

TİTREŞİM VE SES YAYINIM ANALİZLERİ KULLANILARAK TELLİ ÇALGILARDAKİ TINSAL NİTELİKLERİN İNCELENMESİ: UD ÖRNEĞİ

Emir DEĞİRMENLİ

Dr. Öğr. Üyesi Emir Değirmenli, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Türk Müziği Devlet Konservatuvarı, emri.degirmenli@hbv.edu.tr
ORCID: 0000-0001-8164-1448

Değirmenli, Emir. "Titreşim ve Ses Yayılım Analizleri Kullanılarak Telli Çalgılardaki Tınsal Niteliklerin İncelenmesi: Ud Örneği". idil, 104 (2023 Nisan): s. 533-542. doi: 10.7816/idil-12-104-08

ÖZ

Bu araştırma, Türk müziği telli çalgılarından biri olan udun akustik özelliklerini ve bu özelliklerin ses kalitesi ile olan bağlantısını incelemektedir. Çalışma, çeşitli yapımcılardan ve farklı fiyat seviyelerinden on adet ud örneklem alarak, bu çalgıların titreşim ve ses yayılım özelliklerini nicel, ses karakterini ise nitel yöntemlerle analiz etmiştir. Bulgular, gürlük düzeyi yüksek ve bas ses karakteristiklerine sahip udların geniş frekans aralıklarında yüksek genlikli ses yayılımı gösterdiklerini ortaya koymuştur. Özellikle 120 Hz ve 180 Hz - 220 Hz frekans bölgelerinde bu çalgıların yüksek genlikli ses yayılımı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Diğer yandan, düşük ses gürlüğüne sahip ve bas karakteristikleri zayıf olan udlarda, oldukça dar ve sadece belirli frekanslarda yoğunlaşmış rezonans tepe noktaları gözlenmiştir. Ayrıca yüksek ses gürlüğü ve bas karakteristiklerine sahip udların 700 Hz bölgesinde beklenenden daha yüksek bir genlikle ses yayılımı gerçekleştirdikleri ve bu çalgılarda, temel rezonans bölgeleri dışında da düşük genlikli olsalar da çok sayıda titreşimlerin mevcut olduğu belirlenmiştir. Bu veriler, çalgının ses kalitesini ve performansını etkileyen faktörleri daha geniş bir bakış açısıyla değerlendirebilmemize olanak sağlamaktadır. Sonuç olarak, geleneksel Türk müzik çalgısı ud üzerinde yapılan akustik ve psikoakustik analizlerle, çalgıların ses karakteristikleri ile nesnel ölçüm yöntemleri arasında önemli bir ilişkinin var olduğu gösterilmiş, çalgı yapım ve akustiği araştırmalarında ses yayılım özelliklerine dikkatle odaklanılması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma ud başta olmak üzere, telli çalgıların akustik tasarımı ve performansı hakkında bilgiler sunarak, bu çalışmanın gelecekteki araştırmalar ve üretim süreçleri için önemli bir temel oluşturması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Telli çalgılar, ud, Ses yayılımı, Tını, Psikoakustik, Çalgı yapımı, Modal analiz, Titreşim

Makale Bilgisi:

Geliş: 12 Mart 2023

Düzelme: 9 Nisan 2023

Kabul: 22 Nisan 2023

© 2023 idil. Bu makale Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND) 4.0 lisansı ile yayımlanmaktadır.

Giriş

Çalgı akustiği, müzik ve bilim disiplinlerinin birleşim noktasında konumlanarak, çalgıların ses oluşturma ve iletim süreçlerini anlama konusunda önemli bilgiler sağlar. Bu alan, hem deneysel hem de teorik yöntemler kullanılarak sürdürülen araştırmalarla; çalgı yapımı, tasarımı, icrası ve müzik teknolojileri gibi çeşitli disiplinlerde uygulanabilir bilgiler sunar. Bu çalışmalar, müzisyenlere çalgıların kullanımı ve performansının optimize edilmesi konusunda yol gösterirken, farklı malzeme, form ve yapıların ses üzerindeki etkilerinin araştırılmasını sağlayarak, yeni müzik aletlerinin tasarımına ve mevcut olanların geliştirilmesine katkıda bulunur. Ayrıca, müzik aletlerinin ses oluşturma süreçleri hakkındaki bilgi birikimimizin genişlemesi, çalgı yapımı, ses kaydı ve ses mühendisliği disiplinlerindeki çalışmalara önemli bir destek sağlar.

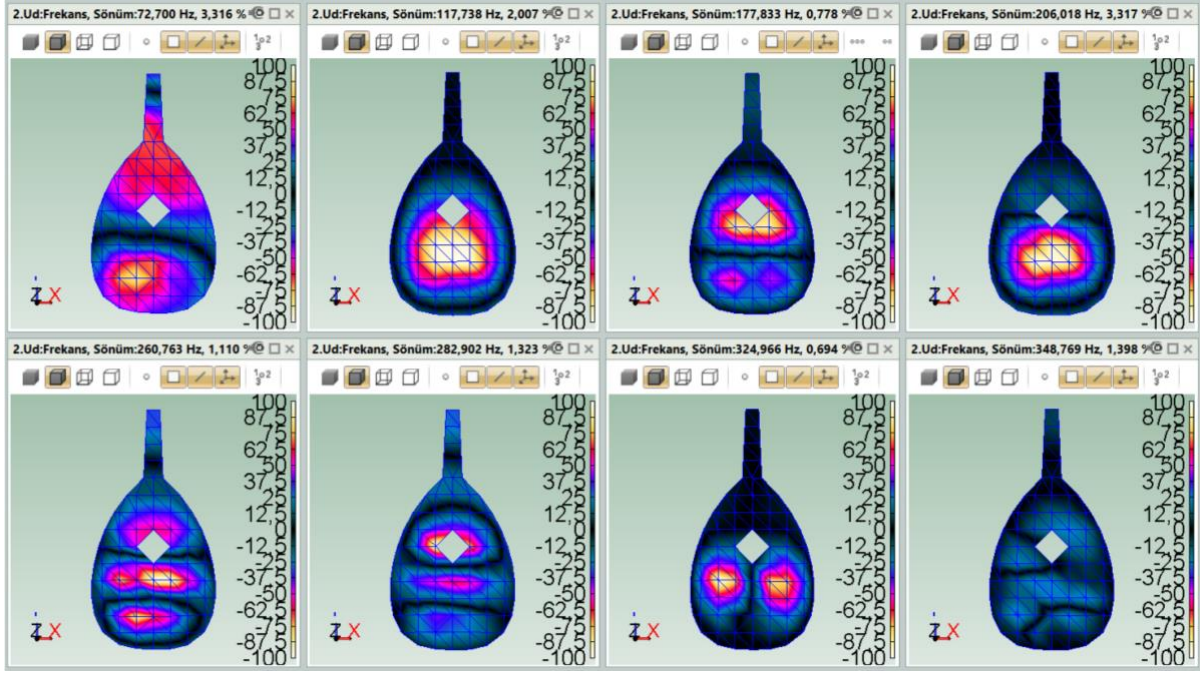
Çalgı akustiği üzerine yapılan incelemeler genellikle deneysel ses ve titreşim analiz yöntemlerini kullanmaktadır. Modal analiz testleri (Bissinger, 1996, 2003; Conte, Moyne, & Ollivier, 2012; Paiva & Dos Santos, 2014), titreşimlerin detaylı ölçüm ve görselleştirme aşamalarında önemli bir role sahipken, ses yayını testleri (Cohen & Rossing, 2003; Curtin, 2009; Perry, 2014; Perry & Richardson, 2014) çalgı titreşimlerinin seslere nasıl dönüştüğü hakkında bilgi sunmaktadır. Ayrıca, çalgıların titreşim ve ses yayını sadece deneysel yöntemlerle değil, Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) gibi matematiksel modellerle de incelenmektedir (Corradi, Liberatore, & Miccoli, 2016; Lu, 2013; Mansour, 2011; Rodgers & Anderson, 2001). Bu teknik, çalgının yapısındaki çok sayıda değişkenin potansiyel sonuçlarını hızla değerlendirmek için önemlidir. Bu deneysel ve teorik analizlerin yanı sıra, çalgı sesinin subjektif boyutunun dinleyiciler tarafından değerlendirildiği psikoakustik çalışmalar, çalgı seslerinin niteliksel tanımlanması bakımından önem taşımaktadır (Geissler, Martner, Zerbs, & Schleske, 2003; Roberts, 2015; Traube, 2004; Wright, 1996).

Çalgıların doğal titreşim ve ses özelliklerini ortaya çıkarmak için yapılan bilimsel araştırmalar, Keman gibi batı müziği çalgılarında üç asırdır devam eden ve halen gelişmekte olan bir sürece sahiptir (Hutchins, 1983). Bununla birlikte, Türk müziği çalgılarına yönelik çalgı akustiği çalışmalarında, titreşim, ses yayılımı ve psikoakustik gibi konuların ele alındığı araştırmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bunlara tanbur (Erkut, Tolonen, Karjalainen, & Valimaki, 1999; Taçoğlu, 1997) ve ud (Değirmenli, 2015, 2018, 2019a, 2019b) ile ilgili çalışmalar örnek verilebilir. Diğer çalışmalar genellikle çalgıların icrası sonucu elde edilen ses analizlerine odaklanmaktadır. Özellikle Türk müziği çalgılarının seslerinin objektif ve niteliksel değerlendirilmesiyle ilgili uygun ilişkileri deneysel ölçümlerle elde edilen nicel verilere dayandıran çalışmalar (Öztorun, 2022) ise yok denecek kadar azdır.

Telli çalgılarda ses oluşumu, tel titreşimlerinin bir eşik yardımıyla ses tablasına ve gövdeye aktarılması, burada güçlendirilerek karakteristik ve duyulabilir bir ses elde etme sürecidir (Wright, 1996: 14). Bu süreçte, ses tablasının doğal titreşim modları büyük bir rol oynar. Bu modların doğal frekansları, mod şekilleri (Şekil 1) ve sönüm değerleri, sesin hem yükseltilmesini sağlar hem de çalgının kendine özgü ses karakterini belirler. Ülkemizde gelişen çalgı akustiği çalışmaları, birçok Türk müziği çalgısında bu tür analizlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte, kısa sürede çok ayrıntılı titreşim ve ses yayılım analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, buradan elde edilen verilerin çalgının tımsı üzerinde ne anlam ifade ettikleri konusundaki belirsizlik devam etmektedir. Bu durum, analizlerle elde edilen grafiklerin niteliksel yorumlarını zorlaştırmakta ve çalgının ürettiği sesin karakteristik özelliklerinin hangi ölçülebilir deneysel faktörlere bağlı olduğunu belirlemeyi güçleştirmektedir.

Bu çalışmada, Türk müziğine özgü telli bir çalgı olan udun titreşim ve ses yayını özellikleri ele alınmış ve bu niteliklerin udun tonal özellikleri ile bağlantısı incelenmiştir. Çalışmanın esas hedefi, örneklem olarak kabul edilen udun titreşim ve ses yayını nitelikleri ile ses özelliklerinin arasındaki bağlantıyı ortaya koymaktır. Bu sayede, ud ve diğer Türk müziği telli çalgılarına ilişkin akustik ve psikoakustik incelemelerden elde edilen sonuçların sistematik bir biçimde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Bu amaca yönelik olarak;

"ud çalgısının titreşim ve ses yayını özellikleri ile ses karakteristiği arasındaki ilişki nasıldır?" araştırma sorusuna yanıt aranmıştır.



Şekil 1. Ud çalgısının ilk sekiz doğal titreşimlerinin mod şekilleri (Değirmenli, 2018: 125)

Çalışma, nicel ve nitel yöntemlerin bir arada kullanıldığı karma araştırma yöntemine sahiptir (Şener, Kılıç, Erkan, Şirin, & Funda, 2009: 246). Araştırmada farklı yapımcılara ait, farklı fiyat seviyelerindeki on adet ud örneklem olarak seçilmiş ve incelenmiştir. Araştırmanın nicel kısmında udların mobilite ve ses yayılım ölçümleri yapılmıştır. Nitel kısmında ise dinleme testi ile çalgı sesinin niteliksel özelliklerini ortaya konması hedeflenmiştir. Son olarak da nicel ve nitel veriler karşılaştırılarak aralarındaki ilişki irdelenmiştir.

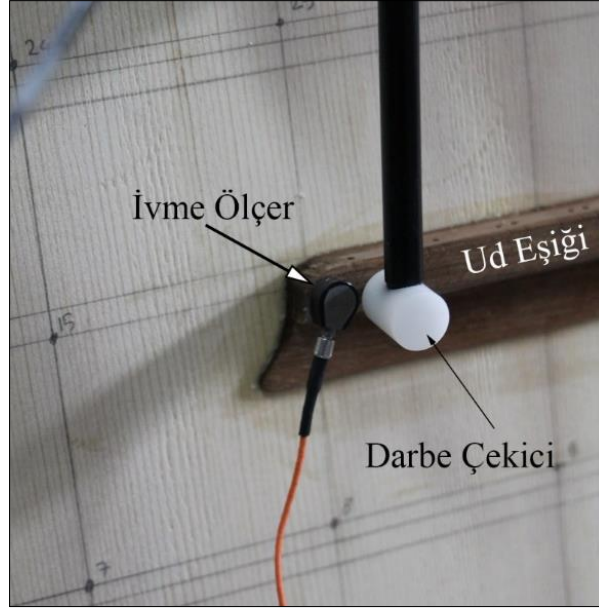
Mobilite analizi

Mobilite analizi, bir sistemin onu uyaran kuvvete karşı verdiği titreşim yanıtının bir ölçüsüdür. Bu tarz ölçümler genellikle çalgı akustiği bağlamında çalgıların eşğine (köprüsüne) uygulanır (Resim 1). Uyarının yapıldığı ve yanıtın ölçüldüğü noktaların, tellerin bağlandığı yere olan yakınlığı son derece önemlidir. Bu, teller ve çalgı gövdesi arasındaki enerji transferi hakkında önemli verilerin toplanmasını sağlar (Alonso Moral & Jansson, 1981, 1982; Elie, Gautier, & David, 2013; Paiva, Ablitzer, Gautier, Secail-Geraud, & Dos Santos, 2016).

Mobilite ölçüm süreci boyunca, frekans tepki fonksiyonları (FRF'ler) elde edilir. FRF, bir sistemin uyarıldığı birim kuvvete yanıt olarak ürettiği titreşimin frekansa bağlı olarak tanımlanmasıdır (Schwarz & Richardson, 1999: 2). Uygulanan kuvvete karşı sistemin buna verdiği yanıt zaman domaininde kaydedilir ve daha sonra hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak frekans domainine çevrilir (Rossing, 2007: 1129). Dolayısıyla, FRF'leri elde etmek için iki kanallı FFT analizörü gereklidir. Bu araştırma için, B&K 3050-A-060 6 kanallı veri toplama modülü, B&K 7781-N6 Pulse Access FFT analizi yazılım programı, B&K 8204 minyatür darbe çekici ve B&K 4517 minyatür ivmeölçer, FRF'leri toplamak amacıyla kullanılmıştır. Ölçüm süreci sırasında, çalgının telleri, tel gerginliğinin sonuçları potansiyel olarak etkileyebileceği düşünülerek doğru bir şekilde akort edilmiştir. Ancak ölçümlerde tel kaynaklı titreşimlerin herhangi bir olumsuz etkisi olmaması için, tüm teller bir parça sünger kullanılarak susturulmuştur.

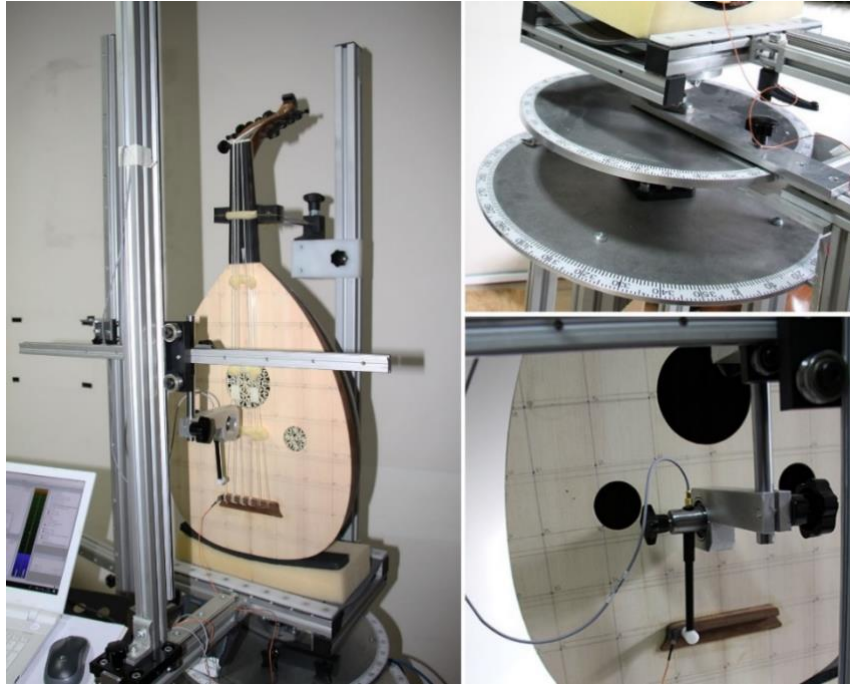
Ses Yayılım Analizi

Ses yayılım analizi, bir çalgının titreşim modlarına ve bunların ses oluşumuna olan katkısına ilişkin öngörüler sağlayan temel bir test yöntemidir. Bu ölçümlerin sonuçları, frekans tepki fonksiyonları biçiminde alınır. Bu işlem sırasında, bir darbe çekici, çalgıyı eşik bölgesinden uyarır ve ardından oluşan ses bir mikrofon aracılığıyla ölçülür. Bu yaklaşım, birim kuvvete bağlı olarak oluşan ses basıncının frekansın bir fonksiyonu olarak belirlenmesini sağlar (Curtin, 2009; Perry, 2014; Tahvanainen, 2012).



Resim 1. Udun eşik mobilitesi ölçümünde darbe çekici ve ivmeölçerin konumları

Bu çalışmada, ses yayılım ölçümleri, yankısız bir oda yerine standart oda ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin bir avantajı, oda duvarlarından yansıyan ses dalgalarını kullanarak, tek bir mikrofona pozisyonuyla ortalama bir yayılım ölçümü elde etme imkanıdır. Ancak, oda modları gibi faktörler ölçümleri olumsuz yönde etkileyebilmekte ve sonuçtaki FRF grafiğinde ekstra piklere neden olabilmektedir. Schleske (2002) bu sorunu çözme önerisi olarak, ölçüm sisteminin ekseni etrafında 10 derecelik artışlarla döndürülmesini ve 36 ölçümün ortalamasının alınmasını önermektedir. Bu amacı gerçekleştirmek için, tüm sistemin 360° dönebilmesine olanak sağlayan bir ölçüm düzeneği kullanılarak ses yayılım ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Resim 2).



Resim 2. Ses yayılım analizi ölçüm düzeneği ve sensörler (Değirmenli, 2018)

Dinleme testi

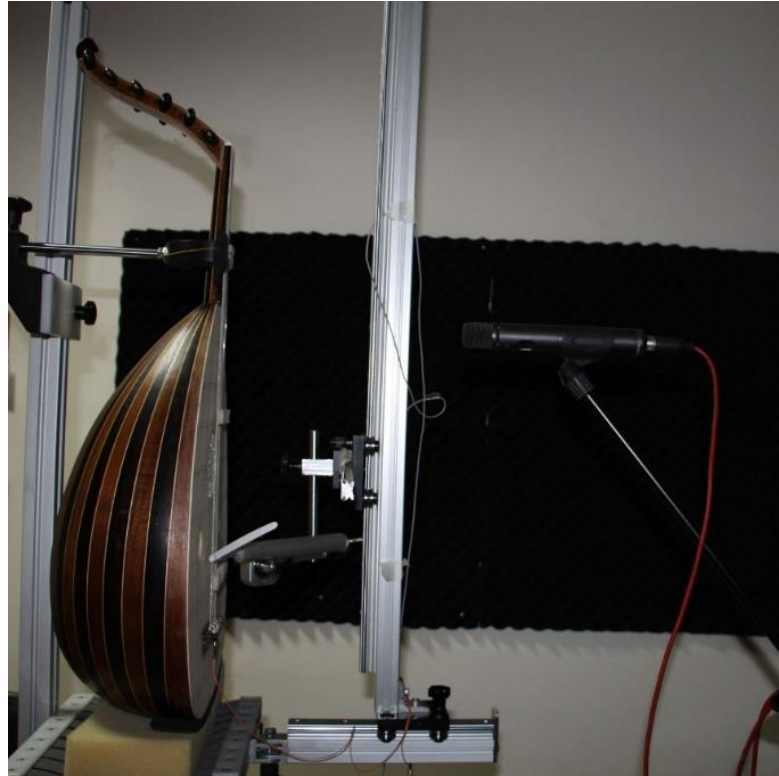
Çalgıların yapımında kullanılan materyal ve tasarımlar, çalgının kendine özgü doğal rezonans ve ses karakterlerini oluşturur. Bu rezonans ve ses niteliklerinin nicel yöntemlerle belirlenmesi ve dokümantasyonu, çalgıların gelişimi açısından öneme sahiptir. Ancak, çalgılardan çıkan seslerin algılanması subjektif bir boyuta sahip olup, sadece fiziksel özelliklerin ötesinde, algısal değerlendirmelerin de yapılması gerekmektedir. Bu tür değerlendirmeler için kullanılan çeşitli psikoakustik teknikler vardır ve bunlardan biri dinleme testidir. Bu nedenle çalışmada, birbirinden farklı özellikteki udların (10 adet) ses özelliklerinin gürlük ve tınsal açıdan karşılaştırılması için dinleme testi yapılmıştır.

Çalışmanın bu aşamasında, müzikal örneklerin sunumunu ve katılımcılardan geri bildirim almayı optimize etmek büyük önem taşır. Geleneksel anket teknikleriyle yapılan değerlendirmelerde, katılımcıların çok sayıda ses örneğini arka arkaya dinlemesi, daha önce dinledikleri örnekleri unutmalarına veya yanlış değerlendirmeler yapmalarına yol açabilir. Bu tür sorunları çözmek adına, literatürdeki benzer çalışmalar gözden geçirilmiş (Ellermeier, Mader, & Daniel, 2004; Geissler et al., 2003) ve Bradley-Terry Luce (BTL) modelinin kullanımına karar verilmiştir.

Geissler et al. (2003) bir keman çalışmasında, müzisyenlerin kemanın ses özelliklerinin değerlendirirken hangi kriterlere önem verdikleri araştırılmıştır. Sonuçlara göre, tonal özellikler ve ses gürlüğü önemli etkenler arasındadır. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde katılımcılara aşağıdaki sorular sorulmuştur:

"Hangi udun sesi size daha gür geliyor?" ve "Hangi udun sesi size daha bas tonlu geliyor?" (Değirmenli, 2018: 125) soruları yöneltilmiştir. Katılımcılar, konservatuvar öğretim üyeleri ve öğrencileri arasından seçilmiştir. Testin başında örnek bir uygulama gerçekleştirilmiş ve katılımcılar bilgilendirilmiştir. Dinleme testi, bir katılımcı için ortalama 25-30 dakika arasında sürmüştür.

Dinleme testinin uygulanması sürecinde, ilk olarak udların açık tellerinin sesleri kaydedilmiştir. Tüm udların eşit koşullarda olmasını sağlamak için, udlar düzeneğe sabitlenmiş, ölçüm alınan teller dışındakiler sünger ile söndürülmüştür. Tellerin hassas akortlama işlemi ölçümden hemen önce düzenek üzerinde yapılmıştır. Daha sonra, bir aparat (Resim 3), telin sabit bir açıda ve hızda mızrapla uyarılabilmesi için tasarlanmış ve bu aparat tarafından uyarılan telden elde edilen ses, 30 cm mesafedeki bir mikrofon yardımıyla kayıt altına alınmıştır.



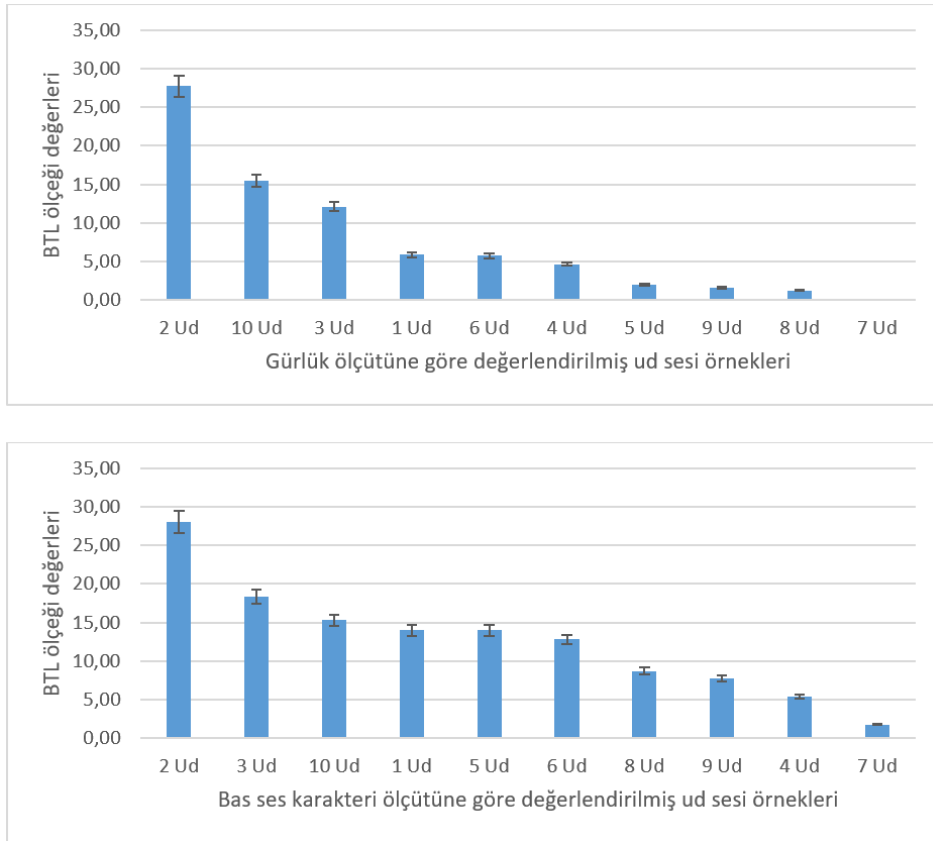
Resim 3. Dinleme testi kayıt düzeneği

StudioOne yazılımı kullanılarak, her mızrap vuruşunun ürettiği sesler, farklı kanallarda 44,1 kHz ve 26 Bit oranında kaydedilmiştir. Bu sesler sonrasında düzenlenip, her bir ud için sıralanarak Wav. dosya formatında kaydedilmiştir. Dinleme testi sürecinde, BTL testinin uygulanış şekline bağlı olarak, ses kayıtlarının çiftler halinde kombinasyonların oluşturulması, bu ses çiftlerinin katılımcılara dinletilmesi ve yanıtların elde edilip bir matris oluşturulması gerekmektedir. Bunun için Excel yazılımında Macro kodları oluşturulmuş, böylece ses çiftlerinin düzenli bir şekilde seslendirildiği ve yanıtların toplandığı bir form geliştirilmiştir. Katılımcı yanıtları otomatik olarak matrise dönüştürülmüş ve Matlab yazılımı kullanılarak BTL modeline göre analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda toplam tercih matrisleri belirlenmiş ve Wickelmaier and Schmid (2004) geliştirdiği işlev sayesinde her udun tercih oranları tespit edilmiştir.

Dinleme testi aşamasında, Audirol UA 25 dış ses kartı, Rode M3 mikrofon ve AKG-240 stüdyo kulaklığı kullanılmıştır.

Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde, ilk olarak dinleme testinden elde edilen bulgular grafik şeklinde en yüksek değerden düşüğe doğru verilmiştir (Şekil 2). Dinleme testi sonuçlarına dayanarak sıralanan udların ses yayılımı ve mobilite analiz sonuçları, aynı grafikte çizilmiş ve yorumlanmıştır.



Şekil 2. Dinleme testi sonuçları (Değirmenli, 2018: 115,116)

Udların tamamı bu değerlendirmeye dahil edilmesine rağmen, tüm ölçümlerin aynı grafikte sunulması, grafik okumayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, çalışmada en güçlü, en zayıf ve orta seviyede (5. sıra) olan udların grafikleri verilmiştir. Bu kapsamda, gürlük kriterine göre 2, 6 ve 7. udlar (Şekil 3) değerlendirilirken, bas ses karakteri kriterine göre yapılacak değerlendirmede 2, 5 ve 7. udlar (Şekil 4) grafikte gösterilmiştir. Buna göre 50Hz - 1kHz frekans aralığındaki ses yayılımı ve mobilite grafikleri incelemesinden elde edilen önemli bulgular aşağıda verilmiştir.

- Yüksek ses gürlüğü ve bas karakteristiklerine sahip ud'ların ses yayılımı grafiklerinde gerçekleştirilen incelemeler, belirli frekans değerlerinden ziyade daha geniş frekans aralıklarında ses yayılımı gösterdiklerini ortaya çıkarmıştır. Bu ud'ların özellikle 120 Hz ve 180 Hz - 220 Hz frekans bölgelerinde yüksek genlikli ses

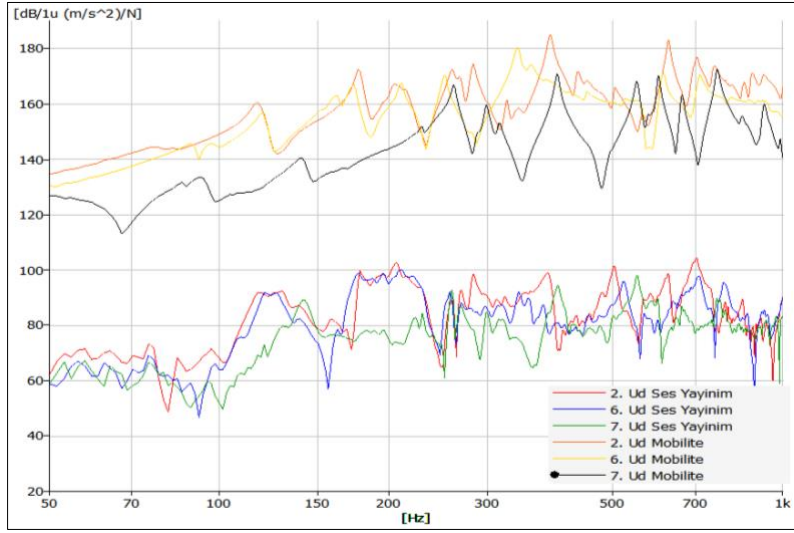
yayımları gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Diğer yandan, düşük ses yoğunluğuna sahip ve bas karakteristikleri zayıf olan 7. ud'un rezonans tepe noktaları, dar ve belirli frekanslara yoğunlaşmıştır. Ayrıca, genlik değerleri de düşük düzeyde seyretmektedir.

- Mobilite analizi sonucu elde edilen verilerin grafik incelemeleri, yüksek ses gürlüğü ve bas karakteristiklerine sahip ud'ların daha yüksek genlikte titreşimler oluşturduğunu ve incelenen frekans bölgesinde daha fazla sayıda tepe değeri ürettiğini belirtmiştir.

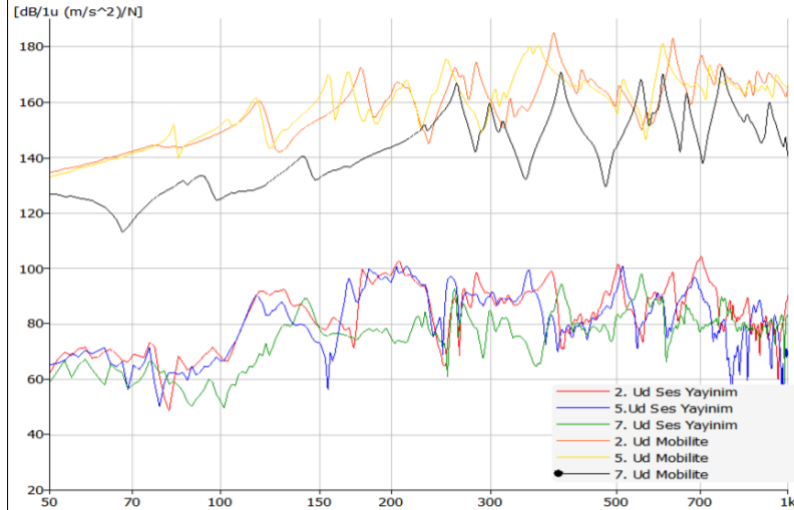
- Yüksek ses gürlüğü ve bas karakteristiklerine sahip ud'ların 700 Hz bölgesinde beklenenden daha yüksek bir genlikle ses yayılımı gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.

- Mobilite analizinden elde edilen grafiklerin incelenmesinde, yüksek ses gürlüğü ve bas karakteristiklerine sahip ud'larda temel rezonans bölgeleri dışında da ara titreşimlerin mevcut olduğu dikkat çekicidir. Bununla birlikte, düşük ses yoğunluğuna sahip ve bas karakteristikleri zayıf olan 7. ud'un rezonans bölgeleri dışında düşük genlikli yan tepe noktalarının olmadığı gözlemlenmiştir.

- Hem ses yayılımı hem de mobilite analiz grafiklerinin incelenmesi sonucunda, ses gürlüğü ve bas ses karakteristiklerine sahip ud'ların grafiklerinin benzerlik gösterdiği, aynı şekilde düşük akustik özelliklere sahip ud'ların grafiklerinde de benzerlikler bulunduğu görülmüştür.



Şekil 3. 2, 6 ve 7. Udların ses yayılımı ve mobilite analiz grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4. 2, 5 ve 7. Udların ses yayılımı ve mobilite analiz grafiklerinin karşılaştırılması

Sonuç

Bu karma yöntemli çalışma, farklı yapımcılara ait ve farklı fiyat aralıklarında seçilen on adet udun mobilite ve ses yayılımı özelliklerini incelemiş ve nicel verilerle psikoakustik değerlendirmeleri bir arada ele almıştır. Ud çalgılarının gürlük ve bas ses karakteri özellikleri ile ses yayılımı ve mobilite eğrileri arasındaki ilişkiyi detaylı olarak inceleyerek, yüksek ses gürlüğü ve bas karakteristiklerine sahip udların geniş frekans aralıklarında ses yayılımı gösterdiklerini ve daha yüksek genlikte titreşimler oluşturdukları görülmüştür. Özellikle 120 Hz ve 180-220 Hz frekans bölgelerinde bu udların yüksek genlikli ses yayılımı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, 700 Hz bölgesinde beklenenden daha yüksek bir genlikle ses yayılımı gerçekleştirdikleri gözlemlenmiştir. Bu araştırmanın sonuçları, ses kalitesini etkileyen niceliksel faktörlerin daha net bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Bu anlayış çalgı yapımcılarına ve ses mühendislerine; bir çalgıdan belirli bir ses kalitesini elde etmek için hangi tasarım, üretim ve mikrofonlama tekniklerinin en uygun olduğunu belirleme konusunda yol gösterecektir. Bununla beraber, bu çalışmanın çalgıların ses kalitesinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması konusunda bilimsel araştırmalara destek olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Alonso Moral, J. & Jansson, E. V. Eigenmodes, Inadmittance, and the Function of the Violin, 58-86, 1981.
- Alonso Moral, J., & Jansson, E. V. Input Admittance, Eigenmodes, and Quality of Violins, 60-75, 1982.
- Bissinger, G. Modal analysis and the dynamic mechanical and acoustical properties of the violin. Proceedings of the 14th International Modal Analysis Conference, Vols I & II, 1996.
- Bissinger, G. Modal Analysis of a Violin Octet. Journal of the Acoustical Society of America, 2003.
- Cohen, D., & Rossing, T. D. The Acoustics of Mandolins. Acoustical Science and Technology, 2003.
- Conte, S. L., Moyne, S. L., & Ollivier, F. Modal Analysis Comparison of two Violins Made by A. Stradivari. Paper presented at the the Acoustics 2012 Nantes Conference, Nantes, Fransa, 2012.
- Corradi, R., Liberatore, A., & Miccoli, S. Experimental Modal Analysis and Finite Element Modelling of a Contemporary Violin. Proceedings of the 23rd International Congress on Sound and Vibration: From Ancient to Modern Acoustics, 2016
- Curtin, J. Measuring Violin Sound radiation using an Impact Hammer. Journal of the Acoustical Society of America, 2009.
- Değirmenli, E. Telli Çalgılarda Ses Tablası Titreşimlerinin Tını Üzerindeki Etkileri - Ud Örneği. Paper presented at the VI. Uluslararası Hisarlı Ahmet Sempozyumu, Kütahya, 2015.
- Değirmenli, E. Türk Müziği Çalgılarından 'Ud'da Ses Oluşumunun İncelenmesi ve Telli Çalgıların Ses Karakteri Açısından Tasarımlarının Belirlenmesine Dair Yöntem Önerisi. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara, 2018.
- Değirmenli, E. Telli Çalgılarda Titreşim Modlarının Ses Oluşumu Üzerindeki Etkileri. Paper presented at the 13. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi, 2019a.
- Değirmenli, E. Telli Çalgılardan Ud'un Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modal Analizi: Vibro-Akustik Modelin Oluşturulmasında Deneysel Verilerin Kullanılması. Paper presented at the 13. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi, Diyarbakır, 2019b.
- Elie, B., Gautier, F., & David, B. Analysis of bridge mobility of violins. Paper presented at the Stockholm Music Acoustics Conference, Stockholm, İsveç 2013
- Ellermeier, W., Mader, M., & Daniel, P. Scaling the Unpleasantness of Sounds According to the BTL Model: Ratio-Scale Representation and Psychoacoustical Analysis. Acta Acustica united with Acustica, 2004.
- Erkut, C., Tolonen, T., Karjalainen, M., & Valimaki, V. Acoustical Analysis of Tanbur, A Turkish Long -Necked Lute. Paper presented at the International Congress on Sound and Vibration, Danimarka, 1999.
- Geissler, P., Martner, O., Zerbs, C., & Schleske, M. Psychoacoustic Investigations On The Possibility Of Aurally Identical Violins. Paper presented at the the Stockholm Music Acoustics Conference, Stockholm, İsveç, 2003
- Hutchins, C. M. A History of Violin Research. Journal of the Acoustical Society of Amerika, 1983.
- Lu, Y. Comparison of Finite Element Method and Modal Analysis of Violin Top Plate. (Unpublished Maste'sThesis). McGill University, Montreal, Kanada, 2013.

- Mansour, H. Numerical and Experimental Modal Analysis of The Setar. *Journal of The Canadian Acoustical Association*, 2011.
- Öztorun, Ü. Bağlama (Saz) Çalgısının Sesini Geliştirmeye Yönelik Bir Öneri. (Yüksek Lisans Tezi). Hatay Mustafa Keman Üniversitesi, Hatay, 2022.
- Paiva, G., Ablitzer, F., Gautier, F., Secail-Geraud, M., & Dos Santos, J. M. C. Measuring the Mobility Matrix at the Bridge of Stringed Instruments by the Wire Breaking Method. Paper presented at the CFA / VISHNO, Franse, 2016.
- Paiva, G., & Dos Santos, J. M. C. Modal Analysis of a Brazilian Guitar Body. Paper presented at the ISMA 2014, Le Mans, France, 2014.
- Perry, I. Sound Radiation Measurements On Guitars And Other Stringed Musical Instruments. (Doktora Tezi). Cardiff University, İngiltere, 2014.
- Perry, I., & Richardson, B. Radiation Efficiency and Sound Field Measurements on Stringed Musical Instruments. Paper presented at the ISMA 2014, Le Mans, Fransa, 2014.
- Roberts, W. H. Physics and Psychophysics of Plucked-stringed Instruments. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Cardiff University, Cardiff, İngiltere, 2015.
- Rodgers, O. E., & Anderson, P. Finite Element Analysis of a Violin Corpus, 2001.
- Rossing, T. D. *Springer Handbook of Acoustics*. New York: Springer Science Business Media, 2007.
- Schleske, M. Empirical Tools in Contemporary Violin Making: Part II. Psychoacoustic Analysis and Use of Acoustical Tools, 2002.
- Schwarz, B. J., & Richardson, M. H. Experimental Modal Analysis. Paper presented at the CSI Reliability Week, Orlando, Florida, 1999.
- Şener, B., Kılıç, Ç. E., Erkan, A. Ö., Şirin, K., & Funda, D. *Bilimsel Araştırma Yöntemleri (Vol. 3)*. Ankara: Pegem Akademi, 2009.
- Taçoğlu, A. Tanburda Kullanılan Ses Tablalarında Rezonans Bölgelerinin İncelenmesi. (Yayımlanmamış Yüksek Mühendislik Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1997.
- Tahvanainen, H. Modelling Body Vibration and Sound Radiation of a Modified Kantele. (Unpublished Master'degree Thesis). Aalto University, Espoo, Fillandiya, 2012.
- Traube, C. An Interdisciplinary Study of the Timbre of the Classical Guitar. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). McGill Üniversitesi, Montreal, Kanada 2004.
- Wickelmaier, F., & Schmid, C. A Matlab function to estimate choice model parameters from paired-comparison data. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 2004.
- Wright, H. The Acoustics and Psychoacoustics of The Guitar. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). University of Wales, Cardif, 1996.

EXAMINING TONAL QUALITIES IN STRINGED INSTRUMENTS UTILIZING VIBRATION AND SOUND RADIATION ANALYSES: THE OUD EXAMPLE

Emir Değirmenli

ABSTRACT

This research investigates the acoustic properties of the oud, an stringed musical instrument , and the relationship of these properties to sound quality. The study analyzed the vibration and sound propagation properties of ten oud samples from various makers and different price levels using quantitative and qualitative methods to characterize the sound. The findings revealed that ouds with loudness and bass characteristics demonstrated high amplitude sound propagation across a broad frequency range. Particularly, it was found that these instruments produced high amplitude sound propagation in the frequency regions of 120 Hz and 180 Hz - 220 Hz. On the other hand, ouds with low sound intensity and weak bass characteristics were seen to have resonance peak points concentrated at very narrow and specific frequencies. It was determined that ouds with high loudness and bass characteristics performed sound propagation with higher amplitude than expected in the 700 Hz region, and that even outside the fundamental resonance regions, there were vibrations present in these instruments, though at lower amplitudes. This data allows us to evaluate the factors affecting the sound quality and performance of the instrument from a broader perspective. Consequently, with the acoustic and psychoacoustic analyses conducted on the oud, it has been demonstrated that there is a significant relationship between the sound characteristics of the instruments and objective measurement methods, and it has been emphasized that sound propagation properties should be carefully focused on in instrument making and acoustics research. By providing important information about the acoustic design and performance of all stringed instruments, this study aims to lay a significant foundation for future research and production processes.

Keywords: Stringed instruments, oud, Sound radiation, Timbre, Psychoacoustics, Instrument making, Modal Analysis