artırılmasına Yönelik Bir Sınıf Akustiğı Uygulaması, TAKDER 6.Ulusal Akustik Kongresi, pp.304-312, 2002
2. Bradley,J.S.; The Acoustical Design of Conventional Open Plan Offices, Canadian Acoustics Vol.31, No.2, pp.23-31, 2003
3. Türk Standartları Enstitüsü; TS 3052 EN ISO 3382 Akustik – Odaların çınlama sürelerinin diğer akustik parametrelerle ilgili olarak değerlendirilmesi, 2004



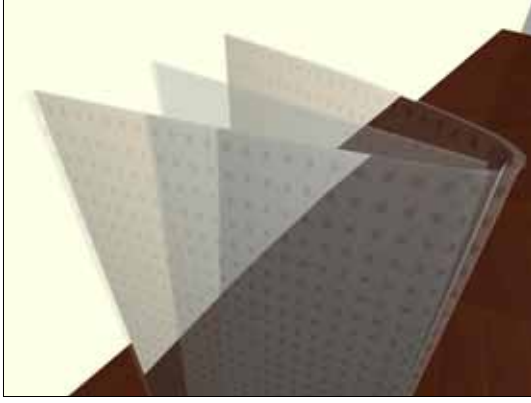
Şekil.3 ODEON modelinde kaynaktan çıkan ses ışınlarının takip ettikleri yollar, dairesel formun etkileri ve cam doğrama önündeki engellerin etkinliği



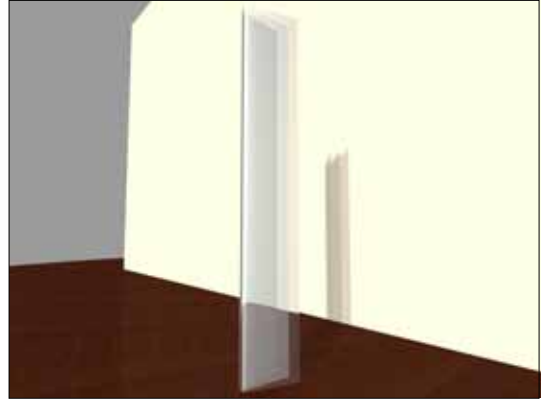
Şekil.4 ODEON modelinde kaynaktan çıkan ses dalgasının takip ettiği yol, daireSEL formun etkileri ve cam doğrama önündeki engellerin etkinliği



Şekil.5 ODEON modeline gürültü maskeleme sistemi ve cam doğrama önündeki engellerin STI dağılımı üzerine etkisi



Şekil.6
Cam
doğram
a
önü
nde
kon
ma



k üzere yansıma engelleyici ve yutucu şeffaf engel



Şekil.7 Tavanda saçıcı yüzey önerileri ve cam önü engellerle birlikte genel görünüm