

## Eğitim Yapılarında Mekânların Akustik Analizi: Necmettin Erbakan Üniversitesi Örneği

Fatih Semerci<sup>1</sup>, Ali Kaygısız<sup>2</sup>

---

Makale Geliş Tarihi (Submitted Date) : 05-06-2020 - Makale Kabul Tarihi (Accepted Date): 20-07-2020.

---

### Öz

Bu çalışmada fakülte binalarındaki hacimlerin matematiksel veriler üzerinden analizine yer verilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak ses, gürültü, akustik kavramları üzerinde durulmuş; akustik değerlendirme parametreleri ve akustik kusurlar araştırılmıştır. Alan çalışması için öncelikle çalışma konusu olan fakülte binalarına örnek olarak seçilen N.E.Ü. 15 Temmuz Yerleşkesinin projeleri elde edilmiştir. Daha sonra fakülte binasında analizi yapılacak olan mekânların, 3 boyutlu modeli yapılarak ODEON Akustik Simülasyon Programına aktarılmıştır. Kaynak ve alıcı noktaları, kaplama malzemeleri, optimum değer kabulleri yapılarak akustik simülasyon yapılmıştır. Daha sonraki süreçte tanımlanan akustik parametreler ışığında değerlendirmeler yapılmış ve sonuçlar ortaya konulmuştur. Yapılan bu çalışmada, sınıflarında kişi başına düşen hacim miktarının fazla olduğu, iç bükey yüzeylerin sınıfların akustik açıdan homojen olmamasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca uygulanan ilave yutucu yüzeylerin çınlama sürelerini optimum değer aralığına getirdiği halde konuşma anlaşılabilirliğini sağlamadığı ve bu eğitim yapısının tasarım aşamasında akustik değerlerin göz önüne alınarak tasarlanmadığı görülmektedir. Tasarım aşamasında akustik koşullar doğrultusunda tasarlanmayan eğitim yapılarında ise yapılacak iyileştirmelerde çınlama süresinin optimum değere getirilmesinin yeterli olmadığı ve iyileştirme önerilerinin diğer akustik parametrelerle birlikte değerlendirilmesinin gerekliliği ortaya konularak çözüm önerileri sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Akustik, Akustik Simülasyon, Hacim Akustiği, Mimaride Akustik, Fakülte Binaları.

---

## Acoustical Analysis of Spaces In Educational Structures: Necmettin Erbakan University Case

### Abstract

In this study, the analysis of volumes in faculty buildings through mathematical data was performed. In this context, firstly, the concepts of sound, noise and acoustics are emphasized and acoustic evaluation parameters and acoustic defects are investigated. In the study, the projects of N.E.Ü. 15 Temmuz Campus selected as an example of the faculty buildings that are the subject of study were obtained. Then, 3-dimensional model of the spaces to be analyzed in the faculty building was transferred to the Odeon acoustic simulation program by using Sketch Up software. The source and receiver points, the covering materials, and acoustic parameters were assumed to be the optimum value and acoustic simulation was performed. Then, in the light of the acoustic parameters defined, evaluations were made and the results were presented. In this study, the volume per person in classrooms is high, concave surfaces cause the classrooms to be not acoustically homogeneous. Although the additional absorbent surfaces get the reverberation time of the classrooms to the optimum value range, but the speech intelligibility is not sufficient and it is seen that the acoustical conditions are not considered at the design stage of the building. In the educational buildings that are designed without considering the acoustic conditions during the design phase, it is not enough to optimize the reverberation time to acoustically improve of the classrooms and other parameters should be considered together in improvement phase and improvement solutions were presented.

**Keywords:** Acoustic, Acoustic Simulation, Room Acoustics, Acoustics in Architecture, Faculty Buildings.

---

<sup>1</sup> Doç. Dr. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendisli Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, fsemerci@erbakan.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1017-5141

<sup>2</sup> Yüksek Mimar, kaygisiza@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8408-3792

---

## 1. GİRİŞ

Mimaride akustik konusunda yapılan çalışmaların uzun bir geçmişi vardır. İşitme ve ses ile ilgili erken çalışmalar Vitruvius'tan bu yana görülmektedir. Milattan önce 580-500 yılları arasında yaşamış Pythagoras'ın çalışmaları ilk çalışmalar olarak kabul edilmiştir ve rakamsal gözlemlere dayanmaktadır. Daha sonra milattan önce 384-322 yılları arasında yaşamış Aristotle "Ses ve İşitme" başlıklı çalışmalar yapmıştır. Diğerleri de bunları takip etmiştir. Bu çalışmalarda, temel amaç, fiziksel olarak sesin tanımlanması ve daha iyi işitme için gerekli şartların belirlenmesi olmuştur. Bu dönemlerde, bugün anladığımız şekilde herhangi bir gürültü kavramı yoktur. O dönemlerdeki mevcut gürültü, gök gürlemesi ve fırtınalar gibi doğal sesler ve savaş zamanlarındaki silahların sesleridir. Asıl gürültü (insanlar tarafından oluşturulan) sanayi devrimi ile ortaya çıkmıştır. İnsanlık gürültünün farkına varmaya başlamış ve ancak 2. Dünya Savaşı'ndan sonra gürültüye karşı önlemler almıştır. Bu yolla, gürültü kontrolü akustik biliminin bir dalı haline gelmiştir (Kayili, 2005). Özellikle kapalı hacimlerin büyümesi ile akustik sorunların da beraberinde gelmesi kapalı mekânlarda gürültü-akustik denetimlerinin ihtiyaç haline gelmesine yol açmıştır. Karmaşık fonksiyonlu yapılarda farklı işlevlere sahip mekânlardan bir tanesi de üniversite fakülte binalarıdır ki birçok farklı işlevi bünyesinde barındırmaktadır. Bu işlevlerden bir tanesi de sınıflar-atölyelerdir. Bu mekânların akustik kontrolünün konfor şartlarında olması uzun süreli öğrenci-öğretici etkileşiminin sağlanmasında önemli role sahiptir. Akustik açıdan sorunlu dersliklerde uzun süreli ders işlenmesi mümkün değildir. Söz gelimi akustik çınılamanın fazla olduğu mekânlarda belli bir süre sonra öğrencilerde dikkat dağılması ve algılama sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu mekânların akustik değerlendirmeleri optimum düzeye sahip olacak şekilde yapılmalıdır. Bu çalışma ile seçilmiş olan fakülte binası üzerinden eğitim mekânlarının (dersliklerin) akustik sorunlarının tespiti ve çözüm önerisi üzerinde durulmuştur. Çalışmada bu mekânların sorunlarının tespiti ve çözüm önerileri temel amaçtır. Hacim akustiğinde sorun olan farklı boyut ve geometrilere sahip iki atölye (derslik) seçilmiş ve matematiksel veriler ışığında değerlendirmeler yapılmıştır. Atölyelerin modellemeleri yapılmış ve akustik simülasyon programı ile analizleri yapılmıştır. "Odeon" akustik simülasyon paketi, hacim akustiğinde yansıma yollarını ve yayılımı birleştiren bir bilgisayar modelidir. Bunlara benzer bilgisayar model ve simülasyonları kullanılarak, eko gibi problemler belirlenebilir ve özel işlevler için amaçlanmış hacimlerin genel akustik

performansı gerçek yapım aşamaları başlamadan değerlendirilebilmektedir (Abdou, 2003). Bu çalışmada da Odeon programı sayesinde ele alınan mekânların akustik sorunları ortaya konmuştur. Sonrasında ise çözüm önerilerine değinilmiştir.

### 1.1 Problemin Tanımı

Fakülte binalarında yer alan sınıfların, konferans salonlarının ve atölyelerin, akustik konforu mekânların işlevselliği ve sağlıklı kullanımı açısından önemlidir. Bu mekânlardaki konuşmanın anlaşılabilirliği eğitim işlevinin temelini oluşturmaktadır. Dolayısı ile bu hacimlerde etkili anlaşılabilirliğin sağlanması için boyut, şekil, yüzey eğimi ile malzemesi ve arka plan gürültü seviyesi gibi mimari öğelerin akustik açıdan ciddi bir analizle ele alınması gereklidir (Long, 2006).

Fakülte binalarındaki sınıf-atölye akustik tasarımının ses üretimi-dağılımı üzerinde önemli bir rolü vardır. Bu mekânlardaki emici ve yansıtıcı yüzeylerin yeri ve oranı, mekânların geometrisi sesin mekândaki rolünü etkilemektedir. Emici malzemeler sesi sönmümlerken sesin algılanmasını zayıflatabilmekte, aynı zamanda eğitiminin de yüksek sesle hitap etmesine sebep olabilmektedir. Yansıtıcı yüzeyler ise mekândaki sesin çınılmasına yol açabilmekte ve konuşulanların algılanmasının önüne geçebilmektedir (Garcia, 2011; Duran, 2019). Bu çalışmada eğitim mekânlarının akustik konforunun analizi edilmesi, sorunlarının tespiti ve çözüm önerilerinin oluşturulması amaçlanmıştır. N.E.Ü. 15 Temmuz Yerleşkesi fakülte binalarında yer alan farklı geometriye sahip, akustik sorunlar barındıran iki derslik ele alınmış ve akustik konfor şartları değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen bulgular sayesinde çözüm önerilerine gidilmiştir.

### 1.2 Yöntem

Yapılan birçok çalışma çeşitli hacimlerin akustik kalitesini ortaya koymaktadır. Özellikle çoklu kullanıcıların bir arada bulunduğu mekânlarda akustik konfor sesin algılanması açısından önem arz etmektedir ve dolayısıyla çalışmalar bu mekânlara yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada fakülte binalarındaki çoklu kullanıcının birlikte yer aldığı ve akustik sorunların sıkça rastlandığı dersliklerin akustik konforu irdelenmiştir. Bu bağlamda N.E.Ü. 15 Temmuz yerleşkesindeki fakülte binalarında yer alan iki derslik ele alınarak analiz edilmiştir. Bu derslikler çalışmada C1 ve C2 olarak kodlanmıştır. Çalışmada dersliklerin analizi için dijital ortamda simülasyon programı yardımıyla matematiksel verilerden yararlanılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak söz konusu sınıfların SketchUp 8.0 modelleme programı yardımıyla 3D modeli

hazırlanmıştır. Bu modeller ODEON 14.02 Auditorium akustik simülasyon programı ile akustik açıdan analiz edilmiştir. Çalışmada sınıfların tamamen dolu olduğu kabul edilmiştir. Kullanıcı ve ses kaynağının birlikte olduğu mekânların analizi doğrultusunda bulgulara yer verilmiştir. Böylece analizi yapılan mekânların sorunları tespit edilmiş ve çözüm önerileri oluşturulmuştur.

### 1.3 Genel Kavramlar

Yapılan çalışmanın ele alınış biçimiyle ilgili bazı akustik kavramlar açıklanmış ve alan çalışmasına altlık oluşturması için gerekli bilgilere yer verilmiştir. Matematiksel verilerin oluşturulmasında yardımcı olacak kriterler ve varsayımların değerlendirilmesi yapılmıştır. Böylece fakülte yapısının dersliklerinin akustik analizi için gerekli şartların oluşturulması sağlanmıştır.

### 2. Konuşma

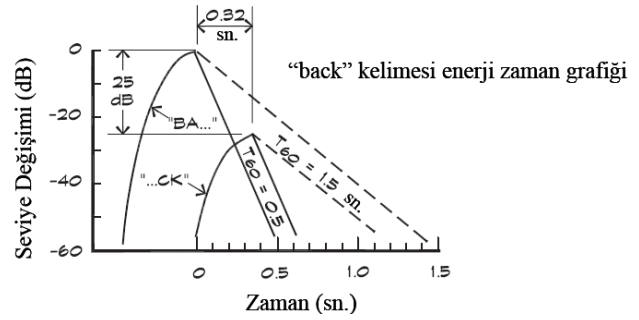
Her dilde konuşma sesli ve sessiz harflerden oluşmaktadır. Sesli harfleri içeren akortlu sesler, akciğerlerden gelen havanın ses tellerindeki titreşimle dışarı doğru itilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu geniş bantlı ses frekansı, bireylerinin sesini parçalar halinde karakterize eden görüntüyü vermek için boğaz, ağız ve burundaki rezonans boşlukları tarafından filtrelenmektedir. Dilin ve dudakların hareketi farklı sesli harflerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sesleri meydana getirmede oldukça etkili bir yoldur. Böylece, sesli harfler sessiz harflerden devamlı olarak daha gürültülü ve ses seviyeleri yüksektirler (ortalama 12 dB).

Sessiz harflerin hepsi dürtüsel karakterlidir; ya akortlu ya da kısmen daha sessiz olmasıyla akortsuzdurlar. Onların süresi sesli harflere göre daha kısadır (Barron, 2009).

Konuşmada anlaşılabilirlik; ilave seslerin, işittiğimiz konuşmayı maskelemelerine göre değişmektedir. Maskeleme arka plandaki gürültü kaynaklarından oluşabileceği gibi orijinal konuşmanın yansımalarından da olabilmektedir.

Konuşma, yüksek frekanslı harfler ile ana ses tonları olan sesli harfleri birleştirir. Sessiz harflerin tanınması konuşmanın anlaşılabilirliği açısından doğrudan bağlantılı olduğu için yüksek frekanslı seslerin bozulmadan iletilmesi kritiktir.

Şekil 4'deki grafiği "back-geri" kelimesinin enerji-zaman grafiğini gösteriyor. Kelimenin baş kısmı, son kısmına göre daha yüksek olduğu için baş kısmının yansımaları sessiz harfle bitiş maskeleyebilmektedir (Long, 2006).



Şekil 1. Çınlamanın konuşma anlaşılabilirliğine etkisi (Long, 2006)

### 3. Konuşma Amaçlı Hacimlerde Temel Akustik Gereksinimler

Modern dünyada gürültü insanoglunun bulunduğu birçok ortamda karşılaşılabileceği bir çevre kirliliğidir. İnsanların bulunduğu ortamlarda akustik açıdan optimum koşulları sağlamak için çalışmalar yapılmıştır (Long, 2006), (Beranek, 2004). Literatürde sınıfların akustik özelliklerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda gürültü seviyesi ses basıncı ölçerlerle değerlendirilmiştir. Sınıfın beş farklı yerinde yapılan ölçümlerde, gürültü seviyesinin maksimum 84.3, 96.2 ve 93.0 dB ve minimum 66.1, 71.1 ve 67.4 dB olduğu görülmüştür (Vigran, 2008), (Kinsler, 2000). Londra'da yapılan bir çalışmada gürültü seviyesinin, aktif bir sınıfta 72 dB olduğu saptanmıştır (Trevor, 2009). Farklı bir çalışmada da sınıfın ortasında ve öğrencilerin kulak yüksekliğinde yerleştirilen ses basıncı ölçer ile yapılan ölçümlerde toplam gürültü seviyesinin 61.3 ile 73.2 dB arasında değiştiği saptanmıştır (Everest, 2009).

Deneysel, teorik ve simülasyon yöntemlerle yapılan birçok çalışmada sınıfların akustik özellikleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler, standartlarda bulunan referans akustik değerler ile karşılaştırılarak sınıfların akustik kalitesini iyileştirmek için bazı yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemlere; ses yutucu panellerin tavana ve duvarlara monte edilmesi örnek olarak verilebilir (Brooks, 2003). Sonuç olarak sınıf akustik kalitesini iyileştirmek için gürültü seviyesi ölçümleri dikkate alınarak ses yutucu düzenekler üzerinde odaklanılmıştır.

ISO standardında belirtildiği gibi 90 dBA'lık gürültünün insan sağlığına zararlı olduğu kabul edilmiştir. Gürültüye maruz kalan insanlarda geçici işitme kayıpları oluşabilmektedir. İşitme sağlığı açısından bir insan, günlük maksimum gürültü seviyesi 80, 90, 95, 100, 105, 110 ve 115 dBA olan ortamda sırasıyla en fazla 7.5, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 saat gürültüye maruz kalabilir.

Çınlama süresi (RT) için ulusal ve uluslararası standartlarda Çizelge 1'de gösterildiği gibi referans değerler belirtilmiştir. Öğrencilerin sınıfta olmadığı yalnızca sınıf malzemeleri ile

döşeli olan bir sınıfta, Japonya'da, 500Hz- 1000 Hz 2-oktav bandında RT değerleri 0.6 ve 0.7, Amerika Birleşik Devletleri'nde 500Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz orta bandında RT değerleri 0.6 ve 0.7, Almanya'da DIN 18041 standardına göre 500Hz-1000 Hz 2-oktav bandında RT değerleri 0.5, 0.6, 0.7 ve 0.8 olarak, Fransa'da 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz'de RT değerleri (aritmetik ortalama olarak hesaplanır) 0.4-0.8 ve 0.6-1.2 arasında, Portekiz'de  $125\text{Hz} \leq f \leq 250\text{Hz}$ , ve  $500\text{Hz} \leq f \leq 4000\text{Hz}$ 'de sırasıyla RT değerleri (iki frekans aralığında bir fonksiyon olarak hesaplanır) 1.0'a eşit veya 1.0'dan küçük, 0.6-0.8 arasında ölçülmüştür. Dünya Sağlık örgütü (WHO) sınıflar için RT değerini 0.6 olarak tavsiye etmektedir (Köse, 2010).

Çizelge 1. Farklı ülkelerde sınıflar için optimum çınlama süresi değerleri (Köse, 2010)

Ülke	RT (sn.)	Sınıf Hacmi (m <sup>3</sup> )
Fransa	$0.4 < RT \leq 0.8$	$V \leq 250$
	$0.6 < RT \leq 1.2$	$V > 250$
Almanya	RT=0.5	V=125
	RT=0.6	V=250
	RT=0.7	V=500
	RT=0.8	V=750
Japonya	RT=0.6	V~200
	RT=0.7	V~300
Portekiz	125Hz.-250Hz. için RT≤1.0	-
	500Hz.-4000Hz. için	-
ABD	$0.6 \leq RT \leq 0.8$	$V \leq 283$
	RT=0.6	$283 < V \leq 566$
	RT=0.7	-
WHO	RT=0.6	-

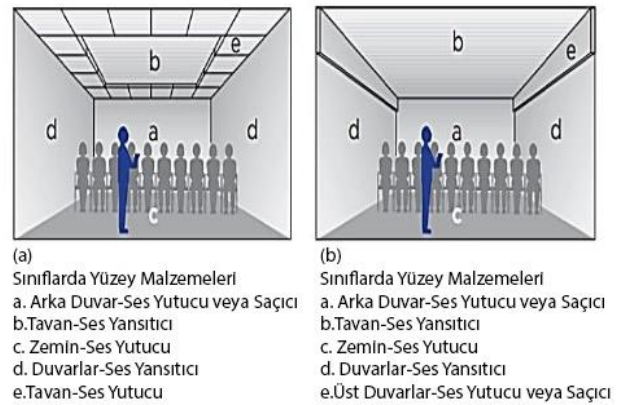
31.05.2018 tarih, 30437 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Çevre şehircilik Bakanlığı, "Binaların gürültüden korunması hakkında yönetmelikte eğitim yapılarında sınıflarda en yüksek çınlama süresi için 0.8 sn. olması gerektiği belirtilmiştir. Bu sınır değer 250, 500, 1000, 2000 Hz frekanslarındaki değerlerin aritmetik ortalamasıdır (ÇŞB, 2018).

Elkhateeb ve diğerleri (2015) ise klasik konuşma amaçlı hacimlerde optimum çınlama süresinin 0,6-0,8 sn. aralığında olduğunu belirtir.

Çınlama süresi ve arkaplan gürültüsü sınıf içi akustik özelliklerinde etken parametrelerdir. Akustik malzemelerle bu parametrelerin iyileştirilmesi ve standartlarda belirtilen değerlere yaklaştırılması akustik tasarım çalışmalarında amaçlanır (Köse, 2010).

Konuşma amaçlı hacimlerin tasarlanmasında, konuşmacının dinleyicilerde yüksek sinyal-gürültü seviyesinin uygun hale getirilmesine katkı sağlayan birçok temel gereksinimler vardır.

- 1.Yeterli sessizlik sağlanmalı
- 2.Ses seviyesi görece tekdüze olmalı
- 3.Oda yutuculuk miktarı uygun olmalı
- 4.Uygun bir yüksek sinyal gürültü oranı olmalı
- 5.Dinleyici ortamındaki arka plan gürültülerinin belirli bir seviyeye düşürülmüş olmalı
- 6.Hacim, uzun süreli gecikmeli yansımalar, galeriler, odaklama ve yankı gibi akustik kusurlardan arındırılmış olmalıdır (Long, 2006).



Şekil 2. Sınıflarda yüzey kaplamaları için önerilen akustik özellikler (Abakar, 2019)

#### 4. Necmettin Erbakan Üniversitesi 15 Temmuz Yerleşkesi Akustik Analizi

Necmettin Erbakan Üniversitesi 15 Temmuz Yerleşkesinde yer alan fakülte binalarındaki akustik sorunları olan farklı boyut ve geometriye sahip iki derslik üzerinde analizler yapılmıştır. Hazırlanan üç boyutlu modeller, ODEON 14.02 Auditorium akustik simülasyon programına aktarılmıştır. Hazırlanan modellerin, programda kontrolleri yapılmış ve üst üste çakışan yüzey olmadığı, analiz için gerekli ışınların model dışına kaçmadığı görülmüştür. Hesaplama yapılacak modelin olumsuz minimum değerlerden fazla olacak şekilde hacim parametreleri belirlenmiştir. Bir ışının maksimum yansıma süresi (impulse response length) 3000 msn, geç ışın sayısı (number of late rays) 3000, bir ışının maksimum yansıma sayısı (maximum reflection order) 10000, sanal kaynakların yansıma derecesi (transition order) 2, erken ışın sayısı (number of early rays) 3000, arka plan gürültü seviyesi NC 25, ortam sıcaklığı 20 °C ve nem %50 olarak belirlenmiştir.

Hazırlanan 3 boyutlu modeli Odeon Akustik Simülasyon Programına aktarılmıştır. Kaynak ve alıcı noktaları literatürden belirlenmiş ve belirlenen kabullere göre akustik değerlendirme yapılmıştır. Öncelikle sınıf düzeninde oturma ve

dinleme eylemi için değerlendirmeler yapılmıştır. Bu durumda kaynak yazı tahtasının önünde, yönü sınıfa dönük ve yerden yüksekliği 1.55 m.'dir. Alıcı noktaları ise oturan insanın ortalama kulak seviyesi olan 0.95 m. kabul edilmiştir. Ayrıca atölyenin de tamamının dinleyicilerle dolu olduğu varsayılmıştır.

Çalışma kapsamında belirlenen modeller akustik simülasyon programına aktarılmış ve yapılan kabuller çerçevesinde seçilen parametreler için detaylı incelemeler yapılmıştır. C1 ve C2 sınıfları, mimari proje derslerinin gerçekleştirildiği mekânlardır. Belirlenen kaynak noktaları için sınıfların tamamen dolu olduğu kabul edilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Aksi halde akustik sorunların tespiti ve çözüm önerileri eksik veya yarım kalma olasılığına sahip olacaktır.

Sınıflarda en önemli husus konuşma anlaşılabilirliği olduğu için akustik inceleme RT, T30, D50 ve STI parametreleri üzerinden (değerlendirme) yapılmıştır. Çınlama süresi (RT), ses kaynağı kapatıldıktan sonra sesteki 60 dB düşüş için geçmesi gereken zaman olarak tanımlanabilir. Alıcı noktası konumlarından bağımsızdır. T30 parametresi ise çınlamanın ilk bölümünün incelendiği ve 5dB düşüş ile 35 dB düşüş arasında geçen sürenin 60 dB'e interpolasyonudur. (TS EN ISO 3382-1, 2010) Alıcı nokta konumlarına göre farklılık gösterir ve öznel çınlamanın bir göstergesidir. Tanım (D50) parametresi erken ses enerjisinin (direkt ses ulaştıktan sonra 50 msn içerisinde gelen sesler) toplam ses enerjisine oranıdır. Konuşma anlaşılabilirliğinin önemli bir göstergesidir. Konuşma İletim İndeksi (STI) ise, konuşma anlaşılabilirliğinin direkt bir ölçümüdür. (Long, 2006).



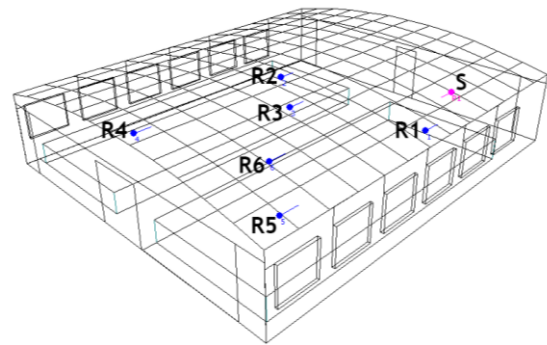
Şekil 3. C1 sınıfı iç mekân görseli



Şekil 4. C2 sınıfı iç mekân görseli

#### 4.1 C1 Sınıfı Akustik Analizi

C1 sınıfı için sınıf içerisinde farklı akustik özellikler gösterebileceği ön görülen 6 adet alıcı konumu belirlenmiştir. Kaynak ve alıcı konumları Şekil 5'te verilmiştir. Kaynak "S", alıcı noktaları ise R1-R6 olarak ifadelendirilmiştir. Bu şekilde farklı konumdaki alıcıların akustik konforu test edilebilecektir.



Şekil 5. C1 sınıfı alıcı noktaları

Sınıflar için optimum RT süresi 0.6-0.8 sn aralığındadır. C1 sınıfı için elde edilen ortalama çınlama süreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. C1 sınıfı için elde edilen ortalama çınlama süreleri

125 Hz.	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.
1.31	1.03	0.53	0.40	0.36	0.35

Elde edilen değerler incelendiğinde, 250 Hz., 500 Hz., 1000 Hz. ve 2000 Hz. frekanslarında elde edilen çınlama süresi değerlerinin aritmetik ortalamasının 0,58 sn. olduğu görülmektedir. Bu değer, (Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2018 yılında Resmi Gazetede yayınlanan Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında

Yönetmeliğine göre) belirlenen sınır değer olan 0.8 sn.'nin altında kaldığı ve yönetmelik sınır değerlerini sağladığı görülmektedir. Ayrıca alçak frekanslarda optimum değerden yüksek değerler elde edilmiştir. Orta ve yüksek frekanslarda ise düşük olduğu görülmektedir. Tavan ve duvarlardaki kısmen yutucu malzemeler dışında kalan yüzeylerin alçak frekans yutuculuk değerlerinin düşük olması neticesinde bu durum ortaya çıkmıştır. Alçak frekanslarda çınlama süresinin yüksek olması orta ve yüksek frekanslarda bazı seslerin maskelenmesine neden olacaktır. Aynı zamanda konuşma anlaşılabilirliğinde etkili orta ve yüksek frekanslarda düşük çınlama süreleri ise ders anlatımında güçlük ortaya çıkmasına neden olması beklenir. Simülasyonda C1 sınıfı için 1000Hz. frekansta elde edilen grid hesabı Şekil 5'te verilmiştir.

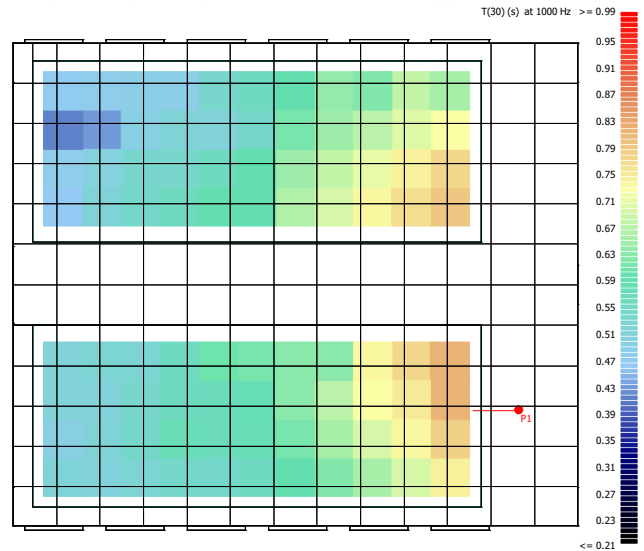
Grid hesabı incelendiğinde, sınıfın ön bölümlerinin T30 değerlerinin daha yüksek, arka bölümlerin ise daha düşük olduğu görülmektedir. Sınıf arka duvarının yansıtıcı malzemeden oluşması sebebiyle arka duvardan gelen gecikmiş yansımalar neticesinde sınıfın ön bölümlerinde yüksek değerler elde edilmiştir. Belirlenen alıcı noktalarında elde edilen T30 değerleri Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Belirlenen alıcı noktalarında alçak frekanslarda bütün alıcı noktalarında birbirine yakın ve optimum değere göre yüksek değerler elde edilmiştir. Orta ve yüksek frekanslarda arka taraftaki alıcı noktalarında düşük, ön taraftaki alıcı noktalarında ise yüksek değerler elde edilmiştir. Arka duvar ve birbirine paralel yan duvarların yansıtıcı olması sebebiyle ön taraftaki alıcı noktalarında yüksek değer elde edilmiştir.

Çizelge 2. C1 sınıfı için belirlenen alıcı noktalarında elde edilen T30 değerleri

T30	125 Hz.	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.
1	0.95	0.79	0.65	0.77	0.75	0.68
2	1.01	0.83	0.63	0.74	0.72	0.66
3	0.96	0.79	0.60	0.73	0.71	0.65
4	0.96	0.79	0.60	0.73	0.71	0.65
5	0.97	0.80	0.51	0.54	0.52	0.45
6	0.96	0.80	0.57	0.62	0.60	0.54

D50 konuşma anlaşılabilirliği parametresidir. Bu parametre 50 ms'nin öncesinde gelen toplam enerjinin, alıcı noktasına ulaşan toplam enerjiye oranıdır. Konuşma amaçlı hacimlerde optimum D50 parametresi değeri 0.50 üzeridir. C1 sınıfı için 1000 Hz. için elde edilen D50 parametresi değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.



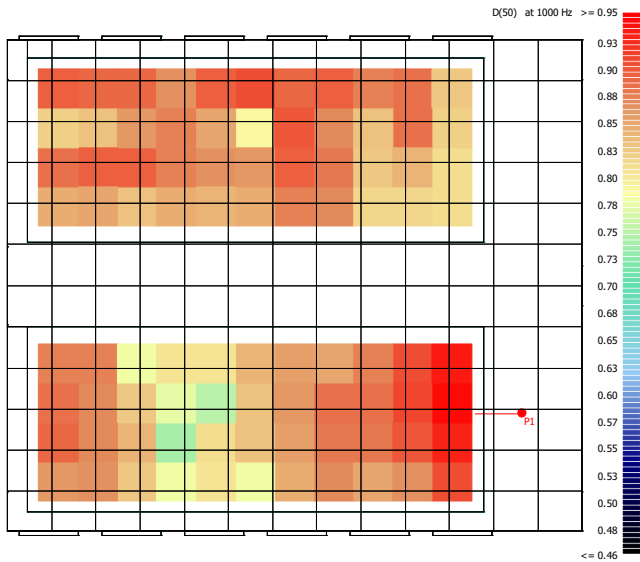
Şekil 6. C1 sınıfı için 1000 Hz. frekansta elde edilen T30 grid hesabı

Çizelge 3. C1 sınıfı için belirlenen alıcı noktalarında elde edilen D50 değerleri

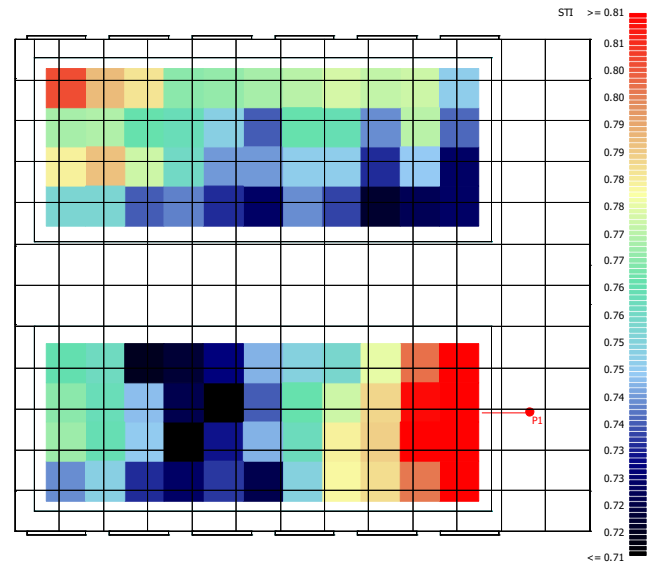
D50	125 Hz.	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.
1	0.71	0.76	0.88	0.91	0.92	0.93
2	0.58	0.66	0.81	0.83	0.84	0.86
3	0.48	0.55	0.78	0.82	0.83	0.85
4	0.56	0.65	0.85	0.89	0.90	0.91
5	0.53	0.60	0.80	0.86	0.87	0.88
6	0.49	0.58	0.81	0.85	0.86	0.88

Alıcı noktalarında elde edilen D50 değerleri incelendiğinde alçak frekanslarda düşük değerler elde edildiği görülmektedir. Çınlama süresi ile ters orantılı olarak, çınlama süresinin arttığı alıcı noktalarında D50 değerlerinin düşük olması ve dolayısıyla konuşma anlaşılabilirliğinin de düşük olması beklenir. Orta ve yüksek frekanslarda düşük çınlama sürelerine paralel olarak yüksek değerler elde edilmiştir.

C1 sınıfı için D50 parametresi için 1000 Hz.'de elde edilen grid hesabı Şekil 6'da verilmiştir. Grid hesabı incelendiğinde kaynağın hemen önündeki alıcı noktalarının D50 değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kaynağa yakın konumları nedeniyle bu bölge yüksek değerlere sahiptir. Çınlama süresine paralel olarak sınıfın diğer ön bölgelerinde D50 değerleri görece düşüktür. Aynı şekilde kaynak hizasında orta bölgelerdeki alıcı noktalarında en düşük değerler elde edilmiştir. Bunun nedeni ise eğrisel tavan nedeniyle yeterli tavan yansımalarının bu bölgelerde alınamamasıdır. Ancak genel olarak incelendiğinde optimum değer üzerinde değerler elde edilmesine rağmen bu ölçekteki (10mx15m) bir hacimde 0.70 civarında değerler elde edilmesi optimum değer aralığında olmasına rağmen istenen bir durum değildir.



Şekil 7. C1 sınıfı için 1000 Hz. için elde edilen D50 parametresi grid hesabı



Şekil 8. C1 sınıfı için elde edilen STI parametresi grid hesabı

Diğer bir konuşma anlaşılabilirliği parametresi STI parametresidir. Bu parametre için 0.60-0.75 aralığı iyi, 0.75 üzeri ise mükemmel olarak nitelendirilmektedir. C1 sınıfı için elde edilen STI parametresi grid hesabı Şekil 7'de verilmiştir.

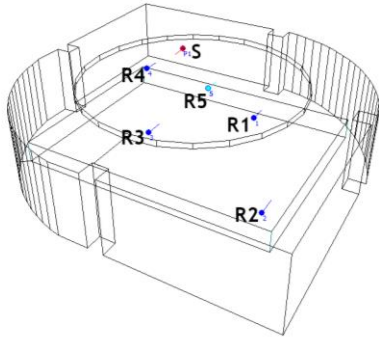
Grid hesabı incelendiğinde kaynağın hemen önündeki alıcı noktalarının STI değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kaynağa yakın konumları nedeniyle bu bölge yüksek değerlere sahiptir. Grid hesabında görüldüğüne göre kaynak hizasındaki alıcı noktalarının orta bölümleri ve sınıfın sağ tarafında kalan alıcı noktalarının ön bölümleri ile sirkülasyon altına yakın noktalarında görece düşük değerler elde edilmiştir. Gerek eğrisel tavanın odaklama etkisi gerek arka duvarın yansıtıcı malzeme ile kaplı olması nedeniyle bu bölgeler görece düşük değerlidir. Her ne kadar iyi olarak nitelendirilebilecek değerler elde edilse de bu ölçekteki bir sınıfta daha yüksek değerler elde edilebilmesi doğru bir akustik tasarımla muhtemeldir.

C1 sınıfı elde edilen veriler ışığında genel olarak değerlendirilecek olursa, alçak frekanslarda yüksek çınlama süreleri elde edilmiş, bunun neticesinde de alçak frekanslarda düşük D50 değerleri elde edilmiştir. Ayrıca Yüksek çınlama süreleri elde edilen bölgelerde STI değerleri görece düşük elde edilmiştir. C1 sınıfında optimum değer aralığında elde edilen veriler ışığında konuşma anlaşılabilirliğinin elde edildiği görülse de, özellikle anlaşılabilirlikte etkili orta ve yüksek frekanslarda düşük çınlama süreleri elde edilmesi nedeniyle konuşmacının gereğinden fazla efor sarf etmesi beklenir.

#### 4.2 C2 Sınıfı Akustik Analizi

C2 sınıfı için sınıf içerisinde farklı akustik özellikler gösterebileceği ön görülen 5 adet alıcı konumu belirlenmiştir. Kaynak ve alıcı konumları Şekil 9'da verilmiştir. Alıcılar R1-R5 olarak tanımlanmıştır.

C2 sınıfı için elde edilen çınlama süreleri Çizelge 5'te verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde, 250 Hz., 500 Hz., 1000 Hz. ve 2000 Hz. frekanslarında elde edilen çınlama süresi değerlerinin aritmetik ortalamasının 0,65 sn. olduğu görülmektedir. Bu değer, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2018 yılında Resmi Gazetede yayınlanan "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik"te belirlenen sınır değer olan 0.8 sn.'nin altında kaldığı ve yönetmelik sınır değerlerini sağladığı görülmektedir. Ayrıca alçak frekanslarda yüksek, orta ve yüksek frekanslarda ise optimum değer aralığından düşük değerler elde edilmiştir. Tavan ve duvarlardaki yutucu malzemeler dışında kalan yüzeylerin alçak frekans yutuculuk değerlerinin düşük olması neticesinde bu durum ortaya çıkmıştır. Alçak frekanslarda çınlama süresinin yüksek olması orta ve yüksek frekanslarda bazı seslerin maskelenmesi sonucunu ortaya çıkaracaktır. Aynı zamanda konuşma anlaşılabilirliğinde etkili orta ve yüksek frekanslarda düşük çınlama süreleri ise ders anlatımında güçlük ortaya çıkmasına neden olması beklenir.

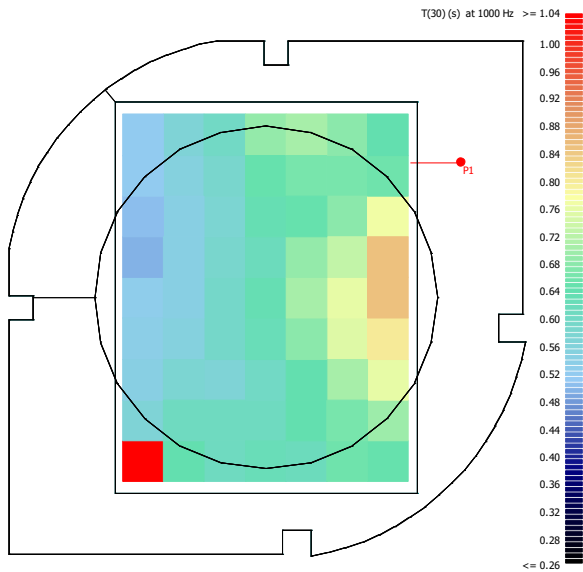


Şekil 9. C2 Sınıfı için alıcı noktaları konumları

Çizelge 4. C2 sınıfı için elde edilen ortalama çınlama süreleri

125 Hz.	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.
1.09	1.06	0.62	0.48	0.43	0.42

Simülasyonda C2 sınıfı için 1000Hz. frekansta elde edilen T30 parametresi grid hesabı Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. C2 sınıfı için 1000Hz. frekansta elde edilen T30 parametresi grid hesabı

Elde edilen grid hesabı incelendiğinde ön orta sıralarda T30 değeri nispeten daha yüksek, arka sağ bölümlerde ise nispeten düşük değerlerin görüldüğü analiz edilmiştir. Kaynak konumunun yeri ve arka duvarın yansıtıcı olması sebebiyle, ön orta bölümlere, köşe bölgelerden ulaşan gecikmiş yansımalar bu bölümlerde çınlama sürelerinin yüksek olmasına neden olmuştur. 1000 Hz. frekans için sınıfın ön orta bölümleri hariç optimum değer aralığında olduğu görülmektedir. Bu bölümlerde elde edilen değerler kabul edilebilir sınırdadır.

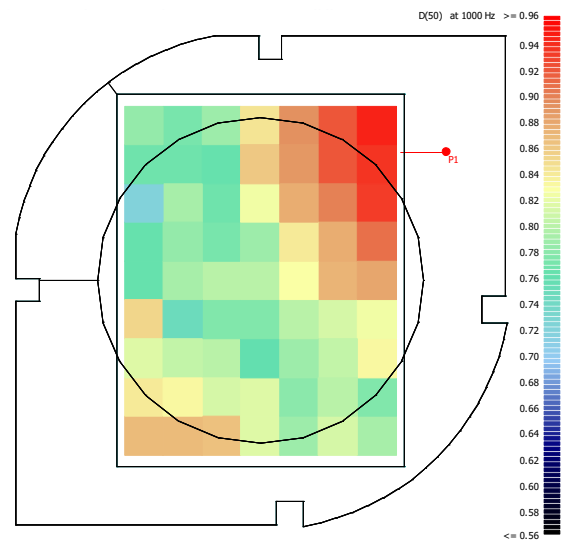
Belirlenen alıcı noktalarında elde edilen T30 değerleri Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. C2 sınıfı için belirlenen alıcı noktalarında elde edilen T30 değerleri

T30	125 Hz.	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.
1	0.93	0.90	0.66	0.71	0.68	0.61
2	0.86	0.82	0.70	0.95	0.91	0.84
3	0.94	0.92	0.66	0.58	0.56	0.52
4	0.89	0.86	0.69	0.70	0.63	0.56
5	0.92	0.84	0.68	0.85	0.81	0.71

Belirlenen alıcı noktalarında elde edilen T30 değerleri incelendiğinde, alçak frekanslarda optimum değer üzerinde, orta ve yüksek frekanslarda optimum değer aralığında değerler elde edilmiştir. Yalnız R2 alıcısında yüksek değerler elde edilmiştir. Bu alıcı noktasında kaynak ve alıcı konumu neticesinde enerji seviyesi yüksek çok sayıda yansıma almıştır. Bunun neticesinde çınlama süresi bu noktada yüksek çıkmıştır.

C2 sınıfı için 1000 Hz. için elde edilen D50 parametresi grid hesabı Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. C2 sınıfı için 1000Hz. frekansta elde edilen D50 parametresi grid hesabı

Grid hesabı incelendiğinde kaynağın hemen önündeki alıcı noktalarının D50 değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kaynağa yakın konumları nedeniyle bu bölge yüksek değerlere sahiptir. Genel olarak D50 değerleri 0.75 ve üzeri değerler elde edilmiştir. Sınıfın sol arka bölümünde de yüksek değerler elde edilmiştir. Sınıfın genel formu ve iç bükey yansıtıcı köşeler bu bölgeye çok sayıda yüksek enerjili yansıma ulaşmasına neden olmuştur. Sınıfın 9m x 9m gibi bir boyutlara sahip olması nedeniyle bu bölgede yüksek D50 değerleri elde edilmiştir.



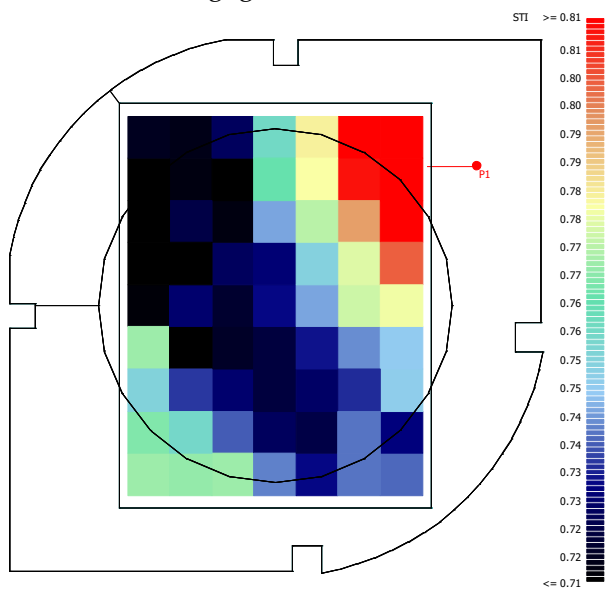
Belirlenen alıcı noktalarında elde edilen D50 değerleri Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 6. C2 sınıfı için belirlenen alıcı noktalarında elde edilen D50 değerleri

D50	125 Hz.	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.
1	0.58	0.59	0.75	0.79	0.80	0.82
2	0.69	0.66	0.81	0.87	0.89	0.90
3	0.57	0.58	0.74	0.77	0.79	0.81
4	0.82	0.82	0.92	0.95	0.95	0.96
5	0.70	0.70	0.86	0.91	0.92	0.92

Alıcı noktalarında elde edilen D50 değerleri incelendiğinde R4 alıcı noktası dışında diğer alıcı noktalarında alçak frekanslarda görece düşük değerler elde edildiği görülmektedir. Çınlama süresi ile ters orantılı olarak, çınlama süresinin arttığı alıcı noktalarında D50 değerlerinin düşük olması ve dolayısıyla konuşma anlaşılabilirliğinin de düşük olması beklenir. T30 değerleri, diğer alıcı noktalarına göre daha yüksek olan R1 alıcısında en düşük değerler elde edilmiştir. Orta ve yüksek frekanslarda ise düşük çınlama sürelerine paralel olarak yüksek değerler elde edilmiştir.

Konuşma anlaşılabilirliği parametrelerinden STI için C2 sınıfı için elde edilen grid hesabı Şekil 12'de verilmiştir. Grid hesabı incelendiğinde kaynağın hemen önündeki alıcı noktalarının STI değerlerinin yüksek olduğu ve kaynaktan uzaklaştıkça değerlerin düştüğü görülmektedir. Ancak sınıfın sol arka bölümü iç bükey köşe formu ve kaynak noktası konumu neticesinde daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir. Değerlerin 0.72 ve üzeri olduğu ve konuşma anlaşılabilirliğinin genel olarak iyi kabul edilebileceği görülmektedir.



Şekil 12. C2 sınıfı için elde edilen STI parametresi grid hesabı

C2 sınıfı elde edilen veriler ışığında genel olarak değerlendirilecek olursa, belirli bölgelerde görece daha yüksek çınlama süreleri elde edilmiş ve bunun neticesinde bu bölgelerde düşük D50 ve STI değerleri ortaya çıkmıştır. Genel olarak C2 sınıfında konuşma anlaşılabilirliğinin iyi düzeyde olduğu söylenebilir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında Necmettin Erbakan Üniversitesi 15 Temmuz Yerleşkesinde yer alan fakülte binalarındaki mekânların akustik açıdan değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında Odeon Akustik Simülasyon Programı kullanılmış, Sketch Up 8 modelleme programı ile atölyelerin 3 boyutlu modellenmesi yapılmıştır. Literatürden elde edilen veriler ışığında değerlendirme parametreleri belirlenmiş ve belirlenen parametreler için optimum değerler tespit edilmiştir.

Akustik tasarım yapılmadan inşa edilmiş eğitim sınıfları, bazı düzenlemelerle akustik açıdan daha uygun hale getirilebilir. Düşük dalga boyundaki, yani yüksek frekanstaki sesler ince malzemelerle yutulabilir. Düşük frekans/yüksek dalga boyuna sahip sesleri yutabilmek için daha kalın malzemelere ihtiyaç vardır. Ses yutucu malzemeler, sesin yüzeyden içeriye küçük titreşimlerle girebilmesi için gözenekli olarak tasarlanır. Ses dalga enerjisi, havada hareket eden moleküllerin fiberler arasında yavaşlatılmasıyla yutulur. Cam ve seramik gibi sert yüzeyli malzemeler sesi yansıtır ve bu yüzeyler birbirine paralel ise sesin daha çok yansımaya ve iç ortamda gürültünün artmasına sebep olur. Hem vokal çabayı azaltmak hem de tüm dinleme alanında uygun sinyal-gürültü oranına ulaşmak için sınıfın hacmi ve türü göz önünde bulundurularak optimum çınlama süreleri sağlanmalıdır. Sınıflarda iyi bir iletişim ve sesin anlaşılabilirliği için 0.4-1 saniye arası çınlama süresi dikkate alınmalıdır (Vigran, 2008; Ballou, 2009). Uygun akustik koşulların sağlanması için öncelikle kişi başına düşen hacim, uygun hale getirilmelidir. Kaynak ve alıcı noktaları tespit edildikten sonra kaynak noktasında oluşan ses enerjisinin alıcı noktalara yönlendirecek şekilde tasarım yapılmalıdır. Sınıflar için literatürde belirtilen çınlama sürelerine dikkat edilmeli, kullanılacak yansıtıcı, yutucu ve saçıcı malzeme kaplı yüzeyler (kaynak ve alıcı nokta konumları da göz önüne alınarak) belirlenmeli ve çınlama süresi optimum değer aralığına getirilmelidir. Sınıf tasarımında akustik kusurlara neden olabilecek iç bükey yüzey ve paralel yüzeylerden kaçınılarak sınıf akustik açıdan homojen hale getirilmelidir. Bu yüzeyler nedeniyle ortaya çıkan akustik kusurlar, çınlama süresi de göz önüne alınarak yutucu

veya saçıcı malzemelerle kaplanmalıdır. Kaynak noktasına yakın yüzeyler yansıtıcı, arka duvar ise yutucu veya saçıcı malzeme ile kaplanmalıdır.

Fakültede yer alan atölye ve sınıfların akustik değerlendirilmesi için ele alınan parametreler; RT, T30, D50, STI parametreleridir. Çınlama süresinin, diğer parametreler üzerindeki etkisi de göz önüne alındığında hacim akustiği parametreleri arasındaki en önemli parametredir. Yapılan çalışmada, oturma ve dinleme eylemi için elde edilen çınlama süresi değerleri alçak frekansta (yutucu özelliği yüksek öğrenci yoğunluğuna rağmen) oldukça yüksektir. Çünkü atölyelerdeki kişi başına düşen hacim miktarı oldukça yüksektir. Bunun neticesinde de konuşma anlaşılabilirliği parametrelerinden D50 ve STI parametrelerine göre düşük değerler elde edilmiştir. Yüksek frekanslarda ise çınlama süresinin düşmesi ile birlikte D50 değerlerinde artış görülmüştür. Bunda yutucu özelliğe sahip kaplama malzemeleri etkili olmaktadır. Bu sonuç farklı kaynak noktalarında sınanmış ve aynı sonuçların elde edildiği görülmüştür. Ses yutucu malzemelerin yanlış miktar ve konumda kullanılması, orta ve yüksek frekanslarda hacmi, olması gerektiğinden fazla yutucu hale getirmiştir. Yararlı ses yansıtıcı yüzeylerin, yutucu malzeme ile kaplanması neticesinde (incelenen sınıf ölçeğine göre) düşük konuşma anlaşılabilirlik değerleri elde edilmiştir. Akustik çınlamanın önlenmesi için yapılmış olan uygulama, yapılan simülasyon analizinde olumsuz yutuculuğa sahip malzeme olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, atölyelerde (dersliklerde) en önemli gereksinim konuşma anlaşılabilirliğidir. Yapılan simülasyon çalışması ile atölyelerde çınlama süresinin düşük olduğu, hacim içerisinde enerjinin yutucularla emildiği ve bu durum da sesin mekânda iletiminde sorun yaşandığı görülmüştür. Atölyelerde seçilen kaplama malzemeleri gözden geçirilmeli ve çınlama süreleri optimum değer aralığına getirilmelidir. Bu malzemelerin yerleri sesin çınlaması ve yansımaları düşünülerek belirlenmelidir. Bu durumda kaynağın yeri ve konumu önem arz etmektedir. İncelenen mekânlarda iç bükey yüzeyler hacmin akustik açıdan homojen hale gelmesini engellemektedir. Yutucu ve yansıtıcı yüzey yerlerinin ve oranlarının akustik ihtiyaçlar göz önüne alınmadan uygulandığı görülmektedir. Bu durum atölyelerde (dersliklerde) belirli frekanslarda yüksek diğer frekanslarda ise düşük çınlama süreleri elde edilmesine neden olmaktadır. Kaynaktan sesin alıcı noktalarına ulaşması bu yutucu malzemeler nedeniyle problemlili hale gelmiştir. Bütün düzenlemeler yapılırken, kişi başına düşen hacim uygun seviyeye getirilmeli, dersliğin hacmine göre

optimum parametreler tespit edilmeli, kaynak ve alıcı noktaları göz önüne alınarak yararlı yansımaya alınabilecek yüzeyler tespit edilerek uygun yansıtıcı malzeme ile kaplanmalıdır. Sonrasında ise bütün parametreler göz önüne alınmalı ve akustik parametreler arasındaki dengeye dikkat edilerek tasarım yapılmalıdır.

## Kaynaklar

- 1) Abdou, A. (2003). Measurement of Acoustical Characteristics of Mosques in Saudi Arabia. *Journal Acoustic Society of America*, v. 113, p. 1505-1517.
- 2) Abakar, K.M. & Alibaba, H.Z. (2019). Acoustic Improvement of School Buildings. *United International Journal for Research & Technology*, v.01, p.22-30.
- 3) Ballou, G. (2009). *Electroacoustic Devices: Microphones and Loudspeakers*. Elsevier, New York, USA.
- 4) Beranek, L. (2004). *Concert Halls and Opera Houses. Second Edition*, Springer, New York, USA.
- 5) Barron, M. (2009). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. Second Edition, Spon Press, London and New York.
- 6) Brooks, C.N. (2003). *Architectural Acoustics*. McFarland Company Inc., North Carolina.
- 7) Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018). Binaların Gürültüden Korunması Hakkında Yönetmelik.
- 8) Duran, S. Ausiello L. & Battaner-Moro, J. (2019). Acoustic Design Criteria For Higher-Education Learning Environments". *Proceedings of the Institute of Acoustics*, v. 41.
- 9) Elkhateeb, A., Adas, A., Attia, M. & Balila, Y. (2015). The Acoustics Of Masjids, Why They Differ From The Classical Speech Rooms, The 22nd International Congress on Sound and Vibration, 12-16 Temmuz 2015, Florence, İtalya.
- 10) Everest, F. A. (2009). Pohlmann, K.C. *Master Handbook of Acoustics*. McGraw-Hill Inc., New York.
- 11) Garcia, D.P. (2011). The Role of Classroom Acoustics on Vocal Intensity Regulation and Speakers' Comfort. Doktora Tezi, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark.
- 12) Kayili, M. (2005). *Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture*. FSTC Limited, Manchester.
- 13) Kinsler, L. ve Diğerleri. (2000). *Fundamentals of Acoustic*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- 14) Köse, S. (2010). Havaalanı Çevresindeki Okullarda Gürültüden Rahatsızlığın ve Sınıf İç Akustik Koşullarının Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- 15) Long, M. (2006). *Architectural Acoustic*. Elsevier Academic Press, California, USA.
- 16) Trevor, T. J. (2009) D'Antonio, P. *Acoustic Absorbers and Diffusers*. Second Edition, Taylor & Francis, London and New York.
- 17) TS EN ISO 3382-1. (2010). Akustik - Odaların Akustik Parametrelerinin Ölçülmesi -Bölüm 1: Gösteri Mekânları.
- 18) Vigran, E. (2008). *Building Acoustics*. Taylor & Francis, London and New York.