

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

**STADYUM SESLENDİRME SİSTEMLERİNDE KONUŞMA ANLAŞILIRLIĞI
DEĞERLENDİRMELERİ**

Hazırlayan
Duygu Asena ÜNLÜ

Danışman
Dr. Öğr. Üy. Suat VERGİLİ

İZMİR / 2019

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Stadyum Seslendirme Sistemlerinde Konuşma Anlaşılabilirliği Değerlendirmeleri” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih ... / ... / ...

Duygu Asena ÜNLÜ

ÖZET

Son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte stadyum elektro akustik sistem tasarımları da gelişmiştir. Hoparlör markaları bu gelişimle beraber stadyumlar için özel seri hoparlörler üretmeye başlamışlardır. Bu gelişmeler stadyumda konuşma anlaşılabilirliğini de yakından ilgilendirmektedir.

Bu çalışmada stadyum tasarımındaki konuşma anlaşılabilirliğinin FIFA (Football International Federation Association) standartlarına entegrasyonu değerlendirilmiş ve iki farklı hoparlör tür ve diziliminde konuşma anlaşılabilirliğinin nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Sıra dizilim “*line array*” (Durmaz, 2009: 199) ve noktasal kaynak “*point source / conventional*” olarak yerleştirilen hoparlörler, iki projede de aynı alıcı noktalarına yönlendirilmiştir. Hoparlörlerin karakteristik özellikleri dışında stadyumdaki tüm ölçüm parametreleri iki proje için de aynıdır.

Line array hoparlörler 7’li kümeler halinde tasarlanmıştır. Kümelerin yayılım açıları küme içerisindeki hoparlörlerin eğimleri, hoparlörler arası gecikmeler ve ses yüksekliği farkları kullanılarak tüm tribün alanını en iyi şekilde kapsayacak biçimde belirlenmiştir. Toplamda 252 tane hoparlör kullanılmıştır. Point source hoparlörler ise, alt ve üst tribün alanlarına bakacak şekilde 2’li olarak yerleştirilerek, toplamda 72 adet kullanılmıştır.

Yapılan ölçümlerde her iki sistem tasarımında FIFA standartları yakalanmış olsa da, birtakım farklılıklar meydana gelmiştir. Point source hoparlörler bazı noktalarda ses yüksekliği olarak line array hoparlörle eşit olsalar da, konuşma anlaşılabilirliği performansı ile öne geçmektedir. Hoparlör sayılarındaki büyük farkı da ele aldığımızda, point source hoparlörlerin yayılım açılarındaki genişlik, dikey düzlemde uzak atımlı sinyal dağılımı sağlayan line array kümelerini konuşma anlaşılabilirliği bakımından geride bırakmıştır.

ABSTRACT

With the recent advancements in technology, electro acoustic system designs in stadiums have also progressed. In conjunction with this fact, system manufacturers have started producing specialized series of speakers for stadiums. These improvements are also closely related to speech intelligibility in stadiums.

This thesis focuses on the integration of speech intelligibility in stadium design in accordance with FIFA (Football International Federation Association) standards. Specifically, speakers of two different types and orders have been analyzed in terms of their effects on speech intelligibility. Speakers, which are placed as line array and conventional/point source orders are directed to the same receiver points in both projects. Except the characteristic features of speakers, all measurement parameters in stadiums are the same for both projects.

Line array speakers are designed as 7 speaker clusters. The directivity patterns of the clusters have been determined with the speaker angles, delays and gain differences, with the highest possible coverage of all the audience areas. A total of 252 speakers have been used. On the other hand, 72 point source speakers in groups of 2, have been used in order to cover the higher and lower audience areas respectively.

Although the measured results of both system designs are compatible with the FIFA standards, there are notable discrepancies. In some areas of the stadium, where the amplitude of the point source speakers is equal to line array speakers, point source speakers show superior speech intelligibility than the line array speakers. Besides the vast difference between the numbers of speakers, point source speakers outpaces the line array speakers in speech intelligibility. They provide a wider distribution angle whereas the line arrays provide a long throw signal distribution on the vertical plane.

ÖNSÖZ

Farklı karakteristik özelliklere sahip hoparlörlerin stadyumlarda FIFA standartlarına uygun konuşma anlaşılabilirliğini nasıl etkilediğini gözlemlemek üzere yapılan bu çalışma, Prof. Dr. Feridun ÖZİŞ ve danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Suat VERGİLİ ile ilgimizi çeken ve konuşma anlaşılabilirliği üzerinde çalışmak istediğimiz bir konuydu. Bu projenin yazımı süresince beni destekleyen, bilgisi ile yönlendiren, çalışmamın her ayrıntısıyla yakından ilgilenen ve tüm sabrı ile teşvik eden danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Suat VERGİLİ'ye minnettarım. Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca her konudaki desteği ile beni hep bir adım ileriye taşıyan, bu tez çalışmamda da tecrübesi ile beni yönlendirip yakından ilgilenen Prof. Dr. Feridun ÖZİŞ'e tüm katkılarından ötürü sonsuz teşekkür borçluyum. Çalışmamın gerçekleşmesinde katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen Erdal KARA'ya da teşekkürlerimi sunuyorum. Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini eksik etmeyen kıymetli hocalarım Prof. Dr. Cihan IŞIKHAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Serhat DURMAZ'a, Öğr. Gör. Alp VAROL'a, manevi desteklerinden ötürü ise Prof. Dr. Fırat KUTLUK ve Doç. Dr. Aykut ÇEREZCİOĞLU'na teşekkür ederim. Çalışmalarım süresinde yardımını esirgemeyen arkadaşım Gamze BÜLBÜL'e, çalışmamı tamamlamam için beni her zaman teşvik eden Küçükyalı Halkla İlişkiler Ailesi'ne, tüm hayatım boyunca ve de tez çalışmam süresince hep yanımda olan eşsiz aileme ve annem Zeynep ÜNLÜ'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Duygu Asena ÜNLÜ

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ	ii
TUTANAK	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
GİRİŞ	1
1.BÖLÜM.....	3
AKUSTİK TASARIMLARDA, ELEKTRO -AKUSTİK SİSTEMLERDE KONUŞMA ANLAŞILIRLIĞI VE STADYUM STANDARTLARI.....	3
1.1.Konuşma Anlaşılrlığı (Speech Tansmission Index-STI).....	3
1.1.1.Akustik Tasarımlarda Konuşma Anlaşılrlığı (STI)	4
1.1.2. Elektro Akustikte Konuşma Anlaşılrlığı (STIPA).....	5
1.2. Stadyum Seslendirme Sistemlerinin Elektro Akustik Standartları.....	8
2.BÖLÜM.....	11
LINE ARRAY (SIRA DİZİLİM) VE CONVENTIONAL/POINT SOURCE (NOKTASAL) KAYNAKLAR	11
2.1. Stadyum Elektro Akustik Sistemlerde Hoparlörler.....	11
2.2. Sıra Dizlim (Line Array) Hoparlörler	12
2.2.1. L-Acoustic Kara	13
2.3. Noktasal Kaynaklı Hoparlörler (Conventional/Point Source Hoparlörler) .	14
2.3.1 Rcf-P61215.....	15
3.BÖLÜM.....	18
DENEY	18

3.1. Stadyum Tasarımı-Modelleme	18
3.2. Odeon Verileri	18
3.2.1. Kaynak ve Alıcı Noktaları.....	18
3.2.2. Ölçüm ve STI için Arka Plan Gürültü Seviyesi Parametreleri	22
3.3. Malzeme Seçimi	23
3.4. Ölçüm	24
4.BÖLÜM.....	28
DEĞERLENDİRME	28
4.1. Ölçüm Sonuçları:.....	28
4.2. Ölçümlerin Değerlendirmesi	35
SONUÇ	37
KAYNAKÇA	38
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER

Şekil 1- Line array yayılımı	13
Şekil 2- L-Acoustic markasının Kara modeli hoparlörü	14
Şekil 3- Point source yayılım açısı	15
Şekil 4- RCF markasının P6215 modeli hoparlörü	16
Şekil 5- RCF P6215 hoparlörünün frekans aralığı	16
Şekil 6- Odeon kaynak, alıcı yerleşimi	18
Şekil 7- Her bir oktav band için kadın-erkek IEC 60268-16 Standardı	19
Şekil 8- IEC 60268-16 Standardına göre girilen erkek EQ değerleri	19
Şekil 9- Line array hoparlörlerin konumlandırılması	19
Şekil 10- Line array kümelerinin yayılım görseli	20
Şekil 11- 2şer adet kullanılan point source yayılımı	21
Şekil 12- RCF P6215 point source hoparlörlerin dizilimi	21
Şekil 13- IEC 60268-16 Standardına göre girilen erkek EQ değerleri	22
Şekil 14- Batum şehri yıllık sıcaklık ve nem oranı	22
Şekil 15- Impulse Response verisi	22
Şekil 16- Stadyumlar için ortalama arka plan gürültüsü	22
Şekil 17- Arka plan gürültüsü oktav band	23
Şekil 18- Arka plan gürültüsü grafiği	23
Şekil 19- Tribün bölgeleri için malzeme	23
Şekil 20- Stadyum çatısı için kullanılan malzeme	24
Şekil 21- Stadyum zemini için kullanılan malzeme	24
Şekil 22- Kaynakların tribündeki odak noktası	24
Şekil 23- Line array kaynakların alıcıya yönlendirilmesi	25
Şekil 24- Nokta kaynakların alıcıya yönlendirilmesi	25
Şekil 25- Nokta kaynakların gain değerleri	25
Şekil 26- Line array kümelerine verilen gain değeri	26
Şekil 27- Stadyum genelinde line array hoparlörlerin SPL dağılımı	28

Şekil 28- Stadyum genelinde line array hoparlörlerin STI dağılımı	29
Şekil 29- Line array kümelerinin SPL dağılım grafiği	29
Şekil 30- Line array kümelerinin STI dağılımı grafiği	30
Şekil 31- Point source hoparlörlerinin SPL dağılımı grafiği	30
Şekil 32- Point source hoparlörlerinin STI dağılımı grafiği	31



TABLÖLAR

Tablo 1- Konuşma anlaşılabilirliği endeksi anlaşılabilirlik aralıkları EN ISO 9921	4
Tablo 2- Uygulama alanlarına göre IEC 60268-16 standartları	6
Tablo 3- Point source kaynaklar için ölçüm değerleri	31
Tablo 4- Line array kaynaklar için ölçüm değerleri	33
Tablo 5- Ölçümlerin karşılaştırılmalı sonuçları	34



GİRİŞ

Son yıllarda finansal kaynakları hızla artan futbol sektöründe stadyum yapılanması da bu bağlamda oldukça gelişme göstermektedir.

İnşa edilen tüm stadyumlar birtakım standartlar doğrultusunda tasarlanmakta ve yapılmaktadır. Bu standartların başında Uluslararası Futbol Federasyonları Birliği'nin (FIFA) standartları gelmektedir. FIFA; stadyum tasarımından, stadyum içerisindeki kale boyları, medya odaları, güvenlik, tuvalete kadar her şeyi standartlaştırmıştır.

Tüm bu standartlaşma içinde stadyumdaki her bir seyirci noktası için de belirli bir ses seviyesi ve konuşma anlaşılabilirliği değerleri belirlenmiştir. Hoparlör markaları da stadyum seslendirmesinde bu standartları sağlayabilecek modeller üretmektedir. Stadyum seslendirmesinde kullanılan iki farklı karakteristik özelliğe sahip hoparlör modeli seçilerek aynı alıcı noktalarında FIFA standartlarına bağlı kalarak nasıl bir konuşma anlaşılabilirliği sağladıkları bu çalışma ile değerlendirilmiştir.

Tezin birinci bölümünde akustik tasarımlarda, elektro akustik sistemlerde konuşma anlaşılabilirliği incelenmiş ve FIFA'nın stadyum standartları verilmiştir. İkinci bölümde iki farklı karakteristik özelliğe sahip sıra dizilim hoparlörler (line array) ve nokta kaynaklı (conventional/point source) hoparlörler incelenmiş aynı zamanda bu çalışmada kullanılan hoparlörlerden bahsedilmiştir. Deney bölümü olan üçüncü bölümde çalışmanın yapıldığı Odeon Programı'nda verilerin nasıl girildiği ve ölçümün nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Son bölüm olan dördüncü bölümde ise ölçümlerin sonuçlarından elde edilen verilerle çalışmanın değerlendirilmesi yapılmıştır.



1.BÖLÜM

AKUSTİK TASARIMLARDA, ELEKTRO -AKUSTİK SİSTEMLERDE KONUŞMA ANLAŞILIRLIĞI VE STADYUM STANDARTLARI

1.BÖLÜM

AKUSTİK TASARIMLARDA, ELEKTRO -AKUSTİK SİSTEMLERDE KONUŞMA ANLAŞILIRLIĞI VE STADYUM STANDARTLARI

1.1.Konuşma Anlaşılrlığı (Speech Tansmission Index-STI)

Konuşma anlaşılrlığının değerdendirilmesi; akustik tasarımlar ve seslendirme sistemleri için öncelikli verilerin başında gelir. Konuşma anlaşılrlığı, tasarımların ve seslendirme sistemlerinin kalitesini belirleyen parametrelerden biridir.

Sesle ilgili araştırmalarda konuşma anlaşılrlığı denildiğinde çoğunlukla akla gelen, akustik ortamdaki konuşma anlaşılrlığı kavramı ve ilgili parametrelerdir. (STI, RASTI, ALCONS vb) (Vergili, 2017) Bu parametreler sesin iletiminde alıcının, sesi nasıl algıladığını belirler. Bu algılama da akustik kaliteyi belirler.

Konuşma anlaşılrlığı ölçümü için geliştirilmiş parametrelerden olan Speech Tansmission Index yani konuşma iletim indeksi hem akustik tasarımlarda hem de seslendirme sistemlerinde referans alınan bir ölçüm birimidir. STI ölçümünde akustik tasarım, ortam ve elektro akustik etkiler ön plandadır.

Kaynaktan çıkan ses alıcıya ulaşana kadar oda içinde yansılardan ve oda emiciliğinden etkilenir. Yüzeylerden yansıyan ses alıcıya ulaştığında kaynaktan ilk çıktığı andaki enerjisini kaybetmiş olur. Bu enerjideki kayıp miktarı odanın içinde kullanılan malzemelerle doğru orantılıdır. Malzemelerin emicilik katsayısı, nerede ve nasıl yer aldığı önemlidir. Odanın içindeki direkt ses ile bu yansıyan sesler odanın akustik karakterini belirler. Kapalı hacimlerde yansıyan sesler belli oranda istenilse de kimi durumlarda gürültü olarak algılanabildikleri için yansımaların kontrol altına alınması gerekebilir.

Açık alanlar da aynı kapalı hacimlerdeki gibi ses kaynaktan çıkıp alıcıya ulaşana kadar enerji kaybına uğrar. Bu enerji kaybı alandaki gürültü ya da doğrudan havanın

emiciliği sebebiyle gerçekleşir. Burada sesin kaynaktan çıktığı andaki gücü, şiddeti ve yönelmesi önem taşır.

Elektro akustik sistemlerde, STI ölçümündeki en önemli belirleyici hoparlörlerdir. Kullanılan hoparlörlerin gücü, karakteristik özellikleri, boyutu, yerleştirilme açısı, alıcıya uzaklığı gibi pek çok faktör konuşma anlaşılabilirliğini etkiler. Bu tez çalışmasında da stadyumda kullanılan iki farklı karakteristik özelliklere sahip ve farklı markalardan tercih edilen hoparlörlerin konuşma anlaşılabilirliğini nasıl etkilediği ölçümlenerek değerlendirilmiştir.

1.1.1.Akustik Tasarımlarda Konuşma Anlaşılabilirliği (STI)

Her türlü akustik tasarımda (oda, konser salonu, hastane, stadyum vs) konuşma anlaşılabilirliği değerlendirmesi mühendisler için önceliklidir. Çünkü tasarımın kalitesi konuşma anlaşılabilirliği ile doğru orantılıdır.

Konuşma anlaşılabilirliği parametresi olan STI; 1970'lerde geliştirilmiştir. Günümüze kadar değişen akustik tasarımlar ve gelişen teknolojiyle güncellenerek şimdiki standartlarını almıştır. STI bir "indeks" belirtir; bu 0 (en kötü) ile 1 (en iyi) arasında bir değer olabilir. Değerin 1'e yaklaşması konuşmaların yansımalarının azalması ve daha kuru bir konuşma sesinin varlığını gösterir. (Durmaz, 2016) 2004 Şubat EN ISO 9921 standartlarına göre ideal konuşma anlaşılabilirliği değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1- Konuşma Anlaşılabilirliği Endeksi Anlaşılabilirlik Aralıkları (EN ISO 9921) 2004)

Anlaşılabilirlik	STI Değeri
Yetersiz	0.00–0.30
Zayıf	0.30–0.45
Yeterli	0.45–0.60
İyi	0.60–0.75
Mükemmel	0.75–1.00

Konuşma anlaşılabilirliğini etkileyen faktörler, kaynaktan çıkan sesi, kaynaktan çıktıktan sonraki yönü, şiddeti, yansıma süresi ve gürültü oranıdır. Bu faktörler konuşma

anlaşılabilirliğini direkt olarak belirleyecektir. Örneğin arka plan gürültüsü ile konuşma sinyali arasında belirgin farklar sağlanabilirse konuşma anlaşılabilirliği iyileşecektir. (Vergili, 2015) Ya da kaynaktan çıkan sesin yansıma süresi fazla ise anlaşılabilirlikte azalma olacaktır.

Arka plan gürültüsü; istenilen esas seslerin dışında kalan toplam sesi ifade etmektedir. (Chen, Han, 2007) Bu sebeple arka plan gürültüsünün, istenilen asıl sesi duymanın önünde bir engel teşkil ettiğini söylemek mümkündür. Duyma becerisi bu engellerle kısıtlanacağı için, konuşma anlaşılabilirliği üzerinde en ciddi sorunların başında arka plan gürültüsü gelmektedir.

Tasarımlarda kaynaktan çıkan ses birtakım parametreler içinde incelenir. Bunlar sesin netliği (D), berraklığı (C), yansıma süresi (RT), anlaşılabilirliği (STI), erken sönümlenme süresi (EDT) gibi parametrelerdir. Konuşma anlaşılabilirliğinin belirlenmesi için akustik tasarımlarda konuşma iletimi endeksi (STI) ve hızlı konuşma iletimi endeksi (RASTI) sonuçları değerlendirilir. Yansıyan seslerin maskelenmesi ya da direkt olarak kesilmesi gereken frekanslar gürültü oranını azaltacağı için konuşma anlaşılabilirliğini arttıracaktır. Bu sebeple akustik tasarımlarda yansıyan sesler baz alınarak konuşma anlaşılabilirliği hesaplanır.

1.1.2. Elektro Akustikte Konuşma Anlaşılabilirliği (STIPA)

Elektro akustikte konuşma anlaşılabilirliğini belirleyen faktör kaynağın kendisidir. Ortamın kendisi ve kullanılan hoparlörlerin özellikleri konuşma anlaşılabilirliği değerlendirmesi için önemli etkenlerdir.

Ses sistemlerinde kullanılan hoparlörlerin tipi, gücü, karakteristik özellikleri, frekans aralığı bu standartlara göre belirlenerek seçilir. Hoparlörlerin boyutu ve konumlandırılması bu durumda önem teşkil eder. Hatta hoparlörlerin kablo bağlantısı, kullanılan dinamik işlemciler ve efekt işlemciler duyumu etkilediği için STI parametresini de etkiler.

Elektro akustik sistemlerdeki konuşma anlaşılabilirliği parametresi bazı standartlar altında incelenir. Bu standartlar da mekanlara göre farklılık gösterir. Örnek olarak konser

salonlarındaki değerler ile stadyumlarda ölçülen değerler birbiriyle aynı değildir. Aşağıdaki tabloda IEC 60268-16 standartlarına göre uygulama alanlarındaki farklı STI değerleri verilmiştir.

Tablo 2- Uygulama alanlarına göre IEC 60268-16 standartları BS EN 60268-16, 2011: 53)

Kategori	STI	Mesaj Bilgisi Tipi	Tipik Uygulama Örnekleri (Doğal ya da yeniden üretilmiş ses)	Yorumlar
A+	>0,76		Kayıt Stüdyoları	Çok az mekanda sağlanabilir derecede mükemmel anlaşılabilirlik
A	0,74	Kompleks mesajlar, tanınmış olmayan kelimeler	Tiyatrolar, konuşma salonları, parlamentolar, mahkeme salonları, destekleyici işitme sistemleri	Yüksek konuşma anlaşılabilirliği
B	0,7	Kompleks mesajlar, tanınmış olmayan kelimeler	Tiyatrolar, konuşma salonları, parlamentolar, mahkeme salonları, destekleyici işitme sistemleri	Yüksek konuşma anlaşılabilirliği
C	0,66	Kompleks mesajlar, tanınmış kelimeler	Tiyatrolar, konuşma salonları, telekonferans görüşmeleri, parlamentolar,	Yüksek konuşma anlaşılabilirliği

			mahkeme salonları	
D	0,62	Kompleks mesajlar, tanıtık kelimeler	Ders amfileri, sınıflar, konser salonları	İyi konuşma anlaşılabilirliği
E	0,58	Kompleks mesajlar, tanıtık kelimeler	Konser salonları modern ibadethaneler	Yüksek kalite PA sistemleri
F	0,54	Kompleks mesajlar, tanıtık kelimeler	Alışveriş merkezi PA sistemleri, kamu binası ofisleri, sesli alarm sistemleri, katedraller	İyi kalite PA sistemleri
G	0,5	Kompleks mesajlar, tanıtık kelimeler	Alışveriş merkezleri, kamu binası ofisleri, sesli alarm sistemleri	Sesli alarm sistemleri için hedef değer
H	0,46	Basit mesajlar, tanıtık kelimeler	Zorlu alanlardaki sesli alarm ve PA sistemleri	Sesli alarm sistemleri için normal alt limit
I	0,42	Basit mesajlar, tanıtık kelimeler	Çok zorlu alanlardaki sesli alarm ve PA sistemleri	
J	0,38		PA sistemler için uygun değil	
U	<0,36		PA sistemler için uygun değil	

Açık alan seslendirme sistemleri için göz önünde tutulması gereken pek çok değişken vardır. Bunlardan öncelikli olanları sesin sabit bir ortamda değil değişen hava sıcaklığı ve bağıl neme göre yayılması ve uzaklık 2 katına çıktıkça sesin 6 dB (A) (desibel) azalmasıdır. (Patronis, 2013:203) Tüm bu değişkenler elektro akustik tasarımları da direkt etkilemektedir. Bu yüzden kapalı alan, açık alan olmak üzere, konuşma anlaşılabilirliği parametreleri yukarıdaki tabloda da gösterildiği gibi farklılık göstermektedir.

Stadyumlar için de tüm bu değişken etmenlerden yola çıkılarak hoparlör markaları özel tasarım hoparlörler üretmektedir. Neredeyse tüm hoparlör markalarının internet sitesinde mutlaka stadyum hoparlörleri için ayrılmış bir bölüm bulunur. Bu hoparlörlerin özellikleri değişen hava şartlarının uygunluğuna, seyirciye olan uzaklığa, yayılım açısı, kapsama alanı ve performansına göre farklılık gösterir.

Bu tez çalışmasında da stadyum tasarımıdaki konuşma anlaşılabilirliğinin nasıl olduğundan ziyade stadyum elektro akustik tasarımların konuşma anlaşılabilirliğine etkisi incelenecektir.

1.2. Stadyum Seslendirme Sistemlerinin Elektro Akustik Standartları

Son yıllarda maddi gelirleri oldukça artan futbol sektöründe gerek kulüpler bazında gerekse turnuvalar için ülkeler bazında stadyumlar yenilenip son teknolojiyle donatılmaya başlanmıştır. Tüm bu teknolojilerle donatılırken dünyada kabul gören kurallara ve yönetmeliklere uyulması zorunlu hale gelmiştir. FIFA (Uluslararası Futbol Federasyonları Birliği) tarafından belirlenen yönetmelikteki bu maddeler uyulması zorunlu olan kurallardır. (Durgun, 2007)

FIFA tüm bu standartların denetimini yaparken stadyumları verdiği yıldızlar ile derecelendirir. Örnek olarak Almanya'da bulunan Schalke takımının maçlarını oynadığı stadyum olan Schalke Arena, FIFA'nın 5 yıldız kriterine uygun olan stadyumlardan birdir.

Stadyum içinde bulunan oyun alanı, tribünler, mekanlar, güvenlik, medya odaları ve otopark gibi yerlerin standartları olduğu gibi seslendirme sistemleri için de gerekli kurallar belirlenmiştir. Ses sistemleri stadyumlara kurulurken tüm yerleşim ve ölçümlerin bu standartlar dahilinde olması gerekmektedir.

FIFA'nın stadyum seslendirme sistemleri için belirlediği kurallar aşağıda belirtilmiştir. Bu değerler asgari veriler olarak belirlenmiştir. (Uefa Euro 2020, Tournament Requirments: 50)

- Konuşma anlaşılrlığı STI /RSTI 0.7/0.65 olmalıdır. (Stadyum doluyken)
- Ses basınç seviyesi hoparlörlere en çok maruz kalan seyirciyle en az maruz kalan seyirci arasında SPL (sound pressure level) farkı 6 dB SPL (A)'yı aşmamalıdır.
- Ses basınç seviyesi 110 dB (desibel) (A) seviyesinde olmalıdır.
- Frekans aralığı 160 Hz ile 12kHz arasında olmalıdır.
- Sistem bozulma, tıslama ve uğultu içermemelidir.
- Sistem tüm seyirci alanlarını kapsamalıdır.

2.BÖLÜM

LINE ARRAY (SIRA DİZİLİM) VE CONVENTIONAL/POINT SOURCE (NOKTASAL) KAYNAKLAR

2.BÖLÜM

LINE ARRAY (SIRA DİZİLİM) VE CONVENTIONAL/POINT SOURCE (NOKTASAL) KAYNAKLAR

2.1. Stadyum Elektro Akustik Sistemlerde Hoparlörler

Günümüzün etkili finansal kaynaklarından olan stadyumların akustik tasarım kalitesini düşürecek ya da arttıracak en önemli etmen şüphesiz seslendirme sistemleridir. Çok iyi tasarlanmış, akustik olarak kusursuz denilebilecek bir yapı, kötü bir seslendirme sistemiyle tüm özelliklerini kaybedebilir.

Stadyumlarda ses sistemi kullanımı, fonksiyonları açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu fonksiyonlar dört başlık altında toplanabilir.

- Seyircilerle iletişim kurmak
- Acil durumlar
- Eğlence, müzik sağlamak
- Reklamcılık gibi başlıklar altında toplanarak irdelenebilir (John, Sheard, ve Vickery, 2007: 222)

Maç öncesinde yapılacak olan duyurular, teknik bilgi duyuruları, hava durumu raporu, maç sırasında hakem karar/anonsları seyirciyle sağlıklı iletişim kurulmasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle oluşacak herhangi bir durumda acil durum anonsu stadyumun seyirci bulunan her alanında net bir şekilde duyulması gerekmektedir. Maç öncesi, sonrası ve devre arasında ise yapılacak müzik yayınları anlaşılır aynı zamanda seyircileri rahatsız etmeyecek düzeyde olmalıdır. En önemli gelir kaynaklarından olan reklam yayınları/anonsları da anlaşılır, net ve yeterli düzeyde seyircilere iletilmelidir.

Tüm başlıklar bazında bakıldığında stadyumlarda kullanılacak ses sistemleri önemli ve ciddiye alınacak bir yatırımdır.

Yüksek frekanslı ses yönlü olma eğilimindeyken, düşük frekanslı ses yayılma eğilimindedir. Bu nedenle önemli miktardaki düşük frekans her zaman için tespit edilebilirdir. ("Dulwich Hamlet," 2016) Frekans dağılımındaki bu önemli ayrıntılar,

hoparlörün karakteristik özellikleri de (yayılımı, gücü vs) baz alındığında, hoparlör seçimi önem teşkil etmektedir.

Büyük kitlelere hitap eden açık alan seslendirme sistemlerinde kullanılabilecek iki tip hoparlör tipi vardır. Bunlardan birincisi kümeler halinde çoklu nokta kaynaklı yatay dizilen line array hoparlörler, ikinci ise tek bir kaynak olarak kullanılan tek nokta kaynaklı point source hoparlörlerdir.

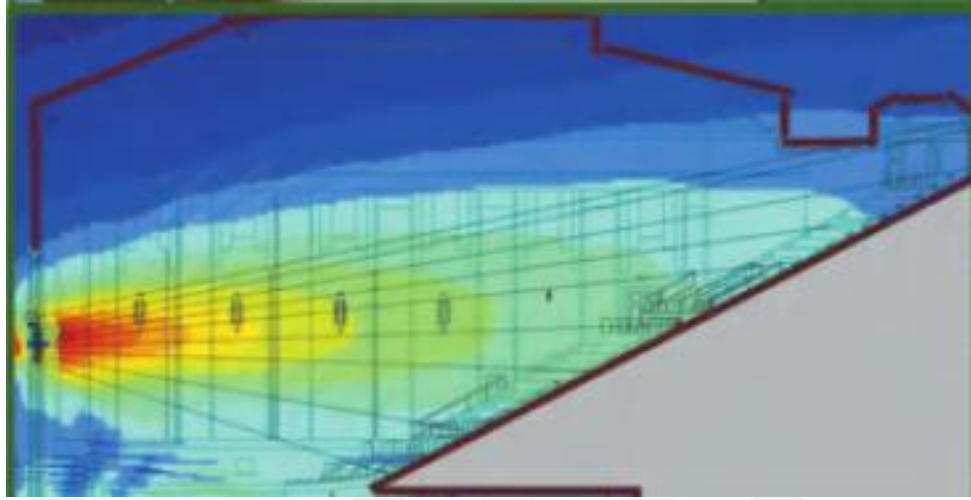
2.2. Sıra Dizilim (Line Array) Hoparlörler

Sıra dizilim hoparlörleri (Durmaz, 2009:199) ses sistemi tasarımcıları tarafından çoğunlukla dikey düzlemde dar bir yönlendirme tepkisi elde etmek için kullanılır. (Ureda, 2001: 1) Hoparlörlere yönlülük yani açı, dikey düzlemde sağlanmış olur.

Bu hoparlörler, SPL'i (sound pressure level) seyirci ortamında en önden en arkaya kadar iletebilme kabiliyetleriyle bilinirler. (Heinz, t.y., par. 5) Yani geniş bir açık alan ya da kapalı alan organizasyonunda en önceki seyirci ile en arkada seyircinin duyumunda çok büyük farklılıklar olmaması için dizayn edilen hoparlörlerdir.

Dikeyde ileti atım gücü, ses yüksekliği fazla frekans aralığı da geniş olduğu için line array hoparlörler açık alan seslendirme sistemlerinde sıkça kullanılan bir hoparlör türüdür.

Line array hoparlörlerin avantajı ana sesin yönünü her bir hoparlör için küçük faz kaymalarıyla kontrol etme imkânı sağlamasıdır. Bu sayede hoparlörleri fiziksel olarak yatırma yerine, dikey pozisyonda konumlandırılmış halde izleyici alanına istenildiği gibi yönlendirilebilir. (Odeon Kullanıcı Kılavuzu 2018: 174) Bu özelliği ile dikey düzlemde istenildiği kadar açılarak yayılımı kolaylıkla sağlanabilir. (Şekil-1)



Şekil 1- Line array yayılımı (McCarthy, Bob. 2010: 509)

İdeal bir line array sonsuz uzunlukta olabilir fakat bu ideale pratikte sadece yaklaşılabılır, asla ulaşılamaz. Uygulamada belirli bir uzunluğa sahip olan arrayde, frekans düştükçe dar olan dikey yönsel davranış genişlemeye başlar ve frekanstaki düşme sürdükçe genişlemesini sürdürür. Yönsel davranışın genişlemeye başladığı frekans “dikey yönsellik kırılım frekansı” olarak adlandırılabilir. Bu kırılım frekansının altındaki frekans alanında, line array sistem frekans düştükçe daha fazla point source hoparlör gibi davranmaya başlar. (Long, 2007:3)

2.2.1. L-Acoustic Kara

Bu çalışma esnasında line array hoparlörler ve nokta kaynaklı hoparlörlerin stadyumlarda FIFA standartlarınca konuşma anlaşılabilirliği etkisi incelenirken line array hoparlör olarak L-acoustic markasının Kara modelli hoparlörü kullanılmıştır. (Şekil-2)



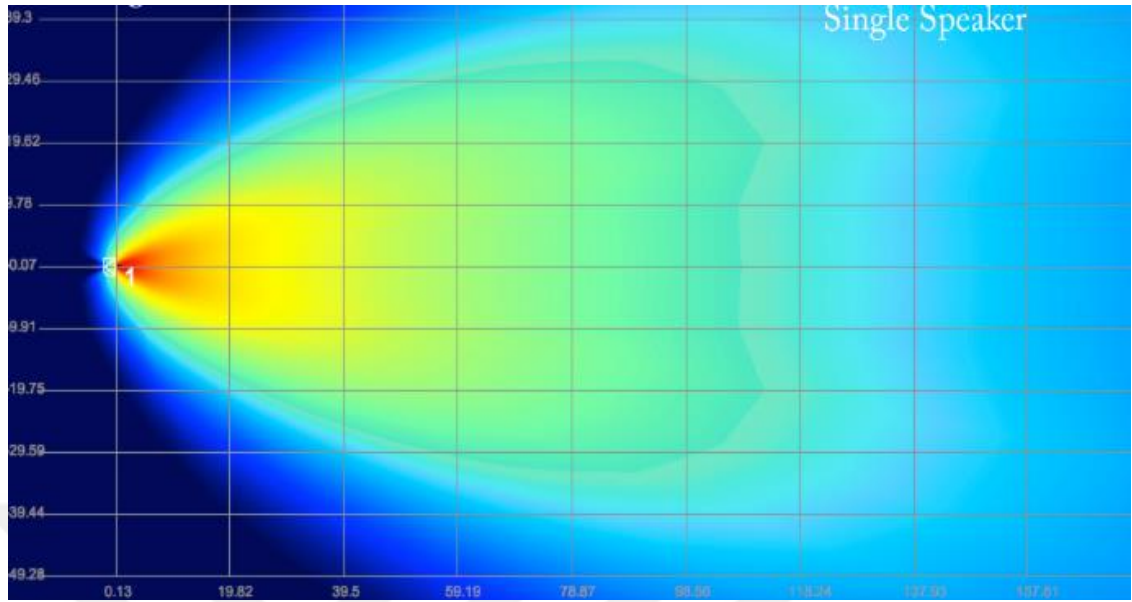
Şekil 2- L-Acoustic markasının Kara modelli hoparlörü (“L-acoustics.com” t.y.)

Netlik, anlaşılabilirlik ve hassasiyet bakımında L-acoustic markasının ürettiği en iyi line array hoparlöründen olan Kara modeli pek çok açık alan seslendirme sistemleri için tercih edilen bir hoparlördür. Maximum SPL’i 141 dB (A) olan 2 yollu Kara hoparlörünün frekans aralığı ise 55 Hz ile 20.000 Hz arasındadır. (“L-acoustics.com” t.y.)

2.3. Noktasal Kaynaklı Hoparlörler (Conventional/Point Source Hoparlörler)

Nokta kaynaklı hoparlör yani conventional ya da point source hoparlör tam olarak ismindeki gibi tek bir hoparlör olarak tek bir noktadan tam bir ses genişliği yayınlar. Line array hoparlörden farklı olarak, tek bir sesi küresel düzende yayar ve bu sebeple de daha az uzaklık atımına sahiptir. (“Line Array vs Point Source,” 2016)

Nokta kaynaklı hoparlörler uzaklık atımında line array hoparlörler kadar mesafe alamasa da yayılım açıları bakımından daha geniş alanı etkilemektedir. (Şekil-3)



Şekil 3- Point source yayılım açısı (Brashler, Drew 2015)

Uzaklık atımındaki kısıtlı performansından ötürü seyirci mesafesinin sabit kaldığı ortamlardan olan stadyumlar için uygun bir hoparlör türüdür. (McCarthy, 2012:234) Dolu bir stadyumda tüm seyirci noktalarını kapsamak için geniş yayılım açılı bir hoparlöre ihtiyaç vardır. Her ne kadar dikey düzlemde dar olsa da yatay düzlemde geniş bir alanı kapsayan conventional hoparlörler bu özelliği ile stadyumlar için tercih sebebidir.

2.3.1 Rcf-P61215

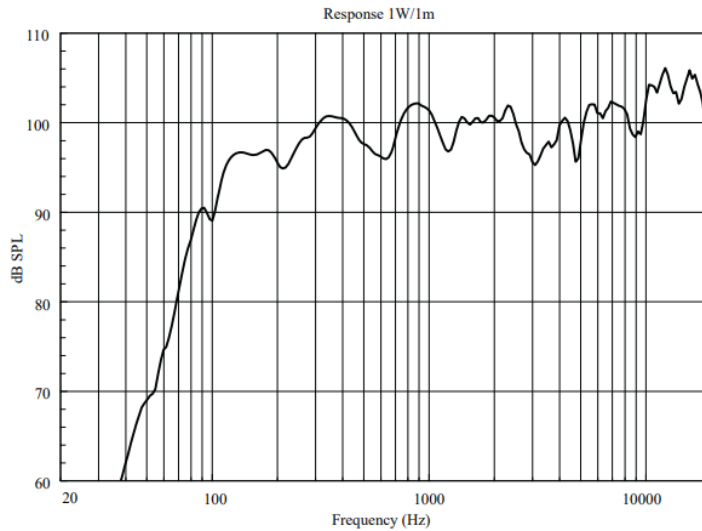
İki farklı deney üzerinden yürütülen tez çalışmasında ikinci projede nokta kaynak hoparlörlerin konuşma anlaşılabilirliğine etkisi incelenirken RCF markasının P6215 modeli hoparlörü kullanılmıştır. (Şekil-4)



Şekil 4- RCF markasının P6215 modeli hoparlörü (“rcf.it” t.y)

Kendi klasmanındaki hoparlörlere nazaran RCF’in ürettiği P6215 modeli 2 yollu hoparlör daha uzun atışlı ve daha yüksek çıkışlı olduğu için stadyum tasarımlarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Ağırlık bakımından da kendi kategorisindeki hoparlörlerden oldukça hafif olan P6215,’in maximum SPL’i 134 dB (A), frekans aralığı ise 75 Hz ile 20.000 Hz arasındadır. (Şekil-5) (“rcf.it” t.y)



Şekil 5- RCF P6215 hoparlörünün frekans aralığı (“rcf.it” t.y)



3.BÖLÜM

DENEY

3.BÖLÜM

DENEY

3.1. Stadyum Tasarımı-Modelleme

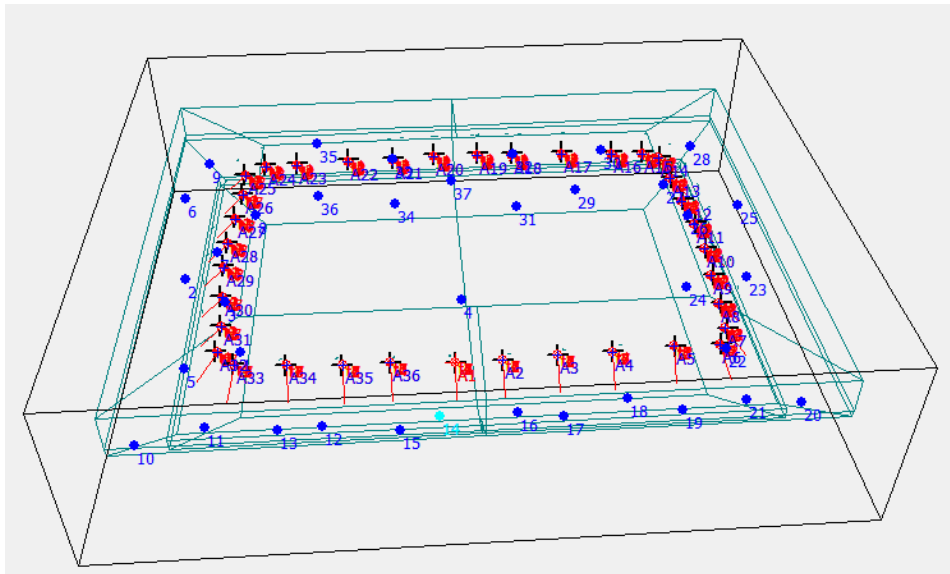
Gürcistan'ın Batum şehrinde inşa edilen Batum Stadyumu (Batumi Stadium) 20.000 kişi kapasitesiyle 2019 yılının sonlarına doğru tamamlanacaktır. Ease Programı'nda 3D olarak tasarlanan stadyum daha sonra akustik ölçümleri yapılmak için akustik tasarım programı olan Odeon'a aktarılmıştır.

Hoparlör dizimi için stadyumun gerçek tasarımında kullanılan kaynak noktaları kullanılmıştır. Hoparlör yerleşiminde ise L-Acoustic markasının KARA modeli line array ve RCF markasının P6215 modeli point source hoparlörlerinin SO8 dosyaları kullanılmıştır.

3.2. Odeon Verileri

3.2.1. Kaynak ve Alıcı Noktaları

20.000 kişilik Batum Stadyumu için 36 tane kaynak noktası ve 37 tane alıcı noktası belirlenmiştir. (Şekil-6) Tüm hoparlörler yerden 22 metre yüksekliğe asılmıştır.



Şekil 6- Odeon kaynak, alıcı yerleşimi

Bu noktalarda belirli açılar, gecikmeler (delay), yükseklikler ve hoparlör sayıları belirlenerek FIFA standartlarına uygun konuşma anlaşılabilirliği (STI) ve dB (A) değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır.

3.2.1.1 Line Array Kaynak Yerleşimi

Line array yerleşimi için L-acoustic markasının KARA model hoparlörü kullanılmıştır. 7'li kümeler halinde asılan hoparlörlere +1 overall gain verilmiştir. (Şekil -8) IEC 60268-16 standardı (Şekil-7) verilerine göre erkek-kadın olarak ayrılan ve her bir oktav bant, belirlenen değerler için erkek verileri kullanılarak belirli EQ oranları uygulanmıştır. (Şekil-8)

Frequency, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A-weighted
Males, dB	-	2,9	2,9	-0,8	-6,8	-12,8	-18,8	-24,8	0,0
Females, dB	-	-4,4	5,3	-1,9	-9,1	-15,8	-16,7	-18,0	0,0

Şekil 7- Her bir oktav bant için kadın-erkek IEC 60268-16 Standardı

Level Adjustment									
Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
+ Overall gain								1,0	dB
+ EQ	0,0	2,9	2,9	-0,8	-6,8	-12,8	-18,8	-24,8	dB
=Gain+EQ	1,0	3,9	3,9	0,2	-5,8	-11,8	-17,8	-23,8	dB

Şekil 8-IEC 60268-16 Standardına göre girilen erkek EQ değerleri

Her line array kümesinde 4. Hoparlör merkez alınarak (Center) altındaki ve üstündeki 3erli hoparlörler, bu merkez hoparlöre göre konumlandırılmıştır. (Şekil-9)

Transducer	Comment	Sub Path	Directivity	X	Y	Z	Azimuth	Elevation	Rotation	Invert Phase	Delay (ms)	Gain
1	K1		▼ KARA-YENİ.S08 ▼	0,000	0,000	0,000	0,000	25,000	0,000	☐	0,000	6,000
2	K2		▼ KARA-YENİ.S08 ▼	0,100	0,000	-0,250	0,000	17,500	0,000	☐	0,200	3,000
3	K3		▼ KARA-YENİ.S08 ▼	0,150	0,000	-0,500	0,000	10,000	0,000	☐	0,400	1,000
4	K4 C		▼ KARA-YENİ.S08 ▼	0,200	0,000	-0,750	0,000	0,000	0,000	☐	0,600	0,000
5	K5		▼ KARA-YENİ.S08 ▼	0,150	0,000	-1,000	0,000	-10,000	0,000	☐	0,800	1,000
6	K6		▼ KARA-YENİ.S08 ▼	0,100	0,000	-1,250	0,000	-17,500	0,000	☐	1,000	3,000
7	K7		▼ KARA-YENİ.S08 ▼	0,000	0,000	-1,500	0,000	-25,000	0,000	☐	1,200	6,000

Şekil 9- Line array hoparlörlerin konumlandırılması

Hoparlör kümelerinde yayılım açısını her bir izleyici alanına ulaştırmak için hoparlör kümelerine farklı yükseklik açıları uygulayarak kıvrılmış bir dizi oluşturmak mümkündür. (Odeon Kullanıcı Kılavuzu 2018: 174) Bu çalışmada da Odeon Kullanıcı Kılavuzu baz alınıp hoparlörlerin koordinatları ve yükseklik açıları değiştirilerek kıvrılmış bir dizi elde edilip sesin tüm izleyici alanına ulaşması sağlanmıştır. (Şekil 10)

Her bir hoparlöre 0'dan başlamak üzere 0,2 ms gecikme (delay) verilerek hoparlör açılarının tam olarak izleyici alanına ulaşması sağlanmıştır. (Şekil-10)

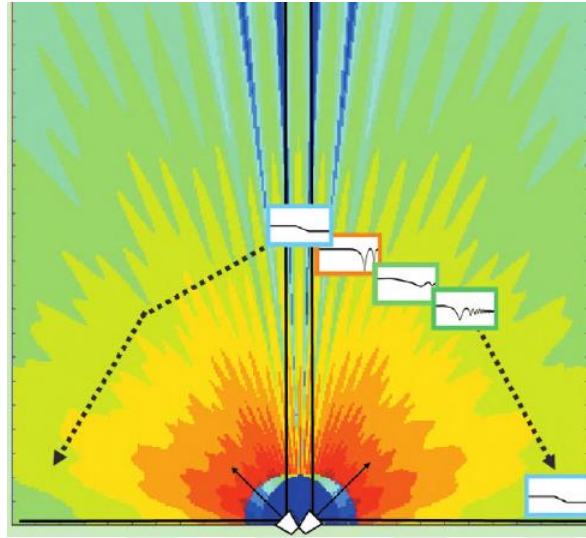


Şekil 10- Line array kümelerinin yayılım görseli

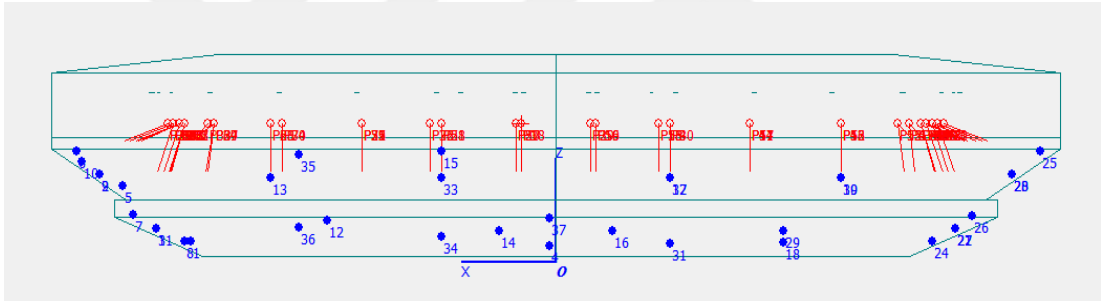
Hoparlör kümelerinde yayılım açılarını ayarlamak için sadece gecikme değil kademeli olarak seviye artışı da ayarlamak gerekir (Odeon Kullanıcı Kılavuzu 2018: 176) Bu sebeple odak noktasındaki seyirci alanını kapsaması için hoparlörlere gecikmenin dışında sıralı olarak 3 dB(A), 2 dB(A) ve 1 dB(A) verilerek istenilen yayılım açıları elde edilmiştir.

3.2.1.2 Point Source Kaynak Yerleşimi

Point Source kaynak olarak RCF markasının P6215 modeli hoparlörleri kullanılmıştır. Her kaynak noktası için bir tanesi üst tribün odaklı 20 derecelik açı ile diğer bir tanesi de alt tribün odaklı 70 derece açı ile konumlandırılmak üzere 2 şer adet hoparlör kullanılmıştır. (Şekil-11, Şekil-12) Toplamda 72 adet RCF P6215 hoparlörü ile FIFA standartları yakalanmaya çalışılmıştır.



Şekil 11- 2şer adet kullanılan teorik point source yayılımı (McCarthy, Bob. 2010: 115)



Şekil 12 – RCF P6215 point source hoparlörlerin dizilimi

Her bir hoparlöre +6 dB (A) overall gain verilirken, IEC 60268-16 Standardı kapsamında her bir oktav band için erkek EQ verileri uygulanmıştır. (Şekil -13)

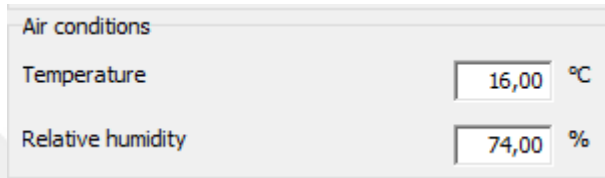
Level Adjustment	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	
Sound Power File	116,6	129,5	130,7	131,8	133,1	131,7	131,0	133,0	dB re. 1W	Total power 143,7 dB
+ Overall gain								6,0	dB	137,8 dB(A)
+ EQ	0,0	2,9	2,9	-0,8	-6,8	-12,8	-18,8	-24,8	dB Elec/Mech	
= Sound Power	122,6	138,4	139,6	137,0	132,3	124,9	118,2	114,2	dB re 1 pW	
SPL on axis at 10m	94,1	109,5	112,5	113,2	110,5	103,2	98,1	97,3	dB	

Şekil 13- IEC 60268-16 Standardına göre girilen erkek EQ değerleri

3.2.2. Ölçüm ve STI için Arka Plan Gürültü Seviyesi Parametreleri

Açık hava seslendirme sistemlerinde dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biri değişen hava sıcaklığı ve nem oranıdır. Ses havayla iletimini gerçekleştirdiği için hava değişimi ses sistemi tasarımlarında her zaman öncelikli olmak zorundadır.

Bu çalışmada Batum şehrinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 16 derece ve yıllık nem oranı %74 olarak tespit edilip Odeon verisi olarak girilmiştir. (Şekil -14) (“Climate-Data.org,” t.y.)



Air conditions	
Temperature	16,00 °C
Relative humidity	74,00 %

Şekil 14- Batum şehri yıllık sıcaklık ve nem oranı

Açık alan ölçümlerinde gerçek sonuçlara ulaşmak için uzun impulse response (değeri 3.500ms olarak girilmiştir. (Şekil-15)



Impulse Response Length
3500 ms

Şekil 15- Impulse Response verisi

Stadyumların STI ölçümü için, arka plan gürültü seviyesi olarak ortalama değer olan 95 dB (A) olarak girilmiştir. (Şekil 16-) (Rougier, vd 2010:12)

Total levels		
Linear	95,8	dB
A-weighted	90,2	dB(A)

Şekil 16- Stadyumlar için ortalama arka plan gürültüsü

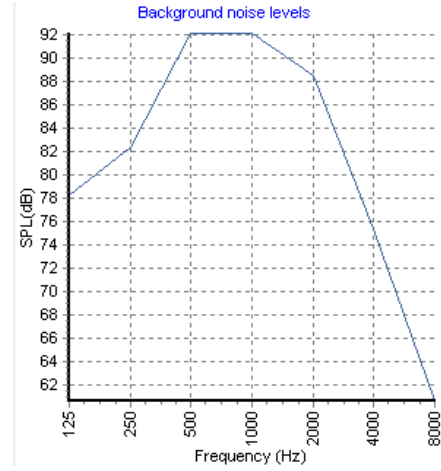
Her oktav bant için de gürültü seviyeleri 95 dB(A) referans alınarak ayarlanmıştır. (Şekil 17-) Tüm bu veriler de Odeon tarafından grafik haline getirilmiştir. (Şekil-18)

STI parameter

STI method

Background Noise (for STI calculations only)

Noise at 125 Hz octave band	93,0 dB
Noise at 250 Hz octave band	89,0 dB
Noise at 500 Hz octave band	86,0 dB
Noise at 1000 Hz octave band	84,0 dB
Noise at 2000 Hz octave band	82,0 dB
Noise at 4000 Hz octave band	81,0 dB
Noise at 8000 Hz octave band	80,0 dB



Şekil 17-Arka plan gürültüsü oktav band

Şekil 18- Arka plan gürültüsü grafiği

3.3. Malzeme Seçimi

Mekân tasarımı için kaynak, alıcı noktası yerinden sonra ki en önemli kısım malzeme yerleşimidir. Akustik parametrelerin uygun değerlerinin sağlanması ve oluşabilecek hataların engellenmesini amaçlayan akustik tasarımcı, mekânın sınırlarını tanımlayan iç yüzeylerde farklı özelliklerdeki malzemeyle sesin akustik ortamda doğru bir şekilde değerlendirmesini sağlar. (Özkartal, 2011: 51)

Bu stadyum çalışmasında da doğru ölçüm sonuçları alabilmek için hem Odeon Programı içindeki malzemelerden hem de dışardan eklenen malzemelerle bir malzeme listesi oluşturulmuş ve gerekli yüzeylere atanmıştır.

Stadyumun tüm tribün bölgeleri için Odeon Programında bulunan seyirci bölgeleri için tasarlanan emiciliği yoğun bir malzeme tercih edilmiştir. (Şekil- 19)

11001	Areas with audience, orchestra or choir including narrow aisles (Ref. 15)							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
	0,60000	0,60000	0,74000	0,88000	0,96000	0,93000	0,85000	0,85000

Şekil 19-Tribün bölgeleri için malzeme

Stadyum çatısı için, inşaat sektöründe çokça kullanılan ve stadyum çatıları için ideal bir malzeme olan membran materyali atanmıştır. (Şekil-20)

14302	Tavan Membran							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
	0,10000	0,25000	0,30000	0,40000	0,50000	0,55000	0,62000	0,70000

Şekil 20-Stadyum çatısı için kullanılan malzeme

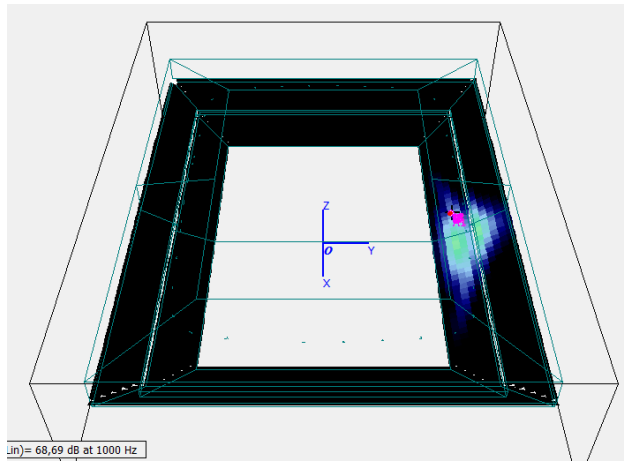
Stadyum zeminine ise çim atanıp, çim saha emicilik katsayıları girilmiştir. (Şekil-21)

14301	Cim Zemin							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
	0,50000	0,64000	0,72000	0,88000	0,92000	0,98000	1,00000	1,00000

Şekil 21-Stadyum zemini için kullanılan malzeme

3.4. Ölçüm

Stadyum tasarımı, line array ve point source kaynaklar için ayrı ayrı ölçümlenmiş ve iki farklı proje halinde hazırlanmıştır. Her iki projede de tüm kaynak ve alıcı noktaları aynı yerdedir. Kaynaklar alt ve üst tribün odaklı olarak yerleştirilmiştir. (Şekil-22)



Şekil 22- Kaynakların tribündeki odak noktası

Şekil 23ve 24’te gösterildiği gibi ölçüm yapılırken tüm kaynaklar her iki projede de aynı noktadaki alıcılara yönlendirilmiştir. (Şekil -23, Şekil-24)

Job	Job description	Receiver pointing towards source	Gric	Mult	Single point response receiver
1	No description	1 line array-1 kara - Array source ▼	☐	☐	14 14 (x,y,z) = (10,00, 50,00, 4,87)
2	No description	2 line array-2 kara - Array source ▼	☐	☐	16 16 (x,y,z) = (-10,00, 50,00, 4,87)
3	No description	3 line array-3 kara - Array source ▼	☐	☐	17 17 (x,y,z) = (-20,00, 60,00, 13,41)
4	No description	4 line array-4 kara - Array source ▼	☐	☐	18 18 (x,y,z) = (-40,00, 45,00, 3,00)
5	No description	5 line array-5 kara - Array source ▼	☐	☐	19 19 (x,y,z) = (-50,00, 60,00, 13,41)

Şekil 23- Line array kaynakların alıcıya yönlendirilmesi

Job	Job description	Receiver pointing towards source	Gric	Mult	Single point response receiver
1	No description	1 RCF-1 - Point source at (x,y,z) = ▼	☐	☐	14 14 (x,y,z) = (10,00, 50,00, 4,87)
2	No description	2 RCF-2 - Point source at (x,y,z) = ▼	☐	☐	16 16 (x,y,z) = (-10,00, 50,00, 4,87)
3	No description	3 RCF-3 - Point source at (x,y,z) = ▼	☐	☐	17 17 (x,y,z) = (-20,00, 60,00, 13,41)
4	No description	4 RCF-4 - Point source at (x,y,z) = ▼	☐	☐	18 18 (x,y,z) = (-40,00, 45,00, 3,00)
5	No description	5 RCF-5 - Point source at (x,y,z) = ▼	☐	☐	19 19 (x,y,z) = (-50,00, 60,00, 13,41)

Şekil 24-Nokta kaynakların alıcıya yönlendirilmesi

Kaynaklar arasındaki tek fark hoparlörlerin tipine ve karakteristik özelliklerine göre açlandırılmaları, konumlandırılmaları, ses seviyelerinin artırılması ve yine bu özelliklerine göre kullanılan hoparlör adetlerindeki değişiklik olmuştur. Line array hoparlörler 7li kümeler halinde asılırken, point source hoparlörler aynı alıcı noktası için 2 adet olarak yerleştirilmiştir.

Point source kaynaklar için güçlerini arttırmak ve FIFA standardı olan minimum 110 dB (A) ses seviyesini yakalamak için hoparlörlere +6 dB(A) gain verilmiştir. (Şekil-25)

No	Source description	Gain	Delay	On	Eq	Type
1	RCF-1	6,00	0	ON	ON	Point
2	RCF-2	6,00	0	ON	ON	Point
3	RCF-3	6,00	0	ON	ON	Point
4	RCF-4	6,00	0	ON	ON	Point
5	RCF-5	6,00	0	ON	ON	Point
6	RCF-6	6,00	0	ON	ON	Point
7	RCF-7	6,00	0	ON	ON	Point

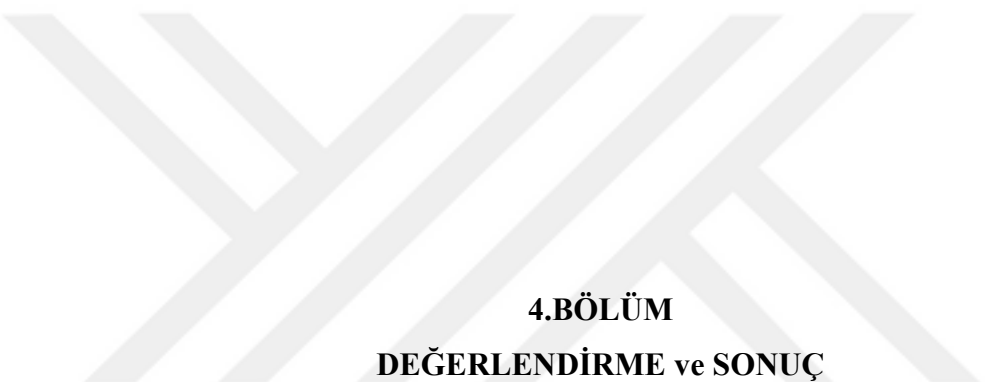
Şekil 25- Nokta kaynakların gain değerleri

Line array kaynaklar 7li hoparlör kümeleri olarak yerleştirildiğinden güç olarak FIFA standardını yakalamak için sadece +1 dB(A) gain verilmiştir. (Şekil-26)

No	Source description	Gain	Delay	On	Eq	Type
1	line array-1 kara	1,00	0	ON	ON	Array
2	line array-2 kara	1,00	0	ON	ON	Array
3	line array-3 kara	1,00	0	ON	ON	Array
4	line array-4 kara	1,00	0	ON	ON	Array
5	line array-5 kara	1,00	0	ON	ON	Array
6	line array-6 kara	1,00	0	ON	ON	Array
7	line array-7 kara	1,00	0	ON	ON	Array

Şekil 26- line array kümelerine verilen gain değeri

Konuşma anlaşılabilirliği baz alınıp arka plan gürültüsü, iki projede de ortalama olarak 90 dB(A) olarak girilmiştir. Malzeme listesi de aynı olup, ikisinin yüzeylerine de aynı materyaller atanmıştır. İki projenin de ölçümlemede en önemli kriter olan grid verileri aynı girilmiştir.



4.BÖLÜM

DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

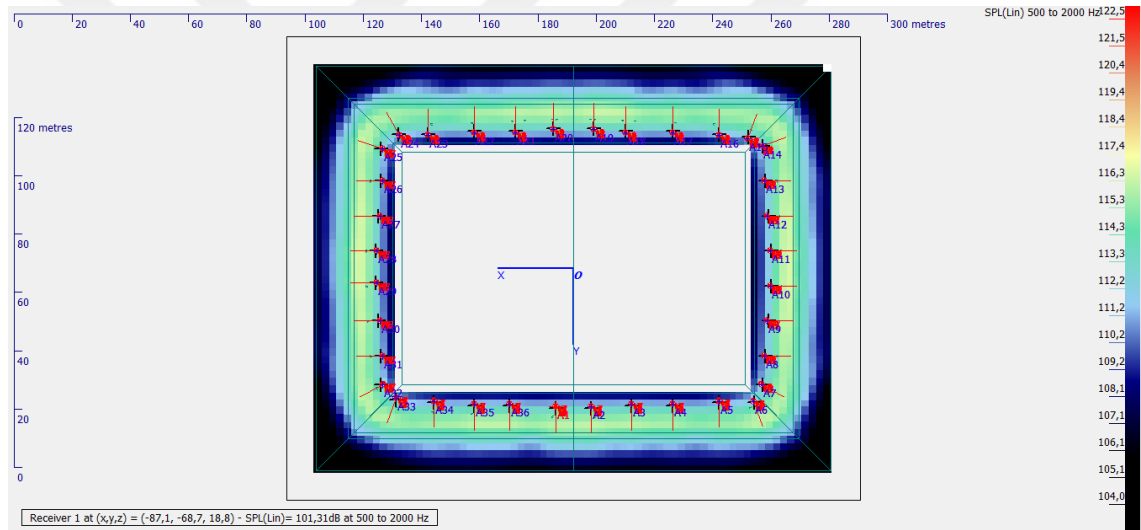
4.BÖLÜM

DEĞERLENDİRME

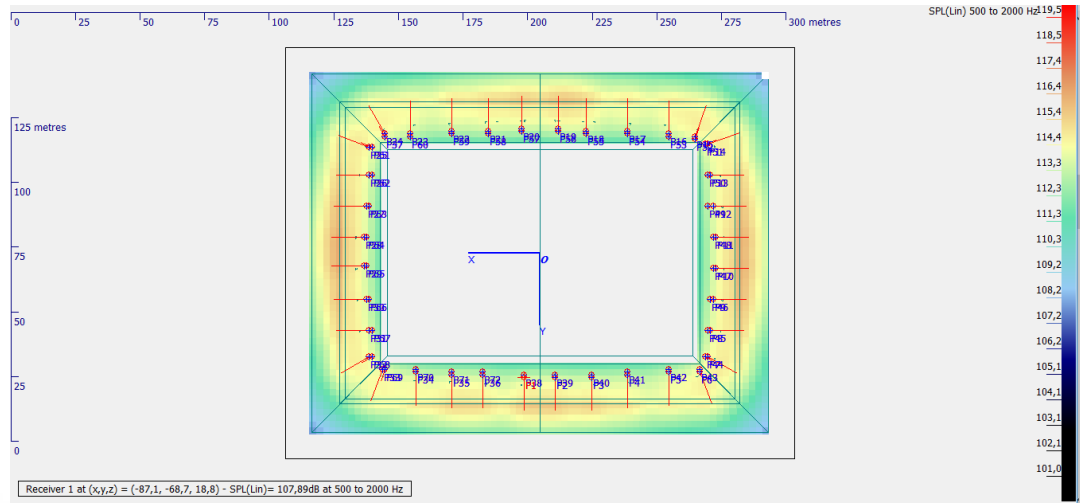
4.1. Ölçüm Sonuçları:

Hoparlörlerin karakteristik özellikleri dışında tasarıma tüm veriler aynı girilerek ölçülen 2 projede de FIFA Standartları yakalanmış olsa da bu karakteristik farklılıktan doğan değişiklikler, iki tip hoparlör arasında kullanım kolaylığı ya da tercihi bakımından belirli farklar ortaya koymuştur.

Stadyumdaki genel duyum iki hoparlör için ayrı ayrı line array için Şekil 27’de ve point source için Şekil 28’de gösterilmiştir.

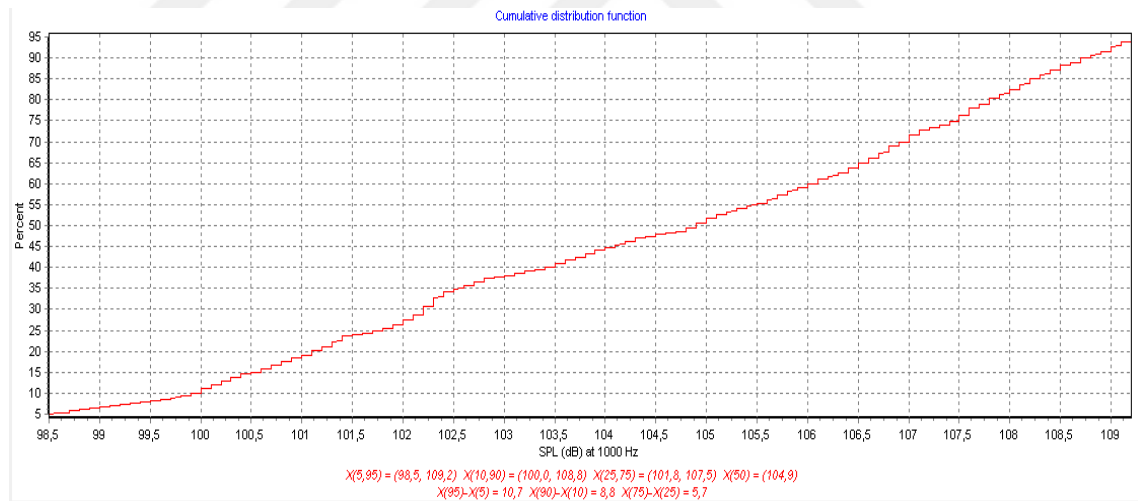


Şekil 27- Stadyum genelinde line array hoparlörlerin SPL dağılımı



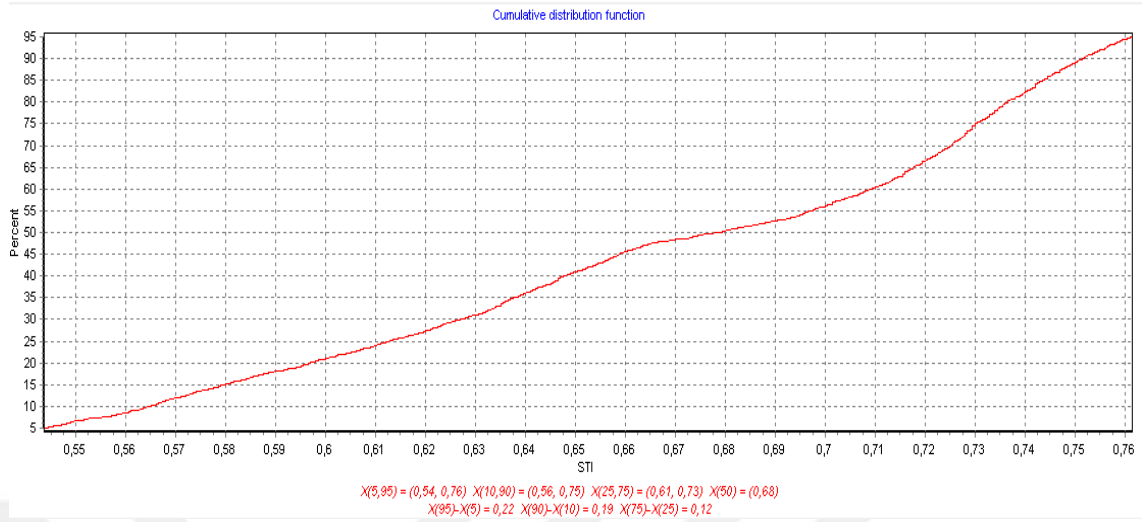
Şekil 28- Stadyum genelinde point source hoparlörlerin SPL dağılımı

Line array hoparlörlerin stadyum genelindeki 1000 Hz’deki SPL dağılım grafiği Şekil 29 ‘da verilmiştir.



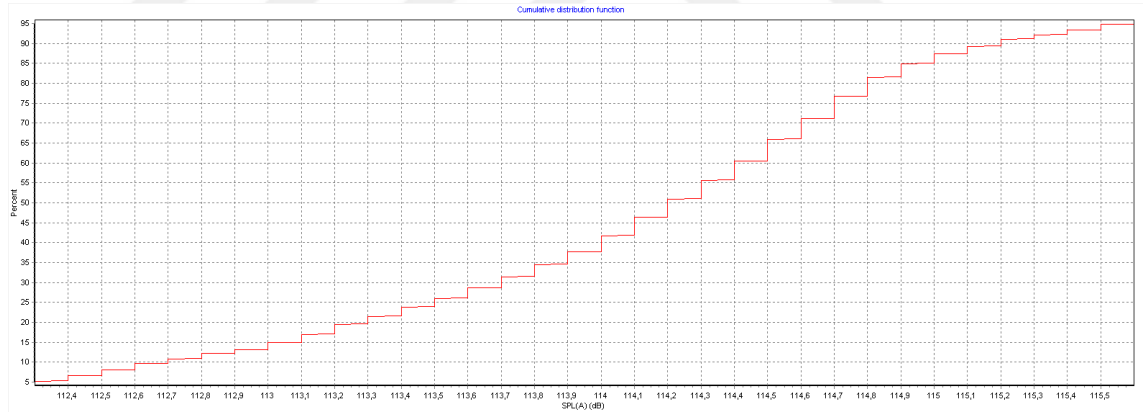
Şekil 29- Line array kümelerinin SPL dağılım grafiği

Line array hoparlör kümelerinin stadyum genelindeki STI değerleri grafiği ise Şekil 30 ‘da verilmiştir.



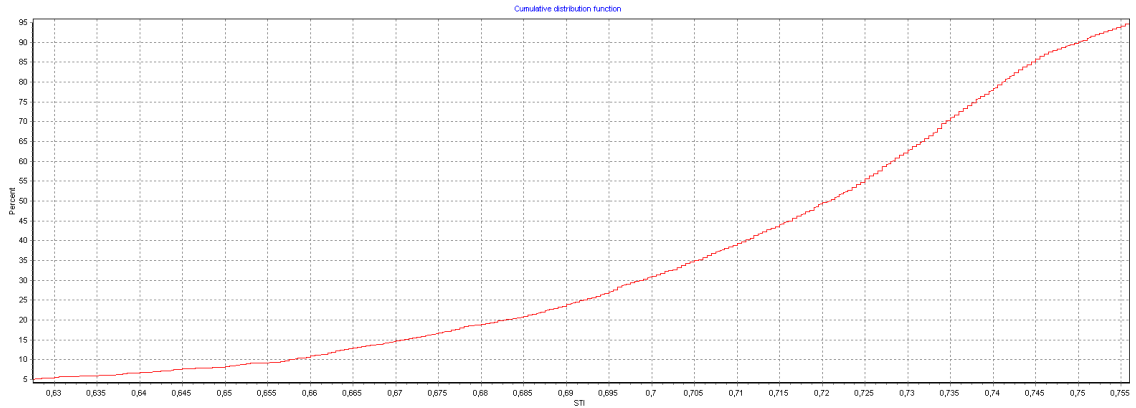
Şekil 30- Line array kümelerinin STI dağılımı grafiği

Point source hoparlörlerinin stadyumdaki ses dağılım SPL değerleri grafik olarak Şekil 31’de gösterilmiştir.



Şekil 31- Point source hoparlörlerinin SPL dağılımı grafiği

Point source hoparlörlerinin konuşma anlaşılabilirliği (STI) değerleri ise Şekil 32’deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 32- Point source hoparlörlerinin STI dağılımı grafiği

+6 dB (A) güç verilerek ölçülen point source kaynaklar her kaynak noktasında 2 adet kullanılmasına karşın, point source hoparlörlerin yayılım açısındaki genişliğinden ötürü toplamda 72 adet hoparlörle stadyumda FIFA standartlarının belirlediği konuşma anlaşılabilirliği değerleri yakalanmıştır. (Tablo-3)

Tablo 3-Point source kaynaklar için ölçüm değerleri

ALICI NOKTALARI	dB (A) DEĞERLERİ	STI DEĞERLERİ
1- alt tribün saha kenarı	113,3	0,69
2-üst tribün	116,0	0,76
3-alt tribün	114,6	0,75
5-üst tribün	115,6	0,74
6-üst tribün	114,6	0,70
7-alt tribün	115,2	0,76
8-alt tribün köşe	115,5	0,74
9-üst tribün köşe	112,8	0,65
10- üst köşe	112,0	0,62
11-alt köşe	114,3	0,73
12-alt tribün	114,4	0,74
13-üst tribün	114,8	0,73
14-alt tribün	113,9	0,72

15-üst tribün	114,3	0,71
16-alt tribün	114,0	0,72
17-üst tribün	115,4	0,74
18-alt tribün saha kenarı	112,8	0,68
19-üst tribün	114,7	0,73
20-üst tribün köşe	112,9	0,66
21-alt tribün köşe	114,5	0,74
22-alt tribün	114,6	0,75
23-üst tribün	115,8	0,75
24-alt tribün	113,5	0,71
25-üst tribün	114,7	0,73
26-alt tribün	115,0	0,75
27-alt tribün köşe	114,4	0,73
28-üst tribün köşe	112,6	0,64
29-alt tribün	113,8	0,71
30-üst tribün	114,8	0,73
31-alt tribün saha kenarı	112,8	0,68
32-üst tribün	115,2	0,74
33-üst tribün	115,3	0,74
34-alt tribün	113,5	0,70
35-üst tribün	113,8	0,70
36-alt tribün	114,0	0,72
37-alt tribün	114,6	0,74

+1 dB (A) güç verilerek ölçülen line array kaynaklar her kaynak noktasında 7li kümeler halinde asılıp, her hoparlör için ayrı konumlandırılma, gecikme, güç verilerek yayılım açıları belirlenmiştir. Toplamda 252 tane hoparlör kullanılarak FIFA standartlarının istediği ses seviyesi ve konuşma anlaşılabilirliği değerleri yakalanmıştır. (Tablo 4)

Line array tipi hoparlörler için yapılan ölçümde 7li kümeler kullanılıp +1 dB(A) gain verilerek, point source hoparlörler için +6 dB (A) gain verilerek yapılan ölçümde sonuç olarak ortalama güç seviyeleri aynı çıkmış olsa da konuşma anlaşılabilirliği verileri olarak point source kaynakların performansı line array kaynaklardan daha iyi çıkmıştır ve FIFA standartları daha az hoparlörlerle yakalamıştır.

Tablo 4-Line array kaynaklar için ölçüm değerleri

ALICI NOKTALARI	dB (A) DEĞERLERİ	STI DEĞERLERİ
1- alt tribün saha kenarı	111,1	0,59
2-üst tribün	114,1	0,72
3-alt tribün	115,5	0,77
5-üst tribün	115,5	0,75
6-üst tribün	111,5	0,62
7-alt tribün	116,5	0,77
8-alt tribün köşe	114,3	0,69
9-üst tribün köşe	109,7	0,62
10- üst köşe	108,1	0,55
11-alt köşe	115,9	0,73
12-alt tribün	115,8	0,75
13-üst tribün	113,2	0,69
14-alt tribün	114,8	0,74
15-üst tribün	110,5	0,63
16-alt tribün	115,0	0,75
17-üst tribün	113,1	0,71
18-alt tribün saha kenarı	111,3	0,60
19-üst tribün	113,3	0,70
20-üst tribün köşe	109,8	0,62
21-alt tribün köşe	116,0	0,73
22-alt tribün	115,4	0,75
23-üst tribün	113,8	0,72

24-alt tribün	112,1	0,67
25-üst tribün	114,4	0,64
26-alt tribün	116,4	0,74
27-alt tribün köşe	116,4	0,73
28-üst tribün köşe	109,6	0,62
29-alt tribün	114,7	0,76
30-üst tribün	113,1	0,70
31-alt tribün saha kenarı	111,3	0,60
32-üst tribün	113,2	0,71
33-üst tribün	113,3	0,71
34-alt tribün	112,9	0,67
35-üst tribün	110,9	0,63
36-alt tribün	114,9	0,75
37-alt tribün	115,9	0,75

İki projenin de sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 5- Ölçümlerin karşılaştırmalı sonuçları

ALICI NOKTALARI	POINT SOURCE		LINE ARRAY	
	dB DEĞERLERİ	STI DEĞERLERİ	dB DEĞERLERİ	STI DEĞERLERİ
1- alt tribün saha kenarı	113,3	0,69	111,1	0,59
2-üst tribün	116	0,76	114,1	0,72
3-alt tribün	114,6	0,75	115,5	0,77
5-üst tribün	115,6	0,74	115,5	0,75
6-üst tribün	114,6	0,7	111,5	0,62
7-alt tribün	115,2	0,76	116,5	0,77
8-alt tribün köşe	115,5	0,74	114,3	0,69
9-üst tribün köşe	112,8	0,65	109,7	0,62
10- üst köşe	112	0,62	108,1	0,55
11-alt köşe	114,3	0,73	115,9	0,73
12-alt tribün	114,4	0,74	115,8	0,75
13-üst tribün	114,8	0,73	113,2	0,69
14-alt tribün	113,9	0,72	114,8	0,74
15-üst tribün	114,3	0,71	110,5	0,63
16-alt tribün	114	0,72	115	0,75
17-üst tribün	115,4	0,74	113,1	0,71
18-alt tribün saha kenarı	112,8	0,68	111,3	0,6

19-üst tribün	114,7	0,73	113,3	0,7
20-üst tribün köşe	112,9	0,66	109,8	0,62
21-alt tribün köşe	114,5	0,74	116	0,73
22-alt tribün	114,6	0,75	115,4	0,75
23-üst tribün	115,8	0,75	113,8	0,72
24-alt tribün	113,5	0,71	112,1	0,67
25-üst tribün	114,7	0,73	114,4	0,64
26-alt tribün	115	0,75	116,4	0,74
27-alt tribün köşe	114,4	0,73	116,4	0,73
28-üst tribün köşe	112,6	0,64	109,6	0,62
29-alt tribün	113,8	0,71	114,7	0,76
30-üst tribün	114,8	0,73	113,1	0,7
31-alt tribün saha kenarı	112,8	0,68	111,3	0,6
32-üst tribün	115,2	0,74	113,2	0,71
33-üst tribün	115,3	0,74	113,3	0,71
34-alt tribün	113,5	0,7	112,9	0,67
35-üst tribün	113,8	0,7	110,9	0,63
36-alt tribün	114	0,72	114,9	0,75
37-alt tribün	114,6	0,74	115,9	0,75

4.2. Ölçümlerin Değerlendirmesi

Yapılan iki farklı deneyde point source kaynak kullanılan tasarımda konuşma anlaşılabilirliği verileri FIFA standartlarına uygun çıkmıştır. Sadece üst köşe ve saha kenarındaki alıcı noktaları için standart olan 0,70 konuşma anlaşılabilirliği değerinin çok az altında kalmıştır.

Yine bu tasarımda FIFA standartlarından biri olan SPL değerine en çok ve en az maruz kalan seyirci arasındaki SPL farkı 6 dB (A) seviyesini aşmamıştır. Tasarımın genelinde minimum sınır olan 110 dB SPL (A) değerinin altına düşülmemiştir.

Line array hoparlör kümeleri tasarımın genelinde FIFA standardının minimum olan 110 dB SPL(A) değerinin üzerinde olsa da üst tribünlerin köşe alıcı noktalarında bu seviye 108 dB (A) seviyelerine düşmüştür.

22. alıcı noktasında STI değerleri iki hoparlör için aynı çıkarken 0.75 STI değeri nokta line array hoparlör 115.4 dB (A) ile yakalarken, point source hoparlör 114.6 dB(A) ile daha düşük bir ses seviyesiyle yakalamıştır.

Saha kenarındaki alıcı noktasında ise dB(A) değerleri her iki hoparlör içinde 110 dB (A) seviyesinin üzerinde kalsa da STI değerleri düşük kalmıştır. Özellikle line array hoparlör 0,59 STI değerinde kalmıştır.

5. alıcı noktasında point source hoparlör 115,6 dB (A) değeri ile 0,74 STI değeri yakalarken, line array hoparlör 115,5 dB(A) değeriyle yani daha düşük ses seviyesiyle 0,75 STI değeri yani daha yüksek bir STI değeri yakalamıştır.

34. alıcı noktası olan alt tribünde point source hoparlör 113,5 dB(A) ile 0,70 STI değerini yakalarken line array hoparlör 112,9 dB(A) ile yüksek bir ses seviyesiyle FIFA standardını STI değer olarak geçememiş ve 0,67 STI değerinde kalmıştır.

25. alıcı noktası olan üst tribünde line array hoparlör 114,4 dB(A) gibi yüksek bir ses seviyesinde olmasına rağmen STI değeri olarak ancak 0,64 STI değeri kadar performans gösterebilirken point source hoparlör 114,7 dB(A) seviyesi ile 0,73 STI değerini yakalamıştır.

15. alıcı noktasında 2li olarak yerleştirilen point source hoparlör 114,3 dB (A) ile 0,71 STI değerindeyken 7li kümeler halinde asılan line array hoparlörler aynı noktada ancak 110,5 dB(A) seviyesinde ve 0,63 STI değerinde kalmıştır.

Köşe noktalar ve saha kenarı noktaları için iki hoparlörde birkaç alıcı noktası hariç istenilen değerleri vermediği için bu noktalar için ekstra iyileştirmeler yapılabilir.

Konuşma anlaşılabilirliği verilerine bakıldığında bazı noktalarda point source hoparlörlerden daha verimli olmasına karşın tasarımın çoğunluğunda point source hoparlörlerin performansını yakalayamamıştır.

SONUÇ

Bu çalışma farklı karakteristik özelliklere sahip hoparlörlerin stadyumlarda FIFA standartlarına uygun konuşma anlaşılabilirliğini nasıl etkilediğini gözlemlemek için yapılmıştır.

Farklı karakteristik özelliğe sahip 2 farklı hoparlör kullanılarak gerçekleştirilen deney için 2 Odeon projesi kullanılmıştır.

Yapılan iki farklı deneyde, hoparlör yayılım açıları stadyumlardaki konuşma anlaşılabilirliğini etkileyen en büyük faktörlerden biri olmuştur. Teoride ses yüksekliği arttıkça konuşma anlaşılabilirliği de doğru orantılı olarak artar. Fakat stadyumun bazı alıcı noktalarında line array hoparlör kümesinin gücü, point source hoparlör ikilisinden fazla olmasına rağmen konuşma anlaşılabilirliğinde point source hoparlörün verdiği performansı gösterememiştir. Hatta yine bazı noktalarında line array hoparlörlerin 112 dB(A)'lık ses seviyesi olmasına rağmen konuşma anlaşılabilirliği 0,67'de kalmıştır. Tüm bunların nedeni point source hoparlörlerinin yayılım açısının line array hoparlörlerinden daha geniş ve kapsamlı olmasıdır.

FIFA standartlarını yakalamak için point source hoparlörden toplamda 72 adet kullanmak yeterli olurken line array hoparlörler için aynı standardı yakalamak için toplamda 252 tane kullanılmıştır. Bu çalışmadan çıkarılacak başka bir sonuç ise finansal anlamda bir stadyum tasarımında point source hoparlör kullanımının line array hoparlör kullanımdan daha verimli olduğudur.

KAYNAKÇA

-Tezler

- Durgun, Doğan (2007) “*Türkiye’de Sporun Gelişimi ve Değişen Kullanıcı Gereksinmelerini Karşılama Yönde Modern Stadyum Yapılarının Temel Planlama Özellikleri*” Yüksek Lisan Tezi Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne S: 86
- Özkartal, Naciye Esra (2011) “*Konser Salonlarında Akustik Konfor Parametrelerinin Analizi Ve Bir Örnek Çalışma*” Yüksek Lisan Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Vergili, Suat (2015) “*Gürültü Kontrolünün Sağlanması ve Konuşma Anlaşılabilirliğinin İyileştirilmesine Yönelik Farklı Akustik Tasarımlar: Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Acil Servis Birimi*” Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, İzmir s:30

-Kitap

- (Chen, W. F., & Han, D. J. (2007). *Plasticity for Structural Engineers*. J. Ross Publishing.
- John, G.- Sheard, R.- Vickery, B. (2007) *Stadia: A Design and Development Guide*, OXFORD: Elsevier Limited
- McCarthy, B. (2010). *Sound Systems: Design and Optimization: Modern Techniques And Tools For Sound System Design and Alignment*. Focal Press.
- Patronis Jr, E. T. (2013). *Stadiums and Outdoor Venues. In Handbook for Sound Engineers* pp. Focal Press.
- Durmaz, S. (2009). *Müzik Teknolojisi ve Audio Terimleri Sözlüğü*. Cinius Yayınları.

-Makaleler

- Durmaz, Serhat “Devlet Tiyatroları İzmir-Konak Sahnesi’nin Akustik Özellikleri” *Yedi Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi* 2016 Sayı 15

- Ureda , Mark S. (2001) “Line Arrays: Theory and Applications” *Audio Engineering Society* Yıl 2001 Mayıs 12-15
- Vergili,Suat “Kayıt Edilmiş İnsan Sesinde Konuşma Anlaşılrlığının Değerlendirilmesi Ve Anlaşılrlığı Etkileyen Faktörler” *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi* Haziran 2017 Sayı 10

-Broşür

- Jong, Jim (2007) “ *Addition Number Twenty So You Want To Use Aline Array?*” Bosch Communications Systems
- UEFA EURO 2020, *Tournament Requirments*,50

-İnternet Kaynakları

- Brashler, Drew. Main Speakers Systems Potential Issues (2015) Erişim Adresi <https://dbbaudio.com/2015/transformation-church-part-one/> [Ağustos 2015]
- Dulwich Hamlet Football Club Environmental Noise Assessment Report (2016) Erişim Adresi <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiovsKNn4TjAhVU4KYKHd2NAVcQFjABegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fplanbuild.southwark.gov.uk%2Fdocuments%2F%3FGetDocument%3D%257B%257B%257B!9h3geoIf8MQNZdGsRRZIHw%253D%253D!%257D%257D%257D&usg=AOvVaw0fPz5DHPbladWPKaBanjpT> [Mart 2016]
- İklim Batum. (t.y.) Erişim Adresi <https://tr.climate-data.org/asya/guercistan/autonomous-republic-of-adjara/batum-1759/>
- L-acoustics Kara (t.y.) Erişim Adresi <https://www.l-acoustics.com/en/product/kara/>
- Rcf.it P6215 (t.y) Erişim Adresi https://www.rcf.it/en_US/products/product-detail/p_6215/266539
- Line Array vs. Point Source PA Systems: Which is Ideal for You? (2016) Erişim Adresi <https://www.audiolinks.com/blog/line-array-vs-point-source-pa-systems-which-is-ideal-for-you/> [Haziran 2016]

Rapor

- Heinz, R. (t.y.). *A Fresh Approach to the Line Array*. Erişim Adresi <https://www.renkus-heinz.com/upload/line-arrays-white-paper-1.pdf>

-Bildiri

- Rougier, C., Defrance, J., Noé, N., Maillard, J., & Baulac, M. (2010, June). “*Acoustic environmental impact of stadiums.*” In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (Vol. 2010, No. 7, pp. 3782-3791). Institute of Noise Control Engineering.

-Kılavuzlar

- ODEON Room Acoustics Software User’s Manual (2018)

-Standartlar

- UEFA EURO 2020, Tournament Requirements
- EN ISO 9921
- IEC 60268-1

ÖZGEÇMİŞ

Ad, Soyad: Duygu Asena ÜNLÜ

Doğum Yeri ve Yılı: İzmir-1990

Eğitim:

- Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Müzik Teknolojisi Bölümü- Yüksek Lisans / 2019
- Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Müzik Teknolojisi Bölümü- Lisans / 2015
- Selma Yiğitalp Lisesi / 2009

Staj:

- MELODİKA Sound Production
- Jingle Jungle Music Production

İş:

- IPD (İstanbul Sound Production)- Ses mühendisliği
- Freelance Film-Dizi-Ses mühendisliği
- Konak Küçükyalı Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi-Halkla İlişkiler ve Organizasyon Hizmetleri Bölümü-Usta Öğretici

Erasmus+ Projeleri:

- 2015- “Hobby+Creativity =Successful Business”
Jovariskes,Trakai district, LITHUANIA
- 2017- “Get Your Crayon-Color In Tomorrow”
Jovariskes,Trakai District, LITHUANIA

Tübitak Projeleri:

- 2018-Bilim Fuarı 4006
“Ama Biz Onları Hatırlıyoruz”

Sosyal Sorumluluk Projeleri:

- Sahne Mucizesi-2019
- Yeşil Aşkına-2019
- Engelsiz Yeşeren Umutlar-2019
- Kuşaktan Kuşağa Mutluluk-2019

