

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ
MÜZİK TEKNOLOJİSİ BİLİM DALI
Yüksek Lisans Tezi

**SESTE BOYUTSALLIK VE BOYUTSAL SES SİSTEMLERİNDE
DOLBY ATMOS TEKNOLOJİSİ**

Hazırlayan
Cenk AKBULUT

Danışman
Prof. Dr. Cihan IŞIKHAN

İZMİR / 2019

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Seste Boyutsallık ve Boyutsal Ses Sistemlerinde Dolby Atmos Teknolojisi” adlı çalışmanın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını, yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilenden oluştuğunu ve bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

01 / 07 / 2019

Cenk AKBULUT

TUTANAK

Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü'nün /..... / 2019 tarih ve sayılı toplantısında oluşturulan jüri, Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği'nin maddesine göre Müzik Teknolojisi Bilim Dalı, Yüksek Lisans öğrencisi Cenk AKBULUT'un “**Seste Boyutsallık ve Boyutsal Ses Sistemlerinde Dolby Atmos Teknolojisi**” konulu tezini incelenmiş ve aday / / 2019 tarihinde, saat’da jüri önünde tez savunmasına alınmıştır.

Adayın kişisel çalışmaya dayanan tezini savunmasından sonra dakikalık süre içinde gerek tez konusu, gerekse tezin dayanağı olan anabilim dallarından jüri üyeleri tarafından sorulan sorulara verdiği cevaplar değerlendirilerek tezin olduğuna oy ile karar verilmiştir.

BAŞKAN

ÜYE

ÜYE

ÖZET

Ses; konum bilgisini algılama, seslerin geliş açısı, faz ilişkileri, tınısal farklılıklar ve gürlük gibi parametrelere bağlıdır. Buna bağlı olarak İlk Gelen Ses Kanunu, Haas Kanunları, Öncelik Etkisi, Gölge Etkisi, Dublex, ITD ve ILD, HRTF Tespitleri ve binaural işitme deneyleri gibi tespit, veri ve teoriler ortaya atılmıştır. Bu konularda yapılan çalışmalar geçmişten günümüze ses teknolojilerinin gelişimine yön vermiştir.

1887-1888 yılları arasında icat edilen fonograf ve gramofon ile seste elektrik dönemi başlamıştır. 1930'larda geliştirilen stereo'nun sinemada kullanılması ise ses sistemi araştırmalarını ivmelendirmiştir. Sistemlerin geliştirilmesine rağmen, kullanılan analog teknolojiler yüzünden dip gürültü problemleri rahatsızlık verici bir boyuttadır. Dolby, geliştirdiği yöntem ve ürünler ile bu sorunu büyük ölçüde çözmüş ve beğeni kazanmıştır.

21. yüzyıla kadar geliştirilen surround sistemler dönemi için başarılı sayılsa da, dikey düzlemdeki bir ses kaynağını konumlandırmayı sağlayacak başarılı bir ürün ortaya konulamamıştır. 90'lardan sonra üzerine düşülen SRS ve Ambisonic gibi yöntemler, HRTF verilerini kullanarak binaural etki yaratmış; ancak tam olarak hak ettiği ilgiyi görememiştir. Ses sistemlerinde başarı kazanmış Ray Dolby, dikey ses konumlama sorununu çözmek için 2012'de surround sistemine tepe hoparlörleri eklemiş ve geliştirdiği nesne tanımlama sistemi ile Atmos sistemini tanıtmıştır.

Bu çalışmada, boyutsal ses algısı perspektifinde ses sistemlerinin gelişimi, ayrıntıları ve dikey düzlemde ses konumlama sorununa bir çözüm arayışı olarak geliştirilen Dolby Atmos Sinema Ses Sistemi araştırılmıştır. Sistemi ilk kez Türkiye'ye getiren CinemaPink'in, I.C.T.A tarafından ödül alan İstanbul Etiler'deki AkMerkez Sinema Salonu yerinde incelenmiştir. Çalışma, boyutsal işitme üzerine araştırılan konuların yanı sıra Atmos sistemi kurulum ve çalışma detaylarını inceleyen ilk Türkçe akademik çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Dolby Atmos, Boyutsal Ses Algısı, Binaural İşitme.

ABSTRACT

Understanding of sound location information is related to parameters such as incoming sound angle, phase relations, timbre differences and amplitude. Accordingly, studies, data and theories such as First Wavefront, Haas Laws, Precedence Effect, Shadow Effect, Dublex Theory, ITD and ILD, HRTF and binaural hearing experiments have been put forward. Studies on these subjects have led to development of sound technologies from past to the present.

The electric sound era began with the phonograf and gramophone invented between 1887-1888. Sound system researches gathered momentum due to using stereo in cinema, which developed in the 1930's. Despite the developments on the systems, noise problems were given disturbance due to the analog technologies used. Ray Dolby has solved this problem to a great extent with the methods and products he has developed.

Although developed surround systems until the 21st century was considered successful for its era, no successful product has been put forward to localize a sound source in the vertical plane. After 90s, studied methods such as SRS and Ambisonic created binaural effects using HRTF data; however, they did not fully receive the attention they deserved. Dolby, which has been successful in sound systems, has added top speakers to its existing surround system in 2012 to solve the vertical sound localization problem, and introduced the Atmos system with the object identification system it has developed.

In this study, the development of sound systems in the perspective of spatial sound perception and the Dolby Atmos Cinema Sound System, which was developed as a search for a solution to the problem of sound positioning in the vertical plane, is studied. The owner of the first Atmos system setup in Turkey CinemaPink's I.C.T.A rewarded Atmos Cinema Hall in AkMerkez, Etiler, Istanbul was examined on-site. This is the first Turkish academic study examining Atmos system installation and operation study details as well as the researched topics on spatial hearing.

Key Words: Dolby Atmos, Spatial Sound Perception, Binaural Hearing.

ÖNSÖZ

Çalışmamda sabır gösterip desteğini hiç esirgemeyen, alanında uzman danışmanım sayın Prof. Dr. Cihan IŞIKHAN'a çok teşekkür ediyorum.

Beni yoğun tez aşamamda destekleyen başta sayın Doç. Dr. Nihat Ozan KÖROĞLU ve sayın Uzm. Öğr. Gör. Harun BAKİ olmak üzere, Celal Bayar Üniversitesi Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Müzik Bölümü'ndeki tüm değerli öğretim elemanlarına; Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Müzik Bilimleri Anabilim Dalı ve Müzik Teknolojisi Anabilim Dalı'nda beni yetiştirerek, mesleğimi yapabilmemi mümkün kılan tüm değerli hocalarıma çok teşekkür ederim.

Bu yaşıma kadar inanılmaz özveriyle beni yetiştiren ve imkanlar sunan, tutku duyduğum mesleği tüm zorluklarına rağmen idealist bir biçimde yapabilmemi mümkün kılan annem Suna AKBULUT, babam İbrahim Etem AKBULUT ve abim Mehmetcan AKBULUT'a çok teşekkür ediyorum.

Son olarak tüm dostlarıma (özellikle Erkam Efe ve Okan'a) teşekkür ediyor ve sevgili eşim Tuğçe DEMİRÖZ AKBULUT'a minnettarlığımı dile getirmek istiyorum. Bana ve tezime gösterdiğin sabır ve yardım için çok teşekkür ediyorum. İyi ki varsın...

Cenk AKBULUT

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	x
GİRİŞ	1
 1. BÖLÜM: SESTE BOYUTSALLIK ve BOYUTSAL ALGILAMA.....	3
1.1. Akustik ve Anatomik Etkenler.....	3
1.1.1. Direkt ve Yansıyan Sesler	3
1.1.2. Blauert Teorisi	4
1.1.3. Haas Etkisi	5
1.1.4. Dupleks Teorisi.....	5
1.1.4.1. Kulaklar Arası Zaman Farklılığı	6
1.1.4.2. Kulaklar Arası Şiddet Farklılığı.....	6
1.1.5. Kulak Yapısı	7
1.1.5.1. Öncelik Etkisi.....	8
1.1.5.2. HRTF	9
1.2. Binaural Etki	10
1.2.1. Sound Retrieval System.....	11
1.2.2. Holophonics.....	12
1.2.3. Duophonic.....	12
1.2.4. Stereo	12
1.2.5. Quadrophony	14
1.2.6. Ambiophony ve Ambisonic.....	15

2. BÖLÜM: ATMOS TEKNOLOJİSİ.....	18
2.1. Dolby.....	19
2.1.2. Dolby Stereo ve Dolby Digital.....	21
2.1.3. DTS ve SDDS	24
2.1.4. Dolby Surround ve Pro Logic	25
2.1.5. Dolby Atmos Ev Sistemi.....	26
2.1.6. Atmos on the Go	29
2.2.Sistem Tasarımı	29
SONUÇ	46
KAYNAKÇA.....	48
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1- Blauert'in küresel işitme modeli.....	4
Şekil 2- Blumlein Coincident Pair	13
Şekil 3- Steinberg ve Snow stereo'su.....	14
Şekil 4- Atmos'ta tepe hoparlörleri.....	18
Şekil 5- Neve dijital mikserler için Atmos plug-in	19
Şekil 6- Dolby Penthouse.....	23
Şekil 7- Film şeridinde Dolby, DTS ve SDDS ses verileri	25
Şekil 8- Dolby Atmos 5.1.4 ev kurulumu	27
Şekil 9- Elevation speaker.....	28
Şekil 10- Yamaha YSP-5600 Soundbar	29
Şekil 11- ShowVault ve Jnior.....	31
Şekil 12- IMB-SA Unit	32
Şekil 13- Görüntü sistemi kurulum şeması	33
Şekil 14- Dolby CP850 Ön ve Arka Paneli.....	34
Şekil 15- CP850 ve DAC3201 bağlantıları	35
Şekil 16- CP850 ve amfiler ön görünüşü	35
Şekil 17- CP850 ve amfi bağlantıları	36
Şekil 18- Ön hoparlör yerleşimleri.....	37
Şekil 19- Ön subwoofer yerleşimleri	38
Şekil 20- Ön hoparlör yatay açıları	38
Şekil 21- Ön hoparlör dikey açısı	39
Şekil 22- Bölgeleme	39
Şekil 23- Yan ve üst surround hoparlör sayısı	40
Şekil 24- Arka surround sayısı	40
Şekil 25- Yan surround yerleşimi	41
Şekil 26- Yan surround açıları 1	42
Şekil 27- Yan surround açıları 2 ve CLA.....	43
Şekil 28- Tepe surround yerleşimi	44
Şekil 29- Tepe surround açıları 1	44
Şekil 30- Tepe surround açıları 2	45

KISALTMALAR

CLA: Central Listenin Area
CSS: Cavity Security System
DCI: Digital Cinema Initiatives
DCP: Digital Cinema Package
DNL: Dynamic Noise Limiter
DNR: Dynamic Noise Reduction
DTS: Digital Theater Systems
FIPS: Federal Information Processing Standard
GPIO: General Purpose Input-Output
HiFi: High Fidelity
HRTF: Head Related Transfer Function
I.C.T.A.: International Cinema Technology Association
IID: Interaural Intensity Difference
ITD: Interaural Time Difference
LVDS: Low-voltage Differential Signaling
MXF: Material Exchange Format
PCM: Pulse-Code modulation
RLF: Reference Listening Position
SDDS: Sony Dynamic Digital Sound
ShowVault/IMB: Dolby Storage Server and Integrated Media Block
SMPTE: Society of Motion Picture and Television Engineers
SPL: Ses basınç seviyesi
SR: Spectral Recording
SRS: Sound Retrieval System
TMS: Dolby Theatre Management System
VCR: Videocassette Recorder
XML: Extensible Markup Language

GİRİŞ

Sesin yapısı, binaural işitme, ses algısı gibi konularda pek çok veri, hipotez ve teori bulunmaktadır. Bunlardan öne çıkanlar İlk Gelen Ses Kanunu, Küresel İşitme, Haas, Öncelik Etkisi, Gölge Etkisi, Dublex, ITD ve ILD, binaural ve HRTF tespitleridir. Bu çalışmalar insanın doğal olarak her yönden ses konumlaması yapabilme becerisine açıklamalar getirmeye çalışmıştır.

Elektriğin ses ile buluşmasıyla birlikte telefon ve gramofon gibi mono sistemler üretilmiştir. Seste kayıt ve oynatma imkanlarının gelmesi çok büyük bir buluş olmasına rağmen Monophony, elektronik ortamda işitme ile doğal işitme arasındaki eksiklikleri gün yüzüne çıkarmıştır. Buna bağlı olarak elektronik ortamda yeni ses sistemleri geliştirilmiştir. Günümüzde hâlâ kullanılan stereo'nun o dönemde geliştirilmesi, ardından elektriğin de gelişimiyle ses ve müzik sektöründe teknolojik ilerlemeler ivme kazanmıştır. Boyutsal işitme ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik stereo'dan surround'a çıkılan bu yolculukta, çoğunlukla sinema sektörü talep gösterip finansman sağlamıştır.

1960'lara kadar sinema sektörünün öncülüğünde yeni ses sistemleri geliştirilmiş; ancak analog ses teknolojilerinin gürültü problemi tüm gelişmelere rağmen bir engel olarak kalmıştır. Bunun üzerine başta Ray Dolby olmak üzere birçok bilim insanı, gürültü indirgeme yöntemleri ve ürünleri ile bu soruna etkili çözümler üretilmiştir.

Boyutsal işitme şeklini ses sistemlerinde sağlamaya yönelik arayışlar sonucunda, 1990'lara kadar geliştirilen surround sistemler tüm çabalara rağmen yeterli kalmamış ve HRTF üzerine çalışmalara daha çok önem verilmeye başlanmıştır. Böylece birçok “üç boyutlu” sistem geliştirilmiş; ancak geliştirilen her sistemin kendine ait sorunları sebebiyle sistemleri hem kulaklık hem de hoparlör ile etkili olarak kullanmak mümkün olamamıştır. Yapılan çalışmaların çözüme yönelik yetersiz kalması ve tam bir çözüm bulunamamasında, dönemlerin teknolojik imkanları, sektör talebi ve birçok dış etkenin de etkili olduğunu belirtmek gereklidir.



1. BÖLÜM

SESTE BOYUTSALLIK ve BOYUTSAL ALGILAMA



1. BÖLÜM: SESTE BOYUTSALLIK ve BOYUTSAL ALGILAMA

1.1. Akustik ve Anatomik Etkenler

Ses kaynağındaki titreşimler hava moleküllerinde sıkışma ve gevşeme gibi hareketlenmelere neden olurken, etrafındaki katı ve sıvı maddeler üzerinde de etki yaratmaktadır. Bu yüzden ses, mekanik olarak dinleyiciye ulaşırken çeşitli emilim ve yansımalarla maruz kalmaktadır. Farklı ortamlarda yüzey ve cisimler de farklılık göstereceği için ses kaynağının algılanmasında farklı sonuçlar oluşabilmektedir. Ortamlarda sese fiziksel olarak etki eden bu değişkenler, akustik parametreleri oluşturmaktadır (Sabine, 1906: 51–84). Ortamdaki akustik etkenlerle birlikte dinleyici de kendi başına bir cisim olarak sese etki etmektedir. İnsan vücudundaki emilim ve yansımalar, sesin algılanmasında büyük rol oynamaktadır. Seslerin dinleyiciye geliş açısı, birbirleri arasındaki faz ilişkileri ve gürlük gibi parametreler dinleyicinin beyinde yorumlanarak sesin karakteri ve konumunu tespit edilir. Blauert'e göre insan, doğadaki sesleri küresel bir şekilde algılamaktadır.

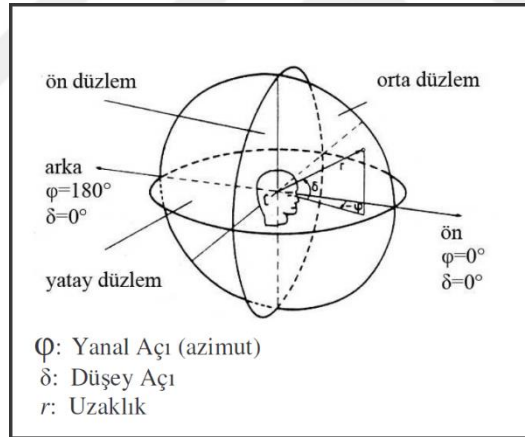
1.1.1. Direkt ve Yansıyan Sesler

Sesin konum bilgisini yorumlayabilmek, dinleme yapılan ortam ile de ilişkilidir. Ses kaynağından dinleyiciye ilk ulaşan ses dalgaları “direkt ses”; içinde bulunulan mekândaki yüzeylerden yansıyan sesler ise “yansıyan sesler” olarak isimlendirilir. İşitme sistemi yön tespiti için sadece kulağa ilk ulaşan direkt sesleri analiz etmektedir. Buna göre fazla yankılı ve/veya yinelemeli (echo) ortamlarda bile ses konum tespiti mümkündür (Sabine, 1906: 51–84). Ancak bu tespiti istisna olarak 1960'da Nico V. Franssen iki önemli deney gerçekleştirmiştir: Birinci deneyde (F1), bir odada dinleyiciye 45 derece açı ile 1 metre uzaklıkta birbirine simetrik iki hoparlör yerleştirilmiştir. Sol hoparlörden başlayan saf ses (pure tone), sağdaki hoparlörle çapraz sönümleme (cross-fade) yaparak sağa geçmiştir. Sadece sağdaki hoparlörün çalışmasına rağmen dinleyici sesin soldaki hoparlörden gelmeye devam ettiğini iddia etmiştir. İkinci deneyde (F2) ise, bu kez ortam olarak oditoryum seçilmiş ve hoparlörler simetrik olmayan farklı konumlara yerleştirilerek birinci deney tekrarlanmıştır. Sonuç ilk deneyle aynı olmuştur. Bu iki deneye göre insanlar, kapalı odalarda ve yansımaların bol olduğu büyük kapalı alanlarda ses kaynağının

konumunu kolaylıkla tespit edebilmektedir. Ancak işitme sistemi, eşit şiddetli aynı seslerin konumunu yansımali ortamlarda tespit edememektedir. Yeni bir ses kaynağı tespit edilemediğinde ise en son tespit edilen kaynak konumu geçerli sayılmaktadır. Franssen'e göre yansımali ortamda yeni bir sesin tespit edilebilmesi için sabit konum bilgisi taşıyan şiddetli yeni bir ses gerekmektedir (Hartmann ve Rakerd, 1989: 1366–1373).

1.1.2. Blauert Teorisi

Blauert, boyutsal ses algısını dinleyicinin başını merkez alan ve bu merkeze odaklanan bir fonksiyon olarak tanımlamıştır. Fonksiyonda ses kaynağının dinleyici ile “x ekseninde” yaptığı açı yanal açı (φ), “y ekseninde” yaptığı açı da düşey açı (δ) olarak tanımlanmıştır. Uzaklık ise “r” ile belirtilir. Bu üç parametre ile dinleyici kaynağın yerini tespit edebilir. Bu küresel algı, geçmişten günümüze birçok müzik icrasında ve bilimsel buluşta etkili olmuştur.



Şekil 1- Blauert'in küresel işitme modeli (Işıkhani, 2008: 221)

Sesin yön konum bilgisi, kulaklara ulaşmadaki süre farklarına göre, yüksek frekansların bağıl şiddetine göre, vücuttan ve kulak kepçesinden dağılarak asimetric yansımalarına göre kulakta sinyalleştirilir. Uzaklık bilgisi, yüksek frekanslardaki kayıp (gölge etkisi, shadow effect) ve direkt ses ile yankılanan ses arasındaki orandan çıkarılır. Dalga boyu uzun olan düşük frekanslar, sesi başın etrafına dağıtarak beyni sadece kaynaktan gelen faz ipucularına odaklanmaya zorlar.

1.1.3. Haas Etkisi

Helmut Haas ulaşan ilk ses dalgası teorisini kullanarak, tüm yansımalara rağmen iki ses kaynağı arasında ancak 10 desibel fark bulunduğunda ayırt edilebildiğini keşfetmiştir. Bu prensip “Haas Etkisi (Haas Effect)” olarak bilinir ve Öncelik Etkisi’nin (Precedence Effect) de bir versiyonudur. Haas, aralarında 1 milisaniye fark olan direkt ses ve yansıyan seste bile beynin, kaynağın konumunu tespit edebildiğini ölçmüştür. 1 ms’den daha geç gelen yansımaların ise, konum bilgisini pekiştirdiğini ve ses kaynağı genişliğinin algılanmasını sağladığını tespit etmiştir. Sinir sistemi tüm erken yansımaları bir algısal bütün olarak toplamakta ve beynin birden farklı sesleri aynı anda işlemesini mümkün kılmaktadır. Bu erken yansımalar, aralarında 35 ms’ye kadar fark bulunan ve benzer yoğunluğa sahip yansımalarlardır.

1.1.4. Dupleks Teorisi

1907’de Lord Rayleigh diapozonu özelleştirerek monophonic uyarı elde etmiş ve kulak kepçesiz bir kafa modeliyle sesin konumunu tespit edebilme konusunda araştırmalar yapmıştır. Konum tespit edebilmede ortaya çıkardığı kulaklar arası bilgi farklılıkları, “Dupleks Teorisi (Duplex Theory)” olarak bilinmektedir (Rayleigh, 1907:214-232). Sesin kulaklara farklı zamanlarda ulaşması “Kulaklar Arası Zaman Farklılığı (Interaural Time Difference) (ITD)” olarak ve farklı şiddetlerde ulaşması “Kulaklar Arası Şiddet Farklılığı (Interaural Intensity Difference) (IID)” olarak isimlendirilmektedir.

Yapılan çalışmalara göre konum tespit etme başarısı; eğer ses kaynağı dinleyicinin karşısında ise 1 derece, dinleyicinin yan taraflarında ise 7-15 derecedir. Ayrıca insanlar 10 mikrosaniye veya daha az ITD’yi ayırt edebilmektedir.

ITD ve ILD, başın hareketli olduğu durumlarda doğru konum bilgisi verememektedir. Ses kaynağı başın tam üstüne konumlandırıldığında başın hareketiyle ITD ve ILD oluşmamaktadır. Ancak kaynak dinleyicinin göz hizasına doğru hareket ettirildiğinde, başın yatay hareketi ile birlikte ITD ve ILD verileri

meydana gelmektedir. Bu veriler ters çevrildiğinde ise dinleyici, ses kaynağını arkasında olarak işitmektedir (Wallach, 1940:339-368).

1.1.4.1. Kulaklar Arası Zaman Farklılığı

Düşük frekanslı ögelerin konumunu tespit etmede ITD çok önemlidir (Wightman ve Kistler, 1992). Yatay düzlemde başı önden veya arkadan direkt karşılayan ses kaynakları (azimuth: 0, 180 derece) için ITD sıfırdır. ITD'nin maksimum olduğu durum ise ses kaynağının, başın tam sol veya tam sağında konumlandığı durumlardır (azimuth: 90, 270 derece). Yetişkin insanlar için olabilecek bu maksimum değer yaklaşık 0,65 milisaniye'dir (kafatası yarıçapı etkili olduğu için yetişkin birey örnek alınmıştır). Çalışmalarda tespit edilebilir minimum ITD değeri ise 10 mikrosaniye olarak tespit edilmiştir (yatay düzlemde genişbant "noise" ile) (Wightman ve Kistler, 1992: 1648–1661). İşitme sisteminde ITD'nin işlenmesi düşük ve yüksek frekansta büyük ölçüde benzerlik gösterir ve aynı şekilde etkilidir (Wightman ve Kistler, 1992: 1648–1661). İşitme sistemi başarıyla ITD'leri tespit edebilse de zaman içinde ITD'de oluşan değişiklikleri takip etmekte zorlanmaktadır. Örneğin yatay düzlemde harmonik hareket eden ve sinüs ses dalgası üreten bir osilatörü, sadece 2.4 Hz'den daha yavaş hareket ettiğinde takip edilebilmektedir.

1.1.4.2. Kulaklar Arası Şiddet Farklılığı

Sesin konumunu tespit etmede bir başka ipucu da kulaklara ulaşan ses şiddetinin farklı olması durumudur (ILD). Dinleyiciden uzaklaştırılan bir ses kaynağının şiddeti, hava ses yalıtkan bir ortam olduğu için ilk konumuna göre daha düşük işitilmektedir. Kaynak dinleyiciye göre yatay düzlemde açılı olarak yerleştirildiğinde ise, hangi kulağa daha yakınsa o kulakta ses şiddeti daha yoğun olmaktadır. Bu gibi durumlarda ses kaynağına daha uzakta olan kulağa, hava yalıtımına ek olarak dinleyicinin kafası da yalıtkan olarak etki eder. Kafa, havadan daha yoğun somut bir cisim olduğu için ses ile karşılaştığında bas frekanslar kafanın etrafından dolanırken, tiz frekansların enerjisi emilmekte ve yoğun yansımaya uğramaktadır. Bu etki "gölge etkisi (shadow effect)" olarak isimlendirilmektedir

(Schleich, Nopp, ve D’Haese, 2004: 197–204; Van Wanrooij, 2004:197–204). Grantham’a göre tespit edilebilir en düşük ses şiddeti farklılığı yaklaşık 1-2 dB’dir.

Dubleks Teorisi’ne göre ses kaynağı konumunun tespit edilmesinde; ITD düşük frekanslı saf seslerde daha başarılı sonuç verirken, tiz seslerde ILD daha iyi sonuç vermektedir. Çünkü düşük frekanslarda faz ve buna bağlı olarak zaman farklılıkları daha iyi algılanmakta, yüksek frekanslarda ise gölge etkisi belirgin bir seviye farklılığı yaratarak konumun daha iyi tespit edilmesini sağlamaktadır (Rayleigh, 1907: 214–232.).

Yansımaların oluştuğu koşullarda dinleyiciye direkt ses ve yansıyan ses ayrı ayrı ulaşır. İşitme sistemi, yansımalar kulağa ulaşmadan ITD ve ILD’leri kullanarak kaynağın konumunu tespit etmekte ve tespit, yansımalar bu durumu engellemediği sürece devam etmektedir (Wallach, Newman, ve Rosenzweig, 1949: 315–336). Bu tespit mekanizması kaynağın, dinleyicinin önünde ya da arkasında olup olmadığını ayıramaz; bu sebeple farklı yöntemler de değerlendirilmelidir (Wallach, 1940: 339–368).

1.1.5. Kulak Yapısı

Sesin konumunu tespit etmede ITD ve ILD’nin yetersiz kaldığı durumlar bulunmaktadır. Örneğin, iki eş ses kaynağının birbirine simetrik olarak dinleyicinin tam önünde veya tam arkasında konumlandığı durumlarda eşit ITD ve ILD oluşmaktadır. Bu durum “koni model etkisi (cone model effect)” olarak isimlendirilmektedir. Aslında insan, tek kulağını kullandığında bile iyi bir konum tespiti yapabilmektedir.

İnsan kulak kepçesi asimetrik girinti ve çıkıntılarıyla karmaşık bir yapıya sahiptir. Direkt ses ve yansıyan ses dalgaları giriş yönüne göre kulak kepçesinde ve dış kulak kanalında birbirinden farklı yansımalarla maruz kalmaktadır. İşitme sistemi, toplanan ve yön bilgisi eklenen tüm bilgileri işleyerek sesin konumunu tespit etmektedir. Bu bilgiler ve Dupleks Teorisi’nin dezavantajları değerlendirildiğinde karşıt bir tez olarak “Kulak Kepçesi Filtreleme Etkisi Teorisi” önerilmiştir (Batteau, 1964: 158–180 ; Musicant ve Butler, 1983: 1195–1200).

Dış kulak, omuz, baş ve vücut yansımaları, dış kulak transfer fonksiyonlarını oluşturmaktadır. Bu fonksiyonlar, bireyin fiziksel yapısındaki değişken şekil ve yoğunlukları sebebiyle farklılık göstermektedir. Yapılan deneylerde çeşitli fiziksel özelliklerde dış kulak yüzeyleri kullanılarak kayıtlar alınmış ve bireylere kulaklıkla dinletilmiştir. Deney sonucunda dinleyiciler seslerin yönünü ayırt etmede sorunlar yaşamıştır. Bununla birlikte bireylerin tek kulakla yüksek frekansları konumlayabildiği, ancak düşük frekansları konumlayamadığı tespit edilmiştir. Çift kulakla (dummy head kayıtları, binaural) duyum deneylerinde ise tüm frekans bantlarında doğru konumlanmanın yapılabildiği görülmüştür. Buna göre kulak kepçesi küçük olduğu için yalnızca yüksek frekanslarla etkileşebildiği düşünülmektedir (Butler ve Humanski, 1992: 182–186). Deneyler gösteriyor ki; insanların sesleri doğru konumlandırabilmesi için 7 kHz'nin üstünde frekansları barındırması ve kulak kepçesinin kullanılması gerekmektedir (Roffler ve Butler, 1968: 1255–1259).

1.1.5.1. Öncelik Etkisi

1951'de Haas'ın doktora tezinde tanımladığı psikoakustik (psychoacoustic) etki (Haas, 1951), Lothar Cremer'in 1948'de tanımladığı “İlk Ses Dalgası Yasası (Law of the first wavefront)” ve Wallach et al.'ın 1949'da tanımladığı “Öncelik Etkisi” (Wallach, vd, 1949: 315–336) ile tabanında aynı tespitler üzerine kurulmuş çalışmalardır. İlk Ses Dalgası Yasası'na göre farklı konumlardaki aynı iki sesten kulağa ilk ulaşan ses, diğer sesin konumunu algılamamızı engeller. Sadece ilk sesin konumu algılanacaktır. Wallach'a göre dinleyiciye ulaşan ikinci sesin de algılanan konum bilgisinde ölçülebilir bir etkisi vardır. Wallach bu olayı “öncelik etkisi” olarak isimlendirmiş ve yansımaların olduğu ortamlarda konum tespitinin nasıl mümkün olduğunu açıklamıştır. Ayrıca çalışmalarında iki aynı metronom vuruş seslerinin 1-5ms'ye kadar, piyano ve insan sesi gibi karmaşık seslerin ise 40ms'ye kadar tek ses olarak, sonrasındaki gecikmeler ise “echo” olarak duyulmaktadır. İkinci ulaşan ses ilk sesten 15 dB daha yüksek olduğunda ise öncelik etkisi bozulmaktadır. Wallach ayrıca öncelik etkisi durumunun stereo duyumda önemli bir etken olduğunun da altını çizmiştir.

Çalışmalar gösteriyor ki; öncelik etkisi, ilk gelen ses kanunu ve Haas çalışmaları benzer ve birbirini destekleyerek geliştiren deneyleri içermektedir. Bu çalışmaların devamı ve sonucu olarak; konserlerde hoparlörleri doğru yerleştirip gecikme vererek, dinleyicinin konumlandırması bozulmadan dinleyicilere ulaşan ses seviyelerini arttırmak, kayıtlardaki ambiyans efektlerini çıkarmak, psikoakustik etkilerden faydalanan daha iyi konum bilgisi sağlayan quadrophonic ses sistemleri ve matriks çözümlemeleri oluşturmak, daha geniş stereo işitme alanı sağlamak gibi birçok kazanç sağlanmıştır.

1.1.5.2. HRTF

Kulak ve baş yapısı insandan insana değişim göstermektedir. Başın boyutu, şekli, yoğunluğu, kulak kepçesi, kulak içi gibi birçok değişken bulunmaktadır. Bu değişkenler, ses tınısının ve konumunun algılanmasında önemli farklılıklar yaratmaktadır (Colburn, 2017, 1-68). Ses üzerine çalışma yapan Boer ve Blumlein gibi birçok araştırmacı başın engelleyici etkisinin önemine değinmiştir. Ancak deneyler gösteriyor ki; iki kulağa farklı seviyelerde gönderilen mono sinyal, dinleyicide farklı yön algıları oluşturabilmektedir. Bu durum, baş engeli parametresini boyutsal işitmede en önemsiz parametrelerden biri haline getirmektedir (M. Gerzon, 1975:42-44).

Ses kaynağının konumu ve dinleyicinin kulaklarındaki mekanik ses dalgası özellikleri arasındaki ilişki “HRTF (Head Related Transfer Function)” olarak tanımlanmıştır (Cheng ve Wakefield, 2001: 231–249). HRTF’leri ölçebilmek için insan deneklerin kulakları içine mikrofönlar yerleştirilmiş ve ses kaynağı konumunu değiştirerek mümkün olan tüm açılardan mikrofönlara ses dalgaları gönderilmiştir. 1930’larda insan deneyleri yerine içine mikrofön yerleştirilmiş manken başları (dummy head) üretilerek deneyler kolaylaştırılmış ve yaygınlaştırılmıştır (Møller, 1992: 171–218). 1995’te MIT Media Lab tarafından “anechoic (yansısız)” odada endüstri standardı olarak kabul edilen KEMAR mankeni kullanılarak birçok HRTF’nin ölçülmüş ve bir veritabanı oluşturulmuştur. Belirli bir miktar yansımanın olduğu “yarı anechoic” olarak tanımlanmış şartlarda da çeşitli ölçümler gerçekleştirilmiştir (Gardner ve Martin, 1995: 3907–3908). Sonuçlar iki kulak için

ayrı ayrı ses basınç seviyesi (SPL), sesin kulağa ulaşma süresi, frekans bant analizi, faz ilişkileri gibi verileri içermektedir.

HRTF deneyleri sonucunda elde edilen veritabanları kullanılarak çeşitli sistemler üretilmiştir. Bu sistemlerde dinleyicinin konumlama algısı manipüle edilerek boyutsal işitme etkisi oluşturulmuştur. Deneyler günümüze hala devam etmekte ve yeni elde edilen veriler doğrultusunda yeni sistemler geliştirilmektedir.

1.2. Binaural Etki

Stereo ile sıkça birbirine karıştırılmış olan binaural işitme, dinleyicinin sesi doğada olduğu gibi işiterek konumlandırmasını ifade etmektedir. Stereo’da 1930’lardan sonra dinleyicinin önünden gelen sesleri doğru konumlandırması sağlansa da arka yöndeki ve dikeydeki kaynakları konumlandırması mümkün olmamıştır.

Stereo ile binaural algı arasındaki farkları tanımlarken hangisinin daha önemli olduğu hâlâ tartışma konusu olan üç temel parametre tespit edilmiştir. Bu parametreler aslında Rayleigh’den bu yana sıkça araştırma ve tartışma konusu olmuştur; ancak bir araya toplanıp uygulanarak bir sistem ve ürün haline getirilmesi zaman almıştır.

Binaural algı oluşturmak için parametrelerden biri ITD’dir. ITD’den yola çıkarak 1960’ta Fransa Radyosu’nda ORTF stereo mikrofonslama tekniği (bazen Side-Other-Side olarak da isimlendirilmektedir) geliştirilmiştir. Bu teknikte mikrofonslar arasında 110 derece açı ve diyaframları arasında yaklaşık 17 cm boşluk bulunmaktadır. Bu yöntemin temelinde 1925-1927’te Harvey Fletcher’ın (General Electric) patentini aldığı ilk “dummy-head (Kunstkopf)” bulunmaktadır. Fletcher, 1932’de Chicago, Amerika’daki Dünya Fuarı’nda Oscar adını verdiği dummy-head’ını sunmuştur. Kafa mankenini bir konuşmacı ile birlikte sahnenin ortasında, seyircilere sesi geçirmeyen yarım daire şeklinde camın arkasına yerleştirmiştir. Ardından konuşmacı mankenin etrafında konuşarak gezdiğinde kulaklıkla dinleme yapan seyirciler iyi bir binaural etki yaşamıştır (Stanford, 2016: 15–19).

İkinci parametre kafa yoğunluğundan kaynaklanan “gölge etkisi” ‘dir. Boer ve Blumlein gibi stereo’nun ilk yıllarında çalışma yapan bilim adamları bu etkiye dikkat çekmişlerdir. Üçüncü parametre ise kulak kepçesi etkisidir. Bu etki de binaural kodlarının çözülmesi adına en önemli araştırmalardan olan HRTF çalışmalarının temelini oluşturur.

Binaural işitmede Ader’in 1881’deki stereo Théâtrophone’si ilk örnek sayılmaktadır. 1878’de Graham Bell tarafından patenti alınan telefon üzerinde çalışmalara devam eden elektrik mühendisi Clément Ader, 1881’de Théâtrophone olarak isimlendirdiği, dünyada bilinen ilk binaural sistemi üretmiş ve uygulamıştır. Bu sistemde Paris operasını, aralarında yaklaşık 17 cm bulunan iki mikrofonla (ortalama kafa genişliği) mikrofonlayarak operayı salondan yaklaşık 3 km uzakta olan sergi salonuna kablolarla taşımış, sol ve sağ olmak üzere iki telefon ahizesi ile dinlemeyi mümkün kılmıştır (Bertho-lavenir, Le, 1989:59-69). 1920’lerde Connecticut Radyo İstasyonu “WPAJ” ın kurucusu Franklin M. Doolittle, ilk binaural yayın patentini alarak radyosunda binaural yayın denemiştir. İki farklı frekanstan sol ve sağ kanal olarak yapılan yayın, iki radyo ve iki kulaklık gerektirmiştir. Binaural radyo yayınının Amerika ile birlikte Batı Almanya ve Japonya’da da örnekleri bilinmektedir. John Sunier’in 1980’lerdeki haftalık “Audiophile Audition” programları da binaural bölümlerden oluşmaktadır. 1978’de ilk binaural müzik kaydı Lou Reed’in “Street Hassle” dir. Binaural sistemin en büyük “dezavantajı” mono sisteme dönüştürülemiyor olmasıdır. Birçok avantajına rağmen, masraflı bulunarak 1990’lara kadar popülerite kazanamamıştır.

1.2.1. Sound Retrieval System

1980’lerde Arnold Klayman tarafından Sound Retrieval System (SRS) patentlenmiştir. Bu teknikte HRTF verileri ve iki hoparlör kullanılarak üç boyutlu bir dinleme bölgesi oluşturulmuştur. Geleneksel stereo’ya göre daha geniş bir referans dinleme alanı (sweet spot) ve konum algısı sağlamıştır. Sistemin Sony ve RCA gibi firmalar tarafından kabul edilmesiyle, 1990’larda SRS Labs kurulmuş ve yeni ürünler geliştirmeye başlamıştır. Kısa sürede yaygınlaşan SRS, “SRS Virtual Sound”, “SRS

Wow”, “TruBass” gibi ürünlerini Sony ve RCA ürünlerine entegre ederek iyi bir başarı sağlamıştır.

1.2.2. Holophonics

1983’te Hugo Zuccarelli, “acoustic hologram” olarak tanımladığı Holophonics sistemini tanıtmıştır. Bu sistemde kulaklık ile işitme yapıldığında büyük bir başarı sağlanmış; ancak aynı başarı hoparlörlerle elde edilememiştir. Pink Floyd’un albümünde ve Roger Waters’ın solo albümünde de yer alan teknoloji, film müzikleri, televizyon ve eğlence parklarında da kullanılmıştır (Sunier, 1986).

1.2.3. Duophonic

1961’den ve 1970’lere kadar Capitol Records’un başlattığı bir çalışma olan Duophonic, “yapay stereo” veya “sahte stereo” şeklinde de isimlendirilmiştir. İşlemede mono kayıtlar, aralarında gecikme olacak şekilde iki kanala aktarılmaktadır. Bazen kayıtlara stereo reverb de verilmektedir. Capitol Records’ta duophonic’e çevrilen “The Beatles”, “The Beach Boys”, “Frank Sinatra” ve “Miles Davis” gibi birçok icracının kayıtları bulunmaktadır.

1.2.4. Stereo

19.yy. sonlarında endüstrileşmenin getirdiği imkânlar sayesinde ses, analog olarak kaydedilmeye başlanmıştır. Thomas Edison’un 1877’de patentlediği fonograf ve Emile Berliner’in gramofonunda (1887-1888) sesin sadece 168Hz – 2000Hz aralığını kaydetmek ve dinlemek mümkündür. 1925’de Western Electric firmasının mikrofona, elektrik sinyali ve elektromekanik kayıt cihazlarını tanıtmasıyla ses kaydında yeni bir çağ başlar. Bu yeni sistemlerde sesin 100Hz – 5000Hz frekans aralığını kaydedip dinlemek mümkün olmuştur. Elektriksel sistemlere geçilmesiyle yeni cihazların üretiminin de önü açılmıştır. Bunların arasında dinamik ve efekt işlemciler ile birlikte çok kanallı kayıt cihazları (multi-track recorder) ve çok kanallı mikserler de bulunmaktadır.

Ses kalitesinin her geçen gün daha iyiye gitmesine rağmen 1930’lu yıllara kadar kullanılan sistemler monophonic’dir. Sesler tek mikrofona kaydedilmekte ve

tek bir hoparlör ile işitilmektedir. Bu sistemlerde sesler, akustik ortamda tınladığı doğal hâli ile kıyaslandığında sanki bir araya toplanmış, üst üste binmiş, hoparlör içinde sıkışmış ve tek bir ses kaynağı gibi tınlamaktadır. Öncesinde ses sistemleri üzerine çeşitli çalışmalar olsa da; Blumlein, Fletcher, Steinberg ve Snow gibi bilim adamları, 1930’larda yeni arayışlar içine girmiş ve çeşitli deneyler yapmıştır. Yayınladıkları bildirilerde mono sistemlerde ses kaynağının gerçek konumunun işitsel olarak tespit edilemediğine dikkat çekmişlerdir.

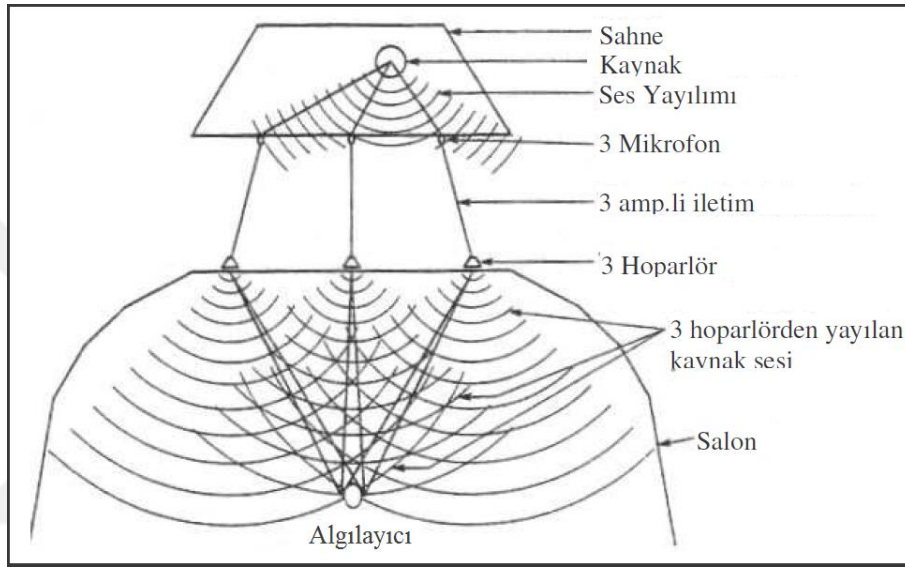
Alan D. Blumlein 1931’de iki adet çift yönlü mikrofonu, ses kaynağının karşısına 45 derece sola ve sağa açarak yapacak şekilde yerleştirmiştir. İki hoparlör kullanılarak işitilmesi sağlanan bu sistemi, ilk stereo sistem olarak patentlemiştir. Daha sonraları bu yöntem “coincident pair”, sonraları “Blumlein-pair” ve “XY mikrofonslama” olarak isimlendirilmiştir. Blumlein’in tekniği, dinleyicilerin kafalarını stereo algı bozulmadan rahat hareket ettirmesine imkan tanımış; ancak bu yöntem kulaklıklarda aynı başarılı sonucu verememiştir. Blumlein, deneysel olarak 1935’lerde filmlere de çift kanal optik kayıtlar uygulamış; ancak sinema sektörü henüz bu teknolojiye hazır olmadığı için çalışmalar 1950’lere kadar terkedilmiştir (Dutton, 1956: 793–793).



Şekil 2- Blumlein Coincident Pair

(<https://www.harmonycentral.com/articles/blumlein-pair-stereo-miking-for-better-ambience-and-imaging>) (Erişim: 30 Haziran 2019)

Steinberg ve Snow, Fletcher'ın teorilerinden de faydalanarak A.B.D.'deki Bell Labs'da deneyler yapmaya başlar. Deneylerde ses kaynağının gerçek konumunun kaç mikrofon, kaç hoparlör, hangi ayarlamalar ve şartlarla algılanabileceği araştırılmıştır. 1934 yılında Steinberg ve Snow yayınladıkları bildiride, elektrik ortamına taşınan sesin gerçek konumunun, en az üç mikrofon ve üç hoparlör ile tespit edilebildiğini ispatlamışlardır. Deneyde cihazlar sola, sağa ve ortaya konumlandırılmıştır (Clark, Dutton ve Vanderlyn, 1957: 417–432).



Şekil 3- Steinberg ve Snow Deneyi (Işıksan, 2008: 227)

Harry F. Olson günümüzde de kullanılan ses sistemlerini ilk kez “Monaural, Binaural, Monophonic ve Stereophonic” olarak gruplamıştır. Tüm bu stereophonic arayışların sebebi Burstein'e göre; insanın iki kulağı ile işitmesi, geleneksel elektronik iletişimin ise “tek kulaklı” kalmasıdır.

1.2.5. Quadrophony

Film sektöründe çeşitli surround sistemler ve yöntemler denenirken, 1954'te Avrupa'da giderek yaygınlaşan müzik stüdyolarında ilk kez, birbirinden bağımsız 4 kanal makaradan makaraya şeklinde (reel-to-reel tape) kayıtlar gerçekleştirilmiştir (Cross, 1968: 32–65). Karlheinz Stockhausen'ın “Kontakte” eserinin makara bant kaydedilmiş bölümü, 4 kanal kaydedilen ve ikisi ön, ikisi arka olmak üzere 4 hoparlörden oluşan quadrophonic sisteme uygun yazılmış belirgin bir örnektir.

Eserin bu bölümü, 1958’te Brüksel Dünya Fuarı’nda 425 hoparlör kullanılarak kurulan quadrophonic sistemde, hareket eden birçok müzikal öge ve efektler ile dinleyicilere sunulmuştur. 1967 yılında Londra’da Pink Floyd müzik grubu da kullandığı özel yapım quadrophonic ses sistemi ile ilk canlı surround konseri olan “Games for May”i icra etmiştir.

1969 yılında Amerika’da “Quadrophonic Open Reel Tape (Q4)” adıyla tanıtılan sistem, birbirinden bağımsız 4 kanal kaydın iki ön ve iki arka hoparlöre dağıtılması ile oluşmaktadır. Yeni sistem, stereo sistemlere göre daha üstün ve sinema sistemlerine göre düşük maliyetli olduğu için ev kullanıcısına uygun görülmüştür. Avantajlarını fırsat olarak gören firmalar, 1970’lerde ardı ardına kendi quadrophonic sistemlerini piyasaya sürmüştür. RCA Records 1970’te Q4’ü geliştirerek hem ev hem de araba ses sistemlerine yönelik Quad-8 (Q8)’i üretmiştir. Takip eden yıllarda Electro-Voice, Dynaco, Sansui Electric, Nippon/Columbia (Denon), JVC gibi önemli firmalar da kendi quadrophonic formatlarını ve formatlarına uygun cihazları piyasaya sürmüştür. Formatlardan bazıları, stereo kayıtları “Hafler” gibi devrelerden faydalanarak faz ve volüm düzenlemeleri ile arka hoparlörlere dağıtmış; diğerleri ise kendi matrikslerini oluşturarak encode/decode yöntemleri ile quadrophony elde etmeye çalışmıştır (M. Gerzon, 1977: 634–636).

Üretici firmalarla birlikte Columbia Records, Sony ve EMI gibi önemli kayıt ve dağıtım firmaları da bu dönemde quadrophonic kayıt örnekleri sunmuş, FM radyoları quadrophonic yayın yapmaya başlamıştır (Federal Communications Commission, 1977). Ancak tüm bu çabalar ile quadrophony’nin yaygınlaşacağı fikrine karşı, 1980’lere gelindiğinde kayıt firmaları teker teker quadrophonic kayıt üretmeyi bırakmıştır. Üretilen formatlar arasındaki uyumsuzluklar ve sinemada kullanılan yeni teknolojilerin gelişi ile quadrophony, sektörde kalıcı olamamıştır.

1.2.6. Ambiophony ve Ambisonic

Ambiophony, geleneksel stereo’da bulunan faz problemlerini gidermek amacıyla geliştirilen bir sistemdir. 1981’de Carver Corporation’un C4000 preamfisinde, 1982’de Polk Audio’nun hoparlör sistemlerinde ve 1991’de Roland’ın “Sound Space” inde üstesinden gelmeye çalıştıkları temel sorun bu’dur. Üretilen

sistemlerde genelde “gerçek stereo” ifadesi yer almıştır. Geliştiriciler bu sistemi son kullanıcıların ücretsiz kullanabilmesi ve geliştirebilmesi için konuyla ilgili birçok bilimsel makale ve ürün ortaya koymuştur. Sistemin son kullanıcıya açık olması, kolaylıkla kurulup mevcut ekipmanlarla kullanılabilmesi, çapraz faz sorunsuz kanal ve hoparlörler eklenerek sistemde 360 derece işitmenin sağlanabilmesi (Miller, 2002:1-16) ile mevcut stereo kayıtların bazılarının bu sistemde çalışması gibi avantajları bulunmaktadır. Sistemi geliştirmek için Ralph Glasgal, Ambiophonic Enstitüsü’nü kurmuştur. Birçok bireysel ve kurumsal araştırmacı hâlâ bu konu üzerinde çalışmalar yapmaya devam etmektedir.

Ambisonic, 1970’lerde İngiltere’de National Research Development Corp. tarafından “tamamıyla küresel” surround teknik olarak geliştirilmiştir ve genelde Ambiophony ile karıştırılmaktadır. Bu sistem, yanal açıda 360 dereceyi kapsarken, dinleyicinin dikey açıda da (alt ve üstten) ses işitmesini hedeflemektedir. Format, bilinen surround formatlardaki gibi birden fazla kanaldan ses verisi taşınmaz. Onun yerine kayıt, konum bilgisi taşıyacak şekilde kodlanıp çözülerek hoparlörlere dağılır. Bu teknoloji, 1990’larda yaygınlaşmaya başlamıştır (M. A. Gerzon, 1973: 2–10).

Ambisonic sistemlerde tam küresel işitme için minimum 6 hoparlör gerekmektedir. Kayıt stereo veya monoya çevrilebilir ve ücretsiz kullanıma açıktır. Birçok olumlu yönüne rağmen zaman zaman öncelik etkisi oluşmakta ve algıyı bozmaktadır; bu nedenle geliştirilmelidir. Günümüzde sistem üzerinde çalışmalar devam etmektedir. 2010’dan sonra Google ve birçok diğer büyük firmanın VR uygulamalarına ambisonic eklemeye başlamasıyla teknolojiye olan ilgi yeniden canlanmıştır (M. A. Gerzon, 1977: 634–636).



2. BÖLÜM

ATMOS TEKNOLOJİSİ

2. BÖLÜM: ATMOS TEKNOLOJİSİ

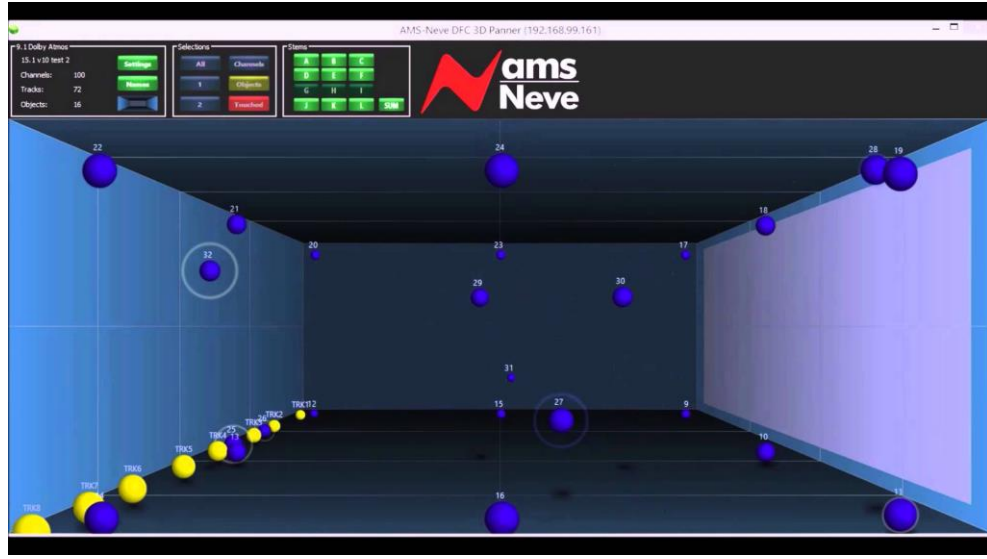
2012 yılında küresel işitmede yeni bir adım atan Dolby, mevcut yatay surround sistemine tepe (height) hoparlörlerini de ekleyerek sistemini genişletmiş ve Atmos sistemini sunmuştur. Sistemin ismi Atmosfer'den gelmektedir ve sinema tavanında ayrı bir surround sistem gibi kurulmuştur. İlk olarak 2012'de "Brave" filmi için dünya genelinde 25 sinema salonuna bu yeni sistem montajlanmıştır. Bir yıl sonra sinemalardan sisteme talep sayısı 300, 2019'da ise 4400 olmuştur. Başarı sağlayan bu yeni tavan surround'u, yataydaki geleneksel surround sistem gibi çalışarak, yıldırım, uçak vb. ses öğelerinde etkili bir konum algısı sunmaktadır. Atmos'un tanıtım demosunda yıldırım efektinin sinema salonunda belirli bir bölgeye düştüğünü hissedilmektedir.



Şekil 4- Atmos'ta tepe hoparlörleri

(<https://www.ahundredmonkeys.com/brand/dolby-atmos/>) (Erişim: 30 Haziran 2019)

Atmos'ta en önemli yeniliklerden biri; ses öğelerinin "obje" olarak tanımlanabilmesi, böylece yazılım ve donanım yardımıyla küresel bölgede istenilen konuma yerleştirilip hareket ettirilebilmesidir. Standardında 10 kanala sahip olan sistem, 118 objeyi takip edebilme özelliğine sahiptir. Dolby'nin diğer formatları olan 2.1, 5.1 ve 7.1 sistemlerine de adapte olabilmektedir.



Şekil 5- Neve dijital mikserler için Atmos plug-in

(<https://www.youtube.com/watch?v=T1hj6P-nBMo>) (Erişim: 30 Haziran 2019)

Atmos'un kodlayıcı ve çözücüsü CP850'dir (şimdi CP950 çıkmıştır). Cihaz, 128 bağımsız ses kanalını ve 118 bağımsız objeyi kodlayıp takip ederek 10 kanal formatında 64 hoparlöre kadar yayabilir. Standart çıkış formatı olarak iki tepe, 7 yatay ve bir düşük frekans kanalı olmak üzere 7.1.2 şeklinde isimlendirilmiştir. 7.1 formatı 4 tepe hoparlörüyle birlikte 7.1.4 olarak da çalışabilmektedir.

2.1. Dolby

1970'lere kadar analog kayıtlarda ve oynatmada kullanılan teknolojilerden dolayı "hiss", çatlama ve patlama gibi gürültüler bolca bulunmaktadır. 1965 yılında Ray Dolby tarafından Londra İngiltere'de kurulan Dolby Laboratuvarı, kayıtlardaki dip gürültüleri azaltarak sinyal/gürültü oranını artırmak amacıyla çalışmalar yapmış ve elektronik ses işlemede yeni bir dönemin öncüsü olmuştur. Öncesinde fizik ve matematik alanında çalışan bilim insanları, Wiener Filtresi (1942) ve Kalman Filtresi (1960) gibi sinyal ve görüntüde gürültü indirgeme yöntemleri ortaya koymuştur. Bu filtreler savunma sanayii ve uzay bilimleri gibi alanlarda kullanılmıştır. Ray Dolby'nin geliştirdiği Dolby Type-A (1965) gürültü indirgeme yöntemi ise müzik ve özellikle film endüstrisinde "Dolby Çağı" olarak nitelendirilen bir dönemi başlatmıştır.

1968 yılında Dolby, Henry Kloss ile iş birliği yaparak son kullanıcıya yönelik geliştirdiği Dolby B formatını KLH kaset çalarlara entegre etmiş ve piyasaya sürmüştür. Dolby Type-A formatı, şifreleme (encoding) ve çözme (decoding) olarak iki aşamalı bir sistemdir. Ürün, kayıt sırasında (şifreleme) 4 bantta frekansların genliklerini artırırken, oynatma (playback) sırasında (çözme) oranlı olarak azaltmaktadır. Profesyonel kullanıma yönelik üretilen Dolby Type-A, ses sinyalinin en kısık olduğu bölgelerde 1 kHz üstündeki frekansları yükselterek sinyal/gürültü oranında orijinal sinyale göre 10 dB'ye kadar kazanç sağlamaktadır. Dolby Type-B formatında ise, yöntem tek bant üzerinden çalışmaktadır ve Type-A kadar etkili değildir. Ray Dolby'nin gürültü indirgeme yöntemine ait ilk A.B.D. patenti 1969 yılında alınmıştır. Type-A kullanılarak yapılan ilk kayıtlar ise, İngiltere'deki Decca Records'a aittir (Williamson, 2013). Dolby, ana merkezini 1976'da A.B.D.'ye taşımasıyla birlikte Type-A gürültü indirgeme sistemli ilk cihazı olan "Dolby 301"i üretmiştir.

1970'lerde Telefunken, Philips, DBX, JVC, Sanyo, KLH-Burwen, Ex-Ko, EMT ve CEDAR gibi birçok firma kendi gürültü indirgeme yöntem ve ürünlerini üretmiştir. 1974'de Telefunken'in profesyonel kullanıma yönelik ürettiği C4 sistemi, sabit dört bantta 30 dB'ye kadar gürültü indirgemeyi mümkün kılmıştır (Copeland, 2008: 196–211). 1978'de tüketiciye yönelik High Com I-II sistemleri, geniş bant ve sabit iki bantta 15-25 dB gibi gürültü indirgeme sağlamıştır. High Com entegreli ürünler, genellikle Dolby-B ile uyumlu çalışan dinamik gürültü indirgeme yöntemini barındırmaktadır.

Dinamik Gürültü Limitleme (DNL, Dynamic Noise Limiter) sistemleri ilk olarak Philips tarafından 1971 yılında kaset çalarda kullanılmak üzere üretilmiştir. Sistem, daha sonra National Semiconductor tarafından geliştirilerek Dinamik Gürültü İndirgeme (DNR) (Dynamic Noise Reduction) yöntemi olarak telefon ile haberleşmede kullanılmıştır. Bu sistemlerde gürültü indirgeme yöntemi, Dolby'deki gibi veriyi şifreleyip çözme gereksinimi duymadan, tek yönlü olarak yürütmede çalışmaktadır. Bu kolaylığı sayesinde 70'lerde FM radyolarda ve 80'lerde araba ses sistemlerinde kullanılmıştır. DNR ve DNL aynı zamanda diğer gürültü indirgeme yöntemleri ile beraber de kullanılabilir. DBX firmasının 1971'de ürettiği

“Type I” ve “Type II” sistemler ise, yüksek frekans ataklarına duyarlı RMS şifreleme ve çözme algoritmaları ile geniş bant çalışmakta ve 30 dB’ye kadar gürültü indirgeme sağlamaktadır. DBX gürültü indirgeme sistemini 1982’de Panasonic kaset çalarlara, Sanyo araba ses sistemlerine, ardından Sony Walkman’lara entegre etmiştir.

Dolby, rakiplerinin geliştirdiği ürün ve yöntemlerden bazılarının kendi sistemlerinden daha başarılı sonuç vermesine rağmen, profesyonel ve kullanıcı marketine rakiplerinden daha erken giriş yaparak yarışa önde başlamıştır. Dolby yöntemleri birbirleriyle daha uyumlu çalışıp ses üzerinde “daha yumuşak” etkiler oluşturmuş ve uyumlu olmayan sistemlerde bile dinleyici tarafından “rahatsız etmeyen” sonuçlar elde etmiştir. Bu yönleriyle diğer sistemlere göre daha popüler bir marka haline gelmiştir. Dolby, Type-A ve Type-B’sine ilave olarak tüketiciye yönelik NR, C, S gibi ürünler de geliştirmiştir. 1971’de FM radyolar için B formatına 25 ms’lik ön takip ekleyerek Dolby FM yöntemini oluşturmuştur. FM formatı başarısız olsa da, 1986’da profesyonel kullanıma yönelik geliştirilen SR (Spectral Recording) formatı günümüzde hâlâ kullanılmaktadır. Bu yöntem, 25 dB’ye kadar gürültü indirgeme sağlamakta ve hemen hemen tüm 35mm film bantlarında, görüntünün yanında akan yedek analog kayıt şeridinde bulunmaktadır.

2.1.2. Dolby Stereo ve Dolby Digital

Dolby’nin 70’lerde yaptığı araştırmalar sonucunda, sinema ses sistemlerindeki dip gürültülerin direkt olarak manyetik bant kullanımıyla ilişkili olduğu ve bu gürültüleri yok etmeye çalışırken, yüksek frekanslardan önemli kayıpların olduğu tespit edilmiştir. O yıllarda kayıpları telafi edebilmek ve konuşmaları daha anlaşılır hale getirebilmek için seslerdeki yüksek frekansları yükseltme yöntemine gidilmiştir. Bu durum da seste bozulmalara (distortion) sebep olmuştur. Dolby, problemlerin önüne geçebilmek için ilk olarak 1971’de vizyona giren “A Clockwork Orange” filminde çalışmalar yapmıştır. Filmin tüm ön miks ve mastering’lerinde Type-A gürültü indirgeme yöntemi uygulanmış, ancak sinema sunumunda geleneksel seslendirme yöntemleri kullanıldığı için beklenen kalite sağlanamamıştır (Copeland, 2008: 196-211). 1974 yılında “Callan” filmi 10

sinemada Dolby sistemiyle izleyiciye sunulmuştur. Tek kanal mono olan film ses kayıtları, Dolby-A gürültü indirgeme yöntemi ile şifrelenmiş, sinema salonlarına çözücü modül ve ekolayzırlar kurularak sinemaların elektro-akustik parametreleri kalibre edilmiştir. Bu çalışma uluslararası bir sinema ses standartı oluşturmuştur (Blake, 1981).

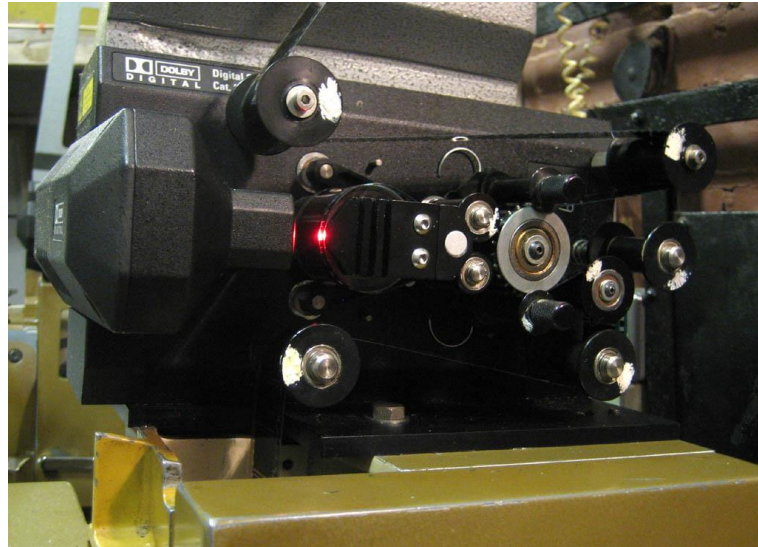
1933’de Blumlein’in çalışmaları, 1940’ta Fantasound’da ve 1955’te Westrex’in çalışmaları film şeridi üzerine başarıyla manyetik stereo kayıt yapıldığı bilinmektedir. Bu çalışmalar temel alınarak 1970’lerde RCA’nın ürettiği 16mm film şeritli ses kayıt cihazı ile Kodak, film için kayıtlar almış ve öncekilerden farklı olarak Dolby Gürültü İndirgeme Yöntemi kullanarak limitli dinamik ses genişliğini artırmıştır. Dolby’nin Kodak’la yaptığı çalışmada stereo soundtrack’ler Sansui QS Matrix ile kodlanarak dört kanallı quadrophonic sisteme dönüştürülmüştür. 1975’te “Lisztomania” filminde bu sistem kullanılmış, sol ve sağ kanallardan çözücü matriks ile orta kanal elde edilerek üç kanallı soundtrack oluşturulmuştur. Gösterimde 1950’lerin Cinemascope’undaki hoparlör dizilimi kullanılmış; ancak çok daha düşük maliyet ve daha iyi ses kalitesi elde edilmiştir. Dolby, bu sistemi “Dolby Stereo” olarak markalaştırmış; sol, sağ ve orta kanala ilave olarak dördüncü “surround” kanalını da ekleyerek 1976’da “A Star is Born” filminde kullanmıştır.

1977’de “Star Wars” filmi, Cinemascope’dan kalan dört kanal stereo sistemi kurulu sinemalarda Dolby Stereo ile gösterime girmiş ve büyük beğeni kazanmıştır. Bu başarı, dünyadaki birçok sinemayı stereo sistem kurulumuna sürüklemiştir. Dolby kurulu olmayan sinemalara ise aynı film bantı dağıtılmış, sesler mevcut mono ses sistemine uyumlu bir şekilde çalışarak gösterim gerçekleşmiştir. Bu sistem uyumluluğu sayesinde film dağıtım maliyetlerini çarpıcı şekilde düşürebilmek mümkün olmuş. Bu avantajlar Dolby standartının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Takip eden yıllarda 35mm ve 70mm filmlere Dolby Stereo manyetik kayıtları eklenmiştir.

Dolby, 1990’ların başında manyetik bantta sesin kalitesinin bozulması ve çeşitli sınırlamalardan dolayı sesleri film şeridine lazerle optik olarak yazma çalışmalarına yönelmiştir. 1991’de deneysel olarak üç sinemada “Star Trek VI: The

Undiscovered Country” filmi, film şeridine iki kanal optik ses yazılmış versiyonu ile gösterime sunulmuştur. Ardından 1992’de “Batman Returns” filmi Dolby Digital bandrollü ilk film olmuştur. Şeride optik olarak 320 kbit/s kalitesinde AC-3 isimli formatta kodlanmış ses verisi okunup çözüldüğünde 6 bağımsız kanal ortaya çıkmaktadır. Bunlardan üçü ön kanal, ikisi surround kanalları ve sonuncusu subwoofer’lar için 7 kHz düşük frekans geçirgen filtreli (low-pass filter) oluşturulan kanaldır.

Tüm Dolby Dijital filmleri perforje aralarındaki dijital AC-3 verisinin yanında, perforje dışında iki kanal Dolby SR ile gürültüsü indirgenmiş analog ses de taşımaktadır. Bu format “Dolby SR-D” olarak isimlendirilmiştir. Dolby’nin kurtulmaya çalıştığı analog manyetik ses, dijitale geçilmesine rağmen film şeridine eklenmeye devam edilmiştir; çünkü film şeridinin yıpranması veya dijital çözümlemenin hata vermesi durumunda yedek olarak bu kanallardan yürütülmektedir. İlave olarak bu yöntem, filmin dijital çözümleme yapamayan eski projektörlerle de çalışmasına olanak sağlamıştır. Eski projektörlerin yenilenmesi yüksek maliyetli olduğu için Dolby, “Penthouse” olarak isimlendirdiği ve eski projektörlerin görüntü okuma başlıklarının altına montajlanabilen dijital ses okuyucu bir cihaz da geliştirmiştir.



Şekil 6- Dolby Penthouse

(https://en.wikipedia.org/wiki/Dolby_Digital#/media/File:Dolby_Digital_track_reader.jpg) (Erişim: 30 Haziran 2019)

Dolby Stereo, sinema salonları için kullanılan 6 kanallı bir surround sistemdir. “Dolby Surround” ile karıştırılmamalıdır.

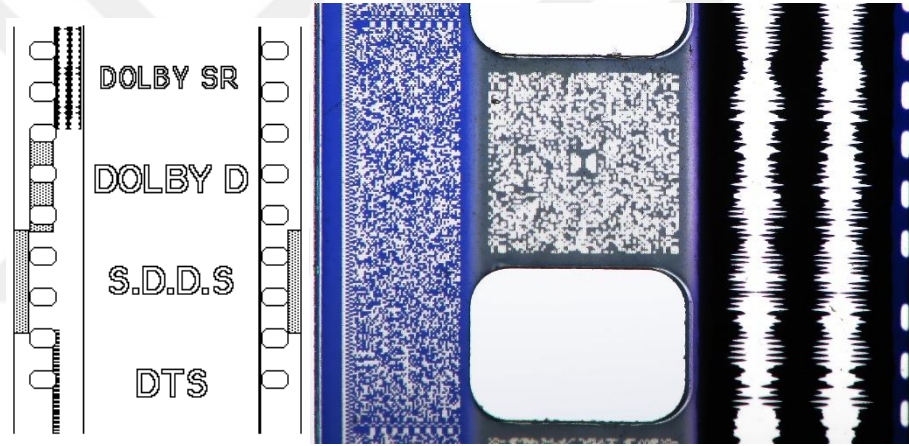
2.1.3. DTS ve SDDS

1993 yılında “Jurassic Park” filmiyle tanıtılan DTS (Digital Theater Systems) bir surround sistemi olup, Dolby’nin rakibi olarak büyük beğeni toplamıştır. 1995 yılına kadar “The Digital Experience” olarak bilinen DTS, 2009’da “Datasat Digital Entertainment” olarak, 2016’da da Xperi olarak yeniden isim değiştirmiştir. Tabanında Dolby Digital ile ortak özellikler taşıyan DTS, çıkış filmi olan “Jurassic Park” ta Dolby’den bir yıl geride kalmış, ev sineması versiyonunu da Dolby’den iki yıl gecikmeli çıkarmıştır. İlk çıkış versiyonları Dolby gibi 5.1 formatındadır.

DTS, 2012’de SRS Labs’ı neredeyse tüm patentleri ve marka hakları ile satın almıştır. 2014’de MPEG dijital televizyon formatı sağlayan firmayı ve dijital reklam firması olan VOD’u satın almıştır. Ardından iBiquity’nin HD dijital radyo teknolojisini satın alarak DTS dijital ses alt yapısı ile birleştirmiştir. Yıllar içinde Dolby ile rekabette kalarak sistemini genişletmiştir. Dolby ile temel farklarından biri, ses bilgisini Dolby gibi film şeridinin üstüne optik olarak yazmayıp ayrı bir CD-Rom olarak depolamasıdır. Böylece daha geniş depo alanına sahip olmuş ve “potansiyel olarak” daha yüksek kalitede ve çözünürlükte ses sunma imkanı sağlamıştır. Film şeridinin yıpranmasına rağmen ayrı olarak depolanan ses kalitesinin bozulmayışı, rakibine karşı en büyük avantajı olmuştur. Film sırasında CD-Rom, film şeridinin en dış tarafındaki zaman kodlarıyla senkronize gitmektedir. DTS’nin ev kullanıcısına yönelik formatında bit hızı (bitrate) Dolby’ye göre daha fazla olmasına rağmen; oynatıcı cihazların çok daha düşük bit hızlarında çalışması sebebiyle izleyici/dinleyici için Dolby ile aynı performansı göstermiştir.

1993 yılında Sony, “Last Action Hero” filminde SDDS (Sony Dynamic Digital Sound) dijital ses sistemi ile rekabete katılmıştır. Film şeritlerindeki

soketlerin gösterim sırasında deforme olduğuna dikkat çeken Sony, dijital optik formatını soketlerin dış tarafına yazmıştır. Optik sesi film şeridinde 8 mikron düzeyinde yazarak daha fazla bilgi için yer açmış ve burada 8 kanal sıkıştırılmamış ses formatı kullanmıştır. SDDS'nin dijital kodlama sistemi birçok başarılı hata koruması içermekte ve sistemde şeridin kopması durumunda bile bilgiler korunabilmektedir. Sony, sonrasında optik yazımını led/fiber optik sisteme çevirerek veriyi daha iyi ve güvenli sıkıştırma imkânı oluşturmuştur. 1994'te birçok yeni sinema salonuna SDDS eklemiştir. Ancak Dolby ve DTS formatlarına göre daha masraflı olduğu ve yarışa son katıldığı için beklenen çıkışı sağlayamamıştır. 8 kanal olması sebebiyle ilave ses sistem kurulum ihtiyacı bulunması da bir başka olumsuz yanındır.



Şekil 7- Film şeridinde Dolby, DTS ve SDDS ses verileri

(https://en.wikipedia.org/wiki/Sony_Dynamic_Digital_Sound#/media/File:35mm_film_audio_macro.jpg) (Erişim: 30 Haziran 2019)

2.1.4. Dolby Surround ve Pro Logic

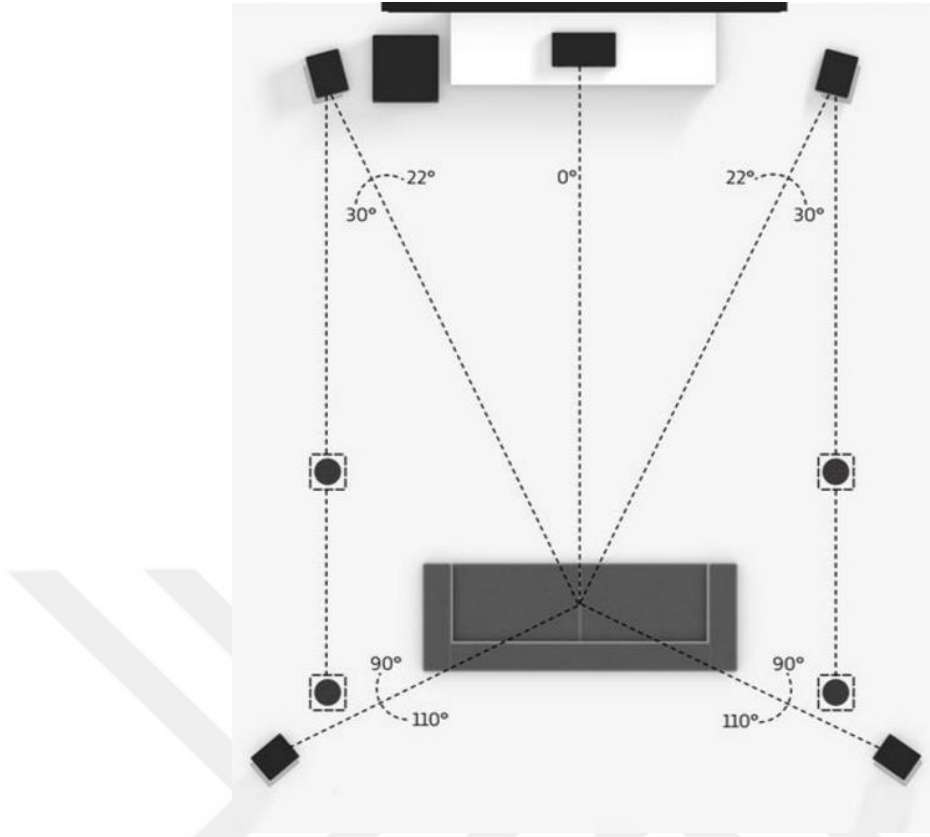
“Dolby Surround”, Dolby’nin ev kullanıcısına yönelik ürettiği ilk çok kanallı veri çözücü teknolojisine verdiği isimdir. İlk olarak 1982’de Betamax ve VHS’nin kullanıldığı dönemde tanıtılmıştır ve üç kanal çıkış sağlamaktadır. Bu çıkışlar şu şekilde matrikslenmektedir: Sol, sağ, sol ve sağdan oluşturulan orta kanal ve surround kanalı. Ancak surround kanalı 100 Hz – 7 kHz aralığında çalışmaktadır.

1982’de HiFi (High Fidelity) özellikli VCR’lar (Videocassette Recorder) tüketiciye tanıtılmıştır. Bu yıllarda ev ve araç ses sistemlerinde iki kanallı stereo kullanılmaktadır. Aynı dönemde sinemadaki Dolby Stereo ise dört kanallı “surround” bir sistemdir. Dolby, isim karışıklığı yaşanmaması amacıyla ev kullanıcısına yönelik dört kanallı ve matriks çözücülü sistemini 1987’de “Dolby Pro Logic” olarak isimlendirmiştir. Sistemde iki kanal olarak kodlanmış stereo ses çözülüp matrikslendiğinde: Sol kanal, sağ kanal, ikisinin eşit karışımıyla ortaya çıkan orta kanal ve düşük frekanslı mono bas arka kanalı ortaya çıkmaktadır.

2000 yılında Dolby’nin sunduğu “Dolby Pro Logic II” de, iki surround kanalı ve kanal gecikmeleri eklenerek programlanmış müzik modu bulunmaktadır. Ardından geliştirilen “Pro Logic IIx” ve “Pro Logic IIz” formatlarında da 5.1 ‘den 9.1 ‘e kadar kanal ve hoparlör sistemleri yer almaktadır.

2.1.5. Dolby Atmos Ev Sistemi

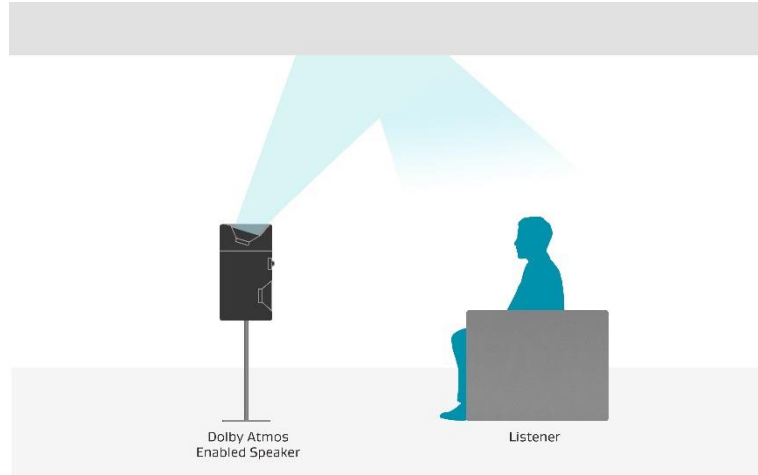
Dolby Atmos, sinemaya getirdiği farklı ses deneyimi gibi ev kullanıcısına da farklı bir deneyim sağlamaktadır. Atmos’un temel ev kurulumu sinema kurulumunun aksine çok daha esnektir. Fiziksel imkanlara göre tepe hoparlörü olarak (başüstü olarak da geçmektedir) minimum 1, maksimum 4 çift hoparlör; zeminde (baş hizası) ise 2-11 arası hoparlör kullanılabilir. Tepe hoparlörleri dinleyicinin üstünde dörtgen yapacak şekilde tavana monte edilmektedir.



Şekil 8- Dolby Atmos 5.1.4 ev kurulumu

(<https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-atmos/dolby-atmos-home-theater-installation-guidelines.pdf>) (Erişim: 30 Haziran 2019)

Hoparlör sayısı ev kullanımında zorluklar oluşturabileceği için, üreticiler daha küçük ve kolay kurulabilen sistem ve ürünler üretmek zorunda kalmıştır. “Elevation Speaker” diye adlandırılan “yükselti hoparlörleri”, tavana herhangi bir montaj yapmadan dinleyiciyi karşılayan hoparlörlerin üzerine monte edilerek kullanılmaktadır. Bu hoparlörler 45 derece tavana bakacak şekilde hoparlör kutularında açılı olarak yerleştirilmiştir. Bu ürünlerdeki amaç, sesi tavan yüzeyinden yansıtıp dinleyiciye ulaştırmaktır. Böylece dinleyici, ses sanki yukarıdan geliyormuş gibi hissetmektedir.



Şekil 9- Elevation speaker

(<https://www.techhive.com/article/3137409/svs-prime-elevation-speaker-review-an-incredibly-versatile-audio-solution-for-the-home-theater.html>)

(Erişim: 30 Haziran 2019)

Kullanıcı rahatlığına yönelik bir başka ürün de Soundbar'lardır. Televizyon altına sığacak incelik ve uzunlukta üretilen ürünler, içlerinde açılı yerleştirilmiş küçük hoparlörlerden oluşmaktadır. İnce uzun kutusunu bas rezonatörü olarak kullanarak, bas frekansları olabildiğince sunmaya çalışsa da yeterli olmayıp, çoğunlukla yanında sub-woofer'i ile birlikte satılmaktadır. Ürün içinde, çok sayıda küçük hoparlör doğru fazda yerleştirilerek birbirlerini güçlendirmiş ve ses yüksekliği yeterli hale getirilmiştir. Yükselti hoparlörleri farklı sayılarda ve büyüklüklerde sistem ihtiyaçlarına göre üretilmektedir.



Şekil 10- Yamaha YSP-5600 Soundbar

(https://de.yamaha.com/de/products/audio_visual/sound_bar/ysp-5600/index.html)

(Erişim: 30 Haziran 2019)

2.1.6. Atmos on the Go

Atmos'un en önemli yeniliklerinden biri de kulaklık desteği vermesi olmuştur. Dolby'nin önceki surround sistemlerinde (stereo hariç) sadece kendi logosunu taşıyan ürünlerle iyi performans alınmaktadır. Atmos ile birlikte, iyi hassasiyeti olan ve iyi frekans cevabı verebilen tüm kulaklıklar Atmos deneyimini mümkün kılabilir. Atmos miks verisi içeren AC-4 formatını dinleyebilmek için; Atmos işlemci, entegre Atmos çipi veya Atmos yazılımı kullanmak ve gerçek zamanlı kod çözümlemeleri yapmak gerekmektedir. Eğer kullanıcının Atmos çözücü bir yazılım veya donanımı yok ise, önceden Atmos ile mikslenmiş ve stereo'ya indirgenmiş medya ürünlerini kullanmak da mümkündür. Bu yöntemle stereo'ya indirgenmiş Atmos örnekleri internette ücretsiz olarak dinleyicilere sunulmaktadır. Günümüzde telefon, tablet, dizüstü ve masaüstü bilgisayarlara Atmos yazılım ve donanım ürünleri entegre edilerek satışa sunulmaktadır.

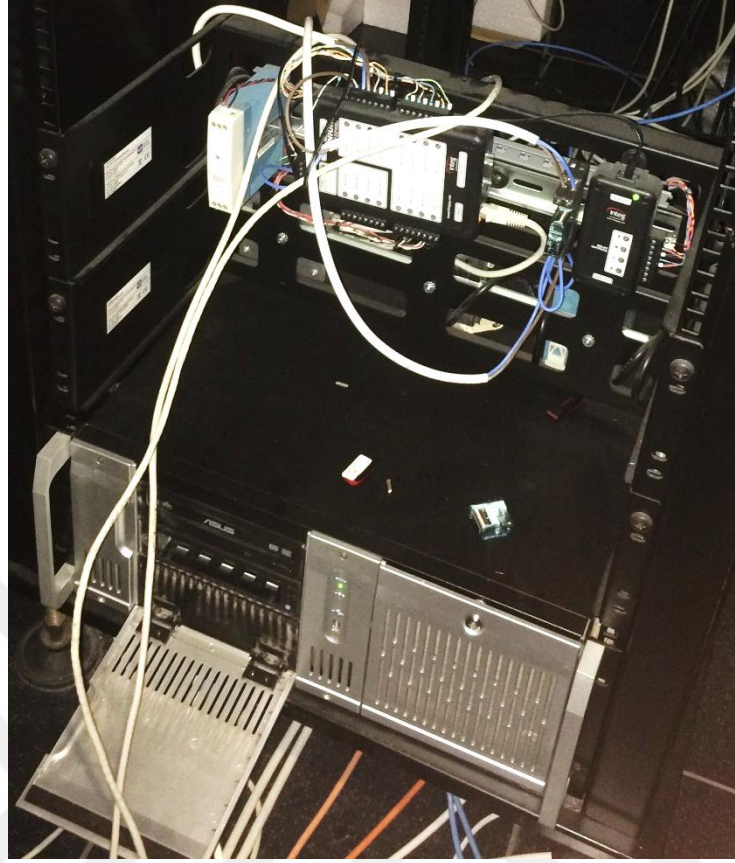
2.2.Sistem Tasarımı

Türkiye'de ilk Dolby Atmos Sistemi Kasım 2013'te CinemaPink tarafından İstanbul İstiklal Caddesi'ndeki Demirören AVM'ye kurulmuştur. Bu sinema salonlarında yine Türkiye'de ilk defa Sony Digital Cinema 4K projektör ve sistemi kullanılmıştır. Büyük Atmos salonuna ise, JBL marka 36 surround hoparlör ve 2 surround subwoofer kurulmuştur. İç dizaynlarında Aziz Sarıyer ile çalışan Pink, I.C.T.A. (International Cinema Technology Association) tarafından 2015'te Barcelona'da 20.'si gerçekleşen CineEurope seminerine katılmıştır. Sinema sektörünün en iyilerinin seçildiği bu geleneksel etkinlikte yaratıcı iç dizaynına ve kalitesine istinaden "Yılın Yeni Sineması" ödülüne layık görülmüştür (Cinema Technology Magazine, 2015, 37). Böylece dünyanın en iyi sinemalarından biri olarak tescillenmiştir. Bu bölümde Atmos Sinema Sistemi kurulum örneği olarak

İstanbul Etiler'deki ödöl alan CinemaPink AkMerkez Büyük Atmos Salonu incelenmektedir.

Dolby sisteminde tüm cihazlar birbirine ethernet/internet ağı ile bağlı olduğu için, sistemin herhangi bir noktasından giriş yaparak tüm cihazlara ulaşip işlem yapmak mümkündür. TMS (Dolby Theatre Management System), Dolby'nin sinema zincirini takip edebilmeyi, müdahale edebilmeyi ve medya depolamayı mümkün kılan programıdır. Az veya tek salona sahip küçük sinemalar ise TMS'yi atlayarak direkt ShowVault/IMB'yi (Dolby Storage Server and Integrated Media Block) kullanabilir. Dolby, gösterimde olan tüm salonları merkezinden takip edebilmekte ve bir sorun oluştuğunda müdahale edebilmektedir.

TMS'de ve ShowVault'ta arayüz yardımı ile makro kullanılarak işlemler otomasyona bağlanabilmekte ve tetiklenebilmektedir. Örneğin perde, ışık, projektör, ses sistemi gibi sistemlerin açılıp kapatılabilmekte ve takip edilebilmekte; seansın başladığına dair veya acil durumlarda anons veya zil gibi uyarılar verilebilmektedir. Kurulu sistem ağından gelen komutlar, otomasyon kontrol birimleri tarafından analog olarak uygulanmaktadır. Pink'te bu işlemler için Integ firmasının Jnior ürünleri kullanılmıştır.

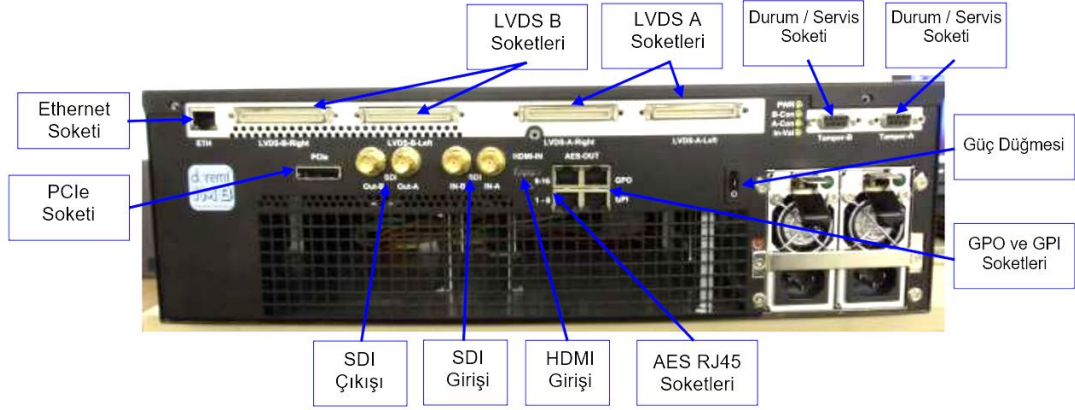


Şekil 11– ShowVault ve Jnior

Dijital sinema sistemlerinde medyalar, SMPTE'nin (Society of Motion Picture and Television Engineers) kabul ettiği standartlara göre paketlenmiş üstverilerden (metadata) oluşan DCP (Digital Cinema Package) formatında dağıtılmaktadır. Paket içeriğinde oynatma listesi ve düzenleme verileri olarak XML (Extensible Markup Language) dosyaları yanında, görüntü ve ses verileri içeren MXF (Material Exchange Format) dosyaları da bulunmaktadır. MXF üstverilerinde de sıkıştırılmış görüntü (JPEG2000 veya MPEG-2) ve 16 kanala kadar 48–96 kHz örnekleme hızında 24-bit sıkıştırılmamış PCM (Pulse-Code modulation) ses verileri yer almaktadır.

Sinemada işleyiş, anlaşmalı dağıtıcılara yapılan ödemeler ve alınan izinlerle filmin dijital olarak internet üzerinden indirilmesiyle başlamaktadır. Medya depolanması TMS'ye (Dolby Theatre Management System), ShowVault'a veya ağa bağlı bir sunucuya gerçekleştirilir. Sonrasında birçok otomasyon işlemi başlar.

Medya, ShowVault'tan PCI-Express kablosu ile (maksimum 3m) projektöre entegre edilmiş IMB'ye (Integrated Media Block) aktarılır.



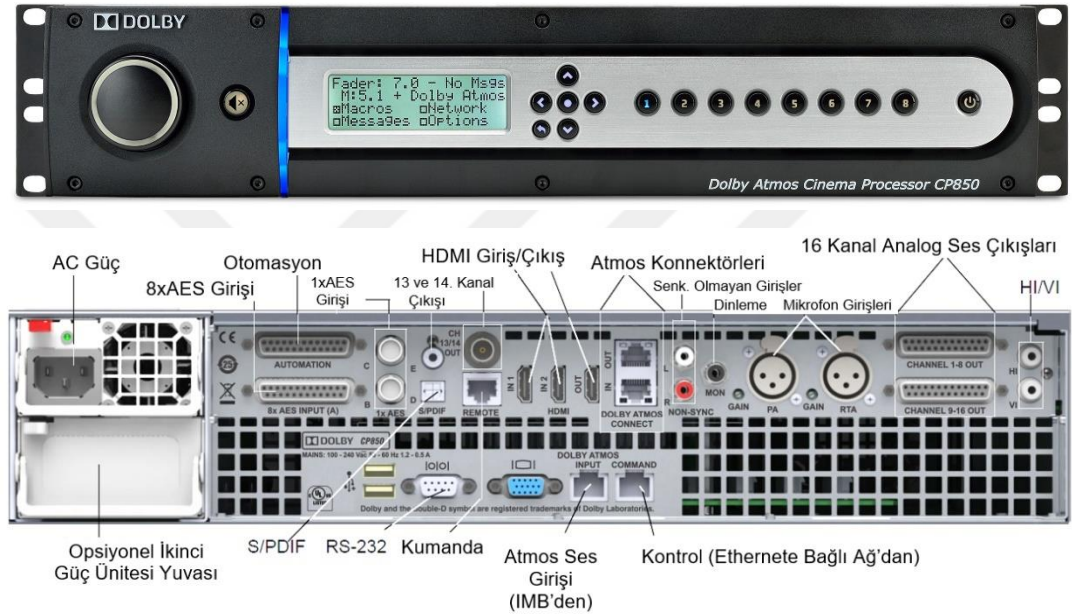
Şekil 12– IMB-SA Ünitesi

(https://smart-story.ru/files/products/multimedia/mediaplayers/Dolby/Dolby_ShowVault-IMB2K4/Docs/Dolby_Doremi_IMB-SA_Sony_Install_Manual_001500_v1_7.pdf)

(Erişim: 30 Haziran 2019)

İncelenen Atmos salonu örneğinde IMB olarak Sony projeksiyonlar için özelleştirilmiş IMB-SA Ünitesi kullanılmıştır. Üniteden bir çift LVDS (Low-voltage Differential Signaling) kablosu ile tek bir projeksiyon başlığına görüntü aktarılmaktadır. Kullanılan Sony SRX-R320s 4k çözünürlüklü projeksiyörde tek başlık olduğu için sadece bir çift LVDS bağlantısı yapılmıştır. Projeksiyon ve IMB ünitesi ayrıca CSS (Cavity Security System) konnektörü bulundurmaktadır. Bu bağlantı, DCI (Digital Cinema Initiatives) tarafından zorunlu kılınan FIPS (Federal Information Processing Standard) veri güvenliği şartlarını yerine getirmek için yapılmalıdır. Ardından GPIO (General Purpose Input-Output) giriş ve çıkışları, Jnior 312 otomasyon ünitesiyle birlikte ağına bağlanarak; projeksiyonun durumu, sinemadaki ışık ve düğmeler otomasyon ile kontrol edilebilir hale getirilmiştir.

arayüzüne ulaşılmaktadır. Arayüzde taşınan 16 kanallı çözülerek kaç analog çıkışa dağıtılacağı, hoparlör özellikleri ve konumları ayarlanır. İşlemci, 64 kanala kadar bağımsız çıkış verebilme özelliğine sahiptir; ancak üzerinde DB25 soketli 16 kanallı analog çıkış bulunmaktadır. Örnek salonumuzda 16'dan fazla hoparlör bulunduğu için, 32 kanallı analog-dijital sinyal çevirme becerisi olan DAC3201 ünitesine “Dolby Atmos Connect” ethernet çıkışından bağlantı yapılmıştır. Ünitenin ethernet çıkışı tekrar CP850'e döndürülerek döngü oluşturulmuştur.



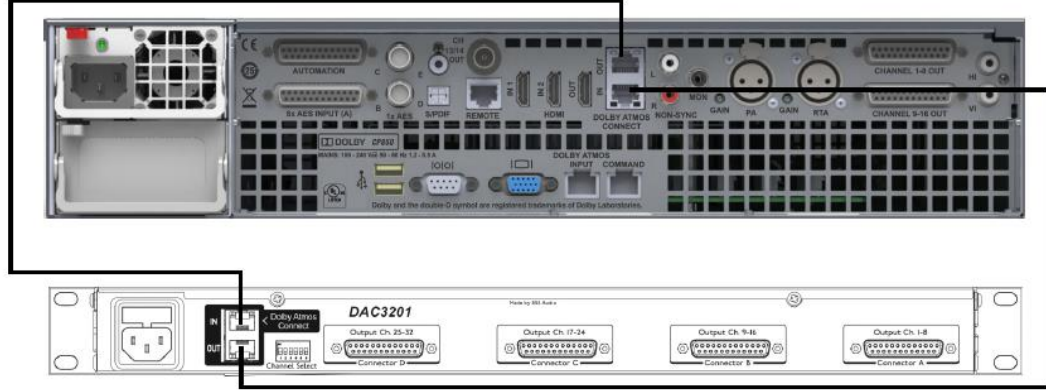
Şekil 14- Dolby CP850 Ön ve Arka Paneli

(ftp://common:common4@ftp.global-story.ru/Download/Hardware/Processors%26Receivers/Dolby/CP850%20Atmos/Documentation/Dolby_CP850_Installation_Manual_English.pdf)

(Erişim: 30 Haziran 2019)

Hoparlör ve amfi seçimlerinde, Dolby'nin tavsiyesi olan JBL ve Crown ürünleri kullanılmıştır. DAC3201'in sağladığı analog çıkışlar 10 amfi ile 20 surround hoparlöre aktarılmıştır. Bunlar beşerli sıralardan oluşmak üzere sol, sağ, üst sol ve üst sağ surroundları oluşturmaktadır. İşlemcinin 16 analog çıkışından ise sadece 8'i kullanılmış; bunlardan üç tanesi Behringer Ultradrive Pro DCX2496'e yönlendirilmiştir. Geriye kalan 5 çıkış, amfilenerek arka surround hoparlörlere yönlendirilmiştir. Kurulan bu hoparlör sisteminde mono, stereo, quadrophonic, 5.1,

7.1, 9.1, 11.1, 11.2 gibi formatlar da veri kaybetmeden çalışabilir. Atmos'un sektör tarafından beğenilmesinin bir sebebi de geriye yönelik bu şekilde uyumlu çalışabilmesidir.



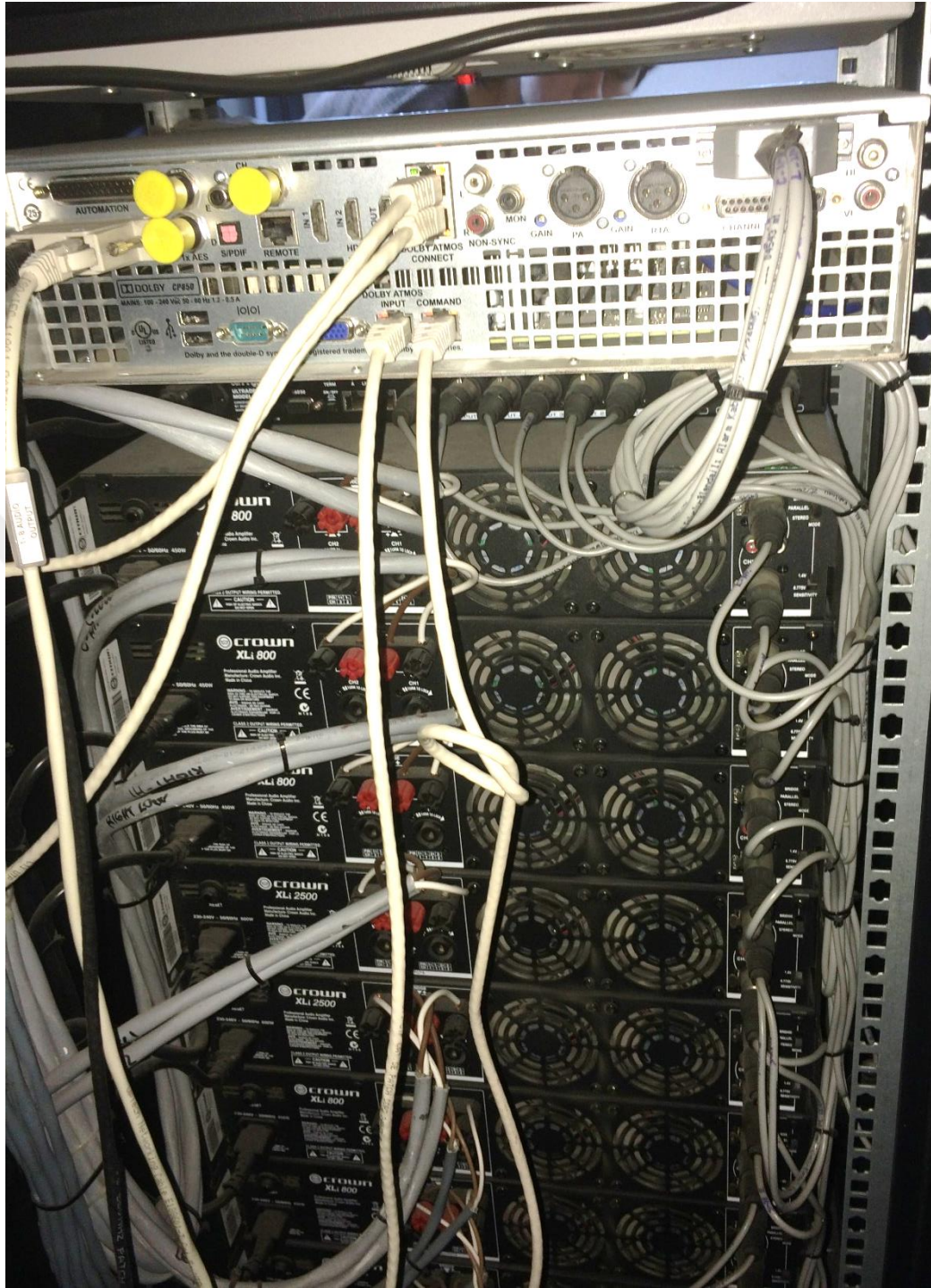
Şekil 15- CP850 ve DAC3201 bağlantıları

(ftp://common:common4@ftp.global-story.ru/Download/Hardware/Processors%26Receivers/Dolby/CP850%20Atmos/Documentation/Dolby_CP850_Installation_Manual_English.pdf)

(Erişim: 30 Haziran 2019)



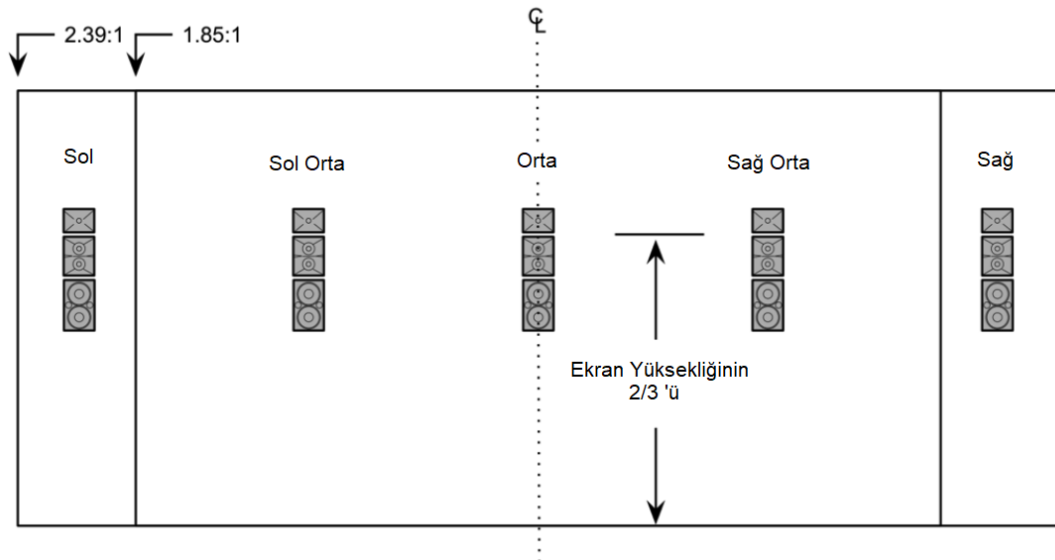
Şekil 16- CP850 ve amfiler ön görünüşü



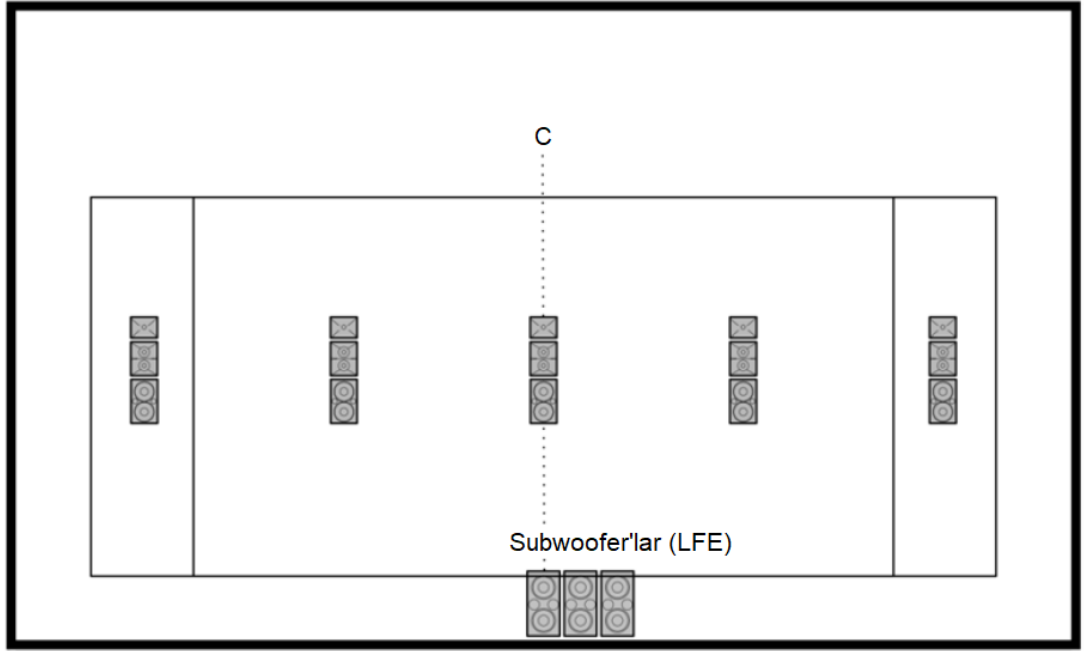
Şekil 17– CP850 ve amfi bağlantıları

Hoparlör konumlandırmaları Dolby'nin yayınladığı “Dolby Atmos Specifications”a (Dolby, 2015, 3) göre yapılmıştır. Sinemada perdeden arka duvara olan uzaklığın 2/3'sinde ve salon genişliğinin tam ortasında bulunan koltukta oturacak dinleyicinin, ortalama kulak yüksekliği hesaplanarak bu nokta referans

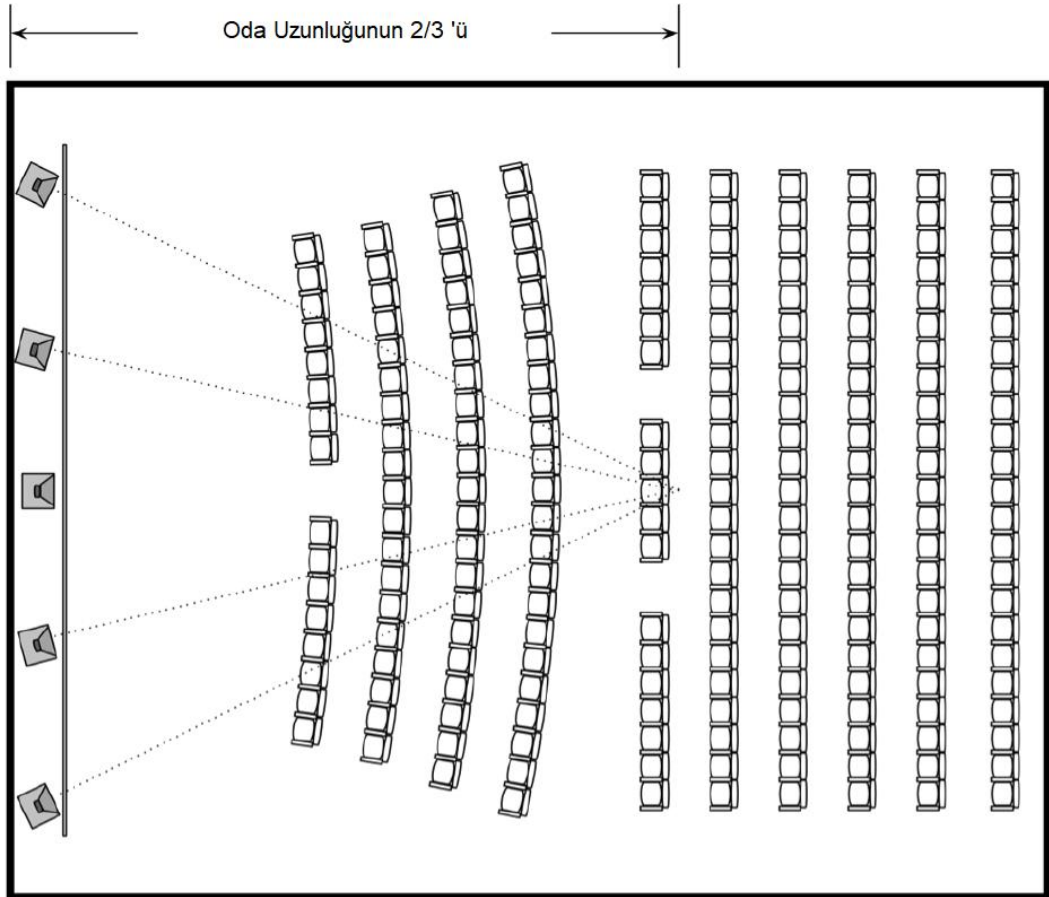
dinleme pozisyonu RLF (Reference Listening Position) olarak tanımlanmıştır. Perde ön ses sistemi, ISO 2969:1987 ve SMPTE ST 202:2010 'ye göre önceki sistemlerle aynıdır. Perde hoparlörleri tüm frekansları verebilen (full-range) sol, sağ ve orta olmak üzere üç hoparlörden oluşmaktadır. Bunlara ilave 120 Hz'ye kadar düşük frekansları verebilen hoparlör veya hoparlörler yerleştirilir. Full-range hoparlörlerin akustik ortası yerden $\frac{2}{3}$ yükseklikte olmalıdır ve orta hoparlör ekranı tam ortalamalıdır. 12 metre perde genişliğine kadar kadar üç hoparlör gerekirken, örneğimizde daha geniş bir perde kullanıldığı için orta hoparlörlerin soluna ve sağına birer tane daha hoparlör ilave edilmiştir. Tüm ön hoparlörler RLF'yi hedefleyecek şekilde yatay ve dikey açlandırılmıştır. Düşük frekans hoparlörleri tercihen bir veya birden fazla olabilir. Burada ana kural subwoofer'in veya grubunun, full-range hoparlörlerin verebildiği düşük frekanslardan toplamda 10 dB daha güçlü olmalarıdır. Subwoofer'lar 31.5'tan 120 Hz'e kadar düz frekans cevabı vermelidir. Durağan dalga teorisinden (standing wave) (Melde, 1860: 193–215) yola çıkılarak oluşturulan akustik oda modellerine göre düşük frekans hoparlörleri perdeyi ortalayacak şekilde orta hoparlörün tam altına yerleştirilmemeli, simetriği bozacak şekilde (genelde giriş kapısından uzaklaşması amacıyla ortadan biraz sağa doğru) yerleştirilmelidir.



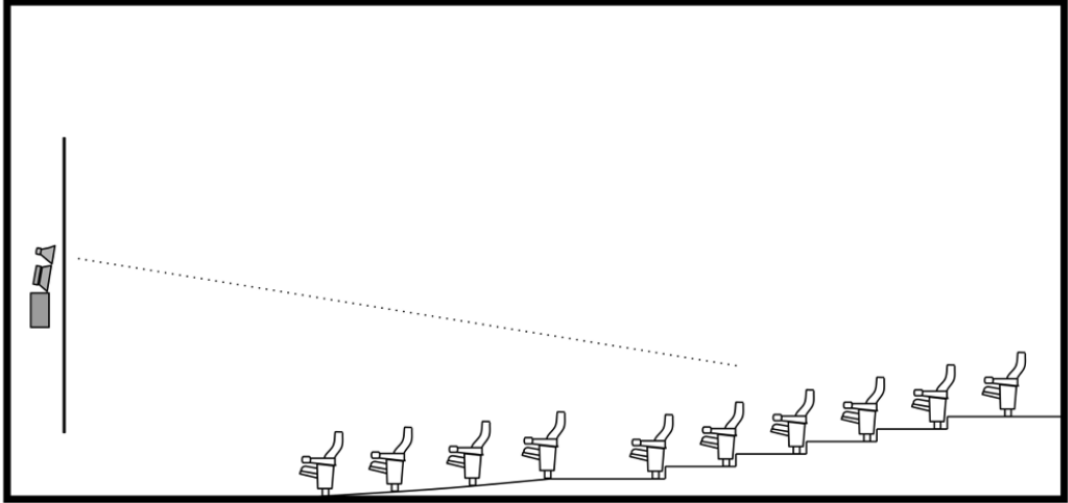
Şekil 18- Ön hoparlör yerleşimleri (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)



Şekil 19- Ön subwoofer yerleşimleri (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)

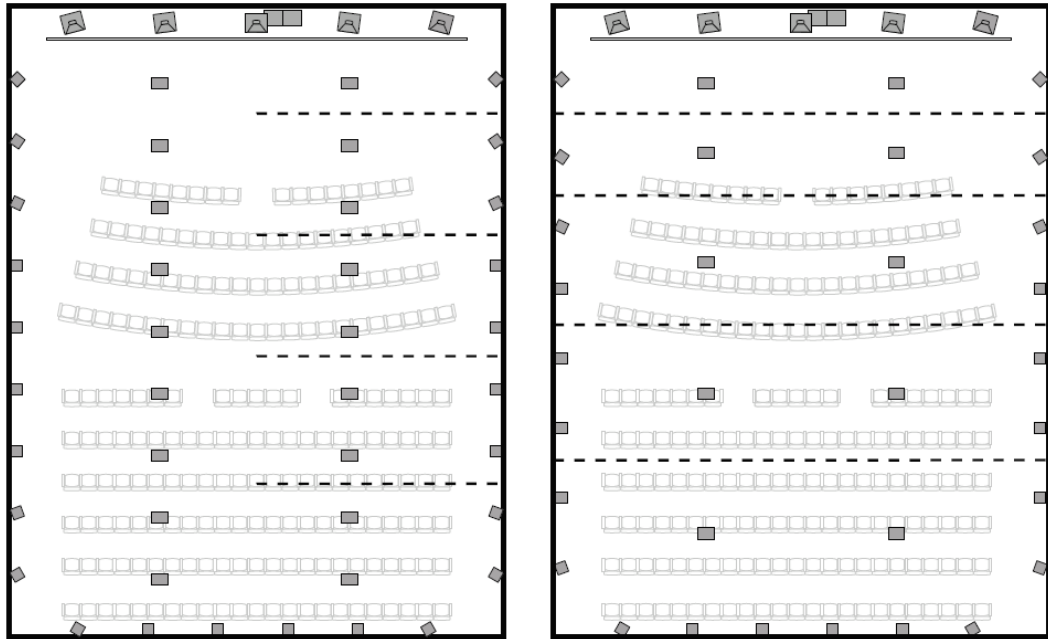


Şekil 20- Ön hoparlör yatay açıları (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)

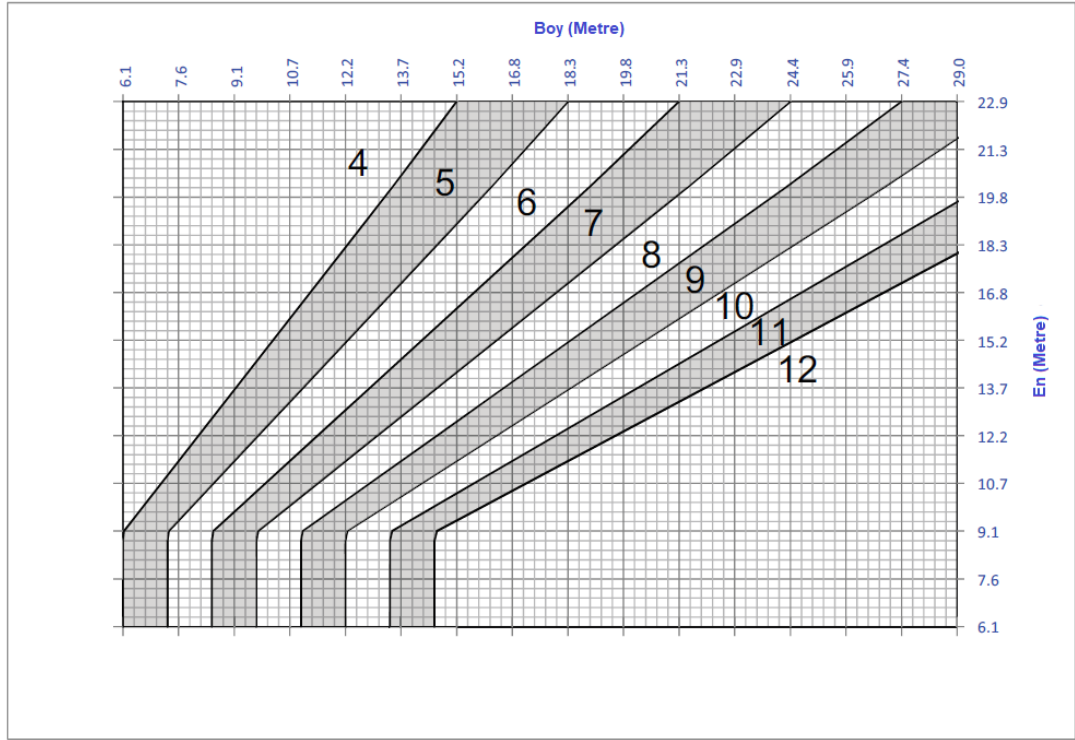


Şekil 21- Ön hoparlör dikey açısı (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)

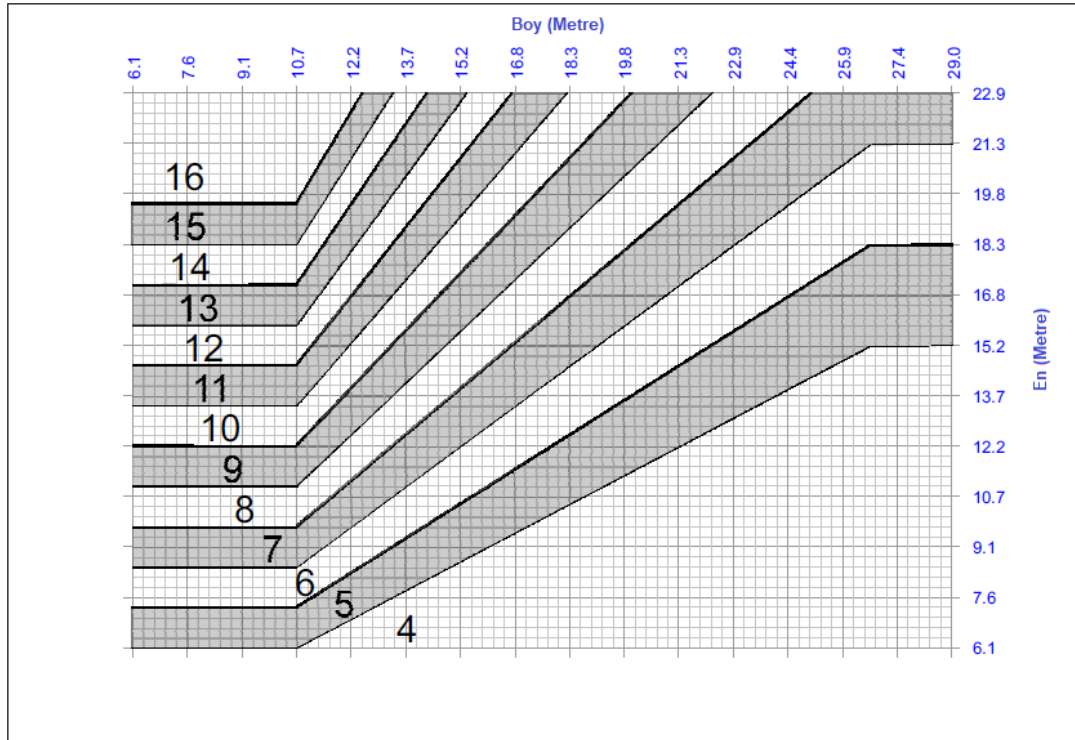
Yan ve tepe surround hoparlör sayısı birbirine eşit olup; salon uzunluğu, genişliği ve yüksekliğine göre hesaplanmaktadır. Salon, daha doğru yön algısı ve güç tasarrufu sağlayabilmek için yatay bölgelere bölünmüştür. Bölge sayısı, tam sayı ve minimum 4 olmak üzere $\text{Bölge} > (\text{Hoparlör Sayısı} + 1) / 2$ formülü ile hesaplanır. Buna göre bizim örnek kurulumumuzda 4 bölge bulunmaktadır. Bölge içinde aynı yüzeye kurulu hoparlörler tek bir sinyal ile beslenebilir. Arka surround hoparlörler de salon uzunluğu, genişliği ve yüksekliğine göre hesaplanır.



Şekil 22- Bölgelendirme (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)



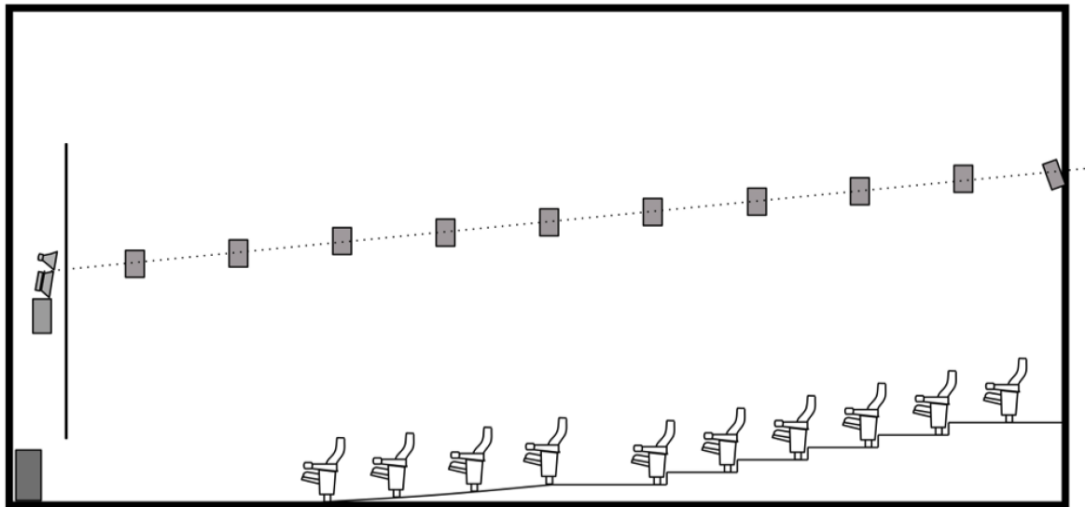
Şekil 23- Yan ve üst surround hoparlör sayısı (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)



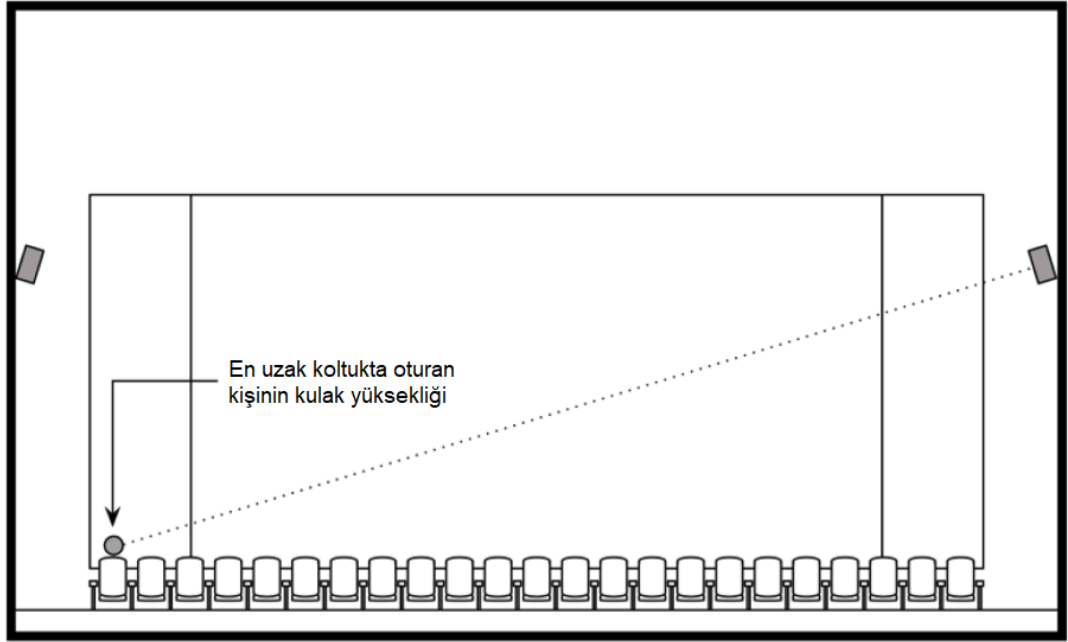
Şekil 24- Arka surround sayısı (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)

Ön hoparlörler maksimum 105 dB SPL, surround hoparlörler ise maksimum 99 dB SPL olmalıdır. Duvara çok yakın montelenmiş olabileceği göz önüne alınarak ilave 3 dB'lik bir opsiyon bırakılmalıdır (3 dB, iki kat fazla güç gerektirir). Tavsiye edilen yatay yayılım açıları 60 derece, dikey açıları 40 derece olmalıdır. Surround hoparlörler, eğer subwoofer kullanılmıyacaksa 40Hz - 16kHz aralığında frekans cevabı vermelidir. Subwoofer kullanılacaksa 100 Hz'ye kadar crossover'lenebilir. Yan surround hoparlörlerin tavsiye edilen yatay yayılım açıları 90 derece, dikey açıları 50 ± 10 derece olmalıdır. Tepe ve arka hoparlörlerin ise yatay ve dikey yayılım açılarının minimum 100 derece olması tavsiye edilmektedir. Arka surround'ların yüksekliği, salonun fiziki şartları da göz önünde bulundurularak en arka koltukları dikey ve yatayda kapsayacak şekilde ayarlanmalıdır. Tercihe bağlı olmakla birlikte zeminden 3/4 yükseklikte olabilir.

Yan surround'ların yerden yüksekliği, arka hoparlörlerin akustik ortalarından ön hoparlörlerin akustik ortalarına çizilmiş hayali bir çizgi üzerine -yine akustik ortaları gelecek şekilde (arkadan öne doğru düz eğimli)- yerleştirilmelidir. Yerleşimde hat çizgisi üzerinde herhangi bir mimari veya akustik malzeme engeli bulunuyorsa, (sonradan kalibrasyonu yapılmak üzere) çizgi ile yerden ± 25 pay içinde kalacak şekilde yüksekliği değiştirilebilir. Yüzey uzunluğu: L; hoparlör sayısı: N; hoparlör aralığı SS olmak üzere, SS şu formülle hesaplanmaktadır: $L / 2 \times N \leq SS \leq L / N$. İhtiyaç halinde SS %10 esnetilebilir.

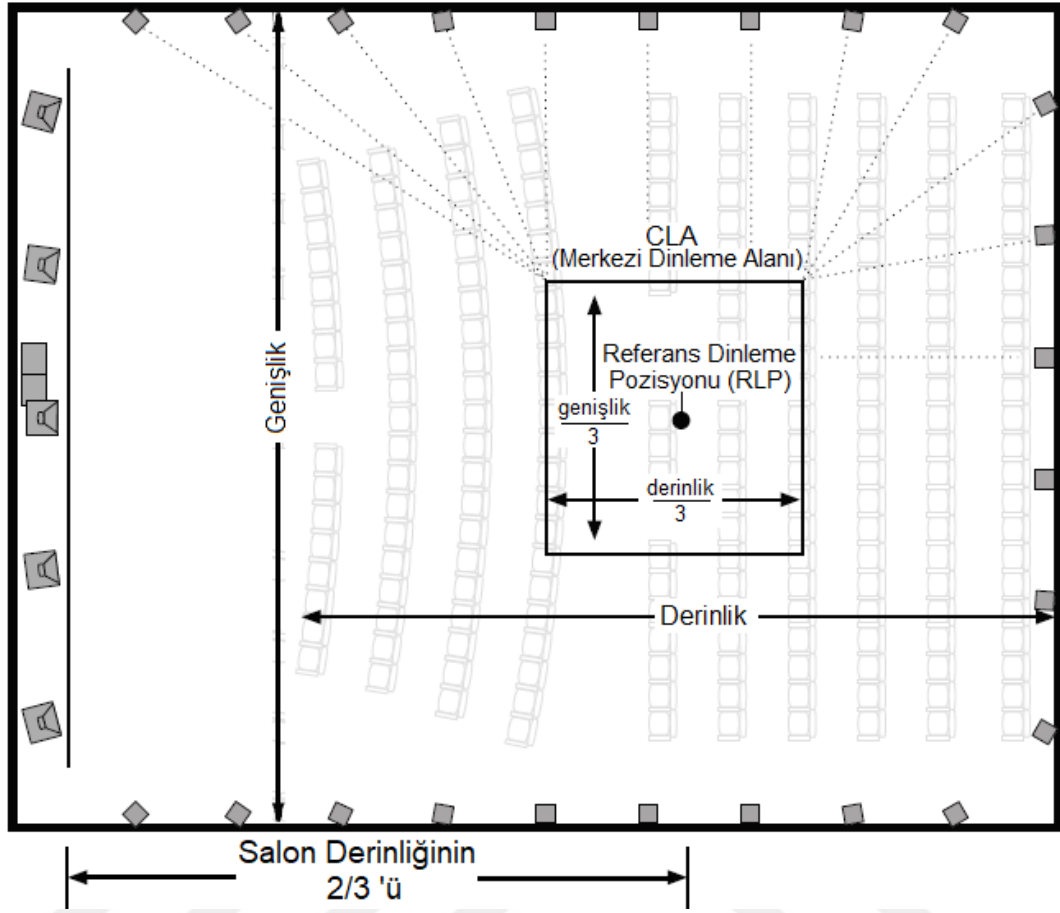


Şekil 25- Yan surround yerleşimi (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)



Şekil 26- Yan surround açıları 1 (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)

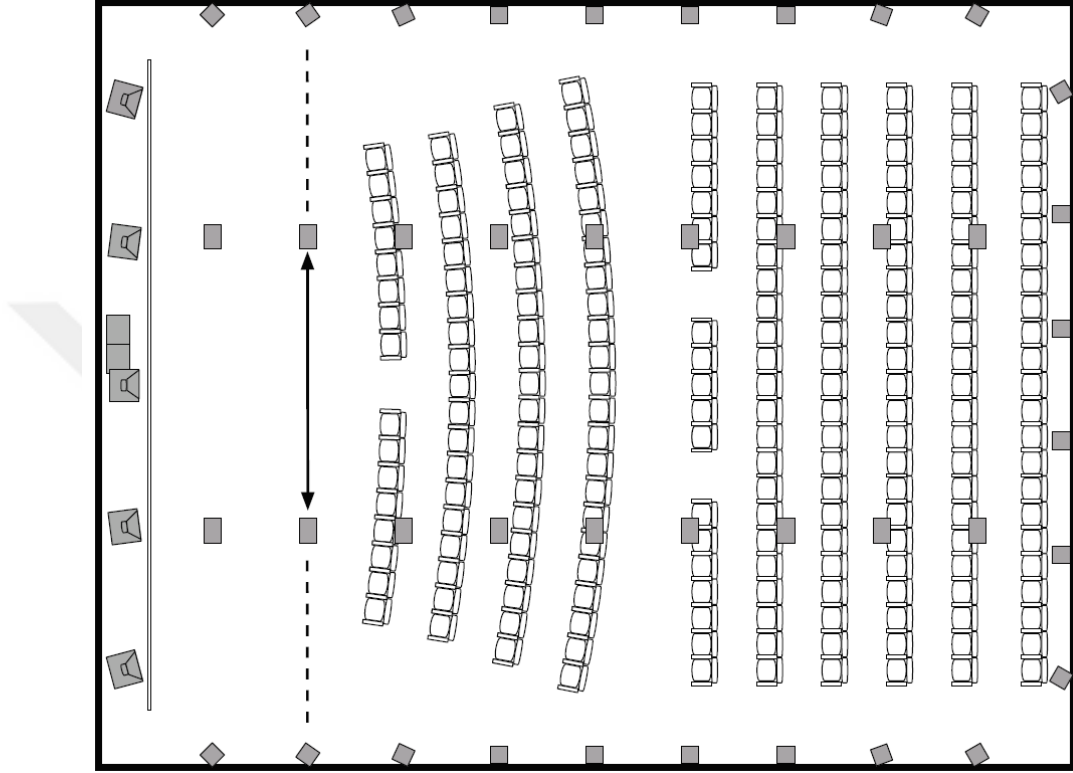
Salonda en önemli sayılabilecek alan, merkezi dinleme alanı CLA'dır (Central Listening Area). CLA alanının genişliği, yan yana sıralanmış toplam koltuk uzunluğunun $\frac{1}{3}$ 'i olacak şekilde; uzunluğu ise, en ön ve en arka koltuğun arasındaki mesafenin $\frac{1}{3}$ 'i olacak şekilde hesaplanır. RLF, çıkan dikdörtgen veya kare şeklin açığortay kesişiminde kalacak şekilde konumlandırılır. Tüm surround hoparlörler bu alandaki en yakın "köşeye" hedeflenecek şekilde yatayda açılıdırılır. Surround'larda dikey açılar ise, bağlı olduğu yüzeye en uzak koltukta oturacak dinleyicinin ortalama kulak yüksekliğini hedefleyecek şekilde olmalıdır.



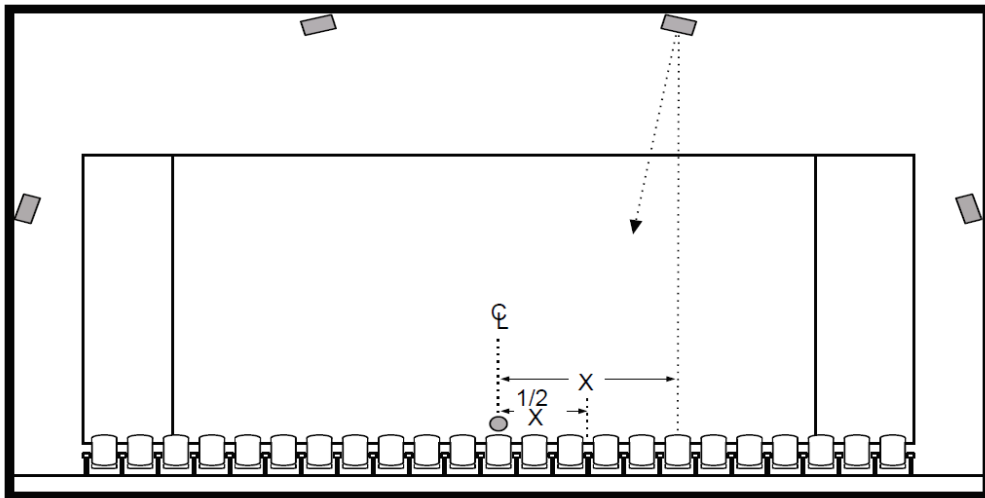
Şekil 27- Yan surround açılarları 2 ve CLA (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)

Tepe hoparlörleri, ön hoparlörler gibi sol ve sağ olarak gruplanmalı; orta hoparlörden arka duvarın ortasına çizilen hayali “orta çizgisi” ne simetrik olmalıdır. Tepe hoparlörler varsa ön orta sol ve ön orta sağ hoparlörlerine hizalanır. Tepe hoparlörleri arasındaki minimum uzaklık bu’dur. Eğer orta sol ve sağ hoparlörler yoksa veya farklı bir yerleşim gerekiyorsa, tepe hoparlörleri arasındaki maksimum uzaklık şu şekilde hesaplanmaktadır: RLF orjin olacak şekilde yan duvardaki en yakın noktaya “x” eksenini çizilir. RLF ile yan surround çizgisi üzerindeki en yakın noktaya çizilen doğrunun “x” eksenini ile yaptığı açı da “E” olarak isimlendirilir. RLF ile yerleştirilecek tepe hoparlörü arasında çizilen doğrunun “x” eksenini ile yapacağı açı “ β ” ise, $\beta = 45^\circ + E/2$ ‘dir. “x” ekseninden “ β ” açısıyla tavana çizilen doğrunun tavana ulaştığı nokta, tepe hoparlörünün yan duvarla yapabileceği en kısa mesafeyi tanımlar. Buna göre tepe hoparlörleri arasındaki maksimum uzaklık tespit edilir. Tepe hoparlörünün orta çizgiye doğru yapacağı açıyı bulabilmek için orta çizgiye uzaklığının yarısı hesaplanır. Bu uzaklıktaki RLF’den “x” ekseninde artı ve eksi

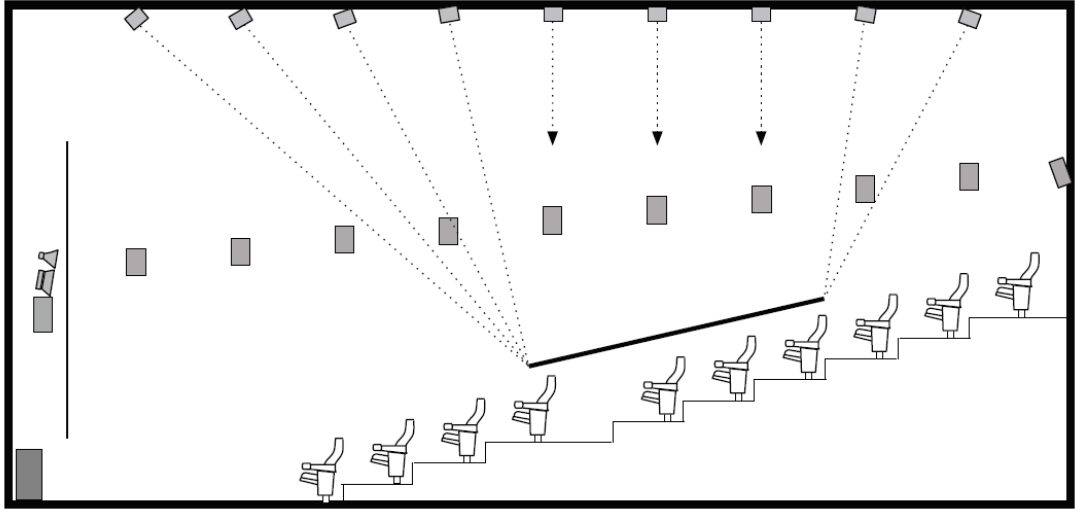
yönde oluşan noktalar, tepe hoparlörlerinin odaklanacağı noktalardır ($\pm 10^\circ$). Tepe hoparlörleri, dikeyde CLA'daki en yakın köşeye odaklanır. Eğer aynı bölgede gruplanan iki hoparlör varsa, bunlar CLA'nın birbirine göre tam zıt köşelerine odaklanırlar ($\pm 10^\circ$).



Şekil 28- Tepe surround yerleşimi (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)



Şekil 29- Tepe surround açıları 1 (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)



Şekil 30- Tepe surround açıları 2 (Kaynak: DolbyAtmos Specifications)

Dolby, 500'den fazla koltuğu olan geniş salonlarda eğer 7 veya daha fazla yan surround yerleştirilmiş ve crossover frekansı 80 Hz'in altında ayarlanmış ise, sisteme surround subwoofer eklenerek bas yönetimi yapılmasını önermektedir. Crossover frekansları salonun akustik yapısına bağlı 40-120 Hz arasında değişebilmektedir. Ses basınç seviyesi ön hoparlör subwoofer'leri ile aynı olmalıdır. Tekli yerleşimde köşeye en az 1 metre uzaklıkta; arka duvara yerleştirilecekse tepe hoparlör çiftine göre yan duvara daha yakın; ön duvara yerleştirilecekse ön dış sol ve sağ hoparlörlerinden yan duvara daha yakın olarak konumlandırılmalıdır. Eğer birden fazla surround subwoofer eklenecekse, yan duvarlarda birbirine paralel olmayacak şekilde asimetrik konumlandırılmalıdır. Subwoofer'leri kulak hizasına, RLP veya CLA yakınına yerleştirmekten kaçınılmalıdır. Arka koltukların tavana yakın olduğu salonlarda, subwoofer'i arka duvara uzak bir noktaya yerleşim önerilmektedir.

SONUÇ

Blauert'e göre insan, doğadaki sesleri küresel bir şekilde algılamaktadır. Ortamların farklı emilim ve yansıma gösteren yüzeylere sahip olması, sesin algılanmasında farklı sonuçlar doğurmaktadır. Ortam akustiği bir yana, insanın kendi vücudundaki fiziksel özelliklere bağlı akustik değişkenler bile sesin algılanmasında önemli farklılıklara yol açmaktadır. Seslerin geliş açısı, faz ilişkileri, tınısal farklılıklar ve gürlük gibi parametreler beyinde yorumlanarak ses ve konum algısını oluşturmaktadır. Bu tespitler, geçmişten günümüze ses teknolojilerinin gelişimine yön vermiştir.

İnsanın nasıl boyutsal algıladığını anlayabilmek için yapılan deneylerde birçok tespit yapılmış, kavramlar ve teoriler oluşturulmuştur. İlk Gelen Ses Kanunu, Haas, Öncelik Etkisi, Gölge Etkisi, Dublex, ITD ve ILD, HRTF Tespitleri, Binaural İşitme ve bu konuda daha birçok çalışma mevcuttur. 1887-1888 arasında icat edilen fonograf ve gramofona karşı, Ader'in henüz 1881'de binaural deneyler yapmış olması göz ardı edilmemelidir. Ader'den sonra binaural işitme ile ilgili önemli görebilediğimiz en erken çalışmalar ise ancak 40 yıl sonra ortaya çıkmaktadır.

1930'larda hızla elektrik döneme geçiş yapılarak stereo'dan surround'a uzun bir yolculuk başlamıştır. Bu süreçte ses sistemlerinin gelişiminde, sinemanın lokomotif olduğu gerçeğinin altı çizilmelidir. Bu yolculuk sırasında, analog seslerin çok dip gürültülü olmasından dolayı, gürültü azaltıcı yöntemlere yönelim kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu alanda en başarılı çalışmaları Dolby yaparak dikkatleri üstüne çekmiştir.

Seste dijital çağa geçilmesi ile ses verilerinin üzerinde kodlama ve çözme işlemleri yaygınlaşmıştır. 1990'lara kadar surround, yatay düzlemdeki işitmeye yönelik geliştirilmesine rağmen, dikey boyutta bir algı yaratılamamıştır. Ardından yıllarca kendine sektörde hak ettiği yeri bulamamış binaural işitme, HRTF ve son dönemlerdeki ambisonic çalışmalar ile yeniden günyüzüne çıkıp, bir anda popüler olmaya başlamıştır. Bu durum, ücretsiz erişim sağlanabilen birçok üç boyutlu ses sistemi modelinin oluşmasına ortam sağlamıştır. Tam bu dönemde Dolby'den gelen

Atmos sistemiyle tepe hoparlörleri, dinleyicinin başının üstünde bir surround alanı oluşturarak beğeni kazanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Dolby Atmos sinema ses sistemlerini ilk kez ülkemize getiren CinemaPink'in ödüllü AkMerkez Sinema Salonu'na gidilerek, sistem yerinde incelenmiştir. Böylece Dolby Atmos sinema ses sistemlerinin kurulum ve çalışma detayları ilk kez Türkçe olarak akademik alanda ortaya konulmuştur.

Yapılan incelemeler sonucunda, önümüzdeki yıllarda beyin uyarıları ile işitme duyularının manipüle edilmesi gibi büyük bir çalışma ortaya konulmadığı takdirde ses sistemleri ve sektör ile ilgili:

- HRTF ve Binaural Etki üzerinde daha çok çalışma yapılacağı ve mevcut boyutsal işitme yöntemlerinin daha gerçekçi ve çarpıcı olacağı,
- Ambisonic, SRS ve Atmos'un kulaklıktaki başarısına dikkat çekilerek, gelecekteki teknolojilerin ağırlıklı olarak ev tüketicisine yönelik üretileceği,
- Mevcut boyutsal işitme sistemlerinde hâlâ eksik olan “yerdeki bir ses kaynağını konumlama”ya yönelik dikeyde yeni bir yön algısı katılacağı,
- Yeni sistemlerde zemin düzlemine daha çok odaklanılarak, “Shaker” gibi düşük frekanslar üretilip fiziksel uyarı veren küçük ürünlerin, koltuk altlarına yerleştirilerek kullanımının artacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- BATTEAU, D. W. (1964). "The role of the pinna in human localization"
Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, Yıl 168, Sayı 1011, 1964, ss. 158–180.
- BERTHO-LAVENIR, A. C., Le, S.- Exposition, V. L. (1989). "Innovation technique et société du spectacle: le théâtrophone à l'Exposition de 1889", *Le Mouvement social*, sayı 249, ss. 59-69.
- BUTLER, R. A., HUMANSKI, R. A. (1992). "Localization of sound in the vertical plane with and without high-frequency spectral cues", *Perception & Psychophysics*, Yıl 5, Sayı 2, ss.182–186.
- CHENG, C. I., WAKEFIELD, G. H. (2001). "Introduction to Head-Related Transfer Functions (HRTFs): Representations of HRTFs in Time, Frequency, and Space", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Yıl 49, Sayı 4, ss. 231–249.
- Cinema Technology Magazine (2015). ICTA, 37,
<https://issuu.com/cinematotechnology/docs/cinematotechnology-01-09-2015-0111201/37> (1.07.2019)
- CLARK, H. A. M., DUTTON, G. F., VANDERLYN, P. B. (1957). "The "Stereosonic" Recording and Reproducing System: A Two-Channel Systems for Domestic Tape Records", *The Proceedings Of The Institution Of Electrical Engineers*, Yıl 104, Sayı 17, ss. 417–432.
- COLBURN, S. (2017). Binaural Hearing. Boston University.
<https://health.uconn.edu/meds5377/wp-content/uploads/sites/151/2017/07/Slides1.pdf> (01.07.2019)
- COPELAND, P. (2008). Reciprocal noise reduction. *Manual of Analogue Sound Restoration Techniques*, 196–211.
[http://www.bl.uk/britishlibrary/~media/subjects images/sound/analoguesoundrestoration.pdf](http://www.bl.uk/britishlibrary/~media/subjects/images/sound/analoguesoundrestoration.pdf) (01.07.2019)

- CROSS, L. (1968). "Electronic Music, 1948-1953", *Perspectives of New Music*, Yıl 7, Sayı 1, ss. 32–65.
- DOLBY (2015). Dolby Atmos Specifications, Issue 3. [<https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-atmos/dolby-atmos-specifications.pdf>] (01.07.2019).
- DUTTON, G. F. (1956). "The E. M. I. Stereo Recording and Reproducing Systems", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Yıl 28, Sayı 4, ss. 793–793.
- FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (1977). *A subjective evaluation of FM Quadraphonic reproduction systems – Listening tests*. Project No: 2710-1, Office of the Chief Engineer, Laboratory Division, Maryland.
- GARDNER, W. G., MARTIN, K. D. (1995). "HRTF measurements of a KEMAR", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Yıl 97, Sayı 6, ss.3907–3908.
- GERZON, M. (1975). "Dummy Head Recording", *Studio Sound*, Yıl 17, Sayı 1 ,ss. 42–44.
- GERZON, M. (1977). "Don't say quad—say psychoacoustics", *New Scientist*, Sayı December 1977, ss. 634–636.
- GERZON, M. A. (1973). "Periphony: With-Height Sound Reproduction", *Journal of the Audio Engineering Society*, Yıl 21, Sayı 1, ss.2–10.
- GERZON, M. A. (1977). "Multi-System Ambisonic Decoder", *Wireless World*, Yıl 1, Sayı August 1977, ss. 43–73.
- HARTMANN, W. M., Rakerd, B. (1989). "Localization of sound in rooms IV: The Franssen effect", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Yıl 86, Sayı 4, ss.1366–1373.
- İŞIKHAN, C. (2008). "İnsandaki Boyutsal Ses Bilincinin Müziğe ve Müzik Teknolojisine Yansımaları", *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Yıl 2008, Sayı 1/3, ss. 222,227.

- MELDE, F. (1860). "Ueber die Erregung stehender Wellen eines fadenförmigen Körpers", *Annalen Der Physik*, Yıl 18, Sayı 2, ss. 193–215.
- MILLER, R. (2002). Compatible PanAmbiophonic 4.1 and PerAmbiophonic 6.1 Surround Sound for Advanced Television–Beyond ITU 5.1. *SMPTE 144th Technical Conf. & Exhibition, Pasadena*, 1–16. <http://www.filmaker.com/papers/SMPTE144-Compatible.pdf> (01.07.2019)
- MØLLER, H. (1992). "Fundamentals of binaural technology", *Applied Acoustics*, Yıl 36, Sayı 3–4, ss. 171–218.
- MUSICANT, A. D., Butler, R. A. (1983). "The influence of pinnae-based spectral cues on sound localization", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Yıl 75, Sayı 4, ss. 1195–1200.
- RAYLEIGH, Lord. (1907). XII. *On our perception of sound direction. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 13(74), 214–232. <https://doi.org/10.1080/14786440709463595>
- ROFFLER, S. K., BUTLER, R. A. (1968). "Factors That Influence the Localization of Sound in the Vertical Plane", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Yıl 43, Sayı 6, ss. 1255–1259.
- SATONGAR, D., DUNN, C., LAM, Y., LI, F. (2013). "Localisation Performance of Higher-Order Ambisonics for Off-Centre Listening", *BBC White Paper WHP*, Yıl 1, Sayı October 2013, ss. 254.
- SCHLEICH, P., NOPP, P., D'HAESE, P. (2004). "Head shadow, squelch, and summation effects in bilateral users of the MED-EL COMBI 40/40+ cochlear implant", *Ear and Hearing*, Yıl 25, Sayı 3, ss. 197–204.
- STANFORD, J. (2016). "Harvey Fletcher and the Reinvention of Sound", *Frontiers*, Yıl 1, Sayı 1, ss. 15–19.
- SUNIER, J (1986). A History of Binaural Sound. <https://www.youtube.com/watch?v=NYOCQwzHies> (01.07.2019)

- VAN WANROOIJ, M. M. (2004). "Contribution of Head Shadow and Pinna Cues to Chronic Monaural Sound Localization", *Journal of Neuroscience*, Yıl 24, Sayı 17, ss. 4163–4171.
- SABINE, W. C., (1906). "Architectural Acoustics", *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, Yıl 42, Sayı 2, ss.51–84.
- WALLACH, H. (1940). "The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization", *Journal of Experimental Psychology*, Yıl 2, Sayı 4, ss. 339–368.
- WALLACH, H., Newman, E., Rosenzweig, M.(1949). "The Precedence Effect in Sound Localization", *American Journal of Psychology*, Yıl 62, Sayı 3, ss.315–336.
- WIGHTMAN, F. L., KISTLER, D. J. (1992). "The dominant role of low-frequency interaural time differences in sound localization", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Yıl 91, Sayı 3, ss. 1648–1661.
- WILLIAMSON, M (2013). Ray Dolby obituary: Inventor whose noise-reduction technology transformed sound reproduction. The Independent. <https://www.independent.co.uk/news/obituaries/ray-dolby-obituary-inventor-whose-noise-reduction-technology-transformed-sound-reproduction-8815543.html> (1.07.2019)

İnternet Kaynakları:

Dolby Atmos Specifications, <https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-atmos/dolby-atmos-specifications.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Cenk AKBULUT, 1987 yılında İzmir, TÜRKİYE’de doğmuştur. Lisans eğitimini 2006 – 2011 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Müzik Bilimleri Anabilim Dalı’nda almıştır. Ankara Armoni Mızıkası’nda askerliğini tamamlamıştır. 2016 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Müzik Teknolojisi Bilim Dalı’nda yüksek lisansa başlamıştır. 2018 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Müzik Teknolojisi Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamış ve hâlâ devam etmektedir.

