

9.Ulusal Akustik Kongresi
ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara
26-27 Mayıs 2011

**DOĞRAMACIZADE ALİ PAŞA CAMİİ’NİN AKUSTİK ÖLÇÜMLERLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Erinç ODABAŞ¹, Zühre SÜ GÜL², Prof. Dr. Mehmet ÇALIŞKAN³

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara; MEZZO Stüdyo Ltd., Ankara
Tel: 312 210 18 25, e-posta: erodabas@gmail.com

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara; MEZZO Stüdyo Ltd., Ankara
Tel: 312 210 18 25, e-posta: zuhre@mezzostudio.com.tr

³ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
Tel: 312 210 25 72 e-posta: caliskan@metu.edu.tr

ÖZET

Dini mekanların akustik tasarımları bu mekanlarda gerçekleştirilen faaliyetler göz önünde bulundurulduğu zaman oldukça önem taşımaktadır. Camilerin akustik performansları tasarım aşamasında ele alınmaktadır. Bu çalışma Türkiye’nin ilk teknolojik camii Doğramacızade Ali Paşa Camii’nin akustik tasarımını ve yapının kullanıma açılması ile gerçekleştirilen akustik ölçüm ve değerlendirmeleri kapsamaktadır. Bildiride Camii içinde ölçülen A-ağırlıklı ses düzeyleri (SPLA), berraklık (C80), erken sönümleme süresi (EDT), sesin anlaşılabilirliği indisi (STI) ve çınlama süresi (T60) değerlerinin dağılımı sunulmuş ve sonuçlar tartışılmıştır. Elde edilen yerinde ölçüm sonuçları tasarım aşamasında ODEON yazılımı ile benzetimi yapılan akustik parametreler ile karşılaştırılarak işlevsel açıdan değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cami akustiği; akustik tasarım; akustik ölçüm; akustik benzetim

**ACOUSTICAL DESIGN OF DOĞRAMACIZADE ALİ SAMİ PAŞA
MOSQUE AND ASSESSMENT OF ACOUSTICAL CHARACTERISTICS
BY REAL SIZE MEASUREMENTS**

Acoustical design of religious places is essential considering speech and music related activities taking place in such spaces as sermons and rituals. Acoustical performances of mosques should be practiced as early as in the concept design stage. This paper presents the acoustical design issues of the first technological mosque in Turkey namely Doğramacızade Ali Sami Mosque. Real size acoustical measurements are taken after the inauguration of the mosque for assessing acoustical parameters including A-Weighted Sound Levels (SPLA), Clarity (C80), Early Decay Time (EDT), Speech Transmission Index (STI) and Reverberation Time (T60). For justification the results of real size measurements are compared with the values obtained from simulations in the acoustical design phase of the mosque using ODEON Room Acoustics software.

Keywords: *Mosque acoustics; acoustical design; acoustical measurements; acoustical simulation*

1. GİRİŞ

İslam dünyasının ibadet yapıları olan camiler içerisinde gerçekleştirilen çeşitli etkinlikler farklı akustik gereksinimleri doğurur. Pek çok diğer dini yapıda olduğu gibi kimi zaman sessizlik ve bireysellik kimi zaman ise birlik ve bütünlük hissini yaratmak amacı ile iç mekan akustiği kullanılan en önemli araçlardan biridir. Ülkemizde cami akustiği üzerine yapılan çalışmalar arasında Sinan camilerini konu alan CAHRISMA projesi, Sinan camileri üzerine tez çalışmaları [1] yanı sıra Kocatepe Camii gibi günümüz cami örneklerinin akustik değerlendirmeleri [2] sıralanabilir. Bu çalışmada ise cami mimarisinin en yeni örneklerinden olan Doğramacızade Ali Camii'nin akustik tasarımı ile ilgili yerinde ölçüm ve değerlendirmeler sunulmaktadır.

Doğramacı Vakfı tarafından yaptırılan, farklı din ve inanışlara saygı uyarınca Hristiyan ve Yahudilerin de ibadetlerine uygun olacak şekilde Yüksek Mimar Erkut Şahinbaş tarafından tasarlanmış olan Camii Osmanlı camilerinin külliye mantığı temel alınarak sergi, konser ve konferans gibi etkinliklerin düzenlenebileceği bir kompleks olarak biçimlendirilmiştir. Ankara Bilkent'te 2008 yılında ibadete açılan bu camide aydınlatma, ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemleri tamamen otomasyon sistemi ile kontrol edilmektedir. Kurgulanacak programa göre ısıtma yada soğutma sistemi ile havalandırmayla ilgili sistemler ibadet vaktinden önce devreye girecek biçimde programlama imkanı vermektedirler.

Yapı yalınlaştırılmış Osmanlı Camii plan çizgisinin, brüt beton ve travertenin uyumlu birleşimi ile yatay düzlemde yayılan sade bir kompozisyona sahiptir. Dışarıdan bakıldığında dış etkilere karşı belli kütleler ile kapalı ve sır vermez gözüktense de, düzeydeki yırtıklar ve kopmalar ile gün ışığını hacmin içine kontrollüce alarak insanları içeri yönlendirmektedir. Işığın insanları yönlendirme gücü, merkezi vurgulama amaçlı kullanarak ibadethaneye davet edip aynı zamanda yapının mimarisini de tanımlamak aydınlatma konseptinin çıkış noktası olmaktadır. Bunun için cephede, bakım ve işletim giderleri düşük, enerji tasarrufuna uygun, uzun süre yanabilecek ancak gerektiğinde kolay müdahale edilebilecek tipte doğrusal LED'li ve flüoresanlı armatürler kullanılmıştır. Cephenin tümünde 2800K sıcak renkli ışık kaynakları kullanılarak samimiyet, içsel huzur ve amacına uygun temsil ettiği değerleri güçlendirmesi amaçlanmıştır. Burada mimaride cephe kaplamasındaki taşın rengi ve dokusunun ışıkla iyi uyumu da istenilen etkinin yakalanmasında etkili olmuştur. Ana girişten iç mekana yönelirken içeri girildiğinde tavandan süzülerek gelen doğrusal ışık orta avludaki çatı aydınlatmasıyla birbirini tamamlamaktadır. Orta avludan ana ibadet mahalline geçilen kapıdan içeri girildiği anda mekanın derinliğini bozmamak için sade gömme armatür ve avizeler kullanılmıştır.

Geleneksel kubbe anlayışı burada yerini, vitray bir kubbeye bırakmaktadır (Şekil 1). Gündüz güneşin hareketi ile mekanın içine farklı renklerin yansımaları etkileyici bir ibadet atmosferi yaratmaktadır. Çelik yapı ile dıştan direk gelen güneşi kesen ve kontrollü olarak ışığı içeri alan kubbe, hava karardığında dışarıdan mavinin farklı tonları ile bir odak noktası olmaktadır. İçeride ise ibadet edenlere farklı açılardan eşsiz bir gök kubbe görüntüsü vermektedir.



Şekil 1. Doğramacızade Ali Sami Paşa Camii dış ve iç görünüşleri

Akustik tasarımı göz önünde bulundurulduğunda ibadet alanı içerisinde gerek çınlama süreleri gerek diğer akustik parametreler açısından, işitsel algı ve konuşmanın anlaşılabilirliğini sağlamak için mekanın hacmini de göz önünde bulundurarak yüzeylerde farklı malzemeler uygulanmıştır. Duvarların önemli bir kısmında perfore ahşap yüzeyler, yerde halı, tavanda ise kubbe hariç kalan kısımlarda yine perfore ahşap kullanılmıştır. Cam kubbenin tasarımda önemi büyüktür. İç bükey yüzeyler sesi tek bir odak noktasına toplayarak mekan içerisinde eşit olmayan ses dağılımı yarattığı için kubbenin odak noktasının cemaatin bulunduğu alandan uzak bir noktaya konumlandırılmış olması önemlidir. Bu şekilde kubbeden doğabilecek olan olumsuz etkiler giderilmiştir.

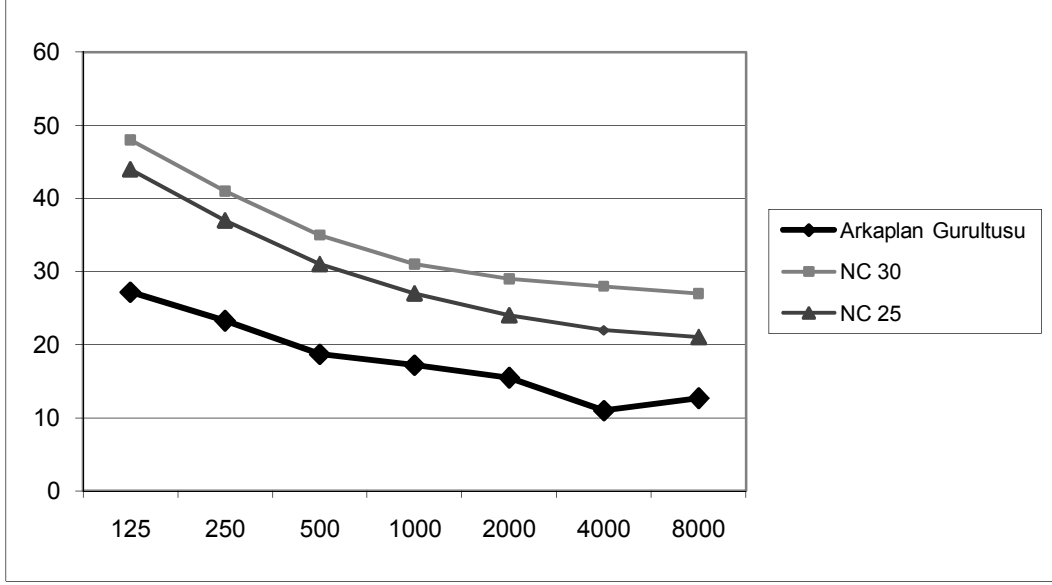
2. DOĞRAMACIZADE ALİ SAMİ PAŞA CAMİİ’NİN AKUSTİK PARAMETRELER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mekan içerisinde özellikle konuşmanın anlaşılabilirliği içerideki arka plan gürültüsü ile doğrudan ilgilidir. Arka plan gürültüsü ise uygun havalandırma sistemi seçimi yanısıra trafik gibi çevresel gürültüleri en aza indireyecek dış kütle tasarımı ve ses yalıtım detaylarının uygulanması ile minimumda tutulabilir. Camii içerisindeki konuşmanın anlaşılabilirliği için STI (sesin anlaşılabilirliği indisi) ve diğer tüm aktivitelerin işitsel algılanmasını değerlendirebilmek üzere çınlama süresi (T60), erken sönümlenme süresi (EDT), berraklık (C80) ve A-ağırlıklı ses düzeyi (SPLA) değerlerinin incelenmesi gerekmektedir.

Doğramacızade Ali Paşa Camii’nin akustik ölçümleri ISO 3382-2:2008 [3] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan akustik ölçümler Camii’nin zemin kat ana ibadet alanında, mekan boş haldeyken gerçekleştirilmiştir. Ana kubbe altı hacmi içerisinde 1 adet ses kaynağı (S1) konumu için toplam 26 adet mikrofona/alıcı noktası (R1 – R26) değerlendirilmiştir. Her ölçüm noktası birbirinden 4.5m uzaklıktadır.

a. Arka plan Gürültüsü

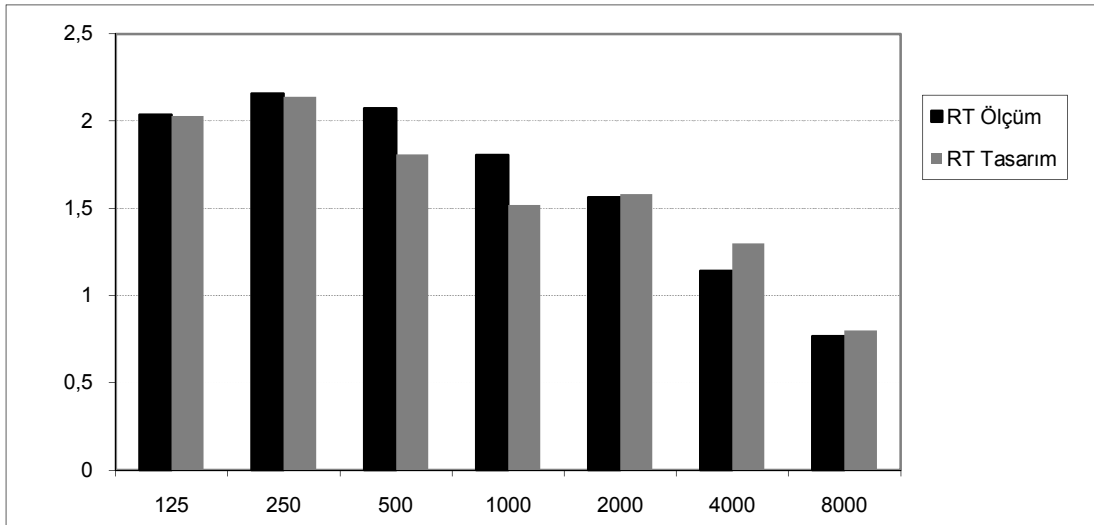
Camii, kilise gibi ibadet mekanlarında öneri arka plan gürültü düzeyleri NC 25 – NC 30 olarak belirtilmiştir [4]. Bu sebeple mekan içinde arka plan gürültü düzeylerinin her oktav bandında NC 25 eğrisinde belirtilmiş olan değerlerin altında kalması gerekmektedir. Camii arka plan gürültü düzeyleri ölçülmüş ve elde edilen değerler NC 25 eğrisi ile beraber oktav bantlarında ve toplam gürültü düzeyi olarak Şekil 2’de gösterilmiştir.



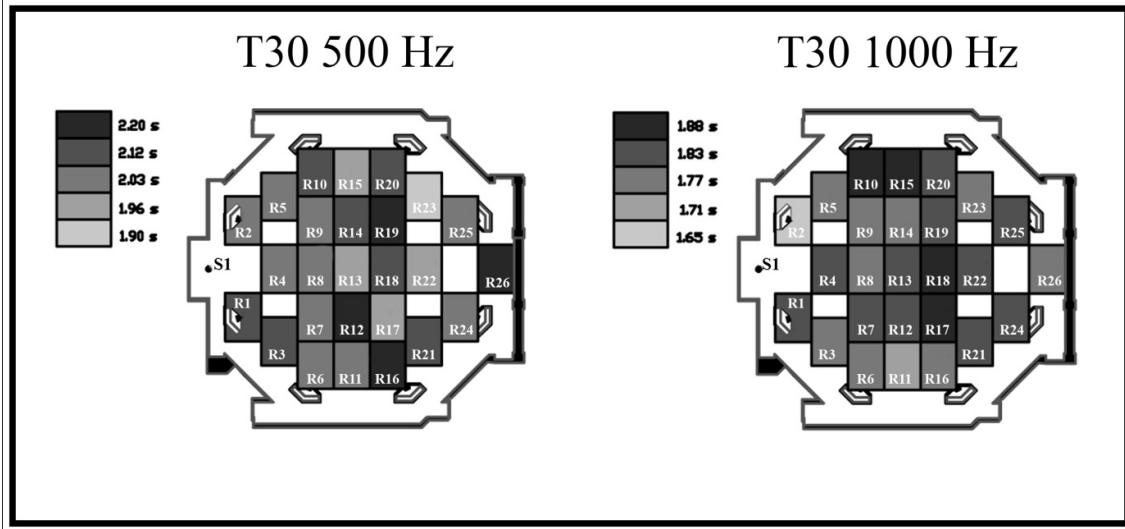
Şekil 2. Arkaplan gürültüsü ve NC 25, NC 30 eğrileri

b. Çınlama Süresi (T_{60})

Çınlama süresi (T_{60}) bir ses kaynağının kapatıldığı andan itibaren mekan içerisindeki ses düzeyinin 60dB düşene kadar geçirdiği süreyi ifade eder. Çınlama süresi oda akustiği uygulamalarında hesaplanması gereken parametrelerin başında gelir. Bir salonun çınlama süresi, salonu dolduran ses enerjisinin sönümlenmesi ile ilgilidir ve mekanda gerçekleştirilecek aktiviteye göre farklı değerleri gerektirir. Sönümlenme eğrisinden hesaplanan çınlama sürelerinin güvenilirliği için T30 veya T20 parametrelerine bakılmaktadır. Bu parametreler ses seviyesinin sırasıyla 30dB ve 20dB düşmesi için geçen süreyi ifade eder. Doğramacızade Ali Paşa Camii'nde gerçekleştirilen ölçümlerde çınlama süresi, ölçülen T30 değerlerinin iki katı olarak hesaplanmıştır. Yerinde ölçümler ile tasarım aşamasında bilgisayar benzetiminden elde edilen çınlama sürelerinin frekansa göre dağılımları karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te verilmiştir. Yerinde ölçüm sonuçlarının 500Hz ve 1000Hz için her alıcı noktasını ifade eden dağılım haritaları Şekil 4'te sunulmaktadır.



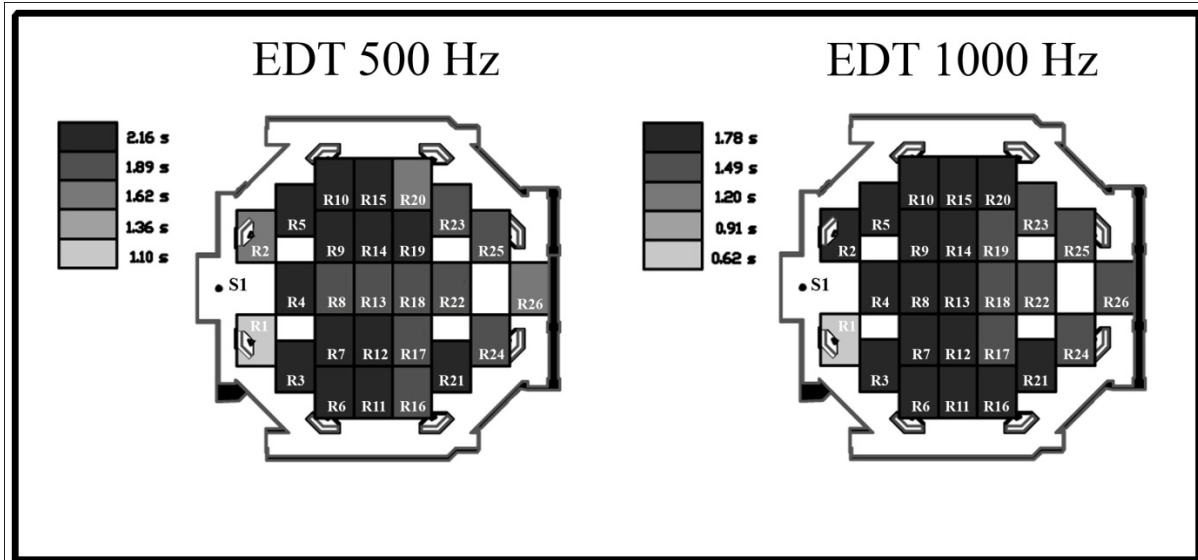
Şekil 3. Çınlama sürelerinin frekansa göre dağılımı, yerinde ölçüm ve benzetim sonuçları



Şekil 4. İbadet alanı içerisinde 500Hz ve 1000Hz’de çınlama süresi (T60) dağılım haritaları

c. Erken Sönümleme Süresi (EDT)

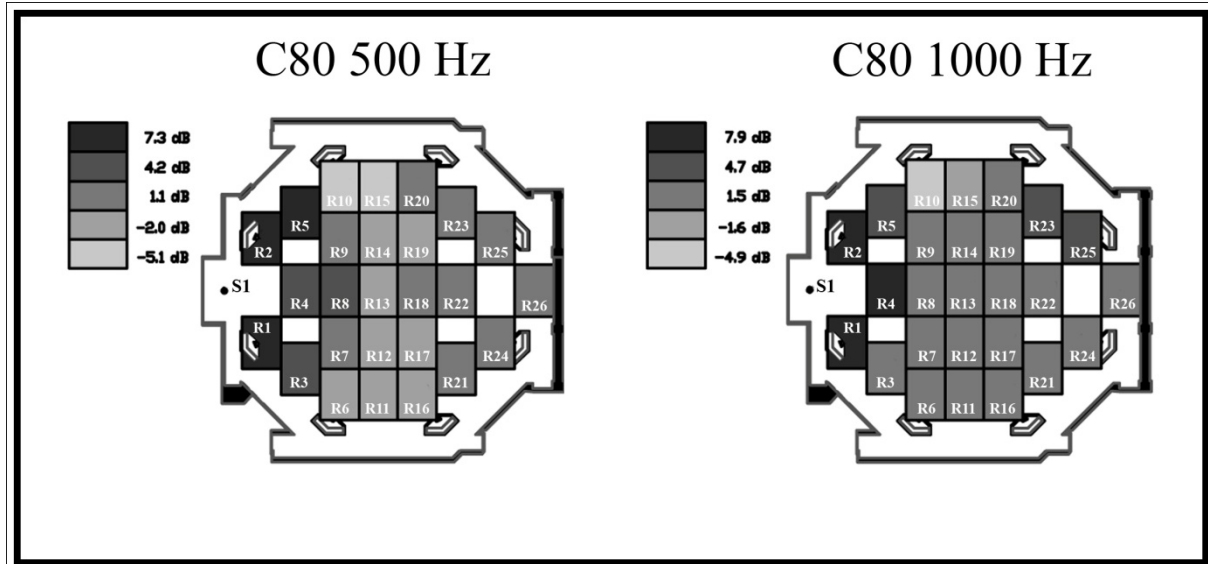
Erken sönümleme süresi (EDT) çınlama süresinin öznel olarak algılanmasında rol oynamaktadır. Mekan içerisinde işitsel algılamının kalitesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Erken sönümleme süresi ses kaynağı kapatıldıktan itibaren mekan içerisindeki ses enerjisinin 10dB düşmesi için gereken sürenin altı katı uzunluğundaki süreyi ifade eder. Geçen bu süre çınlama süresi gibi salonu dolduran ses enerjisinin sönümlemesi ile ilgili olup ilk 10dB ses düzeyi azalması ile hesaplandığı için salonun doluluğundan çınlama süresi kadar fazla etkilenmez. Erken sönümleme süresi iyi bir salon akustığı için çınlama süresinin $\pm 10\%$ sınırları içerisinde olmalıdır. Doğramacızade Ali Paşa Camii’nde gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre erken sönümleme süresi dağılım haritaları 500Hz ve 1000Hz için Şekil 5’te sunulmaktadır.



Şekil 5. İbadet alanı içerisinde 500 Hz ve 1000Hz’de erken sönümleme süresi (EDT) dağılım haritaları

d. Berraklık (C80)

Berraklık (C80), teknik olarak alıcıya gelen erken ses enerjisinin (ilk 80ms içerisinde gelen direk ses düzeyinin) geç gelen ses enerjisine (80ms sonrasında gelen yankılanan ses düzeyine) oranıdır. Müzikal bir aktivitede detayların anlaşılabilirliği için berraklık (C80) değerinin belli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Bu sınırlar koro ve dinsel ayinler için -1 ve +3 dB aralığıdır. Ölçüm sonuçları 500Hz ve 1000Hz’de berraklık haritaları olarak Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. İbadet alanı içerisinde 500Hz ve 1000Hz’de berraklık (C80) dağılım haritaları

e. Konuşma İletim İndisi (STI)

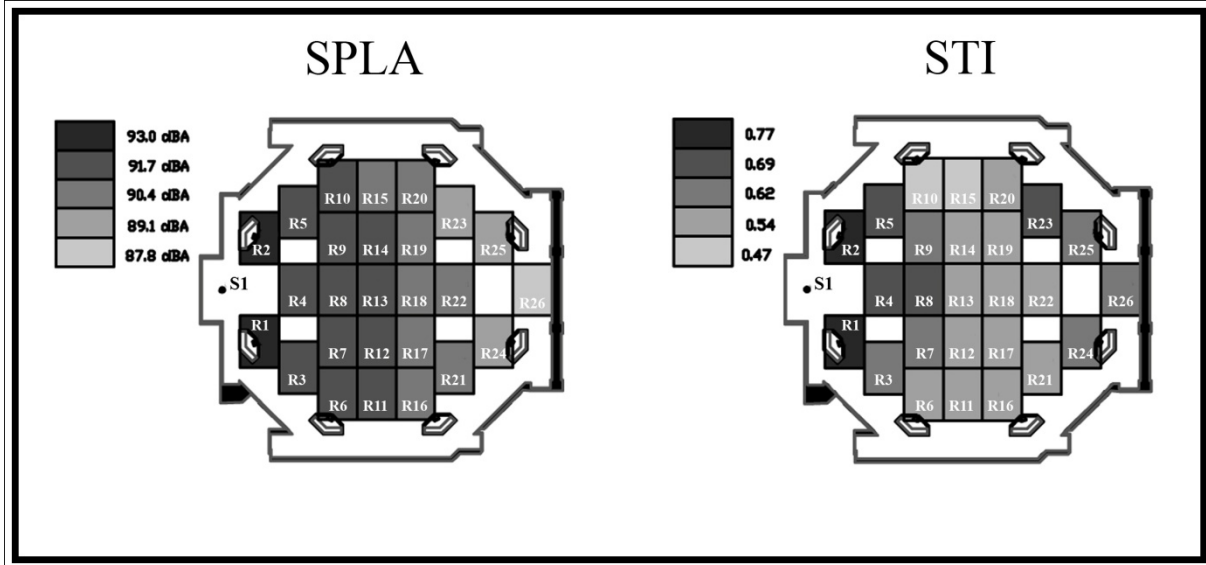
Konuşma iletim indisi (STI) konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgilidir. Konuşmanın iyi bir şekilde anlaşılabilirliği için konuşma kalitesinde etkili olan frekans bantlarında ses sinyalinin korunması, arka plan gürültüsünden ve uzun çınlama süresine sahip olan mekanlarda yankılanan ses enerjisinden etkilenmemesi gerekmektedir. Sesin anlaşılabilirliği indisine karşılık gelen niteleme tanımları ölçeği Tablo 1’de verilmektedir. Doğramacızade Ali Paşa Camii’nin ibadet alanında yapılan sesin anlaşılabilirliği indisi ölçüm sonuçları Şekil 7’de verilmiştir.

Tablo 1. Sesin anlaşılabilirlik indisine (STI) karşılık gelen kalite değerleri

Niteleme Tanımı	STI değeri
Kötü	0 – 0.32
Zayıf	0.32 – 0.45
Orta	0.45 – 0.60
İyi	0.60 – 0.75
Mükemmel	0.75 – 1.0

f. A-Ağırlıklı Toplam Ses Düzeyi (SPLA)

Hacim içerisinde değişik noktalarda ölçülen ses düzeyleri arasındaki ilişki konuşmanın anlaşılabilirliği ve yapılan ayinsel etkinliklerin kalitesi açısından önemli olmaktadır. 26 tane alıcı noktasında alınan A-ağırlıklı ses düzeylerine bakıldığında en yüksek ses düzeyi R1 alıcı noktasında 92.3dBA, en düşük ses düzeyi ise R26 alıcı noktasında 87.4dBA olarak ölçülmüştür. Ses düzeyleri arasındaki 5dB'den az fark ibadet alanı içerisindeki ses enerjisi dağılımının çok fazla değişiklik göstermediğine dair önemli bir ipucudur. Doğramacıade Ali Paşa Camii içerisinde yapılan ölçümler sonucunda ortaya çıkan A-ağırlıklı ses düzeyi dağılımı haritası Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. İbadet alanı içerisinde A-ağırlıklı ses düzeyi dağılımı (SPLA) ve sesin anlaşılabilirliği indisi dağılımı (STI) haritaları

3. DEĞERLENDİRMELER

Doğramacıade Ali Paşa Camii'nin akustik özellikleri ölçümlerle belirlenmiştir. İbadet alanı içerisinde düşük frekanslardaki çınlama sürelerinin orta frekanslardaki çınlama süresine oranı olarak ifade edilen bas oranının 1.3-1.4 seviyesinde olması istenilen ayinsel etkiyi yaratması bakımından önemlidir. İşitsel algının yanısıra konuşma etkinliklerinin anlaşılabilir olması için gerekli olan STI değerlerinin tek ses kaynağının kullanıldığı boş camii içinde mükemmel'den ortaya doğru değişen bir yelpazede olduğu gözlenmektedir. Camii hacminin büyük olması, çınlama sürelerinin yüksek olması konuşmanın anlaşılabilirliği üzerinde ters bir etki yaratmaktadır.

Akustik parametrelerden ibadet alanı boş iken ölçülen çınlama süreleri tasarım aşamasında elde edilen benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır [5]. Çınlama süreleri 500Hz ve 1000Hz'de tasarım sürecinde sırasıyla 1,81s ve 1,52s olarak belirlenmiş iken yapılan ölçümler sonucunda sırasıyla 1,97 s ve 1,69 s olarak tespit edilmiştir. Yerinde ölçümler ile benzetim sonuçları arasındaki 0.10s mertebesindeki fark oldukça düşük olup akustik benzetim araçlarının tasarım sürecinde doğru kullanıldığı takdirde oldukça gerekli ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Bunun yanısıra 125 Hz'te tasarım değeri 2,03 s ölçüm değeri 2,035 s; 250 Hz'te tasarım değeri 2,14 s, ölçüm değeri ise 2,15 s olarak uyum içinde bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Topaktaş, İ.L., Acoustical Properties of Classical Ottoman Mosques: Simulation and Measurements. Phd Thesis, Department of Architecture, Middle East Technical University, Ankara, 2003.
- [2] Sü, Z. And Yilmazer, S., The Acoustical Characteristics of the Kocatepe Mosque in Ankara, Turkey, Architectural Science Review, v 51.1, pp. 21-30, 2007
- [3] Anon., Measurement of Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters, ISO 3382, Switzerland, 1997.
- [4] Beranek, L., Balanced Noise Criterion (NCB) Curves, J. Acoust. Soc. Am., 86 (2), pp. 650-664, 1989.
- [5] Çalışkan, M., Doğramacızade Ali Sami Paşa Camii Akustik Raporu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Taru Mühendislik A.Ş., 2007.