



# Salonların Mimari Tasarımının Erken Düşme Süresi ve Çınlama Süresi Akustik Parametrelerine Etkisi

## Effects of Architectural Design on Acoustic Parameters EDT and T30 in Halls

Nuriye Nida ÇELEBİ ŞEKER

### EXTENDED ABSTRACT

Speech halls can have many plan schemes and the mentioned plan differences cause further differences in the halls in terms of acoustics. Within the scope of this study, halls with rectangular, fan and diamond plan schemes have been handled and these halls have been compared acoustically. An answer was tried to be found to the question of "What is the effect of architectural design on acoustic performance?" It was aimed to examine the speech intelligibility in four different medium sized halls of three different types, being rectangular (1x1), rectangular (1x1.5), fan, and diamond, with a capacity of approximately 700 people. It was also aimed to reveal how the architectural design of the halls affect the EDT and T30 values among the acoustic parameters. The halls were designed according to the literature and were drawn in Autodesk Autocad 2012 program, necessary ray analyzes were made and modeled in three dimensions with the help of Google Sketch Up 8 program. In these modeled halls, some acoustic calculations and evaluations were made with the acoustic simulation program called Odeon 10.0 Combined. By comparing the results of these four halls with each other, it has been examined which of the halls are more acoustically efficient in which situations or which one causes what kind of acoustic defects. The halls designed according to the literature are similar to each other in volume, average height, capacity, per capita volume and areas; the halls with four different plan schemes were designed in three different types: rectangular 1x1 (hall 1a), rectangular 1x1,5 (hall 1b), fan (hall 2), and diamond (hall 3). Some material acceptances, acoustic calculations and evaluations were made in the simulation program named Odeon 10.0 Combined. As a result of these evaluations, these three different types of halls with four different plan schemes were examined and compared in terms of speech intelligibility inside the halls. From this point of view, it was concluded that which hall geometry had optimum values for which parameter and which one caused what kind of problems. For the EDT and T30 parameters, evaluations have been made for both the general of the halls and for certain receivers at a frequency of 1000 Hz. The effect of geometry on parameters; in the halls, the values of the parameters in the receivers at 1000 Hz, the average values of the parameters at 1000 Hz were interpreted with the help of receiver area grid analysis and beam-reflection graphics. As a result, which of the different plan schemes in the speech halls; among the parameters affecting speech intelligibility, it was tried to determine how the EDT and T30 affect them and which plan type is more efficient in terms of acoustics. Considering the average EDT-T30 values of the halls at 1000 Hz, T30 values are the highest in the overall receivers due to the short reflection path of Hall 1b. The lowest T30 values belong to hall 2, because the fan room is weak in terms of energy in terms of form. This situation reveals the more optimal EDT-T30 relationship for the fan hall, ie, the  $T30 > EDT$  difference is less because the T30 is lower. Due to the side wall contribution of Hall 3, the T30 values of the buyers are approximately higher with hall 1a and compared to hall 2. In this context, the width, length, aspect ratio of the volume, the parallel surfaces in the volume, contribution of side walls, the angle of the side walls and the shape of the ceiling panels; It has been found that it affects early reflections, lateral reflections, delayed reflections, total sound energy and hence the EDT and T30 values. Particularly in halls with a rectangular plan, the width and length of the sitting area of the hall should not be equal to each other and / or the length of the sitting area should not exceed 25 meters, the use of parallel surfaces should be avoided or the parallelism of these surfaces should be disrupted by scattering. In addition, it should not be forgotten that concave surfaces cause focusing, the use of concave surfaces should be avoided, or they should be covered with a scattering or absorbing material. It should not be forgotten that the side wall reflections of the halls with fan plan schemes are weak especially for the receivers on the middle axis and they are mostly fed from the ceiling, and should be supported by ceiling reflections. Increased energy due to the energy contribution of the broken side walls in the diamond plan halls taken into consideration; it should be tried to be kept under control by measures to be taken with materials or other building elements. Because the excess energy in the hall means long delayed reflections and echo. Original halls were designed and the effect of architectural design on the acoustic parameters EDT and T30 was revealed with the help of the simulation program.

**Keywords:** Acoustic parameters; early decay time; reverberation time; room acoustic; speech rooms.

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul

**Başvuru tarihi: 24 Ekim 2020 - Kabul tarihi: 05 Şubat 2021**

**İletişim:** Nuriye Nida ÇELEBİ ŞEKER. e-posta: nida.celebi@msgsu.edu.tr

© 2021 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2021 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

## ÖZ

Konuşmanın çaba sarf edilmeden anlaşılabilmesi, konfor içinde o konuşmayı veya oyunu dinlemeye ve izlemeye yardımcı olduğundan, konuşma amaçlı salonlarda konuşma anlaşılabilirliğinin sağlanması, temel akustik gereksinimlerden biridir. Konuşma amaçlı salonlara örnek olarak; tiyatrolar, konferans salonları, derslikler ve toplantı salonları verilebilir. Bu salonlar birçok plan şemasına sahip olabilecek hacimlerdir. Bahsedilen plan farklılıkları akustik açıdan da salonlarda değişikliklere sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, üç farklı plan şemalı dört farklı salon ele alınmış ve bu salonlar akustik açıdan değerlendirilmiştir. İki farklı plan şemalı dikdörtgen, bir fan ve bir elmas salonlardan oluşan çalışmada konuşma için öncelikli olan akustik parametrelerden ikisi olan; erken düşme süresi ve çınlama süresi değerleri salonlarda belirlenen kritik yerlerdeki alıcılar için karşılaştırılmış ve hangi plan geometrisinin konuşmayı etkileyen parametrelerden erken düşme süresi ve çınlama süresini ne şekilde etkilediği irdelenmiştir. Sonuç olarak, salonlar tasarlanırken, mimari tasarımın akustik performansı ve konforu etkilediği göz önünde bulundurulmalı, akustik açıdan konuşma anlaşılabilirliğinin sağlanması için geometrik şartlar da optimize edilmeye çalışılmalıdır. Hacimlerdeki geometrik farklılıklar akustik parametrelerde de farklılıklara yol açmaktadır. Hacmin genişliği, uzunluğu, en/boy oranı, hacimde paralel yüzeylerin bulunması, yan duvar katkısı, yan duvarların açısı ve tavan panellerinin şekli; erken yansımaları, yanal yansımaları, gecikmiş yansımaları, toplam ses enerjisini ve dolayısıyla da erken düşme süresi ve çınlama süresi gibi konuşma için önemli olan akustik parametrelerin değerlerini etkilemektedir.

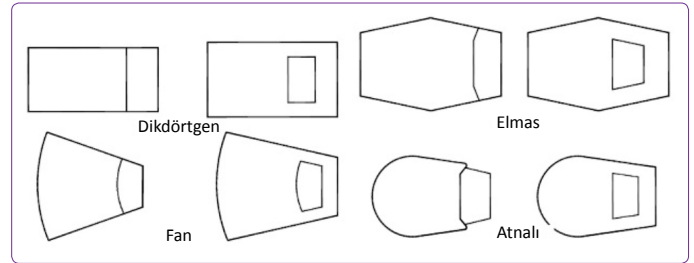
**Anahtar sözcükler:** Akustik parametreler; çınlama süresi; erken düşme süresi; konuşma amaçlı salonlar; hacim akustiği.

## Giriş

Konuşmanın gerçekleştiği, konuşma amaçlı salonlar; restoranlar, küçük ve büyük derslikler, amfiler, toplantı salonları, ofisler, çok amaçlı salonlar, konferans salonları ve tiyatro salonları şeklinde sıralanabilir. Konuşma amaçlı salonlardan bir tanesi olan tiyatrolarda yapılabilecek organizasyonların çeşitliliği çok geniştir, aynı mekân ve binada farklı birçok aktivite olabilir. Bu aktiviteler; dramalar, büyük ölçekli dramalar, opera, bale, müzikal, pandomimler ve konserler şeklinde sıralanabilir. Bir tiyatronun kapasitesini sadece oturma alanı belirlemez, sahnenin boyutu, aktivitenin çeşidi ve salonun bulunduğu yerdeki sosyal ortam da salonun kapasitesini etkiler. Bin beş yüz ve daha fazla kişi kapasiteli salonlar çok büyük, 900-1500 kişi kapasiteli salonlar büyük, 500-900 kişi kapasiteli salonlar orta ve 500'den daha az kişi kapasiteli salonlar küçük salonlar olarak adlandırılabilir (Ham, 1972).

Oyun boyunca oyuncunun fazladan bir çaba sarf etmeden oyununu oynayabilmesi ve dinleyicinin de fazladan bir çaba sarf etmeden oyunu izleyebilmesi/dinleyebilmesi, oyunun anlaşılması ve konsantrasyonun sağlanması açısından önemlidir. Koltuklar ne uyutacak kadar yumuşak ne de rahatsız edecek kadar sert olmalı ve standartlarda belirtilen ölçülerde olmalıdır. Seyirci sahnenin oyun alanının her köşesini rahatlıkla görebilmeli, salonun aydınlatma düzeyi yeterli olmalıdır. Oyundaki konuşmalar ve sesler eko yapmadan, gecikmeden ve istenilen sürede seyirciye ulaşmalıdır. Burada birincil amaç; kişilerin fiziksel, görsel ve işitsel konforlarının sağlanmasıdır. Tiyatro, konferans salonu gibi özellikle konuşmanın ağırlıklı olduğu salonlarda işitsel konforu sağlayan bir gereksinim olan konuşma anlaşılabilirliği akustik açıdan önemli ve gereklidir (Ham, 1972). En yaygın olarak kullanılan salon tipleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Salonlarda konser ve konuşma aktiviteleri birbirinden farklıdır. Bu çalışma kapsamında, konuşma amaçlı bir salon tasarlanırken geometrik olarak dikkat edilecek noktalara



**Şekil 1.** Salonlar için temel plan formları (Ham, 1972).

değnilmekte, anlaşılabilirliği etkileyen akustik parametrelerden erken düşme süresi [early decay time (EDT)] ve çınlama süresi [reverberation time (T30)] göz önüne alınarak işitsel konforu sağlamak adına formun etkisi ortaya konulmaktadır. Bu anlamda çalışma, konuşma amaçlı bir salon tasarlanırken geometrik olarak başvurulacak bir kaynak olması, salon formuna göre kullanılacak malzemelerin (yutuculuk katsayısı bazında), tavan/duvar panellerinin form/konum önerisi sunması ve plan formundan kaynaklı doğabilecek kusurlara göre alınacak tedbirleri barındırması açısından önem taşımaktadır. Literatürde kabul gören geometrik parametreler<sup>1</sup> dikkate alınarak tasarlanan salonlardan en yaygın kullanılan form olan dikdörtgen (1 x 1), dikdörtgen (1 x 1.5), fan ve elmas olmak üzere, yaklaşık 700 kişi kapasiteli, orta ölçekli üç farklı tip olmak üzere, dört farklı salonda akustik açıdan konuşma anlaşılabilirliğinin incelenmesi ve akustik parametrelerden<sup>2</sup> EDT ve T30 kar-

<sup>1</sup> Kapalı bir hacimde konuşma anlaşılabilirliği geometrik ve akustik şartların sağlanması ile akustik kusurlardan kaçınılmasına bağlıdır. Zemin eğimi, plandaki ve kesitteki görüş çizgileri, balkonların kullanımı, oturma düzeni, koltukların tasarımı, yansıtıcılar, tavan panelleri ve serbest asılan reflektörler, çıkışlar ve güvenlik önlemleri, sahnenin tasarımı, hacmin, şekli, boyutu, ortalama yüksekliği, malzeme seçimleri, hacim akustiğini etkileyen temel geometrik faktörlerdir (Çelebi Şeker, 2014). Çalışma kapsamında salonlar bu kriterlere göre tasarlanmıştır.

<sup>2</sup> Konuşma anlaşılabilirliğini etkileyen akustik parametreler; sinyal gürültü oranı, konuşma iletim indeksi, telaffuz indeksi, T30, EDT, netlik, belirginlik, merkez zaman, ses yüksekliği, arka plan gürültüsü, ilk ulaşım gecikmesi ve mekânsal algılama olarak sıralanabilir (Çelebi Şeker, 2014). Bu çalışma kapsamında EDT ve T30 ele alınmıştır.

şılaştırılması amaçlanmakta, hangi formun, akustik parametrelerden EDT ve T30'u, neden ve nasıl etkilediği, salonların geometrik tasarımının akustik açıdan ne gibi olumlu ya da olumsuz etkileri olduğu ortaya konulmaktadır.

Literatürde son 15 yılda yapılmış ve nitelik bakımından denk olan bazı araştırmalar incelendiğinde görülmektedir ki; benzerlikler olsa da her çalışma kendi içinde farklılık göstermekte ve özgün noktaları bulunmaktadır. Örneğin; Şahin (2007), konuşma amaçlı, farklı salon tiplerinde, modelleme ve simülasyondan faydalanarak, kaynak konumunun değişiminin konuşma anlaşılabilirliği üzerindeki etkisi üzerinde durmuştur. Teke (2012) ise, arena tipi plan şemasında farklı formlarda ve yüksekliklerde tavan/duvar panelleri denemeleri ile simülasyon aracılığıyla hesaplamalar yapmış ve formun etkisini müzik amaçlı tasarlanan arena tipi salonda ortaya koymuştur. Benzer şekilde Ökten (2010), konser salonlarında mimari formun akustik parametreler üzerindeki etkisine, modelleme ve simülasyondan faydalanarak değinirken, Konuk (2010) müzik aktivitesi yapılan ve var olan birkaç farklı hacimde yerinde akustik parametrelerin ölçümlerini ve değerlendirmelerini yapmıştır.

Bu çalışmadan biraz daha farklı olarak, Kalaycı (2016) konser ve oditoryum olmak üzere var olan iki hacmin akustik ve mekânsal incelemelerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmiş, iç mekân tasarımının hacim akustiğine etkisi üzerinde durmuştur.

Savcı Özgüven (2015) ve Yerli (2015) ayrı ayrı yaptıkları çalışmalarda, okul binalarındaki dersliklerde anlaşılabilirlik testleri ve akustik ölçümler yapmışlardır. Savcı Özgüven (2015), adım adım iyileştirmeler yaparak T30 değerleri elde edip, kullanıcılarla anketler yaparak her adımda yapılan iyileştirmelerin konuşma anlaşılabilirliğine etkisini ortaya koyarken, Yerli (2015) dersliklerde akustik parametrelerin ölçümlerini yapmış, kullanılan donatı ve yüzey malzemelerinin, dersliklerdeki akustik konfor koşullarına etkilerini incelemiş ve iyileştirme önerilerinde bulunmuştur. Meral (2019) de mevcut bir spor salonunda akustik ölçümler yapmış, değerlendirme sonuçlarına göre akustik koşulların iyileştirilmesine dair önerilerde bulunmuştur.

Balcı (2007) ise, özellikle cam malzemenin sert ve düşük enerji sönümleme katsayısını göz önünde bulundurarak geometri ve malzemenin akustik performans etkisini mevcut olan bir yapı/hacim üzerinde çalışmış, iyileştirme önerisinde bulunmuş, tasarım yapılırken akustik performansın göz önünde bulundurulmasının önemine değinmiştir.

Sıralanan araştırmaların bu çalışma ile ortak noktalarının yanı sıra farklılıkları da mevcuttur. Literatürde yapılan araştırmalarda konuşma amaçlı salonlar, konser salonları, derslikler, spor salonları vb. hacimlerde formun etkisi, tavan/duvar panellerinin boyut, form, konum ve hacimlerde yüzey bitiş malzemelerinin/donatıların akustik performan-

sa etkileri, optimum akustik parametre değerlerinin sağlanması için hacimlerde iyileştirilme yapılması gibi konuların ele alındığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın özgünlüğü; üzerinde hesaplamalar yapılan salonların, literatürde kabul görmüş geometrik parametrelere göre, yazar tarafından tasarlanmış olması ve alıcı, kaynak, malzeme, tavan/duvar/sahne panelleri gibi öğelerin bütün salonlarda aynı olmasına özen gösterilerek, sadece plan şeması değiştirilip (dikdörtgen, fan, elmas), formun EDT ve T30 parametreleri üzerindeki etkisinin ortaya konulmuş olmasıdır.

### Salon Geometrileri ve Simülasyon Kabulleri

Literatürde bahsi geçen bütün geometrik kurallar (görüş çizgileri, zemin eğimi, oturma alanı, tavan ve duvar panelleri, sahne vb.)<sup>3</sup> ve akustik kriterler göz önünde bulundurularak tasarlanmış salonların plan ve kesitleri Şekil 2'de, üç boyutlu modelleri de Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu salonlardan dikdörtgen 1 x 1 literatürde belirtilen en/boy oranı<sup>4</sup> ihlal edilerek, dikdörtgen 1 x 1.5 salonların maksimum uzunluğu kuralı<sup>5</sup> ihlal edilerek, literatürde olması gerekenden biraz farklı tasarlanmış, genişlik ve uzunluğun etkisi ortaya konmuş, fan ve elmas formlarının da avantaj ve dezavantajları ile konuşma anlaşılabilirliğini nasıl etkilediği üzerinde çalışılmıştır.

Salonlar literatüre göre orta ölçekli olarak tasarlanmış ve bu salonların geometrik özellikleri, kişi sayıları, salon hacimleri, kişi başı m<sup>3</sup>, kişi başı m<sup>2</sup>, yapı elemanları yüzey bitiş malzemesi gibi özellikleri birbirine yakın hatta aynı tutulmuştur. Salon dikdörtgen 1 x 1; salon 1a, salon dikdörtgen 1 x 1.5; salon 1b, salon fan; salon 2, salon elmas; salon 3 olarak isimlendirilmiştir (Tablo 1).

Zemin eğimi için gerekli olan görüş çizgisi kontrolleri<sup>6</sup> yapılmış, salon eğimi buna göre tasarlanmıştır. Ayrıca tavan panelleri için gerekli olan ışın analiz kontrolleri sağlanmış ve tavan panellerinin alıcılara yansıma göndermesine dikkat edilmiştir.<sup>7</sup> Şekil 4, bu ışın analizlerini ve görüş çizgilerini göstermektedir.

Tasarlanan bu salonlar Autodesk Autocad 2012 programında çizilmiş, gerekli ışın analizleri yapılmış ve Google Sketch Up 8 programları yardımı ile üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modellenen bu salonlar Odeon 10.0 Combined adlı akustik simülasyon programına aktarılmıştır. Hesap yöntemleri belirlenmeden önce, modeller program tarafından kontrol edilmiş (3D Geometry Debugger), üst üste binen yüzey olmadığı ve ışınların model dışına

<sup>3</sup> Geometrik parametreler için bakınız (Long, 2006; Strong, 2010; Ham, 1972; Rossing, 2007; Mehta, 1999).

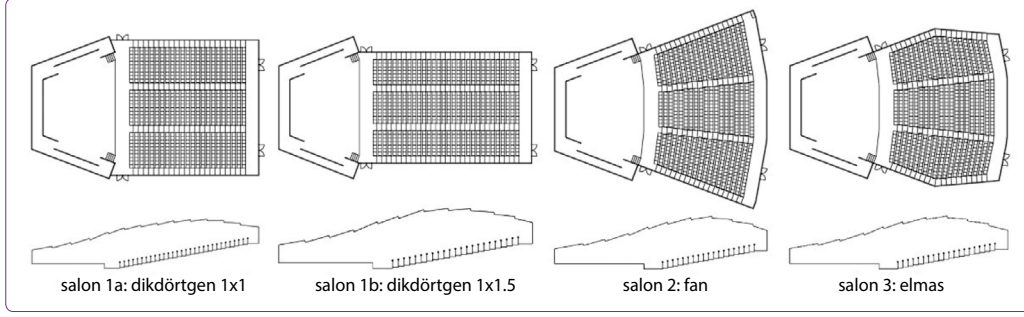
<sup>4</sup> Dikdörtgen salonlarda uzunluk genişlikten daha fazla olmalıdır (Mehta, 1999).

<sup>5</sup> En uzak mesafedeki alıcı ile kaynak arası mesafe 25 metreyi geçmemelidir (Mehta, 1999).

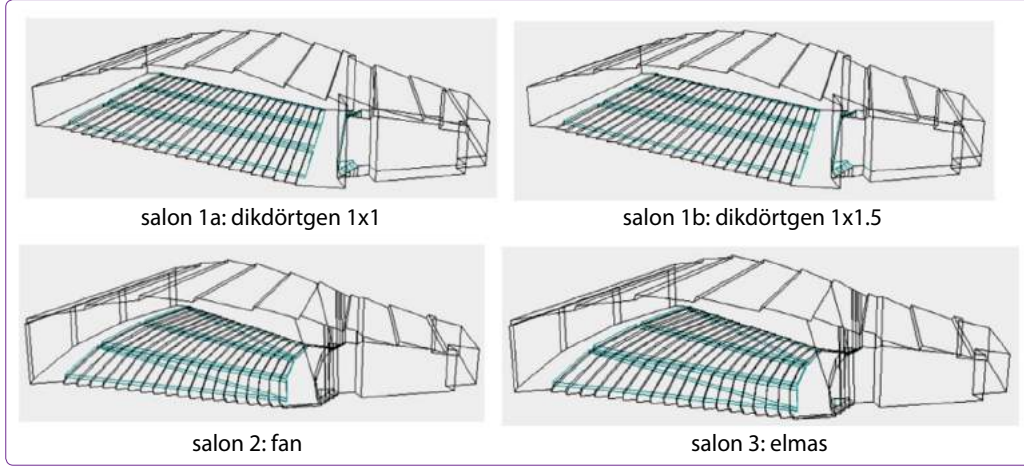
lidir (Mehta, 1999).

<sup>6</sup> Zemin eğimi ve görüş çizgileri için bakınız (Ham, 1972; Long, 2006; Rossing, 2007; Strong, 2010; Çelebi Şeker, 2014).

<sup>7</sup> Işın analiz kontrolleri ve tavan panelleri için bakınız (Rindel, 1999; Mehta, 1999; Rossing, 2007; Kutruff, 1999; Çelebi Şeker, 2014).



Şekil 2. Tasarlanan salonların plan ve kesitleri.



Şekil 3. Tasarlanan salonların üç boyutlu modelleri.

Tablo 1. Salonların geometrik özellikleri

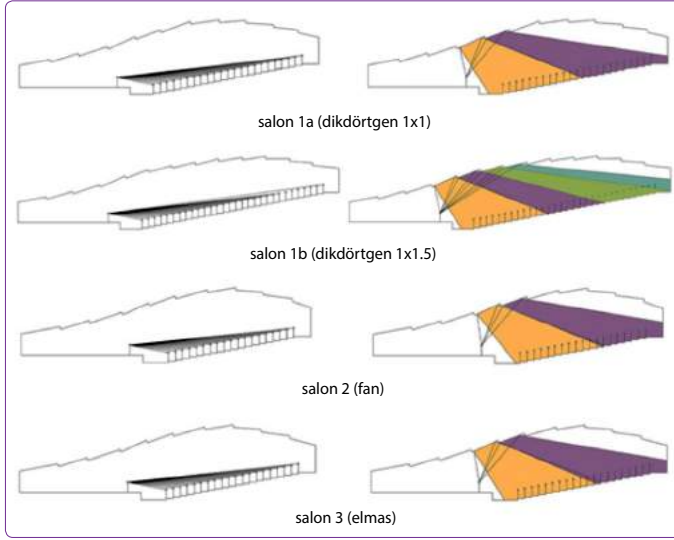
	SAHNE			SALON								
	Yükseklik (m)	Alan (m <sup>2</sup> )	Sahne hacmi (m <sup>3</sup> )	Salon hacmi (m <sup>3</sup> )	Kişi	Salon kişi başı (m <sup>3</sup> )	Salon + sahne kişi başı (m <sup>3</sup> )	Alan (m <sup>2</sup> )	Kişi başı (m <sup>2</sup> )	Ortalama yükseklik (m)	Ortalama en (m)	Ortalama boy (m)
Salon 1a dikdörtgen 1 x 1	3.8	165	627	2806	690	4.07	4.98	475	0.69	5.8	21.1	22.4
	SAHNE SALON											
Salon 1b dikdörtgen 1 x 1.5	3.8	165	627	2807	690	4.07	4.98	486	0.70	5.8	17.33	28
	SAHNE SALON											
Salon 2 fan	3.4	177	601.8	2779	696	3.99	4.86	467	0.67	5.8	24.3	19.2
	SAHNE SALON											
Salon 3 elmas	3.4	177	601.8	2616	684	3.83	4.70	448	0.65	5.8	22.4	20
	SAHNE SALON											

kaçmadığı tespit edilmiştir. Modellerin uygunluğu kontrol edildikten sonra ODEON Akustik Simülasyon Programına aktarılan modeller için Şekil 5'teki hesap parametreleri<sup>8</sup> belirlenmiştir. Bunlar;

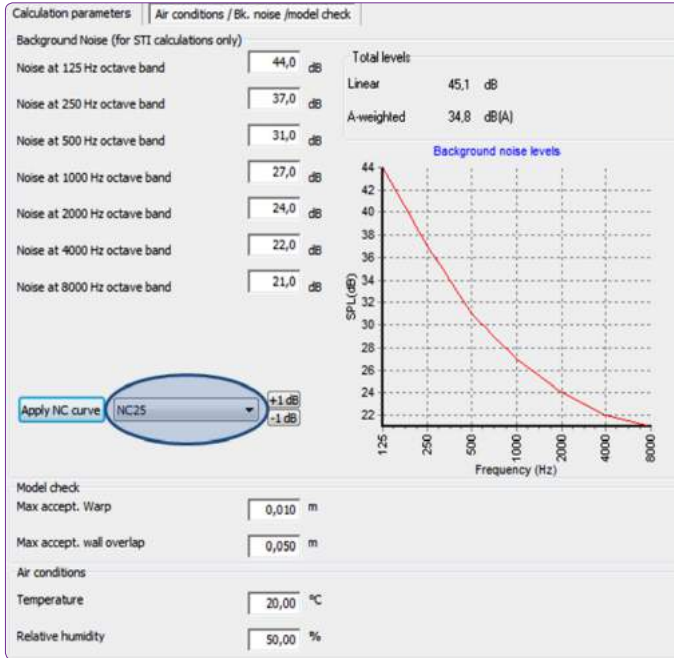
- Bir ışının maksimum yansıma süresi (impulse response length),

<sup>8</sup> ODEON hakkında detaylı bilgi için bakınız (Christensen, 2009).





Şekil 4. Salonların görüş çizgileri ile belirlenmiş zemin eğimi ve tavan panellerine ait ışın analizleri.



Şekil 5. Odeon hesaplama parametreleri kabulleri.

- Bir ışının maksimum yansımaya sayısı (maximum reflection order),
- Işın sayısı (number of rays),
- Sanal kaynakların yansımaya derecesi (transition order),
- Arka plan gürültü düzeyi, ortam sıcaklığı ve nemdir.

Hesaplama yapılacak modeller için; bir ışının maksimum yansımaya süresi 3000 ms, bir ışının maksimum yansımaya sayısı 2000, erken ışın sayısı her salon için programın önerdiği değer, sanal kaynakların yansımaya derecesi 2, arka plan gürültü seviyesi NC 25,<sup>9</sup> sıcaklık 20 °C, nem oranı %50 olarak belirlenmiştir.

<sup>9</sup> NC değeri konferans salonları için NC 25 kabul edilmiştir (Beranek, 2006).

Tablo 2. Odeon'un arayüzünde bulunan alıcı, kaynak ve hesaplama işi listesi

Job (hesaplama işi)	Kaynaklar	Grid	Multi	Alicılar
1	Kaynak 1 - 70 dB	x	x	Alicı 1-17
2	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 1
3	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 2
4	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 3
5	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 4
6	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 5
7	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 6
8	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 7
9	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 8
10	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 9
11	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 10
12	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 11
13	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 12
14	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 13
15	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 14
16	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 15
17	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 16
18	Kaynak 1 - 70 dB	-	-	Alicı 17







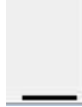
Salonlarda kaynak 1 ile salonuna göre 15, 16, 17 tane alıcı göz önünde bulundurularak hesaplama yapılmıştır. Kaynak sahnenin orta aksına, sahne ucuna 150 cm mesafe olacak şekilde, yerden 80 cm yükseklikte olan sahne zemininden; 150 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Alıcılar salonun her bölgesine homojen olarak konumlandırılmıştır (Şekil 6). Salonun geneli için Tablo 2'de Odeon'un ara yüzünde gösterilen Job 1<sup>10</sup> hesaplanmış, yüksek sesli konuşma için kaynak 1'in ses gücü düzeyi 70 dB olarak ayarlanmış, salonların alıcılara bağlı değerlerine Job 1'den ulaşılmıştır. Ayrıca parametreler için salonlardaki dinleyici alanının grid analizleri de hesaplanmıştır (Tablo 2, Job 1). Alıcılara gelen ışınları görebilmek ve yansıma-enerji diyagramlarına ulaşabilmek için; salonlardaki bütün alıcılar tek tek kaynak 1 ile hesaplanmıştır (Tablo 2, Job 2-18).

Salonun yapı elemanlarının bitiş yüzey malzemeleri; T30 göz önünde bulundurularak Tablo 3'te belirtildiği gibi kabul edilmiştir. Bu malzemelerin kullanılmasına karar verilene kadar bazı hesaplama denemeleri yapılmış ve T30 açısından en verimli malzemelerin bunlar olduğuna karar verilmiştir. Özellikle iç bükey olduğu için arka duvara ve paralel olan yan duvarların sağ taraftakine saçıcılık verilmiştir.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Job: Odeon programı kapsamında yapılacak hesaplama işlerine verilen isim.

<sup>11</sup> Akustik kusur olan titreşimli ekolar (flutter echo), paralel duvarlar, iç bükey veya ters "V" şekilli yüzeyler arasında oluşan ısrarlı yansımaya sesleridir (Long, 2006; Rossing, 2007).

**Tablo 3.** Tasarlanan salonların Odeon malzeme kabulleri

	Malzemelerin yutuculuk katsayıları								Malzemelerin yutuculuk katsayılarını frekanslara göre ifade eden görsel	Saçıcılık	Malzeme adı
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz			
<b>Salon zemin</b>	0.08	0.8	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	0.73		0.05	Arkası yoğun köpüklü halı
<b>Yan duvar</b>	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.1	0.11	0.11		Sol tarafı 0.05 Sağ tarafı 0.6	50 mm ayak üzerine 8 mm ahşap panel
<b>Arka duvar</b>	0.83	0.83	0.72	0.8	0.9	0.87	0.71	0.7		0.6	500 mm hava boşluklu 25 mm cam yünlü %28 perforeli 5 mm panel
<b>Salon tavan</b>	0.25	0.25	0.15	0.1	0.08	0.06	0.05	0.05		0.05	Arkada büyük bir hava boşluğu olan 12 mm'lik ahşap panel
<b>Oturma alanı</b>	0.72	0.72	0.79	0.83	0.84	0.83	0.79	0.79		0.7	Seyircisiz ağır döşemeli koltuk
<b>Sahne zemin</b>	0.2	0.2	0.15	0.1	0.08	0.07	0.05	0.05		0.05	Ahşap sahne döşemesi
<b>Sahne duvar</b>	0.01	0.01	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04		0.05	7 cm kalınlığında masif ahşap

### Bulgular ve Değerlendirmeler

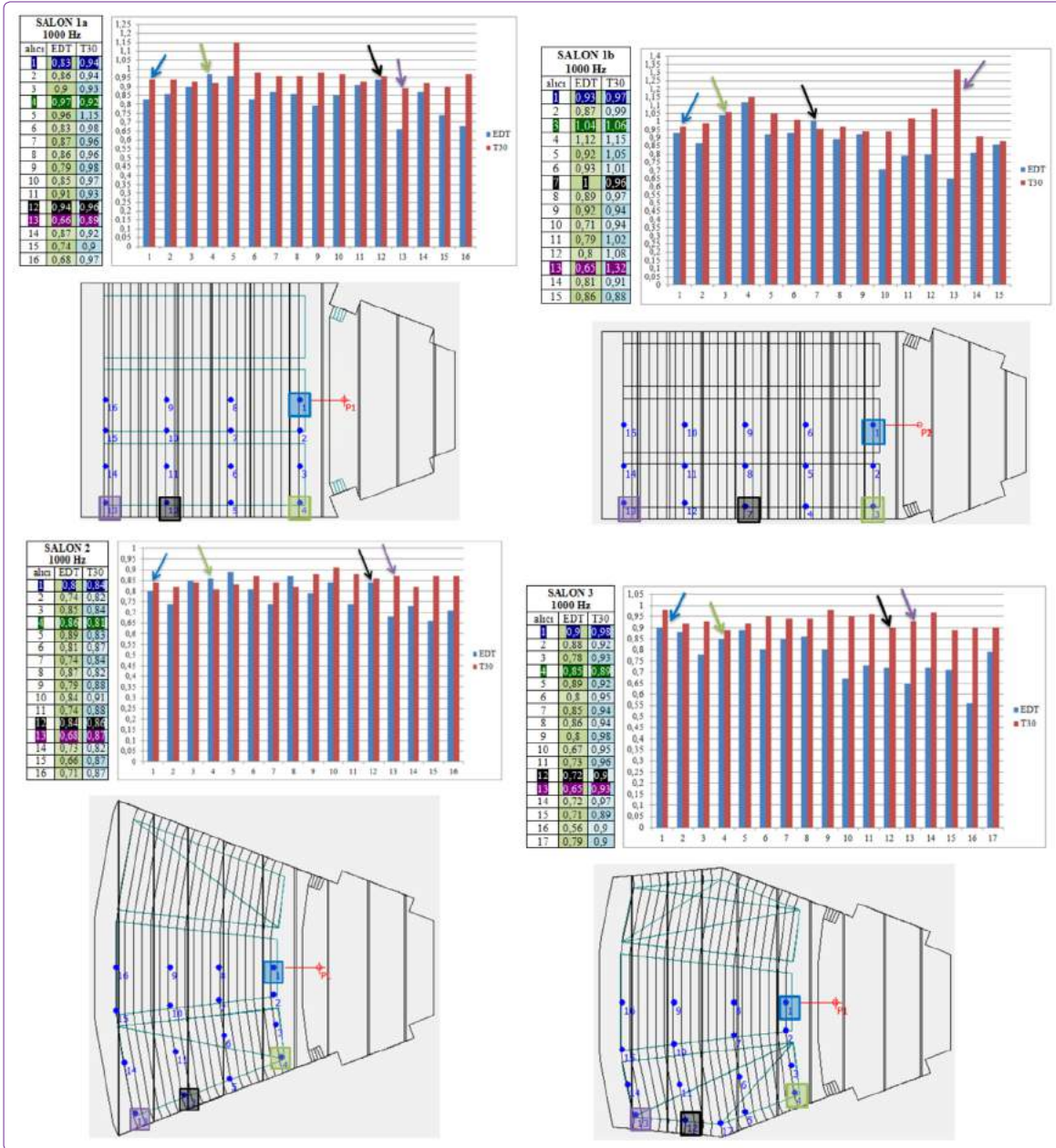
Salon özellikleri ve Odeon kabullerinden yola çıkılarak, literatürde konuşma için önemli olan birçok akustik parametreden ikisi olan EDT ve T30 salonların hepsinde ele alınmış, karşılaştırılmış ve geometrinin akustik performansa etkileri üzerinde durulmuştur. Bu çalışma kapsamında herhangi bir iyileştirme çalışması yapılmamıştır, bahsedilen parametrelerin değerleri optimuma yakın olana kadar malzeme ve geometri denemeleri yapılmış, optimum değerler geometri ve malzemelerle sağlanmıştır. Salonlardaki değerlendirmeler; bu parametreler için sağlanan optimum

değerler baz alınarak birbirleriyle karşılaştırılarak yapılmıştır.

### EDT-T30 (Erken Düşme Süresi-Çınlama Süresi)

Çınlama ardışık yansımalar yolu ile ses enerjisinin sürdürülmesidir. Ardışık yansımaların her birinde ses enerjisinin bir kısmı yutulur, bu ses basınç düzeyi işitilmezliğe ulaşana kadar sürer. Bu süreç T30'dur ve bunda hacim, yüzeyler, insanlar ve döşemenin yutuculuğu etkilidir (Yılmaz, 2007).

Salonun hacmine ve yutuculuğuna bağlı olan T30, kaynaktan çıkan seste 30 dB'lik bir düşüş olana kadar geçen



Şekil 6. Salonların alıcılara göre erken düşme süresi (EDT) ve çınlama süresi (T30) değerleri.

süreyi ifade ederken, EDT kaynaktan çıkan seste 10 dB'lik bir düşüş olana kadar geçen süreyi ifade eder. Müzik amaçlı salonlarda EDT değerinin T30 değerinden %10 daha fazla olması istenirken, konuşma amaçlı salonlarda birbirine yakın değerlere sahip olabilir. Literatürdeki kaynaklara göre salonun optimum T30 değeri 0.5-1 saniye aralığında kabul edilmiş, değerlendirmeler bunun üzerinden yapılmıştır (Mehta, 1999; Balcı, 2007; Çelebi Şeker, 2014).

Salonlarda 1000 Hz'deki<sup>12</sup> EDT ve T30 değerlerine bakıldığında EDT değerinin T30'un %10'undan fazla ya da eşit

olması beklenirken alıcıların çoğunda T30 > EDT olmaktadır. Yani bu durum alıcıların ilk yansımaları alamadığını gösterir. Konuşma amaçlı salonlarda tavadan gelen yansımalar EDT değerlerini etkilemektedir. Tavan gecikme sürelerine bakıldığında tavan panelleri ile ilgili herhangi bir sorun olmadığı ortaya konulmuştur. Bu sorunun salon geometrilerinden kaynaklandığı düşünülmüş, geometride en çok kritik olan ve kritik EDT-T30 değerlerine sahip olan alıcılar seçilmiştir. Salon 1a'daki alıcı 4 ve salon 1b'deki alıcı 7, EDT ve T30 için optimum değerleri sağlarken, diğer alıcılar birbirine yakın olan ama T30 > EDT değerlerini göstermektedir. Salon 1b'deki alıcı 13 ise T30 > EDT değerinde arada en fazla fark olan alıcıdır. Ayrıca alıcı 1, tam olarak

<sup>12</sup> Hesaplamalar 63 Hz ile 8000 Hz arasındaki frekansların hepsinde (63-125-250-500-1000-2000-4000-8000) hesaplanmış olup, orta frekans olarak kabul edilen 1000 Hz üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.



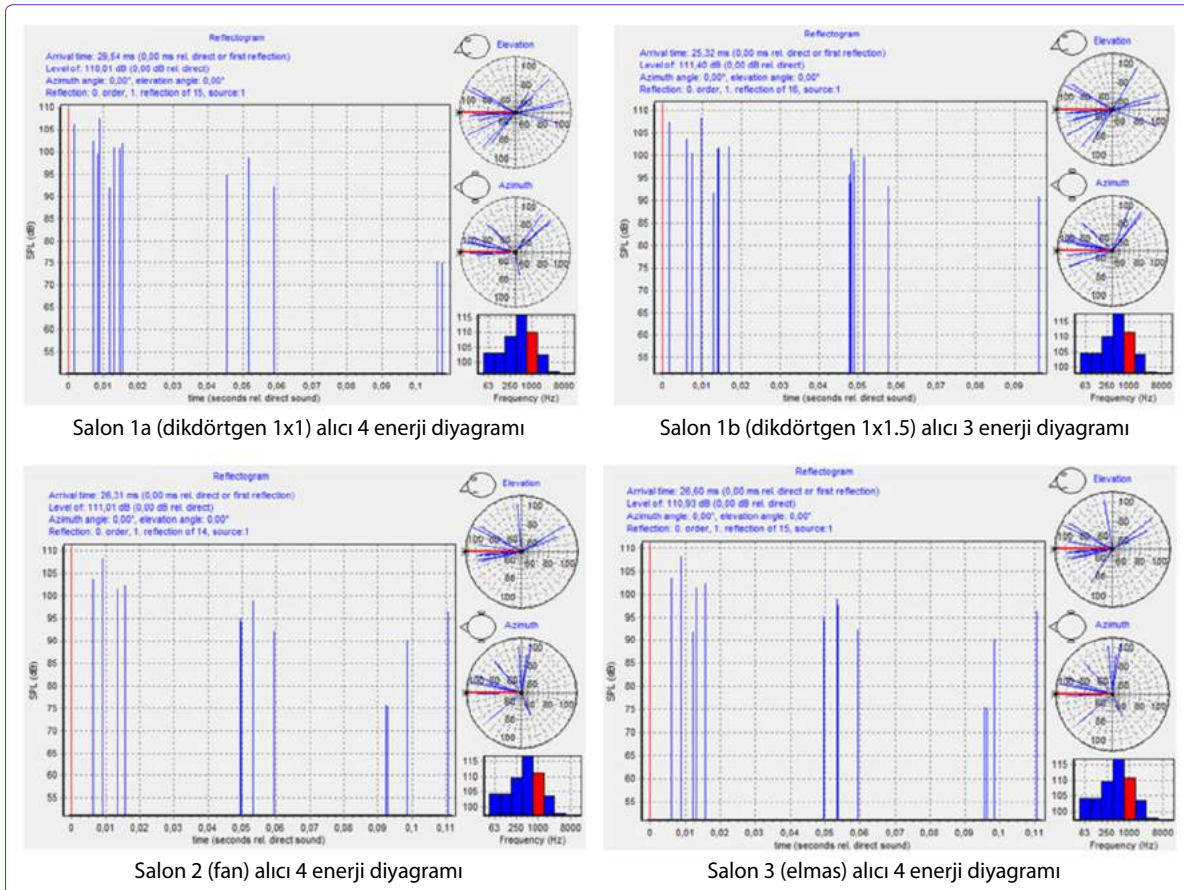
dört salonda da aynı yerde bulunmasına rağmen farklı değerler ortaya koymaktadır. Bu nedenle salon 1a'daki alıcı 4, salon 1b'deki alıcı 7 ve dört salonda da alıcı 1 ve alıcı 13 irdelenmiştir. Alıcı-kaynak etkileşimine bakıldığında diğer üç salondaki alıcı 4, salon 1b'deki alıcı 3'e karşılık gelmektedir. Salon 1b'deki alıcı 7, diğer salonlarda alıcı 12'ye karşılık gelmektedir. Alıcı 13 ve alıcı 1 salonların hepsinde aynı isimle geçmektedir ve aynı yerdedir. Anlaşılması kolaylaştırmak adına aynı konumlardaki alıcılar aynı renklerle ifade edilmiştir.

Alıcıların salondaki konumlarına ve EDT-T30 değerlerine bakıldığında salon 1a ve salon 2'deki alıcı 4'ün optimum EDT-T30 değerlerine sahip olması, erken yansımaları; yani yan duvarlardan ve tavandan gelen ilk yansımaları iyi aldığını göstermektedir. Salon 1b'deki alıcı 3, salon 1a ve salon 2'deki alıcı 4 ile aynı konumda bulunmaktadır, onlar kadar olmasa da diğer alıcılara göre EDT-T30 ilişkisinde optimum değerler sağlamaktadır. Salon 3'teki alıcı 4 ise diğer salonlara oranla optimumdan daha uzak EDT-T30 ilişkisi ortaya koymaktadır. Bahsi geçen alıcı için en fazla T30 değerine sahip olan salon; salon 1b'dir.

Şekil 7'de gösterilen salonların bahsi geçen alıcı için enerji diyagramlarına bakıldığında; salon 1b'nin en fazla yansıma ve dolayısıyla en yüksek enerjiye sahip salon ol-

duğu ortaya çıkmaktadır. Bu da diğer salonlardan genişliğinin daha az olmasına bağlanabilir. Özellikle salon 1a ile karşılaştırıldığında genişliğin etkisi ortaya çıkmaktadır. Salon 2 ise en düşük enerjiye dolayısıyla en düşük T30 değerine sahiptir. Fan salonunun formundan kaynaklanan bu durumu, bu alıcı bir kez daha ispatlamaktadır. Salon 3 ise salon 2'den biraz daha fazla enerjiye sahiptir, bu da elmas salonunun formundan kaynaklanan kırılan yan duvarlar sebebiyle olmaktadır.

Salon 1b'deki alıcı 7 ile salon 1a ve salon 2'deki alıcı 12 optimuma yakın değerler vermektedir. Ancak salon 1b'deki alıcı 7, salon 1a ve salon 2'deki alıcı 12'den daha iyi EDT-T30 ilişkisine sahiptir, çünkü diğer salonlar daha geniş olduğu için ışınlar, salon 1b'dekinden daha uzun yansıma yoluna sahiptir. Salon 1a ve salon 2, salon 3'e oranla daha iyi EDT-T30 ilişkisine sahiptir. Salon 3'ün yan duvarlardaki kırılma sebebiyle toplam enerjisi salon 2'den daha yüksek, dolayısıyla T30 değeri daha yüksek ve alıcı 4 için ışın yansıma yolu daha fazla olduğundan EDT değeri daha düşüktür. Bu nedenle bu alıcıda T30 > EDT farkı en fazla salon 3 içindir. Ayrıca salon 1a ve salon 1b aynı T30 değerine sahip olmasına karşın, bu alıcı için daha uzun yansıma yoluna sahip olduğundan salon 1a'nın EDT değeri daha düşüktür. Bu da yine genişliğin etkisini ortaya koymaktadır.



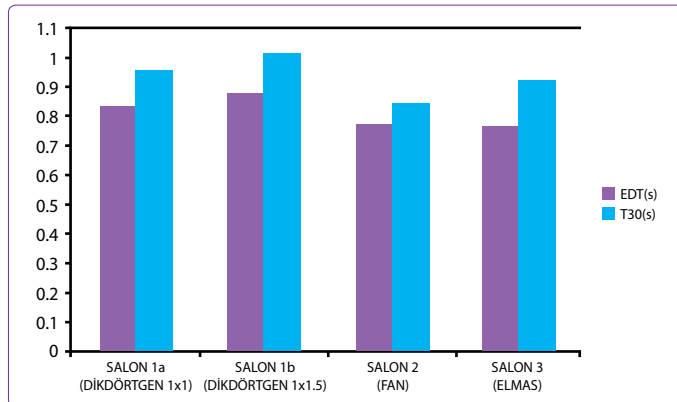
Şekil 7. Salonların aynı konumdaki alıcılar için enerji diyagramları.



Salonlardaki alıcı 13, bütün salonlarda erken yansımaları alamasa da yani  $T30 > EDT$  olsa da salon 1b'nin boyu çok daha uzun olduğundan daha fazla farka sahip değerler ortaya çıkmaktadır. Salon uzunluğunun 25 metreyi geçmesi gerektiği literatürde söz edilen bir gerçektir (Mehta, 1999). Salon 1b, 28 metre uzunlukta olduğundan; alıcı 13 için salon 1a, salon 2 ve salon 3'e göre daha fazla farkı olan  $T30 > EDT$  değeri görülmektedir. Alıcı 1'e baktığımızda ise salon 1b ve salon 3; salon 1a ve salon 2'ye göre daha iyi değerler vermektedir. En düşük  $T30$  değeri salon 2 yani fan salondadır. Zaten fan salonun formundan dolayı, salonun orta aksındaki alıcılara yan duvarlardan çok fazla yansıma gelmeyeceği için orta aksdaki alıcıların enerjisi daha azdır. Ayrıca salon 1a'nın daha geniş olması yansıyan ışın yolunu uzatmaktadır, bu da yan duvarlardan gelen ilk yansımaları almayı engeller. Bunun sonucu olarak alıcı 1 için; salon 1a'daki  $T30 > EDT$  farkı, salon 1b ve salon 3'tekine göre daha fazladır. Yani alıcı 1, salon 1b'de yan duvarlara daha yakın olduğundan yan duvarlardan gelen erken yansımaları daha iyi alır, salon 3'te de kırılan yan duvarların enerji katkısından dolayı  $T30$  değeri daha yüksektir ve ilk yansımaları daha iyi alır. Böylece salon 1b ve salon 3, alıcı 1 için salon 1a ve salon 2'ye göre daha iyi  $EDT-T30$  değeri vermektedir.

Salonun genelinde  $EDT$  ve  $T30$  değerlerinde genişliğin ve uzunluğun etkisi görülmektedir. Salon 1b'de arkadaki alıcılar uzunluğa bağlı olarak, salon 1a ve salon 2'de de orta aksta yer alan alıcılar yan duvarlara uzak olduğundan ve fan salonun formundan dolayı genişliğe bağlı olarak  $T30 > EDT$  olmaktadır ve farkı diğer alıcılara göre daha fazladır.

Salonların 1000 Hz'deki ortalama  $EDT-T30$  değerlerini gösteren Şekil 8'e bakıldığında salon 1b'nin yansıma yolunun kısa olmasından dolayı alıcıların genelinde  $T30$  değerleri en yüksek salondur. En düşük  $T30$  değerleri salon 2'ye aittir, çünkü fan salon form itibarıyla enerji bakımından zayıftır. Bu durum ise daha optimum  $EDT-T30$  ilişkisini ortaya koymaktadır yani,  $T30$  daha düşük olduğu için  $T30 > EDT$  farkı daha azdır. Salon 3'ün yan duvar katkısından dolayı alıcıların genelinde  $T30$  değerleri salon 1a ile yaklaşık ve



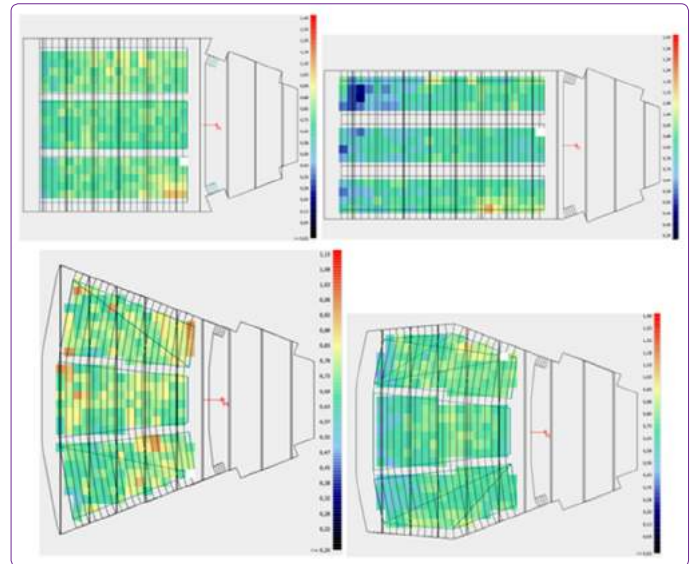
**Şekil 8.** Salonların 1000 Hz'deki ortalama erken düşme süresi-çınlama süresi ( $EDT-T30$ ) değerleri.

salon 2'ye göre daha yüksektir. En yüksek  $T30 > EDT$  farkı bu salondadır.

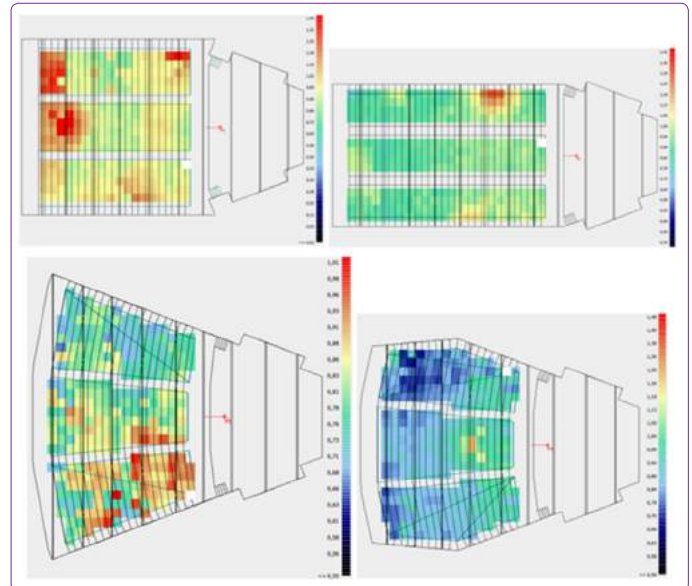
Şekil 9 salonların 1000 Hz'deki  $EDT$  değeri için, Şekil 10 salonların 1000 Hz'deki  $T30$  değeri için dinleyici alanının grid analizini göstermektedir. Bu analizlere bakıldığında da  $EDT-T30$  parametrelerinin salonlardaki 1000 Hz'deki değerleri hakkında bahsedilen yorumlar bir kez daha doğrulanmaktadır.

### Sonuçlar ve Öneriler

Alıcıların enerji diyagramlarına ve hesaplamalara bakıldığında, salonun genelinde salon 1b'nin en fazla yansıma ve dolayısıyla en yüksek enerjiye sahip salon olduğu orta-



**Şekil 9.** Salonların 1000 Hz'deki erken düşme süresi ( $EDT$ ) değeri için dinleyici alanının grid analizi.



**Şekil 10.** Salonların 1000 Hz'deki çınlama süresi ( $T30$ ) değeri için dinleyici alanının grid analizi.

**Tablo 4.** Parametreler için hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucu salonlarda ortaya çıkan sıralamalar

	Salon 1a (dikdörtgen 1 x 1)	Salon 1b (dikdörtgen 1 x 1.5)	Salon 2 (fan)	Salon 3 (elmas)
<b>EDT</b>	<b>2</b>	<b>1</b> Genişliği diğer salonlardan daha az olduğundan dolayı istenene yakın değerler	<b>3</b> Formdan dolayı alıcılar zayıf enerjiye sahip olduğu için istenenden uzak değerler	<b>4</b>
<b>T30</b>	<b>2</b>	<b>1</b> Genişliği diğer salonlardan daha az olduğundan dolayı istenene yakın değerler	<b>4</b> Formdan dolayı alıcılar zayıf enerjiye sahip olduğu için istenenden uzak değerler	<b>3</b>
<b>EDT-T30 ilişkisi</b>	<b>2</b>	<b>3</b> Genişliği diğer salonlardan daha az olduğu için istenenden uzak değerler	<b>1</b> Formdan dolayı alıcılar zayıf enerjiye sahip olduğu için T30 değeri de düşük	<b>4</b> Kırılan yan duvarların enerji katkısı olduğu için T30 değeri yüksek

EDT: Erken düşme süresi; T30: Çınlama süresi.

ya çıkmaktadır. Yansıyan ışın yolunun artması değerlerin daha düşük olmasına sebep olduğundan diğer salonlardan genişliğinin daha az, boyunun daha uzun olmasına bağlanabilir. Özellikle salon 1a ile karşılaştırıldığında genişliğin etkisi ortaya çıkmaktadır. Arkadaki alıcılara bakıldığında ise salon 1b'nin boyunun diğer salonlardan uzun olması ve 25 metreyi aşması T30 > EDT farkını arttırmaktadır. Salon 2 ise en düşük enerjiye dolayısıyla en düşük T30 değerine sahiptir. Fan salonun formundan kaynaklanan bu durum, bir kez daha burada ortaya konmuştur. Salon 3 ise salon 2'den biraz daha fazla enerjiye sahiptir, bu da elmas salonun formundan kaynaklanan kırılan yan duvarlar sayesinde olmaktadır.

Salon 1b'de; arkadaki alıcılar için, uzunluk etkisinden dolayı T30 > EDT, salon 1a'da; orta aksta yer alan alıcılar için, yan duvarlara olan uzaklığın fazla olmasından yani genişlikten dolayı T30 > EDT, salon 2'de; orta aksta yer alan alıcılar için, fan şeklinin verimsiz yan duvar yansımalarından dolayı T30 > EDT ve salon 3'te; alıcıların genelinde, elmas salonun kırılan yan duvarlarının enerji katkısının uzun gecikmiş yansımalarla sebep olmasından dolayı T30 > EDT olmaktadır.

Salonların 1000 Hz'deki ortalama EDT-T30 değerlerini gösteren Şekil 8'e bakıldığında salon 1b'nin yansıma yolunun kısa olmasından dolayı alıcıların genelinde T30 değerleri en yüksek salondur. En düşük T30 değerleri salon 2'ye aittir, çünkü fan salon form itibarıyla enerji bakımından zayıftır. Bu durum ise fan salon için daha optimum EDT-T30 ilişkisini ortaya koymaktadır yani, T30 daha düşük olduğu için T30 > EDT farkı daha azdır. Salon 3'ün yan duvar katkısından dolayı alıcıların genelinde T30 değerleri salon 1a ile yaklaşık ve salon 2'ye göre daha yüksektir. En yüksek T30 > EDT farkı elmas salondadır. Ayrıca dinleyici alanının grid

analizine (Şekil 9, Şekil 10) bakıldığında, alıcılar ve salonun geneli hakkında bahsedilen yorumlar desteklenmektedir.

Salonların 1000 Hz'deki alıcılara bağlı parametre değerleri, parametrelerin 1000 Hz'deki ortalama değerleri, alıcıların yansıma ışın grafikleri doğrultusunda elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir. Literatürde istenen değerlere en yakın olan salona 1, daha uzak olan salonlara da sırasıyla 2, 3 ve 4 numaraları verilmiştir.

Salonlar tasarlanırken, mimari tasarımın akustik performansı ve konforu etkilediği göz önünde bulundurulmalı, akustik açıdan konuşma anlaşılabilirliğinin sağlanması için geometrik şartlar da optimize edilmeye çalışılmalıdır. Hacimlerdeki geometrik farklılıklar akustik parametrelerde de farklılıklara yol açmaktadır. Hacmin genişliği, uzunluğu, en/boy oranı, hacimde paralel yüzeylerin bulunması, yan duvar katkısı, yan duvarların açısı ve tavan panellerinin şekli; erken yansımaları, yanal yansımaları, gecikmiş yansımaları, toplam ses enerjisini ve dolayısıyla da erken düşme süresi (EDT), çınlama süresi (T30), belirginlik (D50), erken yanal enerji oranı (LF80), sesin yüksekliği (G), sesin açıklığı-netliği (C80), merkez zaman (Ts), konuşmanın iletim indeksi (STI) gibi konuşma için önemli olan akustik parametrelerin değerlerini etkilemektedir.

Bu çalışmanın sonucu olarak; üç farklı tipteki dört farklı plan şemalı salonlarda EDT ve T30 parametrelerinin nasıl farklılık gösterdiği değerlendirilmiştir. Özellikle dikdörtgen plan şemalı salonlarda kaynak pozisyonuna göre salonun oturma alanının eni ve boyu birbirine eşit olmamalı ve/veya oturma alanının boyu 25 metreyi geçmemelidir. Paralel olan yüzeyler kullanılmaktan kaçınılmalı ya da saçıcılık ile bu yüzeylerin paralelligi bozulmalıdır. Ayrıca iç bükey yüzeylerin odaklanmaya sebep olduğu unutulmamalı, iç bükey yüzeyler kullanılmaktan kaçınılmalı ya da saçıcı veya

yutucu bir malzeme ile kaplanmalıdır (Long, 2006; Rossing, 2007). Fan plan şemalı salonların yan duvar yansımalarının özellikle orta akstaki alıcılar için zayıf olduğu, daha çok tavandan beslendiği unutulmamalı, tavan yansımaları ile desteklenmeye çalışılmalı veya yan duvarlar buna göre hesaplanmalıdır (Rossing, 2007). Elmas plan şemalı salonlarda ise kırılan yan duvarların enerji katkısından dolayı artan enerji; malzemelerle ya da diğer yapı elemanları ile alınacak tedbirlerle kontrol altında tutulmaya çalışılmalıdır. Çünkü salonlardaki fazla enerji, geciken, devam eden yansımalar demektir ve bu da salonlarda uzun gecikmiş yansımalara, ekoya sebep olabilir.

### Kaynaklar

- Balcı, H. (2007). Antalya Cam Piramiti'nin Hacim Akustiğinin Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Christensen, C. L. (2009). Odeon Room Acoustics Program User Manual. Technical University of Denmark,.
- Çelebi Şeker, N. N. (2014). Salonların Mimari Tasarımının Akustik Performansa Etkileri: Dikdörtgen, Fan Ve Elmas Salon Örnekleri [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ham, R. (1972). Theatre Planning. Architectural Press.
- Kalaycı, T. (2016). İç Mekan Tasarımının Hacim Akustiğine Etkisi [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi]. Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- Konuk, G. (2010). Hacim Akustiği Parametrelerinin Türk Makam Müziği İcra Edilen Kapalı Mekânlar Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuttruff, H. (1999). Room Acoustics. Elsevier Applied Sciences.
- Long, M. (2006). Architectural Acoustics. Elsevier Academic Press.
- Mehta, M., Johnson, J. ve Rocafort, J. (1999). Architectural Acoustics Principles and Design. Prentice Hall.
- Meral, S. (2019). Spor Salonlarının Çok Amaçlı Kullanımında Akustik Parametreler [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ökten, G. (2010). Mimari Form ve Yüzey Saçıcılığının Akustik Parametreler Üzerindeki Etkisi [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Rindel, J. H. (1999). Acoustic Design of Reflectors. Department of Acoustic Technology Technical University of Denmark,.
- Rossing, T. D. (2007). Handbook of Acoustics. Springer Science + Business Media.
- Savcı Özgüven, Z. (2015). İlköğretim Binalarında Konuşma Anlaşılabilirliği ve Ses Kalitesini İncelemek Üzerine Bir Alan Araştırması [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Strong, J. (2010). Theatre Buildings. Routledge Taylor & Francis Group.
- Şahin, Ö. (2007). Konuşma Amaçlı Hacimlerde Kaynak Konumu Değişiminin Hacim Akustiği Parametreleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Teke, D. (2012). Arena Tip Salonlarda Mimari Tasarım Öğelerinin Bilgisayar Simülasyon Çalışması ile Akustik Açından İrdelenmesi [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ver, L. I. ve Beranek, L. L. (2006). Noise and Vibration Control Engineering. John Wiley & Sons, Inc.
- Yerli, C. (2015). Farklı Anlayışlarla Tasarlanmış Eğitim Alanlarındaki Sınıfların Hacim Akustiği Yönünden Değerlendirilmesi; Doğa Koleji Çukurambar ve İMKB Alparslan Ortaokulu Örneği [Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi]. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yılmaz, S. (2007). Çevre ve Yapı Akustiği. Birsen Yayınevi.