

“TELLİ ÇALGILARIN AKUSTİĞİ” KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALARIN İÇERİK ANALİZİ VE KURAMSAL YAPILARININ İRDELENMESİ*

• Dr. Öğr. Üyesi Filiz GÜRER YÜCEL**

ÖZET

Bu araştırma; telli çalgıların akustiği konusunda Türkiye’de yapılan çalışmaları farklı parametreler açısından çözümlemek ve bu çalışmalarda kuramsal açıdan değinilmeyen noktaları, akustik prensipler çerçevesinde açıklamak amacıyla yapılmıştır. Nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseniyle yürütülen bu araştırmanın verileri, doküman inceleme yoluyla toplanmıştır. Bu kapsamda tespit edilen çalışmalar, içerik analizi ile kategorileştirilerek sunulmuş ve disiplinlerarası bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. İçerik analizinde oluşturulan kategoriler şu şekildedir: incelenen telli çalgı, tasarım yapılan bölge, tasarım sonrasında ölçülen fiziksel büyüklükler ve yapılan tasarımlar. Araştırmanın sonunda; makalenin konusuyla ilgili olduğu düşünülen 17 bilimsel çalışmanın yapıldığı, yapılan bu çalışmalarda en çok ele alınan telli çalgının bağlama olduğu ve farklı tasarımların en çok ses tahtası üzerinde denendiği tespit edilmiştir. Yapılan tasarımlardan sonra en çok; frekans spektrumu, mod frekansları ve sönüm süresi gibi akustik özelliklerin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Çalışmalarda kuramsal açıdan eksik görülen noktalar hem müzik hem de fizik disiplinleri açısından detaylıca açıklanmıştır. Türkiye’deki araştırmacılar için çalgı akustiğinin yeni bir çalışma alanı olduğu belirlenmiş ve özellikle Türk müziği çalgılarının akustik açıdan belli bir standarda ulaşabilmeleri için bu alanda yapılacak çalışmaların önemli olduğunun altı çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çalgı tasarımı, Müzik fiziği, Çalgı akustiği, Tellî çalgılar, Organoloji.

* Bu makale, 13-14 Ekim 2023 tarihinde gerçekleşen "6. International Ankara Multidisciplinary Studies Congress" te sunulmuş sözlü bildirinin genişletilmiş halidir.

** Ankara Müzik ve Güzel Sanatlar Üniversitesi, Müzik Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Çalgı Teknolojileri Bölümü, Çalgı Teknolojileri Anabilim Dalı, filizyucel@mgu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1200-0652

CONTENT ANALYSIS AND EXAMINATION OF THEORETICAL STRUCTURES OF STUDIES ON "ACOUSTICS OF STRINGED MUSICAL INSTRUMENTS"*

• Asst. Prof. Dr. Filiz GÜRER YÜCEL**

ABSTRACT

This research has been conducted with the aim of analyzing the studies conducted in Turkey on the acoustics of stringed musical instruments from different parameters and explaining the points not addressed theoretically in these studies within the framework of acoustic principles. The data of this research, conducted through a case study design among qualitative research methods, were collected through document analysis. In this regard, the identified studies were presented by categorizing them through content analysis and evaluated with an interdisciplinary perspective. The categories formed in content analysis are as follows: the examined stringed musical instrument, the area where the design crafted, the physical quantities measured after design, and the designs made. At the end of the research, it was determined that 17 scientific studies related to the subject of the article were conducted, in which the most studied stringed instrument was the baglama, and different designs were mostly tested on the soundboard. After the designs, it is mostly investigated how the acoustic properties such as frequency spectrum, mode frequencies and damping time change. The theoretical deficiencies in the studies are explained in detail in terms of both music and physics disciplines. It has been determined that instrument acoustics is a new research area for researchers in Turkey, and it has been emphasized that studies in this field are important, especially for Turkish musical instruments to achieve a certain standard acoustically.

Keywords: Musical instrument design, Physics of music, Musical instrument acoustics, Stringed musical instruments, Organology.

* This article is an extended version of the oral presentation delivered at the ' 6th International Ankara Multidisciplinary Studies Congress' held on October 13-14,2023.

** Ankara Music and Fine Arts University, Faculty of Music Sciences and Technologies, Department of Musical Instrument Technologies, Musical Instrument Technologies Division, filizyucel@mgu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1200-0652

1. GİRİŞ

Ülkemizdeki çalgı yapımcılığı, büyük oranda usta-çırak ilişkisi şeklinde gelişen ve bu yolla da sonraki nesillere aktarılan bir meslek ya da bir uğraş olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir çalgı yapımcısı, ustasından edindiği bilgi ve deneyimlere, kendi yeteneğini de ekleyerek çalgı yapım sürecine katkıda bulunur. Alanında isim yapmış her çalgı yapımcısının kendine has bir tarzı vardır. Buna rağmen çalgılar fabrikasyon olarak değil de, el yapımı şeklinde üretildiği için aynı yapımcının ürünü olsalar dahi, çalgılar arasındaki ses birliği hala tam olarak sağlanamamıştır.

Çalgıların ses kalitesini iyileştirmeye yönelik arayışlar yıllardan beri hep olmuştur. Bu türden girişimler bazen yapımcının kendi bireysel çabaları, bazen de icracıların yönlendirmesiyle şekillenmiştir. Ancak bilimsel bir zemine oturtulmadan yürütülen çoğu deneysel çalışma, yeteri kadar başarılı olamamıştır.

Müziksel akustik, çalgıların ses üretim ve yayılım süreçlerini inceleyen disiplinlerarası bir bilim dalıdır. Yurt dışında bu alanla ilgili yapılan bilimsel çalışmaların başlangıcı yaklaşık olarak 18.yy'a dayanmaktadır. O tarihten günümüze kadar başta keman olmak üzere batı müziği çalgıları üzerine pek çok bilimsel araştırma yapılmıştır. Ülkemizde ise müziksel akustiğin, bilimsel camiada daha yeni yeni kendine yer edinmeye başladığı bilinmektedir (Gürer Yücel, 2023-a).

Genel olarak telli, nefesli, vurmali ve elektronik olarak sınıflandırılan çalgılar (Raichel, 2006: 522), birbirinden farklı fiziksel prensiplere dayalı olarak ses üretirler. Bu prensipler; çalgıların tasarımları ve yapıldıkları malzemelerle birlikte çalgıdan üretilen sesin tınısını belirler. Farklı yapıdaki çalgılarda farklı ses oluşum ve yayılım süreçleri meydana geldiği için telli, nefesli, vurmali ve elektronik çalgıların akustiği, birbirinden farklı detaylar içermektedir. Bu türlü bilimsel detayların doğru anlaşılması, gerek yeni çalgıların tasarlanması gerekse var olan çalgıların ses kalitelerinin artırılması anlamında büyük önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda bu makale; telli çalgıların tasarım¹ sürecinde ortaya konan farklılıkların, çalgının sesine olan etkilerini araştırarak Türkiye'deki bilimsel çalışmalara odaklanmıştır. Bu kapsamda; yapılan çalışmaların neler olduğu, ne tür tasarımların yapıldığı ve bu çalışmalardan elde edilen bulguların çalgı akustiği literatürüyle ne oranda ilişkilendirildiği araştırılmıştır.

¹ Burada yer alan tasarım kavramı; hem çalgıların belli bir bölgesinde meydana getirilen yapısal (geometrik) değişiklikleri hem de çalgı yapımında farklı malzemelerin kullanımını ifade etmektedir. Çalgıların var olan akustik özelliklerini tespit etmeye ya da belli bir yöntemi tanıtmaya yönelik yapılan çalışmalar, kapsam dışı bırakılmıştır

1.1. Müziksel Akustikte Kullanılan Temel Kavramlar

Bu kısımda, makalede sıkça sözü edilen temel akustik kavramlar kısaca açıklanmıştır.

Periyot kavramı genel olarak herhangi bir hareketin tamamlanması için geçen toplam süre olarak ifade edilse de, titreşim hareketinde ses basıncının birbirini izleyen en büyük iki değeri arasında geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Kısaca *T* ile gösterilen periyodun birimi saniyedir. Periyodun çarpmaya göre tersi olan ve bir saniyedeki titreşim sayısını ifade etmek için kullanılan *frekans* kavramının birimi ise Hertz'dir ve kısaca Hz olarak gösterilir (Gürer Yücel, 2014: 7). Titreşim hareketinde, titreşen parçacığın denge konumuna göre bulunabileceği en büyük uzaklık *genlik* ve ortamda yayılırken ses dalgalarının aynı basınca sahip olan art arda iki noktası arasındaki uzaklık ise *dalga boyu* olarak tanımlanmaktadır (Kurra, 2009: 8-12). Genliğin ve dalga boyunun birimi metredir.

Herhangi bir fiziksel sistem, denge konumundan uzaklaştırıldıktan sonra serbest bırakılırsa ortaya çıkan titreşim hareketi *serbest titreşim* olarak adlandırılır. Serbest titreşen sistemin frekansına *doğal frekans* adı verilir (Özgüven, 2008: 211-216). Fiziksel sistemlerin birden fazla doğal frekansları olabilir. Salıncakta kendi halinde sallanan kişi, serbest titreşime bir örnektir.

Bir fiziksel sistem, denge konumundan uzaklaştırıldıktan sonra serbest bırakılmayıp bir dış kuvvetin etkisi altında periyodik olarak titreştirilirse ortaya çıkan bu ikinci tür titreşim hareketi, *zorlanmış titreşim* olarak adlandırılır². Bu titreşim türünde, fiziksel sistem kendi doğal frekansında değil, sisteme etki eden dış kuvvetin frekansında salınır. Salıncaktaki kişiyi bir başka kişi periyodik olarak sallarsa, bu bir zorlanmış titreşim örneği olur. Eğer zorlanmış titreşim hareketinde sisteme etki eden dış kuvvetin frekansı, sistemin doğal frekanslarından birine eşit olursa zorlanmış titreşimin özel bir durumu olan *rezonans* olayı meydana gelir. Bu özel titreşimde, titreştirilen sistemin genliği çok büyük değerler alabilmektedir³. Rezonans olayı, sistem kendi doğal frekanslarında titreştirildiğinde meydana geldiği için doğal frekanslar, *rezonans frekansı* olarak da ifade edilmektedir.

Bir fiziksel sistem (örneğin telli bir çalgı) kendi doğal frekanslarının birinde titreştirildiğinde, yapı üzerinde özel titreşim şekilleri meydana gelmektedir. *Mod şekli* (*mode shape*, *modal shape*) olarak adlandırılan bu şekiller, yapı üzerindeki her noktanın nasıl hareket ettiğini açıklamaktadır. Mod şekilleri, titreşen yapılar için benzersiz ve özeldir. Mod şekillerinin gözlendiği frekanslar, mod frekansı ya da modal frekans olarak da ifade edilebilmektedir (Rossing, 2010: 22).

² Konuya ilişkin detaylı bilgi için bkz. Özgüven, 2008: 221.

³ Konuya ilişkin detaylı bilgi için bkz. Halliday, Resnick ve Walker, 2017:456-458.

Durağan (kararlı) dalgaların görüldüğü bir titreşim hareketinde, yer değiştirmenin sıfır olduğu noktalara *düğüm noktaları (node)*, maksimum olduğu noktalara ise *karın noktaları (antinode)* adı verilir⁴.

Titreşen bir sistemi titreştirmeye devam ettiren sürekli bir enerji kaynağı olmadığında, titreşimin enerjisi zamanla azalır ve bir süre sonra biter. Bu durum, *sönümlenme (damping)* olarak adlandırılır. Titreşen tellerin sönümlenmesi, genel olarak üç farklı kayıp mekanizmasına bağlanabilir: (1) hava sönümlenmesi, (2) iç sönümlenme ve (3) enerjinin diğer titreşen sistemlere aktarılması. Bu mekanizmalardan kaynaklanan sönümlenme, frekansa göre değişecektir (Fletcher ve Rossing, 1991: 50). Sönümlenme aynı zamanda, bir sistemdeki aşırı titreşimleri kontrol altına almak, istenmeyen titreşimleri azaltmak veya sistemdeki istenmeyen dalgalanmaları engellemek için yapılan işlemlerdir.

Desibel kavramı, bazı kaynaklarda her ne kadar ses şiddetinin ya da ses basıncının birimi olarak yanlış ifade edilse de, gerçekte iki büyüklüğün birbirine oranını gösterdiği için bir birim değildir. Adını Alexander Graham Bell'den alan bu kavram, verilen iki büyüklüğün oranının logaritmasının 10 katı olarak tanımlanır (Özgüven, 2008: 5). Müziksel akustikte ses basınç düzeyi, ses şiddet düzeyi ya da ses gücü düzeyi hesaplarında, verilen büyüklüklerin referans değerlere oranlarının alınması için kullanılır. 1 desibel (dB), 1 *bel* (B) olarak adlandırılan büyüklüğün onda birine eşittir. Bir başka deyişle; 1 bel, 10 desibele eşittir (1B = 10dB). Desibel ile ifade edilen büyüklüklere *düze*y adı verilir. Ses şiddeti düzeyi ya da ses basınç düzeyi gibi.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'de, telli çalgıların tasarım sürecinde ortaya konan yapısal farklılıkların, sese olan etkilerini araştıran çalışmaları belirlemek ve bu çalışmalarda kuramsal açıdan değinilmeyen ya da eksik bırakılan noktaları müzik fiziği penceresinden disiplinlerarası bir yaklaşımla irdelemektir. Bu doğrultuda, araştırma kapsamında aşağıdaki soruların cevapları aranmıştır:

1. Telli çalgıların tasarım sürecinde ortaya konan yapısal farklılıkların çalgının sesine olan etkilerini araştıran çalışmalar nelerdir?
2. Tespit edilen çalışmalarda hangi telli çalgılarla çalışılmıştır?
3. Tespit edilen çalışmalarda, çalgılarda tasarımın yapıldığı bölgeler (çalışmalardaki bağımsız değişkenler) nelerdir?
4. Tespit edilen çalışmalarda, yapılan tasarımlar sonrasında çalgıların hangi özellikleri ölçülmüştür (çalışmaların bağımlı değişkenleri nelerdir?)

⁴ Konuya ilişkin detaylı bilgi için bkz. Serway ve Beichner, 2015: 551.

5. Tespit edilen çalışmalarda yapılan tasarımlar nelerdir?

1.3. Araştırmanın Önemi

Çalgı akustiği üzerine Türkiye’de yapılan çalışmalar 2000’li yıllardan itibaren yapılmaya başlansa da, dünya literatüründeki tarihi oldukça eskidir. Bilindiği gibi akustik bilimi, fizik ve müzik disiplinlerinin ortak konusudur. Bu nedenle, çalgılar her ne kadar müzik aleti olsalar da sesin oluşum ve yayılım süreçlerini doğru anlamak ve çalgılardan elde edilen sese hükmedebilmek için fizik biliminden de faydalanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada listelenen çalışmaların çoğunun birer tespit çalışması niteliği taşıdığı, çalışmalarda akustik teori açısından değinilmeyen ve yeteri kadar açıklanamayan noktaların olduğu görülmüştür. İçerdiği kapsamlı analiz ve değerlendirmeler sayesinde bu makalenin, gerek bu çalışmaları yapanların gerekse ilerde benzer çalışmalar yapacak olanların faydalanabileceği bir Türkçe kaynak olacağı düşünülmektedir.

2. YÖNTEM

Makalenin bu bölümünde; araştırmanın desenine, kapsamına, veri toplama araçlarına ve verilerin nasıl analiz edildiğine dair bilgilere yer verilmiştir.

2.1. Araştırmanın Deseni

Bu araştırma, nitel araştırma desenlerinden durum çalışması desenine örnektir. Durum çalışması (case study) bir olay, durum ya da konuyla ilgili nasıl ve niçin sorularının cevaplarını ararken tercih edilen ayırt edici bilimsel bir yaklaşımdır (Büyüköztürk vd., 2008: 267).

2.2. Araştırmanın Kapsamı

Araştırma verilerinin temini için *TÜBİTAK Destekli Projeler Veri Tabanı ve Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi*’nin veri tabanı kullanılmıştır. Arama bölmesine şu anahtar kelimeler tek tek yazılarak veri tabanlarında taratılmıştır: bağlama, keman, viyola, kontrbas, viyolonsel, çello, kemençe, gitar, ud, kanun, saz, basgitar, mandolin, tanbur, tambur, tar, cümbüş, arp. Telli çalgıların tasarım sürecinde ortaya konan yapısal farklılıkların, çalgının sesini nasıl etkilediğini araştıran toplam 17 bilimsel çalışma tespit edilmiştir. Bu makalede yapılan değerlendirmeler, bu 17 bilimsel çalışma ile sınırlıdır.

2.3. Veri Toplama Araçları

Araştırmanın verileri, nitel çalışmalarda sıklıkla kullanılan doküman inceleme yoluyla elde edilmiştir. Doküman inceleme, araştırılmak istenen konuyla ilgili bilgiler içeren

yazılı materyallerin derinlemesine analiz edilmesidir. Var olan pek çok dokümandan hangilerinin veri kaynağı olarak kullanılacağına karar verirken, araştırmanın problem cümlesi dikkate alınır (Yıldırım ve Şimşek, 2006: 188).

2.4. Verilerin Analizi

Doküman inceleme yoluyla elde edilen veriler, içerik analizi yapılarak çözümlenmiştir. İçerik analizi, veri kümesi içinde saklı olabilecek gerçeklerin varlığını belirlemeye yönelik objektif ve sistematik bir şekilde uygulanan bir analizdir (Büyüköztürk vd., 2008: 263). Araştırmanın her bir problem cümlesi için elde edilen analiz sonuçlarına, bulgular kısmında yer verilmiş ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Makalenin bu bölümünde, araştırmanın her bir alt amacı için elde edilen bulgulara yer verilmiştir. İlk dört problem cümlesine ait bulgular sayısal olarak tablolar halinde sunulurken, beşinci problem cümlesinin bulguları sözel olarak detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1. Birinci Alt Probleme Ait Bulgular

Araştırmanın birinci alt problemi; “Telli çalgıların tasarım sürecinde ortaya konan yapısal farklılıkların çalgının sesine olan etkilerini araştıran çalışmalar nelerdir?” şeklinde ifade edilmiştir. Bu kapsamda tespit edilen çalışmaların listesi Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. *Araştırma konusuyla ilgili tespit edilen çalışmaların listesi.*

No	Çalışmanın adı
1	Öztorun, 2022
2	Güdek, 2019
3	Çiçekçioğlu, 2017
4	Alp, 2018
5	Demir, 2002
6	Erdiş, 2006
7	Yılmaz, 2002
8	Özcan, 2009
9	http 1
10	Güzey, 2014
11	Güzey, 2019
12	Kurt, 2022
13	Yurteri, 2022
14	Değirmenli, 2014
15	Ömeroğlu, 2020
16	Çıkrıkçioğlu, 2021
17	Bozkır, 2002

Tablo 1 incelendiğinde, araştırma konusuyla ilgili olarak toplam 17 tane bilimsel çalışmanın yapıldığı; bunların 16'sının lisansüstü tez ve bir tanesinin de TÜBİTAK projesi (No:9) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca literatüre kazandırılan ilk çalışmaların, 2002 yılında yayımlandığı görülmüştür.

3.2. İkinci Alt Probleme Ait Bulgular

Araştırmanın ikinci alt problemi; “Tespit edilen çalışmalarda hangi telli çalgılarla çalışılmıştır?” şeklinde ifade edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar üzerinden yapılan içerik analizi sonucunda bu alt amaç için elde edilen bulgular Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. *Tespit edilen çalışmaların telli çalgı çeşidine göre dağılımı.*

Telli çalgı çeşidi	No	n*	%
Bağlama	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 16, 17	9	52,94
Keman	10, 11, 12	3	17,64
Kanun	7, 15	2	11,76
Tar	8	1	5,88
Kemençe	13	1	5,88
Ud	14	1	5,88
Toplam		17	100

*n: sayma sayısı

Tablo 2’den de görüldüğü gibi, yapılan çalışmaların yarısından fazlasında bağlama çalgısına yer verildiği tespit edilmiştir (%52,94; n=9). Çalışmaların diğer yarısını ise keman (%17,64; n=3), kanun (%11,76; n=2), tar (%5,88; n=1), kemençe (%5,88; n=1) ve ud (%5,88; n=1) üzerine yapılan çalışmaların oluşturduğu belirlenmiştir.

3.3. Üçüncü Alt Probleme Ait Bulgular

Araştırmanın üçüncü alt problemi; “Tespit edilen çalışmalarda, çalgılarda tasarımın yapıldığı bölgeler (çalışmalardaki bağımsız değişkenler) nelerdir?” şeklinde ifade edilmiştir. Bu alt problem için elde edilen veriler Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. *Tespit edilen çalışmaların tasarımın yapıldığı bölgelere göre dağılımı.*

Tasarımın yapıldığı bölgeler	No	n	%
Ses Tahtası	2, 6, 7, 10, 13, 14, 15, 16, 17	9	52,94
Köprü	3, 5, 12	3	17,64
Rezonatör (Tekne)	4, 9	2	11,76
Sap	1, 8	2	11,76
Aksesuar	11	1	5,88
Toplam		17	100

Tablo 3'te yer alan veriler incelendiğinde, telli çalgıların en çok ses tahtası kısmında farklı tasarımların denendiği; diğer bir deyişle telli çalgılarda en çok ses tahtası üzerinde yapılan farklılıkların sese olan etkilerinin araştırıldığı görülmüştür (%52,94; n=9). Bunun dışında köprü (%17,64; n=3), rezonatör (%11,76; n=2), sap (%11,76; n=2) ve çalgı aksesuarı (%5,88; n=1) üzerine çalışmaların yapıldığı da belirlenmiştir.

3.4. Dördüncü Alt Probleme Ait Bulgular

Araştırmanın dördüncü alt problemi; “Tespit edilen çalışmalarda, yapılan tasarımlar sonrasında çalgıların hangi özellikleri ölçülmüştür? (çalışmaların bağımlı değişkenleri nelerdir?)” şeklinde ifade edilmiştir. Bu alt problem için yapılan içerik analizinden elde edilen bulgulara, Tablo 4'te yer verilmiştir.

Tablo 4. Tespit edilen çalışmaların ölçülen özelliklere göre dağılımı.

Ölçülen özellikleri	No	n	%
Frekans spektrumu	2, 3, 4, 5, 10, 11	6	20,68
Mod frekansları	9, 13, 14, 15, 16	5	17,24
Sönüm süresi	3, 4, 5, 6, 14	5	17,24
Ses şiddeti	1, 3, 6	3	10,34
Ses şiddeti düzeyi	7, 13, 17	3	10,34
Ses yayılımı	1, 9, 12	3	10,34
Mod şekli	9, 14	2	6,89
Ses yönelimi	9	1	3,44
Ergonomi	8	1	3,44
Toplam		29	100

Tablo 4'te yer alan bulgular doğrultusunda, telli çalgıların akustiği üzerine yapılan çalışmalarda en çok frekans spektrumu (%20,68; n=6), mod frekansları (%17,24; n=5) ve sönüm süresi (%17,24; n=5) değerlerinin ölçüldüğü görülmüştür. İkincil olarak ise ses şiddeti (%10,34; n=3), ses şiddeti düzeyi (%10,34; n=3) ve ses yayılımı (%10,34; n=3) değerlerinin tespit edildiği belirlenmiştir. Ölçülen özelliklerin sayısının 17'den fazla olması, bazı çalışmalarda birden fazla özelliğin ölçüldüğünü göstermektedir.

3.5. Beşinci Alt Probleme Ait Bulgular

Araştırmanın beşinci ve son alt problemi; “Tespit edilen çalışmalarda yapılan tasarımlar nelerdir?” şeklinde ifade edilmiştir. Bu alt problem için elde edilen veriler, aşağıda sözel olarak sırasıyla açıklanmıştır. Bu açıklamaların daha anlaşılabilir bir şekilde yapılabilmesi için çalışmalar, tasarımların yapıldığı bölgeye göre ses tahtası, köprü, rezonatör ve sap kategorileri altında gruplandırılmıştır.

Ses Tahtası

Literatürde, bağlamanın ses tahtasına kemandaki bas çubuğuna benzer çıtalar ekleyerek sese olan etkilerini araştıran iki çalışma yer almaktadır. İlk çalışmada, ses tahtasına hem balkon çıtalar eklenmiş hem de kemandaki f-deliklerine benzer ses delikleri açılmıştır. Ortaya konan bu farklılıkların, ses şiddetini arttırdığı bildirilmiştir (Erdiş, 2006). Diğer çalışmada ise ses tahtasına yine balkon çıtalar eklenmiş ve ek olarak daire şeklinde bir ses deliği açılmıştır. Bu yapısal değişikliklerin, bağlamanın bas seslerini daha da ön plana çıkardığı ve tını üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir (Güdek, 2019). Bağlamada olduğu gibi ud çalgısında da balkon sisteminin etkisini araştıran bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada yükseklikleri farklı olan altı balkon çıtasının, udun ses tahtasının doğal frekanslarına, mod şekillerine ve sönüm sürelerine olan etkileri incelenmiştir. Her bir ses tahtası tekneye yapıştırıldıktan ve ud tellendikten sonra alınan ses kayıtlarında, uzun tınlama süresine sahip olan ses tahtalarının hem çalgının sesinin uzun süreli tınlamasında hem de harmoniklerin daha güçlü duyulmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Değirmenli, 2014).

Ses tahtası üzerinden yürütülen ikinci tür çalışmalarda, farklı malzeme kullanımının ön plana çıktığı dikkat çekmektedir. Bağlamanın hem ses tahtası hem de teknesinde farklı ahşap malzemeler kullanılarak farklı tınlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu anlamda, kullanılan malzemelerin farklılaşmasıyla frekans spektrumunun değiştiği belirlenmiştir (Bozkır, 2002). Bağlama üzerinden yürütülen bir diğer çalışmada ise kompozit nomex honey comb yapı malzemesi denenmiş ve bu yapı malzemesinin doğal frekanslar üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Çıkrıkçıoğlu, 2021).

Telli çalgıların ses tahtasında farklı malzeme kullanımının sese olan etkilerinin araştırıldığı çalışmalar içinde bağlama dışında çalgılar da bulunmaktadır. Örneğin bir çalışmada, klasik kemençenin ses tahtasının yapımında kullanılan odun örneklerine kimyasal modifikasyon işlemi uygulanmıştır. Bu modifikasyonun, kemençeden elde edilen seslerin gürlüğü artırdığı ifade edilmiştir (Yurteri, 2022). Viyola için yapılan bir çalışmada ise çalgının sadece arka kapakları farklı ağaçlardan imal edilmiştir. Arka kapağı kavak ağacından yapılan viyoladan bas karakterli ve yumuşak bir ton elde edilirken akça ağacından yapılan viyoladan ise sert, parlak ve daha gür bir ton elde edildiği belirtilmiştir (Güzey, 2014).

Kanun çalgısının ses tahtası için iki çalışma yapılmıştır. İlkinde, dört farklı kalınlıkta üretilen ses tahtalarının ses şiddeti düzeylerine olan etkileri araştırılmıştır. Ses kayıtlarının incelenmesi sonucu, en uygun harmonik dağılımın 3.5mm kalınlıkta elde edildiği tespit edilmiştir (Yılmaz, 2002). İkinci çalışmada ise kanunun ladin ve çınar ağacından

yapılan ses tahtasının mod frekansları hem deneysel hem de sayısal model üzerinden elde edilmeye çalışılmıştır. Sayısal modelde malzeme özellikleri değiştirilerek üç farklı malzeme için doğal frekanslar tespit edilmiştir. Son olarak ise yine sayısal model üzerinde, merkezde bir delik ve merkez etrafında üç delik olmak üzere gerçekleştirilen iki yeni tasarımın sese olan etkileri incelenmiştir. Üzerinde bir delik olan ses tahtasının daha fazla doğal frekans içerdiği görülmüştür (Ömeroğlu, 2020).

Köprü

Köprüde meydana getirilen yapısal bir farklılığın çalgının sesine olan etkisini araştıran üç çalışmadan ikisi, bağlama üzerinedir. İlk çalışmada, geleneksel yapıya alternatif olarak altın orana göre bir bağlama imal edilmiştir. Bu oranlar doğrultusunda köprünün (alt eşğin), ses tahtasının merkezine daha yakın konumlandığı ve boyunun değiştiği bildirilmiştir. Bu farklılıklar neticesinde harmoniklerin daha belirgin tınladığı, sönüm süresinin uzadığı ve ses yüksekliğinin arttığı ifade edilmiştir (Çiçekçioğlu, 2017).

Bağlamanın telleri, köprü üzerinden geçtikten sonra tekne bitiminde yer alan ve tel takacağı olarak adlandırılan bir parçaya bağlanır. Oysa gitar ve ud gibi telli çalgılarda teller köprüye bağlanır. Bu yapısal farklılık bir çalışmada bağlama için de denenmiş ve sonrasında tellerin titreşim sürelerinin iki kat arttığı, harmoniklerin belirginleştiği ve bağlamanın daha bas bir karakter kazandığı görülmüştür (Demir, 2002). Modifikasyona uğratılan akçaağaç odun örneklerinden imal edilen köprülerin, kemanın ses yayılımına olan etkilerinin araştırıldığı çalışmada ise anlamlı bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir (Kurt, 2022).

Rezonatör (Tekne)

Rezonatör üzerine iki çalışma yapılmıştır ve ikisi de bağlama üzerinedir. İlkinde rezonatör büyüklüğünün, ikincisinde ise rezonatör formunun sese olan etkileri incelenmiştir. Rezonatörü büyük olan bağlamadan daha pes seslerin ortaya çıktığı ve kalın tellerin sönüm sürelerinin uzadığı bildirilmiştir (Alp, 2018). Diğer çalışmada ise, formları farklı olan beş bağlama rezonatörü sayısal olarak modellenmiştir. Deneysel ve sayısal modal analiz çalışmalarıyla model doğrulanmıştır. Her bir bağlamanın doğal frekansları, mod şekilleri, ses yayılım ve yönelim özellikleri tespit edilmiştir. Araştırmanın sonunda, rezonatör formunun bağlamanın akustik özelliklerini etkilediği ve bağlamada yönlü yayılımın başladığı kritik frekans değerinin bulunduğu belirtilmiştir ([http 1](http://1)).

Sap

Telli çalgıların sap kısımlarında farklı tasarımların denendiği iki çalışma bulunmaktadır. Biri tar, diğeri de bağlama için denenmiştir. Tarın abanozdan yapılan sap kısmı hem

küçük çanağın üzerine gelecek şekilde uzatılmış hem de inceltilmiştir. Bu sayede icranın kolaylaştığı ve sap atmasının önüne geçildiği bildirilmiştir (Özcan, 2009). Sapta ortaya konan bu temel farklılıkların yanı sıra, büyük çanak kısmına zarı gerip gevşetecek bir sistem eklenerek sıcaklık değişiminden kaynaklanan akort problemi kontrol altına alınmıştır.

Sap üzerinden yürütülen bir diğer çalışmada, bağlama için altı farklı sap imal edilmiştir. Referans olarak alınan saplardan biri hariç tüm sapların içi oyulmuş ve her birine farklı çap ve sayılarda ses delikleri açılmıştır. Sapların içindeki boşluklu yapı ile tekne boşluğunun temas halinde olması sağlanmıştır. Saplarında ses deliği olan bağlamaların ses şiddetlerinin hem birbirinden farklı hem de geleneksel yapıda olandan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Öztorun, 2022).

Ses tahtası, köprü, rezonatör ve sap gruplandırmalarının dışında kalan ve bu bölümde yer verilen son çalışma, keman arşesi üzerindedir. Bu çalışmada sese etkisi araştırılan yenilik, çalgının kendisine değil aksesuarına getirilmiştir (Güzey, 2019). Birbirinden farklı yapıya sahip olan altı arşe, sırayla aynı keman üzerinde kullanılarak ses kayıtları alınmıştır. Farklı arşe kullanımının, çalgıdan elde edilen sesin tonunu belirgin bir şekilde değiştirdiği belirtilmiştir.

4. BULGULARIN İRDELENMESİ

Bu makale kapsamında; Türkiye’de, telli çalgıların tasarım sürecinde ortaya konan yapısal farklılıkların sese olan etkilerini araştırarak çalışmalara içerik analizi yapılmış ve çalışmalar dört farklı parametre açısından detaylı olarak incelenmiştir.

Birinci alt problem için elde edilen bulgular incelendiğinde, telli çalgıların akustiği üzerine 17 bilimsel çalışmanın yapıldığı görülmektedir. 16’sı lisansüstü tez ve bir tanesi de proje olan bu çalışmalardan ilkinin, 2002 yılında yayımlandığı belirlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda; telli çalgıların akustiği konusunun Türkiye’deki araştırmacılar açısından oldukça yeni bir çalışma alanı olduğu, 22 yıllık bir tarihe sahip olan sınırlı sayıdaki çalışmanın özellikle ikinci yarıda giderek artan bir ivme yakaladığı ve araştırmacıların ilgisi- ni giderek daha da çekmeye başladığı söylenebilir.

Tespit edilen çalışmalarda en çok bağlamaya (% 52,94; n=9) yer verildiği görülmüştür. Bunun dışında kemanla ilgili 3 ve kanunla ilgili 2 çalışma yapılırken; tar, kemençe ve ud ile ilgili birer çalışma yapılmıştır. Yapılan tasarımların en çok ses tahtası (% 52,94; n=9) üzerinde denendiği belirlenmiştir. Bunu, köprü üzerine yapılan çalışmalar (n=3) takip etmektedir. Çalışmalar genel olarak ele alındığında, yapılan tasarımlar sonrasında

çalgılardan elde edilen seslerde en çok frekans spektrumu, mod frekansları ve sönüm süresi değerlerinin nasıl etkilendiği merak edilmiştir. İkinci, üçüncü ve dördüncü alt problemlerden elde edilen bu bulgular doğrultusunda; araştırmacılar arasında en ilgi çeken konunun, bağlamanın ses tahtasının akustik özellikleri olduğu sonucuna varılabilir.⁵

Beşinci ve son alt probleme ait bulgularda ise tespit edilen çalışmalarda yapılan tasarımların neler olduğu tek tek açıklanmıştır. Şimdi ise bu tasarımların çalgıların sesinin hangi özelliklerini niçin ve nasıl etkilediği, akustik prensipler doğrultusunda kapsamlı bir şekilde değerlendirilecektir.

Telli çalgılar en genel anlamda, iki sabit nokta (eşik, köprü) arasına gerilen tellerde meydana gelen titreşimlerin, bir ses tahtası aracılığıyla rezonatör olarak adlandırılan içi oyuk kapalı bir kutuya aktarılması şeklinde tasarlanmıştır. Telli çalgıların telleri mızraplanarak, yay sürülerek ya da vurularak uyarılmakta ve tellerinin nasıl uyarıldığına bağlı olarak da adlandırılmaktadır. Örneğin mızraplı (telli) çalgılar, yaylı (telli) çalgılar ve vurmalı (telli) çalgılar gibi (Raichel, 2006: 522; Rossing, 2010: 173).

Telli çalgılar üç temel kısımdan oluşur: ses tahtası, rezonatör (tekne) ve sap. Herhangi bir rezonatöre bağlı olmayan gerilmiş bir tel, mızrapla ya da parmakla uyarıldığında kendi başına çok fazla havayı hareket ettiremediği için verimli bir ses üreticisi olamaz. Bu nedenle teller, ses çıkışını artırmak için bağlamada, kemanda ya da gitarda olduğu gibi geniş bir multirezonant yüzeye yani ses tahtasına bağlanır⁶. Bu şekilde bir çalgıya takılan teldeki titreşimler, köprü aracılığıyla ses tahtasını harekete geçirir. Ses tahtası ise rezonatörü ve rezonatör içindeki hava boşluğunu uyarır. Tellerde oluşan ses böylelikle ses tahtası, rezonatör ve ses deliği aracılığıyla daha verimli bir şekilde ortama yayılır (Fletcher ve Rossing, 1991: 208; Rossing, 2010: 20).

Ses tahtasına bas çubuğu ekleme geleneği en sık, kemanda görülen yapısal bir özelliktir. Bas çubuğu ya da diğer bir deyişle bas çıkası, statik olarak ses tahtasını sertleştirir ve böylece köprüden aşağıya doğru uygulanan kuvvetin daha geniş bir alana dağılmasına yardımcı olur. Ses tahtasına f-deliklerinin açılması dinamik olarak titreşim modlarının frekanslarını düşürürken, bas çubuğunun eklenmesi mod frekanslarını yükseltir. Bas çubuğu ses direğiyle birlikte, kemanın simetrik olan yapısal tasarımına bir asimetri sağlar. (Rossing, 2010: 234; Jansson, 2002). Ses tahtasının kalınlığının değiştirilmesi ya da farklı malzemelerin tercih edilmesi yine yapısal anlamda farklılıkları beraberinde getireceği için mod frekansları üzerinde etkili olacaktır.

Telli çalgıların ses tahtaları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; ses tahtasına

⁵ Konuya ilişkin detaylı bilgi için bkz. Güner Yücel, 2023-b.

⁶ Konuya ilişkin detaylı bilgi için bkz. Raichel, 2006: 522.

balkon çıtalar eklemek, balkon çıtaların sayısını ve yüksekliğini değiştirmek, ses tahtasında farklı geometrilerde ses delikleri açmak, ses tahtasının kalınlığını değiştirmek ve ses tahtasının yapımında farklı malzemeler kullanmak gibi parametrelerin sese olan etkilerinin araştırıldığı görülmüştür. Yapılan bu gibi değişiklikler hem serbest haldeki ses tahtasının hem de tellenmiş haldeki çalgının titreşim davranışlarını doğrudan etkilediği için çalgının mod frekansları, harmonik yapısı, ses şiddeti, sönüm süresi ve tınısı gibi akustik özelliklerinin değişmesine neden olmuştur.

Gitar gibi telli bir çalgıda tellerde meydana gelen enerjinin çalgının diğer parçalarına aktarım sürecinde, titreşimin frekansının önemli bir etkisi bulunmaktadır. Çünkü frekansın yüksek ya da düşük olmasına göre köprünün titreşim sürecindeki işlevi değişmektedir. Düşük frekanslarda köprü, ses tahtasının bir parçası gibi davranırken yüksek frekanslarda köprünün mekanik özellikleri tek başına önemli hale gelmektedir. Bu nedenle düşük frekanslarda ses; ses tahtası, arka kapak ve ses deliği tarafından her yöne doğru küresel yayılırken, yüksek frekanslarda büyük oranda ses tahtası tarafından belli yönlerde yayılır⁷.

Köprünün ses tahtası üzerindeki ve tel doğrultusundaki konumu, titreşen telin boyunun uzun ya da kısa olmasını ve bu da telden çıkan sesin tiz ya da pes olmasını belirler. Kısa teller yüksek frekanslı (tiz), uzun teller ise düşük frekanslı (pes) ses üretmektedir. Telden elde edilen temel sesin frekansının değişmesi, çalgının tınısal özelliklerini değiştirmenin yanı sıra çalgıdan elde edilen sesin yönlü yayılım desenlerini de (*directional radiation patterns*) etkileyecektir.

Köprünün ses tahtası üzerindeki konumu ve formundaki farklılıklar, ses tahtasına uygulanan kuvvetin büyüklüğünü değiştirmektedir. Tellerin tel takacağına değil de köprü üzerine bağlanması da benzer bir etkide bulunmaktadır. Bu gibi etkenlerden dolayı kuvvet değerinin değişmesi, yapının (ses tahtasının) farklı titreşim özellikleri göstermesine ve çalgının tınısının değişmesine neden olmaktadır.

Telli çalgıların rezonatörleri farklı boylarda veya farklı geometrilerde olabilmektedir. Örneğin rezonatörleri farklı boylarda imal edilen keman, viyola, çello (viyolonsel) ve kontrbas gibi çalgılar, keman ailesi çalgılarını oluşturur. Benzer durum bağlama için de geçerlidir. Rezonatör boylarına göre cura, tambura, abdal ve divan gibi bağlama türleri bulunmaktadır. Rezonatörü farklı geometrilerde olan bağlamalar ise “balta profil”, “balon profil” ya da “U profil” olarak adlandırılabilir. Rezonatörlerin bu şekilde farklı boylarda veya farklı geometrilerde imal edilmesiyle, çalgının akustik özellikleri değiştirilebilir.

⁷ Konuya ilişkin detaylı bilgi için bkz. Rossing, 2010:20.

Rezonatörün farklı boylarda ya da geometrilerde olması durumunda değişen temel parametreler, rezonatörün içindeki havanın hacmi ve çalgının kütlesidir. Telli çalgıların rezonatörleri her ne kadar tam bir Helmholtz rezonatörü olmasa da çalışma prensibi, benzer bir mantıkla açıklanabilir. Helmholtz rezonatörlerinde, sert duvarları olan bir kabın içindeki havanın hacmi ile kabın doğal frekansı arasında ters orantı bulunmaktadır⁸. Yani çalgının rezonatörünün büyümesi, rezonatör içindeki havanın hacminin artmasına ve aynı zamanda da çalgının kütlesinin artmasına neden olacağından, rezonatörün doğal frekansları düşer. Bu durum; çalgı büyüdükçe mod frekansları düşer şeklinde de ifade edilebilir. Doğal frekansları düşük olan rezonatör ise artık daha pes seslerle rezonansa gireceğinden, rezonatörü büyük olan çalgılar küçük olanlara göre daha pes karakter taşırlar.

Telli çalgıların ses karakterlerini etkileyen en önemli kısımları; ses tahtaları ve rezonatörleridir. Sap ise ikinci derecede etkili olan bir kısımdır. Bağlamanın sap kısmının içinin oyulması ve bu boşluklu yapı ile rezonatör boşluğu arasında bir engelin bulunmaması, bağlamanın içindeki hava hacminin artmasını sağlamıştır. Hava hacminin artması ise titreşim davranışlarını etkileyerek doğal frekansların değişmesine neden olmuştur. Sap kısmına fazladan ses deliklerinin açılmasıyla da sapın ön tarafındaki ses şiddetinin artması sağlanmıştır.

5. SONUÇ

Bu makalenin temel amacı; Türkiye’de telli çalgıların tasarım sürecinde ortaya konan yapısal farklılıkların, çalgının sesine olan etkilerini araştıran çalışmaları belirlemek ve bu çalışmalarda kuramsal açıdan değinilmeyen ya da eksik bırakılan noktaları müzik fiziği penceresinden disiplinlerarası bir yaklaşımla irdelemektir. Bu temel amaca ulaşmak için beş alt problem oluşturulmuş ve her bir alt problem için elde edilen bulgular tek tek değerlendirilmiştir.

Araştırma neticesinde;

- Türkiye’de telli çalgılarda yapılan farklı tasarımların sese etkisini araştıran ilk bilimsel çalışmanın 2002 yılında yapıldığı ve o tarihten günümüze kadar yapılan çalışmaların sayısının toplamda 17 olduğu,
- Yapılan çalışmalarda en çok bağlama çalgısının ele alındığı,
- Telli çalgılarda en çok ses tahtası üzerinde farklı tasarımların denendiği,

⁸ Konuya ilişkin detaylı bilgi için bkz. Fletcher ve Rossing, 1991: 13-249.

– Yapılan tasarımlar sonrasında çalgıların akustik özelliklerinden en çok frekans spektrumu, mod frekansları ve sönüm sürelerinin nasıl etkilendiğinin araştırıldığı tespit edilmiştir.

Makale konusuyla ilgili olarak yapılan çalışmalar genel olarak ele alındığında; çalışmaların bazılarında, bir çalgı üzerinde birden fazla değişikliğin aynı anda yapıldığı ve bu değişikliklerin etkilerinin aynı anda ölçülmeye çalışıldığı dikkat çekmiştir. Bu şekilde yürütülen çalışmalarda, elde edilen sonuç üzerinde hangi parametrenin ne oranda etkili olduğu ya da herhangi bir etkisinin olup olmadığı tam olarak anlaşılamamaktadır. O nedenle araştırmalarda, bir tane bağımsız değişken (örneğin ses tahtasının kalınlığı, ses deliğinin büyüklüğü ya da köprünün konumu gibi) belirlemenin ve onun tekil olarak sonuca olan etkisini saptamanın, bilimsel açıdan daha doğru bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir.

Bir bağlamanın, bir kemençenin ya da bir kanunun mod şekillerinin ve frekanslarının belirlenmesi, köprü hareketliliklerinin ya da ses şiddetlerinin ölçülmesi, harmonik ve zarf yapılarının çözümlenmesi üzerine daha çok sayıda araştırma yapılması önerilmektedir. Bu tür araştırmalardan elde edilecek verilerin, Türk müziğinde kullanılan telli çalgıların standart yapılarına ulaşma sürecinde önemli katkısının olacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalarda en çok tercih edilen veri toplama yönteminin, ses kaydı almak olduğu belirlenmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar ortamında daha farklı veri toplama yöntemleri ortaya çıkmıştır. Çalgılar için planlanan tasarımların olası sonuçları, hazırlanan üç boyutlu modeller üzerinden gerçekleştirilen simülasyonlarla artık kısa sürede elde edilebilmektedir. Bu sayede hem aynı sayısal model üzerinde birden fazla parametrenin etkisini tek tek ya da birlikte görme şansı elde edilmiş hem de atölyelerde çalgı yapım sürecinde görülen malzeme israfını engelleme imkânı doğmuştur. Bu, çalgı akustiği çalışmaları için büyük bir kolaylıktır. Ancak modelin hazırlanma aşamasının zaman alması ve maliyetinin yüksek olması, işin zor olan kısmını oluşturmaktadır. Bu türden güncel ve teknolojik araştırma yöntemlerinin desteklenmesi adına uygun laboratuvar ortamlarının açılması ve Türkiye'deki araştırmacılara tanıtılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Alp, M. (2018). Bağlama Enstrümanında Ağaç Tekne Büyüklüğünün Akustiğe Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bozkır, B. (2002). Bağlamada Malzeme-Tını İlişkisi ve Dinamik Analizler. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E.K., Akgün, Ö.E., Karadeniz, Ş. ve Demirel, F. (2008). Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Ankara: Pegem Akademi.
- Çiçekçioğlu, Ü. (2017). Bağlama Yapımında Yenilikçi Yaklaşımlar. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Çıkrıkçioğlu, N.G. (2021). Bağlama Gövdesinde Kompozit Çift Kapak Uygulamasının Akustik İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Değirmenli, E. (2014). Akustik Ölçüm Teknikleri Kullanılarak Üretilen Ud Ses Tablasının Titreşim Özelliklerinin Kontrolü Üzerine Yeni Bir Yöntem Önerisi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara.
- Demir, O. (2002). Bağlamadaki Eşik Sistemi Üzerinde Yeni Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Erdiş, E. (2006). Bağlamanın Akustik Açısından İncelenmesi ve Geliştirilmesine İlişkin Yeni Yaklaşımlar. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Fletcher, N.H. ve Rossing, T.D. (1991). The Physics of Musical Instruments. Springer-Verlag New York Inc.
- Güdek, H.C. (2019). Bağlama Gövdesinin Akustik Olarak Yeniden Düzenlenmesi Üzerine Öneri; Kayıt Teknolojileri ile Tınısal Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürer Yücel, F. (2014). Ses Bilgisi ve Akustik Konusunun Disiplinler Arası Öğretimi. Nobel Akademik Yayıncılık. Ankara.
- Gürer Yücel, F. (2023-a). Content Analysis of Postgraduate Theses on Improving the Acoustic Characteristics of Musical Instruments. 5. International Anatolian Scientific Research Congress. Full Text Book. July 21-23, 2023. Türkiye, 995-1002.

- Gürer Yücel, F. (2023-b). Bağlama Akustiğinde Tasarımın Sese Etkisini Araştıran Çalışmalara Yönelik Bir Değerlendirme. 6. International Ankara Multidisciplinary Studies Congress. Proceedings Book. October 13-14, 2023. Türkiye, 728-736.
- Güzey, Z. (2014). Viyola Yapımında Kullanılan Akçaağaç ve Kavak Ağacının Karşılaştırılması. Sanatta Yeterlik Tezi. Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Güzey, A.Ş. (2019). Bir Keman Arşesinin Akustik Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Eskişehir.
- Halliday, D., Resnick, R ve Walker, J. (2017). Fiziğin Temelleri I. Palme Yayıncılık. 9. Baskıdan Çeviri. (Çev: Bülent G. Akınoğlu ve H. Murat Alev).
- Jansson, E. (2002). Acoustics for Violin and Guitar Makers. Chapter V. Kungl Tekniska Högskolan. Dept of Speech, Music and Hearing.
- Kurra, S. (2009). Çevre Gürültüsü ve Yönetimi I. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları.
- Kurt, O. (2022). Kimyasal Modifikasyon Uygulanmış Keman Köprülerinin Kemanın Akustik Frekansları Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ömeroğlu, C. (2020). Top Plate Vibration Analysis of the Kanun Instrument. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Özcan, A.Ö. (2009). Tarın Yapısal Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve Yeni Bir Tar Modeli Önerisi. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Özgüven, H. N. (2008). Gürültü Kontrolü, Endüstriyel ve Çevresel Gürültü. Ankara: Türk Akustik Derneği.
- Öztorun, Ü. (2022). Bağlama (Saz) Çalgısının Sesini Geliştirmeye Yönelik Bir Öneri. Yüksek Lisans Tezi. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Raichel, D.R. (2006). The Science and Applications of Acoustics. Springer Science + Business Media, Inc. Second Edition.
- Rossing, T.D. (Editor) (2010). The Science of String Instruments. Springer Science + Business Media. First Edition.
- Serway, R.A. ve Beichner, R.J. (2015). Fen ve Mühendislik İçin Fizik 1. (Çev. Ed. Kemal Çolakoglu), Ankara: Palme Yayıncılık.

- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2006). Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri. Ankara. Seçkin Yayıncılık.
- Yılmaz, S. (2002). Kanunda Kullanılan Ses Tablasının Akustik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Yurteri, Y. (2022). Kemeçe Gövde Odunu ve Ses Tahtasına Kimyasal Modifikasyon Uygulamasının Frekans Spektruma Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

İnternet Kaynakları

- http 1: <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/1212500/baglama-teknesinin-akustik-analizleri> (Erişim tarihi:29.12.2023)