MAKALE
MEGARON 2021;16(2):306-314
DOI: 10.14744/MEGARON.2021.56244

Mimari Akustikte Kulaklıkla Yapılan Dinleme Testleri İçin Ses Düzeyi Kalibrasyonu Üzerine Bir Çalışma

A Study on Sound Level Calibration for Listening Tests Performed with Headphones in Architectural Acoustics

Ezgi TÜRK GÜRKAN, Zerhan YÜKSEL CAN

EXTENDED ABSTRACT

Subjective evaluations are frequently used in design, renovation or improvement stages in architectural acoustics. Listening tests are one of the frequently used methods in subjective acoustic evaluations. These studies are generally carried out in existing halls or the auralizations digitally created in computer modellings. Listening tests can be conducted via speakers or headphones. Considering the relationship between the sound level and intelligibility, it is expected that the sound level of the recording transmitted may affect the evaluations. It is seen that the necessary importance is not given to the issue of "giving sound energy to the listener at the level obtained in the simulations" in the listening tests. The aim of this study is to reveal the method that will eliminate the deficiency of sound level calibration in listening tests performed with headphones. It is aimed that the study sets an example for listening tests performed with headphones, so to be able to get accurate evaluations via subjective evaluation tests. For sound level calibration, the sound pressure level transmitted to the listener must be equal to the sound pressure level measured or calculated in the computer models. This also applies to presentations employing both speakers and headphones. Within the scope of the study, a hall is modelled and a listening record was created over the acoustic simulations on this model. The sound pressure level, which is the target value to be measured at the headphone output, is calculated for the listener point through the simulation. Sound level measurements are performed using a head & torso simulator in order to provide sound energy output equal to the sound pressure level calculated in the computer. Thus, the level settings of the system, which are determined to be used in listening tests, can be fixed. Head & torso simulators can simulate the human hearing character and are used for accurate measurements. Using methods without simulator, such as placing a microphone between headphones or placing headphones on the headsets can affect the measurement accuracy. The sound level calibration study for a prepared hall model is shared. In this context, acoustic modelling of the hall is prepared and objective room acoustics parameters, including sound pressure level, are calculated for a specified audience point. Since the real listening conditions in the hall will be conveyed to the subjects, auralizations are carried out using raw speech signals (recorded in an anechoic room) to the simulation. Listening recordings to be used in listening tests are obtained through these auralizations. As a stable signal is required for level calibration, it is not a correct approach to use speech signals in sound level calibration stage. Therefore, white noise is used in this stage. Listening recordings prepared with white noise signal are transmitted through headphones and level measurements are made using a head & torso simulator. The sound level setting of the system is adjusted and fixed until the measured sound level is equal to the target level. Although the details are not included in the study, calibration studies are repeated for different models. The sound pressure level at the headphone output is measured using the head & torso simulator. It is ensured that the sound pressure level obtained in the measurement and calculation in the modelling corresponds to each other. With this method, the target sound pressure level can be read at the headphone output. This will ensure that subjective evaluations are compiled in accordance with the actual acoustic situation and accurate subjective evaluations to be collected. In repeated calibration studies for different hall models, it is observed that the sound level setting determined for one specific model is not suitable for other models. This reveals the necessity of the study. The sound level calculated in the modelling is transferred to the subjects correctly. Sound level control, which is generally not considered in listening tests performed within the scope of subjective evaluations in architectural acoustics, is important for accurate evaluations. It is important to give the correct sound pressure level to the subjects in order to get accurate evaluations in architectural acoustics. The present study emphasizes the importance of sound level calibration in listening tests. As the necessary importance is not given to the calibration stage, the study will contribute to the elimination of this deficiency in subjective evaluations.

Keywords: *Architectural acoustics; headphone presentation; listening test; sound level; sound level calibration.*

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul

Başvuru tarihi: 13 Aralık 2020 - Kabul tarihi: 24 Şubat 2021

İletişim: Ezgi TÜRK GÜRKAN. **e-posta:** ezgi.turkezgi@gmail.com

© 2021 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - *© 2021 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture*

ÖZ

Mekânların öznel akustik değerlendirmelerinde dinleme testleri sıklıkla başvurulan yöntemlerden biridir. Deneklere uygulanan dinleme testleriyle elde edilen akustik değerlendirmeler tasarım, yenileme ya da iyileştirme çalışmalarında akustik tasarımcıya veri sağlar. Dinleme testleri genellikle mekânda alınan kayıtlar ya da bilgisayar ortamında oluşturulan modelleme işitselleştirmeleri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Dinleme testlerinde, dinletilmek istenen ortam koşullarının deneklere doğru bir şekilde iletilmesi, yapılacak değerlendirmelerin sağlıklı olması açısından gereklidir. Doğru aktarım için aranan özellikler, uygun modelleme, işitselleştirme sunum yöntemine ilişkin doğru ayarlar ve kullanılan ekipmanın teknik özelliklerinin testleri etkilememesidir. Çalışma kapsamında kayıtların sunum yöntemleri ve sunumları etkileyebilecek parametreler incelenmiştir. Aktarılan ses düzeyinin özellikle anlaşılabilirlikle olan ilişkisi düşünüldüğünde, dinletilen kaydın ses düzeyinin dinleyici tercihlerini etkilemesi öngörülmektedir. Dinleme testlerinde "dinleyiciye simülasyonlarda elde edilen düzeyde ses enerjisi verilmesi" konusuna gereken önemin verilmediği görülmektedir. Bu çalışmanın amacı bu eksikliği giderecek yöntemin ortaya konulmasıdır. Bir örnek çalışma üzerinden, kulaklıkla yapılan dinleme testlerinde düzey kalibrasyonunun doğru bir şekilde yapılabilmesine yönelik yöntemin paylaşılması amaçlanmıştır. Sunulan örnek çalışmada, tasarlanan bir salona ait akustik simülasyona ait hesaplamalar kullanılmıştır. Dinleme testlerinde kullanılmak üzere kurulan sistem konfigürasyonuna ait kulaklık çıkışında, hesaplanan ses düzeyinde ses enerjisi çıkışını sağlamak için "head and torso" (baş ve göğüs) simülatörü kullanılarak ses düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, modellemede sunumda kullanılmak üzere belirlenen, sisteme ait düzey ayarları sabitlenebilmiştir. Yapılan bu düzey kalibrasyonuyla, dinleme testlerinde akustik simülasyon koşullarının bire bir dinleyiciye aktarılması sağlanacaktır. Çalışmanın, kulaklık sunumuyla gerçekleştirilen dinleme testleri için örnek yaratarak doğru koşulların sunulması ve buna bağlı olarak doğru değerlendirmelerin alınmasıyla katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar sözcükler: *Dinleme testi; kulaklık sunumu; mimari akustik; ses düzey kalibrasyonu; ses düzeyi.*

Giriş

İşlevi dinlemeye yönelik hacimlerin tasarım ya da yenileme aşamalarında öznel değerlendirmeler sıklıkla başvurulan ve tasarımın geliştirilmesine yönelik veriler sağlayan yöntemlerden biridir. Nesnel hacim akustiği parametrelerinin ölçülerek ya da modellenerek elde edildiği değerlendirmelere ek olarak ele alınan öznel değerlendirmeler tasarımcıya yön verir nitelikte veri sağlar.

İşitsel öznel değerlendirmeler dinleme testleri aracılığıyla yapılır. Bu dinleme testleri, mekân kullanımı sırasında yapılabileceği gibi mevcut mekânlarda ya da bilgisayar ortamında oluşturulan modellemelerde alınan kayıtlarla da gerçekleştirilebilir.

Bilgisayar ortamında yapılan modellemeler için işitselleştirme kaydı oluşturabilen yazılımlar kullanılmaktadır. Yazılımlar, modellenen salonların akustik koşulları simüle etmektedir. Bu mekân simülasyonlarına, yankısız ortamlarda alınan müzik ya da konuşma kayıtları aktarılarak, salonun bir tepkisi olarak kayıtlardaki değişim dinlenip kaydedilebilmektedir. İşitselleştirme (auralization) olarak tanımlanan bu özellik ile tasarım aşamasındaki mekânlara ilişkin akustik koşullar deneyimlenebilmektedir. Yazılımlar genellikle mekânların yansışım karakteri üzerinden bir evrişim (convolution) işlemi gerçekleştirir.

Kayıtlar üzerinden yapılan dinleme testlerinde sunumlar sırasında kullanılan bilgisayara ait bileşenlerin bir etki yaratma olasılığı yüksektir. Bu etki, elde edilmesi hedeflenen dinleme koşullarını değiştirebilir. Bu nedenle kullanılacak ekipman seçiminde, ekipmanın etkisini ortadan kaldırmak için çeşitli öneriler sunulmaktadır.

Testlerin uygulanacağı kulaklık, bilgisayar ve ses kartının kayıtlara etkisi göz ardı edildiğinde hedeflenen gerçeklikte dinlemeler yapılamaz. Çünkü bu bileşenlere ait filtreler kayıtlara etki eder. Bu etkiyi devre dışı bırakmak için, yazılımlarda filtreleri tanımlanmış kulaklıklar ve frekans filtresi oktav bantlarda yataya yakın ses kartlarının tercih edilmesi önerilmektedir.

Bileşenlerin etkisine ek olarak, dinleme kayıtlarına ait ses düzeyi oldukça önemli bir parametredir. Bilgisayar ya da ses kartı üzerinden kolaylıkla değiştirilebilen ses düzeyi, deneklerin hedeflenen düzeyden düşük ya da yüksek kayıtlar dinlemesine sebep olabilir. Bu da deneklerin kayıtlara vereceği tepkinin, hedef duruma verebileceği tepkiden farklılık göstermesini beraberinde getirebilir. Bu durum, hoparlör ya da kulaklıklar kullanılarak yapılan dinlemeler için geçerlidir.

Yapılan araştırmalarda, hoparlör sunumları için düzey kalibrasyon yöntemi önerileri bulunmakla birlikte, kulaklık sunumları için yapılmış ayrıntılı bir çalışmaya rastlanmamıştır (Pätynen ve Tapio, 2010; Şaher ve Karaböce, 2019). Kulaklık sunumları kullanılan çalışmalarda düzey kalibrasyonu yapılmamış ya da çalışmaların ayrıntıları paylaşılmamıştır (Di Rosario, 2008; Rindel ve Christensen, 2016; Alıc, 2019; Uzeyırlı, 2019). Bu da kulaklık sunumlarında düzey kalibrasyonuna genellikle gereken önemin verilmediğini göstermektedir.

Çalışmada, eksikliği görülen kulaklık dinlemelerinde düzey kalibrasyonu konusunda araştırmacılara kaynak sağlaması açısından bir yöntem sunulmaktadır. Modellemeler üzerinden kulaklıkla yapılacak dinleme testlerinde ses düzeyinin sabitlenerek dinleyicilere modellemede elde edilen değerde ses düzeyinin ulaştırılmasına yönelik çalışma ayrıntıları açıklanmaktadır.

Dinleme Kayıtları Sunum Yöntemleri ve Kayıtları Etkileyen Parametreler

Çalışma kapsamında, bilgisayar ortamında modellemelerden yararlanılmıştır. Modellemeler ve dinleme kayıtlarının oluşturulmasında ODEON v15.14 yazılımı kullanılmıştır. Yazılımın algoritması, dinleme kayıtlarının kulaklık ya da hoparlörle sunulmasına olanak tanımaktadır (Şekil 1). İki durum için farklı işitselleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Yazılım, yapılan kurulum ayarına göre tek ya da çift çıkışlı olacak şekilde kayıtları oluşturmaktadır.

Simüle edilmek istenen akustik koşulların doğru bir şekilde işitselleştirilebilmesi için yazılıma ait araçların seçimi oldukça önemlidir. İşitselleştirme işlemi aynı anda, modellenen mekân içindeki tek bir nokta için gerçekleştirilebilir. Yazılıma (yankısız odada kaydedilmiş) ham ses kayıtları aktarılarak, mekân akustik koşullarına göre işitselleştirmeler gerçekleştirilir. Elde edilecek işitselleştirmelerde kullanılacak ham kayıtlara etki edecek parametreler aşağıda listelenmiştir.

- Modellenen mekânın tepkisi,
- Modellenen geri plan gürültü düzeyi,
- Anatomik transfer fonksiyonu [Head Related Transfer Functions (HRTF)].

Yazılıma aktarılan tasarım özelliklerine bağlı olarak mekân tepkisi ve geri plan gürültü düzeyi modellemelerde elde edilir. Bu parametreler, modellenen mekânların akustik karakterinin bir yansımasıdır.

İnsanların algıladığı ses üzerinde; kulak yolu, kulak kepçesi, baş ve göğüs kısımlarının hepsinin ortak etkileşimlerinin etkisi mevcuttur (Akaydın, 2013). Baş ile ilgili transfer işlevleri, baş ve göğüsün neden olduğu doğrusal ses kırınımlarını tanımlamanın eksiksiz ve resmi bir yolu olarak tanımlanır (Vorländer, 2008). Bu etkiler "anatomik (baş ile ilişkili) transfer fonksiyonları" HRTF olarak adlandırılmaktadır (Brüel & Kjaer, 2010).

1982 yılında Shaw tarafından keşfedilen HRTF ile ilgili öncü çalışmada, kırınım miktarı ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır (Shaw, 1982). Kulak zarında veya kulak kanalı girişinde ölçülen ses basıncının, başın ortasında bir mikrofonla ancak baş yokken ölçülen ses basıncına bölünmesiyle tanımlanır. Buna göre, HRTF ses gelişinin yönüne bağlıdır (Vorländer, 2008).

Şekil 1. Dinleme kayıtları sunum yöntemleri.

Hoparlör sunumlarında anatomik transfer fonksiyonu kullanılmaz, bu parametre dinleyicinin kendisi tarafından eklenmiş olur. Kulaklık sunumlarında ise anatomik transfer fonksiyonu yazılım tarafından eklenir.

Kulaklık sunumlarında dinlemelerde kullanılan kulaklığın filtresi kayıtlara etki eder. ODEON yazılımında, yazılımda ön tanımlı kulaklıklar kullanılması önerilmektedir. Yazılımda, bu kulaklıklara ait ters filtreler yer almaktadır. Seçilen kulaklığa ait ters filtre kayıtlara işlendiğinden kulaklık filtresi yazılım tarafından sıfırlanmış olur.

Yukarıda sıralanan parametreler, hedeflenen koşulların dinleme kayıtlarında simüle edilmesini sağlar. Bu koşullar, modellenen mekân içinde kulaklıksız dinleme koşullarıdır.

Dinleme kayıtlarının dinletilmesi sırasında, bazı farklı diğer parametreler dinleme kayıtlarına etki edebilir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Dinlemelerde kullanılacak ses kartının (dahili ya da harici) teknik özellikleri,
- Dinlemelerde kullanılacak cihazın ses düzeyi ayarları,
- Dinleme yapılacak mekâna ait özellikler.

Bilgisayara dahil ya da harici ses kartı, bir filtreye sahiptir. Bu filtrenin oktav bantlardaki kazancı ses kartına özgüdür. Bazı oktav bantlarda fazla ya da az ses kazancı, dinleme kayıtlarının daha bas ya da daha tiz duyulmasına sebep olabilir. Dinleme kayıtlarının hedef koşullarda dinleyiciye aktarılabilmesi için, ses kartına ait filtrenin oktav bantlarda yataya yakın olması tercih edilir ancak bu koşullara her zaman ulaşılamaz. Bu durumda, tercih edilecek ses kartının teknik özellikleri dikkatlice incelenmelidir.

Dinlemeler sırasında kullanılacak bilgisayarın düzey ayarı da dinlemelere etki edecek bir başka parametredir. Belirlenen dinleme noktası için yapılan modellemelerde, yazılım mekân tasarım özellikleri ve ses kaynağına bağlı olarak bir düzey hesabı yapmaktadır. Dinleyiciye hesaplanan bu düzeyde ses enerjisi aktarımı oldukça önemlidir. Aksi durumda, değerlendirmeler pozitif ya da negatif yönde etkilenebilir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için cihaz düzeyinin, kayıtlara uygun bir noktada sabitlenmesi gerekir. Bunun sağlanması için düzey kalibrasyonu önerilmektedir. Kulaklık ve hoparlör sunumlarında düzey kalibrasyonu için farklı ölçüm konfigürasyonlarına ihtiyaç duyulması kaçınılmazdır.

Hoparlör sunumlarında, dinleme yapılan ortamın yansışım karakterine bağlı oluşan hacim akustiği koşulları, kayıt sinyallerine etki ederek dinleyiciye ulaşan sesi, simüle edilmek istenen ortam koşullarından farklılaştırabilir. Benzer şekilde, dinleme yapılan mekândaki geri plan gürültü düzeyi de mekân tepkisine benzer olarak karşımıza çıkar. Bu nedenle dinleme yapılacak ortamda geri plan gürültü

Tablo 1. Dinleme kayıtları sunum yöntemlerinin olumlu ve olumsuz tarafları

KULAKLIK SUNUMU	HOPARLÖR SUNUMU
↑ Kulaklık filtre etkisi sıfırlanır	↓ Hoparlör filtre etkisi sıfırlanmaz
↓ Düzey kalibrasyonu zor	↑ Düzey kalibrasyonu kolay
↑ Dinleme yapılan mekândan bağımsız	↓ Dinleme yapılan mekân etkisi önemli

düzeyinin düşük olmasına ve mekândaki yansışım süresinin kısa olmasına dikkat edilmelidir.

Dinleme kayıtları sunum yöntemlerinin olumlu ve olumsuz tarafları Tablo 1'de listelenmiştir.

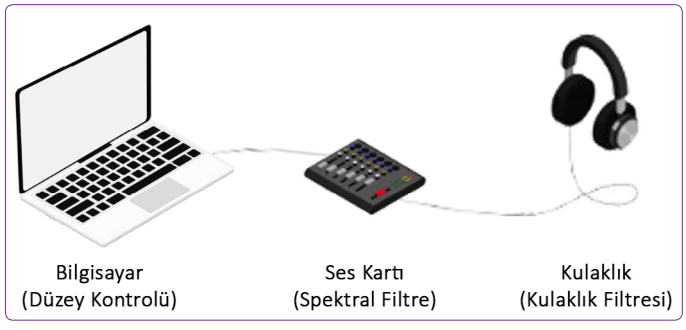
Tablodan, kayıtları etkileyen parametrelerin etkilerinin çoğunun, kulaklık sunumlarında ortadan kaldırılabildiği görülmektedir. Sunumlarda, sunum yapılan cihazın ses düzeyi ayarlarının etkisinin ortadan kaldırılması durumunda, modellenen mekânlara ait akustik koşullar eksiksiz olarak dinleyiciye aktarılabilir. Çalışmada, kulaklık sunumları için hazırlanan modellemeler için yapılan düzey kalibrasyon çalışması paylaşılmaktadır.

Kulaklık Sunumlarında Düzey Kalibrasyonu

Dinleme kayıtlarının kulaklık ile sunulmasında kullanılan sistem konfigürasyonuna ait görsel ve kayıtlara etki edebilecek parametreler Şekil 2'de yer almaktadır.

Bir önceki başlıkta açıklandığı gibi, ses kartı ve kulaklığa ait filtreler cihaz tercihi ve yazılım ayarları ile ortadan kaldırılabilmektedir. Çalışmada, kullanılan ekipmana ilişkin seçim yöntemi paylaşılmaktadır.

Ses kartı filtresi için yapılan araştırmada, ses kartı filtresi için kesin bir kabul edilebilir aralığa ulaşılamamakla birlikte, 1 veya 2 dB düzeyindeki sapmaların kabul edilebilir olarak tanımlandığı görülmüştür (Triggs, 2018). Çoğu insan için ±3 dB, kolaylıkla ayırt etme sınırı olarak kabul edilir (Long, 2006). 3 dB veya üzerindeki sapmalar, algılanmada değişiklikler yaratabilir düzeydedir. Bu durumda bazı oktav bantlardaki sesler aşırıya kaçabilir ya da maskelenebilir (Triggs, 2018). Araştırmalarda ses kartı filtresi için kesin bir kabul edilebilir değişim aralığına ulaşılamamakla birlikte filtrenin sağladığı kazanç ya da kaybın mümkün olan en düşük seviyede tutulmasına dikkat edilmesi önerilmektedir. Çalışmada kullanılacak ses kartına ait filtrenin oktav bantlar arasındaki sapmasının ±2 dB'yi aşmaması hedeflenmiştir.



Şekil 2. Dinleme testi sistem konfigürasyonu.

Çalışmada oktav bant filtresi 20 Hz-20 kHz aralığında ±1.2 dB olan M-Audio marka MobilePre USB model ses kartı kullanılmıştır. Bu değer aralığı ihmal edilebilir olarak kabul edilmiştir.

Çalışmada Sony marka WH-1000XM2 model kulaklık kullanılmıştır. Kulaklığa ait filtrenin devre dışı bırakılabilmesi için gerekli düzeltme filtresi, modellemeler ve işitselleştirmelerde kullanılan yazılım olan ODEON'da tanımlıdır. Benzer şekilde farklı marka ve model kulaklıklara ait düzeltme filtreleri yazılımda tanımlanmış olmakla birlikte, tanımlı olmayan bir kulaklık kullanılma durumu için kullanıcının düzeltme filtresini yazılıma aktarma olanağı bulunmaktadır. Kulaklık üreticisi ya da tedarikçisinden temin edilebilecek uygun formattaki dosyanın (.ee.hph ya da .wav) yazılıma aktarılması ile ilgili kulaklık için düzeltme filtresi çalışmalarda kullanılabilir.

İşitselleştirmelerde, çalışmada belirtilenden farklı bir yazılımın kullanılması durumunda kullanılacak yazılımın kabiliyetleri önem kazanmaktadır. Kulaklıkla yapılacak dinleme testleri için kulaklık filtresinin ortadan kaldırılması son derece önemlidir. Kullanılacak yazılımın kulaklık filtresini düzeltmeye ilişkin bir yeteneği bulunmuyorsa, yazılımda hazırlanacak kayıtların ek düzenlemelerden geçirilerek revize edilmesi tercih edilebilir. Bu tür bir çalışmada kulaklık üreticisi ya da tedarikçisinden temin edilebilecek dosyalara ihtiyaç duyulacaktır.

Seçilen teknik ekipman ile ses kartı ve kulaklık filtrelerinin etkisi ortadan kaldırılmıştır. Bu aşamada, ses düzeyi kontrolü kayıtları etkileyecek parametre olarak ortaya çıkmaktadır.

Kayıtların dinletilmesi esnasında dinleyiciye ulaşan ses basınç düzeyi, modellemelerde dinleme noktası için elde edilen ses basınç düzeyine eşit olmalıdır. Düzey kalibrasyonu yapılması modellemelerde hesaplanan ses basınç düzeyinin dinleyiciye doğru aktarılması için gereklidir. Bu da, düzey kalibrasyonu için, kulaklık çıkışındaki ses basınç düzeyinin ölçülmesi ve ölçümlerde elde edilen ses basınç düzeyinin, modellemede dinleyici noktası için hesaplanan ses basınç düzeyine eşit olması gerektiği anlamına gelmektedir.

Şekil 3. Baş ve Göğüs Simülatörü (Head & Torso Simulator).

Kulak ve kulak içi ölçümleri için baş ve göğüs simülatörleri kullanılmaktadır. Bu simülatörler, beyaz eşya vb. cihazların ses kalitesine yönelik Ar-Ge çalışmalarında da tercih edilmektedir. Simülatör, çift kulaktan yapılacak ses kayıtları için insanın duyma karakterini simüle edebilen mankendir. Simülatör Şekil 3'te görülebilir. Simülatör kullanılarak kulaklık çıkışındaki düzey doğru bir şekilde ölçülebildiğinden, düzey kalibrasyonunda baş ve göğüs simülatörlerinin kullanılması uygun bulunmaktadır.

Bir Örnek Çalışma

Konuşma işlevli mekânlarda dinleyici tercihlerine yönelik yürütülen doktora tezi kapsamında, farklı salon tasarım çeşitlemeleri için hazırlanan modellemeler üzerinden dinleyicilere sunulmak üzere dinleme kayıtları oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan bir model için kalibrasyon çalışması aktarılmaktadır.

Yazılım, modellemede simülasyonu yapılan salonda uygun durumun sembolize edilmesini önermektedir. Çalışmaya da konu olan konferans salonlarında normal düzeyde konuşma yapılmasının doğru olmayacağı, bu nedenle yükseltilmiş (raised) konuşma düzeyinin tercih edilmesi belirtilmiştir (Rindel, 2015). Bu senaryo için "ISO 9921:2003 Ergonomics-Assessment of Speech Communication" standardına önerilen ses düzeyi Tablo 2'de verilmektedir (International Organization for Standardization, 2003). Hesaplamalarda, konuşmacı için önerilen ses gücü düzeyi tanımlanmıştır. Şekil 4'te yazılımda konuşmacı için tanımlanan ses gücü düzeyi görülebilir.

Dinleme kayıtlarının kulaklık sunumlarındaki çıkış düzeyinin, dinleyici noktasında elde edilen düzeye eşit olması hedeflenmektedir. Düzey kalibrasyonunda ilk aşama olarak, dinleyici noktasındaki ses basınç düzeyi hesaplanmıştır.

Modellenen salonlardan bir tanesine ait hesaplama penceresi Şekil 5'te görülebilir.

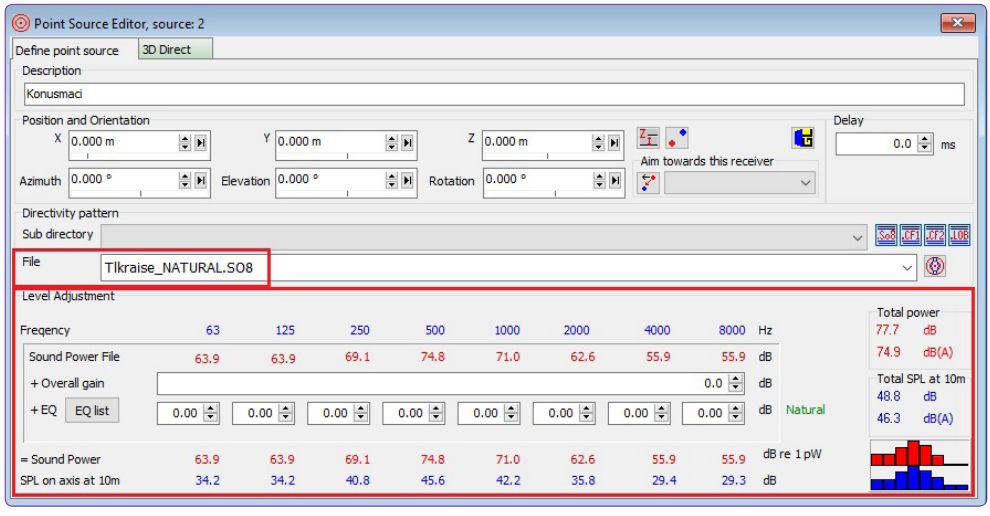
Yapılan hesaplamada dinleyici noktasında 56.8 dBA ses basınç düzeyi hesaplanmıştır.

ODEON yazılımında kulaklık sunumları için yapılan işitselleştirme ayarları penceresi Şekil 6'da paylaşılmaktadır. Ayarlarda, sunumlarda kullanılacak kulaklık tanımlanmıştır. Böylelikle yazılım kulaklık filtresini ortadan kaldıracaktır.

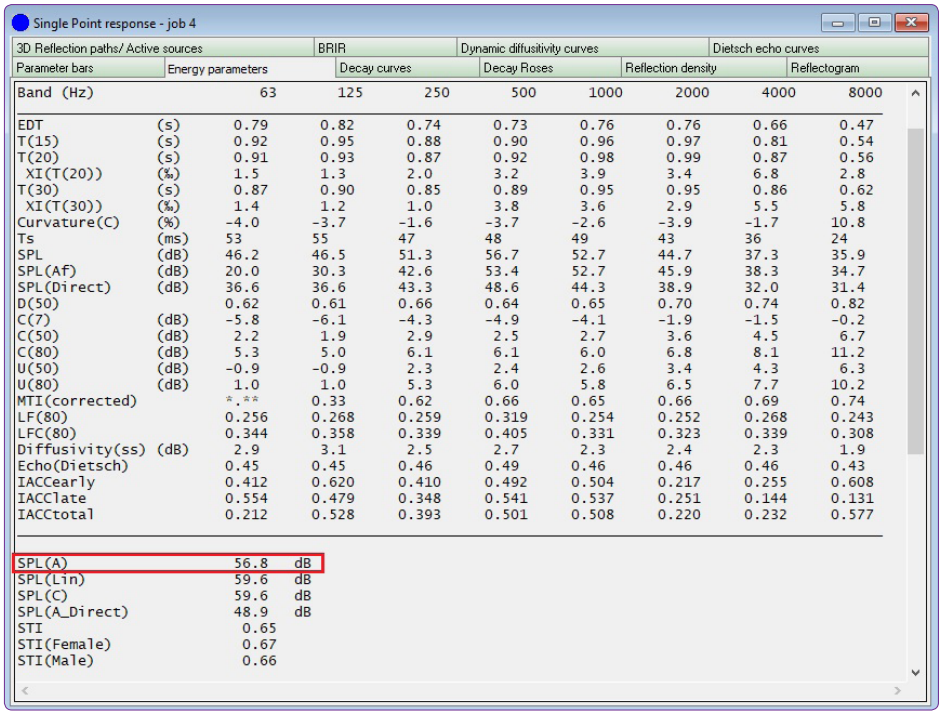
Doktora tezi kapsamında, dinleyici tercihlerinin belirlenmesi amacıyla dinleyicilere, modellenen salonların akustik koşullarına göre işitselleştirilen konuşma kayıtları sunulacaktır. Ancak, işitselleştirmede kullanılacak konuşma kayıtlarının, düzey kalibrasyonunda kullanılması doğru bir yaklaşım değildir. Konuşma sinyaline ait ses düzeyi zamana bağlı ola-

Tablo 2. Konuşmacı ses basınç düzeyi (konuşmacıdan 1 metre uzakta)

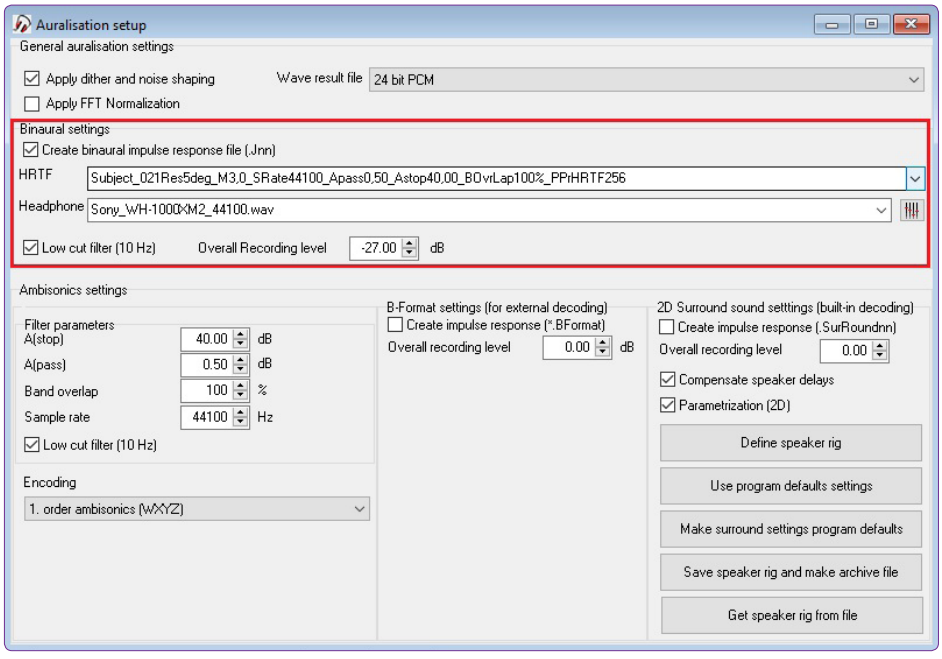
Vokal Çaba (Vocal Effort)	Sakin (Relaxed)	Normal (Normal)	Yükseltilmiş (Raised)	Yüksek (Loud)	Çok Yüksek (Very Loud)
$L_{S,A,1m\ (dB)}$	54	60	66	72	78



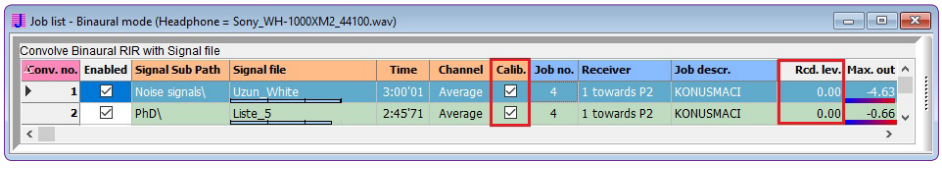
Şekil 4. Modellemelerde kullanılan konuşmacı ses gücü ayarları.



Şekil 5. Modellemede dinleyici noktası için hesaplanan ses basınç düzeyi.



Şekil 6. İşitselleştirme ayarları.



Şekil 7. İşitselleştirme hesaplama penceresi.

rak değişkenlik göstereceğinden düzey ayarlaması yapmak mümkün olmayacaktır. Bu nedenle kalibrasyonda sabit bir sinyalin kullanılması gerekir. Kalibrasyonda beyaz gürültü kullanılması uygun bulunmaktadır. Çalışma kapsamında, her iki ses sinyali için işitselleştirmeler gerçekleştirilmiştir. İşitselleştirmelere ait hesaplama penceresi Şekil 7'de görülebilir.

Şekil 7'de verilen hesaplama penceresinde işaretlendiği gibi, birbiri yerine kullanılacak kayıtlar birbiri ile eşleşmesi adına kendi arasında "kalibre" edilmiş olmalıdır. Her iki sinyal için ses çıkış düzeyini aynı okumak istediğimizden kayıt düzeyi de eşit olarak bırakılmıştır. Şekil 5'teki hesap sonuçlarında işaretlenen 56.8 dBA ses basınç düzeyi, dinleyicilere aktarılması hedeflenen ses basınç düzeyidir. Bu düzeyin doğru iletilmesi için düzey kalibrasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kalibrasyon çalışmalarında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesine ait baş ve göğüs simülatörü kullanılmıştır. Düzey ölçümlerinden önce, simülatöre ait mikrofonların kalibrasyonu, simülatör mikrofonlarına uygun pistonfon kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sistem konfigürasyonuna ait ekipman aşağıda listelenmiştir.

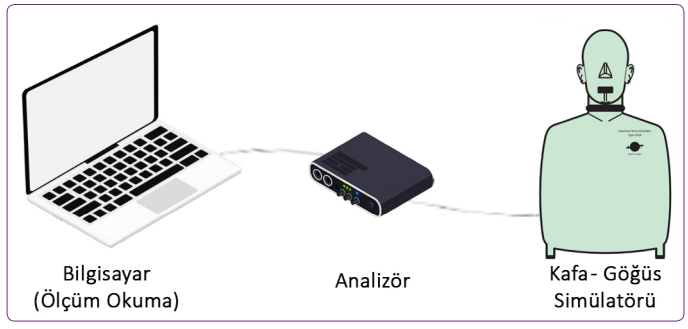
- Brüel & Kjær Head and Torso Simulator Type 4100-D
- Brüel & Kjær Pistonphone Type 4228
- Brüel & Kjaer PULSE Analyzer Type 3050

Mikrofon kalibrasyonuna Şekil 8'de yer verilmiştir. Mikrofon kalibrasyonu her iki kulak konumu için tekrarlanmıştır.

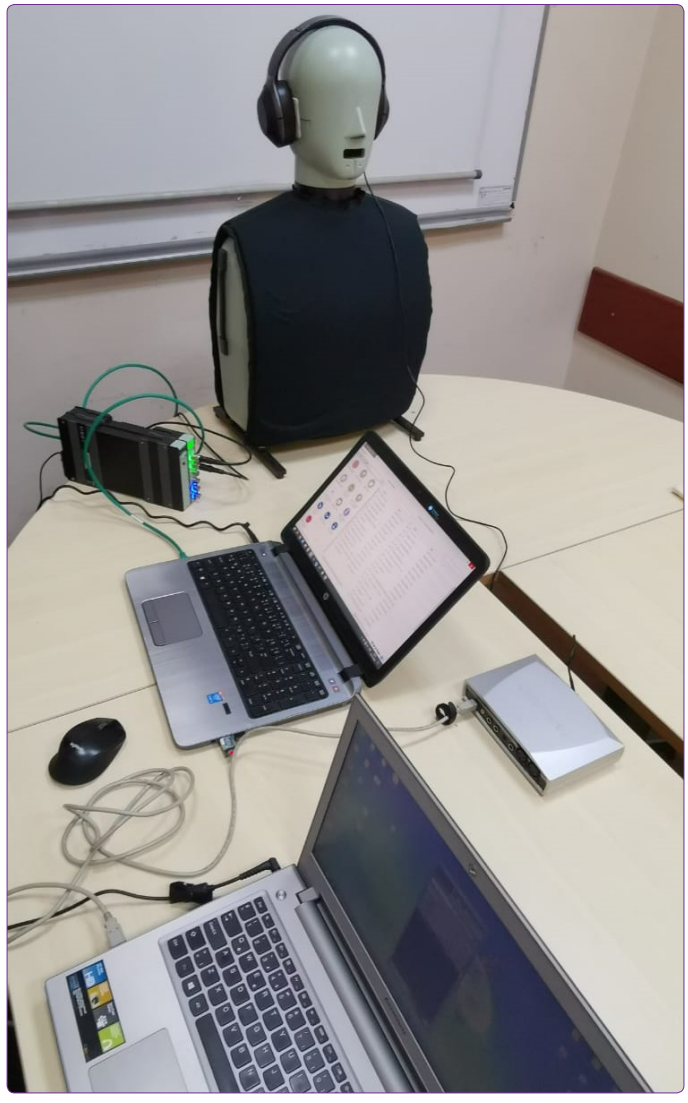
Dinleme kayıtlarının düzey kalibrasyonu için, sunum düzeneği kurulmuştur. Sunum düzeneği Şekil 2'de verilen sıra ile birbirine bağlanmıştır. Kulaklıklar ise baş ve göğüs simülatörüne yerleştirilmiştir. Kulaklığın simülatöre tam uyumlu bir şekilde oturduğundan emin olunmuştur. Baş ve göğüs simülatörü, bir analizör ve alınan değerleri okuyabilmek adına ayrı bir bilgisayara bağlanmıştır. Analiz bağlantısına ait görsel Şekil 9'da görülebilir.

Kurulan tüm düzenek Şekil 10'da verilmektedir.

Şekil 8. Mikrofon kalibrasyonu.



Şekil 9. Ölçüm sistem konfigürasyonu.



Şekil 10. Düzey kalibrasyon düzeneği.

Yapılan modellemeler üzerinden oluşturulan beyaz gürültü sinyalinden oluşan dinleme kaydı baş ve göğüs simülatörüne aktarılmış ve düzey ölçümleri analizör üzerinden okunmuştur. Okunan düzey, model hesaplarında elde edilen kayıtlarda dinleyici noktası için elde edilen ses basınç düzeyine eşit oluncaya kadar (56.8 dBA) bilgisayarın ses düzeyi ile oynanmıştır. Okunan düzey ile hesaplanan düzey eşleştiğinde sistem ayarları kaydedilmiştir. Dinleme kayıtları esnasında, her bir kayıt için bilgisayarın ilgili ayara sabitlenmesi ile dinleyiciye istenen ses düzeyinin aktarılması sağlanacaktır.

Modellenen diğer salonlar için aynı işlemler tekrarlandığında, bir dinleme için belirlenen ayarların diğer dinleme testleri için uygun olmadığı görülmektedir. Bu da, doğru değerlendirmelerin alınabilmesi için düzey kalibrasyon çalışmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Sonuç

Öznel değerlendirmelerin son derece önemli olduğu bir çalışma alanı olan mimari akustik tasarımda, deneklere doğru akustik koşulların aktarılması doğru değerlendirmelerin alınabilmesi için gereklidir.

Dinleme testi sunumlarında doğru modellemenin ve işitselleştirme ayarlarının kurgulanması genellikle dikkat edilen hususlardır. Tercih edilecek sunum yöntemine uygun olarak dinleme sırasında kullanılacak ekipman özelliklerinin de kayıtlara etki etmeyecek şekilde seçilmesine yönelik öneriler bilinmektedir. Bunlara ek olarak dinleme kayıtlarının dinleyicilere istenen ses düzeyinde ulaştırılması genellikle üzerinde durulmayan bir parametredir.

Modellemeler üzerinden alınan dinleme kayıtlarının kullanıldığı değerlendirmelerde, dinleyiciye aktarılan ses çıkış düzeyinin, simülasyonlarda elde edilen düzeyle örtüşmesi beklenir. Aksi durumda tasarıma ait simülasyon koşullarından farklı bir ortam dinletilmiş olacak, bu da testlerdeki değerlendirmelerin gerçekçiliğini etkileyecektir. Dinleme testlerinde, dinleyiciye simülasyonlarda elde edilen düzeyde ses enerjisi verilmesi değerlendirmelerin sağlıklı olması açısından sağlanmalıdır.

Çalışmada kulaklık sunumları için yapılan düzey kalibrasyon çalışması paylaşılmıştır. Düzey kalibrasyon çalışmalarında bir baş ve göğüs simülatörü kullanılmıştır. Oluşturulan salon tasarımına ait akustik simülasyonda, belirlenmiş bir dinleyici noktasındaki ses düzeyi hesaplanmıştır. Bu düzey, deneğe iletilmesi hedeflenen ses basınç düzeyidir. Kurulan sistem konfigürasyonuna ait kulaklık çıkışında hesaplanan bu düzeyde ses enerjisi verilmesini sağlamak için bir "head and torso" (baş ve göğüs) simülatörü ile ses düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Modelleme için sunum sistemine ait düzey ayarları belirlenerek sabitlenmiştir. Yapılan bu düzey kalibrasyonu ile dinleme testlerinde akustik simülasyon koşullarının bire bir dinleyiciye aktarılması sağlanacaktır.

Dinleme testlerinde kullanılacak kulaklık çıkışında, modellemede dinleyici noktası için yapılan hesaplamalarda elde edilen ses basınç düzeyine ulaşılması hedeflenmiştir. Kurulan kalibrasyon sistemi ile modellemede oluşturulan dinleme kaydına ait ses düzeyi ölçülmüştür. Ölçümlerde, süreklilik sağlanması açısından beyaz gürültü kullanılmıştır. Yapılan ölçümde, istenen ses düzeyine ulaşıldığında dinleme testlerinde kullanılacak bilgisayarın ses düzey ayarı sabitlenerek kaydedilmiştir.

Çalışma, farklı salon modelleri için tekrarlanmıştır. Yapılan kalibrasyon çalışmalarında, bir model için belirlenen ses düzeyi ayarının diğer salon modellerine uygun olmadığı görülmüştür. Bu da, ses düzey kalibrasyonunun gerekliliğini ortaya koymaktadır. Düzey kalibrasyon çalışması tüm salon modelleri için tekrarlanmıştır.

Mimari akustikte öznel değerlendirmeler kapsamında yapılan dinleme testlerinde genellikle atlanan ses düzeyi kontrolü, sağlıklı değerlendirmeler için önemli bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, kulaklık sunumlarına yönelik aktarılan düzey kalibrasyon çalışmasının bu tür çalışmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

Teşekkür

İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi Doktor Sinem Öztürk'e, Yüksek Mimar Ergin Gürkan'a ve Makina Yüksek Mühendisi Onur Akaydın'a katkıları için teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Akaydın, O. (2013). Buzdolaplarında ses gücü düzeyinin azaltılması ve ses kalitesinin gelişitirilmesi [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Alıc, E. (2019). Camilerde konuşma anlaşılabilirliğinin Türkçe ve Arapça dilleri üzerinden incelenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Eskişehir Teknik Üniversitesi.

Brüel & Kjaer. (2010). Sound Quality: Equalisation and calibration [Educational PowerPoint Slides]. Danimarka.

Di Rosario, S. (2008). Auralization level calibration. Proceedings of the Institute of Acoustics, 30(6), 165-11.

International Organization for Standardization. (2003). Ergonomics – Assessment of Speech Communication (ISO Standart No. 9921: 2003).

Long, M. (2006). Architectural acoustics. Elsevier.

Pätynen, J. ve Tapio, T. (2010). Evaluation of concert hall auralization with virtual symphony orchestra. Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010, Melbourne, Avustralya.

Rindel, J. H. (2015). ODEON application note: Auralisation and how to calibrate the sound level for presentations.

Rindel, J. H. ve Christensen, C. L. (2016). Calibration of auralisation presentations through loudspeakers. EuroRegio 2016, Porto, Portekiz.

Shaw, E. A. G. (1982). External ear response and sound localization. In R. W. Gatehouse (Ed.), Sound theory and applications, (pp. 30-41). Amphora, Groton, CT.

Şaher, K. ve Karaböce, B. (2019). Dersliklerde reverberasyon süresi ve gürültü-sinyal oranının yetişkinler ve çocuklarda kelime ayırt etme oranına etkisi. Megaron, 14(3): 385-96.

Triggs, R. (2018). What is frequency response and how does it affect my music? https://www.soundguys.com/frequency-response-explained-16507/

Uzeyırlı, Z. (2019). İşitme engelli bireylerin kaynaştırmalı eğitim mekanlarının akustik açıdan incelenmesi ve bir örnek çalışma [Yüksek Lisans Tezi]. Eskişehir Teknik Üniversitesi.

Vorländer, M. (2008). Auralization: Fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality (1st ed.). Springer.