GU J Sci, Part C, 5(2): 23-35 (2017)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

dergipark.gov.tr/http-gujsc-gazi-edu-tr

Türk Müziği Telli Çalgılarının Akustik Analizlerinde Kullanılan Yöntemler

Emir DEĞİRMENLİ[1,*]

[1] *Gazi Üniversitesi Türk Müziği Devlet Konservatuvarı, Çalgı Eğitimi Bölümü, 06500 Teknikokullar / Ankara*

Makale Bilgisi

Başvuru: 21/12/2016
Düzeltme: 24/01/2017
Kabul: 14/02/2017

Anahtar Kelimeler

Telli çalgılar
Rezonans
Modal analiz
Titreşim analizi
Akustik analiz

Keywords

Stringed instruments
resonance
Modal analysis
Vibration analysis
Acoustic analysis

Öz

Bu çalışmada, telli çalgılarının akustik özelliklerinin araştırılması amacıyla kullanılan titreşim ve ses analiz yöntemleri incelenmiştir. Bu analizlerden, ses yayınım ve uzun süreli ortalama spektrum ölçümleri, Türk müziği çalgılarından ud, tanbur ve kanun üzerinde uygulanmıştır. Çalgı icra edilmeden (çalınmadan) yapılabilen ve darbe testine dayanan ses yayınım analizi ile yedi farklı udun, tanbur ve kanunun rezonans bölgeleri tespit edilmiştir. Ayrıca kromatik bir şekilde icra edilen çalgılardan elde edilen seslerin uzun süreli ortalama spektrumları ölçülerek, iki analiz yönteminin sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen grafiklere, işitme sistemimizin çalışma prensibinin hesaba katılması ve istatistiksel analiz uygulanabilmesi amacıyla 1/3 oktav bant düzeltmesi yapılmıştır. Farklı tür çalgılar üzerinde test edilen her iki analiz yönteminin, çalgıların ses karakterini belirlemede önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca aynı tür çalgı üzerinde yapılan benzerlik araştırmasında, her çalgı için iki yöntemden elde edilen eğrilerin korelasyon katsayıları hesaplanmış, bunların frekans aralığına bağlı olarak 0.76-0.92 aralığında değiştiği, yani yüksek oranda benzerlik olduğu görülmüştür. Böylece icracının deney sürecini etkileme ihtimalini ortadan kaldıran ve aynı zamanda icra sonuçları ile uyumlu olan ses yayınım analizinin, çalgının ses karakterini belirlemede objektif bir ölçüm yöntemi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

The Methods Used for The Acoustic Analysis of The Turkish Stringed Instruments

Abstract

In this study, the vibration and sound analysis methods, which are used to investigate the acoustic properties of stringed instruments, were investigated. Based on this analysis, sound radiation and long-term average spectrum measurements were applied to the Turkish music instruments oud, tanbur and kanun. Seven different oud, tanbur and kanun resonances were determined by the sound radiation analysis based on the impact test, which can be done without performing (playing) the instruments. In addition, the long-term average spectra of the sounds, which were obtained from the instruments performed in a chromatic play, were measured and the results of the two analytical methods were compared. In order to take the hearing system's working principles into account in the calculations, and to perform statistical analysis, 1/3 octave band correction was applied to the graphs obtained from the test results. Both methods of analysis, which were tested on different types of instruments, were found to be important in determining the sound characteristics of the instruments. For each instrument, the correlation coefficients of the curves obtained from the two methods varied from 0,76 to 0,92 depending on the frequency range, thus it was concluded that there is a high degree of similarity. In conclusion, our results show that, the sound radiation test, which is not affected by inter-performer variability while still being comparable to performing the instrument, can be used as an objective measurement method to determine the tone quality of the instruments.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Telli çalgılarda ses oluşumunun açıklanması amacıyla uzun zamandır titreşim ve ses analizlerinden faydalanılmaktadır. Özellikle modal analiz ile elde edilen rezonans bölgeleri (normal modlar), adeta çalgıların akustik parmak izleri gibi düşünülmekte ve ses oluşumuna etkileri araştırılmaktadır. Çalgının ses

karakterini önemli ölçüde belirleyen bu rezonans bölgeleri, çalgıların yapıldığı malzemelerin esneklik, özkütle gibi materyal özellikleri ve gövde şekli, kalınlık gibi yapısal özellikleri tarafından şekillenmektedir [1].

Literatürde, Türk müziği çalgılarının titreşim ve ses özellikleri ile ilgili yapılmış sınırlı sayıda çalışmaya ulaşılmış olmakla birlikte, batı müziği çalgılarını konu alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bağlamda yapılan çalışmalar ele alındığında, telli çalgılarda ses oluşumunun araştırılmasında farklı yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir. Araştırılan çalgının yapısına ve ilgilenilen araştırma konusuna göre yöntemler çeşitlense de, bunların birçoğunda modal analiz ölçüm düzenek ve ekipmanları kullanılmaktadır. Konuyla ilgili çalışmalardan bazılarında modal analiz yöntemlerinin çalgılardaki uygulamaları üzerinde durulmuş, ölçüm yöntemi ve ekipmanları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir [2-5]. Ayrıca çalgıların akustik özelliklerinin araştırıldığı çalışmalardan birçoğunda, titreşim ölçümünün yanında, ses yayınım analizlerinin de yapıldığı görülmüştür.

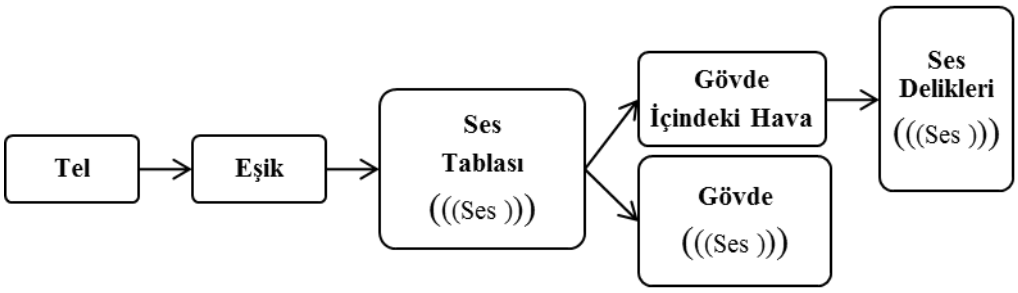
Temelde modal analiz yöntemlerini benimseyen çalışmalar, çalgıların doğal titreşimlerinin ses oluşumuna katkılarını ele almaktadır. Bunlar genellikle gitar [6-11], keman [12], timpani [13], arp [14] gibi batı müziği çalgıları üzerine yoğunlaşmış, az sayıda tanbur [15,16] ve ud [17] gibi Türk müziği çalgıları üzerine yapılan çalışmalara rastlanmıştır. Ayrıca bu alanda yapılan çalışmalardan bazılarında çalgıların eşik mobilitesi (bridge mobility) üzerinde durulduğu görülmüştür. Mobilite ya da mekanik admitans (mechanic admitance) ölçümlerinde çalgı gövdesinin, eşiğe uygulanan uyarıcı bir kuvvet karşısındaki titreşim tepkisi elde edilmekte, böylece çalgıların ses üretimindeki verimliliği frekansa bağlı olarak ortaya konmaktadır [18-22].

Çalgıların gövde titreşimlerinin görüntülenmesi özellikle çalgı yapımcılığı açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle bu araştırmada, çalgılara uygulanan çeşitli titreşim görüntüleme tekniklerini ele alan çalışmalar da incelenmiştir. Bunlar, lazer interferometri [23-25] ve çalgı yapımcıları arasında sıklıkla tercih edilen Chladni metodu [26] gibi, titreşimlerin anlık gözlemlenmesine imkân veren teknikleri ve frekans cevap fonksiyonlarını (frequency response Function, FRF) kullanarak titreşim şekillerinin sonradan belirlendiği modal analiz yazılımı [1] içermektedir.

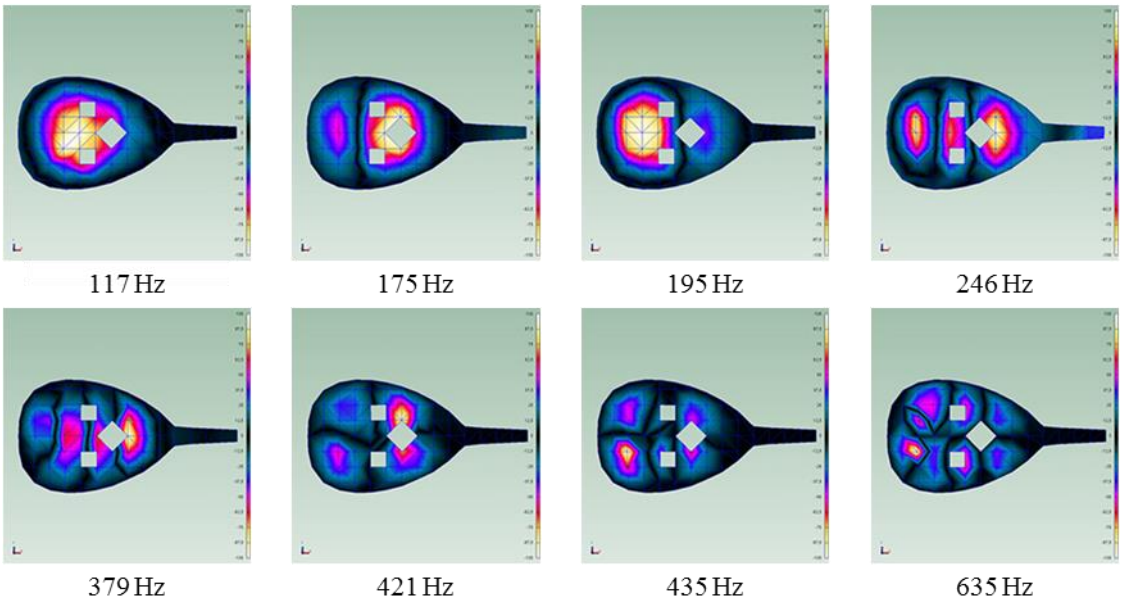
Yukarıda belirtilen çalışmaların birçoğu çalgıların titreşim ve ses özellikleri arasında ilişkiyi kurmaya yöneliktir. Ancak icrayla elde edilen sesler ve çalgının titreşim özellikleri arasındaki ilişkinin kurulduğu araştırmalar sınırlı sayıdadır [10, 16]. Bu çalışmada ise, çalgıların titreşime bağlı ses yayınım ölçümleri ve icra sonucu elde edilen nihai seslerin analizleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Burada amaç, çalgı akustiği araştırmalarında kullanılmak üzere icracıdan bağımsız, ancak icra sonuçlarıyla uyumlu bir ölçüm yönteminin ortaya konmasıdır. Böylece çalgıların yapısal değişkenlerine bağlı olarak tekrar eden akustik deneylerin, icracı tarafından etkilenmeden objektif bir şekilde yapılması sağlanacaktır. Ayrıca bu kapsamdaki bir araştırmanın ud, tanbur ve kanun gibi Türk müziği çalgıları üzerinde ilk defa yapılmış olmasının da çalışmaya ayrıca önem kattığı düşünülmektedir.

2. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Çalgılarda ses oluşum (yayınım) süreci çeşitli yapısal titreşimlere dayanmaktadır. Bunlardan nefesli ve vurmalı olanlar doğrudan ses üretebilirken, telli çalgılarda ses dolaylı olarak oluşmaktadır. Bunun sebebi, telin tek başına yeterli miktarda ses enerjisi üretemeyecek kadar küçük yüzey alanına sahip olmasıdır. Bu nedenle telde oluşan titreşimin, akustik olarak daha verimli olan geniş yüzeyli gövde elemanlarına iletilmesi gerekmektedir [27]. Böylece telli çalgılarda ses oluşumu tel, eşik, ses tablası, gövde ve gövde içindeki havanın titreşim özellikleri ve bu bölümlerin birbirleriyle olan ilişkilerini içeren karmaşık bir süreç (Şekil 1) olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle çalgının yapım sürecinde seçilen malzemenin mekanik özellikleri ve yapım tekniğine bağlı olarak şekillenen titreşim modları, çalgının ses karakterinin belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Çalgıların rezonansları olarak da adlandırılan bu modlardan her biri, modal analiz sonucunda elde edilebilen frekans, sönüm faktörü ve mod şekli (Şekil 2) ile karakterize edilmektedir.



Şekil 1. *Telli çalgılarda genel ses oluşum diyagramı (Diagram of sound production process of string instruments)*



Şekil 2. *Ud çalgısının doğal titreşim modları (Normal modes of oud)*

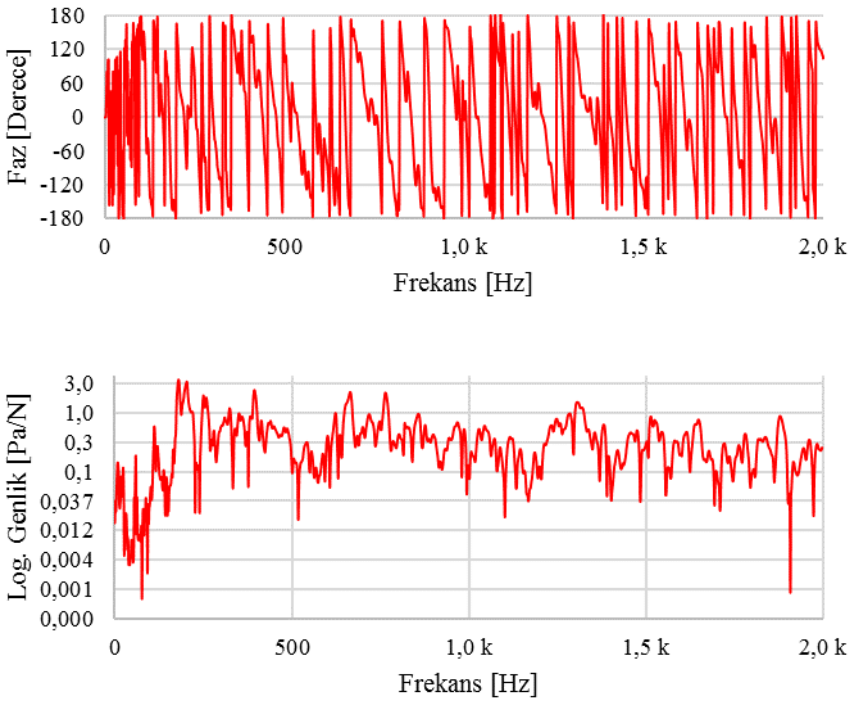
Bu çalışma sürecinde elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, birçok ses analiz yönteminin temelini oluşturan Fourier dönüşümü kullanılmıştır. Bu dönüşüm sayesinde, zaman uzayında tanımlı $f(t)$ fonksiyonu ile frekans uzayında tanımlı $F(W)$ arasında geçiş sağlanabilmektedir. Fourier dönüşümü aslında sonsuz sayıda bir dizi üzerinde ve sürekli bir fonksiyon olarak tanımlıdır. Ancak, deneysel olarak yapılan ölçümler sınırlı ve belirli bir örnekleme sayısına sahiptir. Bu nedenle özellikle deneysel ölçümlerin analizinde ayrık fourier dönüşümünün (discrete fourier transform – DFT) pratik bir uygulaması olan FFT(Fast Fourier Transform) analizi kullanılmaktadır. Çeşitli FFT algoritmaları bulunmasına rağmen hepsinin temel amacı, DFT hesaplarını kolaylaştırılarak hesaplama süresinin azaltılmasıdır[28]. Çalışmada, zaman değişkenine bağlı olarak ölçülen titreşim ve ses verilerinin frekans spektrumları Bruel&Kjaer (B&K) firmasının Pulse Access FFT analizörü kullanılarak elde edilmiştir.

Çalışmanın titreşim analizi bölümünde, yapının ölçülebilen bir kuvvet ile uyarılması ve buna karşı cevabının elde edilmesi esasına dayanan modal analiz testi temel alınmıştır. Bu analizde kuvvet, sarsıcı (shaker) veya darbe çekici (Impact Hammer) ile yapıya aktarılabilmekte, yapının cevabı ise mekanik, optik veya dolaylı yoldan (örneğin mikrofonla ses yayınımı ölçümü) ölçülerek frekans cevap fonksiyonları elde edilmektedir [1]. Doğrusal sistemlerdeki girdilerin ve çıktıların Fourier spektrumları arasındaki oranı olarak tanımlanan frekans cevap Fonksiyonu eşitlik (1) de verilmiştir.

$$H(f) = Y(f)/X(f) \tag{1}$$

Burada X giriş ve Y çıkış sinyali olmak üzere, $X(f)$ve $Y(f)/$, $x(t)$ ve $y(t)$ nin Fourier spektrumlarını temsil etmektedir.

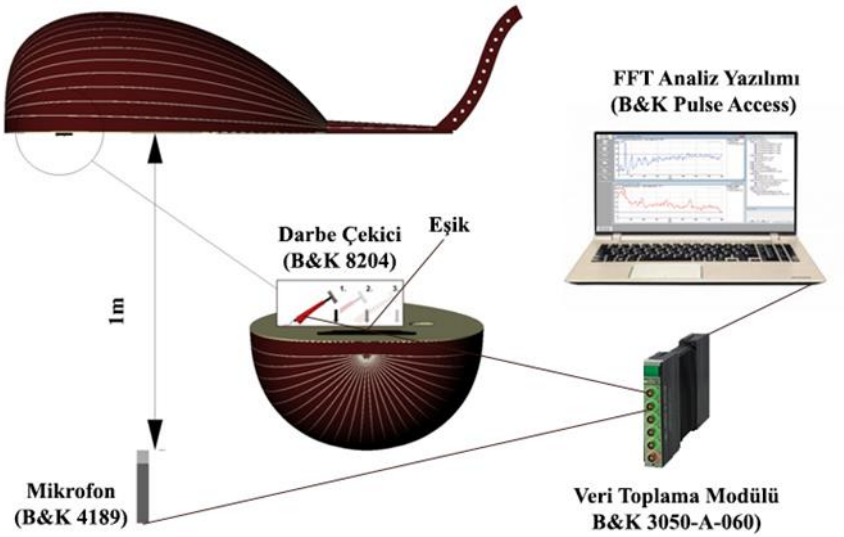
Farklı uygulama şekilleri olmasına karşın; deneysel modal analizde, frekans-tepki fonksiyonlarının elde edilmesi, yapıların dinamik özelliklerinin analizinde kullanılan en temel ölçümdür. Pratikte kuvvet ve cevap değerleri, zaman kümesinde ölçülmekte ve FFT analizörü ile frekans kümesine dönüştürülmektedir. Elde edilen FRF grafiklerinde genlik ve faz bilgisi birbirinden ayrı bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 3).



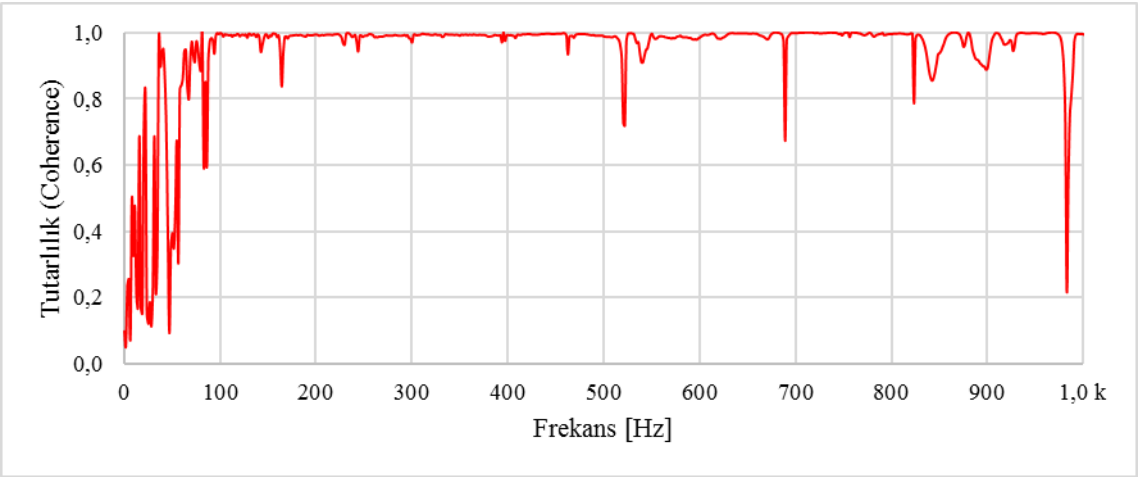
Şekil 3. *FRF grafiği örneği; alt bölüm genlik, üst bölüm faz bilgisini vermektedir (Sample of FRF graph; Upper part gives phase, lower part gives amplitude)*

Bu çalışmada ilk olarak Martin Schleske tarafından kemana uyarlanan ses yayınım analizi incelenmiştir [2]. Bu analiz, kemanın rezonans bölgelerinin tespiti ve ses üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu ölçüm yöntemi Türk müziği çalgıları üzerinde ilk kez uygulanmaktadır. Veri toplama sürecinde, çalma pozisyonunda tutulan yedi farklı ud, eşiklerinin bas, orta ve tiz tellerinin bağlı olduğu üç yerden darbe çekici ile vurularak ikaz edilmiştir (Şekil 4). Her bir darbe sonucunda oluşan ses mikrofon ile ölçülerek FFT analizörüne gönderilmiş ve FRF'ler (Ses basıncı/kuvvet) elde edilmiştir. Ayrıca tanbur ve kanun üzerinde farklı tınısal karakterlerin ortaya konması amacıyla aynı ölçüm tekrarlanmıştır.

Ses yayınım analizinde, en az iki kanallı FFT analizörüne ihtiyaç duyulduğundan, B&K (Bruel&Kjaer) firmasının 6 kanallı 3050-A-060 veri toplama modülü ve Pulse Access yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca yine sensör olarak aynı firmanın B&K 8204 Minyatür Darbe Çekici ve B&K 4189-A-021 Mikrofon ve Ön Yükseltcisi tercih edilmiştir. Ölçümler 0-10 kHz arasında, 6400 FFT çizgi sayısında yani 1,563 Hz frekans çözünürlüğünde yapılmış, her bir FRF değeri için beş ölçümün ortalaması alınmıştır. Bu beş ölçümün birbirleriyle uyumunu gösteren tutarlılık (coherence) grafiği (Şekil 5) takip edilmiş, özellikle rezonans bölgelerinde, tutarlılık eğrisinin 1'e yakın olması şartı aranmıştır.



Şekil 4. *Ses yayınım ölçümünün ud çalgısı üzerinde uygulanışı (Application of the sound radiation measurement on the oud)*



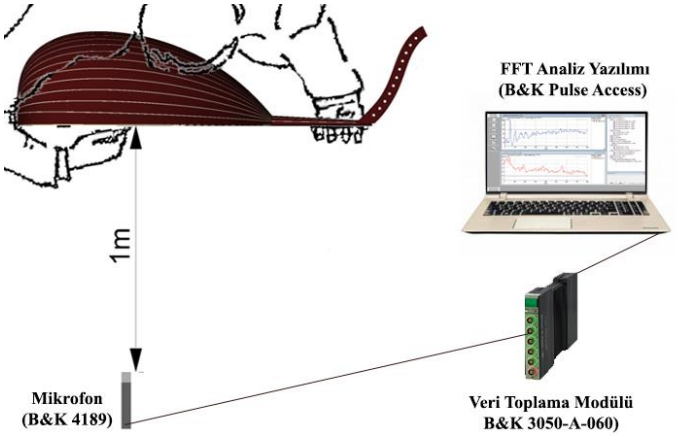
Şekil 5. *Tutarlılık grafiği (Coherence graph)*

Telli çalgıların seslerinin karakterize edilmesi için kullanılan yollardan diğer biri de, belirli bir icra süresince ölçülen seslerin ortalama spektrumlarıdır. uzun süreli ortalama spektrum (long-term average spectra, LTAS) olarak isimlendirilen bu yöntemle elde edilen sonuçlar; icracının, ortamın ve seçilen eserin izlerini de taşımasının yanında, çalgının kendi karakteristiğini önemli oranda yansıtmaktadır[8].

Bu analiz yönteminde temel ölçüm olan $G(k)$ ortalama spektrum (autospectrum) değeri, FFT analizörü tarafından eşitlik (2)'ye göre hesaplanmaktadır. Burada $S(k)$ fourier spektrumunu, $E\{\}$ ise ortalama operatörünü temsil etmektedir.

$$G(k) = E\{|S(k)|^2\} \tag{2}$$

Analiz sürecinde B&K (Bruel& Kjaer) firmasının 6 kanallı 3050-A-060 veri toplama modülü ve Pulse Access yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca yine sensör olarak aynı firmanın B&K 4189-A-021 mikrofon ve ön yükseltcisi tercih edilmiştir. Ölçümler 0-10 kHz arasında, 6400 FFT çizgi sayısında yani 1,563 Hz frekans çözünürlüğünde yapılmıştır. %66.67 üst üste binme (Overlap) oranında 90 s ortalama alınmıştır. Yedi farklı udun her bir teli kromatik olarak icra edilerek ölçüm alınmıştır (Şekil 5). Ayrıca tınısal farklılıkların ortaya konması amacıyla tanbur ve kanun üzerinde de benzer ölçümler yapılmıştır.



Şekil 5. *Ud çalgısına LTAS analizi uygulanması (application of the LTAS measurement on oud)*

Bu analiz sürecinde her tele vurulduğunda çalgı sadece tek bir frekans değil, telin temel frekansı ve birçok harmonik ile ikaz edilmektedir. Böylece ölçüm süresinin sonunda çalgı gövdesi çok fazla sayıda frekansa maruz kalmakta ve bu frekansların bazılarını diğerlerine göre az ya da çok yükseltmektedir. Çalgıların karakteristik tınılarının oluşmasında önemli bir yere sahip olan bu frekansa bağlı genlik yükselmeleri, uzun süreli ortalama alınarak ortaya konmaktadır. Böylece bu ölçüm ile, çalgının rezonans bölgelerinin ses oluşumuna etkileri hakkında bilgi elde edilebilmektedir.

Çalışmada ayrıca ses yayınım analizinden elde edilen sonuçlar ile çalgının kromatik icrası sürecinde alınan uzun süreli ortalama spektrum analizleri karşılaştırılmıştır. İstatistiksel hesapların yapılabilmesi amacıyla tüm grafiklere 1/3 oktav bant düzeltmesi uygulanmıştır. 1/3 oktav bant düzeltmesi, özellikle sesin tonal karakterinin belirlenmesinde, işitme sistemimizin çalışma prensibiyle benzerlik gösterir. Bu nedenle, çalgıların sahip oldukları tonal karakterlerin ortaya konmasında önemli bir yere sahiptir [2]. Sonrasında, elde edilen verilerin görsel olarak karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde eğrileri çizilmiş ve aralarındaki benzerliğin istatistiksel olarak belirlenmesi için korelasyon katsayıları eşitlik (3)'e göre hesaplanmıştır.

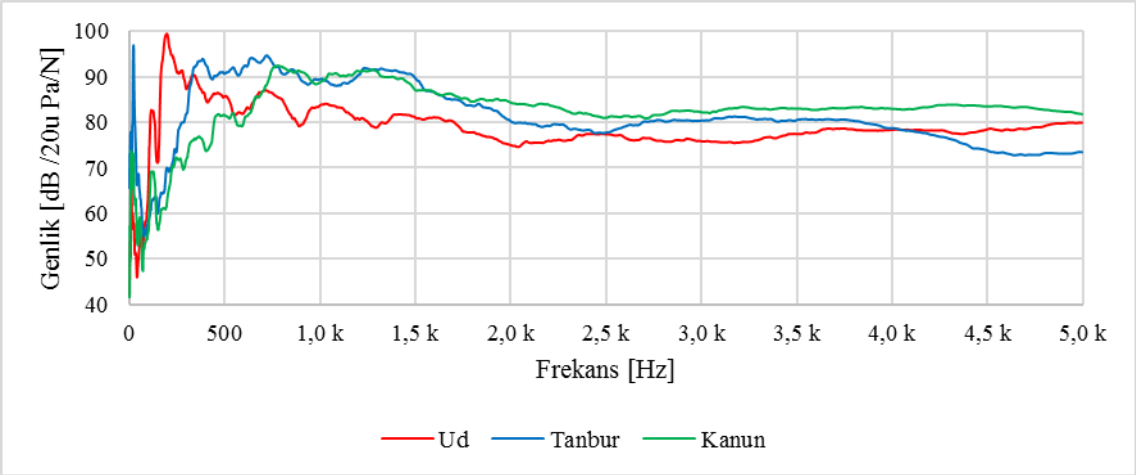
$$r = \frac{\sum(X-\overline{X})(Y-\overline{Y})}{\sqrt{\sum(X-\overline{X})^2}\sqrt{(Y-\overline{Y})^2}} \tag{3}$$

Burada $\overline{X}$, X değişkenlerinin $\overline{Y}$ise Y değişkenlerinin ortalamasıdır.

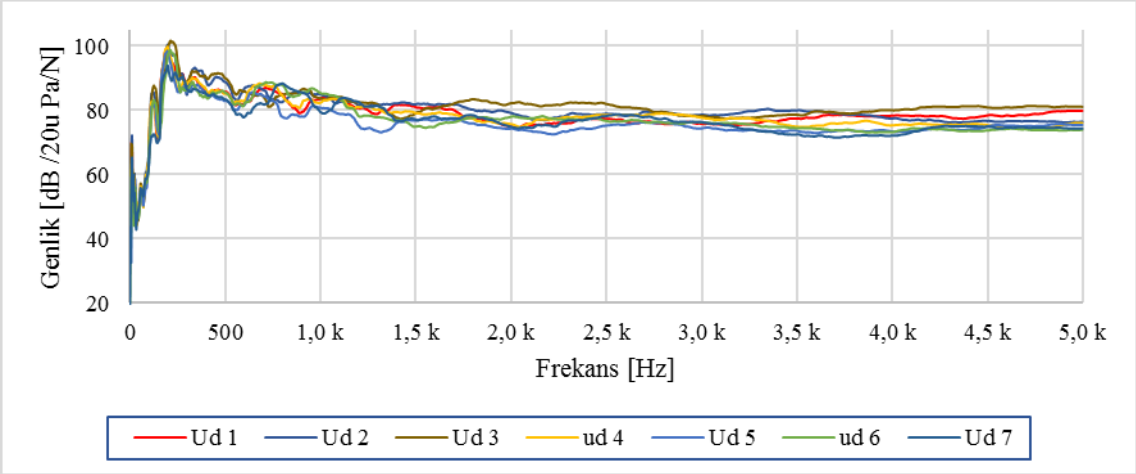
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmanın bu bölümünde ses yayınım ve uzun dönem ortalama spektrum analizleri ile elde edilen sonuçlar ortaya konmuş ve çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. İlgilenilen analiz yöntemlerinin, çalgılar arasındaki tınısal farklılıkları hangi oranda ortaya koyduğunun anlaşılması için ilk olarak ud, tanbur ve kanun gibi birbirinden farklı tınısal karakterdeki çalgılar ele alınmıştır. Ayrıca 7 tane farklı ud üzerinde ölçümler yapılarak aynı tür (benzer tını karakteri) çalgılarda analiz yöntemlerinin sonuçları incelenmiştir.

İlk olarak ses yayınım anazinden elde edilen FRF'lerin ortalamaları alınarak 1/3 oktav bant düzeltmesi yapılmış ve elde edilen genlik eğrileri karşılaştırılmıştır. Bu analiz yöntemiyle elde edilen sonuçlar, Scheleske tarafından çalgının Rezonans Profili olarak adlandırılmaktadır [12]. Çalgı akustiğinde, FRF'lerin doğrudan değerlendirilmesi, ortalamalarının alınması ya da belirli bir grafikte üst üste çizilerek çalgıların titreşim ve akustik özelliklerinin araştırılması sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada da hem bu yöntem benimsenmiş hem de istatistiksel analize başvurulmuştur.



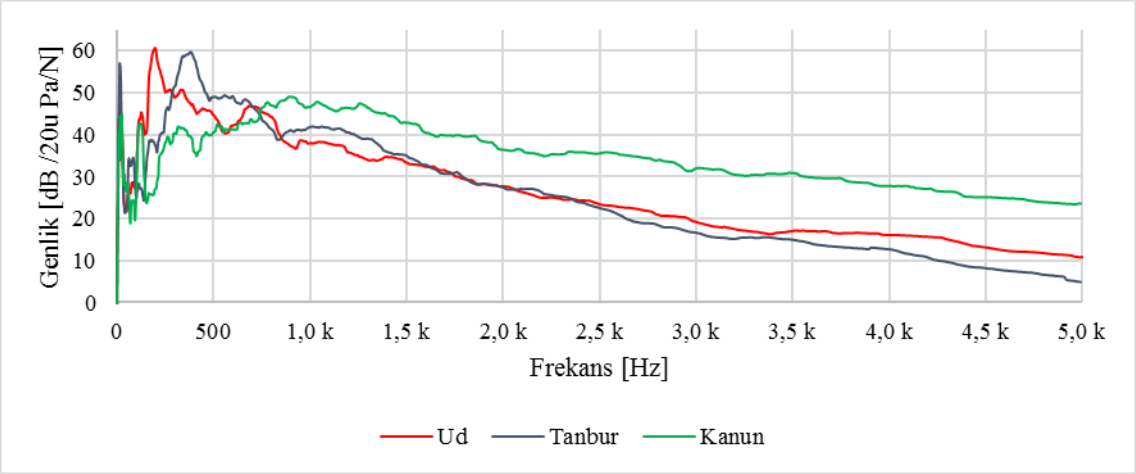
Şekil 6. *Ud (kırmızı), tanbur (mavi) ve kanunun (yeşil) rezonans profilleri -1/3 oktav bant düzeltmesi (Resonance profiles of oud (red), kanun (blue) and tanbur (green) – 1/3 octav band smoothing)*



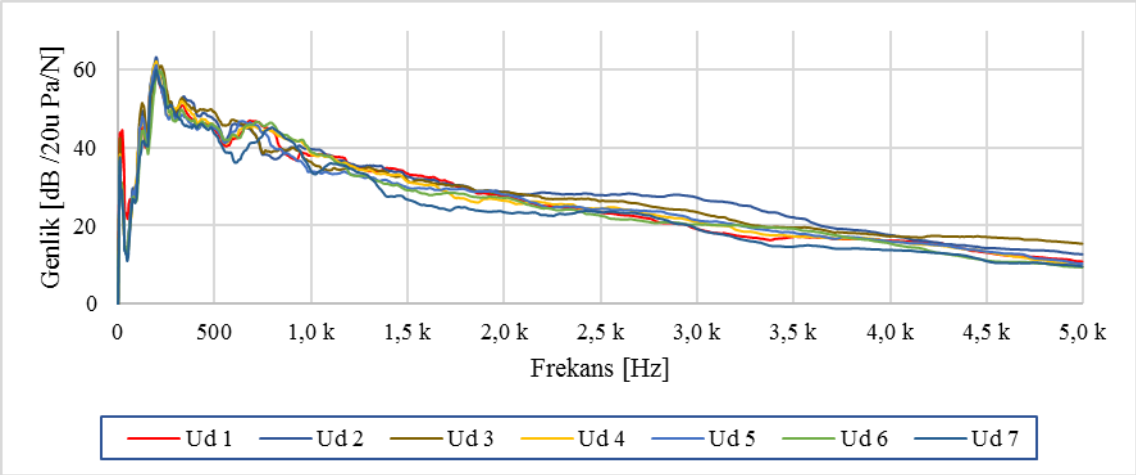
Şekil 7. *Yedi farklı udun rezonans profilleri -1/3 oktav bant düzeltmesi (Resonance profiles of seven different ouds – 1/3 octav band smoothing),*

Ses yayınım analizinden elde edilen grafiklerden Şekil 6 incelendiğinde; ud, tanbur ve kanun gibi farklı tınısal yapıdaki çalgıların eğrilerinde büyük farklılıklar görülmüştür. Şekil 7'deki analiz grafiği ise; malzeme, yapımcı ve yapım yılı olarak birbirinden farklı 7 udun sonuçlarını içermesine rağmen, benzer eğriler görmek mümkündür. Bu, telli çalgılardaki rezonans bölgelerinin, çalgıların karakteristik tınılarını belirlemede oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Benzer bir değerlendirme, Şekil 8 ve Şekil 9'daki LTAS analiz grafikleri için yapıldığında aynı sonuçlarla karşılaşılmıştır. Böylece bu iki analiz yönteminin, çalgıların ses karakterini belirleyen rezonans bölgelerinin araştırılmasında oldukça önemli bir yere sahip

olduğu sonucuna varılmıştır.

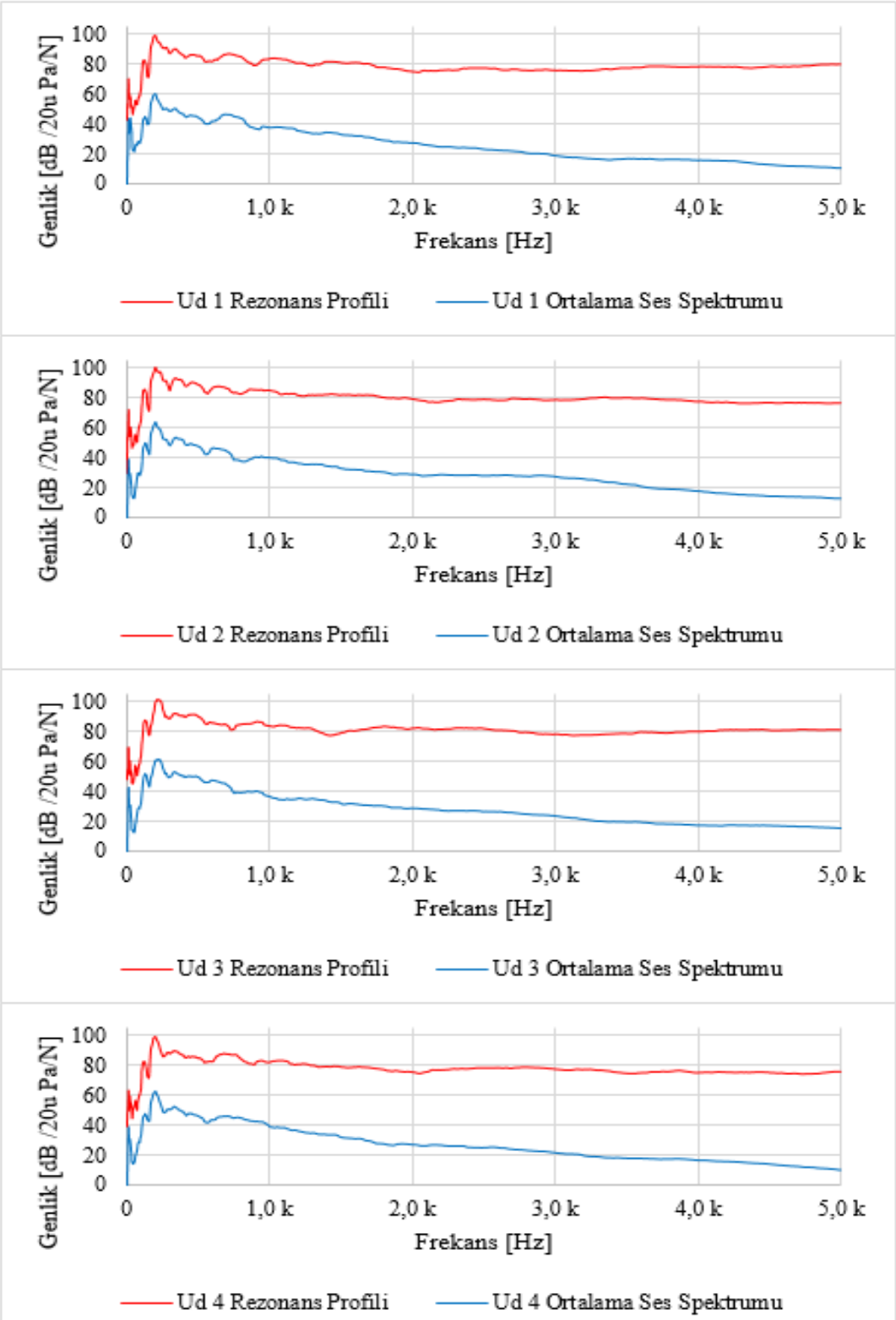


Şekil 8. *Ud (kırmızı), tanbur (mavi) ve kanunun (yeşil) ortalama ses spektrumları -1/3 oktav bant düzeltmesi (Average sound spectrum of oud (red), kanun (blue) and tanbur (green) – 1/3 octav band smoothing)*

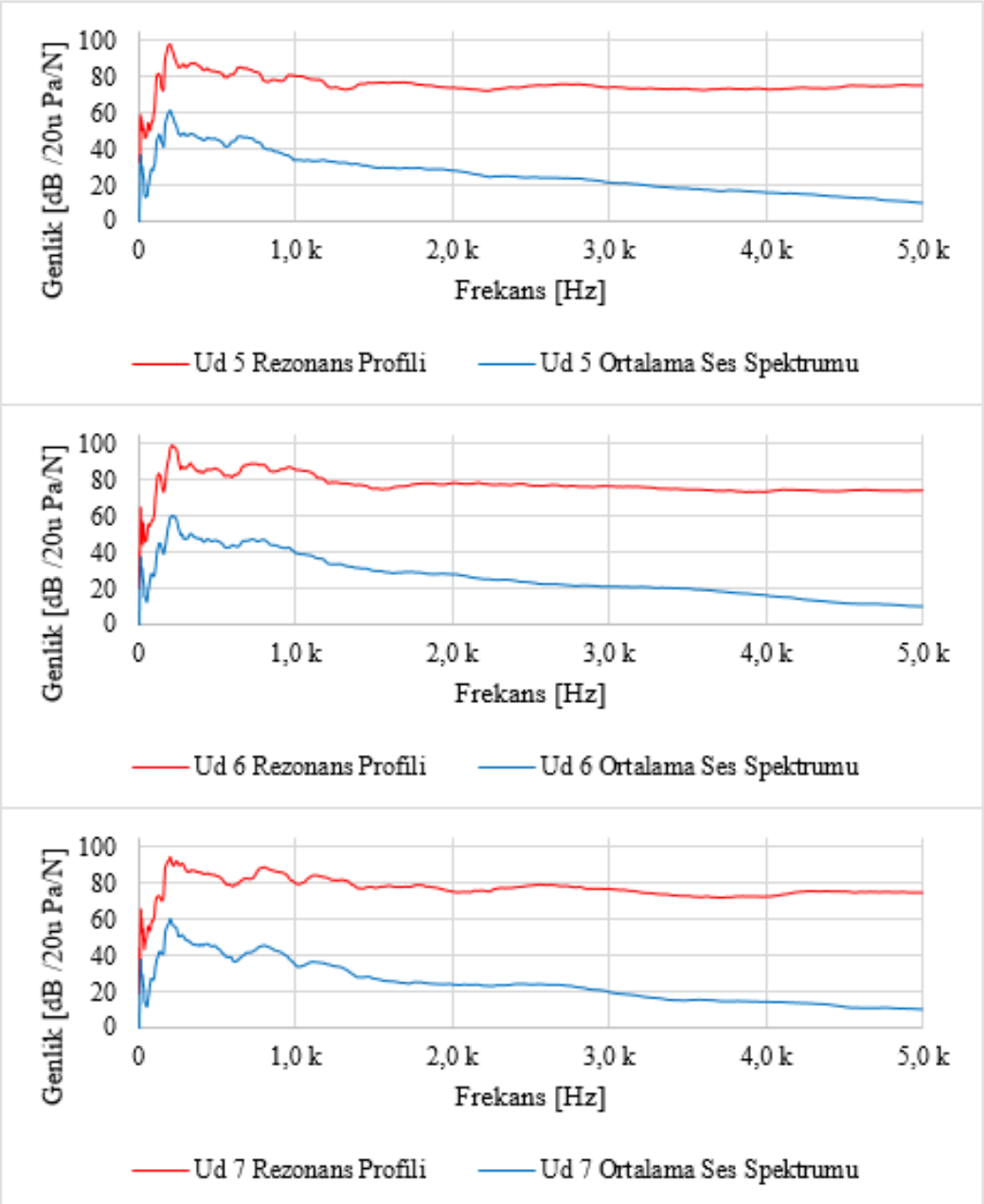


Şekil 9. *Yedi farklı udun ortalama ses spektrumları -1/3 oktav bant düzeltmesi (Average sound spectrum of seven different ouds – 1/3 octav band smoothing)*

Çalışmada ayrıca ses yayınım ve LTAS analiz sonuçlarının benzerlikleri araştırılmıştır. Bunun için 7 ayrı ud üzerinde her iki analiz yöntemiyle ölçümler yapılmıştır. Ses yayınım analizinin tüm tellerden gelen titreşimleri temsil edebilmesi amacıyla ud eşiğinin bas, orta ve tiz bölgelerinden darbe çekiciyle vurularak ikaz edilmiştir. Oluşan ses cevabı mikrofon ile ölçülerek FRF'ler hesaplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Aynı zamanda; her bir ud, kromatik bir şekilde icra edilerek LTAS grafikleri elde edilmiştir. Bu eğrilere 1/3 oktav bant düzeltmeleri yapılarak, her iki analiz yöntemi sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 10). Ek olarak eğrilerin benzerliklerinin ortaya konması amacıyla, her ud için belirli frekans bölgelerinde korelasyon sabitleri hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 10. *7 ayrı udun rezonans profili (kırmızı) ve LTAS (mavi) analiz sonuçları karşılaştırma grafikleri-1/3 oktav bant düzeltmesi (comparison graph of resonance profile (red) and LTAS (blue) analysis on 7 different ouds -1/3 Octave band smoothing)*



Şekil 10. *(devamı) 7 ayrı udun rezonans profili (kırmızı) ve LTAS (mavi) analiz sonuçları karşılaştırma grafikleri-1/3 oktav bant düzeltmesi (comparison graph of resonance profile (red) and LTAS (blue) analysis on 7 different ouds -1/3 Octave band smoothing)*

Şekil 10'daki grafikler görsel olarak incelendiğinde, ses yayınımı ölçümünden elde edilen rezonans profili eğrisi ile aynı çalgının icra edilmesi sonucu elde edilen ortalama ses spektrum eğrileri benzerlik göstermektedir. Ayrıca, her bir çalgı için hesaplanan korelasyon katsayılarının frekansa bağlı olarak 0.76-0.92 aralığında değişmesi (Tablo 1), iki analiz yöntemi arasındaki yüksek orandaki benzerliği istatistiksel olarak da ortaya koymaktadır.

Tablo 1. *Ses yayınımı ve LTAS analiz sonuçlarının korelasyon katsayıları (correlation coefficient of sound radiation and LTAS anlysis results)*

Korelasyon Katsayısı	UD-1	UD-2	UD-3	UD-4	UD-5	UD-6	UD-7
100 Hz-1 kHz	0,91377	0,84019	0,82264	0,85845	0,87929	0,85246	0,77151
100 Hz-2 kHz	0,90977	0,89489	0,83474	0,91113	0,89921	0,92417	0,82317
100 Hz-3 kHz	0,92201	0,93162	0,83715	0,88840	0,89237	0,90455	0,85430
100 Hz-4 kHz	0,85879	0,88528	0,85849	0,90044	0,89015	0,92690	0,90858
100 Hz-5 kHz	0,76499	0,90020	0,78613	0,90842	0,82396	0,92010	0,89172
100 Hz-10 kHz	0,84431	0,90446	0,91132	0,92052	0,87009	0,80507	0,89110

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, telli çalgıların akustik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ölçüm yöntemlerinden ses yayınım ve LTAS Analizleri, Türk müziği çalgılarından ud, kanun ve tanbur üzerinde uygulanmıştır. İlk olarak, çalgıların titreşim özelliklerini doğrudan ölçüldüğü ve çalgı eşiğinin darbe çekiciyle ikaz edilmesine dayanan ses yayınımı, sonrasında da çalgılar kromatik olarak icra edilerek uzun süreli ortalama ses spektrumları ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sonuç grafikleri görsel ve istatistiksel olarak karşılaştırılarak, hem çalgıların titreşim özelliklerinin ses oluşumu üzerindeki önemli etkisi saptanmış, hem de iki analiz yönteminin büyük oranda benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, tamamen modal analiz yöntemlerinin kullanıldığı ses yayınım analizinin, çalgının icra edilmesiyle oluşan sesin karakterini büyük ölçüde yansıttığı sonucuna varılmıştır. Böylece bu yöntem ile çalgılar üzerinde tekrar eden akustik deneyler, insan faktörü (icracı) tarafından etkiye uğramadan, objektif bir şekilde yapılabilecek ve çalgının genel ses karakteriyle ilgili güvenilir veriler elde edilebilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından, “60/2015-01: Türk Müziği Telli Çalgılarının Titreşim ve Akustik Analizleri” projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Schleske, M., “Empirical Tools in Contemporary Violin Making: Part I. Analysis of Design, Material, Varnish, and Normal Modes”, Catgut Acoustical Society Journal, Vol. 4, No. 5 (Series II), 50-64, 2002.

[2] Curtin J., “Measuring Violin Sound Radition Using am Impact Hammer”, Violin Society Of America, Vol XXII, No 1.,186-209, 2009.

[3] Mansour H. and Scavone G.P., “A Comparison of Vibration analysis Techniques Applied to the Persian Setar”, the Acoustics 2012 Nantes Conference, France, 1737-1741, 2012.

[4] Morset L.H., “A Low-Cost Pc-Based Tool for violin Acoustics Measurements”, Catgut Acoustical Society Journal, Vol. 4, No. 4 (Series II), 2001.

[5] Elwali W., Satakopan H. ve Shauche V., “Modal Parameter Estimation Using Acoustical Modal Analysis”, Society for Experimental Mechanics, Vol XXVIII, 2010.

[6] Perry I., “Sound Radiation Measuremets on Guitars and Other Stringed Musical Instruments”, Doctoral Thesis, Cardiff University, 2014.

[7] Czajkowska M., "Subjective Assessment of Classical Guitars'Tonal Quality in Relation to Spectral Analysis", European Acoustics Association, Krakow, 2014

[8] Rossing D. (1988), Sound Radiation from Guitar, Amerikan Lutherie, 16.

[9] Jahnson E.V., "A Comparison of Acoustical Measurements and Hologram Interferometry Measurements of The Vibrations of a Guitar Top Plate", STL-QPSR Journal, Volume 10, No 2-3, 36-41, 1969.

[10] Caldersmith G.W. and Jansson E.V., "Frequency Response and Played Tones of Guitars, STL-QPSR Journal, Volum 21, No 4,50-61, 1980.

[11] Sali S., Kopac J., "Measuring a frequency Response of a Guitar", University of Ljubljana, Slovenia

[12] Schleske, M., "Empirical Tools in Contemporary Violin Making: Part II. Psychoacoustic Analysis and Use of Acoustical Tools", Catgut Acoustical Society Journal, Volume 4, No 6 (Series II), 43-61, 2002.

[13] Tronchin L., "Modal Analysis and Intensity of Acoustic Radiation of the Kettledrum", Acoustical Society of America, 117 (2),926-933, 2005.

[14] Carrou J., Gautier F., Dauchez N. "Acoustic Radiation of the Concert Harp in the low Frequency Range", 12th International Congress on Sound and Vibration, Lisbon, 11-14 July 2005.

[15] Erkut, C., Tolonen, T., Karjalainen M. and Valimaki, "Acoustical analysis of tanbur a Turkish long-necked lute", The 6th International Congress on Sound and Vibration, Copenhagen, Denmark, 1999.

[16] Taçoğlu, A.,"Tanburda kullanılan ses tablalarında rezonans özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,1997

[17] Değirmenli, E., "Telli çalgılardaki ses tablası titreşimlerinin Tını Üzerindeki Etkileri – Ud Örneği", VI. Uluslararası Hisarlı Ahmet Sempozyumu,139-153, Kütahya, 28-30 Mayıs 2015.

[18] Elie B., François Gautier and Bertrang D., "Analysis of Bridge Mobility of Violins", Stockholm Music Acoustics Conference, Sweden, 54-59, 2013.

[19] Paiva G., Ablitzer F., Gautier F., Secail-Geraud M. ve Santos J.M.C. (2016), "Measuring the Mobility Matrix at the Bridge of Stringed Instruments by the Wire Breaking Method", CFA 2016 Wishno, Le Mans, 383-389, 2016.

[20] Freour V., Mansour H., Saitis C. and Scavone G. (2014), "Evaluation and Classification of Stell String Guitars Using Bridge Admittances", ISMA 2014, Le Mans, France,317-321, 2014.

[21] Woodhouse J., Langley R.S. "Interpreting The Input Admittance of Violins and Guitars", Acta Acustica United with Acustica, Vol 98, 611-628, 2012.

[22] Elie B., François Gautier and Bertrang D. "Analysis of Bridge Admittance of Plucked String Instruments in The High Frequency Range", Forum Acusticum, Denmark, 2011.

[23] Richardson, B. (2010, September), "Mode studies of plucked stringed instruments: Application of holographic", Second Vienna Talk, University of Music and Performing Arts, Vienna, Austria, 129-132, 19-21 September 2010.

[24] Jovicic J. and O., "The Effect of Bracing on Guitar Resoanace", The Big Red Book of American Lutherie, Volume 1, 402, 1987.

[25] Bakarezos, M.,Gymnopoulos, S., Brezas, S., Orfanos, Y., Maravelakis, E., Papadopoulos, C. I., Tatarakis, M.,Antoniadis A., and Papadogiannis N. A. "Vibration Analysis of The Top Plates of

Traditional Greek String Musical Instrument", Thirteenth International Congress on Sound and Vibration, Vienna, Austria. 2-6 July 2006.

[26] Değirmenli, E., "Akustik Ölçüm Teknikleri Kullanılarak Üretilen Ud Ses Tablasının Titreşim Özelliklerinin Kontrolü Üzerine Yeni Bir Yöntem Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, 2014.

[27] Rossing, T. D. (Editor), "Springer Handbook of Acoustis", Springer Science+Business Media LLC, New York, 2010.

[28] Kammler D. W., "A First Course in Fourier Analysis", Prentice-Hall, USA, 2000.