



Dersliklerde Reverberasyon Süresi ve Gürültü-Sinyal Oranının Yetişkinler ve Çocuklarda Kelime Ayırt Etme Oranına Etkisi

The Effect of Reverberation Time and Signal-to-Noise Ratio On Word Recognition Scores By Adults and Children in Classrooms

id Konca SAHER,¹ id Baki KARABÖCE²

ÖZ

Bu makale, sınıflarda yetişkinler ve çocuklar için reverberasyon süresi değerlerinin, reverberasyon süresinin frekans aralıklarındaki dağılımının ve sinyal-gürültü oranının konuşmanın anlaşılabilirliğine olan etkisini Türkçe fonetik dengeli tek heceli kelime ayırt etme testleriyle belirlemeyi amaçlamaktadır. Öncelikle, her biri 25 öğeden oluşan 2 takım fonetik dengeli tek heceli Türkçe kelime tam yansız bir odada kaydedildi. Kayıtların işitselleştirmeleri akustik bir simülasyon yazılımında tipik bir sınıf için 0,8 saniye (500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz ortalaması), 0,4 saniye (500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz ortalaması) ve 0,4 saniye (125–4000 Hz) olmak üzere üç farklı reverberasyon süresi ve iki farklı sinyal-gürültü oranı (0 dB ve 15 dB) için geliştirildi. Üç farklı reverberasyon süresi ve iki farklı sinyal-gürültü oranına sahip altı modeldeki işitselleştirmelerden geliştirilen dinleme testleri, normal işitme yeteneğine sahip genç yetişkinlere ve çocuklara dinletildi. Sonuçlar, 0 dB ve 15 dB olarak her iki sinyal-gürültü oranı için reverberasyon süresi 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz ortalaması olarak 0,8 saniyeden 0,4 saniyeye düştüğü zaman, konuşmayı ayırt etme yüzdelerinin yetişkinlerde de çocuklarda da arttığını göstermektedir. Ancak 0 dB sinyal-gürültü durumunda reverberasyon süresi 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz ortalaması olarak 0,4 saniyeden 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniye civarına düştüğü zaman yetişkinlerin konuşmayı ayırt etme oranında kayde değer bir iyileşme olmazken, çocukların kelime ayırt etme oranlarının önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir. 15 dB sinyal-gürültü oranı için ise 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniye elde edildiği durumun yetişkinlerde de çocuklarda da konuşma anlaşılabilirliğine önemli bir etkisi görülmemektedir.

Anahtar sözcükler: Derslik akustiği; işitselleştirme; konuşmayı ayırt etme oranı; sinyal-gürültü oranı; söylem testi; Türkçe tek heceli kelimeler.

ABSTRACT

This paper seeks to assess the effect of reverberation time, distribution of reverberation time over the frequency range and signal-to-noise ratio on speech intelligibility by adults and children in classrooms by the use of phonetically balanced monosyllabic Turkish word recognition tests. Two sets of 25-items phonetically balanced monosyllabic Turkish words were recorded in a full anechoic chamber. Auralizations of the recordings were developed in an acoustic simulation software for a range of reverberation time of 0,8 seconds (average of 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz), 0,4 seconds (average of 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz) and 0,4 seconds (125–4000 Hz) and two signal-to-noise ratios of 0 dB and 15dB in a typical classroom. Listening tests developed from auralizations were presented to adults and children. The results show that when reverberation time (average of 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz) is reduced from 0.8 seconds to 0.4 seconds for both signal-to-noise ratios of 0 dB and 15 dB, the percentage of speech recognition scores increases in both adults and children. However, in case of 0 dB signal-to-noise, when the reverberation time falls from 0.4 seconds (average of 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz) to 0.4 seconds (125–4000 Hz) while there is no significant improvement in the word recognition scores by adults, there is a significant improvement in childrens' scores. For the 15 dB signal-to-noise ratio case, reverberation time of 0,4 seconds (125 - 4000 Hz) does not have a notable impact on word recognition scores for both children and adults.

Keywords: Classroom acoustics; auralizations; word recognition score; signal-to-noise ratio; speech tests; Turkish monosyllabic words.

¹Kadir Has Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul
²TÜBİTAK ÜME, Ulusal Metroloji Enstitüsü, Kocaeli

Başvuru tarihi: 16 Ocak 2018 - Kabul tarihi: 28 Haziran 2019

İletişim: Konca SAHER. e-posta: konca.saher@khas.edu.tr

© 2019 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2019 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

Giriş

Derslik akustiğinin öğrencilerin eğitimsel başarısı ve akademik performansı üzerinde önemli bir rolü olduğu birçok araştırma tarafından gösterilmiştir.^{1,2,3} Dersliklerde akademik iletişimin önemli bir kısmı konuşma aktarımı şeklinde olmaktadır. Bu konudaki çalışmalar bir derslikte konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki en büyük etkiye sahip akustik kriterlerin reverberasyon süresi ve sinyal-gürültü oranı olduğunu ortaya koymaktadır.^{4,5,6} Çeşitli araştırmacılar reverberasyon süresi ve sinyal-gürültü oranının konuşmanın anlaşılabilirliğine etkisini ölçmek için tek heceli kelime ayırt etme testlerinden faydalanmışlardır. Bu araştırmalarda yetişkinler, çocuklar ve işitme engelli çocuklarda reverberasyon süresi ve gürültünün tek heceli kelime ayırt etme oranına olan etkileri incelenmiştir.^{7,8,9} Bu çalışmaların bir kısmı gerçek dersliklerde bir kısmı da sanal olarak modellenmiş derslik ortamlarında yapılmıştır. Bu araştırmalarda azalan reverberasyon süresi ve artan sinyal-gürültü oranının konuşmayı ayırt etme oranını iyileştirdiği ortaya konmuştur. Ayrıca reverberasyon süresinin değişiminin konuşmayı anlamaya etkisinin sinyal-gürültü oranına göre daha az olduğu görülmüştür. Yine, yetişkinlerin performansının çocuklardan daha iyi olduğu ve çocukların performansının da artan yaşlarıyla orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. İşitme engelli çocukların ise normal işiten çocuklara göre azalan sinyal-gürültü oranıyla beraber kelime ayırt etme oranlarının önemli derecede düştüğü gözlemlenmiştir.

Çocukların işitsel özelliklerinin yetişkinlerden farklı olduğu; aynı mekânda konuşma anlaşılabilirliği performansı açısından çocukların yetişkinlere göre daha kısa reverberasyon sürelerine ihtiyaç duyduğu ve çocukların dikkatinin gürültüden yetişkinlere göre daha fazla ve daha çabuk dağıldığı yine çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur.^{10,11} İşitme engelli çocuklar ise akustik koşullara normal işiten çocuklara oranla çok daha fazla hassastır. Ayrıca herhangi bir işitme engeli olmasa bile öğrenme güçlüğü çeken ya da özel eğitim gereksinimli çocuklar da akustik koşullardan normal işiten çocuklara göre daha çok etkilenirler. Çeşitli çalışmalar işitme problemi yaşayan kişilerin yetersiz akustik ortamlarda yaşadıkları problemleri utanma, yorgunluk, kişilik problemleri ve öğrenme güçlüğü olarak sıralamaktadır.^{12,13} İşitme engelli ve özel eğitim gereksinimli çocukların Türkiye’de kaynaştırma okulları yoluyla genel eğitime dahil edilmeleri gittikçe daha da yaygın hale gelmektedir. Bu nedenle derslik akustiğinin ve dersliklerde akustik kriterlerin tüm bu öğrencileri kapsayacak şekilde

değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Bütün öğrencilerin işitsel ihtiyaçlarına karşılık verebilen iyi bir derslik akustiği öğrenimin daha etkili ve öğrencilerin akademik performansının daha yüksek olmasını sağlayabilir. Bu tüm çocuklar için demokratik bir eğitim hakkının sağlanması olarak da değerlendirilebilir. Bu durumda normal işiten öğrenciler ve yetişkin bireyler olarak öğretmenleri de kapsayacak herkes fayda görmüş olacaktır.

Pek çok ülke derslik akustiğine dair standart ya da kılavuz dokümanlar oluşturmuştur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)¹⁴ derslikler için 500 Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,6 saniye reverberasyon süresi önermekteyken Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü’nün (ANSI) S12.60-2010 sayılı standardı olan “Akustik Performans Kriterleri, Tasarım Gereksinimleri ve Okullar için Rehber”¹⁵ hacme bağlı olarak (>283 m³) 500 Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,6 saniye reverberasyon süresi önermektedir. İngiltere’de Eğitim Bakanlığı tarafından yayınlanan “Okulların Akustik Tasarımına Dair Bina Bülteni 93” (BB93)¹⁶ ise derslikler için 500 Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,8 saniye reverberasyon süresi önermektedir. Yukarıdaki standartlarda önerilen reverberasyon süresi değerleri orta frekans reverberasyon süresi değerleri olarak tanımlanmıştır. Önerilen orta frekans reverberasyon süresi değerleri 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz frekanslarındaki değerlerin aritmetik ortalamasıdır. Bu standartların çoğunluğunda dersliklerde olması gereken arka plan gürültü seviyesi değerleri belirlenmiştir ancak sinyal-gürültü oranı ile ilgili herhangi bir tavsiye bulunmamaktadır. Türkiye’de ise Mayıs 2017 tarihine kadar dersliklerde reverberasyon süresi ile ilgili herhangi bir düzenleme bulunmamaktaydı. Ancak 31 Mayıs 2017’de yürürlüğe giren “Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik”te (BGKKHY)¹⁷ “Ek 6: Binalarda izin verilen reverberasyon süreleri” başlığı altında derslikler için akustik performans sınıfına bağlı olarak sağlanacak en yüksek reverberasyon süresi olarak 500 Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,8 saniye önerilmektedir. Belirtilen değerler bu yönetmelikle belirlenen binaların akustik sınıflandırılmasındaki C ve D sınıfları için geçerlidir. Türkiye’de “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” (ÇGDYY)¹⁸ dersliklerde arka plan gürültü seviyesi kriterlerini belirlemiş olmakla beraber, dersliklerdeki sinyal-gürültü oranı için herhangi bir tavsiye de bulunmamaktadır. Tablo 1’de normal işiten çocuklar için WHO, Amerikan standartları ve İngiliz standartları tarafından önerilen reverberasyon süresi değerleri Türkiye’deki değerlerle karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Dünyadaki derslik akustiği standartları ve kılavuz dokümanlarının birçoğu, işitme engelli çocuklar ya da özel eğitim

¹ Institute for Environment and Health, 1997.

² Evans ve Lepore, 1993.

³ Picard ve Bradley, 2001.

⁴ Bradley et al, 1999.

⁵ Bradley, 1986.

⁶ Hodgson, 2002.

⁷ Finitzo-Hieber ve Tillman, 1978.

⁸ Johnson, 2000.

⁹ Bradley ve Sato, 2008.

¹⁰ Werner ve Boike, 2001.

¹¹ Johnson, 2000.

¹² Barcham ve Stephens, 1980.

¹³ Moore, 2003.

¹⁴ World Health Organisation, 1999. Skills, 2015.

¹⁵ American National Standards Institute, 2010.

¹⁶ Department for Education and ¹⁷ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 31 Mayıs 2017.

¹⁸ Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010.

Tablo 1. Normal işiten çocuklar için WHO, ANSI, BB93 ve BGKKHY tarafından sınıflar için tavsiye edilen reverberasyon süresi ve sinyal-gürültü oranı değerleri

	Reverberasyon süresi, saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	Sinyal-gürültü oranı, dB
Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (1999)	0,6 saniye	-
Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI)		
Akustik Performans Kriterleri, Tasarım Gereksinimleri ve Okullar için Rehber (2010)	0,6 saniye (<283 m ³)	-
Okulların Akustik Tasarımına Dair Bina Bülteni (BB93) (2015)	0,8 saniye	-
T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" (2017)	0,8 saniye (C ve D sınıfı)	-

Tablo 2. Nşitme engelli ya da özel öğrenim gereksinimli çocuklar için ANSI, BB93, ASHA ve BATOD tarafından tavsiye edilen reverberasyon süresi ve sinyal-gürültü oranı değerleri

	Reverberasyon süresi, s	Sinyal-gürültü oranı, dB
Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI)	0,3 saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	Yüksek
Akustik Performans Kriterleri, Tasarım Gereksinimleri ve Okullar için Rehber (2010)	(<283 m ³)	
Amerikan Konuşma, Dil ve İşitme Derneği (ASHA) (1995)	0,4 saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	15 dB
İngiliz İşitme Engelliler için Öğretmenler Derneği (BATOD) (2001)	0,4 saniye (125 Hz - 4000Hz)	20 dB (125 Hz - 750 Hz) 15 dB (750 Hz - 4000Hz)
Okulların Akustik Tasarımına Dair Bina Bülteni (BB93)(2015)	0,4 saniye (125 Hz - 4000 Hz ortalaması ve her bir frekans değeri 0,6 saniyeden düşük)	15 dB
T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" (2017)	-	-

gereksinimli çocuklar için değerler içermemektedir. ANSI 2010 standardı işitme engelli ya da iletişim güçlüğü çeken öğrenciler için reverberasyon süresinin 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,3 saniyeye kadar inmesi gerekebileceğini belirtmekte ayrıca yüksek bir konuşma-gürültü oranı gerektiğini vurgulamaktadır. Ancak rakamsal bir sinyal-gürültü oranı değeri vermemektedir. İşitme engelliler için akustik kriter belirlemiş kuruluşlardan biri olan Amerikan Konuşma, Dil ve İşitme Derneği (ASHA)¹⁹ de işitme engelli çocuklar için 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniye reverberasyon süresi önermektedir. ASHA aynı zamanda işitme engelliler için dersliklerde 15 dB sinyal-gürültü oranı önermektedir. Bununla birlikte İngiliz İşitme Engelliler için Öğretmenler Derneği (BATOD)²⁰ alt frekans aralığı (125 Hz – 250 Hz) da dâhil olmak üzere 125 Hz - 4000 Hz frekans aralığında tüm oktav bantlarında 0,4 saniye reverberasyon süresi önermektedir. BATOD tarafından işitme engelliler için önerilmekte olan sinyal-gürültü oranı 15 dB - 20 dB'dir. BB93 daha önceki versiyonunda işitme engelli çocuklar için 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniyelik bir reverberasyon süresi önermekteydi.

BATOD ve işitme engelli çocukların aileleri tarafından yapılan itirazlar sonrasında BB93 Şubat 2015'te revize edilerek yayınlanmıştır. Revize dökümana göre işitme engelli çocuklar ve özel eğitim gereksinimli çocuklar için tasarlanan dersliklerde reverberasyon süresi değeri 125 Hz - 4000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniye olarak belirlenmektedir. Ayrıca 125 Hz – 4000 Hz frekans aralığında tek her bir oktav bandında reverberasyon süresi değerinin 0,6 saniyenin altında olması tavsiye edilmektedir. Türkiye'de ise BGKKHY'te işitme engelli çocuklar ya da özel eğitim gereksinimli çocuklarla ilgili bir düzenleme ya da tavsiye bulunmamaktadır. Tablo 2'de işitme engelli ve özel eğitim gereksinimli çocuklar için Amerika ve İngiltere standartlarında tavsiye edilen reverberasyon süresi ve sinyal-gürültü oranı değerleri özetlenmektedir.

Günümüzde hem dünyada hem de Türkiye'de kaynaştırma okulları yoluyla normal işiten, işitme engelli ve özel eğitim gereksinimli çocukların ayrıştırılmadan aynı derslikte eğitim görmelerinin yaygınlaştığı bir ortamda işitme engelli çocuklar için belirlenmiş akustik kriterlerin tüm öğrencileri ve yetişkin eğitimcileri de kapsayacak şekilde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Yukarıda değerlendirilen akustik standart ve kılavuz dokümanlar dersliklerdeki akustik

¹⁹ American Speech-Language-Hearing Association, 1995. ²⁰ British Association of Teachers of the Deaf, 2001.

kalite ile ilgili olarak reverberasyon süresi ve sinyal-gürültü oranı olarak ifade edilen nesnel parametreleri içermesine rağmen, bu parametrelerin öznel değerlendirilmesiyle ilgili az sayıda çalışma yapıldığı gözlemlenmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda tavsiye edilen reverberasyon süresi değerlerinin farklı frekans aralıklarındaki değişimlerinin konuşmanın anlaşılabilirliğine etkilerinin yetişkinler ve çocuklar üzerindeki etkilerinin de öznel olarak yeterince araştırılmadığı gözlemlenmektedir. Yapılan çalışmalarda 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarında aynı reverberasyon süresine sahip ancak 125 Hz – 250 Hz oktav bantlarında BATOD tarafından önerildiği gibi düşük reverberasyon süresinin elde edildiği ve elde edilmediği iki duruma dair bir öznel karşılaştırma örneği gözlemlenmemiştir. Ayrıca, incelenen örneklerin büyük çoğunluğu İngilizce dili için geliştirilmiş testlerin sonuçları olup Türkiye'deki derslikler için geçerli olmayabilir.

Bu çalışma bu alandaki önceki araştırmaları temel alarak farklı reverberasyon süresi değerlerinin, reverberasyon süresinin frekans aralığındaki dağılımının ve sinyal-gürültü oranının yetişkinler ve normal işiten çocuklar için derslikteki konuşmanın anlaşılabilirliğine olan etkisini Türkçe tek heceli kelime ayırt etme testleriyle anlamayı amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşılması için, bu çalışma aynı zamanda, çocuklar için fonetik dengeli tek heceli olarak yapılandırılmış kelime listelerini temel alan işitselleştirmelerle (auralization) Türkçe tek heceli konuşmayı ayırt etme testleri geliştirmeyi de amaçlamaktadır. Birebir standartlarda tavsiye edilen reverberasyon sürelerine ve birbiriyle benzer ölçülere sahip derslikler bulmak ve dinleme testlerini burada yapmak zor olduğu için farklı akustik tasarımlar arasındaki farklılıkları ölçmekte en etkili yöntemlerden biri olan akustik benzetim yöntemi tercih edilmiştir. Böylece aynı derslikte, sadece kullanılan malzemeleri değiştirerek reverberasyon süresi değerleri değiştirilebilir, istenilen sinyal-gürültü oranı da arka plan gürültüsü değeriyle oynayarak elde edilebilir. Bu amaçlara ulaşabilmek için yukarıda irdelenen standart ve kılavuz dokümanlarda tavsiye edilmiş olan farklı reverberasyon süresi ve sinyal-gürültü oranları kombinasyonlarını örnek bir derslikte simüle etmek için akustik benzetim yöntemi ve bu simüle edilmiş dersliklerde konuşma anlaşılabilirliğini değerlendirmek için de işitselleştirmelerden hazırlanmış Türkçe konuşmayı ayırt etme testleri kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada işitme engelliler için önerilen reverberasyon süresi değerlerinin ve özellikle de 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının tamamında eşit ve düşük değerlerde reverberasyon süresi değerleri elde edilmesi durumunun normal işiten çocuklar ve yetişkinlerde konuşmanın anlaşılabilirliğini olumlu yönde etkileyip etkilemediği de irdelenmiştir.

Böylece, yukarıda ele alınan akustik standartlarda önerilmekte olan üç adet reverberasyon süresi değerine haiz üç akustik model İstanbul'da gerçek bir derslik baz alınarak geliştirildi. Tüm modellerin geliştirilmesinde ODEON v12

hacim akustiği yazılımı kullanıldı. Derslik modellerine ait üç reverberasyon süresi değeri, 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,8 saniye (normal öğrenciler için BB93 [20] ve BGKKHY tarafından önerilen), 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniye (işitme engelliler için BB93 ve ASHA tarafından önerilen) ve 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniye (BATOD tarafından önerilen) olarak belirlendi. Her modelde, 0 dB sinyal-gürültü oranı ve 15 dB sinyal-gürültü oranı için konuşmanın anlaşılabilirliği test edildi. İşitselleştirmeler Gebze'deki TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünün tam yansımaz odasında, fonetik dengeli tek heceli olarak yapılandırılmış kelimelerin yansımaz kayıtlarından geliştirilmiştir. Bunların ardından işitselleştirmelerden geliştirilen dinleme testleri yetişkinler ve normal işiten öğrencilerle yapılmış ve elde edilen bulgular karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Böylece, Türkiye'de dersliklerin akustik tasarımı ve dersliklerde konuşmanın anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesi için tasarımcı ve akustik danışmanlara yardımcı olabilecek bir yöntem ve veriler sunulmuştur. Bu yöntem ve verilerin ileride öğrencilerin dersliklerdeki akustik performansını arttıracak tasarımların geliştirilmesine yardımcı olması da hedeflenmektedir.

Kayıtlar ve Akustik Benzetim

Türkçe Fonetik Dengeli Tek Heceli Kelime Listeleri ve Kayıtlar

Klinik odyologlar fonetik dengeli tek heceli kelime listelerinden geliştirilmiş konuşmayı ayırt etme testlerini odyolojik incelemelerde iletimsel fonksiyonları değerlendirmek amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Fonetik denge kullanılan dildeki fonemlerin oran olarak kelime listelerine yansıtılması anlamına gelmektedir. Her dilde yaygın kullanılan kelimeler, tonlamalar, vurgulama ve hece sayısı farklılık gösterdiği için kelime listeleri her dil için özel geliştirilmelidir.²¹ 1948'de Egan²² İngilizce için her birisi 50 tek heceli kelimedenden oluşan fonetik dengeli kelime listelerini geliştirmiştir ve bu listeler hala İngilizcede en yaygın kullanılan listelerdendir. Türkçe'de yetişkinler için farklı zamanlarda geliştirilmiş çeşitli tek heceli kelime listeleri vardır.^{23,24,25,26} Ancak çocuklar için geliştirilmiş listeler bulunmamaktadır. Bu listelerin sağlanması ve yapılacak kayıtlar için uygulanacak metodolojinin belirlenmesi için uzman odyolog Prof. Dr. Ferda Aktaş ile iletişime geçilmiştir ve kendisinden pratikte çocuklarla yapılan odyolojik testlerde kullanılan tek heceli kelime listeleri elde edilmiştir. Her biri 25 öğeden oluşan 2 takım fonetik dengeli kelime listesinin kayıtları Gebze'deki TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünün tam yansımaz odasında gerçekleştirildi. Yansımaz odada kaydedilen 2 takım fonetik dengeli tek heceli Türkçe kelimeler Tablo 3'te sunulmaktadır.

²¹ Han et al, 2009.

²³ Cevanşir, 1965.

²⁵ Akşit, 1994.

²² Egan, 1948.

²⁴ Kılınçarslan, 1972.

²⁶ Mungan, 2010.

Tablo 3. Yansız odada kayıtları yapılan 2 takım fonetik dengeli tek heceli Türkçe kelimelerin listesi

Takım 1	Takım 2
KAZ	KAŞ
TAŞ	TAY
BEY	BİR
GÖK	GÜL
CAM	ÇAM
BAŞ	BUZ
TUZ	TOP
BEZ	BAK
DUR	DIŞ
SEV	SAĞ
KAŞ	KOL
YUT	YAZ
ÇAY	ÇOK
AL	EL
SOL	SAÇ
KOR	KAN
YOK	YÜZ
GÜN	GÖR
İP	AT
DİL	DEV
YÜN	YIL
DAL	GÖZ
ÜÇ	UN
FİL	VER
KİR	KEL

Uzman odyolog Prof. Dr. Ferda Aktaş tarafından verilen tavsiye doğrultusunda her tek heceli kelime bir taşıyıcı bir cümle ile kaydedilmiştir. Çocuklarla yapılan testlerde taşıyıcı cümle kullanma dünyadaki uygulamalarda da yaygındır.²⁷ Taşıyıcı cümle kullanımının seslerde meydana gelebilecek patlamaları engelleyebileceği²⁸ ve dinleyiciyi daha dikkatli olmaya zorladığını öne süren çalışmalar vardır.²⁹ Her tek heceli kelime için taşıyıcı cümle aşağıdaki gibidir:

“Şimdi söyleyeceğimiz kelime; kaz”.

Aynı taşıyıcı cümle, her tek heceli kelime için tekrar edilmiştir. Kayıtlar, ölçünlü Türkçe konuşan yani standart İstanbul aksanıyla konuşan, diksiyonu düzgün bir kadın ve bir erkek konuşmacı tarafından seslendirildi. İlk kayıtlar 4 Mayıs 2015 tarihinde TÜBİTAK Gebze’deki tam yansız odada yapılmıştır. Daha sonra bu kayıtlar uzman odyolog Prof. Dr. Ferda Aktaş tarafından dinlenmiş ve kayıtlarda taşıyıcı cümle içinde tek heceli kelimeye fazla vurgu yapılmasından dolayı bu kayıtların özellikle çocuklarla yapılacak dinleme testlerinde kullanılmayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca kayıtlar sırasında konuşmacı yorulduğu için kayıt-

Tablo 4. Tam yansız odada yapılan 20 adet basit cümle kaydının içeriği**Kayıtları yapılan basit cümleler**

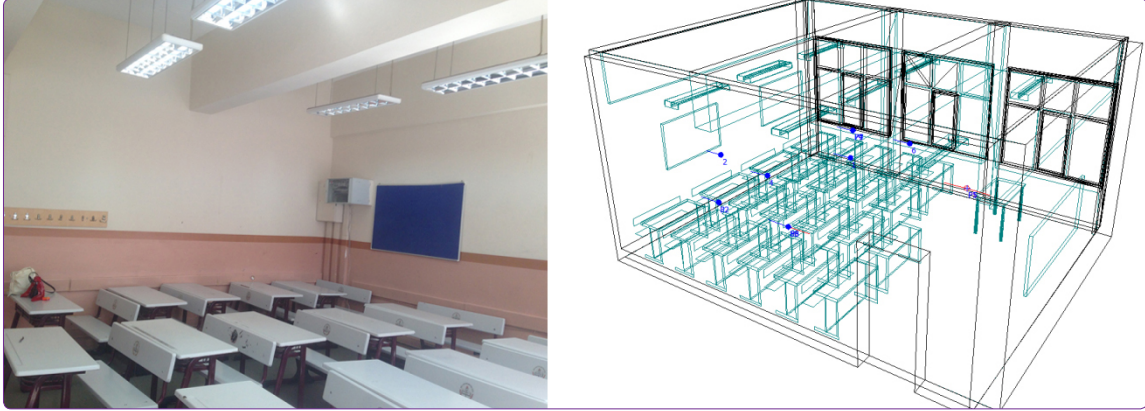
Çocuk atı seviyor.	Biz okula geldik.
Çocuk kediyeye süt veriyor.	Çocuklar derslerini bitirdiler.
Kız ip atıyor.	Öğrenciler bahçede oynuyorlar.
Adam kitap okuyor.	Kız ses çıkarmadı.
Çocuklar okula gidiyorlar.	Kadın ona doğru döndü
Annesi kızı öpüyor	Adam kıza şaşkın şaşkın baktı.
Çocuklar parkta oynuyorlar.	Oğlan öfkeyle uzaklaştı.
Adam resim yapıyor	Kızlar sofradan kalktılar.
Çocuk süt içiyor.	Çocuk hızla yürüdü
Kadın ütü yapıyor	Kardeşler ateşin etrafında oturdular

lar arasında tonlama ve nefes kullanımı farklıları da olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle kayıtlarda profesyonel bir ses sanatçısı kullanma fikri gelişmiş ancak odyologlar tarafından kayıtlar için profesyonel bir ses sanatçısı kullanmanın da kayıtlarda doğallığı bozacağı endişesi dile getirilmiştir. Bu nedenle kayıtlar profesyonel olmayan bir kadın ve erkek konuşmacı tarafından ilk kayıttaki problemler giderilecek şekilde 13 Nisan 2016 tarihinde tekrarlanmıştır. Ayrıca bir kadın ve bir erkek konuşmacı tarafından üç ya da dört kelimeden oluşan 20 adet basit cümle kayıtları da yapılmıştır. Bu basit cümlelerin kayıtları dinleme testlerinde arka plan sesi olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu basit cümlelerin içeriği Tablo 4’te gösterilmiştir.

Kayıtlar sırasında “cardoid” olarak kullanılan ve “multi-pattern” bir mikrofon olan AKG C414 Condenser mikrofon, Apogee Ensemble Ses kartı ve kayıt sırasında

**Şekil 1.** TÜBİTAK UME’de yansız odada yapılan kayıtlardan görüntü.

²⁷ Markides, 1987. ²⁸ Gelfald, 1975. ²⁹ Galdstone ve Siegenhaler, 1971.



Şekil 2. Sınıf içindeki malzeme ve mobilyaları gösteren fotoğraf (soldaki resim). Sınıfın üç boyutlu ODEON modeli (sağdaki resim).

Tablo 5. Her bir dersliğin akustik modelinde elde edilen reverberasyon süresi değerleri ve modellerde reverberasyon süreleri için temel alınan standart ya da kılavuzlar

	Reverberasyon Süresi, saniye	Temel alınan standart veya kılavuz
Model 1	0,8 saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	BB93, BGKKHY
Model 2	0,4 saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	BB93
Model 3	0,4 saniye (125 Hz - 4000 Hz)	BATOD

da oluşabilecek patlamaları engellemek için de pop-up filtre kullanılmıştır. Kayıtları seslendiren kişi mikrofonun yönselliğine uygun olarak mikrofona bakacak şekilde konumlandırılmış ve mikrofonla ağız arasındaki mesafe de 20 cm civarında tutulmuştur. Mono, 44,1 kHz örnekleme ve 16 bit niceleme çözünürlüğünde gerçekleştirilen kayıtlar Protools 10 yazılımı kullanılarak dijital ortama aktarılmıştır. Bu kayıtlar kadın ve erkek seslendirmen için olmak üzere iki kere yapılmış ve sonuçta 100 adet taşıyıcı cümle kaydı tamamlanmıştır. Şekil 1’de kayıtlar sırasında yansımaz odada bulunan kadın ve erkek konuşmacılar ve kayıtların gerçekleştirilmesinde kullanılan mikrofon ve ekipman gösterilmektedir.

Derslikler İçin Akustik Benzetim Çalışmaları

Derslik akustiği için yukarıdaki standart kılavuz ve dokümanlarda önerilmekte olan üç farklı reverberasyon süresi değeri değerlendirme kapsamına alınmış ve öznel testlerin geliştirilmesi amacıyla üç adet derslik için İstanbul’da gerçek bir derslik baz alınarak ODEON hacim akustiği yazılımında akustik benzetim çalışmaları yapılmıştır. Derslik modelleri aşağıda Tablo 5’te gösterildiği gibi üç farklı reverberasyon süresi için geliştirildi: 1) 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,8 saniye (normal öğrenciler için BB93 ve BGKKHY tarafından önerilen), 2) 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniye (işitme engelliler için BB93 ve ASHA tarafından önerilen) ve 3) 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniye (BATOD tarafından önerilen).

Fiziksel derslik modeli İstanbul’da Fatih Belediyesi içinde yer alan Cibali Ortaokulu’ndaki bir derslik temel alınarak gerçekleştirildi. Dersliğin rölevesi çıkarıldı, tüm malzemeleri incelendi ve not edildi. Derslik, 37 m2 zemin alanına ve 3,7 m yüksekliğe sahip dikdörtgen bir dersliktir. Duvarlar ve tavan boyalı, yer döşemesi linolyum ve pencereler de çift camdır. Derslik mobilyaları da verzalit masalar, verzalit sandalyeler ve beyaz tahtadan oluşmaktadır. Dersliğin üç boyutlu bir modeli, 3dMax yazılımı ile oluşturuldu ve daha sonra ODEON yazılımına aktarıldı. Modelde kaynaktan yayılan ışınların izlediği yollar kontrol edilmiş ve modelin sızdırmazlığı yüzeylerden oluşabilecek yansımalar takip edilerek onaylanmıştır. Varolan dersliğin resmi ve ODEON’daki modeli Şekil 2’de gösterilmektedir.

Yukarıda özellikleri tartışılan derslik baz alınarak üç farklı versiyonu için ODEON’da akustik benzetim yapıldı. Akustik modellerde dersliği çevreleyen yüzeylerin yutuculuk ve saçıcılık özellikleri ODEON yazılımı içinde bulunan malzeme listesinden seçilerek atandı. Ayrıca istenilen reverberasyon süresi değerlerini elde etmek için ODEON kütüphanesinde bulunmayan malzemeler de önerilmiş, bunların yutuculuk değerleri de programa aktarılmıştır. Geliştirilen akustik derslik modellerinde Tablo 5’te görüldüğü gibi üç farklı reverberasyon süresi değeri elde edilmiştir.

Tablo 5’te belirtilen reverberasyon süresi değerlerini elde etmek için üç akustik modelde de öncelikle Cibali’deki derslikte bulunan malzemeler kullanılmış ancak dersliklerin tavan ve arka duvarlarında yeni jenerik yutucu malzeme

Tablo 6. Derslik modellerinde kullanılan jenerik yutucu malzemelerin 125 Hz - 8000 Hz oktav bantlarında yutuculuk çarpanları ve derslikteki lokasyonları

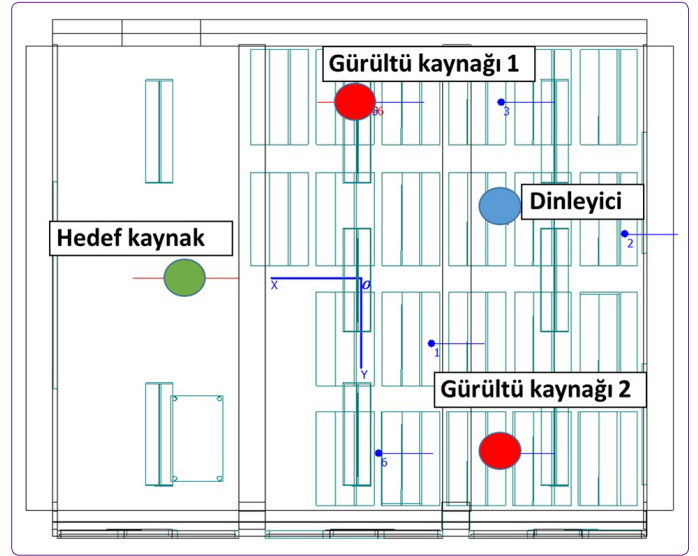
Malzeme	Model No.	Lokasyon	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
B sınıfı	Model 1	Tavan	0,2	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8
A sınıfı	Model 2	Tavan+	0,3	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
		Arka duvar							
125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarında yutucu A sınıfı	Model 3	Tavan	0,95	0,95	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8

meler önerilmiştir. Kullanılan bu jenerik yutucu malzemeler için ISO 11654 “Ses yutucuların yapılarda kullanımı: Ses yutma değerlendirilmesi”³⁰ uluslararası standardında bir malzemenin performansını tanımlamak için kullanılan ses yutucu sınıfı değerlendirmeleri baz alınmıştır. Materyallerin yutuculuk sınıfları bu standartta A (iyi) ile E (kötü) arasında sınıflandırılmaktadır. Bu standart baz alınarak Model 1’de mevcut boyalı tavan yüzeyinin yerine bütün tavan alanına bir B sınıfı akustik tavan yerleştirilerek 500Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,8 saniyelik bir reverberasyon süresi elde edilmiştir. Model 2’de A sınıfı bir akustik tavan tüm tavan alanına ve A sınıfı bir akustik duvar malzemesi bütün arka duvara yerleştirilerek 500Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniye reverberasyon süresi elde edilmiştir. Model 3’te ise tavanda “125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarında yutucu A sınıfı” olarak varsayımsal bir malzeme makalenin yazarları tarafından önerilmiş ve bütün tavan alanına uygulanarak derslikte 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniye reverberasyon süresi elde edilmiştir. Üç derslik modelindeki ISO 11654 standardında belirtilen A sınıfı, B sınıfı ve önerilen “125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarında yutucu A sınıfı” jenerik yeni yutucu malzemelerin yutuculuk çarpanları ve akustik modellerde uygulandıkları lokasyonlar Tablo 6’da gösterilmektedir.

İşitselleştirmeler ve Dinleme Testleri

Dinleme testleri için, her derslikte dinleyici, hedef kaynak ve iki gürültü kaynağından oluşan bir senaryo oluşturuldu. Her bir ses kaynağı ve dinleyicinin pozisyonu Şekil 3’te gösterilmektedir. Bu senaryoda, hedef kaynağın öğretmen, iki ek kaynağın da aynı anda konuşan öğrenciler (gürültü kaynağı) olması varsayılmıştır.

Klinisyenlere zaman kazandırması açısından konuşmayı ayırt etme testlerinde 50 kelimelik tam liste yerine 25 kelimelik liste kullanımı yaygındır.³¹ Ayrıca tam liste ve yarım liste kullanımı arasında önemli bir farklılık gözlenmediği de belirtilmiştir.³² Bu nedenle bu çalışmadaki işitselleştirmeler için de yarım liste kullanılmıştır. Tablo 1’de gösterilmiş



Şekil 3. Hedef kaynak, iki gürültü kaynağı ve sınıftaki dinleyicinin konumu.

olan Takım 1’deki tek heceli 25 kelimeyi içeren ve erkek konuşmacı tarafından seslendirilen taşıyıcı cümleler yukarıda açıklanan üç farklı reverberasyon süresine sahip akustik derslik modelinde iki farklı sinyal-gürültü oranı durumu için işitselleştirildi. ANSI’de normal işiten yetişkinler için iyi bir konuşma anlaşılabilirliği için minimum 0 dB sinyal-gürültü oranının gerekli olduğu belirtilmiştir. ASHA ve BATOD’ta ise işitme engelliler için tavsiye edilen gürültü-sinyal oranı 15-20 dB değerindedir. Çalışmalar 15-20 dB üzerindeki sinyal-gürültü oranları için konuşma anlaşılabilirliğinde anlamlı bir artış olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, her üç modelde, dinleyici noktasında 0 dB sinyal-gürültü oranı ve 15 dB sinyal-gürültü oranı için işitselleştirmeler geliştirildi. İşitselleştirmeler hedef kaynak ve gürültü olarak belirlenen iki kaynağın dinleyici noktasındaki darbe yanıtı ile yansısız odadaki kayıtların ODEON yazılımında evriştirilmesiyle elde edilmiştir. Dinleyici noktasındaki üç farklı işitselleştirme daha sonra birleştirilerek dinleme testlerinde kullanılan son işitselleştirmeler elde edilmiştir.

Bir erkek konuşmacı tarafından söylenen ve 25 adet tek heceli kelime içeren 25 taşıyıcı cümle yukarıda Şekil 3’teki senaryoda hedef kaynak olarak belirlenmiştir ve

³⁰ ISO 11654: Sound absorbers for use in buildings. Rating of sound absorption, 1997. ³¹ Elpern, 1961. ³² Thornton ve Raffin, 1978.

Tablo 7. ANSI 3.5 - 1997'de belirlenmiş konuşma spektrumunun ve konuşmacıdan 1 m uzaklıkta ses basınç düzeyi değerlerinin oktav bantlarına göre dağılımı ve buna bağlı olarak ODEON'da hesaplanmış ses gücü düzeyleri

Frekans, Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A-ağırlıklı Hz
Ses basınç düzeyi @1m, dB	57,2	59,8	53,5	48,8	43,8	38,6	59,5
Ses gücü düzeyi, dB	65,3	69,0	63,0	55,8	49,8	44,5	68,4

Tablo 8. Üç farklı reverberasyon süresi değeri ve iki sinyal-gürültü oranı değişikliğiyle hazırlanmış altı farklı dinleme testinin tanımlanması

	Reverberasyon süresi, saniye	Sinyal-gürültü, dB	Test No ve Açıklaması
Model 1	0,8 saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	0 dB	Test 1 (RT0,8 sinyal-gürültü =0)
Model 2	0,4 saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	0 dB	Test 2 (RT0,4 sinyal-gürültü =0)
Model 3	0,4 saniye (125 Hz - 4000 Hz)	0 dB	Test 3 (RT0,4L sinyal-gürültü =0)
Model 1	0,8 saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	15 dB	Test 4 (RT0,8 sinyal-gürültü =15)
Model 2	0,4 saniye (500 Hz - 2000 Hz ortalaması)	15 dB	Test 5 (RT0,4 sinyal-gürültü =15)
Model 3	0,4 saniye (125 Hz - 4000 Hz)	15 dB	Test 6 (RT0,4L sinyal-gürültü=15)

derslikte hocanın bulunduğu pozisyon ve anlaşılması gereken konuşma materyali olarak değerlendirilmiştir. Bu 25 taşıyıcı cümlelerin yansısız odadaki kayıtları dinleyici pozisyonunda farklı reverberasyon süresine sahip üç adet akustik modelde binoral (iki kulaklı) oda darbe yanıtları ile evriştirildi. Yansısız odada kadın konuşmacı tarafından kaydedilmiş olan 10 adet basit cümle “gürültü kaynağı 1” olarak belirlendi ve dinleyici pozisyonunda binoral olarak oda darbe yanıtları ile evriştirildi. Yansısız odada kaydedilmiş olan 10 adet basit cümle - bu sefer erkek sesiyle kaydedilmiş olanlar – “gürültü kaynağı 2” olarak belirlendi ve dinleyici pozisyonunda binoral olarak oda darbe yanıtları ile evriştirildi. Bu işitselleştirmeler hedef kaynağı anlamaya çalışırken arka planda gürültü kaynağı olarak kullanıldı.

İşitselleştirmelerde derslikte konuşmakta olan hoca hedef kaynak olarak belirlenmişti; konuşmacıyı temsil eden ses kaynağı için konuşma spektrumu ve ses basınç düzeylerinin oktav bantlara göre dağılımı Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü'nün (ANSI) 3.5 - 1997 sayılı “Konuşma İletim İndeksinin Hesaplanması için Yöntemler”³³ standardında normal yükseklikte konuşma düzeyi için belirlenen değerler olarak ele alınmıştır. Konuşma spektrumunun oktav bantlarına göre dağılımı ANSI 3.5 - 1997'de konuşmacıdan 1 m uzaklıkta ses basınç düzeyleri olarak belirlenmektedir. ODEON programında bu değerlere karşılık gelen ses gücü düzeyleri hesaplanmış ve işitselleştirmelerde bu değerler kullanılmıştır. Tablo 7'de normal konuşma spektrumunun ses basınç düzeylerinin oktav bantlarına göre dağılımı ve ODEON'da buna bağlı olarak hedef kaynak için hesaplanan ses gücü düzeyi değerleri gösterilmektedir.

0 dB ve 15 dB gürültü-sinyal oranlarını elde etmek için

farklı reverberasyon süresine sahip her bir modelde dinleyici noktasında hedef kaynak ve iki gürültü kaynağının toplam ses basınç düzeyleri kontrol edildi ve istenilen gürültü-sinyal değerleri elde edilene kadar gürültü kaynaklarının ses seviyeleri ile ilgili arttırma ya da azaltma yapıldı. Böylece, farklı reverberasyon süresine sahip her bir modelde gürültü kaynakları için dinleyici noktasında iki adet binoral (iki kulaklı) oda darbe yanıtı elde edilmiş ve bunlar 0 dB ve 15 dB gürültü-sinyal oranı oluşturacak şekilde yansısız kayıtlarla iki kere evriştirilmiştir. Ayrıca ODEON yazılımında hedef kaynak ve gürültü kaynakları için konuşmacı yönselliğine sahip bir yönsellik dosyası atanmıştır. Üç reverberasyon süresi değerine ve iki sinyal-gürültü oranına sahip olarak elde edilen altı farklı dinleme testi, Tablo 8'de özetlenmiştir. Tablo 8'de gösterilen test numaraları deneklerle yapılan dinleme testlerini kodlamak için kullanılmıştır.

Tablo 8'de gösterildiği gibi her bir dinleme testi için, 25 işitselleştirme hazırlandı. Her bir işitselleştirme, dinleyici konumunda yukarıda detaylıca açıklandığı gibi üç evriştirmenin birleştirilmesinden oluşmaktadır: birincisi, tek heceli kelimeyi (hedef konuşmacı) içeren taşıyıcı cümlelerin evriştirilmesidir, ikincisi, birinci basit cümlelerin (gürültü kaynağı 1) evriştirilmesidir ve üçüncüsü de ikinci basit cümlelerin (gürültü kaynağı 2) evriştirilmesidir. Her bir işitselleştirme üç farklı reverberasyon süresi ve iki farklı sinyal-gürültü oranı için yapılmış olup her dinleme testi başına 25 adet olmak üzere toplam 150 işitselleştirme yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Yetişkinlerle Yapılan Dinleme Testleri

Yetişkinlerle yapılan dinleme testi 19 - 47 yaşları arasında hepsi üniversite eğitim düzeyinde 15 kişiyle gerçekleştirildi. Katılımcıların çoğunluğu 22 - 24 yaşları arasında olup

³³ American National Standards Institute, 1997.

Tablo 9. Yetişkinlerle yapılan dinleme testlerinde konuşmayı ayırt etme yüzdeleri

Test No	Konuşmayı ayırt etme yüzdesi
Test 1 (RT0,8 sinyal-gürültü =0)	%62
Test 2 (RT0,4 sinyal-gürültü =0)	%73
Test 3 (RT0,4L sinyal-gürültü =0)	%75
Test 4 (RT0,8 sinyal-gürültü =15)	%95
Test 5 (RT0,4 sinyal-gürültü =15)	%100
Test 6 (RT0,4L sinyal-gürültü=15)	%100

sadece 3 denek 40 yaşın üzerindedir. Katılımcıların hiçbirinin farkında olduğu herhangi bir işitme sorunu bulunmamaktaydı. Her katılımcıyla iki dinleme testi yapıldı; bu testlerden biri 0 dB'lik bir sinyal-gürültü oranı diğeri de 15 dB'lik sinyal-gürültü oranı olan bir test olarak seçildi. Dinleme testleri katılımcılara bir dizüstü bilgisayardan ve JVC HA S600 model kulaklıkla dinletildi. Dinleme testlerindeki ses düzeyi rahat işilebilir olduğu düşünülen bir ses düzeyinin dizüstü bilgisayarda sabitlenmesi suretiyle gerçekleştirildi. Bütün dinleme testlerinde aynı ses düzeyi sabit tutuldu. Katılımcılardan hedef erkek konuşmacıyı dikkatle dinlemeleri ve konuşmacının söylediği tek heceli kelimeyi anlamaya çalışmaları istendi. Katılımcılara duydukları tek heceli kelimeleri yazmaları için bir kalem ve kâğıt verildi. Testlerin sonunda her katılımcının doğru ve yanlış cevapladığı kelime sayıldı ve doğru cevaplar % 4 ile çarpıldı. Ortaya çıkan rakam katılımcının konuşmayı ayırt etme oranıdır. Her bir katılımcının konuşmayı ayırt etme yüzdesi hesaplandıktan sonra her test için katılımcıların genel ortalaması hesaplanmıştır. Dinleme testlerinin normal işiten yetişkinler için sonuçları Tablo 9'da özetlenmiştir.

Çocuklarla Yapılan Dinleme Testleri

Dinleme testleri 12 - 16 yaşları arasında Cibali ortaokulundaki 48 öğrenci ile gerçekleştirildi. Öğrencilerin çoğunluğu 12 - 13 yaşları arasında olup sadece 3 çocuk 13 yaşın üzerindedir. Öğrenciler herhangi bir işitme sorunundan şikâyetçi olmadıklarını belirtmişlerdir. Her öğrenciyle iki dinleme testi yapıldı; bu testlerden biri 0 dB'lik bir sinyal-gürültü oranı diğeri de 15 dB'lik sinyal-gürültü oranı olan bir test olarak seçildi. Dinleme testlerinde yetişkinlerle yapılan testlerdeki aynı dizüstü bilgisayar ve kulaklık kullanıldı ve ses düzeyi aynı noktada sabitlendi. Çocuklara teste başlamadan önce etraflıca testle ilgili bilgi verildi. Hedef konuşmacıyı dikkatle dinlemeleri ve konuşmacının söylediği tek heceli kelimeyi anlamaya çalışmaları istendi. Öğrencilere duydukları tek heceli kelimeleri yazmaları için bir kalem ve kâğıt verildi. Her öğrenci tarafından yazılan tek heceli kelime kontrol edildi, doğru cevaplar % 4 ile çarpıldı ve her bir öğrencinin konuşmayı ayırt etme yüzdesi hesaplandı. Daha sonra her bir test için öğrencilerin genel or-

Tablo 10. Çocuklarla yapılan dinleme testlerinde konuşmayı ayırt etme yüzdeleri

Test No	Konuşmayı ayırt etme yüzdesi
Test 1 (RT0,8 sinyal-gürültü =0)	%48
Test 2 (RT0,4 sinyal-gürültü =0)	%55
Test 3 (RT0,4L sinyal-gürültü =0)	%64
Test 4 (RT0,8 sinyal-gürültü =15)	%76
Test 5 (RT0,4 sinyal-gürültü =15)	%89
Test 6 (RT0,4L sinyal-gürültü=15)	%87

Tablo 11. Konuşmayı ayırt etme oranı ile iletişimsel beceri arasındaki ilişki (Jerger ve Hayes, 1977)

Konuşmayı ayırt etme yüzdesi	İletişimsel beceri
%90-100	Normal ayırt etme yeteneği
%75-90	Hafif derecede güçlük
%60-75	Orta derecede güçlük
%50-60	İleri derecede güçlük
%50 ve altı	Çok az ayırt etme yeteneği, akıcı konuşmayı takip edememe

talaması alındı. Dinleme testlerinde çocukların konuşmayı ayırt etme oranları Tablo 10'da özetlenmiştir

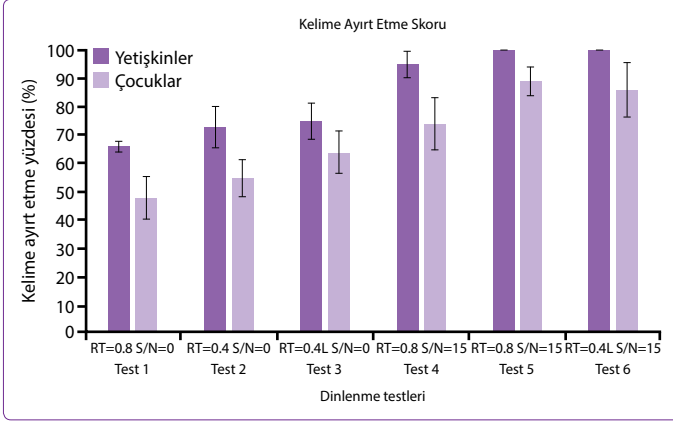
Bulguların Değerlendirilmesi

Odyolojide konuşmayı ayırt etme oranları, bireyin rahat işilebilir bir ses düzeyinde konuşmayı tanıma yeteneğini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Konuşmayı ayırt etme ve tanıma aynı zamanda kişinin sözel iletişim becerisinin öngörülmesini de sağlar. Jerger'in yaptığı sınıflandırma konuşmayı ayırt etme yüzdesi ile iletişimsel beceri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.³⁴ Yetişkinler ve çocukların dinleme testi sonuçları Tablo 11'de ifade edilen konuşmayı ayırt etme oranı ile iletişimsel beceri arasındaki ilişki de gözönünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Şekil 4'te tüm dinleme testlerindeki konuşmayı ayırt etme yüzdeleri, standart sapmaları, yetişkinler ve çocuklar için karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Şekil 4'te ayrıca konuşmayı ayırt etme oranları ile iletişim becerileri arasındaki ilişki de gözlemlenebilmektedir.

Sonuçlar 0 dB sinyal-gürültü oranı için reverberasyon süresi 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,8 saniyeden 0,4 saniyeye düştüğü zaman, konuşmayı ayırt etme yüzdesinin yetişkinlerde % 11, çocuklarda % 8 arttığını göstermektedir. Ancak 0 dB sinyal-gürültü oranı için reverberasyon süresi 125 Hz – 4000 Hz oktav bantla-

³⁴ Jerger ve Hayes, 1977.



Şekil 4. Yetişkinler ve çocuklar için dinleme testlerindeki konuşmayı ayırt etme skorları.

rının her birinde 0,4 saniye civarına düştüğü zaman yetişkinlerin konuşmayı ayırt etme performansında önemli bir değişim gözlemlenmemektedir. Çocuklarda ise 0 dB sinyal-gürültü durumunda reverberasyon süresi 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniyeden 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniye olduğu zaman konuşma ayırt etme performansında %9'luk bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum BATOD tarafından işitme engelli çocuklar için önerilen 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniye reverberasyon süresi değeri elde edilmesinin 0 dB sinyal-gürültü oranı için sadece işitme engelli çocuklarda değil normal işiten çocuklarda da konuşmayı ayırt etme performansının arttırıyor olabileceğini göstermektedir. Sinyal-gürültü oranının 15 dB olduğu durumda reverberasyon süresinin 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,8 saniyeden 0,4 saniyeye inmesinin yetişkinlerde konuşmayı ayırt etme oranına olan etkisi %5, çocuklarda ise %13'tür. Ancak 15 dB sinyal-gürültü oranı için 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniye reverberasyon süresi elde edildiği zaman yetişkinlerde de çocuklarda da konuşma anlaşılabilirliğinde önemli bir değişim görülmemektedir.

Konuşmayı ayırt etme oranları ile iletişim becerileri arasındaki ilişkiye bakıldığı zaman ise yetişkinlerde 0 dB sinyal-gürültü durumunda tüm dinleme testlerinde orta derecede güçlük çekilebileceği gözlemlenmekte ancak sinyal-gürültü oranı 15 dB'ye çıkınca normal ayırt etmenin yapılabildiği görülmüştür. Çocuklarda sinyal-gürültü oranının 0 dB olduğu durumda iletişim becerilerinin çok az ayırt etme, ileri derecede güçlük ve orta derecede güçlük seviyelerinde olduğu görülmektedir. Ancak çocuklarda 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak reverberasyon süresinin 0,8 saniyeden 0,4'ye düştüğü ve 125 Hz – 4000 Hz oktav bantlarının her birinde eşit ve düşük reverberasyon süresi elde edildiği durumlarda iletişim becerilerinin arttığı da gözlemlenmektedir. Çocuklar için 15 dB sinyal-gürültü oranı durumunda 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması

olarak 0,8 saniye reverberasyon süresi için iletişim becerileri orta derecede güçlük seviyesinde olurken reverberasyon süresinin 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniyeye düşmesiyle beraber hafif güçlük seviyesine çıkmaktadır. Ancak çocuklar en ideal durumda bile normal iletişim becerisi olarak tanımlanan % 90 konuşmayı ayırt etme oranının altında kalmıştır. Bu da BB93 ve BGKKHY tarafından derslikler için 500 Hz – 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak tavsiye edilen reverberasyon süresi değeri olan 0,8 saniyenin elde edildiği bir derslikte 15 dB sinyal-gürültü oranı sağlansa bile iletişim becerilerinin normal seviyesine çıkamadığını göstermektedir.

Sonuç

Bu makalede, derslikler için dünyada ve Türkiye'deki bazı akustik standart ve kılavuz dokümanlarda önerilen farklı reverberasyon ve sinyal-gürültü oranı koşulları altında konuşmanın anlaşılabilirliğini değerlendirmek için fonetik dengeli ve tek heceli olarak yapılandırılmış Türkçe kelimelerin işitselleştirmelerinden geliştirilen dinleme testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Farklı reverberasyon süresi ve sinyal-gürültü oranlarına sahip üç derslik modelinde işitselleştirmelerden geliştirilen dinleme testleri, normal işitme yeteneğine sahip yetişkinlerle ve öğrencilerle yapılmıştır.

Konuşmayı ayırt etme oranlarının ortaya koyduğu bulgularla ilgili önemli değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Çocukların genel olarak tüm durumlarda konuşmayı ayırt etme performansları yetişkinlerden daha düşüktür.
- Çocuklar en ideal durumda bile normal iletişim becerisi olarak tanımlanan % 90 konuşmayı ayırt etme oranının altında kalmıştır ve iletişim becerileri de hafif güçlük seviyesinde olarak belirlenmiştir. Bu da BB93ve BGKKHY tarafından derslikler için 500 Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak tavsiye edilen reverberasyon süresi değeri olan 0,8 saniyenin elde edildiği bir derslikte 15 dB sinyal-gürültü oranı sağlansa bile iletişim becerilerinin normal seviyesine çıkamadığını göstermektedir.
- Yetişkinlerde de çocuklarda da 0 dB sinyal-gürültü durumundaki fark daha fazla olmakla beraber her iki sinyal-gürültü durumunda da 500 Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak reverberasyon süresi 0,8 saniyeden 0,4 saniyeye indiğinde konuşmayı ayırt etme oranlarında anlamlı bir artış olmaktadır.
- Çocuklarda 0 dB sinyal-gürültü için 500 Hz - 2000 Hz oktav bantlarının ortalaması olarak 0,4 saniye reverberasyon süresi durumuna göre 125 Hz - 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniyelik reverberasyon süresi sağlandığı durumda performanslarının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum

BATOD'un işitme engelli çocuklar için önermiş olduğu 125 Hz - 4000 Hz oktav bantlarının her birinde 0,4 saniyelik reverberasyon süresi değerinin tüm çocuklar için azalan sinyal gürültü oranı durumlarında faydalı olabileceğini göstermektedir. Bu durum yetişkinlerde de gözlemlenmemiştir.

Bu yapılan çalışmada yetişkinlerle yapılan testlerde 15, çocuklarla yapılan testlerde 48 denek yer almıştır. İstatistiksel olarak daha destekleyici sonuçlar elde edebilmek için gelecekte katılımcı sayısını çoğaltarak dinleme testlerini yinelemek ve daha sonra testleri işitme engelli öğrencileri de kapsayacak şekilde genişletmek hedeflenmektedir. Ayrıca ileride yapılacak değerlendirmelerde en çok hata yapılan fonemlerin yerlerinin belirlenmesi de hedeflenmektedir. Böylece reverberasyon süresinin frekans aralığındaki dağılımının hangi fonemlerin duyulmasında problem yaratabileceği ve bunların işitme kaybının tipiyle olan ilişkisi incelenebilir.

Türkiye'de kaynaştırma okulları yoluyla gittikçe daha çok sayıda işitme engelli ve özel öğrenim gereksinimli öğrencinin eğitime katıldığı ve bina ve yapı akustiği ile ilgili standart, yönetmelik ve kılavuz doküman çalışmalarının hız kazandığı bir ortamda tüm öğrenciler ve öğretmenler için konuşmanın anlaşılabilirliğinin iyi bir standarda gelmesi için tasarımcı ve akustik danışmanlara yardımcı olacak bir yöntem ve veriler sunulmuştur. Bu yöntem ve verilerin ileride öğrencilerin dersliklerdeki akademik performansını arttıracak tasarımların geliştirilmesine yardımcı olması da hedeflenmektedir.

Notlar

Bu makalenin içeriğinin bir kısmı daha önce 14-15 Eylül 2017 tarihlerinde 12. Ulusal Akustik Kongresi'nde "Sınıf akustiğinde fonetik dengeli tek heceli kelime listelerinin işitselleştirilmesi" ve 13-15 Haziran 2016 tarihlerinde Porto'da düzenlenen Euroregio 2016 9th Iberian Acoustic Congress'te "Auralizations of monosyllabic word lists for hearing impaired students - a preliminary study" başlıklı bildiride sunulmuştur.

Bu makalenin yazarları, Prof. Dr. Ferda Akdaş'a yansımaz odadaki kayıtlar ve kaydedilen materyalin değerlendirilmesi sırasında yaptığı rehberlik, Yalın Özgencil'e yansımaz kayıtlardaki yardımı, Yard. Doç. Dr. Yahya Burak Tamer'e yansımaz kayıtlar için sağladığı ekipmanlar ve TÜBİTAK'taki meslektaşlarımızdan Cafer Kırbaş ve Eyüp Bilgiç'e proje sırasında verdikleri teknik destek için teşekkür etmeyi borç bilmektedirler.

Finansman

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2232 Yurda Dönüş Araştırma Destek Programı çerçevesinde desteklenmiştir. (Hibe numarası: 21.514.107-232,01 - 230370. İşitme Engelliler için Sınıf Akustiğinin Geliştirilmesi). Proje Gebze'deki TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü ile beraber yürütülmüştür.

Kaynaklar

- Akşit, M. (1994) "Konuşmayı ayırt etme testi için izofonik tek heceli kelime listelerinin oluşturulması", Basılmamış Bilim Uzmanlığı Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- American National Standards Institute. (1997) "American National Standard 3.5-1997, Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index".
- American National Standards Institute. (2010) "Standard S12.60-2010, Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools".
- American Speech-Language-Hearing Association. (1995) "Acoustics in educational settings", ASHA Supplement 14.
- Barcham, L., ve Stephens, S. (1980) "The use of an open-ended problem questionnaire in auditory rehabilitation", British Journal of Audiology, Sayı 14, s. 49-54.
- Bradley, J.S. (1986) "Predictors of speech intelligibility in rooms", Journal of the Acoustical Society of America, Sayı 80, s. 837-845.
- Bradley, J.S., Reich, R.D. ve Norcross, S.G. (1999) "On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility", Journal of the Acoustical Society of America, Sayı106, s.1820-1829.
- Bradley, J. S. ve Sato, H. (2008) "The intelligibility of speech in elementary school classrooms", Journal of Acoustical Society of America, Sayı 123(10), s. 2078-2086
- British Association of Teachers of the Deaf. (2001) "Classroom acoustics - recommended standards", BATOD Magazine.
- Cevanşir, B. (1965), "Konuşma odimetri kelime ve sayı testleri", Basılmamış Doçentlik tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Çevre ve Orman Bakanlığı. (2010) Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği no: 2002/49/EC.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (31 Mayıs 2017) "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik".
- Department for Education and Skills (2015), "Building Bulletin 93 Acoustic Design of Schools", www.teachernet.gov/acoustics.
- Egan, J. (1948) "Articulation testing methods", Laryngoscope, Sayı 58, s. 955-991.
- Elpern, B. S. (1961) "The relative stability of half-list and full-list discrimination tests", The Laryngoscope, Sayı 71(1), s. 30-36.
- Evans, G.W. ve Lepore, S.J. (1993) "Nonauditory effects of noise on children: a critical review. Children's Environments", Sayı 10(1), s. 31-51.
- Finitzo-Hieber, T. ve Tillman, T. W (1978) "Room acoustics effects on monosyllabic word discrimination ability", Journal of Speech and Hearing Research. Sayı 21(3), s. 440-58.
- Galdstone, V. S., ve Siegenthaler, B. M. (1971) "Carrier phrase and speech intelligibility test score", Journal of Auditory Research. Sayı 11, s.101-103.
- Gelfand, S. A. (1975). "Use of the carrier phrase in live voice speech discrimination testing", Journal of Auditory Research. Sayı 15(2), s. 107-110.
- Han, D., Wang, S., Zhang, H., Chen, J., Jiang, W., Mannell, R. ve Zhang, L. (2009). "Development of Mandarin monosyllabic speech test materials in China", International Journal Of Audiology, Sayı 48(5), s. 300-311.
- Hodgson, M. (2002) "Rating, ranking, and understanding acoustical quality in university classrooms", Journal of the Acoustical Society of America, Sayı 112(2), s. 568-575.
- Institute for Environment and Health (1997) "The Non-Auditory

- Effects of Noise”, Report R10. [Http://www.le.ac.uk/ieh/pdf/exsumr10.pdf](http://www.le.ac.uk/ieh/pdf/exsumr10.pdf)
- ISO 11654. (1997) “Sound absorbers for use in buildings. Rating of sound absorption”.
- Jerger, J., ve Hayes, D. (1977) “Diagnostic Speech Audiometry”, *Archives of Otolaryngology*, Sayı 103(4), s. 216-222.
- Johnson, C.E. (2000) “Children’s phoneme identification in reverberation and noise”, *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, Sayı 43, s. 144-157.
- Kılınçarslan, A.S. (1972) “Türk dili için geliştirilmiş fonetik dengeli tek heceli kelime listelerinin standardizasyonu”, Basılmamış bilim uzmanlığı tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- Markides A. (1987) “A speech tests of hearing for children”, Ed.: M. Martin (editör) *Speech Audiometry*, London, NY, Philadelphia: Taylor and Francis, s. 89-111.
- Moore, B. (2003) *An introduction to the psychology of hearing* (5th ed.), USA: Elsevier Science.
- Mungan, S. (2010) “Yetişkinler için Türkçe tek heceli konuşmayı tanıma testinin geliştirilmesi”, Basılmamış yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Picard, M. ve Bradley, J.S. (2001) “Revisiting speech interference in classrooms, *Audiology*”, Sayı 40, s. 221-224.
- Thornton A., ve Raffin M. (1978) “Speech discrimination scores modeled as a binomial variable”, *Journal of Speech and Hearing Research*, Sayı 21, s. 507-518.
- Werner, L. ve Boike, K. (2001) “Infants’ sensitivity to broadband noise”, *Journal of the Acoustical Society of America*, Sayı 109(5), s.2103-2111.
- World Health Organisation. (1999) “Guidelines for Community Noise”.