

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

**SES MASKELEME SİSTEMLERİ VE BİR AÇIK PLAN OFİSİN AKUSTİK
ANALİZİ**

Hazırlayan:

Tolga ÇEVİK

Danışman:

Dr. Öğr. Üyesi Serhat DURMAZ

İzmir / 2025

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ses Maskeleye Sistemleri ve Bir Açık Plan Ofisin Akustik Analizi” 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

... / ... / ...

Adı SOYADI

Tolga Çevik

İmza

TUTANAK

Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü' nün...../...../ tarih ve..... sayılı toplantısında oluşturulan jüri, Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği' nin.....maddesine göre Müzik Teknolojisi Bilim Dalı öğrencisi Tolga Çevik'in '**Ses Maskeleme Sistemleri ve Bir Açık Plan Ofisin Akustik Analizi**' konulu tezi incelenmiş ve aday// 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 üyelerine sorulan sorulara verdiği cevaplar değerlendirilerek tezin..... olduğuna oy..... ile karar verilmiştir.

BAŞKAN

ÜYE

ÜYE

ÖZET

Aktif ses maskeleye, konuşma gizliliği ve ekonomik üretkenliği daha verimli hale getirmek amacıyla ofis ve benzeri mekânlardaki ortam sesleri ve çalışanlar için dikkat dağıtıcı gürültülerin algılanmasını minimum seviyeye indirmek, baskılamak amacıyla belirli frekans ve özellikteki seslerin ortama uygulanmasıdır. Ses maskeleye yönelik önlem alma ihtiyaçları 1970’li yıllarda açık plan ofislerdeki gürültü sorunları nedeniyle ortaya çıkmıştır. Açık plan ofis konseptinin mimari tasarımları ile gündeme gelen ses maskeleye ihtiyacı projelere dâhil edilmiş, mimarların 60’lı yılların yaklaşımıyla yaptığı ofis tasarımlarında, ofis içi doğal faaliyetler ve arka plan seslerinin maskelenmesi için mevcut yalıtım tekniklerinin yeterli olacağı düşünülmüştür. Öte yandan ofis gürültülerinin aynı zamanda çalışanlar üzerinde bir isteklendirme dürtüsü yaratabileceği, çalışmayı teşvik edici özelliğe sahip olabileceği de düşünülmekteydi. Bu düşüncenin pek de geçerli olmadığı anlaşıldı ve kısa sürede terk edildi. Ofis gürültülerinin çalışanlar üzerinde fiziksel, psikolojik ve konuşmaların gizliliği anlamında olumsuz sonuçlar yarattığı bilinmektedir. Diğer taraftan bu durum özellikle tasarım, üretim gücü ve maliyet anlamında bazı avantajlar da sağlayabilir. Günümüzde açık plan ofislerin tercih edilmesinin önemli nedenleri arasından yapı malzemelerinden, maliyetten tasarruf; ofis direktörlerinin çalışanların performansını yakından izlemek ve maksimum ekonomik karlılığın sağlanmasıdır.

Yönetici ofislerin bağımsız mekânlar şeklinde tasarlanması halinde üst düzey konuşmaların gizliliği bakımından erken dönemlerde çok fazla maskeleye ihtiyacı oluşmamıştır. Bugün açık planlı ofis mekânlarında çalışanların sayısı, kentleşme ve gelişen teknolojilerin katkısıyla gürültü sayılabilecek sesler oldukça yoğun olabilmektedir. Bugün artık açık plan ofis ortamlarında gürültü ve üst düzey veya çalışanları olumsuz etkileyecek türden konuşmalarda gizliliği kontrolünün denetim altında tutulması kaçınılmaz.

Çalışma ortamı içerisindeki konuşma ve diğer gürültülerin kontrolü sadece ortam akustiği üzerinde yapılacak birkaç akustik iyileştirme ile kontrol edilememektedir. Çalışma ortamında gizlilik ve gürültü kontrolünü sağlamak yeterli değildir; konuşmaların

belirli mesafelerdeki kişiler arasında anlaşılmaması ve çalışanlar üzerindeki fiziksel ve psikolojik etkilerin de minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı aktif ve pasif ses maskeleme sistemlerinin nasıl çalıştıklarını incelemek, akustik tasarım ve parametrelerle ilişkisini ele alarak bir açık plan ofis örneği üzerinde bu maskeleme sistemlerini sonuçları ile analiz etmektir.



ABSTRACT

Active sound masking is the application of sounds of certain frequencies and characteristics to the environment to minimize and suppress the perception of ambient sounds and distracting noises for employees in offices and similar spaces to make speech privacy and economic productivity more efficient. The need for sound masking measures emerged in the 1970s due to noise problems in open-plan offices. The need for sound masking, which came to the agenda with the architectural designs of the open-plan office concept, was included in the projects. The office designs made by the architects with the approach of the 60s, it was thought that the existing insulation techniques would be sufficient to mask the natural activities and background sounds in the office. On the other hand, it was also thought that office noises could create a motivational impulse in employees and encourage them to work. This idea proved to be untrue and was soon abandoned. It is known that office noise has negative consequences on employees in terms of physical, psychological, and confidentiality of conversations. On the other hand, this situation can also provide some advantages, especially in terms of design, production power, and cost. Among the important reasons for the preference of open-plan offices today are the saving of building materials, cost savings; and office directors to closely monitor the performance of employees and to ensure maximum economic profitability.

If executive offices are designed as independent spaces, there was not much need for masking in the early periods in terms of the confidentiality of high-level conversations. Today, the number of employees in open-plan office spaces, urbanization, and the contribution of developing technologies can be quite intense. Today, it is inevitable to keep confidentiality control under control in open-plan office environments in terms of noise and high-level conversations that may adversely affect employees.

The control of speech and other noise in the working environment cannot be controlled only by a few acoustic improvements to the ambient acoustics. It is not enough to provide privacy and noise control in the work environment; conversations should not be understood between people at certain distances and the physical and psychological effects on employees should be minimized. The aim of this study is to examine how active and passive sound masking systems work and to analyze the results of these masking systems on an open-plan office example by considering their relationship with acoustic design and parameters.

ÖNSÖZ

Bu tez, modern çalışma ortamlarında artan *açık plan ofis* trendinin yarattığı akustik sorunlara odaklanmaktadır. Özellikle gürültü kirliliği, konuşma gizliliği eksikliği ve konsantrasyon kaybı gibi problemler, ofis verimliliğini ve çalışan memnuniyetini ciddi şekilde etkilemektedir. Ses maskeleyme sistemlerinin bu sorunlara nasıl çözüm sunabileceğini araştırmak, benim için hem teknik hem de sosyal açıdan büyük bir anlam taşıyor. Bu süreçte, bir açık ofis örneği üzerinde yaptığım akustik simülasyon analizleri, ses maskeleyme teknolojisinin işlevselliğini somut verilerle ortaya koymamı sağladı.

Yüksek lisans sürecimde aldığım eğitim ve edindiğim akademik bilgilerin bir ürünü olan bu çalışmada bana rehberlik eden, değerli görüşleriyle çalışmamı şekillendiren desteğini, bilgisini ve rehberliğini bir an olsun esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Serhat DURMAZ' a en derin şükranlarımı sunarım. Kendisinin sabrı, bilgeliği ve cesaretlendirmesi olmasaydı bu süreci tamamlamak mümkün olmazdı.

Bu zorlu süreçte bilgilerini ve görüşlerini benimle paylaşan Müzik Teknolojisi Bilim Dalındaki değerli hocalarım Prof. Dr. Feridun ÖZİŞ, Prof. Dr. Cihan IŞIKHAN ve Doç. Dr. Suat VERGİLİ 'ye verdikleri teknik ve akademik destek için içtenlikle teşekkür ederim.

Son olarak, bu tezin açık plan çalışma alanlarındaki gürültü kontrolüne ve çalışanların motivasyonunu arttırmaya dair çözüm önerileri sunacağına inanıyorum. Ayrıca mimari akustik bilimine mütevazı bir katkı sunmasını ve gelecek araştırmacılara ilham vermesini umuyorum. Tüm öğrenim hayatım boyunca ve tez çalışmamı tamamlama sürecinde benden desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tolga ÇEVİK

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ	ii
TUTANAK.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ	xiv
KISALTMALAR	xvi
GİRİŞ.....	1
KAPSAM VE AMAÇ.....	1
YÖNTEM.....	3

1.BÖLÜM

GENEL KAVRAMLAR

1.1. Literatür Özeti	5
----------------------------	---

1.2. Ses ve Gürültü	6
1.3. Temel Kavramlar	9
1.3.1. Algıda maskeleye	9
1.3.2. Frekans Maskeleye	11
1.3.3. Zamansal Maskeleye	11
1.4. Kriterler	12
1.4.1. Gürültü Kriteri	13
1.4.2. Dengeli Gürültü Kriteri	14
1.4.3. Oda Kriteri	16
1.4.4. Konuşmanın Gizliliği	17
1.4.5. Sinyal-Gürültü Oranı	17
1.4.6. Artikülasyon	18
1.4.7. Lombart Etkisi ve Vocal Effort	19
1.4.8. Konuşma anlaşılabilirliği indeksi	23
1.4.9. Konuşma İletim İndeksi	24
1.4.10. Çınlama Süresi	25
1.4.11. Arka Plan Gürültü Seviyesi ($L_{p, A, B}$)	26
1.5. Açık Plan Ofis için Parametreler	27
1.5.1. Konuşmanın Uzamsal Bozulma Oranı ($D_{2, s}$)	28
1.5.2. Konuşma Gizliliği Mesafesi (r_p) ve Dikkat Dağınıklığı Mesafesi (r_D)	28
1.5.3. Konuşmada Uzamsal Bozulma Oranı ($D_{2, s}$)	29

1.5.4. Ses Basınç Seviyesi (L_p , A, S, 4 m).....	x 29
1.5.5. Ölçüm Verileri İçin Hedef Değerler.....	29

2. BÖLÜM

ELEKTRONİK SİSTEMLER

2.1. Akustik Elemanlar ve Akustik Performans	32
2.2. Elektronik Sistemler	33
2.2.1. Sistem Özellikleri	34
2.2.2. Örnek Sistem Kurulumları	36
2.3. Sistemde Kullanılan Elektronik Gürültü Türleri	40
2.3.1. Beyaz Gürültü	40
2.3.2. Pembe Gürültü.....	40
2.3.3. Hedef Spektrum Gürültüsü.....	41

3. BÖLÜM

AÇIK PLAN OFİS ÖRNEĞİ

3.1. Yöntem ve Ön kabuller	45
3.1.1. Malzeme Atamaları	47
3.1.2. Kaynak ve Alıcı Noktaları.....	49

3.1.3. Senaryo 1	50
3.1.4. Senaryo 2	52
3.1.5. Senaryo 3	55
SONUÇ	58
KAYNAKÇA	61
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1- Açık plan Ofislerde Ses Kaynakları.....	8
Şekil 2- Frekans alanında maskeleme etkisi (Durmaz, 2020).....	11
Şekil 3- Zaman alanında maskeleme etkisi (Durmaz, 2024: 41).	12
Şekil 4- Gürültü Derecelendirme (NR) Eğrileri (Hansen, 2021: 90).	13
Şekil 5- Gürültü Kriteri (NC) Eğrileri (Brüel, Kjaer, 1978).	14
Şekil 6- Dengeli Gürültü Kriteri eğrileri (NCB) (Beranek, 1989).	15
Şekil 7- Oda Kriteri Spektrumu (Mehta, Johnson, Rocafort: 1999)	16
Şekil 8- Konuşmacının 1 m önündeki konuşmayı oluşturan sesler ve frekanslar	18
Şekil 9- Artikülasyon İndeksi ve Konuşma Anlaşılabilirliği İlişkisi (Moeller 2015).	19
Şekil 10- Konuşma seviyesi ve ortam gürültü seviyesi ilişkisi. (ISO 2003).	21
Şekil 11- Erkek konuşmacının ortalama konuşma spektrumu çizelgesi (ANSI 1997) ...	21
Şekil 12- 70 cm'den yüksek ekranlar konuşmanın gizliliğini sağlamada etkilidir (Kaynak: www.biamp.com).....	33
Şekil 13- Emiciliği ve geçirgenliği yüksek ekranlar ses iletimini engellemede etkilidir (Kaynak: www.biamp.com).....	33
Şekil 14- Açık Tavan ve Plenum Maskeleme Hoparlörü (Kaynak: www.softdb.com). 35	
Şekil 15- Doğrudan Maskeleme ve Çağrı Hoparlörlerine örnekler (Kaynak: www.atlasied.com).	35
Şekil 16- Gömme veya yüzeye monte edilmiş yayıcılar (üstte), doğrudan kullanımı (altta) (Kaynak: Biamp Systems, www.biamp.com).	36

Şekil 17- Bir açık plan ofis için örnek sistem tavan yerleşimi (Kaynak: www.softdb.com)	37
Şekil 18- Uygulama projeleri örnek blok şemaları (Kaynak: www.softdb.com)	38
Şekil 19- Dar Bantlı Beyaz Gürültü Spektrumu.....	40
Şekil 20- Dar Bantlarda Pembe Gürültü Spektrumu	41
Şekil 21- Beyaz – Pembe Gürültü Spektrumları (Everest, Pholmann, 2009).....	41
Şekil 22- Üçüncü Oktav Bantlarında Rastgele Gürültü Ses Maskeleme Spektrumu	42
Şekil 23- Açık plan ofisin 3D modeli (ODEON).....	46
Şekil 24- Kaynak noktalarının odeon yerleşimleri (üstte-kırmızı), Alıcı noktalarının odeon yerleşimleri(alтта-mavi)	50
Şekil 25- Alcons, STI regresyonu (üstte), konuşma frekanslarının SPL dağılımı (altta)51	
Şekil 26- Alcons, STI regresyonu (üstte), konuşma frekanslarının SPL dağılımı (altta).	54
Şekil 27- Alcons, STI regresyonu (üstte), maskeleme gürültüsü SPL dağılımı (altta) ...	57

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1- Gürültü dereceleri ve sağlık üzerindeki etkileri (Durmaz, 2024).....	8
Tablo 2- AI Değerine Karşılık Gelen Anlaşılrlık ve Gizlilik Seviyeleri.....	19
Tablo 3- Erkek konuşmacı için A-ağırlıklı SPL değerleri (ISO 9921, 2003).....	22
Tablo 4- Farklı ses yüklenmelerine göre oktav bantlarında konuşma spektrumları (ANSI 3.5; Rindel, 2014 :4).	22
Tablo 5- AI ve SII Değerleri Açısından Konuşma Gizliliği Kriterleri	23
Tablo 6- STI, konuşma anlaşılrlığı ve konuşma gizliliği (Hongisto, 2005)	25
Tablo 7- Ofis ve benzeri alanlarda akustik performans sınıfı C-D için (A sınıfı özel değerlendirilir) izin verilen maksimum çınlama süreleri (BGKKHY, 2017: EK 6).	26
Tablo 8- Akustik performans sınıfına göre izin verilen mekân iç gürültü düzeyleri (Açık planlı ofisler için LAeq sınır değerleri) (BGKKHY)	27
Tablo 9- Açık plan ofislerde gizlilik için akustik koşullar	30
Tablo 10- TS EN ISO 3382-3 Parametreleri ve kabul değerleri.....	47
Tablo 11- Senaryo 1-3 için tanımlanan malzemeler ve emicilik değerleri (63-8000Hz).	48
Tablo 12- Yukarıdan aşağıya (ODEON): Senaryolara uygulanan kaynak noktaları (A-D) (x, y, z); üç hat olarak, on sekiz Alıcı noktası için koordinatlar (R1, R2, R3) (x, y, z).	49
Tablo 13- Senaryolara uygulanan oktav band arka plan gürültü seviyeleri.....	50
Tablo 14- Kaynağa göre AI ve STI değerleri	51
Tablo 15- Senaryo 1 için toplu sonuçlar.....	52
Tablo 16- Senaryo 2 için toplu sonuçlar.....	53

Tablo 17- Kaynağa göre AI ve STI değerleri	53
Tablo 18- Senaryo 3 için toplu sonuçlar	55
Tablo 19- Kaynağa göre AI ve STI değerleri	56
Tablo 20- Senaryoların toplu sonuçları	57



KISALTMALAR

AI –Articulation Index

Alcons – Articulation loss of consonants

ANSI- The American National Standards Institute

ASA- The Acoustical Society of America

ASTM- American Society for Testing and Materials

BGKKHY- Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik

BN- Background Noise,

ÇGKY- Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği

dB – Desibel

dBA- A ağırlıklı desibel

HVAC- Heating, ventilation, and air conditioning

ISO – International Organisation for Standardization

L_A – A Ağırlıklı Ses Basınç Seviyesi

L_{Aeq} – A Ağırlıklı Eşdeğer Gürültü Seviyesi

M-Metre

NC – Noise Criteria

NCB – Balanced Noise Criteria

NR – Noise Rating

RT- Reverberation Time

SII- Speech Intelligibility Index

SPL- Sound Pressure Level

STI –Speech Transmission Index

sn-Saniye

ms-Milisaniye

TS EN- Türk Standartları Enstitüsü



GİRİŞ

Açık plan tasarımına sahip ofislerde gürültü genellikle HVAC sistemler, telefon görüşmeleri, çalışanların kendi aralarında konuşmalarından gelir. Ofis gürültüleri insanların dikkatini dağıttığı, çalışanların ve yapılan işin verimliliğini olumsuz etkilediği için önemlidir. Kalabalık ofislerde klasik anlamda ses sönümlenmesinin kontrolü ile çözülebilecek sorunların ötesinde farklı akustik parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, çınlama süresi çok kısa olduğunda ofisin uzak noktasında sesler anlaşılır düzeyde olabilir ve dikkat dağılma oranı yükselir. Bu bazen istenmeyen bir durumdur. Diğer taraftan uzun bir çınlama süresine sahip ofiste anlaşılabilirlik düşer fakat gürültü oranı yükselir. Bilgisayar destekli çalışmalar, aşırı emici bir ofisin gürültü algısı ve iş performansı üzerinde olumsuz etki yaptığını göstermiştir (Balazova vd. 2008: s.17-22). Arka plan gürültüsü de ne çok düşük ne çok yüksek olmalı, sessizliğin tedirginliğine neden olunmamalıdır (Acun, Yılmaz. 2018: s 29).

Çok sayıda insan aynı anda konuştuğunda belirli bir mesafeden sonra artık ne dedikleri anlaşılabilir olmaz. Bu durumda ortamda konuşmaların da karıştığı bir arka plan gürültüsünden söz edilir; yeterince karışık ve yüksek olduğunda yakın kişiler üzerinde dikkat dağıtma anlamında faydalı etkileri bulunmaktadır. Dikkatin dağılma mesafesini ofisin fiziksel koşulları belirlediği için, bu mesafe içinde bulunan kişilerin dikkatlerinin dağılabileceği öngörülmektedir. Bu dairenin dışında kalanlar için konuşmalar anlaşılması zor bir gevezelik olarak algılanacaktır. Dikkat dağıtan kaynakları en aza indirip maskeleyen gürültüleri üst seviyeye çıkartmak dikkat dağıtma mesafesini olabildiğince küçültecek, etki çemberini daraltacak, başarıyı artıracaktır. Uzun ve dar ofislere göre geniş ofislerin daha başarılı sonuçlar verdiği de öne sürülmektedir.

KAPSAM VE AMAÇ

Açık plan ofislerdeki aktif ses maskeleyen sistemleri sadece ortamda konuşma mahremiyetini sağlamak değil aynı zamanda çalışanların gürültü sebebiyle maruz kaldıkları olumsuz sağlık koşullarında iyileştirme yapmak amacıyla geliştirildiler.

Başta Moeller olmak üzere pek çok uzman bu konuda arka plan ses kontrolüne

dikkat çekmişlerdir. Arka plan sesinin ofis içerisindeki akustik ve psikoakustik sorunların çözümü ve genel konfor için kritik bir değer olduğu kabul edilmektedir. Ortam gürültüsü, konuşma, görüşmeler, telefon, bilgisayar gibi kaynaklar, HVAC gürültüsü, ayak sesleri, maskeleme sisteminden gelen kontrollü gürültü gibi pek çok sesle birlikte bulunabilir.

Konuşmanın gizliliği önemli bir noktadır. Yapılan araştırmalar açık plan ofislerdeki en yüksek ve rahatsız edici sesin konuşma sesi olduğunu ortaya koyar. Yeteri kadar önlem alınmamış her açık plan ofis tasarımı konuşma seslerinin yaratacağı olumsuz sonuçlar kaçınılmazdır. Konuşma dışında kalan diğer sesler ise açık plan ofisin mimari yapısı ve kullanıcıların alışkanlıklarına göre değişebilmektedir (TS EN ISO 3382-3, 2012). Uzmanlar akustik konforu yakalamak için yutma, perdeleme, maskeleme (ABC: Absorb-Block-Cover) kuralını sıklıkla kullanır. Bu kuralın içerisinde aktif ses maskeleme sistemlerini kullanmak önemli bir yer tutar (Hongisto vd. 2004: 481; Xun, 2016: 2).

Bu çalışmada açık plan ofislerde personel konuşma faaliyetleri sonucunda oluşan gürültülerin önce pasif akustik önlemler ile ne kadar kontrol edilebileceği sonra elektronik sistem destekleri kullanarak alınan aktif akustik önlemler sonucunda konuşma gizliliğinin ne kadar sağlanabileceği bir model üzerinde araştırılmıştır. Pasif akustik önlemler için TS EN ISO 3382-1 ile tanımlanan temel akustik parametreler, elektronik sistem destekli önlemlerde ofisler için özel parametreleri tanımlayan TS EN ISO 3382-3 standardı, konuşma anlaşılabilirliği için ANSI 3.5 standartları esas alınmıştır. Havalandırma gürültüleri için evrensel NC eğrileri, özel konuşma gürültüleri için standartta verilen konuşma spektrumu, elektronik uygulamalar sırasında ise pembe gürültü spektrumu ve konuşma spektrum toplamı kullanılmış, önce akustik konfor maskeleme sonrası ise konuşma gizliliği adına ulaşılan akustik değerler incelenmiştir. Sonuçlar pasif akustik müdahale ve aktif elektronik maskelemenin birlikte kullanılması durumunda ortamda gürültü yönetimi ve konuşma gizliliğinin sağlanmasının daha verimli bir hale geldiğini model üzerinde göstermiştir.

YÖNTEM

Bu çalışmanın yöntemi üç aşamada gerçekleştirilecektir. İlk aşamada bir açık plan ofis örneği akustik anlamda hiçbir önlem alınmadan salt ofis olarak hazırlanarak kullanıma açılmış hali ile incelenecektir. İkinci aşamada hacim içi akustik parametrelerin uygunluğunu sağlamak için gereken temel akustik önlemler alınacak ve modelleme üzerinden elde edilen sonuçlar izlenecektir. Son aşamada ise aktif elektronik maskeleme sistemleri devreye alınacak, çalışanlar üzerindeki etkisi, ofisin gizlilik ve konuşma anlaşılabilirliğindeki başarısı ve gizlilik parametrelerinin değerlendirilmesi yapılacaktır. Bu çalışma gerçek saha ölçümlerini kapsamaz. Üç boyutlu modelleme teknikleri ile nicel değerlendirmeye dayalı bir çalışma olup yukarıda belirtilen TS EN ISO ve ANSA/ASA gibi uluslararası standartların gösterdiği yöntemleri uygular.



1. BÖLÜM

GENEL KAVRAMLAR

1. BÖLÜM

GENEL KAVRAMLAR

1.1. Literatür Özeti

Klasik anlamda açık plan ofis tasarımlarının temelleri 60'ların sonları ile 70'li yılların başlarında özellikle Almanya, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri'nde atılmıştır. 1968'de "Action Office 2" adıyla Robert Propts tarafından tasarlanan ve Hermann Miller Inc tarafından üretilen açık plan ofis sistemleri türünün ilk uygulamaları olarak bilinmektedir (Kaufmann-Bühler, 2021). Açık plan ofisler ses maskeleme sistemlerinin bir ihtiyaç şeklinde algılanması ve çağdaş bir gereklilik olarak kabul edilmesinde hayli etkili olmuş bir unsur olarak kabul edilmektedir.

Ofislerin akustik konforu üzerine ilk çalışmalar araştırmacıları işitmede maskeleme konusuna yöneltti. Önceleri çalışanların gürültüsünün yoğun çalışma temposu imajı oluşturarak bir isteklendirme aracı şeklinde kullanılabileceği bunun lokomotif bir unsur olabileceği; arka plan gürültüsü haline gelen bu etkinin doğal bir ses maskeleme özelliğine sahip olduğu da öne sürüldü. Fakat bu tür bir yaklaşım ile kabul edilen maskelemenin seviyesi ve spektrumunu ayarlamak zor hatta günün koşulları ile imkânsızdı (Hongisto, 2008).

Maskeleme sesinin elektronik sistem desteği ile üretilmesinden ilk olarak 1969 yılında bahsedilir. Sektörlerde ekonomik rekabetin artması, pazarın büyümesi, seçeneklerin genişlemesi, kapalı ortamlarda yoğun çalışma tempoları ve iş hacminin artması nedeniyle iç ortam gürültüleri de artmış; uzun süren mesailer, dikkat dağıtıcı, yorucu, rahatsız edici, ticari sırların mahremiyeti hatta para kaybına neden olabilen bir sorun haline geldiği kabul görmeye başlamıştır (Hongisto, 2008).

Ofis içi konuşmalar ve HVAC gürültülerinin konuşma gizliliği için yeterli olacağı düşünülse de zamanla böyle olmadığı anlaşılmış, daha özel bir uygulamanın, bir gürültü kaynağının varlığına ihtiyaç duyulmuşur. Bu yeni gürültü tipi belirli sesleri

baskılayacak, akustik konforu bozmayacak ama aynı zamanda konuşma gizliliğini de sağlayacak özellikte olmalıdır (Bruyninckx, 2023; Raichel, 2006: 226).

Mansell (2017) gürültünün çalışma verimi ve insan sağlığı üzerinde olumsuz bir unsur oluşturduğunun altını çizerek. Mimarlar ve proje mühendisleri 60'lı ve 70'li yıllarda ofislerdeki gürültü maskeleyi, ofis iletişim mahremiyetini, odaklanma sorunlarını ve iş gücü kayıplarını en aza indirmeye yönelik yeni bir teknoloji olarak tanıtmaya başlarlar (Bruyninckx, 2022: 13).

Artık ofisler inşası bitmiş, kullanıma hazır dört duvarlı birer hacim olmaktan çok, gürültüye karşı akustik uzmanları tarafından müdahale edilmesi gereken, mekân akustiği ve anlaşılabilirliğe etki eden önemli unsurları barındıran ve üzerinde bu anlamda çalışılmayı hak eden özel mekânlar olarak algılanmaya başlandı. Erken örneklerinde pasif akustik emici malzemeler ile çınlamanın ve seslerin kontrol altına alınması böylece ofis çalışanlarına verilen rahatsızlığın önüne geçilmesi şeklindeki uygulamalardır. Ancak bu uygulamalar ofis içinde dolaşan bir yönetici/personel gibi hareketli bir kaynağın çıkardığı seslerin yakın konumlarda çalışanlar üzerindeki gizliliğini sağlamakta yetersiz kalıyordu. Yeni yeni biçimlenmeye başlayan aktif yöntem işitme algısında maskeleye, gelişen teknolojik aygıtlar ve elektronik gürültü üreteçleri kullanımı aktif maskeleye sistemlerinin önünü açtı.

1.2. Ses ve Gürültü

Ses, hava basıncındaki hızlı dalgalanmalardan kaynaklanan ve insan kulağı tarafından algılanan duyumdur (Brüel Kjaer, 1978: 9). Esnek madde ortamında partiküller bir etki ile titreşir ve bu titreşimler kulak aracılığı ile algılanıp duyma merkezi yardımıyla değerlendirilebilirse sonuç “ses” olarak nitelendirilebilir.

Gürültü (noise) istenmeyen, rahatsız edici ya da sağlığı tehdit eden seslerdir. Gürültü yönetmeliğine göre gürültü “Gelişigüzel bir yapısı olan bir ses spektrumu ve sübjektif olarak istenmeyen ses” dir. Gürültünün tanımı bakış açısına göre farklı şekillerde yapılabilir. Örneğin, Hartmann (2007: 518) gürültüyü “istenmeyen herhangi bir sinyal” olarak tanımlar. Fiziksel olarak nesnel, bilişsel açıdan öznel bir kavramdır

gürültü; kişiye, kültüre, ortama, amaca, ihtiyaca göre değişir. Gürültü diğer çevresel faktörlere benzemez. Havada yayılmasına rağmen hava kirletici gibi görülmez. Sağlık üzerindeki etkileri yavaş fakat kalıcı olabilir (Durmaz, 2024: 43).

Gürültünün işitme ve insan sağlığı üzerinde fizyolojik, psikolojik ve sistemik açıdan olumsuz etkileri bulunmaktadır. Açık plan ofislerde gürültü en yaygın şikâyet nedenlerinden biridir. Gürültüye karşı akustik önlem alınmamış işyerlerinde telefonlar sesleri, çalışanların seviyesi giderek artan konuşmaları istenmeyen gürültü kaynaklarından sayılır. İlgili-İlgisiz, yüksek sesli konuşmalar akustik açıdan dikkat dağıtıcıdır, algıyı etkileyebilir, performansı ve işine yoğunlaşmaları engelleyebilir (Evans, Johnson, 2000). Genel olarak, tüm ofis türlerinde görülebilen hem iç hem de dış gürültü, çalışan performansını etkilemekte ve uzun vadeli sağlık sorunları riskinin yanı sıra stres ve kaygıya da yol açmaktadır. Açık ofis gürültüsü kaynaklarının, çalışanlarda yorgunluk, motivasyon düşüklüğü ve performans kaybı gibi olumsuz etkilere neden olduğu açıkça belirlenmektedir (Al Horr vd., 2016). Ofis çalışma ortamında özellikle sözlü iletişimi kesintiye uğrattığında bu bir rahatsızlık olarak kabul edilir. Bu durumu Hongisto (2008) gürültünün yükselmesi, performansın azalması ile ilişkilendirmiştir. Bu nedenlerle gürültü yönetmeliğinde açık plan ofislerin gürültü seviyesinin 40-48 dB aralığında olması gerektiği belirtilmektedir (BGKKHY, 2017).

Ofis ortamında gürültünün olumsuz etkileri şöyle özetlenebilir:

1. Zayıf ofis akustiği iş verimliliği, iyi olma (Well-Being), çalışan sağlığı ve iş güvenliği üzerinde önemli etkilere sahiptir
2. Stresin yanı sıra yüksek tansiyon, sindirim bozuklukları, baş ağrıları ve ülser gibi sorunlarla ilişkilendirilmiştir (CISCA, 2016)
3. Ofislerin akustik özellikleri çalışanların davranışlarını, duygusal durumlarını ve iş verimliliklerini olumsuz etkileyebilir (Maher & von Hippel, 2005)

Tablo 1- Gürültü dereceleri ve sağlık üzerindeki etkileri (Durmaz, 2024)

Gürültü derecesi	Etkilenme (dBA)	Sağlık üzerindeki etkileri
1. Derece	30-65	Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, kızgınlık, uyku düzensizliği, işe yoğunlaşma bozukluğu
2. Derece	65-90	Fizyolojik tepkiler: kan basıncı artışı, kalp atışı ve solunum hızlanması, ani refleksler, beyin sıvısında değişimler
3. Derece	90-120	Fizyolojik tepkiler: baş ağrıları
4. Derece	120-140	İç kulakta kalıcı hasar, denge yitimi
5. Derece	>140	Ciddi beyin hasarı, kulak zarının yırtılması

Açık plan ofislerde birçok ses kaynağı olmakla birlikte özellikle konuşma sesleri, dışarıdan gelen gürültüler ve HVAC gibi sistemlerden kaynaklı sesler çalışanlar üzerinde en fazla rahatsızlığa sebep olan ses kaynaklarıdır. Bunun başlıca sebebi gün boyu bu seslerin devamlılık gösteren nitelikte olmasındandır.

**Şekil 1-** Açık plan Ofislerde Ses Kaynakları

HVAC sistemler çok fazla iletim yolu ve ses kaynağına sahiptir. Mekanik iletim yolları, pervaneler, motorlar, pompalar, hava kanalları, susturucular, bağlantı noktaları, türbülans, dönüş dirsekleri en ve kesit değişim noktaları, vanalar, delikler ve çıkışlardan kaynaklanan gürültüler... Bu sistemlerde çoğunlukla hava yolu ile iletim sağlandığı için

toplam gürültü seviyesi üzerinden ve TS EN 12354 standardına uygun karar verilmelidir (Durmaz, 2024: 57).

Dış kaynaklı gürültülerin kontrolünde *Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği* (ÇGKY, 2022) ve *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik* (BGKKHY, 2017) ile belirlenen sınır değerlere uyulması, binanın mevcut alanlarında gerekli mimari ve akustik önlemlerin ve iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

Konuşma gürültüsünün ofis çalışanları üzerinde olumsuz etkileri görülmektedir. Gürültü çalışanlar üzerinde strese bağlı sağlık sorunlarını da beraberinde getirmektedir (Kitapçı, 2018). Gizliliğin olmadığı açık plan ofis ortamlarında anlaşılan tüm konuşma sesleri, ofis gürültüsüne katkı sağladığı ve uzun vadede olumsuz psikolojik etkilerle beraber zayıf akustik koşullar ile birleştiğinde stresi arttırdığı tespit edilmiştir. Açık ofis gürültüsünün çalışan verimliliğini % 66'ya varan oranlarda düşürebileceği ortaya koyulmuştur (Treasure, 2009). Bellek kayıplarında artış, tepki sürelerinde uzama, karmaşık görevlerin başarı oranında %40'a varan azalma, motivasyon kaybı, ekip çalışması kalitesinde düşüş, öngörülemeyen gürültünün yarattığı kontrol kaybı hissi gibi sorunlar çalışanlar da uzun vadede tespit edilmiş başlıca belirtilerdir (Basrur, 2000; Haapakangas, 2018).

1.3. Temel Kavramlar

Burada, işitme ve algıda maskeleye ile ilgili kavramlar, ortam gürültüleri, arka plan gürültüsü ve gürültü ölçütleri, kalabalık konuşma ortamlarına ait akustik parametreler, sinyal gürültü oranı, konuşma anlaşılabilirlik ve iletim endeksi, çınlama süresi, açık plan ofis parametreleri gibi temel kavramlar özetlenecektir.

1.3.1. Algıda maskeleye

Hansen maskeleyemeyi, bir sesin diğer bir sesin algılanmasını engellemesi olarak tanımlar (2009: 81). Osborne için bu, "bir sesin, algılanışının başka bir sesin, yani maskeleyicinin varlığıyla bozulduğu süreçtir" (1987: 255). Genel olarak, seslerin frekans içeriğinin çakıştığı varsayılarak, daha yoğun bir ses az yoğun bir sesi, yoğun düşük

frekans az yoğun tiz frekansı maskeler (Şekil 1).

Gürültülü ortamda belirli seslerin duyulmasını engellemeye yönelik erken çalışmalar Wegel ve Lane (1924) tarafından gelmiş; 1953'te Fletcher tarafından yayımlanmıştır (Long, 2006: 92). Çalışmalar bir tonun yakındaki tonları maskeleydiği veya eşik değerlerini yükselttiğini gösterir. Bu durum, birbirinden uzak olan frekansların ayrı ayrı işlendiğinin kanıtı olarak kabul edilir.

Maskeleme, kaynak sesin başka yönden gelen genellikle daha yüksek olan başka bir ses tarafından örtülmesi ile gerçekleşir. Konuşma ile aynı anda gelen gürültü bileşenlerde kayıplara ve onu algı dışında bırakıp anlaşılamaz hale gelmesine neden olur (Berglund vd., 1999:9).

Zarei 'ye göre (2019) maskelemede gürültü spektrumu hedef sesin spektrumuna benzer olduğunda etkisi de artmaktadır. İlk gelen sesin geciken sesi maskelemesi yaklaşımıyla Haas etkisi ile de ilişkilendirilir. Konu sadece işitsel değil algısal olarak da işlenmektedir (Mehta vd., 1999:35).

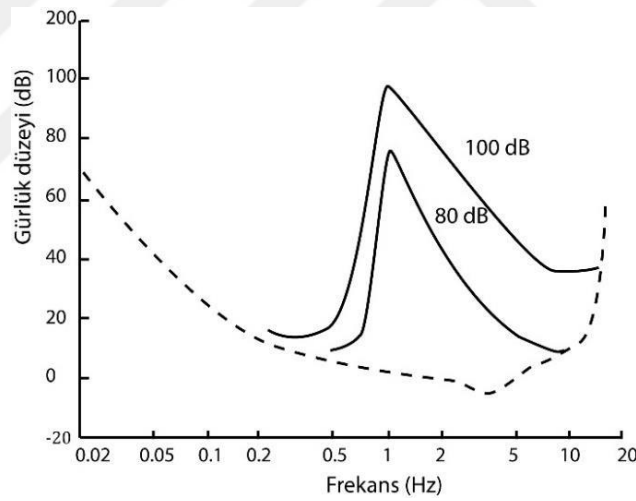
Maskeleme etkisine sebep olan sesler frekans alanına göre dar bantlı, geniş bantlı, zaman alanına göre sürekli, kesintili, darbeli yapıda olabilir (Durmaz, 2024: 41). Yapılan araştırmalar şu sonuçlara göstermektedir:

1. Dar bantlı gürültü, Corti organında daha geniş bölgeyi uyardığı için, aynı frekans ve gürlükteki yalın sestten daha fazla maskeleme etkisine neden olurlar.
2. Düşük ses seviyelerinde maskeleme, maskeleyen gürültünün orta frekans bölümünde dar bir band ile sınırlıdır. Maskelenen gürültünün seviyesi arttıkça, etkili olduğu frekans alanı da büyür.
3. Bir saf sinüs, kendi frekansından yüksek frekanstaki sesleri, düşük frekanslardaki seslere oranla daha etkin biçimde maskeler.
4. Maskeleme etkisi, maskeleyen gürültünün orta frekanslarına göre simetrik değildir. Orta frekanslara göre yüksek olanlar, düşük olanlara oranla daha kolay maskelenirler.

Konuşmanın gizliliği konusu ise algısal bir maskeleme işlemidir. Başka bir sesin ortaya çıkışı ile önceki sesi duyma eşiği seviyesinin yükselmesi ile ilgili bir algı durumudur (Durmaz 2020: 58-59). Günlük yaşamda algıda maskelemenin iki etkin alanı bulunur: Frekans ve zaman

1.3.2. Frekans Maskeleme

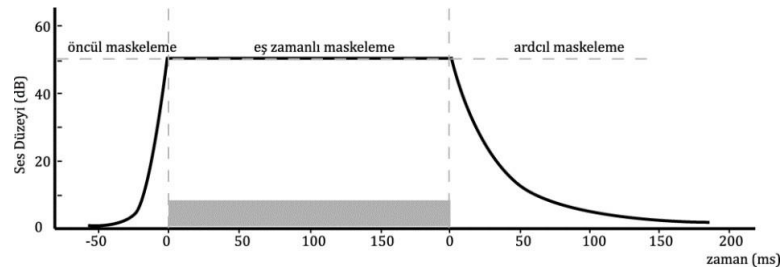
Frekans maskeleme özellikle frekansları birbirine yakın iki sesteki gür olanın daha düşük olan üzerindeki örtme etkisidir. Frekans-maskeleme ilişkisinde özellikle frekansların birbirine yakın olması ve sesin gürlük düzeyi önemlidir. Maskelemenin en etkili olduğu nokta yakın frekanslarda farklı genlikteki iki ses arasındadır. Frekans aralığının genişliği yüksek gürlükte olan sesin düşük gürlükte olan yakın frekanstaki diğer sesi daha çok maskelemesini sağlamaktadır (Durmaz, 2024: 41).



Şekil 2- Frekans alanında maskeleme etkisi (Durmaz, 2020).

1.3.3. Zamansal Maskeleme

Zamansal maskeleme başlangıç zamanları farklı olan, yüksek seviyeli sesin diğerini örtmesidir. Bir sesin algılanması sürerken tınlamaya başlayan daha gür başka bir sesin algıya katılması ile oluşur (Durmaz, 2024: 41).



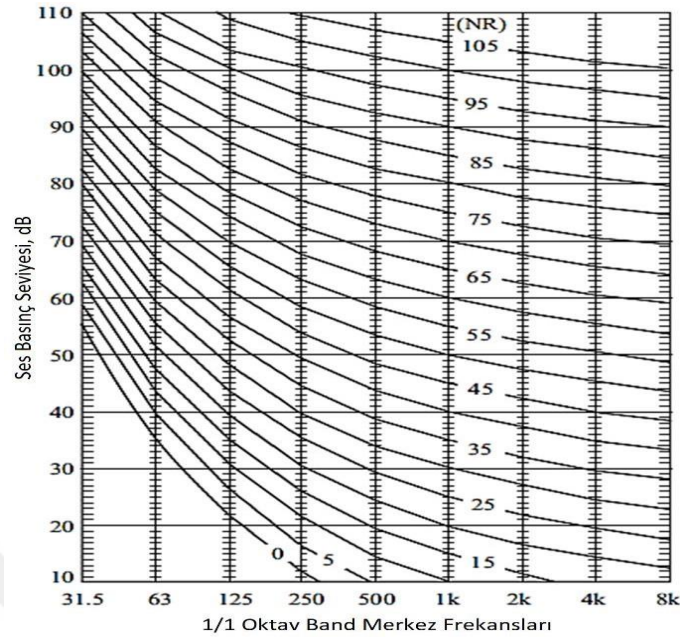
Şekil 3- Zaman alanında maskeleye etkisi (Durmaz, 2024: 41).

Zamansal maskeleyemeye silah atışı iyi bir örnektir. Güçlü bir ses sinyali, zamansal olarak öncesinde gelen başka bir (zayıf) sinyali maskeleyebilir. Bu tür maskeleye, zaman içinde geriye doğru gider ve bu nedenle pre-masking olarak adlandırılır ve etki, güçlü sinyalin başlamasından yaklaşık 20 ms öncesine kadar sınırlıdır. Güçlü bir sinyalin, ardından gelen başka bir (zayıf) sinyali maskeleymesi durumunda ise maskeleye, zaman içinde ileriye doğru gider ve post-masking olarak adlandırılır. Etki, güçlü sinyalin bitiminden yaklaşık 200 ms sonrasına kadar sürer (Poulsen, 2007: 67).

1.4. Kriterler

Arka plan gürültü seviyesini değerlendirmek için 1962 yılında Kosten ve Van Os tarafından NR eğrileri geliştirilmiştir. Daha sonra bu eğriler 1973 'te ISO tarafından kabul edilmiş, çevresel ve endüstriyel gürültü seviyelerinin derecelendirilmesinde kullanılmıştır (Hansen, 2021: 90). İç mekânlarda havalandırma fanları gibi kaynaklardan yayılan gürültülerin değerlendirilmesinde kolaylık sağlar. NR eğrisindeki gürültü dereceleri her bir oktav bandında tanımlanır. Bir ölçüm kaydedildiğinde referans olarak NR eğrisine ve tüm oktav bantlarında etki ettiği maksimum gürültü seviyelerine bakılır. NR 0'dan 130'a kadar değişir. Genel amaçlı ofisler için NR 45 eğrileri önerilmektedir (ISO 1996-1; Brüel Kjaer, 1978).

Çevresel ve endüstriyel gürültü kontrolü, bina akustiği ve makine tasarımı gibi birçok alanda standart bir gürültü değerlendirme aracı olarak başvurulmaktadır. Bir gürültü kaynağının belirli bir frekansta ne kadar gürültü üretebileceğini ve bu gürültünün çevresel ve işyeri standartlarına ne ölçüde uygun olduğunu değerlendirmek için çok kullanışlı bulunmaktadır (Hansen, 2021: 90).

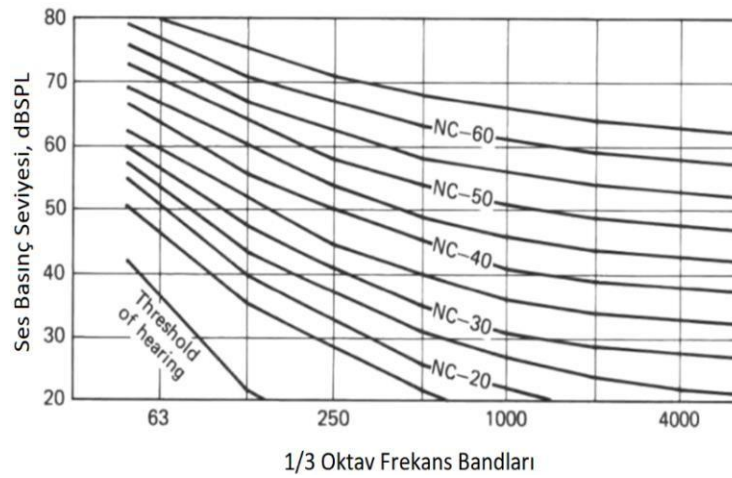


Şekil 4- Gürültü Derecelendirme (NR) Eğrileri (Hansen, 2021: 90).

1.4.1. Gürültü Kriteri

Gürültü Kriteri (NC) eğrileri 1950'lerin sonlarında teorik zemini L. L. Beranek tarafından atılmış ve insan algısına yönelik kullanılan eş gürülük eğrilerine benzer eğrilerdir. İç mekân gürültüsünü tarif etmek için uygun olan bu eğriler özellikle havalandırma kaynaklarından yayılan gürültülerinin değerlendirilmesi amacıyla Amerika'da yaygın kullanım alanına sahiptir (Brüel Kjaer, 1978: 87).

Gürültü Kriterleri özellikle ticari binalar için geliştirilmiştir ve her biri kendi derecelendirme numarasına sahip oktav bant spektrumdan oluşur. Ofis veya işyerinde ölçülen gürültü bu eğrilerle ifade edilir. NC seviyelerinin belirlenmesinde oda gürültüsü genellikle 1/3 oktav bantlarında ölçülür. NC seviyesi ne kadar yüksekse, ortam o kadar gürültülüdür. Spektrum farkları olsa da NC aynı derecelendirmeye sahip olabilir. Farklı frekans bantlarındaki ses basınç seviyelerinin toplamıyla ilgilenir ve genel bir gürültü seviyesi sunar. Örnek gerekirse, sakin bir oda NC-25, gürültülü bir oda NC-60 olarak değerlendirilir (Ermann, 2015: 152).



- NC-60 : Hiçbir ofis için önerilmez*
NC-50 : Büyük mühendislik ve çizim odaları
NC-40 : Orta büyüklükte ofisler, otel odaları
NC-30 : Özel ofisler, kütüphaneler
NC-20 : Yönetici ofisleri, banliyö evleri
Threshold of hearing: İşitme eşiği

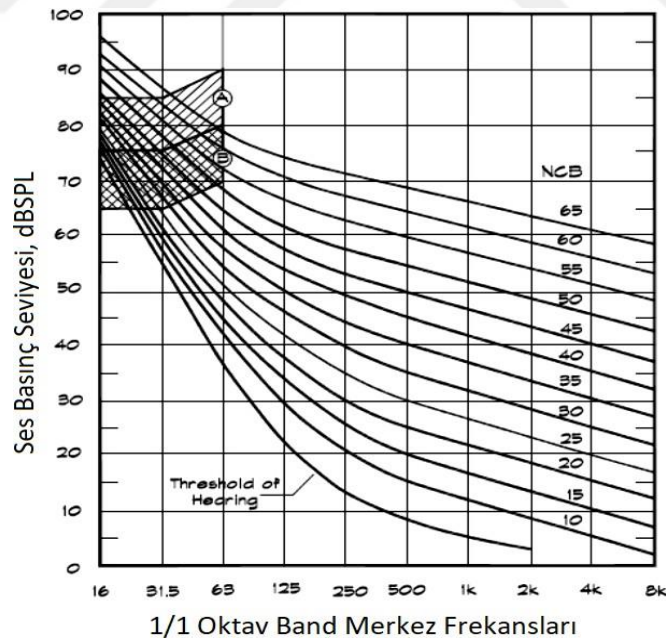
Şekil 5- Gürültü Kriteri (NC) Eğrileri (Brüel, Kjaer, 1978).

NC eğrileri konuşma algısı açısından önemli olan 1000, 2000 ve 4000 Hz' deki ilgili ses basınç seviyelerinin aritmetik ortalamasıdır. NC eğrisindeki değerler konuşma engelleme seviyesi olup, gürültünün konuşma anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerini gösterir.

1.4.2. Dengeli Gürültü Kriteri

1989'da Beranek, insanların olmadığı oda koşullarında kullanılmak üzere ilk kez Dengeli Gürültü Kriteri (NCB) eğrilerini tanıttı. Bu eğriler önceki NC eğrilerinin bir uzantısıydı ve insanların olmadığı alanlardaki gürültü seviyelerini değerlendirmek için özelleştirilmişti (Long, 2006: 139). NC eğrileri 63Hz'in altında kullanılabilir olmadığından Dengeli Gürültü Kriteri (NCB) eğrileri olarak, günümüzde kullanılmaktadır. ANSI/ASA S12.2-1995 ve güncellenen haliyle 2008 yılında standard ile tanımlanan bu eğriler, klima gürültüsü dahil olmak üzere çeşitli ortam seslerini dikkate alarak, bu ortamlarda konfor ve üretkenlik sağlamayı amaçlar. Bu eğriler NC eğrilerinin güncellenmiş halleridir. NC eğrilerinin aksine, NCB eğrileri daha geniş bir frekans aralığına sahiptir ve frekans spektrumunda 16 Hz ve 31 Hz bantlarında da değerlere

sahiptirler. Böylece gürültü değerlendirmelerinde alt frekans bölgesi etkin olarak kullanılmaktadır (Hansen, 2021). Beranek, insanların bulunduğu oda koşullarında düzenli çalışma etkinliklerinden kaynaklanan gürültü seviyelerinin değerlendirilmesini önermektedir. Bu seviyeler, NCB eğrisi ile karşılaştırılmadan önce insansız oda koşulunda HVAC gürültü seviyeleri ile birleştirilir, gürültü kriterlerinin karşılanması sağlanır (Long, 2006: 140). Arka plan gürültüsünün "gürleme" ya da "tıslama" karakterine sahip olduğunu belirlemek için, ölçülen gürültünün oktav bant ses basınç seviyeleri bir dizi NCB eğrisiyle karşılaştırılır. 500Hz oktav bandında veya daha düşük frekanslarda herhangi bir değer, ilgili NCB eğrisini 3dB'den fazla aşıyorsa, gürültü "gürleme" olarak etiketlenir. Gürültünün "tıslama" olup olmadığını değerlendirmek için ise 125Hz ile 500Hz arasındaki oktav band ses basınç seviyeleri için en uygun NCB eğrisi belirlenir. 1000Hz ile 8000Hz arasındaki herhangi bir oktav band ses basınç seviyesi, bu NCB eğrisini aşıyorsa, gürültü "tıslama" olarak derecelendirilir. Bu yöntem, farklı tipteki arka plan gürültülerini kategorize etmek ve değerlendirmek için kullanılır, daha iyi bir çevresel gürültü kalite kontrolü sağlamada yardımcıdır (Hansen, 2021).



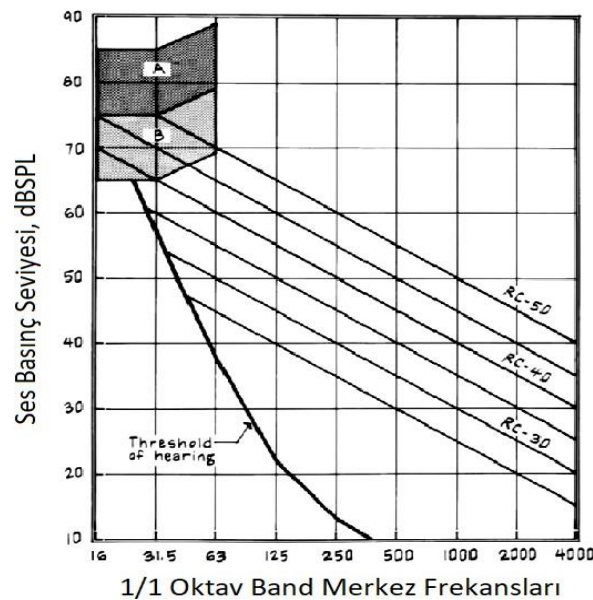
Şekil 6- Dengeli Gürültü Kriteri eğrileri (NCB) (Beranek, 1989).

1.4.3. Oda Kriteri

Oda kriterleri (RC), HVAC sistemlerinden kaynaklanan sürekli gürültüyü, ölçülen ses basınç seviyesi, frekans spektrumunun şekli, tonal içerik (istenmeyen vızıltı veya uğultu olmaması) ve düşük frekanslı zorlanmış titreşimler açısından değerlendirmek ve teşhis etmek için kullanılmaktadır.

RC yöntemi, HVAC sistem gürültüsünün değerlendirilmesinde detaylı bir yaklaşım sunar ve bu sistemlerin ses performansını optimize etmek için kullanılır. Bu sebeple iç mekanların akustik kalitesinin iyileştirilmesine de yardımcı olabilir. RC eğrileri, NC eğrilerine kıyasla gürültü ortamlarının daha kapsamlı bir değerlendirmesini sunar (Mehta vd., 1999: 165).

Ölçümü yapılan bölgedeki gürültü varlığı, duvarlarda ve tavanlarda gürültüye neden olan hafif titreşimlerin olasılığını gösterir, bu titreşimler hissedilir ve/veya çıtırta sesi olarak duyulabilir. Şekilde A bölgesi gürültünün varlığında yüksek olasılığı temsil ederken, B bölgesi ise bu tür titreşimlerin orta derecede var olma olasılığını temsil eder.



Şekil 7- Oda Kriteri Spektrumu (Mehta, Johnson, Rocafort: 1999).

1.4.4. Konuşmanın Gizliliği

Ofis akustik tasarımında öncelikli hedefin iyi bir akustik ve konuşma gizliliğidir. Konuşmaların gizliliğini ölçmek için komşu çalışma istasyonlarından gelen seslerinin anlaşılabilirliğinin değerlendirmesi gerekir. Anlaşılan kelimelerin oranı (SI), anlaşılmayan kelimelerin oranı (SP) ile aralarındaki ilişki:

$$SP=1-SI \quad (1.1)$$

Eşitliği ile ifade edilebilir (Bradley, Gover, 2003).

Gizlilik veya anlaşılabilirlik konuşma sinyalinin ortam gürültüsüne göre ne kadar yüksek olduğunu gösteren sinyal-gürültü oranı ölçümlerine dayanır. Konuşma ortam gürültüsüne göre yüksekse oldukça anlaşılır olacaktır. Açık ofislerde konuşma seviyesinin ortam gürültüsüne göre düşük olması istenir, böylece konuşma daha az anlaşılır olur veya konuşma gizliliği sağlanır.

Daha yüksek gürültü seviyeleri istenmeyen konuşma seslerini daha iyi maskeleyerek de yüksek gürültü seviyeleri bir rahatsızlık kaynağıdır ve bireylerin giderek daha yüksek sesle konuşmasına neden olabilir (Mehta vd., 1999).

1.4.5. Sinyal-Gürültü Oranı

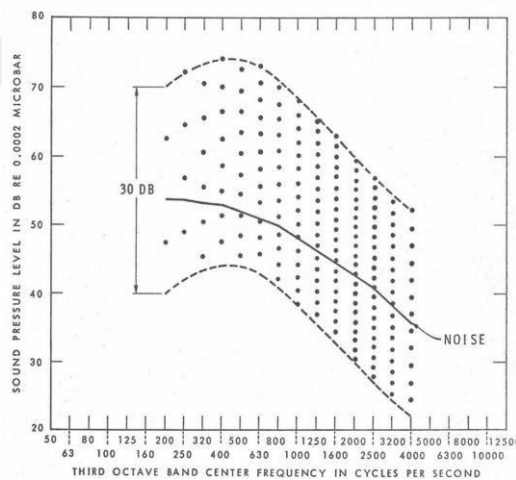
Sinyalin arka plan gürültüsüne oranı (Signal to Noise Ratio-SNR) anlaşılabilirlik için önemlidir. Ofislerde lokasyonlar arası konuşma anlaşılabilirliğinin düşük olması esastır. SNR ne kadar düşükse anlaşılabilirlik o kadar az, gizlilik de o kadar başarılıdır (Long, 2006). Örneğin, 0-5 dB arasındaki bir SNR değerinde anlaşılabilirlik düşük gizlilik yüksektir. SNR 10 dB seviyelerinde bir değerde ise anlaşılabilirlik açısından kabul edilebilir sınırlardadır. SNR >15 dB ise anlaşılabilirlik yüksek gizlilik düşüktür. Sinyal gürültü oranı şu eşitlikle ifade edilebilir (Mehta vd., 1999):

$$SNR=10\log (\text{Signal SPL}/\text{Noise SPL}) \quad (1.2)$$

1.4.6. Artikülasyon

Artikülasyon İndeksi (AI) ve Konuşma İletim İndeksi (SII) en önemli frekans ağırlıklı parametrelerdendir. Hem AI hem de SII, 0 ile 1 arasında değişen değerlere göre ölçümlenir. Konuşma anlaşılabilirliğinin iyi derecede olduğu değerin 0'a yakın olmasıyla, konuşma gizliliğinin iyi olduğu ise 1'e yakın olmasıyla ifade edilir (Warnock, 1972; Bradley, Gover, 2003). AI ya da SII ve STI değerleri açık plan ofis akustiği çalışmaları için standartlaştırılmıştır (TS EN ISO 3382-3 2012, ANSI/ASA S3.5-1997).

Gizlilik için $AI \leq 0,05$ değeri belirtilmektedir. Bu seçilmiş bazı kelimelerin anlaşılabilirliği, toplam ifadelerde çok düşük anlaşılabilirliğe karşılık gelir. $AI \leq 0,15$ değeri kabul edilebilir veya normal gizlilik olarak ifade edilir (Bradley, Gover, 2003). Aşağıdaki ideal konuşmanın grafik gösterimidir ve 1 metre mesafedeki seviye-frekans aralığını gösterir.

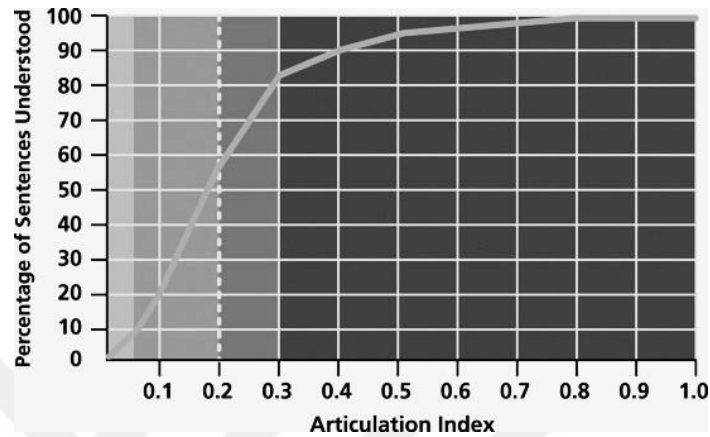


Şekil 8- Konuşmacının 1 m önündeki konuşmayı oluşturan sesler ve frekanslar.

Her nokta anlaşılabilirliğe bir katkıyı temsil eder. Şekilde yer alan gürültü spektrumu 1/3 oktav bantlarındadır ve gürültü çizgisinin üzerinde kalan noktaların toplam nokta sayısına oranı yaklaşık olarak AI'ya eşittir (Warnock 1972: 3). ANSI, AI hesaplama yöntemini verir. AI hesaplaması, her bir üçüncü oktav bandındaki oranlara ağırlıklı sinyalin toplamıdır.

AI ile anlaşılabilirlik ilişkisi doğrusal değildir. Örneğin; 0,6 AI değeri, bir

dinleyicinin konuşmanın yüzde 50'sini değil yaklaşık yüzde 95'ini anlayabileceği anlamına gelir. Bu nedenle, gerçek bir gizlilik için çok düşük bir AI değeri gerekir (Moeller, 2015: 22).



Şekil 9- Artikülasyon İndeksi ve Konuşma Anlaşılabilirliği İlişkisi (Moeller 2015).

Tablo 2- AI Değerine Karşılık Gelen Anlaşılabilirlik ve Gizlilik Seviyeleri

AI	(%) Anlaşılmayan Cümle	Anlaşılabilirlik	Gizlilik
AI > 0.4	> 90	Çok İyi	Yok
0.4 > AI > 0.2	80	İyi	Zayıf
0.2 > AI > 0.1	50	Makul	Değişken
0.1 > AI > 0.05	20	Zayıf	Normal
AI < 0.05	0	Çok zayıf	Etkili

1.4.7. Lombart Etkisi ve Vocal Effort

“Lombard Etkisi” ya da “Kokteyl Partisi Etkisi” ilk kez Fransız kulak burun boğaz uzmanı ve cerrah Etienne Lombard (1869-1920) tarafından tanımlanmıştır. Paris'teki Hôpital Lariboisière'de çalışırken, hastaların gürültü olduğunda konuşma seslerini yükselttiklerini göstermiştir. Bu fenomeni “Le signe de l'élévation de la voix” adlı makalesinde sunmuştur. Lombard, bu etkiyi “gürültünün zararlı etkilerini aşmak için konuşmanın uyarlanması, konuşmacının ses seviyesine, arka plan gürültü seviyesine ve gürültü türüne bağlı olan doğrusal olmayan bir bozulma” olarak tanımlar (1911).

Konuşmanın anlaşılabilirliğini artırmak için, gürültülü bir ortamda konuşurken sesimizi değiştiririz. Ancak, ortamdaki kişilerin seslerini yükseltmeleri ortam gürültü seviyesini artırır ve ortam gürültü seviyesinin artması da ortamdaki kişilerin seslerini yükseltmelerine neden olur ve bir kısır döngü yaratır.

A ağırlıklı ortam gürültü düzeyinin bir fonksiyonu olan konuşma seviyesindeki artış, Lombard eğimi = C olarak ifade edilir (Rindel, 2017:4). Yapılan çalışmalar lombard etkisini çeşitli koşullarda araştırıp arka plan gürültü düzeyi ile konuşmacı ses seviyesi arasındaki ilişki için çeşitli eğim değerlerini ortaya çıkartmıştır ve bu eğim değerleri, konuşmanın durumu (okuma ve konuşma yapma), gürültünün türü (makine gürültüsü, ofis gürültüsü, konuşma gürültüsü, geniş bant gürültü, beyaz gürültü ve pembe gürültü), konuşmanın seviyesi (normal veya bağırarak), konuşmacı dinleyici arası mesafe ve mekanın akustiğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

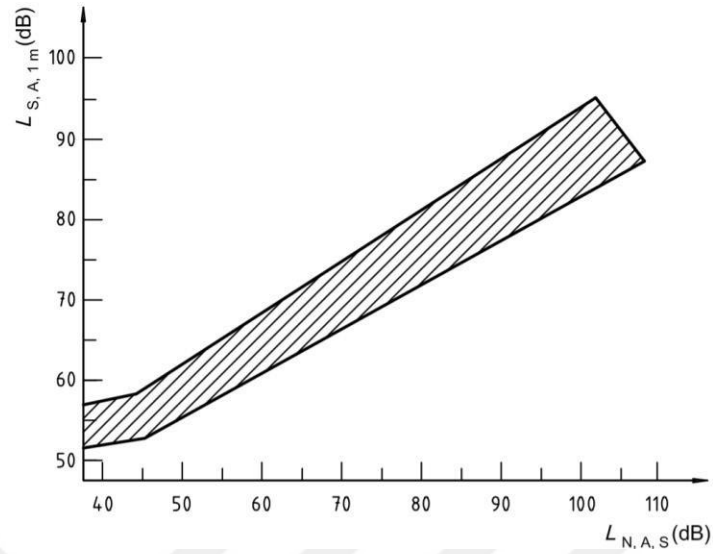
Ortam gürültüsü 'nün yaklaşık 45 dBA, konuşmanın da 55 dBA seviyesinde olduğu zaman lombard efektinin başladığı, 45dBA seviyesinin altındaki gürültü düzeylerinde ise konuşma anlaşılabilirliğinin etkilenmediği belirlenmiştir (Rindel, 2017:4). 1 m'de A-ağırlıklı konuşma seviyesi ile ortam gürültü seviyesi arasındaki ilişki Şekil 12' de gösterilmektedir. Taralı alan, etkinin minimum 45 dB ortam gürültü seviyesi ve minimum 55 dB konuşma seviyesi ile başladığını göstermektedir. 45 dBA üzerindeki ortam gürültüsü ile konuşma seviyesi arasında doğrusal bir ilişki varsayıldığında, 1 metre uzaklıkta konuşma seviyesi şu formül ile elde edilebilir (Rindel, 2012:2-5).

$$L_{SA,1m} = 55 + c. (L_{na} - 45); (dB) \quad (1.3)$$

$L_{SA,1m}$: Ağızdan 1m uzakta A ağırlıklı konuşma seviyesi

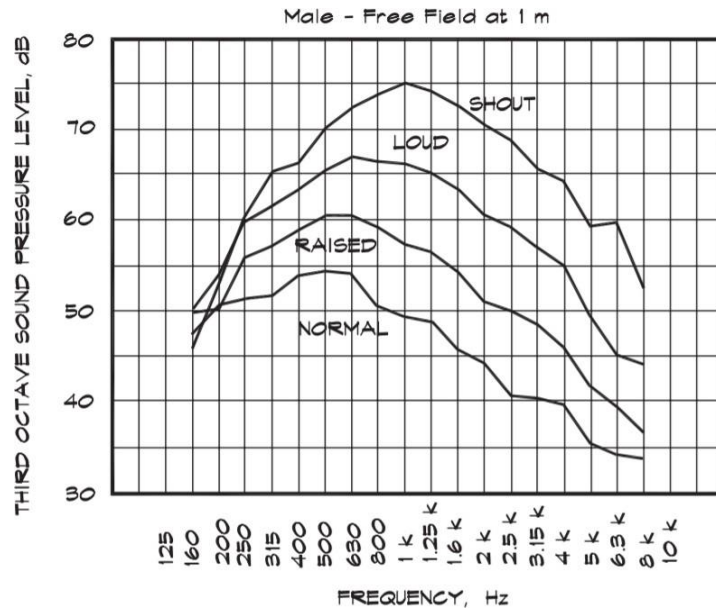
L_{na} : Ortam gürültüsü düzeyi

c: Lombard eğimi-dB



Şekil 10- Konuşma seviyesi ve ortam gürültü seviyesi ilişkisi. (ISO 2003).

Konuşma seviyesinin karakteri 1 m uzakta A-ağırlıklı ölçülür ve sonuç öznel olarak nitelendirilir. Vocal Effort olarak bilinen bu sınıflandırma (bir erkek konuşmacı için) 1 metre uzakta ölçülen eşdeğer A Ağırlıklı ses basınç seviyesi olarak tanımlanır:



Şekil 11- Erkek konuşmacının ortalama konuşma spektrumu çizelgesi (ANSI 1997).

Konuşma iletim indeksi (STI) hesaplamasında önemli bir parametre olan vocal effort seviyesi ortam koşullarına bağlı olarak seçilir. ISO 9921, gürültülü bir ortamda bağırarak konuşmaya bağlı A ağırlıklı ses basınç seviyesinin 75 dBA (@ 1m) yı aşmasının konuşma kalitesini önemli ölçüde azalttığını ve anlaşılmasının zorlaştığını belirtmiştir (Rindel, 2014). Bu durumda, $L_{S, A, 1m} > 75$ dB için STI hesaplaması azaltılmış konuşma seviyesi ile yapılmalıdır (ISO 9921). Toplam seviye ΔL :

$$\Delta L = 0,4 (L_{S, A, 1m} - 75) \text{ dB} \quad (1.4)$$

Tablo 3- Erkek konuşmacı için A-ağırlıklı SPL değerleri (ISO 9921, 2003).

Vocal Effort	L SA 1m (dB)
Düşük	54
Normal	60
Yüksek	66
Gürültülü	72
Çok gürültülü	78

Bir ses kaynağı için sesin seviyesi ve yönlülüğü önemlidir. Genel konuşma seviyesi verilerinin kaynağı, dört farklı (normal, yüksek, gürültülü, bağırarak) vocal effort seviyesini temsil eden oktav bant verileridir (ANSI 3.5) (Tablo 3).

Tablo 4- Farklı ses yüklenmelerine göre oktav bantlarında konuşma spektrumları (ANSI 3.5; Rindel, 2014 :4).

Ses Basınç Seviyesi 1 m, dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A - Ağırlıklı Seviye
Normal			57,2	59,8	53,5	48,8	43,8	38,6	59,5
Yüksek			61,5	65,6	62,3	56,8	51,3	42,6	66,5
Gürültülü			64,0	70,3	70,6	65,9	59,9	48,9	73,7
Bağırma			65,0	74,7	79,8	75,8	68,9	58,2	82,3

Ses Gücü Seviyesi (SPL) dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A - Ağırlıklı Seviye
Normal	45,0	55,0	65,3	69,0	63,0	55,8	49,8	44,5	68,4
Yüksek	48,0	59,0	69,5	74,9	71,9	63,8	57,3	48,4	75,5
Gürültülü	52,0	63,0	72,1	79,6	80,2	72,9	65,9	54,8	82,6
Bağırma	52,0	63,0	73,1	84	89,3	82,4	74,9	64,1	91,0

1.4.8. Konuşma anlaşılabilirliği indeksi

Standard konuşmanın anlaşılabilirliğiyle (Speech Intelligibility Index-SII) ilişkili bulunan fiziksel bir büyüklüğü hesaplamak için yöntem tanımlar (ANSI S 3.5-1997). Konuşmanın anlaşılabilirliği alıcıya ulaşan konuşma bilgisinin miktarını anlamak açısından önemlidir. Bu, konuşulan bir mesajın anlaşılmasını engelleyebilecek rahatsız edici koşullar sırasında mevcuttur ve duyulabilir olmalıdır. SII aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$SII = \sum_i^n = 1^{(I_i \cdot A_i)} \quad (1.5)$$

SII eşdeğer konuşma spektrum seviyesi, eşdeğer gürültü spektrum seviyesi ve eşdeğer işitme eşiği seviyesi gibi tüm değerlerin tahmin edebilmesi için araçlar sağlar ve kritik frekans bandı, 1/3 oktav frekans bandı, eşit katkıda bulunan kritik band ve oktav frekans bandında dört farklı yöntemle hesaplanabilir. SII her bir frekans bandı üzerindeki düşük frekans bileşenlerinin maskeleyen etkisini içerir. AI gibi, 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir, ancak aynı koşul için SII değerleri AI değerlerinden biraz daha büyüktür.

Tablo 5- AI ve SII Değerleri Açısından Konuşma Gizliliği Kriterleri

Konuşma Gizliliği Düzeyi	AI	SII
Gizli	0,05	0,10
Kabul Edilebilir	0,15	0,20

Ofisteki ortam gürültüsünün seviyesi ve spektrum şekli konuşma mahremiyetinin derecesiyle birlikte AI ve SII değerlerini de önemli ölçüde etkiler. Artan gürültü gizlilik açısından olumlu görünse de rahatsız ediciliği ve sağlık üzerindeki olumsuz sonuçları kabul edilmektedir. Bu nedenle ortam gürültüsünü kullanmak yerine elektronik maskeleye sistemleri tercih edilebilir. Elektronik yolla ortama yayılan ses gizlilik açısından daha kontrollü bir sonuç vermektedir (Moeller, 2015).

1.4.9. Konuşma İletim İndeksi

Konuşma İletim İndeksi (Speech Transmission Index-STI), anlaşılabilirlik açısından konuşmanın iletim kalitesini temsil eden fiziksel nicelik olarak ifade edilir (TS EN ISO 3382-3: 2012). 1970'li yılların başında geliştirilen STI için değer 0 (anlaşılmaz) ile 1 (mükemmel) arasında değişen anlaşılabilirliğin bir ölçüsüdür (Poulsen, 2011: 76).

Akustik tasarım açısından yutuculuğunun azalması, çınlama suresinin artması ve kaynak ile alıcı arasındaki mesafenin artması gibi unsurlar konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz yönde etkiler (Reinten vd., 2017). İndeks, arka plan gürültüsü ve yankılanma süresi kullanılarak hesaplanır. STI hem doğrudan iletişim durumlarında hem de elektro akustik konuşma anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesi için geliştirilmiştir (Rindel, Pop, 2005).

STI, 125 Hz ile 8000 Hz arasında yer alır ve her oktavda modülasyon transfer eğrilerinden türetilir. Modülasyon faktörünün (MF) her bir değeri, sinyal-gürültü oranına dönüştürülür (S.S. Utami, J. Sarwono, 2013). MF hesaplandıktan sonra oktav band frekans ortalamaları ile SN oranı alınır. SN oranı ve STI eşitliği (Garpensvärd, Knutar, 2020):

$$(S/N)_{app} = 10 \log \left(\frac{m(F)}{1 - m(F)} \right) \quad (1.6a)$$

$$\overline{(S/N)}_{app} = \sum_{k=1}^7 w_k (S/N)_{app,k} \quad (1.6b)$$

$$STI = \left[\frac{(S/N)_{app} + 15}{30} \right] \quad (1.6c)$$

Tablo 6- STI, konuşma anlaşılrlığı ve konuşma gizliliği (Hongisto, 2005).

STI	Konuşma Anlaşılrlığı	Konuşma Gizliliği
0. 00- 0. 05	Çok Yetersiz	Güvenli
0. 05- 0. 20	Yetersiz	İyi
0. 20- 0. 40	Zayıf	Makul
0. 40- 0. 60	Kabul Edilir	Zayıf
0. 60- 0. 75	İyi	Çok Zayıf
0. 75- 0. 99	Mükemmel	Yok

1.4.10 Çınlama Süresi

Hacim içinde bir ses kaynağının susmasından itibaren seviyenin 60 dB azalması için geçen süre olup, bir hacmin akustik özelliğini frekansa bağlı olarak belirleyen ve ses yalıtımının değerlendirilmesinde kullanılan en önemli parametredir (BGKKHY, 2017).

Çınlama süresi değeri, tasarımcının mekânın amacına uygun olup olmadığını belirlemesinde önemli yardımcıdır. W. Sabine, hacimde kullanılan malzemelerin ses yutma özellikleri, mobilyalar, insanlar vb. elemanların toplam hacim içinde çınlama süresine etki ettiğini görmüş ve bir eşitlik kullanarak hacimlerin çınlama sürelerini hesaplamıştır (Sabine, 1964). Odanın toplam hacmi V, emici yüzeylerin toplam alanı A ile ifade edildiğinde bu eşitlik:

$$T = \frac{0,161V}{\sum A} \quad (1.7)$$

- T : Çınlama Süresi, sn
V: Hacim, m³
 $\sum A$: Eşdeğer toplam yutuculuk alanı (S1*a1+S2*a2+S3*a3...)
S : yüzey alanı, m²

a : malzemenin yutuculuk katsayısı

Kapalı yaşam alanlarında bulunması gereken çınlama süreleri için sınır değerler yönetmelikler ile belirlenmiştir. Ofisler ve İdari Binalar, açık plan ofisler için izin verilen maksimum çınlama süresi 1,0 saniyedir (BGKKHY: 2017).

Tablo 7- Ofis ve benzeri alanlarda akustik performans sınıfı C-D için (A sınıfı özel değerlendirilir) izin verilen maksimum çınlama süreleri (BGKKHY, 2017: EK 6).

BİNA İŞLEVİ	MEKAN	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI
		C - D ²
Büro ve İdari Binalar	Açık Planlı Alanlar	1.0
	Toplantı – Yönetici Odaları, Dinlenme alanları	0.8
	Telekonferans Odaları	0.4
	Sirkülasyon Alanları ³	1.2
	Mahkeme salonları	1.2

1.4.11. Arka Plan Gürültü Seviyesi (L_p , A, B)

Çalışma birimlerinde, çalışma saatleri içerisinde ve çalışanların ofiste yer almadığı koşullarda; oktav bantlarda ölçülen ses basınç düzeyidir (TS EN ISO 3382-3). Standartta göre bir ofis ortamında L_p , A, B seviyesinin ölçümünde insan sesi ve konuşma sesleri arka planın bir parçası olarak kabul edilmez. Klima gibi donanımlardan gelen gürültü türleri, aydınlatmalar, bilgisayarlar ve yazıcılar veya ses maskeleyme sistemleri gibi sürekli çalışan diğer makineler ve çevresel trafik gürültüleri kabul edilir.

Yankılanma süresi ve konuşma iletim indeksi (STI) gibi parametreler için önemli bir referans değerdir (Jalil 2018: 57). Arka plan her ölçüm konumunda oktav bantlarında ölçülür ve ağırlıklı arka plan gürültü seviyesi L_p , A, B belirlenir.

Binaların gürültüye karşı korunması hakkında yönetmelik kapalı ortamlar için izin verilen en yüksek arka plan gürültü seviyesini belirler. Buna göre açık plan ofisler için bu değer 36-44 dB arasında olabilir. NC aralıkları karşılığı ise NC-25 ve NC-35 'dir.

Tablo 8- Akustik performans sınıfına göre izin verilen mekân iç gürültü düzeyleri (Açık planlı ofisler için LAeq sınır değerleri) (BGKKHY).

BİNA İŞLEVİ	MEKAN	ZAMAN DİLİMİ Gece : 23.00 – 07.00 Akşam: 19.00 – 23.00 Gündüz: 07.00-19.00	İç gürültü düzeyi, L_{Aeq}^2					
			AKUSTİK PERFORMANS SINIFI					
			A	B	C	D	E	F
Büro ve İdari Binalar	Özel Odalar	Gündüz-Akşam	36	40	44	48	52	56
	Açık Planlı Alanlar	Gündüz-Akşam	36	40	44	48	52	56
	Toplantı Odaları	Gündüz-Akşam	31	35	39	43	47	51
	Telekonferans Odaları	Gündüz-Akşam	26	30	34	38	42	46
	Dinlenme Alanları	Gündüz-Akşam	36	40	44	48	52	56
	Sirkülasyon Alanları ⁴	Gündüz-Akşam	41	45	49	53	57	61
	Mahkeme Salonları	Gündüz	31	35	39	43	47	51

1.5. Açık Plan Ofis için Parametreler

TS EN ISO 3382-3 standardı açık plan ofisler için gerekli yöntemleri açıklar. Standartta belirtilen prosedüre göre açık plan ofislerde akustik tasarım ölçüm yöntemi mobilyalı odalara yöneliktir. Yani oda modelinde masalar, kitap rafları, perdeleme elemanları vb. malzemeler bulunmalıdır, ancak oda içerisinde hiç kimse bulunmamalıdır. Ölçümler/hesaplamalar için 125 Hz' den 8000 Hz'e kadar yedi oktav bandı içeren çok yönlü bir ses kaynağı kullanılır. Hesaplanması istenen akustik parametreler şunlardır:

1. A ağırlıklı arka plan gürültü seviyesi, L_p , A, B
2. Konuşmanın A ağırlıklı seviyesinin (SPL) uzamsal bozulma hızı, D, 2, S
3. 4 m'de A ağırlıklı konuşma seviyesi, L_p , A, B, 4m
4. Dikkat dağıtma mesafesi, rD.
5. Konuşma seviyesinin 45 dB'ye düştüğü mesafe-uzamsal bozulma oranından tanımlanan konfor mesafesi, rC.

Açık plan ofislerde konuşma gizliliğini ölçmeye yönelik ASTM E1130 – 16 ve dikkat dağınkınlığı mesafesi ve mahremiyet mesafesi parametrelerini kullanarak uzaktaki bir konuşmacının konuşma anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesini tanımlayan ANSI/ASA S3.5-1997 maskeleyen sistemleri ile ilişkili diğer standartlardır.

1.5.1. Konuşmanın Uzamsal Bozulma Oranı ($D_{2,s}$)

$D_{2,s}$ parametresi, bir açık planlı ofiste kaynağa olan uzaklığın her iki katına çıkması durumunda ölçülen, konuşma sesinin A-ağırlıklı ses basınç düzeyinin azalma oranıdır (TS EN ISO 3382-3, 2012). Standardın tanımladığı şekilde; ses kaynağından yeterli miktarda verilen ses gücü düzeyine göre, kaynağa olan uzaklığın ikiye katlanmasıyla belirlenen alıcı noktalarındaki ses basınç düzeyi ölçüm sonuçlarının, söz konusu standarttaki formüllere uygulanması ile belirlenir. Bu parametre ile ofisteki bölme panoların akustik etkisi (Rindel ve Christensen, 2012); ses kaynağından uzak ve yakın mesafelerdeki akustik koşullar, mekânsal sönümlenme oranları (Virjonen vd., 2009); ofisteki ses düzeyinin, kaynaktan alıcıya olan uzaklığa bağlı düşüşü değerlendirilir (TS EN ISO 3382-3).

$D_{2,s}$ bir ofisin birlikte çalışma için ne kadar uygun olduğunu gösteren bütüncül bir parametredir. Kaynağın ses gücü düzeyi belirlenirken, oktav banttaki ses basınç düzeyinin, ofisin en uzak ölçüm noktasında dahi, arka plan gürültü düzeyini 6 dB aşacak kadar yüksek olması gerektiği standartta açıkça belirtilmektedir.

1.5.2. Konuşma Gizliliği Mesafesi (r_p) ve Dikkat Dağılıklığı Mesafesi (r_D)

Dikkat dağıtma mesafesi r_D , konuşmanın yalnızca kısmen anlaşılabilir olduğu, ancak çoğunlukla arka plan gürültüsüne katkıda bulunduğu mesafeyi ifade eder. İdeal çözüm, tercihen dikkat dağıtma mesafesi içinde bilgi paylaşmak isteyen kişileri bir araya getirmek ve diğer gruplara mensup olanları daha uzak tutmaktır.

r_D alıcı noktasındaki konuşma aktarım indeksinin (STI) 0.50'nin altına düştüğü noktada kaynak-alıcı arasındaki mesafeyi ifade eder. Dikkat dağıtma mesafesi arttığında, işe yoğunlaşma ve gizlilik özelliği hızla iyileşmeye başlar (TS TS EN ISO 3382-3 2012).

Gizlilik mesafesi r_p , TS EN ISO 3382-3 standardına göre konuşma iletim indeksinin (STI) 0,20'nin altına düştüğü seviyede konuşmacıya olan mesafesini belirtir. Gizlilik mesafesi üzerinden işe yoğunlaşma ve gizlilik, bağımsız ofis odalarında olduğu gibi deneyimlenir. Küçük hacimli ve konuşma gizliliğinin zayıf olduğu ofis ortamlarında

0,20'den düşük STI değerlerine ulaşmak sadece akustik önlemlerle zordur. Bu sebeple bu ortamlarda gizlilik mesafesi ölçüt alınmaz (TS EN ISO 3382-3-2012).

1.5.3. Konuşmada Uzamsal Bozulma Oranı ($D_{2,s}$)

Gürültü kontrolü ile ilgili olarak açık plan ofislerde kullanılmak üzere 2001 yılında yayımlanan ISO 14257 standardında tanımlanan tek sayılı ölçüdür. Ses kaynağından uzaklık iki katına çıktığında ses basınç seviyesi SPL'in desibel cinsinden uzamsal bozulma oranını ifade eder. Bu tanım, ISO 14257'de tanımlanan D_{L2} 'nin bir uygulamasıdır, ancak normal konuşma spektrumu ve tüm frekans aralığı boyunca A ağırlığı kullanılır. Bireysel oktav bantları için uzamsal bozulma belirlenmemiştir (TS EN ISO 3382-3).

1.5.4. Ses Basınç Seviyesi ($L_{p, A, S, 4m}$)

$L_{p, A, S, 4m}$ ses kaynağından 4,0 m mesafede normal konuşmanın A ağırlıklı nominal ses basıncı seviyesidir. Ölçüm konumunun ses kaynağından bu mesafede olması gerekmez. $L_{p, A, S, 4m}$ konuşmanın A ağırlıklı ses basıncı seviyesinin uzamsal ses dağılımından doğrusal bir regresyon çizgisi kullanılarak elde edilir (TS EN ISO 3382-3). Bu tek sayılı parametre ile yakındaki yansıtıcı yüzeylerden kaynağın düzeyinin ne kadar etkilendiği ortaya konulmuş olur (Rindel, Christensen, 2012; Virjonen vd., 2009).

Konuşma sesinin A-ağırlıklı ses basınç düzeyinin azalma oranı $D_{2,s}$ 'i değerlendirebilmek için, ses basınç düzeyi ölçümleri ile aynı şartlar sağlanmalı, aynı ölçüm hattı kullanılmalıdır (TS EN ISO 3382-3, 2012; Rindel, Christensen, 2012).

$D_{2,s}$ ile $L_{p, A, S, 4m}$ genellikle birlikte kullanılır; çünkü her ikisi de A-ağırlıklı konuşma sesi düzeyi ile ilgilidir. Bu iki parametre bölme panoların yutuculukları gibi doğrudan ortamın fiziksel çevresi ile ilgilidir (Wenmaekers, Hak, 2015).

1.5.5. Ölçüm Verileri İçin Hedef Değerler

Açık plan ofisler geometri, akustik emilim, mobilya ve arka plan gürültü seviyesi açısından büyük farklılıklar gösterebilir. Çoğu açık plan ofis zayıf veya yetersiz akustik

koşullara sahiptir. Yetersiz ve nadir olmakla birlikte iyi akustik koşullara sahip ofislerde tipik tek sayı değerleri için şu örnekler verilebilir (Peterson, Rasmussen 2018: 2):

Tablo 9- Açık plan ofislerde gizlilik için akustik koşullar

Yetersiz akustik	$D_{2, s} < 5$ dB	$L_{p, A, S, 4 m} > 50$ dB	$r_D > 10$ m
İyi akustik	$D_{2, s} \geq 7$ dB	$L_{p, A, S, 4 m} \leq 48$ dB	$r_D \leq 5$ m





2. BÖLÜM

ELEKTRONİK SİSTEMLER

2. BÖLÜM

ELEKTRONİK SİSTEMLER

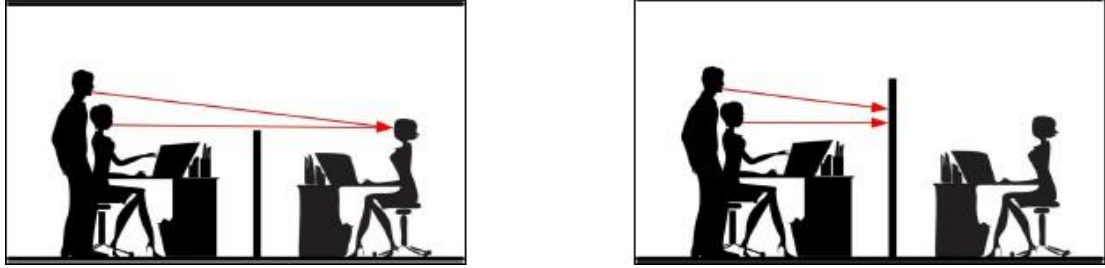
2.1. Akustik Elemanlar ve Akustik Performans

Mobilyalar ve görsel bölmeler (ekranlar), akustik paneller açık ofislerin vazgeçilmez unsurlarıdır. Ortamdaki ses emilimini sağlamak için vardır ve görsel mahremiyeti sağlar. Doğru yerleştirildiklerinde maskelemeyi büyük ölçüde iyileştirebilmede başarılıdır. Özellikle tavan sistemleri ve burada kullanılan malzemenin emicilik değeri sesin yayılmasında oldukça önemlidir. Bir ekranın performansını değerlendirirken öncelikle tavan malzemesinin birleşmesi, tasarımı ve emiciliğine dikkat edilmektedir. En önemli yansıtıcı yüzeyden olan tavan emiciliğinin olabildiğince yüksek olması çok önemlidir (Bradley, 2003). Konuşmaya bağlı frekanslar ekranın diğer tarafına;

- Ekran üzerinden doğrudan iletim yoluyla,
- Ekran etrafında kırınım yoluyla,
- Tavandan yansıma yoluyla,
- Dikey yan yüzeylerden yansıma yoluyla ulaşabilir.

İyi tasarlanmış ekranların konuşmaya bağlı sesin iletiminde 20-25 dB civarı bir zayıflama sağlaması beklenebilir. Yerleşim düzenine dikkat edilerek veya tercihen yüzeylerin işlenmesiyle, dikey yan yüzeyler ortadan kaldırılarak/azaltılarak sesin dikey ve yatay geçişleri kısmen engellenebilir. Bu durumda tavandan gelen yansıma, ekran performansının belirlenmesinde etkin bir rol oynayacaktır. Yüksek emiciliğe sahip tavanların varlığı kullanılacak ekranlardan da daha fazla verim alınmasını sağlar. Pratikte yüksek emicilikte ve yüksek NRC değerine sahip materyal tercih edilmelidir. Eğer tavanda herhangi bir materyal kullanılmıyorsa mümkün olan en fazla sayıda ve yükseklikte ekranı tercih etmek önemlidir (Warnock, 1972).

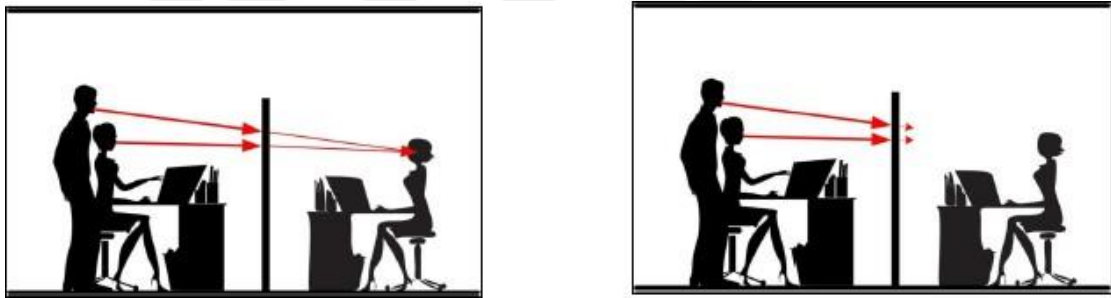
Bölmelerin yüksekliği de emicilik ve ses iletimini belirleyen önemli faktörlerdir. Düşük bölmeler aşağıda gösterildiği gibi konuşma engellemede etkin rol oynayamazlar (Ging,2023).



Şekil 12- 70 cm'den yüksek ekranlar konuşmanın gizliliğini sağlamada etkilidir

(Kaynak: www.biamp.com).

Yine aynı şekilde düşük kalitede ve emicilikte ekranlar görsel mahremiyet sağlayabilirler. Fakat konuşmanın gizliliği için özellikle emicilik açısından kaliteli bölme ekranlar önemlidir (Ging, 2023).



Şekil 13- Emiciliği ve geçirgenliği yüksek ekranlar ses iletimini engellemede etkilidir

(Kaynak: www.biamp.com).

2.2. Elektronik Sistemler

Ses maskeleye sistemleri, küçük ya da büyük projelere uygun olarak basitten son derece gelişmiş özelliklere sahip sistemler halinde üretilebilirler. Tüm sistemlerin ana işlevi konuşmayı belirli bir mesafeden sonra anlaşılmaz hale getirmektir. Böylece kişiler arası ortam gizliliği sağlanır. Farklı yönlerden gelen ve dikkat dağıtan sesler engellenerek yoğunlaşma ve işte verimlilik amaçlanır. Etkili bir maskeleye sisteminin tasarımında en önemli faktör tüm ofis alanı boyunca eşit bir şekilde maskeleye sesi üreten ve uygulama alanının büyüklüğüne uygun boyutlarda sistem kurulmasıdır. Sistemler, konuşma mahremiyetini homojen hale getirmeli ve maskeleye sesinin kullanıcı tarafından

algılanmasını en aza indirmelidir. (Zarei vd., 2021). Maskeleme sistemindeki gürültü sinyali ile ilgili önemli hususlar uzman bir şirket olan *Vibra-Sonic Control* tarafından şu maddelerle anons edilmektedir:

1. Çalışanlar için rahatsız edici olmamalı, doğal bir ses vermelidir. Tipik havalandırma sesi gibi olmalı, ancak aşırı *tıslayıcı* ya da *gürültülü* olmamalıdır.
2. Üretilen sesin spektrumu, insan kulağının seslere verdiği tepkiyle uyumlu olmalıdır. Genellikle bu grafikte NC-38-40 eğrisi ölçüt olarak kullanılmaktadır.
3. Maskeleme, alan içerisindeki uygun akustik bariyer ve emici elemanlarla birlikte kullanıldığında en etkili sonucu verir. Bu açıdan önceden yapılan planlama sonuç için önemlidir.
4. Ses Maskeleme, en iyi şekilde çalışma alanına taşınılmadan önce uygulanır. Mevcut bir alanda sonradan uygulama yapmak, ses seviyesini kademeli olarak yükseltmeyi gerektirir. Sonradan yapılan uygulama insanların çalışma alanlarındaki herhangi bir müdahaleye veya manipülasyona ani ve olumsuz bir tepki vermelerine neden olabilir.
5. Ses maskeleme işleminin, maskelenmiş alanın tamamında mümkün olduğunca homojen olması önemlidir. Aynı zamanda bireysel tercihlere göre ayarlanabilir olacak kadar da esnek olmalıdır. Esnek ve kullanıcı müdahalesine imkân veren seviye kontrolü, aynı zamanda belirli yapı elemanlarının alan içerisindeki ses seviyesini artırabileceği veya azaltabileceği durumlara da yanıt vermek açısından önemlidir.

2.2.1. Sistem Özellikleri

Amaca uygun üretilmiş hoparlörler, sinyal ve ses üretici bir işlemci ve amplifikatör gibi temel ekipmanlardan oluşmaktadır. Kablolu, kablosuz ağ bağlantısı ve uzaktan kontrol için üniteler ve network uygulamalar sisteme entegre edilebilir.

Sistemin kurulumunda hoparlör seçimi ve yerleşimi önemlidir. Pek çok firma çeşitli alternatifler sunar. Hoparlörlerin tavanlara, tavan boşlukları veya yükseltilmiş döşeme altlarına yerleştirilmesi önerilir. Hoparlörler tipik olarak 2-4 m aralıklarla bir ızgara düzeneği içerisinde konumlandırılırlar (Renz, Leistner, Liebl, 2018: 25).



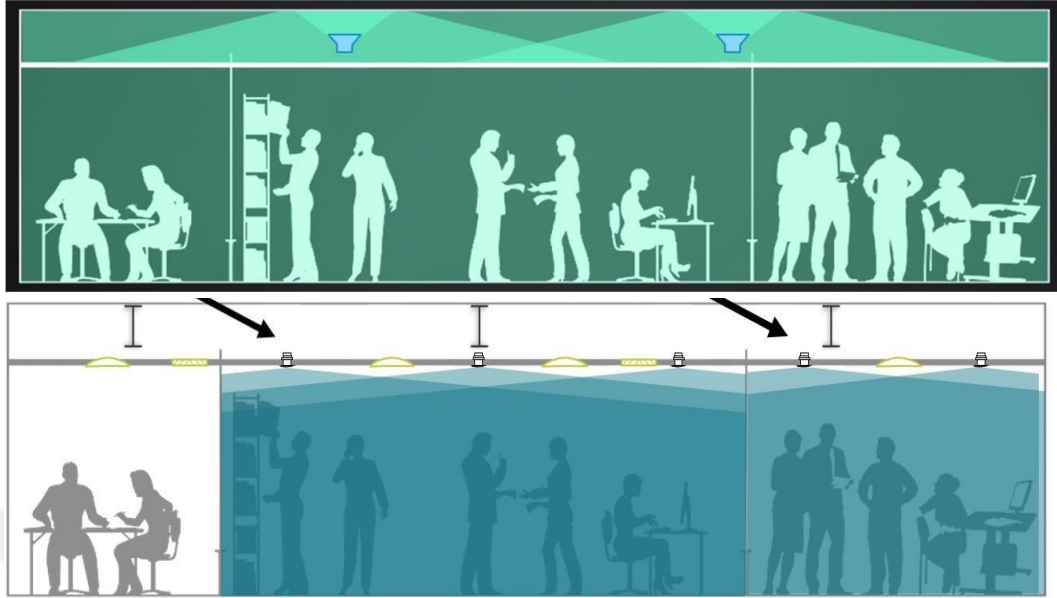
Şekil 14- Açık Tavan ve Plenum Maskeleme Hoparlörü (Kaynak: www.softdb.com).

Resim 1’de örnek olarak gösterilen hoparlör, yayıcı sesi tavadan yansıtmak için yukarı doğru yönlendirme amaçlı özel olarak tasarlanmış tüm odayı örten, dağınık bir ortam sesi katmanı sağlayan bir modeldir. Tipik olarak açık tavan tasarımlarında kullanılır, ancak asma tavan plenum boşluğuna gizlendiğinde de aynı derecede etkilidir.



Şekil 15- Doğrudan Maskeleme ve Çağrı Hoparlörlerine örnekler (Kaynak: www.atlasied.com).

Resim 2’de tavan döşemelerine veya alçıpan tavanlara sıva altı monte edilmek üzere tasarlanmış kompakt bir ses maskeleme hoparlörü örneği görülmektedir. Bunlar sınırlı plenum alanına sahip ofisler için veya asma alçıpan tavanlarda ses yüksekliği ve netliği sağlamanın önemli olduğu durumlar için uygundur. Ses maskeleme ile alternatif olarak arka plan müziği ve genel duyuruları çalmak için de ideal performans sunarlar. Plenum alanı uygulamalarında bazen asma tavan malzemesinin arkasında yukarıya doğru yönlendirilmeleri gerekebilir.



Şekil 16- Gömme veya yüzeye monte edilmiş yayıcılar (üstte), doğrudan kullanımı (altta) (Kaynak: Biamp Systems, www.biamp.com).

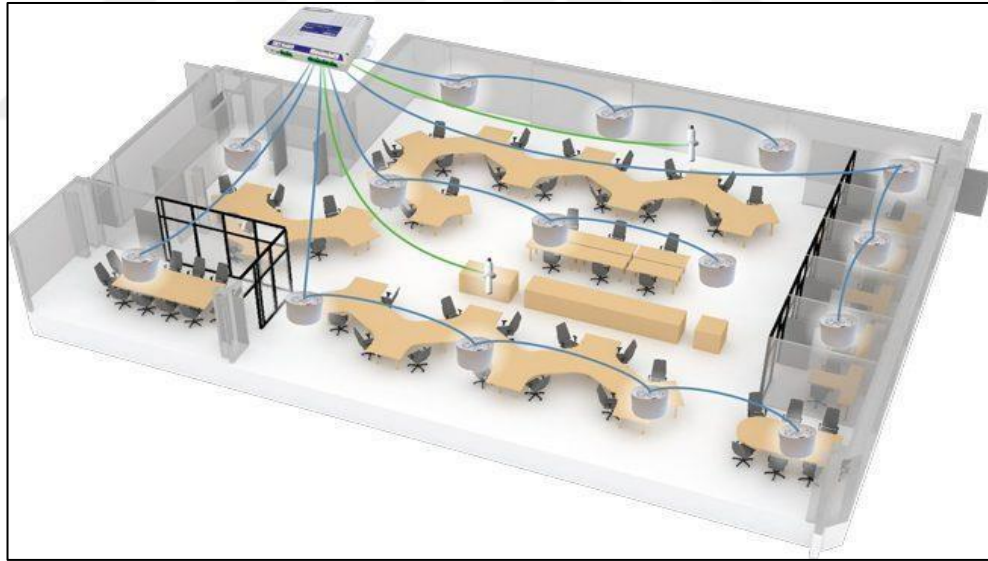
Elektronik gürültü ile maskeleme sistemlerinde tavan boyunca yerleştirilmiş ve mevcut alana doğru yönlendirilmiş yayıcılar kullanılırlar. Sinyal doğrudan ofis ortamına yayınlanır. En büyük avantajı, gerekli olduğu alanlarla tamamen sınırlandırılabilmesi ve bağımsız alanların istenen ses seviyesini daha hassas bir şekilde alabilmesidir.

Dolaylı maskeleme sistemlerinde ise yukarı doğru yönlendirilen hoparlörler, plenum alanı olarak bilinen tavan döşemesinin içinde bulunur. Sinyal tavan döşemesine doğru yayınlanır ve yansyarak ofis ortamına döner. Genellikle akustik tavan döşemesinden aşağıdaki alana yansması amaçlanır. Dolaylı ses maskelemenin en büyük avantajı, hoparlörlerin HVAC kanalları veya kapsamlı kablolama altyapısı veya diğer akustiği değiştiren faktörler gibi plenum alanının değişkenlerine göre ayrı ayrı ayarlanabilmesidir. Bir dezavantajı, asma tavan arası akustik yalıtım yapıldığı durumlarda işlevsiz kalmalarıdır

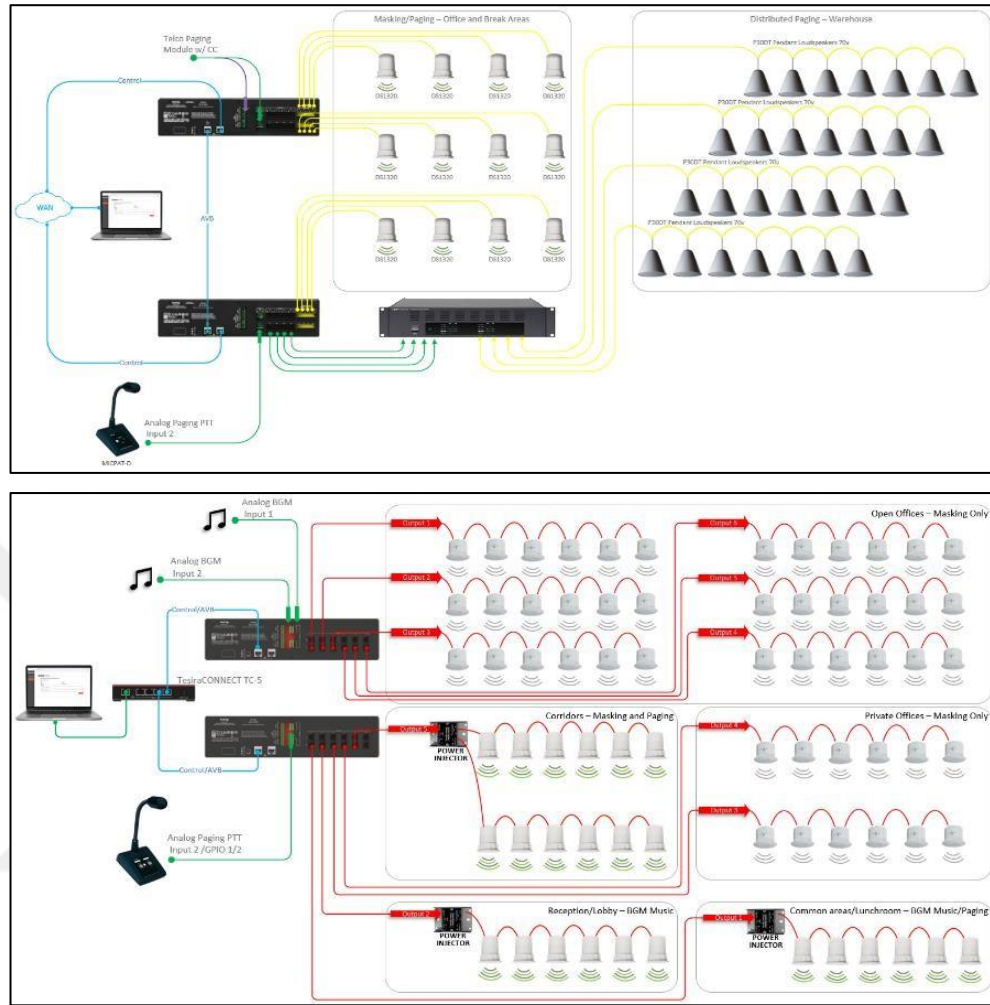
2.2.2. Örnek Sistem Kurulumları

Maskeleme sistemleri ile ilgili bağlantı prensip şemaları aşağıda birkaç örnekle gösterilmiştir (Resim 4). Sistemlerin temelini maskeleme sesinin ayarlanacağı bir ana

kontrol ünitesi, bir kontrol işlemcisi ve bir dizi hoparlör oluşturur. Hoparlörlerin sayısı uygulanacak alanın büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Sayıları ve yerleşim noktaları maskelemenin etkin ve tutarlı bir şekilde uygulanabilmesi için farklılıklar gösterebilir. Genellikle çalışma masalarını odaklayacak şekilde akustik asma tavana gömme, özel durumlarda masa üzerinde bölme elemanlarının içine veya oturma birimlerinin hemen arkasında duvara gömülü şekilde olabilir. Yerleşim yerine göre hoparlör teknik özellikleri de farklılık gösterebilir; bunun elektronik hesaplamalar ile belirlenmesi esastır, göz kararı uygulamalar nitelikli sonuçlar için önerilmez. Sisteme dâhil edilen anons mikrofonu, bilgisayar bağlantıları vs. hizmet alanını genişletmek için idealdir. Bu sayede sistem maskeleme dışında ihtiyaç duyulan iletişim için de kullanım olanağı sağlayabilir. Sistem tasarımı, kurulumu ve kalibrasyonu uzmanlık konusudur. Resim 4 ile verilenler üretici anonsları ile önerilen diyagramlardır, her ofis kapsamı, içeriği, ihtiyaçlarına göre özel çalışma yapılmasını gerektirir.



Şekil 17- Bir açık plan ofis için örnek sistem tavan yerleşimi (Kaynak: www.softdb.com).



Şekil 18- Uygulama projeleri örnek blok şemaları (Kaynak: www.softdb.com).

Maskeleme sistemlerinin ana kontrol üniteleri güvenlik gereği özel bir yerde, genellikle bir dolap veya kontrol odasında bulunmalıdır. Hoparlörleri besleyen amplifikatörler ve ana sistem denetleyicileri burada özel dolaplarında korunur. Bina içerisinde farklı alanlarda dağıtılmış ofisler için her bölgeye özel hoparlör, sinyal işleme ve amplifikasyon ekipmanları bulunabilir. Bölgelere ayırma işlemi, tek merkezden yönetilen ve bölgeleri bağımsız kontrol edebilen yıldız topolojisi ile de planlanabilir.

Büyük ölçekli merkezi tasarımlar görece ekonomik olması nedeniyle tercih edilebilmektedir. Dağıtılmış, bölgelere ayrılmış bağımsız sistemler ise daha kararlı, kolay ve kontrollü çalışabilmeleri ile tercih edilebilirler. Herhangi bir arıza durumunda tüm sisteme müdahale etmek yerine daha dar alanda çalışma avantajları sunarlar.

Elektronik sistemlerin değerlendirmesinde üç kriter öne çıkar: Spektrum cevabı, genel ses gücü seviyesi ve ürettiği sesin mekânsal homojenliği (Renz, Leistner, Liebl, 2018: 25). Mekânsal ve zamansal homojenlik ile spektrum ölçme prosedürleri, ASTM E1573:2009 standardı ile belirtilmektedir. Chanaud, maskeleme ses alanının dağınıklığının da önemli olduğunu çünkü bunun maskeleme performansını ve kabul edilebilirliğini iyileştirdiğini öne sürer (Chanaud,2007: 22) Chanaud, maskeleme ses alanı dağınıklığına dayalı olarak farklı yayıcı konumlarının türlerinden söz eder:

1. Yükseltilmiş zemin altındaki,
2. Çok yüksek asma tavan üzerinde, plenum içine yerleştirilen ters konumdaki,
3. Asma tavana yüzü aşığı bakacak şekilde monte edilmiş konumdaki,
4. Normal yükseklikte asma tavan üstü plenumundaki (geleneksel konum)
5. Asma tavan olmadan açık tavan plenumundaki hoparlörler.Bir maskeleme sisteminde bazı temel bileşenler bulunur. Başarılı bir kurulum için;

1. Her bir zon'un akustik çevresinin kontrolü
2. Maske gürültüsü oluşturulmadan önce alanın frekanslara göre dB seviyelerinin tespiti
3. Arka plan gürültü seviyelerinin sınırlandırılması
4. Koşullara en uygun maskeleme spektrumunun seçimi gereklidir.

Başarılı bir ses maskeleme uygulanması için gerekli temel unsurlar şunlardır:

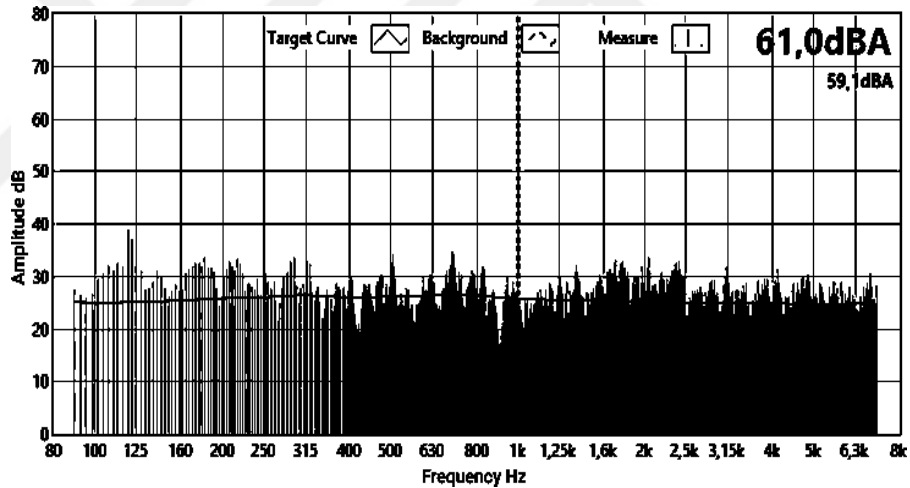
1. Rastgele pembe gürültü (veya özelleştirilmiş bir gürültü) üretimi
2. Mekâna özel (zon'lara ayrılmış) hoparlör düzeni
3. 1/3 Oktav ekolayzır ayarlamaları
4. Ayrı güçlendirme kanalları (amplifikatör) ile besleme
5. Hassas ses seviye kontrolünün sağlanması
6. Sınıf "A" ses seviye ölçer ile sistem kurulumu
7. Belirlenmiş ses maskesi spektrumunun sağlanması
8. Konuda eğitimli bir akustik uzman denetiminde kalibrasyon yapılması.

2.3. Sistemde Kullanılan Elektronik Gürültü Türleri

Elektronik gürültü emisyonu için kurulan sistemlerde kullanılan gürültüler kendi içinde üç gruba ayrılmaktadır. Beyaz, pembe ve hedef spektrum gürültüleri.

2.3.1. Beyaz Gürültü

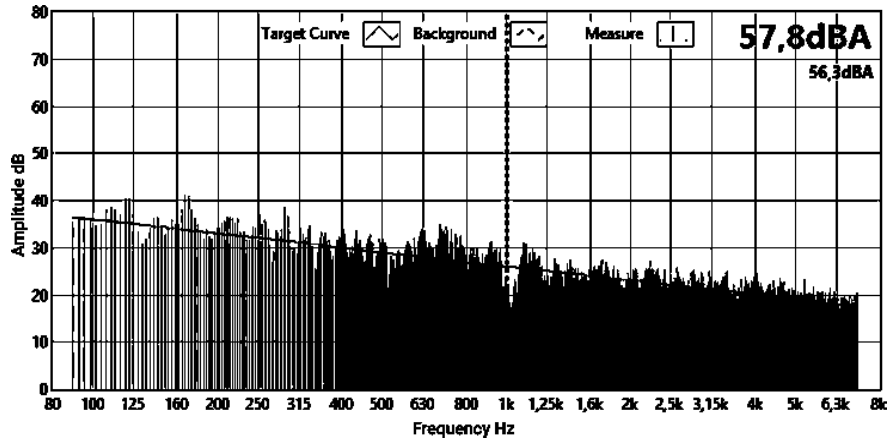
Beyaz gürültü, rastgele geniş bantlıdır ve 20 ile 20.000 Hz işitilebilir aralığı kapsar. Her 1 Hz frekans aralığında aynı ortalama güce sahiptir. Bireysel frekanslarda seviye sabittir ancak ölçek oktav ise oktav başına seviye üç desibel artar. (Moeller, 2015). Eski, tüplü televizyonlarda kesilen yayın ile ortaya çıkan karlı görüntüye eşlik eden ses bir beyaz gürültü örneğidir. Uzun süreli kullanıma bağlı rahatsızlıklar oluşturması nedeni ile tercih edilmez (Everest, Pholmann, 2009: 84).



Şekil 19- Dar Bantlı Beyaz Gürültü Spektrumu

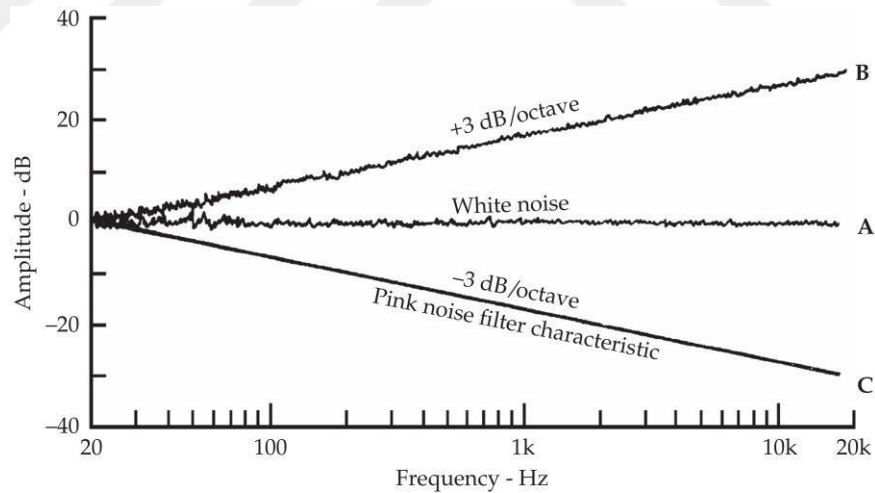
2.3.2. Pembe Gürültü

Oktav bandında insan kulağına göre ağırlıklı enerji seviyesine sahip olan gürültüdür ve sıkça kullanılan bir maskeleyicidir. Bant sınırlı (177, 5656 Hz) pembe gürültünün geniş bant pembe gürültüden daha yüksek maskeleme verimliliğine sahip olduğu deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır (Xun, 2016: 75).



Şekil 20- Dar Bantlarda Pembe Gürültü Spektrumu

Yüksek frekanslardaki enerji artışı azalma eğilimindedir. Pembe gürültü düşük frekanslarda daha yoğun, yüksek frekanslarda daha az enerjiye sahiptir. Kısmen daha yüksek olan düşük frekanslar pembe gürültüye özel bir karakter verir ve bir şelalenin sesi gibi algılanmasına yol açar (Everest, Pholmann, 2009).

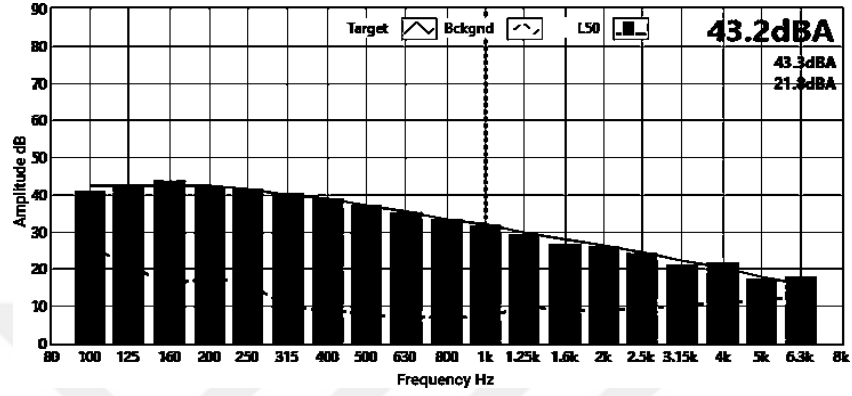


Şekil 21- Beyaz – Pembe Gürültü Spektrumları (Everest, Pholmann, 2009).

2.3.3. Hedef Spektrum Gürültüsü

Hedef alınan konuşmayı daha verimli örtmek için onun güç spektrumuna göre üretilen yapay bir rastgele gürültüdür. Spektrumu geniş bir frekans aralığını içerse de tam duyulabilir aralıktan daha dardır: 100 Hz-5 kHz aralığında olmakla birlikte bazen 10 kHz

e kadar çıkabilir. Bu gürültü hedef konuşma sinyali üzerinden oluşturulur. Pembe gürültü ile karşılaştırıldığında hedef konuşma sinyali ile benzer bir spektrum şekline sahiptir. Çalışmada bu spektrum tipi kullanılmıştır.



Şekil 22- Üçüncü Oktav Bantlarında Rastgele Gürültü Ses Maskeleye Spektrumu

3. BÖLÜM

AÇIK PLAN OFİS ÖRNEĞİ

3. BÖLÜM

AÇIK PLAN OFİS ÖRNEĞİ

Bu bölümde açık plan ofislerin akustik tasarım ve maskeleme standartları bir ofis örneği üzerinden elde edilen verilerin sonuçları ile açıklanmaktadır. Araştırma üç yaklaşımla gerçekleştirilmiştir: Seçilen açık plan ofisin mevcut durumu ve Odeon yardımı ile akustik benzetimi, maskeleme uygulaması ve sonuçların karşılaştırmalı değerlendirilmesi.

Çalışma, İzmir ilinde bir organize sanayi bölgesinde bulunan gıda şirketine ait açık plan ofisin mevcut mimari şartlarda incelenmesi, maskeleme işlemi uygulanması ve elektronik desteğin konuşma gizliliği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi sürecini kapsamaktadır.

Etkili bir ses maskeleme sistemine sahip olmanın en önemli faktörlerinden biri, çalışma alanı boyunca düzgün bir ses alanı sağlamaktır. Bu sebeple ayrıca oda akustiği bilgisayarlı benzetim aracılığıyla ses maskeleme hoparlörlerinin sayısı, bölme yüksekliği ve tavanın akustik davranış özellikleri gibi fiziksel parametrelerinin maskeleme sesinin mekânsal düzgünlüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Model üzerinden hesaplamalar arka plan gürültüsü ile ofis alanı boyunca maskelemenin ve akustik davranışın mekânsal varyasyonlarını belirlemek için farklı kaynak ve alıcılar ile gerçekleştirilmiştir. Kabul edilebilir bir maskeleme seviyesi belirlemek için açık plan ofis alanı boyunca konuşma anlaşılabilirliği, Articulation Index (AI) ve Speech Transmission Index (STI) parametreleri dikkate alınmıştır.

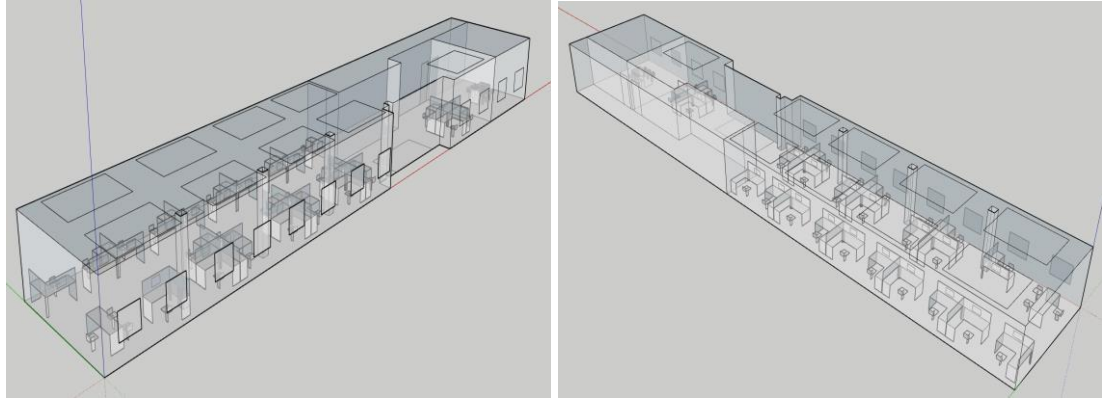
Verimliliği etkileyen akustik koşullar, ofis içerisindeki insan sayısı, HVAC etkileri gibi tüm faktörler dikkate alınmıştır. Önceki çalışmalar ışığında yeterli bir ses basınç seviyesinin oluşabilmesi için arka plan için ortalama 45 dB olarak belirlenen ortalama değer referans alınmıştır (Bradley, 2003; Moeller, 2015; Hongisto, 2008; Kang vd., 2022). İnsan kulağının davranışını modelleyen ve her frekansta eşit enerjiye sahip pembe gürültü tercih edilmiştir. Bu çalışmada T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Bakanlığı

tarafından sağlanan gürültü yönetmeliğinde belirtilen uluslararası standartlar kabul edilmiştir (TS EN ISO 3382-3 2012).

3.1. Yöntem ve Ön Kabuller

Burada, benzetimi yapılan bir açık plan ofis örneğinin üç farklı senaryo üzerinden akustik performansı ve elektronik ses maskeleme desteği uygulanması sonucunda elde edilen akustik verileri değerlendirilmektedir. İlk aşamada ofis herhangi bir akustik düzenleme yapılmamış hali ile incelenmiş, akustik uygunluk için yapılması gerekenler belirlenmiştir. Daha sonra ilgili akustik parametrelerin iyileştirilmesi, uygun ofis ortamının sağlanması için çalışma masaları ve oturma gruplarına yönelik bazı akustik önlemler alınmış, analizler tekrarlanmıştır. Üçüncü aşamada aktif maskeleme sistemleri devreye alınmış, gizlilik ve konuşma anlaşılabilirliği parametrelerinin yanı sıra, aktif gürültü sistemlerinin gizliliğe etkilerinin standartlara uygun değerlere getirilmesi konusunda çalışılmıştır. Kısaca, önce sınır değerler sağlanarak akustik gereksinimler karşılanmış, ardından aktif gürültü maskeleme sistemleri devreye alınarak gizlilik bakımından sonuçları incelenmiştir.

Örnek model, idari binanın 1. katında yer alan çalışma ofisi birbirine bağlı birkaç bölümden oluşmaktadır ve açık plan tasarımına sahiptir. Ofisin uzunluğu 38,45 metre, eni 6,80 metre, kat yüksekliği ise 3,20 metredir. Hacim yaklaşık 830 m³ toplam zemin alanı 185 metrekaredir. Ofiste aynı anda 26-28 kişinin çalışabileceği en büyüğü 4 kişilik, çapraz oturma düzeninde, birbirinden bağımsız 10 adet iş istasyonu mevcuttur. Bir toplantı odası ve alt kat ile bağlantılı bir merdiven boşluğu bulunmaktadır.



Şekil 23- Açık plan ofisin 3D modeli (ODEON)

Örnek ofisin mimari projesine göre SketchUp ortamında hazırlanan üç boyutlu modeli Odeon Room Acoustic Software 13 yazılımına aktarılmıştır. Toplam üç senaryoda 4 (A, B, C, D) farklı kaynak noktası ile 18 (R1-R18) alıcı noktası için çalışılmıştır. Değerlendirmeye alınan alıcı noktaları R1 (@2m), R5, R8 (@16m), R11, R14, R17, R18 olarak belirlenmiştir. Senaryolarda sırasıyla ofisin temel akustik gereksinimleri tespit edilip giderilmiş, konuşma gizliliği sağlanmış, ardından aktif gürültü maskele sistemleri devreye alınarak akustik parametreler ve sonuçları değerlendirilmiştir.

TS EN ISO 3382-3 2012 standardına göre ölçüm yapılacak ofislerde sağlanması gereken temel koşullar Odeon modeline aynen uygulanmıştır, koşullar kısaca;

- Ölçüm, mobilyalı ofiste çalışanlar olmadan yapılmış,
- HVAC veya diğer gürültü kaynakları ofisin olağan çalışma koşullarına benzer ayarlanmış, (Bu, kaynaktan çıkan sesin gücünün azalması durumunda STI değerinin yüksek çıkmaması ve rD ile rP parametrelerinin gerçek dışı değerlere düşmemesi için önemlidir)
- Ofiste kullanılacak elektronik maskeleme sistemi Senaryo 3'te açık tutulmuş,
- Konuşma gürültüsü pozitif maskeleme etkisi oluşturacağı için, arka plan gürültüsü içine dâhil edilmemiş,
- Pembe gürültünün ses basınç seviyesi oktav bantlarda 125 Hz ile 8000 Hz frekans aralığında değerlendirilmiş,

- Testlerde küresel (omnidirectional) ses kaynağı kullanılmış,
- İlk ölçüm konumu kaynağa en yakın alıcıda; D2s in sağlıklı hesaplanabilmesi için sonraki alıcı noktaları 2m ve 16m uzaktaki alıcılarda (R1 ve R8) tüm senaryolarda ortak kullanılmıştır (3382-3, s. 3, 7).

Akustik parametreler için öngörülen referans aralıklar şöyledir:

Tablo 10- TS EN ISO 3382-3 Parametreleri ve kabul değerleri

Parametre adı	Standart Önerisi
DL₂(A) (125-4000 Hz)	≤ 2,0 dB (kabul edilebilir)
T30 Ortalama	0,6–1,2 s (ofis/konferans)
Arka Plan Gürültüsü (L_{p,A,B})	≤35 dB (sessiz ofis)
STI (En Yakın Alıcı)	≥0,6 (iyi anlaşılabilirlik)
4 m'de Konuşma Seviyesi (L_{p,A,S})	55–65 dB (rahat iletişim)
AI (Articulation Index)	1,0
Alcons (STI)	≤ 15% (kabul edilebilir)

3.1.1 Malzeme Atamaları

Yapı elemanları ve tefrişler için ODEON malzeme kütüphanesinden atamalar yapılmış, akustik paneller için emicilik değerleri ticari bir firmanın seçilen ürün föylerinden alınmış, zemin kat ile bağlantılı merdiven boşluğu tam emici olarak tanımlanmıştır. Malzemelerin emicilik değerleri tüm senaryolar için şu şekilde belirlenmiştir.

Tablo 11- Senaryo 1-3 için tanımlanan malzemeler ve emicilik değerleri (63-8000Hz).

SENARYO 1								
DUVAR	1000 Smooth brickwork with flush pointing, painted (Knudsen & Harris, 1950, 1978)	0.01000	0.01000	0.01000	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000
MASA	3063 Thin plywood paneling (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.42000	0.42000	0.21000	0.10000	0.08000	0.06000	0.06000
ZEMİN	104 Concrete block, with or without plaster, painted (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.11000	0.11000	0.08000	0.07000	0.06000	0.05000	0.05000
MERDİVEN	%100 Emici							
TAVAN	103 Concrete block, painted (Harris, 1991)	0.10000	0.10000	0.05000	0.06000	0.07000	0.09000	0.08000
KAPI	10007 Solid wooden door (Bobran, 1973)	0.14000	0.14000	0.10000	0.06000	0.08000	0.10000	0.10000
PENCERE	10003 Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Kristensen, 1984)	0.10000	0.10000	0.07000	0.05000	0.03000	0.02000	0.02000
SANDALYE	11052 Chairs, unoccupied moderately upholstered chairs (0.90 m x 0.55 m) (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.44000	0.44000	0.56000	0.67000	0.74000	0.83000	0.87000

SENARYO 2								
DUVAR	20 20% absorbent	0.20000	0.20000	0.20000	0.20000	0.20000	0.20000	0.20000
MASA	3063 Thin plywood paneling (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.42000	0.42000	0.21000	0.10000	0.08000	0.06000	
ZEMİN	104 Concrete block, with or without plaster, painted (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.11000	0.11000	0.08000	0.07000	0.06000	0.05000	
MERDİVEN	%100 Emici							
TAVAN	80 Sonaspray Class B	0.80000	0.80000	0.80000	0.80000	0.80000	0.80000	0.80000
KAPI	10007 Solid wooden door (Bobran, 1973)	0.14000	0.14000	0.10000	0.06000	0.08000	0.10000	
PENCERE	10003 Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Kristensen, 1984)	0.10000	0.10000	0.07000	0.05000	0.03000	0.02000	
SANDALYE	11052 Chairs, unoccupied moderately upholstered chairs (0.90 m x 0.55 m) (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.44000	0.44000	0.56000	0.67000	0.74000	0.83000	
PC MONİTOR	10005 Glass, large panes of heavy plate glass (Harris, 1991)	0.18000	0.18000	0.06000	0.04000	0.03000	0.02000	0.02000

SENARYO 3								
DUVAR	20 20% absorbent	0.20000	0.20000	0.20000				
MASA AKUSTİK PANEL	8005 Cotton (0.5 kg/m ²) 130 mm from wall (Petersen, 1983)	0.30000	0.30000	0.45000	0.65000	0.56000	0.59000	0.71000
MASA	3063 Thin plywood paneling (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.42000	0.42000	0.21000				
ZEMİN	104 Concrete block, with or without plaster, painted (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.11000	0.11000	0.08000				
MERDİVEN	%100 Emici							
TAVAN	80 Sonaspray Class B	0.80000	0.80000	0.80000				
KAPI	10007 Solid wooden door (Bobran, 1973)	0.14000	0.14000	0.10000				
TAVAN AKUSTİK PANEL	8009 Acoustic panel, cotton	0.07000	0.07000	0.31000	0.49000	0.75000	0.70000	0.60000
PENCERE	10003 Double glazing, 2-3 mm glass, 10 mm gap (Kristensen, 1984)	0.10000	0.10000	0.07000				
SANDALYE	11052 Chairs, unoccupied moderately upholstered chairs (0.90 m x 0.55 m) (Ref. Dalenbäck, CATT)	0.44000	0.44000	0.56000				
PC MONİTOR	10005 Glass, large panes of heavy plate glass (Harris, 1991)	0.18000	0.18000	0.06000				
DUVAR AKUSTİK PANEL	8005 Cotton (0.5 kg/m ²) 130 mm from wall (Petersen, 1983)	0.30000	0.30000	0.45000	0.65000	0.56000	0.59000	0.71000

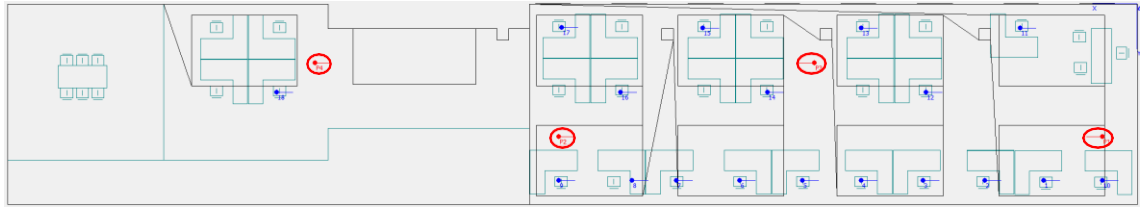
3.1.2. Kaynak ve Alıcı Noktaları

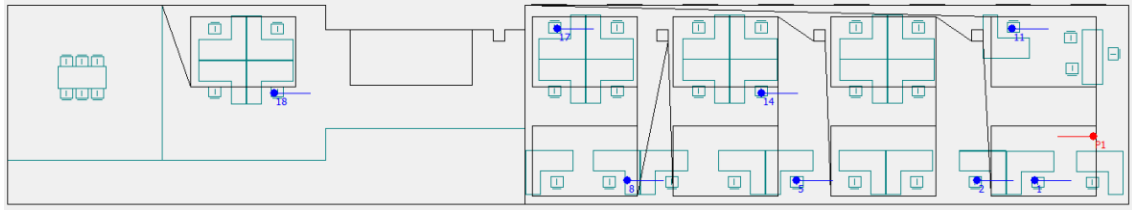
Belirlenen kaynak alıcı noktaları mimari plana uygun olarak seçilmiştir. TS EN ISO 3382-3 2012’de açık plan ofisler için tanımlanan ölçme prosedürü ile uyumludur. Buna göre; ses kaynağı ISO3382-3_OMNI.SO8’dir ve zeminden 1,2 metre yüksektir (Rindel ve Christensen 2012). Bu kaynak oktav frekans bandlarında standartlar ile belirlenen orta-yüksek seviyeli ofis içi konuşma seslerinin spektrumunu taklit eden, hacim akustiği ölçümlerine uygun küresel bir kaynaktır (Virjonen vd., 2009, Rindel ve Christensen, 2012).

Tablo 12- Yukarıdan aşağıya (ODEON): Senaryolara uygulanan kaynak noktaları (A-D) (x, y, z); üç hat olarak, on sekiz Alıcı noktası için koordinatlar (R1, R2, R3) (x, y, z).

Kaynak A	Kaynak B	Kaynak C	Kaynak D
1.2; 4.5; 1.2	19.7; 4.5; 1.2	11.0; 2.0; 1.2	28.0; 2.0; 1.2

Line R1	Line R2
3.2; 6.0; 1.2	7.2; 3.0; 1.2
5.2; 6.0; 1.2	12.6; 3.0; 1.2
7.3; 6.0; 1.2	17.6; 3.0; 1.2
9.4; 6.0; 1.2	29.3; 3.0; 1.2
11.4; 6.0; 1.2	Line R3
13.55; 6.0; 1.2	4.0; 0.8; 1.2
15.7; 6.0; 1.2	9.4; 6.0; 1.2
17.2; 6.0; 1.2	14.8; 0.8; 1.2
19.7; 6.0; 1.2	19.6; 0.8; 1.2





Şekil 24. Kaynak noktalarının odeon yerleşimleri (üstte-kırmızı), Alıcı noktalarının odeon yerleşimleri (altta-mavi).

Arka plan gürültü seviyesi üst sınırı 38 dBA; aktif gürültü maskeleme sisteminin gürültü seviyesi 58 dBA olarak belirlenmiştir.

Tablo 13- Senaryolara uygulanan oktav band arka plan gürültü seviyeleri.

	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dBA
Sen. 1	42,6	39,0	35,4	33,2	28,0	22,0	20,6	38,0
Sen. 2	42,6	39,0	35,4	33,2	28,0	22,0	20,6	38,0
Sen. 3	54,0	47,4	44,9	46,0	46,6	46,2	44,3	53,0

3.1.3. Senaryo 1

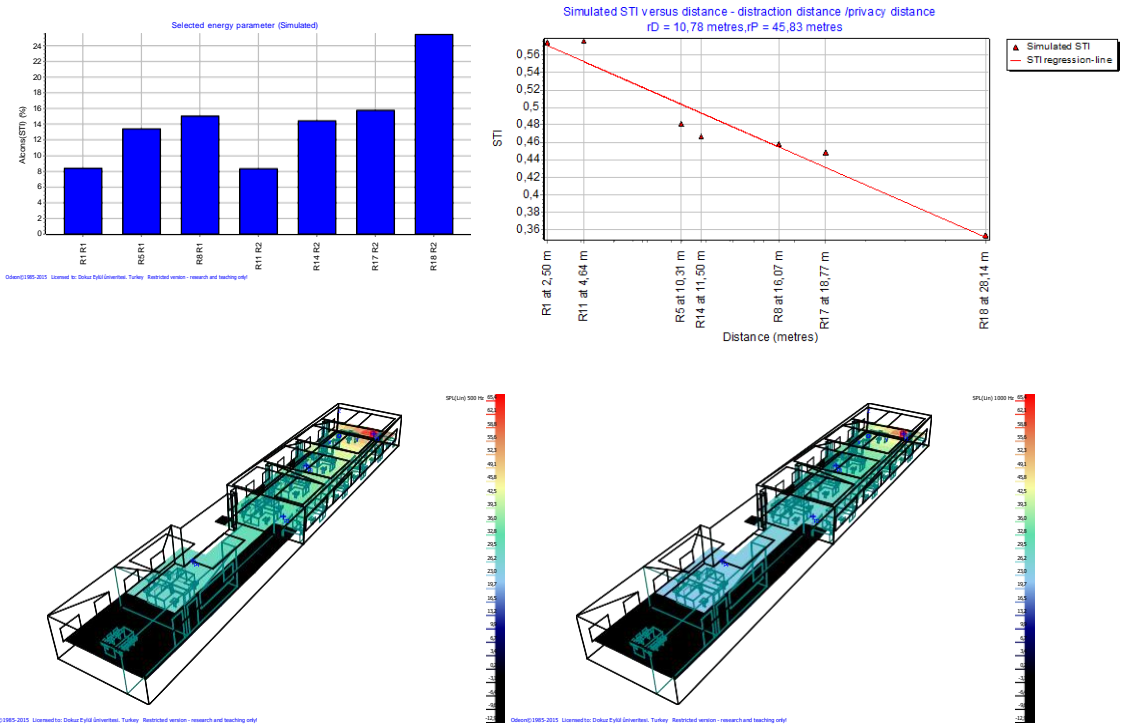
Bu senaryoda herhangi bir akustik düzenleme ve maskeleme işlemi yapılmamıştır. Mimari proje aslına uygun şekilde bırakılmış, masa ve sandalye gibi ofis malzemeleri eklenmiş, insanlar dâhil edilmemiştir. Modele 38,0 dBA arka plan gürültüsü uygulanmış, ortak bölme ve cephe elemanları gürültü geçişlerinin BGKKHY kapsamında belirlenen sınır değerleri sağladığı ön görülmüş, ortama standart HVAC gürültüsü tanımlanmıştır.

Akustik parametreler 4 kaynak aktif olacak şekilde ve 7 alıcı noktanın yanıtları değerlendirilmek suretiyle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre arka plan gürültü seviyesi makul seviyededir. Bu koşullar altında salonun ortalama çınlama süresi 1,40 saniyedir. AI 0,91 ve Alcons %12,6 ortalama değerlerinde olup, anlaşılabilirliğin vasat seviyede olduğu izlenmektedir. STI değerleri 0,56-0,39 arasında (ortalama 0,50) değişmekte olup, kaynağa uzak personelde anlaşılabilirlik seviyesi %40'ın altındadır. Bu koşullarda salonda konuşma anlaşılabilirliği kabul edilebilir, konuşma gizliliğinin ise zayıf seviyede olduğu görülmektedir. Arka plan gürültü seviyesi 38 dBA, dikkat dağınıklığı

mesafesi rD 11m'ye yakın, gizlilik mesafesi ise salonun boyundan daha uzundur. Kaynağa 4m uzakta konuşmanın seviyesi 58 dBA'ya yakın bir değerde olup gizlilik seviyesini olumsuz etkilemektedir.

Tablo 14- Kaynağa göre AI ve STI değerleri

Alıcı	Kaynak-alıcı arası (m)	STI	Alcons (%)	Gizlilik
R1	2.0	0.58	8.39	Zayıf
R5	10.2	0.48	13.44	Zayıf
R8	16.0	0.46	15.07	Zayıf
R11	4.0	0.58	8.34	Zayıf
R14	11.4	0.47	14.45	Zayıf
R17	18.4	0.45	15.80	Zayıf
R18	28.1	0.35	25.45	Makul



Şekil 25- Alcons, STI regresyonu (üstte), konuşma frekanslarının SPL dağılımı (altta)

Tablo 15- Senaryo 1 için toplu sonuçlar

Alıcı	R1	R5	R8	R11	R14	R17	R18	min	Avg.	max	
T30 ₅₀₀₋₁₀₀₀	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	
SPL	55,8	57,6	56,2	55,7	59,0	55,0	50,2	50,20	55,64	59,00	
STI	0,49	0,53	0,52	0,49	0,56	0,51	0,39	0,39	0,50	0,56	
AI	0,92	0,97	0,93	0,92	0,99	0,90	0,74	0,74	0,91	0,99	
Alcons%	12,56	10,35	11,07	12,62	8,84	11,83	21,00	8,84	12,61	21,00	
Lp,A,B	38,04										
Lp,A,S,4m	57,63								yetersiz		
D2,S	1,94								yetersiz		
rP	37,54								yetersiz		
rD	10,78								yetersiz		
DL2(A)	3,32										
STI	0,58								0,58		
STI Avg	0,50								0,50		

TS EN ISO 3382-3 ve ANSI 3.5 standartlarında belirtilen konuşma, gizlilik ve anlaşılabilirlik odaklı parametreler açısından ofisler için istenen değerleri karşılamamakta, salonda gizlilik seviyesinin artırılmasına, çınlamanın düşürülmesine ve ilave akustik önlemler alınmasına ve standart akustik parametrelerin uygun seviyelere çekilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

3.1.4. Senaryo 2

Özel bir düzenleme yapılmamış salon için akustik parametrelerin, anlaşılabilirlik ve gizlilik değerlerinin uygun seviyelerde bulunmadığı Senaryo 1’de gösterilmiştir. Tedavi amacıyla ofis tavanı B sınıfı sonasprey ile kaplanmış, duvarlar %20 oranından emici akustik paneller ile desteklenmiş, çınlama süresinin uygun değerlere indirilmesi planlanmıştır. Arka plan seviyesi aynı değerlerde tanımlanmıştır. Kaynak ve alıcı noktaları Senaryo 1’deki gibidir.

Tablo 16- Senaryo 2 için toplu sonuçlar

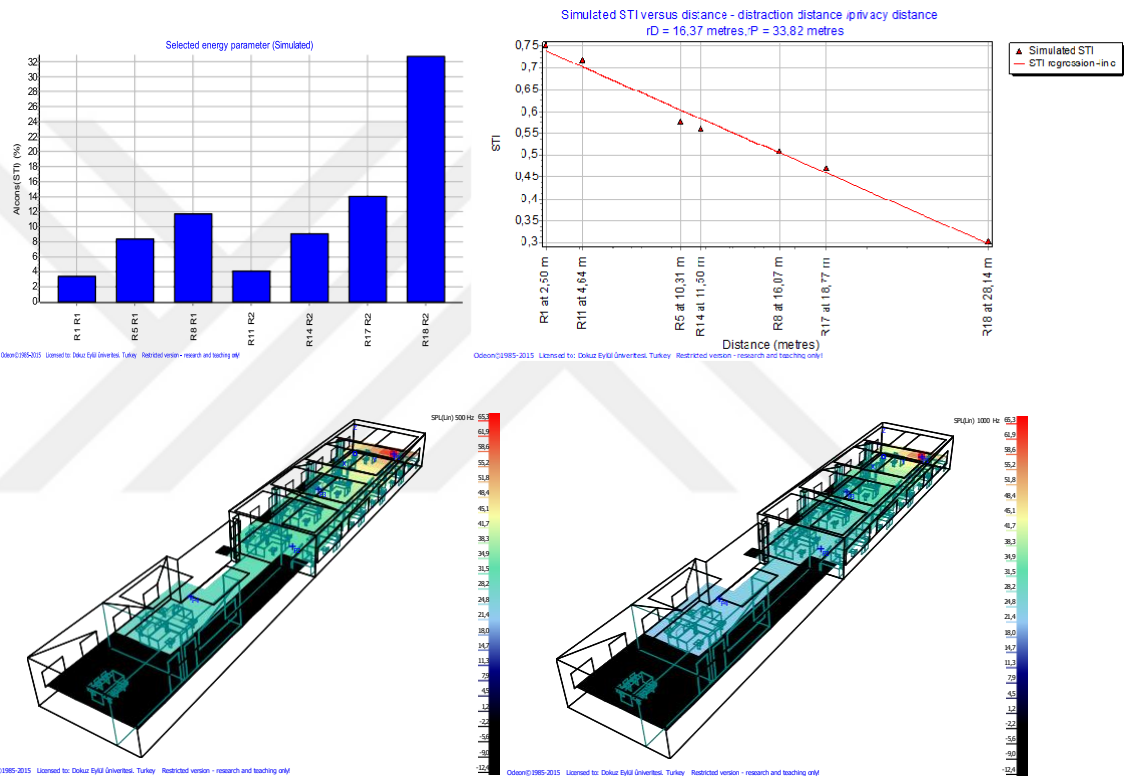
Alıcı	R1	R5	R8	R11	R14	R17	R18	min	Avg.	max	
T30 ₅₀₀₋₁₀₀₀	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	
SPL	54,3	47,1	44,4	52,3	46,6	42,8	37,4	37,40	46,41	54,30	
STI	0,75	0,58	0,51	0,72	0,56	0,47	0,30	0,30	0,56	0,75	
AI	0,88	0,65	0,56	0,82	0,63	0,51	0,33	0,33	0,63	0,88	
Alcons%	3,45	8,38	11,70	4,09	9,05	14,07	32,68	3,45	11,92	32,68	
Lp,A,B	38,04										
Lp,A,S,4m	52,29								yetersiz		
D2,S	3,65								yetersiz		
rP	33,82								yetersiz		
rD	16,37								yetersiz		
DL2(A)	4,57										
STI	0,75								0,75		
STI Avg	0,56								0,56		

Sonuçlarda, çınlama sürelerinin 400 ms seviyelerine indiği, ortalama SPL seviyelerinin yaklaşık 10dB azaldığı, ünsüzlerin yüzdesinin düştüğü, anlaşılabilirlik seviyesinin biraz daha iyileşmiş olduğu, arka plan gürültü seviyesinin makul seviyede bulunduğu izlenmektedir. Kaynağa 4m uzakta konuşma seviyesinde 5dB kadar bir düşüş olduğu, 7dB den büyük olması istenen uzamsal azalma oranı D2, s değerinin hala 4 seviyelerinde bulunduğu, dikkat dağınkılığı mesafesinin rD 16m'ye ulaştığı, gizlilik mesafesinin 30 m'nin üzerinde bulunduğu, iletim indeksinin yükselerek (%75, ortalama %56) anlaşılabilirlikte iyi bir değere geldiği görülmektedir. 3382-3 ile belirtilen parametreler ile hepsi “yetersiz” belirtilmekle birlikte kısmen iyileşmeye işaret etmekte; 4 m uzaktaki konuşma seviyesi, gizlilik mesafesi, dikkat dağınkılığı için ideal uzaklık ve ses iletim indekslerinin koşulları tam karşılayamadığı, hala “yetersiz akustik” olarak ifade edilebilecek bölgelerde bulunduğu gösterilmektedir.

Tablo 17- Kaynağa göre AI ve STI değerleri

Alıcı	Kaynak-alıcı arası (m)	STI	Alcons (%)	Gizlilik
R1	2.0	0.58	3.45	Zayıf
R5	10.2	0.58	8.38	Zayıf
R8	16.0	0.51	11.70	Zayıf
R11	4.0	0.72	4.09	Çok Zayıf

Alıcı	Kaynak-alıcı arası (m)	STI	Alcons (%)	Gizlilik
R14	11.4	0.56	9.05	Zayıf
R17	18.4	0.47	14.07	Zayıf
R18	28.1	0.30	32.68	Makul



Şekil 26- Alcons, STI regresyonu (üstte), konuşma frekanslarının SPL dağılımı (altta).

Emici malzemeler ile yapılan müdahaleler sonucunda salonun çınlama süreleri başta olmak üzere temel anlaşılabilirlik parametrelerinin iyileştiği açıkça gösterilmiştir. Bu standart bir akustik düzenleme olup temel tedavi için yeterli kabul edilebilir. Ancak, ana hedef açık plan ofis içinde anlaşılabilirlik ve akustik konfora ilave olarak mahremiyetin sağlanması olduğundan yeterli değildir, 3382-3 ile belirtilen parametrelerde en azından sınır değerlerin karşılanması beklenmektedir.

3.1.5. Senaryo 3

Senaryo 2 ofis içi akustik koşulların 3382-1 ile belirlenen kabul değerleri karşıladığını, 3382-3 koşullarını karşılamadığını göstermiştir. Konuşmada mahremiyetin sağlanması için ihtiyaç duyulan sınır değerler halen “yetersiz akustik” bölgesini işaret etmektedir. Model üzerinde bilgisayar monitörleri, tavana ilave akustik paneller, dörtlü çalışma masası bölmelerine emici panel desteği sağlanmış bu değişiklik ile yakın konumdaki personele doğrudan iletilen ses basınç seviyelerinde düşüş hedeflenmiştir.

Arka plan seviyesi elektronik gürültü kaynağı ile çalışılmış, frekans bantlarına göre spektrum değerleri 53,0 dBA seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Böylece akustik önlemleri alınarak makul seviyelere göre düzenlenen salona bu kez konuşmanın gizliliği, mahremiyetin sağlanması adına aktif gürültü emisyonu da uygulanmıştır. Kaynak ve alıcı noktalarında herhangi bir değişiklik bulunmamaktadır.

Tablo 18- Senaryo 3 için toplu sonuçlar

Alıcı	R1	R5	R8	R11	R14	R17	R18	min	Avg.	max
T30 ₅₀₀₋₁₀₀₀	0,60	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,30	0,40	0,60
SPL	37,5	43,3	52,0	38,1	44,9	48,9	42,0	37,50	43,81	52,00
STI	0,06	0,13	0,34	0,06	0,17	0,26	0,11	0,06	0,16	0,34
AI	0,04	0,12	0,32	0,05	0,15	0,23	0,10	0,04	0,14	0,32
Alcons%	109,08	46,01	26,55	109,27	63,99	41,22	84,92	26,55	68,72	109,27
Lp,A,B	53,03									
Lp,A,S,4m	48,98								iyi	
D2,S	5,16								orta	
rP	5,48								iyi	
rD	ölçüt dışı								iyi	
DL2(A)	4,89									
STI	0,33								0,33	
STI Avg	0,14								0,14	

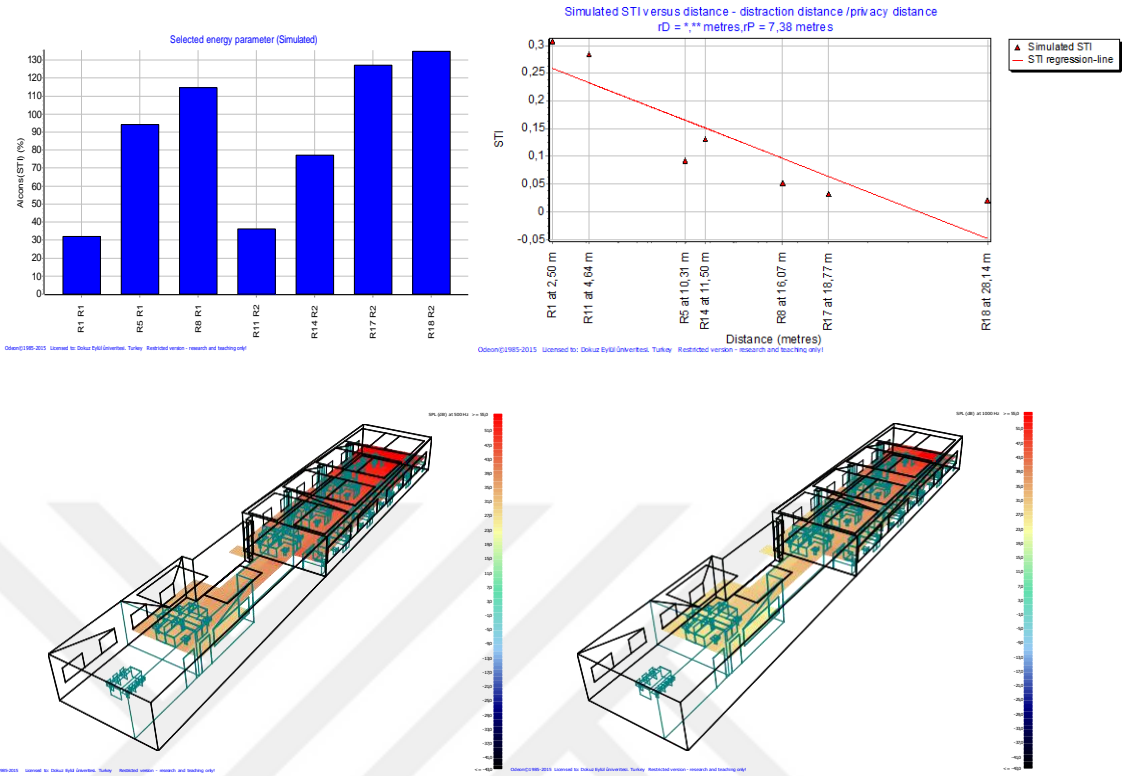
Alınan sonuçlarda salonda ortalama SPL seviyelerinin yaklaşık 2 kat azaldığı ve 43 dB’ye kadar gerilediği, AICons seviyelerinin %60’lara gerilediği, arka plan gürültü seviyesinin istenen doğrultuda artış gösterdiği izlenmektedir. Çınlama süreleri 300ms seviyelerine inmiş, emiciliği yüksek bir salon tablosu oluşturmuştur. Biraz canlandırmak adına emici duvar panellerinde eksiltme düşünülebilir ancak burada uygulanmamıştır.

Kaynağa 4m uzakta konuşma seviyesinin 50 dB altına ve 48 dB’lerde gerçekleşiyor olması (53-48=-5 dB: negatif SNR), uzamsal azalma oranı D2, S in 5’ten büyük değerleri göstermesi, dikkat dağınıklığı mesafesi rD’nin ölçüt dışı kalması, gizlilik mesafesinin de “iyi” olarak sonuçlanması, ofis ortamına aktif maskeleme gürültüsü uygulanması neticesinde hedeflenen sonuçlara ulaşıldığını, maskeleme işleminin olumlu sonuç verdiğini göstermiştir. İletim indeksinin en yüksek 0,33’le kadar inmiş olması yeteri kadar mahremiyetin sağlandığını açıkça göstermektedir.

Açık plan ofisler için TS EN ISO 3382-3 ile belirtilen akustik parametrelerde net bir iyileşme sağlanmış olup Senaryo 3’te uygulanan aktif maskeleme gürültüsü ofiste mahremiyetin sağlanmasındaki soruna kesin çözüm getirmiştir. Son düzenlemeler ile bu ofiste 4 m uzaktaki konuşma seviyesi maskeleme sinyal düzeyinin altına inmiş, gizlilik mesafesi kısalmış ve diğer akustik parametreler de “yetersiz akustik” bölgesinden çıkarak “iyi akustik” tanımlarını karşılayacak seviyeleri göstermiştir.

Tablo 19- Kaynağa göre AI ve STI değerleri

Alıcı	Kaynak-alıcı arası (m)	STI	Alcons (%)	Gizlilik
R1	2.0	0.31	32.03	Makul
R5	10.2	0.09	94.03	İyi
R8	16.0	0.05	114.65	İyi
R11	4.0	0.28	36.12	İyi
R14	11.4	0.13	77.34	İyi
R17	18.4	0.03	127.21	Güvenli
R18	28.1	0.02	134.83	Güvenli



Şekil 27- Alcons, STI regresyonu (üstte), maskeleme gürültüsü SPL dağılımı (altta).

Tablo 20- Senaryoların toplu sonuçları

Parametre	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Referans
Ort. STI	0.50 (Zayıf)	0.56 (Sınırdan)	0.14 (Düşük)	≤ 0.30 (Gizlilik)
Alcons (%)	%12.6 (Makul)	%11.92 (Sınırdan)	%68.72 (Yüksek gizlilik)	$\geq \%15$ (İyi)
rD	11 (Yüksek)	16 (Çok yüksek)	5.48 (İyi)	≤ 6 m (İyi)
D2, S	1.94 (Yetersiz)	3.65 (Yetersiz)	4.89 (İyi)	≥ 4 dB (İyi)
Lp, A, S,4m	58 dB	52 dB	48 dB	55–65 dB
Arka Plan	38 dBA (NC35)	38 dBA (NC35)	53 dBA (Pembe gürültü)	45-50 dB (Maskeleme)

SONUÇ

Bu çalışmada, bir açık plan ofis örneği üzerinde ODEON modelleme yazılımı ile ortamın akustik koşulları çalışılmış, gereken akustik iyileştirmeler yapılmış, konuşma gizliliğinin sağlanması için aktif maskeleme sistemi entegre edilmiştir. Sözü edilen bu her üç aşama için hesaplanan akustik parametreler ilgili standartlar kapsamında incelenmiş, uygun olmayan sonuçlar uygun aralıklara çekilmiş, belirlenen sınır değerlere giren nihai sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Açık planlı ofislerde dikkat dağınıklığı seviyesi, tercihen 0.20'ye yaklaşan gizlilik mesafesi; konuşmacıya 4m uzakta 45 dB civarında ses seviyesinin elde edilebilmesi, dikkat dağılma (rD) ve gizlilik (rP) mesafeleri bakımından referansların yakalanması üzerine incelemelerde bulunulmuştur.

İzmir'de bir gıda şirketine ait ofisin mevcut tasarımı üzerinden yapılan incelemeler, üç aşamalı senaryo analizleri ilginç sonuçlar göstermiştir. Salona uygulanan senaryoların münferit ve toplu akustik sonuçları önceki bölümde özetlenmiştir.

Çalışmada TS EN 12354 standart serisine uygun şekilde, bina akustiği ve gürültü kontrolü sınır değerlerinin sağlanmış, bina içi gürültü ve titreşim kontrolünde sorun olmadığı kabul edilmiştir. Elektronik maskelemenin akustik etkileri incelenmeden önce herhangi bir akustik önlem alınmamış, yalıtım yapılmamış, masa ve sandalyeleri yerleştirilmiş şekli ile ofis (Senaryo 1) değerlendirilmiştir.

İlk aşamada mevcut koşullardaki analizler ortalama 1.40 s çınlama süresi, yaklaşık 56 dBA ortam gürültüsü, “vasat” seviyede (%50) konuşma iletim derecesi ve %13'lere yakın ünsüz kayıpları tablosu ile uygun akustik koşulların sağlanamadığını göstermiştir. TS EN ISO 3382-3 ile bildirilen akustik parametreler için elverişli sonuçları elde etmek mümkün olamamıştır. Arka plan gürültüsü makul seviyelerde (38dBA) gerçekleşmiş, konuşmacıya 4m mesafedeki 58 dBA seviyeleri ile Lp A, S,4m hayli yüksek bulunmuştur. Gizlilik mesafesi rP 37 m civarındadır ve bu mesafe ofisin toplam uzunluğundan da fazladır. Dikkat dağınıklığı mesafesi rD 11 m ye yakın ölçülmektedir ve bu da salonun yarısından sonraki bölümünde dikkat dağınıklığının mümkün

olabileceğine işaret etmektedir. İncelemeler bu tefriş koşullarındaki ofisin akustik uygunluk ve konuşma mahremiyeti açısından “yetersiz” seviyede olduğunu bildirmektedir.

İkinci aşamada (Senaryo 2) ofis içi çınlama süresinin uygun değerlere çekilmesi amacıyla tavan B sınıfı Sonasprey malzeme ile kaplanmış, çalışma masalarına PC ekranları yerleştirilmiştir. Analiz sonuçları çınlama süresinin makul kabul edilebilecek, ortalama 400 ms seviyelerine gerilediğini göstermektedir: Ortamın gürültüsü ortalama 47 dBA seviyelerine inmiş, STI seviyesi %56 ‘lara yükselmiş, anlaşılabilirlik kalitesi artmıştır. Konuşmada ünsüz kayıpları halen %12 ‘ler civarında olup akustik konfor için düşürülmesini, konuşma mahremiyeti için daha yüksek değerlerin sağlanmasına ihtiyaç duymaktadır. Hedefi <8 olan gizlilik mesafesinin halen 30’lu, hedefi <5 olan dikkat dağınıklık mesafesinin ise 16 m seviyelerinde seyrediyor olması, daha özel akustik önlemlerin alınmasına ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir. Konuşma frekanslarında STI değerleri %75 gibi iyi bir düzeye çıkmış olup, (ünsüzler ve heceler dışında) genel anlaşılabilirlik oranının “iyi” olduğu izlenmektedir. Kısmi akustik önlemler neticesinde bazı akustik parametrelerin iyileşmiş, dinleme konforunun kısmen artmış olduğu görülmüştür. Arka plan gürültü seviyesinin makul seviyelerde bulunduğu, 48-50 dBA seviyelerinde istenen 4m uzaktaki enerji seviyelerinin ise halen yüksek değerlerde gerçekleştiği, gizlilik ve dikkat dağıtma mesafelerinde iyileştirmelere ihtiyaç bulunduğu, salonun bu haliyle de “yetersiz” seviyede olduğu gösterilmiştir. Bu ofiste elverişli mahremiyet limitlerini sağlamak adına aktif maskeleme gürültüsüne gereksinim bulunmaktadır.

Üçüncü aşama (Senaryo 3) ile uygulanan temel işlem, tavan hoparlör sistemleri ile salona aktif maskeleme gürültü emisyonunun sağlanması olmuştur. İlk iki senaryoda arka plan HVAC vb. gürültüleri için BGKKHY ile izin verilen 36-44 dBA arasında bir değer alınarak ortama 38 dBA (NC 32) gürültü filtresi uygulanmıştı. Bu aşamada sonuçları iyileştirmek, etkin maskeleme sağlamak için salona orta yükseklikte konuşma tanımlaması yapılarak 53 dBA’lık (NC 48) bir konuşma gürültü spektrumu uygulandı. Tavana, duvarlara ve dörtlü çalışma masalarına belli bölgelere panama keteni kaplı akustik paneller yerleştirildi ve bu hali ile hesaplamalar tekrarlandı. Elde edilen sonuçlar yüz güldürücü oldu.

Salonda temel akustik parametreler sınırların dışına çıkacak seviyede bir zarar görmeden, arka plan gürültü seviyesinin 53 dBA ya yükseldiği, genel ses basıncının 43 dBA seviyelerine indiği, ünsüz kayıplarının %100'ün üzerine çıktığı ve tüm bunların konuşma mahremiyetine önemli katkı sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca gizlilik parametresi ($rP=5,48$) ile dikkat dağınıklığı mesafesi uygun değerlere inmiş; STI 0,33 ile yeteri kadar anlaşılabilirliği sağlamış, ortalama 0,14 değeri ile 0,20'lerin altına inmiş STI ve gizlilik mesafesi ile parametreler en uygun aralığa gelmiştir. Mahremiyet adına tüm değerler standartlar ile belirtilen referans sınırlar dâhiline çekilmiş, bu üçüncü aşama ile salonda “iyi” akustik koşulların sağlandığı gösterilmiştir.

Açık plan düzenindeki bir ofise uygulanabilecek akustik iyileştirmeler genel akustik konforun artırılmasında yardımcı olabilir ancak, konuşmanın gizliliği ve azami mahremiyetin sağlanabilmesi noktasında mevcut akustik tedavilere ilave olarak aktif elektronik maskeleme sistemlerinin kesinlikle devreye alınmasının yararları hem konuşma anlaşılabilirliği hem konuşma gizliliği adına kazanımları açıkça izlenmiştir.

Bu çalışmada elektronik maskeleme sistemlerine uygulanan hedef spektrumlu gürültü farklı çalışmalarda farklı gürültü tipleri ile tekrarlanabilir. Bu çalışmanın hedef denek grupları üzerinde dinleme testleri yapılmak suretiyle genişletilmesi, ortama uygulanan gürültü tiplerine göre ofis çalışanları üzerindeki maskeleme etkilerinin daha detaylı tespit edilmesinde yararlı sonuçları olabilir.

KAYNAKÇA

Kitaplar:

BERANEK, L.L., (1993). Acoustics, Acoustic Laboratory Massachusetts Institute of Technology.

BRUEL, KJAER (1978). Architectural Acoustics by K.B. Ginn. M. Sc. November.

DURMAZ, S. (2024). Temel Akustik ve Çevresel Gürültü Ölçümleri, İstanbul: İkinci Adam Yayınları.

DURMAZ, S. (2020). Temel Bina Akustiği, İstanbul: Cinius Yayınları.

DURMAZ, S. (2009). Müzik Teknolojisi ve Audio Terimleri Sözlüğü, İstanbul: Cinius Yayınları.

ERMANN, M. (2015). Architectural Acoustics Illustrated, Wiley Publication.

EVEREST F. A., PHOLMANN K. C. (2009). Master Handbook Of Acoustic Fifth Edition. The McGraw-Hill Companies.

HANSEN, C. H., HANSEN K. L. (2021). Noise Control From Concept to Application Second Edition, CRC Press.

HANSEN, C. H., BIES D. A. (2009). Engineering Noise Control Theory And Practice Fourth Edition, Spon Press.

KAUFMANN, J.-BUHLER (2021). Open Plan A Design History of the American Office, Bloomsbury Publishing.

LONG, M. (2006). Architectural acoustics. Amsterdam: Elsevier.

MANSELL, J.G. (2017). The Age of Noise in Britain: Hearing Modernity University of Illinois Press.

MEHTA, M., JOHNSON, J., AND ROCAFORT, J. (1999). Architectural acoustics: Principles and design. New Jersey: Prentice Hall.

RİNDEL, J. H. (2017). Sound Insulation in Buildings. CRC Press.

Basılmamış Kaynaklar (tezler, görüşmeler, bildiriler):

GARPENSVÄRD, F., KNUTAR A. (2020) Sound masking in open-plan offices, Department of Civil and Industrial Engineering, Construction Engineering and the Built Environment Uppsala University.

KİTAPCI, K. (2008). Effects of speech intelligibility on computer-based task performance in open- plan offices. Yüksel Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

MOELLER, N. (2015). Understanding Acoustic Privacy Within The Built Environment Constructon Canada– June2015, ss.18-22 <https://www.constructoncanada.net/publcatons/de/201506/?page=18#>

ZAREI, F., (2019). Evaluation of the spatial uniformity of electronic sound masking systems in an open-plan office, In the Department Of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.

XUN, W. (2016). Active Control of the Acoustic Quality in Open-plan Offices Using a Noise Barrier System with Sound Masking, Thesis for the degree of Doctor in Engineering, Kyushu University Department of Mechanical Engineering.

Makaleler:

ACUN, V.- YILMAZER, S. (2018). A grounded theory approach to investigate the perceived soundscape of open-plan offices. Applied Acoustics 131, 28-37.

BALAZOVA, I- CLAUSEN, G.- RINDEL, J.H.- PAULSEN, T. D.-WYON, P. (2008). Open-plan office environments: A laboratory experiment to examine the effect of office noise and temperature on human perception, comfort and office work performance. Proceedings of Indoor Air, Copenhagen, Denmark.

BASRUR, S. V. (2000). Health Effects Of Noise, City of Toronto Community and Neighbourhood Services Toronto Public Health Health Promotion and Environment Protection Office, Canada.

BERGLUND, B., LINDVALL, T., SCHWELA, D. H. (1999). Guidelines For Community Noise. Geneva: World Health Organization.

BRUYNINCKX J., (2022). An unquiet quiet: The history and “smart” politics of sound masking in the Office. Techniques of Hearing, 2022 ss.13-20

BRADLEY, J. S. (2003). The Acoustical design of conventional open plan offices. Canadian Acoustics, 31(2), 23-31.

BRADLEY, J. S., GOVER, B. N. (2004). Criteria for acoustic comfort in open plan offices. Inter-Noise 2004 – The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Prague, Prag.

BRADLEY J. (2003). The acoustical design of conventional open plan offices. Canadian Acoustics, Journal of the Canadian Acoustical Association, Volume 31, Number 2, June 2003, ss:23.

CHANAUD, R. C. (2007). Progress In Sound Masking, Acoustic Todays Journal, Volume 3, Issue 4, October 2007, ss.21-26

CULLING, J.F.- STONE, M.A. (2017). Energetic Masking and Masking Release. In: Middlebrooks, J., Simon, J., Popper, A., Fay, R. (eds) The Auditory System at the Cocktail Party. Springer Handbook of Auditory Research, vol 60. Springer, Cham (doi:10.1007/978-3-319-51662-2_3).

EVANS, G. W., JOHNSON, D. (2000). Stress and open-office noise. *Journal of Applied*

Psychology, 85(5), 779–783.

HAAPAKANGAS, A., KANKKUNEN, E., HONGISTO, V., VIRJONEN, P., OLIVA, D., and KESKINEN, E. (2011). Effects of five speech masking sounds on performance and acoustic satisfaction. Implications for open-plan offices. *Acta Acustica united with Acustica*, 97(4), 641-655.

HONGISTO, V., VIRJONEN, P., and KERANEN, J. (2007). Determination of acoustic conditions in open offices and suggestions for acoustic classification. 19th International Congress On Acoustics, Madrid, Spain.

HONGISTO, V. (2008). Effects of sound masking on workers- a case study in a landscaped office. Turku University of Applied Sciences.

HONGISTO, V., KERANEN, J., and LARM, P. (2004). Simple model for the acoustical design of open-plan offices. *Acta Acustica United With Acustica*, 90, 481-495.

HONGISTO, V. (2005). A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance, *Indoor Air Journal*, ss.458-468 <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00391.x>

KENNETH, P. R. (2003). Sound Masking System Design And Speech Privacy, *Institute Of Acoustics, Acoustics Bulletin Journal*, Volume:28, No:3, May-June 2003, ss.16-19

KİTAPÇI, K. (2018). Açık Planlı Ofislerde Akustik ve Konuşma Gizliliği: Bilgisayar Tabanlı Görev Performansı Üzerine Bir Vaka Analizi. *GRID-Mimarlık Planlama ve Tasarım Dergisi*, 1(1), 1-23.

MAHER, A., & VON HIPPEL, C. (2005). Individual differences in employee reactions to open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*, 25(2), 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2005.05.002>.

POP, C. B., RİNDEL, J. H. (2005). Perceived speech privacy in computer simulated open plan offices. *Inter-Noise 2005*, Rio de Janeiro, Brasília.

RENZ, T., LEİSTNER, P., LİEBL A., (2018). Auditory distraction by speech: Sound masking with speech-shaped stationary noise outperforms -5 dB per octave shaped noise (doi: 10.1121/1.5027765).

RİNDEL, J. H. (2012 a). Prediction of acoustical parameters for open plan offices according to TS EN ISO 3382-3. Acoustical Society of America, Hongkong, China.

RİNDEL, J. H. (2012 b). Odeon application note – TS EN ISO 3382-3 open plan offices. Application note – Open plan offices.

RİNDEL, J. H., CHRİSTENSEN, C. L. (2012). Acoustical simulation of open-plan offices according to TS EN ISO 3382-3. Euronoise, Prague, Prag.

TUOMAALA, A. K., HELENİUS, R., KESKİNEN, E., AND HONGİSTO, V. (2009). Effects of acoustic environment on work in private office rooms and open-plan offices – longitudinal study during relocation. *Ergonomics*, 52(11), 1423-1444.

VIRJONEN, P., KERANEN, J., HAKALA, J., and HONGİSTO, V. (2004). Speech privacy between neighboring workstations in an open office – a laboratory study. *Acta Acustica United With Acustica*, 93, 771-782.

WARNOCK, A. C. C. (1972). Acoustical studies in open-plan offices: summary report, Technical Note (National Research Council of Canada. Division of Building Research), 1972-08 <https://doi.org/10.4224/40001191>

Kılavuzlar, Standartlar ve Yönetmelikler:

ISO 14257 (2001). Akustik — Çalışma odalarında akustik performanslarının değerlendirilmesi için mekansal ses dağılım eğrilerinin ölçümü ve parametrik tanımı.

ASTM E1573 (2009). Açık Ofislerde A Ağırlıklı ve Üçte Bir Oktav Bant Ses Basınç Seviyelerini Kullanarak Maskeleyen Sesini Değerlendirmek İçin Standart Test Yöntemi.

ASTM E1130 – 16. Açık Plan Alanlarında Konuşma Gizliliğinin Nesnel Ölçümü İçin Artikülasyon İndeksi Kullanılarak Standart Test Yöntemi.

BGKKHY (2002). Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik

ANSI/ASA 3.5 (1997). Konuşma Anlaşılabilirliği İndeksinin Hesaplanması Yöntemleri.

ISO 1996-1 (2016). Akustik- Çevresel gürültünün tanımı, ölçümü ve değerlendirilmesi.

TS EN ISO 12354-1 (2017). Binaların Akustiği- Binaların Akustik Performansının Elemanların Performansından Hesaplanmasına Yönelik Uluslararası Standart.

ISO 226 (2023). Akustik- Normal eşit ses yüksekliği seviyesi konturları standartı.

ÇGKY (2022). Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı. Resmî gazete.

ANSI S3.5 (1997). Amerikan ulusal standardı: Konuşma anlaşılabilirlik endeksinin hesaplanma yöntemleri. Amerika Akustik Derneği.

TS EN ISO 3382-1 (2010). Akustik- odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi- Bölüm 1: Performans boşlukları.

TS EN ISO 3382-2 (2009). Akustik- odanın akustiğinin parametrelerinin ölçümü- Bölüm 2: Sıradan odalarda çınlama zamanı.

TS EN ISO 3382-3 (2012). Akustik -oda akustik parametrelerinin ölçülmesi- Bölüm 3: Açık planlı ofisler.

6331 SAYILI İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KANUNU (2012). T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın hazırladığı "Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik.

BS EN ISO 14257. (2001). Akustik- Çalışma odalarında akustik performanslarının değerlendirilmesi için uzamsal ses dağılım eğrilerinin ölçümü ve parametrik tanımı.

İnternet Kaynakları:

BIAMP SYSTEMS- <https://www.biamp.com/>

CISCA- Ceilings & Interior Systems Construction Association-<https://www.cisca.org>

CONSTRUCTION CANADA- <https://www.constructioncanada.net/placing-sound-masking-on-the-front-line-of-acoustic-design/>

GING, J. (2023). Sound Masking System Design for the Integrator, Lowell Manufacturing Company, <http://www.lowellmfg.com/>

ODEON- <https://odeon.dk/>

VİBRA-SONİC CONTROL- <https://vibra-sonic.com/>

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı: Tolga Çevik

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim:

Yüksek Lisans: Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Müzik Teknolojisi Bilim Dalı / 2025

Lisans: 2010, Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Müzik Bilimleri Bölümü

Lise: 2004, Karşıyaka Gazi Anadolu Lisesi

Sertifikalar:

2022, Yıldız Teknik Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Pedagojik Formasyon

2021, IHA-1 Ticari İnsansız Hava Aracı Pilotu