

**MÜZİK DİNLEME PERSPEKTİFİNDE MEKAN - İNSAN İLİŞKİSİ:  
KRİTİK DİNLEME ODALARININ AKUSTİK PARAMETRE  
İLİŞKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**HUMAN - SPACE RELATIONSHIP WITH A PERSPECTIVE OF MUSIC  
LISTENING: EVALUATION OF THE RELATIONS OF ACOUSTICAL  
PARAMETERS IN CRITICAL LISTENING ROOMS**

**Öğr. Gör. Dr. Feridun ÖZİŞ**  
**Arş. Gör. Suat VERGİLİ**

**Özet**

Günümüzde akustik tasarımın önemli olduğu mekanlar arasında konser ve konferans salonları ön sıralarda yer almaktadır. Ancak evlerimizde müzik dinlediğimiz ya da ev sineması sistemleri ile film izlediğimiz dinleme odası olarak tanımlanabilecek odalardan, kayıt stüdyolarına kadar birçok küçük mekan da akustik kriterleri açısından önem kazanmış ve standartlaştırılmıştır. Bu tip odalara yerleştirdiğimiz amfi, hoparlör vb. gibi donanımları üreten firmaların her zaman daha yüksek ses kalitesine ulaşmayı hedeflediği ortadadır. Ancak kötü akustik özelliklere sahip bir odada en iyi ekipmanlar ile yapılacak bir seslendirme dahi iyi bir duyum vermeyecektir. Bu yazı küçük kapalı hacimlerin akustik özellikleri ve kapalı bir mekanda insan kulağının sesi nasıl algıladığına dair psikoakustik olgular perspektifinde dinleme odaları üzerine değerlendirme ve öneriler sunmaktadır. Ayrıca duyum ve küçük oda akustik parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkileri bu odaların akustik tasarımı perspektifinde değerlendirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Müzik, Akustik Tasarım, Kritik Dinleme Odaları, Ses.

**Abstract**

Acoustic design of enclosed spaces such as concert halls and auditoriums have a significant importance. However, small "listening rooms" such as rooms with music or home theater systems, recording studios etc. have also gained importance and started to have their own standards in terms of their acoustic design. Manufacturers of the equipment (amplifiers, speakers etc.) that we use in such spaces clearly aim to obtain higher sound quality in their products but even the best equipments will

sound bad in an acoustically inadequate environment. This paper aims to evaluate the acoustical properties of listening rooms and give suggestions about room design with a perspective of psychoacoustical facts of auditory perception in enclosed spaces. The relationship between auditory perception and acoustical criterias of small rooms will also be evaluated with a perspective of room acoustic design.

**Key Words:** Music, Acoustic Design, Critical Listening Room, Sound

## Giriş

Müzik dinlenen bir odada sesi nasıl duyarız ? Bu sorunun özellikle günümüzde daha da karmaşık bir şekil aldığından söz edebiliriz. Müzik dinlediğimiz mekanlar olan konser salonları, hi-fi odaları, kayıt stüdyoları ve hatta evlerimizdeki oturma odalarına kadar tüm alanlarda müziğin doğru dinlenmesi belirli teknik şartların gerçekleştirilebilmesiyle mümkün olmaktadır. Aksi halde mekanların akustik karakterleri, dinleme noktası ve ses sistemi yerleşimi açısından üretilen sesin kulağa gelene kadar izlediği yolda ciddi kalite düşüşleri, hatta sinyalin doğru duyulamamasına kadar giden sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu da dinlenen müzik üzerine yapılan değerlendirmelerde yanlışlıklar yapılmasını sağlayacaktır. Dinleme eyleminin ses üretim zincirinin ayrılmaz bir parçası oluşu Robert Walker tarafından vurgulanmıştır[Walker, 2007: 1].

Kritik dinleme mekanları olarak adlandırılan temel alanlar arasında kayıt ve mastering stüdyoları, hi-fi odaları gibi mekanlar sayılabilir. Bu alanlar müzikal sinyalin dinleyiciye nasıl ulaştığının önemli olduğu mekanlar olarak tanımlanmaktadır ve akustik literatüründe küçük oda akustiği perspektifinde değerlendirilir. Bu mekanlar, temel tasarım parametreleri açısından, rezonans frekansları, yansım süresi, emicilik oranları ve yerleşimleri perspektifinde değerlendirilir. Bu makale, belirtilen konuların birbirlerine olan etkilerini, uluslararası standartlar, tasarım ve dinleyici perspektifinde inceleyerek, küçük oda akustiğinin önemli bir parçası olan kritik dinleme mekanlarını, akustik tasarım açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

## Duyuma ve Kaplı Alanlarda Ses Algısı

Ses kalitesi araştırmaları, başından beri ses reproduksiyonunun kalitesinin objektif ölçütlerle değerlendirilebileceği referanslarla ilgilenir. Ancak son zamanlarda algılanan kalite üzerine olan ilgi artmış ve algılanan kalitenin referans durumlardan ayrıştığı noktalar ilgi çekmiştir. Bu gibi araştırmalar fiziksel nicelik ve ölçütlerden elde edilemeyecek algısal kalite unsurlarına ışık tutmuş ve dinleyicilerin tercihlerinin ön plana çıkmasını sağlamışlardır. [Bégault 2006:1] Psikoakustik ve akustik araştırmaların çoğunluğunda karşılaşılan öznel kriterler

olarak adlandırılan ve sürekli ölçümlenebilir nesnel formül ve tanımlar ile eşleştirilmeye çalışılan bu kriterler, kapalı hacimlerde dinleyicinin aldığı işitsel hazın temelinde yer almaktadırlar. Duyduğumuz seslerin teknik analizine geçmeden önce insan kulağının sesleri nasıl algıladığıyla ilgili kısa bir bilgi vermekte yarar vardır.

İnsan kulağı 3 ana bölümden oluşur. Bu bölümlere Dış Kulak, Orta Kulak ve İç Kulak adları verilir. Dış kulak, pinna adı da verilen kulak kepçesi ve 0.7 cm çapında, 3 cm uzunluğundaki dış kulak yolundan oluşur. Pinna duyulan sesin yönsel kodlamasının yapılması görevini üstlenir ve bu, beyinin sesin nereden geldiğini anlaması için çok büyük öneme sahiptir. Dış kulak yolunun rezonans etkisi ise aynı bir kilise orgu borusu gibi çalışarak belirli frekanslardaki sesin gürlüğünü arttırır. [Everest 2000: 42] Dış kulak yolunun sonunda dış kulak ve orta kulağı birbirinden ayıran kulak zarı yer alır. Orta kulak, içerisinde 3 tane kemikçik bulunduran boşluktur. Sırasıyla çekiç (malleus), örs (incus) ve üzengi (stapes) adları verilen bu kemikler kulak zarına vuran sesin gürlüğünü yükselterek iç kulak sıvısına iletmekle görevlidirler. İç kulak ise en karmaşık yapıya sahip olan kısımdır. Orta kulak, kemikçiklerinin gürlüğünü yükselterek ilettiği ses sinyali burada salyangoz (cochlea) organı tarafından elektriksel sinyale dönüştürülür. Ses iç kulağa girdikten sonra bir çeşit spektral analizden de geçer. Salyangoz organının yüzeyini kaplayan basilar membran, sinyali uzaysal olarak frekans bantlarına böler. [Pressnitzer, McAdams 1999: 11] Daha sonra bu elektriksel sinyaller iç kulağın sonundaki işitsel sinirler ile beyine iletilir.

İnsan kulağı kapalı bir mekanda algıladığı sestten o mekanın hacmini, odadaki yansımın miktarını, ses kaynağının yönsel karakteristiğini ve bunların ses üzerindeki etkilerini algılayabilir. Bir oda içerisinde bir ses tınlatıldığı zaman dinleyiciye ilk önce direkt ses gelir. İnsan kulağı yansımalarından önce bu direkt sestten ses kaynağının hangi yönde olduğunu bilgisini çözümler. Bunun sebebi direkt sesin, yönsel karakteristiğe ait binaural (iki kulak ile duyma) ipuçlarını taşımasıdır. Bu direkt sesi daha sonra yansımalar ve odanın yansımını takip eder. Dinleyiciyi çevreleyen ve tüm yönlerden gelen bu yansımalar ile direkt ses birleştiğinde kulak, direkt sestten elde ettiği yönsel ipuçlarından belirgin farklılık gösteren ipuçları elde edebilir. İşitsel mekanizmalar dinleme alanında ses kaynağının bulunduğu nokta ile ilgili bilgiyi bu ipuçları ile yorumlarlar. [Hameed, Pakarinen, Valde, Pulkki 2004: 1-2] Bir diğer algı ise “stereo imaj” olarak adlandırılan, insan kulağının kaynağın sağda mı yoksa solda mı olduğuna karar verdiği algıdır. Kulak bunu IID (interaural intensity differences – İki kulak arası yoğunluk farklılıkları) ve ITD (Interaural time differences – İki kulak arası zaman farklılıkları) farklarıyla sağlar. [D’Antonio, Biello, Davis 1988: 2] ITD sesin geldiği yönün bir fonksiyonudur. Kulaklara gelen sinyaller arasındaki gecikme tam orta nokta olan orta (median) düzlemde (başın tam ortasından sağ ile solu ayırıtıran kesiti) sıfır, sağ ya da sol kulağın tam zıttı olan ters noktalarda maksimum 0,8 ms’dir. 0,8 milisaniyelik maksimum ITD değeri 1250 Hz’in dalga boyunun periyodudur. Bu frekansın üstüne çıkan değerler iki kulak arası mesafeden daha küçük dalga boylarına sahip olacağından ITD değerlendirmeleri kullanışsız hale gelir. [D’Antonio, Biello, Davis 1988: 3]

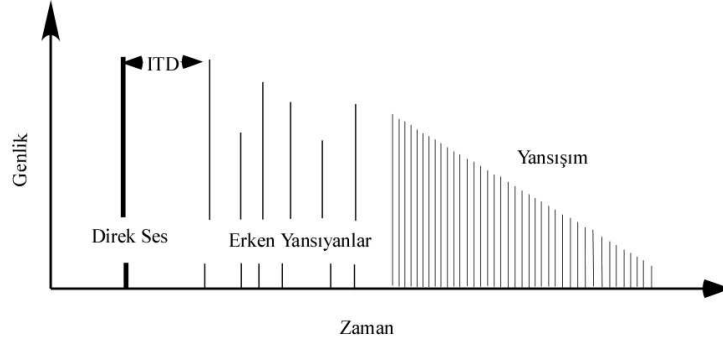
İnsan kulağı işitme sırasında pinnanın, omuzların, vücudumuzun ve başımızın etkisi ile yönsel duyumunu daha da geliştirir. Kulak IID ve ITD ipuçlarının belirsizliklerini bunlar sayesinde edindiği ek ipuçları ile giderir. Bu ipuçları sayesinde ön, arka, yukarı, aşağı, sağ ve sol yönlerden gelen sinyalleri ayırabilir ve yerlerini belirleyebiliriz. Bu ipuçlarından önemli bir tanesi başın yönsel transfer fonksiyonudur (head related directional transfer function - DTF). Bu fonksiyon ile yanal düzlemdeki (başın ön ve arkasını ayıran kulak hizasından kesiti) değişiklikler izlenir. D'Antonio'nun yaptığı bir deneyde deneğe yüksekliği kulak hizasına göre 10'ar derecelik açılarla artırılan bir hoparlör ile ses dinletilmiş ve frekans karşılıkları değerlendirilmiştir. 8 kHz ve 13 kHz'de kaynağın yüksekliği arttıkça, miktarı artan iki belirgin çökme görülmüştür. DTF'ler 500 Hz ve üzeri frekanslarda belirgin çökmeler gösterebildiği için dinleme odası tasarımında yansımalar yüzünden oluşabilecek bu gibi anormalliklerin minimize edilmesi gerekir. [D'Antonio, Biello, Davis 1988: 2-3]

Kulağın yapısı kadar, kulağa gelen seslerin beyin tarafından nasıl değerlendirildiği dinleme pratikleri açısından önemlidir

Stereo etkisi, asıl olarak hoparlörlerin tasarımı, en erken yansımaların (10ms altındaki) ve geç yoğun aynasal yansımalar tarafında belirlenir. Dinleme odalarının kendilerine has özellikleri olan bu yansımalar kulağın aldığı yer belirleme ipuçlarını etkilerler. Yer belirleme mekanizmalarının tamamen çalışabilmesi için oda içerisinde tam bir yansıma kontrolü gereklidir. Bu mekanizmalardan birisi baş ilişkili yönsel transfer fonksiyonlarına bağlıdır ve bu sayede yukarı, aşağı, ön ve arka algısını sağlar. Bu yer belirleme ipuçları en fazla DTF'lerin en belirgin çökmelerinin olduğu 500 Hz ve üstündeki frekansların çakışmalarından etkilenir. Direkt ses ve odadaki yansımaların bir araya gelmesi ile de frekans alanında da başımızın DTF'lerini benzetleyen çökmeler meydana gelebilir. Sonuçta bu hayali erken yansımalarla oluşan DTF'ler önceden kodlanmış DTF'ler ile çatışarak işitsel algı sistemini karıştırarak stereo imajın bozulmasına yol açarlar. Bu frekans aralıkları emici malzemeler ile kolayca kontrol edilebilir. [D'Antonio, Biello, Davis 1988: 7]

Kulak bir odanın büyüklüğünü ise erken yansımaların varış zamanını ve direkt ses ile aralarındaki zamansal gecikmeleri (ITD-İlk Zaman Gecikmesi) yorumlayarak algılar. Bu Şekil 1'de gösterilmiştir. Küçük bir odada erken yansımaların varış zamanı büyük hacimli odalara göre kısadır ve bu işitsel algıda önemli bir ipucudur. Ayrıca erken yansımaların gürlükleri de oda hacmi ile ilgili ipuçları verir. Yansımaların oda içerisinde aldıkları yol uzadıkça güçlerinde kayıplar meydana gelecektir. Başka bir deyişle büyük hacimli odalarda erken yansımaların gürlükleri küçük odalara göre daha azdır. [Hameed, Pakarinen, Valde, Pulkki 2004: 2] Oda hacmi ile ilgili son bir ipucu da odadaki yansıma süresinin uzunluğudur. Büyük hacimli odalarda yansıma süresi küçük hacimli odalara göre daha fazla olacaktır. Kulak bu yansıma süresi farklılıklarını yorumlayarak oda hacmi ile ilgili çıkarımlarda bulunur. Fiziksel olarak küçük odalarda yansımanın gürlüğü büyük odalara göre daha fazladır. Kolayca hissedilebileceği gibi, küçük mekanlarda (örn. Banyo) yansımanın ses basıncının yüksek olması sebebi ile ses daha gür duyulur. [Hameed, Pakarinen, Valde, Pulkki 2004: 5] Ancak şu da bilinmelidir ki yansıma süresi her zaman oda hacmi ile ilişkili doğru ipuçları

vermeyebilir çünkü yansıyımında yüzeylerde kullanılan malzemeler, oda şekli gibi pek çok etken vardır. Akustik düzenlemeler ile büyük hacimli bir oda, aynı küçük hacimli bir odanın yansıyım süresine sahip olabilir. [Hameed, Pakarinen, Valde, Pulkki 2004: 6]



Şekil 1. Direk ses, yansıyan ses ve ITD boşluğu.

Rumsey, kapalı bir mekanda tınlatılan ses kaynağının yerinin, boyutlarının ve odanın akustik özelliklerinin algılanmasını “uzaysal izlenim” (spatial impression) olarak tanımlar. [Rumsey 2002: 655] Yeniden üretilmiş (reproduced) sesin uzaysal kalite ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtir ve uzaysal izlenimin bu kalite kriterlerinden etkilendiğini ortaya koyar. Uzaysal kalite kavramının önemli bir kavram olarak ortaya çıkışını ise piyasadaki çok çeşitli ve kaliteli ses sistemlerine ve evlerde giderek artan ev sinema sistemlerine bağlayarak tüketicilerin daha kaliteli ses duyma ihtiyaçlarının artması ile ilişkilendirir. [Rumsey 2006: 1] Bu noktada teknik kalite ve uzaysal kalite kavramlarını karşılaştırır ve teknik kalitenin yada hi-fidelity kavramının ses mühendisliğinin amaçlarından birisi olduğunu belirtir. En iyi teknik kalite ile düşük seviyede sinyal bozulmasına (distortion), geniş frekans alanına, düz bir frekans cevabına, düşük gürültü seviyesine sahip ses kayıtlarını kasteder ve bu kalite kriterlerinin kimi noktalarda insan algısının sınırlarını aşabildiğini belirtir. Bu yüzden teknik kalitenin ideal olma ölçütünün belirginliğini yitirdiğini ve buna karşın bir mekanın uzaysal kalitesinde ideale ulaşma kavramının halen net olduğunu belirtir. [Rumsey 2006: 1-2]

Uzaysal izlenim kavramı D’Antonio tarafından da şöyle tanımlanır. Yüksek bir uzaysal izlenim, dinleme noktasından geçen sesin yansımalarının, aynı noktaya, odanın derinliği ile belirlenen ideal bir gecikme süresinde (Initial time delay gap) ulaşmasıyla elde edilir. Bu ses dinleme noktasına ilk olarak arkadan, daha sonra yan duvarlardan, tavandan, zeminden ve odanın ön duvarından uzaysal ve geçici yayılımla ulaşır. Böylece dinleme noktasını yoğun bir ses yayılım alanı ile sarmalar. Bu şekilde yüksek bir uzaysal izlenim elde edilir ve bu izlenimi en iyi hissedebildiğimiz alanın (sweet spot) genişliği, iyi bir stereo imajın da elde edilebilmesi için gereklidir. [D’Antonio, Biello, Davis 1988: 8-9] Bu perspektifte tasarlanmış oda örnekleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Kaynak: WSDG Architectural Design

Şekil 2 a- Alan May Dinleme Odası

b- 3bChe Lab Zürih, Switzerland

### Rezonans Frekansları (Mod Frequency) ve Oda Oranları

Kritik dinleme mekanlarındaki temel tasarım prensiplerinin başında odanın rezonans frekansları (mod frekansları) gelmektedir. Oda karşılıklı yüzeyleri arasında oluşan bu frekanslar axial tangential ve oblique olarak isimlendirilir. Daha açık bir ifadeyle odanın karşılıklı iki yüzeyi arasında meydana gelen frekanslar axial, odanın dört yüzeyinden yansıma sonucunda oluşan rezonanslar tangential ve odanın tüm yüzeylerinden sesin yansıması sonucu oluşan rezonanslar da oblique olarak isimlendirilir. Tasarımcılar bu rezonans frekanslarıyla bir odada hangi frekanslarda sorun olduğuyla ilgili önceden hesaplama yapabilirler. Dikdörtgen bir oda için rezonans frekansları Formül 1’de verilmiştir.

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{r^2}{L^2} + \frac{p^2}{W^2} + \frac{q^2}{H^2}} \quad [\text{Formül 1}]$$

*f*: Rezonans Frekansı

*c*: Ses Hızı

*L*: Uzunluk

*W*: En

*H*: Yükseklik

*r, p, q* : Pozitif Tam Sayılar

Bu formülle hesaplanacak frekanslar sonucunda ortaya çıkan tabloda üst üste gelen ve aralarında belirli bir seviyeden fazla boşluk olan frekanslar sorunlu olarak değerlendirilir. Bu boşluk miktarı Bonello tarafından her rezonans frekansının kendi frekansından %5 uzakta olması olarak tanımlanmıştır. [Everest,

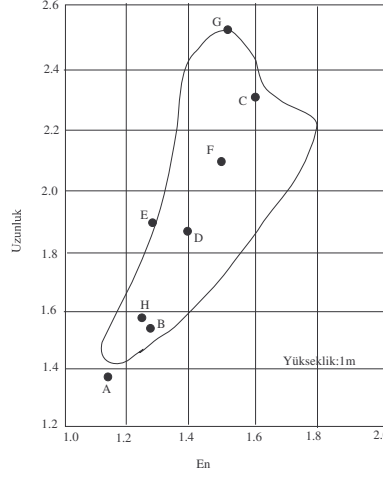
2000: 288]100 Hz'lik bir frekanstan sonra gelecek olan diğer mod'un Bonello Kriterine göre 105 Hz'de olması gerekmektedir.

Rezonans frekanslarının oluşmasında odanın emicilik durumu oldukça belirleyicidir. Bunun nedeni oluşacak modların oda yüzeylerinden yansiyarak meydana gelmesidir. Bu nedenle oda yüzeylerine yerleştirilecek emicilerin farklı frekanslardaki emicilik katsayıları, yansıyan enerji miktarını ve buna bağlı olarak rezonans frekanslarının seviyesini belirleyecektir. Bir odadaki mod frekanslarının seviyesi açısından en değerli rezonans frekansı axial mod'dur. Axial mod iki yüzeyden yansiyarak oluşması nedeniyle diğer modlara göre daha yüksek seviyededir. Bu noktada oda tasarımı aşamasında axial mod sorunlarının oluşmaması için özen gösterilmelidir.

Dinleme mekanları şekilleri açısından değerlendirildiğinde içbükey ve dışbükey mekanlar, seste belirli odaklanma sorunları ortaya çıkarmaları nedeniyle sıklıkla kullanılmazlar. Bunun dışında kalan küp şeklindeki odalar ise modların üst üste gelmesi sorunu nedeniyle tercih edilir mekanlar değildir. Dikdörtgen odalar günümüz tasarımında ekonomik inşası nedeniyle tercih edilen mekanlar arasındadır.

Formül 1'dende anlaşılacağı gibi odanın rezonans frekansları tamamen oda boyutlarıyla ilişkilidir. Kritik dinleme mekanlarının tasarımında seçilecek oda boyutları o mekanın frekans cevabını direk olarak etkiler. Bu noktada boyut oranlarıyla ilgili çalışmalara da dikkat çekmekte yarar vardır. Bu alanda yapılmış çalışmalar hangi oda boyutlarının rezonans frekansları açısından daha sorunsuz olduğu temeli üzerine kurulmuştur.

Oda oranları üzerine çalışma yapan kişilerden olan Lauden 125 farklı oda oranı belirtirken Bolt 2:3:5 ya da 1:1.26:1.59 oranını önermektedir [Everest 2000: 230]. Bolt ayrıca modal frekansların kabul edilebilir olanlarının hangileri olduğu konusunda yaptığı çalışmada, Bolt Alanı olarak bilinen bölgeyi açıklamıştır (Şekil 3). Bolt, bu bölge içerisindeki oda oranlarını, dikdörtgen odalar için iyi oda oranları olarak belirlemiştir [Everest, 2000: 230]. Dikdörtgen mekanlarda oda cevabının özellikle bas frekanslarda düşük mod dağılımı nedeniyle sorunlu olduğu bilinmektedir. Oda oranlarını Bolt alanı içinde seçmenin iyi bir bas frekans cevabı sağlayacağı Everest tarafından belirtilmiştir. Şekil 3 Bolt alanı olarak bilinen bölgeyi gösterirken, Tablo 1'de, yapılan çalışmalardan elde edilen ses yayılımının düzenli olduğu oda oranları belirtilmiştir [Everest, 2000:231].



Şekil 3. Bolt alanı olarak bilinen ve oda mod'larının en düzenli olduğu bölgeyi belirten grafik.

Bolt alanı içinde verilen oranlar üzerine Everest'in yaptığı çalışmada Tablo 1'de isimlendirilen ve Şekil 3'de belirtilen oranlardan C, D, F ve G oranları modların yan bölgeleriyle olan uzaklığı ve üst üste gelen mod'ların bulunması nedeniyle elenir. Kalan oranlar içinde Bolt alanı içindeki oranlar B ve H'tır. Bolt yaptığı çalışmada Boner'ın 1:1.26:1.59 oranını önermektedir [Everest 2000: 230].

Tablo 1. Mod frekans yayılımının düzenli olduğu oda oranları.

Oran Adı	Bolt Alanı Kodu	Yükseklik	En	Boy	Bolt Alanı
Sepmeyer	A	1.00	1.14	1.39	Hayır
Sepmeyer	B	1.00	1.28	1.54	Evet
Sepmeyer	C	1.00	1.60	2.33	Evet
Lauden	D	1.00	1.4	1.9	Evet
Lauden	E	1.00	1.3	1.9	Hayır
Lauden	F	1.00	1.5	1.9	Evet
Volkman	G	2.00	3.00	5.00	Evet
Booner	H	1.00	1.26	1.59	Evet



Kritik dinleme alanlarında oda oranlarının standartlaştırılmasına yönelik çalışmalar tüm dünyada devam etmektedir. ITU(International Telecommunication Union) ve EBU(Europe Broadcast Union) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda oda oranlarının belirlenmesinde Formül 2'nin kullanılması uygun görülmüştür.

$$1.1w/h \leq l/h \leq 4.5w/h-4 \quad [\text{Formül 2}]$$

l:Uzunluk

w: En

h:Yükseklik

Bolt tarafından önerilen 1-1.26-1.59 oranının da yukarıdaki formüle uygun olduğu açıktır. ITU standartlarında iki kanallı ses dinleme için oda taban alanı 20-60m<sup>2</sup> olarak belirtilirken EBU referans dinleme odaları için 40m<sup>2</sup>, yüksek kaliteli kontrol odaları için 30 m<sup>2</sup> taban alanlı mekanları önermektedir.[ITU 1116-1 1994: 11-12] [EBU 3276, 1998: 11]

#### Yansıma Süresi ve Emicilik

Yansıma süresi tüm oda akustiği alanlarının temel araştırma konularının başında gelmektedir. Temel olarak bir odada ses kaynağı kapatıldıktan sonra 60 dB düşmesi için geçen süre olarak tanımlanır.[Davis, Davis: 1997: 211] Yansımanın frekans ve dinleme bölgesine göre değişiklik göstermesi oda tasarımlarındaki temel sorundur. Bu, mekan içinde farklı noktalarda farklı yansıma süresi değerlerinin ortaya çıkmasına neden olur ki bu istenmeyen bir durumdur. Ayrıca farklı frekanslarda birbirine çok uzak yansıma süreleri konuşma anlaşılabilirliği ve müzik notalarının açık bir şekilde duyulmasını engeller. Bu sebeplerle tasarım aşamasında bu problemlere dikkat edilmelidir.

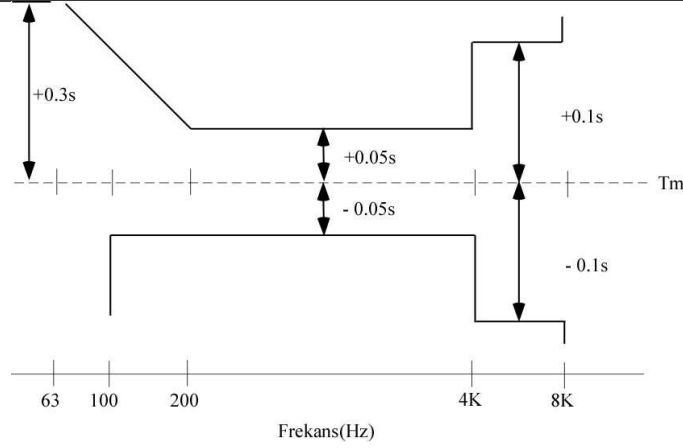
ITU standartlarında bir dinleme mekanı için yansıma süreleri belirtilmiştir. Farklı frekanslardaki yansıma süresi ortalaması olarak adlandırılan Tm değeri Formül 3 ile hesaplanabilir.

$$Tm = 0.25 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [\text{Formül 3}]$$

V:Oda Hacmi

V<sub>0</sub>:Ortalama Hacim(100 m<sup>3</sup>)

Şekil 4'de belirtilen değerler ise hesaplanacak Tm değerinin alt ve üst toleranslarını göstermektedir.

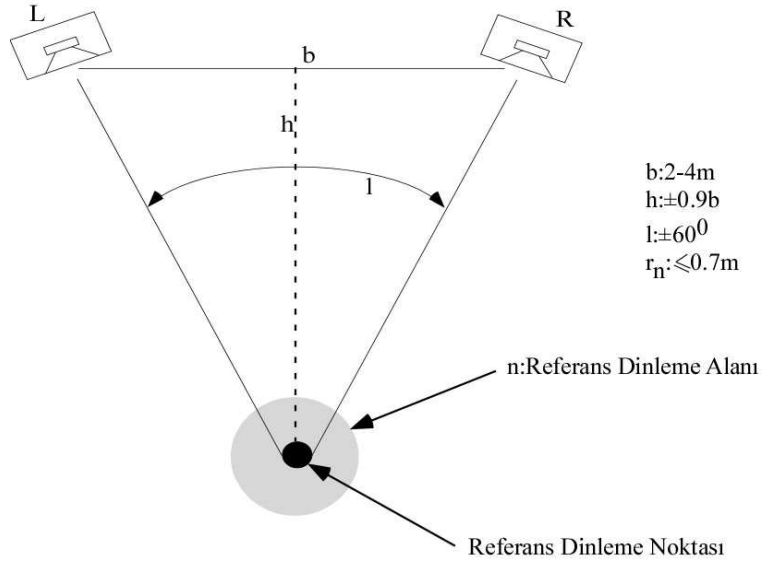


Şekil 4. ITU standartları yansıma süresi toleransları

Mekânların yansıma sürelerini belirleyen temel parametre ise mekânın hacmi ve emicilik miktarıdır. Hacim büyüdükçe ve emicilik azaldıkça yansıma süresi uzar. Sabit bir hacimde emicilik oranını yükseltirseniz yansıma süresi azalacaktır. Bu noktada oda tasarımlarında emici malzeme seçimi önem kazanmaktadır. Malzemelerin emicilik katsayıları odanın frekans cevabı ve farklı frekanslardaki yansıma sürelerini belirleyeceğinden, akustiğin önemli olduğu tüm alanlarda malzeme seçimi ve yerleşimi birincil belirleyicidir.

Emicilik, bir dinleyici tarafından duyulan sesin seviyesini nasıl etkiler? [Angus, Howard 2006: 267] Bu sorunun cevabı dinleyiciye gelen sesin seviyesinde, emiciliğin önemli bir etken olduğunu açıklamaktadır. Ses bir malzemeye çarptığında emilir ve enerjisinin bir bölümünü malzemede bırakır. Yansıyan sesin enerjisi yüzeye gelen sestən düşüktür. Dinleyicinin duyduğu sesin direk kulağa gelen sesle oda yüzeylerinden yansıyan seslerin toplamı olduğundan yüksek emicilik miktarlarında duyulan sesin seviyesi azalacaktır. Bu nedenle tasarım aşamasında yansıma süresi, hacim ve emicilik miktarı parametrelerinin birbirleriyle ilişkisinin doğru saptanması gerekmektedir.

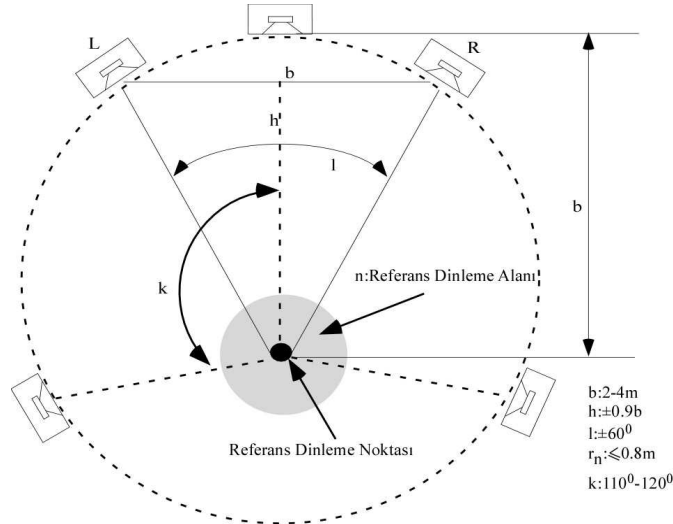
Yönel kodlama açısından değerlendirildiğinde mekânlarda direk sesin ne yönden geldiği önemlidir. Direk Sesin kulağa ulaşması sesin hangi noktadan geldiğiyle ilgili çok önemli bir işitsel duyarlılık sağlar.[Kinsler, Frey, Coppens Sanders, 2000: 343] EBU standartlarında stereo bir dinleme alanı için hoparlör yerleşimi Şekil 5'de belirtilmiştir.



Şekil 5. EBU standartlarına göre stereo dinleme için hoparlör ve dinleyici yerleşim planı

Şekil 5’de belirtilen L-R hoparlörleri arası uzaklık olan  $b$  değeri yine ITU standartlarında 2-4m arasında olması uygun görülmüştür.

Çok kanallı dinleme için ise ön-arka dengesi, sağ ve sol hoparlörlerden gelen dengeden çok daha önemlidir. Bunun nedeni merkez hoparlörün sağ ve sol dengesini sabitleştirme eğiliminden kaynaklanır.[EBU Tech. Doc, sf 6] EBU standartlarına göre çok kanallı dinleme için hoparlör yerleşimi Şekil 6’daki gibi olmalıdır.



Şekil 6. Çok kanallı dinleme için yerleşim planı

### **Emicilik ve Yansıma Süresi Perspektifinde Ses Yayılımı**

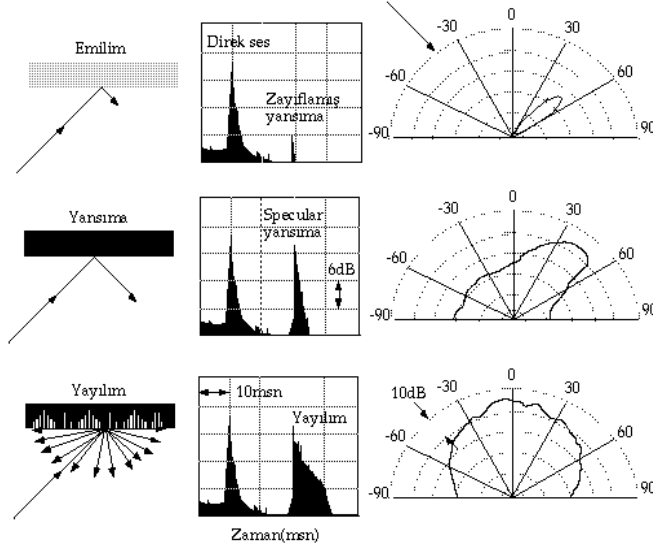
Ses yayılımı ve ses yayılım alanı, küçük odalarda (dinleme odaları, stüdyo kayıt ve kontrol odaları) en çok sorun yaratan akustik özelliklerdir. Randall ve Ward ideal ses yayılım alanının özelliklerini aşağıdaki şekilde açıklarlar.

- Hesaplamalardan elde edilen frekans ve uzaysal düzensizlikler göz ardı edilebilir seviyede olmalıdır,
- Sönüm karakteristiklerindeki atımlar göz ardı edilebilir olmalıdır,
- Sönüm eğrileri mükemmel bir şekilde üssel olmalıdır,
- Odanın her noktasında yansıma süreleri eşit olmalıdır,
- Farklı frekanslardaki sönüm karakterleri temelde aynı olmalıdır,
- Sönüm karakteri ölçümleme mikrofonunun yönsel karakteristiklerinden etkilenmemelidir. [Everest 2000: 267-268]

Akustikte yansımalar ayna tipi yansımalar (speküler) ve yayılan (diffuse) yansımalar olarak sınıflandırılır. Ayna tipi yansımalar ışığın aynadan yansıması gibi gerçekleşir. Gelen ışınla yansıyan ışın arasındaki açı aynıdır. Yayılan yansımalarda ise gelen ışın tüm yönlere yansır. Bu tip yansımaların olması için yansımanın olduğu yüzeyin düzensiz, başka bir deyişle girintili çıkıntılı bir dokusu olması gerekir. [Mehta, Johnson, Rocafort 1999: 48] İdeal yayıcılığa sahip yüzeyler sesi ne emer, ne de ayna tipi (speküler) yansır. Böyle yüzeyler sesi pek çok yöne dağıtır. [D'Antonio 1988: 5] Ayna tipi ve yayılmış yansımaların nasıl gerçekleştiği Şekil 7'de gösterilmiştir.

Kapalı mekânlarda tasarımcıların temelde yapmak istedikleri, mekândaki bir yüzeye çarpan ses dalgasının, geniş bir açı içerisinde eşit enerjili daha küçük dalgacıklara (wavelet) bölünerek dağıtılmasıdır [D'Antonio 1983: 3]. Seste temizlik (clarity) ve yakınlık (intimacy) etkilerinin sağlanması yayılan enerjiden yüksek seviye elde edilmesi ile mümkündür [D'Antonio, 1985: 7]. Bu yayılan yansımanın elde edilmesinde ses mühendislerinin ortak kararı yayıcı (diffusor) kullanımındır.

Ses yayılım alanını olumsuz etkileyen diğer faktörler ise odanın şekli ile ilişkili faktörlerdir. Paralel duvarlar, kötü seçilmiş oda oranları ve yanlış ölçüler gibi olumsuzluklar ses yayılımını kötü etkileyecektir.



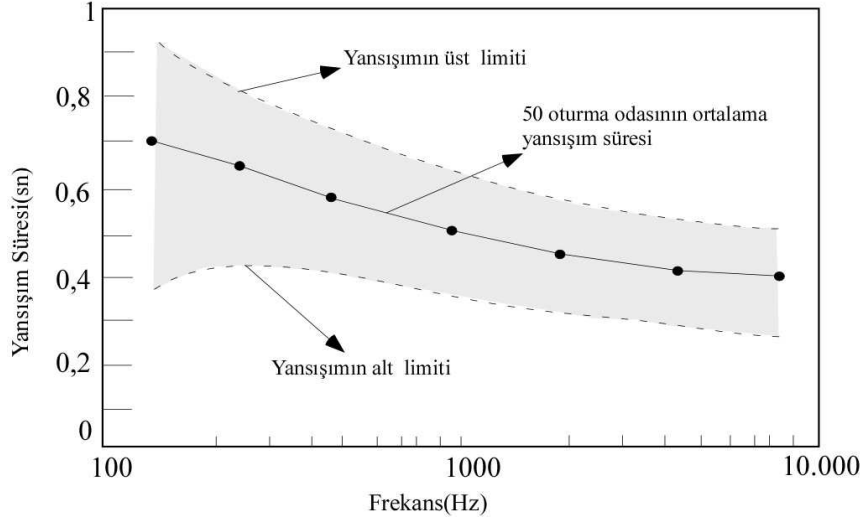
Kaynak: AES Preprint: D'Antonio, Dais, Bilello 1988; Fig

Şekil 7. Yansırma tipleri ve yayılımları

Bir odanın sönüm eğrisinin mükemmel bir düzgünlükte olması odadaki dürtü yanıtı (impuls response) ile ilişkili bir durumdur. Mükemmel bir ses yayılım alanına sahip bir odada, birbirinden ayrı dürtü yanıtlarının her birinin sönümü, seviye olarak düzenli bir şekildedir ancak bu pratikte sık elde edilen bir sonuç değildir. Bu yüzden makul bir ses yayılımı elde etmek için odanın tüm yüzeylerinde aynı emicilik değerleri elde edilmeye çalışılır ve odanın ortalama emicilik katsayısı küçüktür. [Mehta, Jhonson, Rocafort 1999: 210] Oda yüzeylerinde emiciliklerin yaklaşık olarak aynı olması gerekliliği farklı emicilikteki oda yüzeylerinin sebep olduğu ses yayılım problemlerini gidermektedir. Oda yüzeylerinden birisi diğer yüzeylere göre daha fazla emici olduğunda odadaki ses yayılım alanında bu yüzeyden kaynaklanan bozulmalar oluşacak ve sönüm eğrisinde düzensizlikler görülecektir. Sönüm eğrileri yansırma ve yüzeylerdeki yansımalar ile ilişkilidir ve odanın şekli ile de doğrudan bağlantılıdır.

Kritik dinleme odalarının yansırma karakteristikleri konser salonlarında olduğu gibi önemli bir akustik değerlendirme ölçütüdür. Bu odaların yansırma değerleri bu odalarda dinlenen seslerin kayıt edildikleri ses kayıt stüdyoları için de benzer olmalıdır. Bunun sebebi kayıt edilen sesin dinleneceği nihai yerin bu odalar olmasıdır. Bu odaların akustik özellikleri ile ilgili çalışmaların ilklerinden biri BBC tarafından yapılmıştır. BBC mühendislerinin 16 oturma odasında yaptıkları ölçümler sonucunda bu odalarda 0.35 – 0.45 saniye arasında değişen yansırma zamanları belirlemişlerdir. Bu çalışmadan sonra Jackson ve Leventhall İngiltere'deki 50 oturma odasında oktav bantlar kullanarak yaptıkları akustik incelemeler ile ortalama 125 Hz de 0.7, 8 kHz ve üzerinde 0.4 saniye arasında

değişen yansıma süreleri tespit ettiler. [Everest 2000: 154-155] Bu değerler Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Jackson ve Leventhall tarafından 50 ev üzerinde yapılan çalışma (oturma odalarının yansıma süreleri)

Bu noktada dinleme odalarının yansıma süreleri ile ilişkili olarak bilinmesi gereken, bu odaların yansımalarının çok ölü ya da çok canlı olması halinde dinleyicinin müzikten alacağı keyfin azalacağıdır.

BBC, ardından Jackson ve Leventhall'ın yaptığı çalışmalar İngiltere’de hali hazırda var olan evlerde bulunan oturma odaları üzerine araştırmalardır ve bu çalışmaların ortaya çıkış sebebi evlerdeki dinleme odalarının da birer akustik alan olarak ilgi çekici olmasıdır. Dinleyicilerde gitgide artan daha iyi ses kalitesine ulaşma arzusu ve üreticilerin bunu gözeterek ses ekipmanları ürün gamlarını genişletmeleri, içerisinde müzik dinlenen ya da ev sinema sistemleri yerleştirilen odaların akustik kriterlerinin saptanması gerekliliğini doğurmuştur. Konser salonu akustiğinin uzun süre üzerine çalıştığı psikoakustik kriterler olan uzaysallık (spaciousness), sıcaklık (warmth), clarity (berraklık) vb. dinleme odaları için de kullanılmaya başlanmış, insan kulağının ses algısını bu tip odalar içerisinde ne gibi işitsel ipuçları ile gerçekleştirdiği de incelenmiştir.

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Müzik dinleme pratiği, müzik üretim mekanları arasında değerlendirilen kayıt stüdyoları ve mastering stüdyoları, profesyonel dinleme mekanları olan hi-fi odaları ve günlük müzik dinleme alanları olan evlerimizde bulunan oturma odalarına kadar farklı mekanlarda gerçekleştirilebilir. Oturma odaları haricindeki

tüm alanların özel bir akustik tasarıma ihtiyacı vardır. Yapılan tüm tasarımın temel unsuru dinleyici/dinleyiciler bölgesine ses sinyalinin eksiksiz ulaşmasının sağlanmasıdır. Bu perspektifte kritik dinleme mekanlarının akustik tasarımında yukarıda anlatılan parametrelerin doğru mekan tasarımı ve dinleme açısında şu şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hacim-emicilik ilişkisinin doğru saptanması: Yukarıda açıklanan veriler ışığında ortaya çıkan ilk sonuç dinleme mekanlarının boyutlarının ve boyut oranlarının, odanın bas frekans cevabının iyileştirilmesi açısından doğru seçilmesi ve bu seçimde özellikle ITD zamanının doğru bir aralıkta olacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Boyut oranları belirlenirken rezonans frekanslarının hesaplanarak en sorunsuz oranın seçilmesi önemlidir.

İyi bir stereo etki: Stereo etkinin kulağa tam olarak ulaşması açısından dinleyici noktası tercihlerinde ITU standartlarına bağlı kalınmalıdır. Şekil 5 stereo bir duyum için, Şekil 6 ise çok kanallı bir duyum için hoparlör yerleşimlerini göstermektedir.

Oda simetrisi stereo etkinin sağlanmasında çok önemli bir yer tutar. Bu noktada oda tasarımında simetrik olmayan duvarlardan kaçınmak yararlıdır. Bu gerçekleştirilemiyorsa dinleyici noktasına eşit olmayan uzaklıktaki yüzeylerden mümkün olduğunca yayılım alınmaması, bu yüzeylerin emici kaplanması gereklidir.

Yansıma ve Emicilik: Yansıma süresi ve emicilik açısından kritik dinleme alanları tasarımında bilinmesi gereken önemli nokta bu iki kavramın birbirlerine bağımlı olduğudur. Hacim arttıkça yansıma süresi artarken emicilik arttıkça yansıma süresi azalmaktadır. Tasarım aşamasında hacim belirlenirken (ki bu seçilecek odanın boyut oranlarına da bağımlıdır) yerleştirilecek emici miktarı ve malzemelerin emicilik kat sayıları da göz önüne alınmalıdır.

Yansıma: Aynasal yansıma bir odadaki yönel etkiyi ciddi bir şekilde bozabilir. Bu nedenle odaların yansıma istenen bölümlerinden yayılmış yansıma elde edilmesi oda tasarımının önemli bir parametresidir. Bu noktada Schroeder yayıcılarının kullanılması önemlidir. Günümüz kritik dinleme mekanlarında yayıcı olarak kullanılan bu malzemeler 2 ve 3 boyutlu yayılım sağlamaları açısından bu mekanlarda gerekli yayılmış yansımayı sağlamaktadır. Farklı frekanslardaki yayılmış yansıma seviyelerinin eşit oluşu stereo duyum içinde önemli bir belirleyicidir.

Son olarak değinilecek bir başka konuyu ise Winston Churchill'in bir sözüyle açıklamakta yarar vardır. Churchill "eğer bir gözlük takmam gerekiyorsa bundan maximum kozmetik yararı sağlamam gerekir" demiştir [Everest 2000:188]. Buradan çıkan sonuç ise iyi bir akustik düzenlemenin aynı zamanda mimari bir estetik içermesi gerçeğidir. Mekanların akustik tasarımları doğru bir şekilde gerçekleştirilirken, nasıl bir görüntüye sahip olacağı da en az ses kadar önemlidir.

---

**KAYNAKÇA**

Begault, Durand R., "Preference versus Reference: Listeners as participants in sound reproduction", *Spatial Audio & Sensory Evaluation Techniques Workshop*, Guildford, 2006.

D'Antonio, Peter, Biello, Charles, Davis, Don, "Optimizing Home Listening Rooms - Part I", *AES 85th Convention*, Los Angeles, USA, 1988.

D'Antonio, Peter., & Konnert, John H., "The Schroeder Quadratic-Residue Diffusor: Design Theory and Application", *AES Preprint No:1999 Convention:74*, USA, 1983.

D'Antonio, Peter.,& Konnert, John H., "The Role of Reflection Phase Grating Diffusors in Critical Listening and Performing Environments", *AES Preprint No::2255 Convention: 78*, USA, 1985.

Davis. Don. Davis, Carolyn. *Sound System Engineering*, Focal Pres, USA, 1997.

*EBU Tech 3276-2nd Editon*, May 1998.

Everest, F. Alton, *The Master Handbook of Acoustics*, McGraw Hill, USA, 2000.

Hameed, Sharaf, Pakarinen, Jyri, Valde, Kari, Pulkki, Ville, "Psychoacoustic Cues in Room Size Perception", *AES 116th Convention*, Berlin, 2004.

Howard, D. M. Angus, Jamie. *Acoustics and Psychoacoustics*, Third Edition, Elsevier Publications, UK, 2006, pp 267

ITU Recommendation ITU-R BS 1116-1,1994, pp. 11-12

Kinsler, E. L., L, Frey, A. R, Coppens, J. V. Sanders J. V., *Fundamentals of Acoustics*, Jhon Wiley an Sons. USA, 2000.

Mehta, M. Jonson, J. Rocafort, J. *Architectural Acoustics: Principles and Design*, Simon & Schuster, New Jersey, USA, 1999.

Pressnitzer, Daniel, McAdams, Stephen, "Acoustics, Psychoacoustics and Spectral Music", *Contemporary Music Review*, 19(2):33-60, 1999.

Rumsey, Francis, "Spatial Quality Evaluation for Reproduced Sound: Terminology, Meaning, and a Scene-Based Paradigm", *Journal of Audio Engineering Society*, Vol 50 No:9, Sweden, 2002.

Rumsey, Francis, "Spatial Audio and Sensory Evaluation Techniques Context, History and Aims, *Spatial Audio & Sensory Evaluation Techniques*", Workshop, Guildford, 2006.

Walker, Robert "Room Acoustic for Multichannel Listening: Early Reflection Control", *Nordic Sound Symposium 13*, Bolkesjo, 2007.