

YEGAH MUSICOLOGY JOURNAL

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ymd>

e-ISSN: 2792-0178

Makalenin Türü / Article Type : Araştırma Makalesi/ Research Article
Geliş Tarihi / Date Received : 09.06.2025
Kabul Tarihi / Date Accepted : 22.07.2025
Yayın Tarihi / Date Published : 30.09.2025
DOI : <https://doi.org/10.51576/ymd.1716176>
e-ISSN : 2792-0178

İntihal/Plagiarism: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and confirmed to include no plagiarism.

BAĞLAMININ SES TAHTASI KALINLIĞININ DOĞAL FREKANSLARA VE MOD ŞEKİLLERİNE ETKİSİ

GÜRER YÜCEL, Filiz¹

ÖZ

Bu makalede, bağlamanın ses tahtasının temel akustik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, ses tahtası kalınlığının doğal frekanslara ve mod şekillerine olan etkisini tespit etmektir. Ölçümlerde, aynı ladin kütüğünden kesilmiş 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm ve 4.5mm kalınlıklarındaki ses tahtaları kullanılmıştır. Bu tahtalar ilk olarak dikdörtgen plakalar haline getirilmiştir. Bu plakalara ait veriler, *Chladni* ve tıklama metotları olarak adlandırılan deneysel yöntemlerle elde edilmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında, dikdörtgen şeklindeki ses tahtaları kesilerek bağlama yapımındaki esas form olan damla formuna getirilmiştir. Ölçümler, damla şeklindeki ses tahtaları için de tekrarlanmıştır. Çalışmanın sonunda, farklı kalınlık ve geometrilerdeki ses tahtalarının doğal frekansları ve mod şekillerine ait veriler elde edilmiştir. Bu verilere göre, kalınlık arttıkça doğal frekansların arttığı ancak mod şekillerinin değişmediği belirlenmiştir. Kalınlık aynı olsa bile ses tahtasının formunda meydana gelen değişimin, akustik özellikler üzerinde etkili olduğu

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Müzik ve Güzel Sanatlar Üniversitesi, Müzik Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Çalgı Teknolojileri Bölümü, filizyucel@mgu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1200-0652>

görülmüştür. Bu araştırma, bağlamanın ses tahtasının doğal frekanslarını ve mod şekillerini hem dikdörtgen hem de damla form için tespit eden ve söz konusu akustik özelliklerin ses tahtasının kalınlığından nasıl etkilendiğini araştıran ilk bilimsel çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Organoloji, bağlama yapımı, bağlama akustiği, ses tahtası, doğal frekans, mod şekli.

THE EFFECT OF THE THICKNESS OF THE BAGLAMA'S SOUNDBOARD ON ITS NATURAL FREQUENCIES AND MODE SHAPES

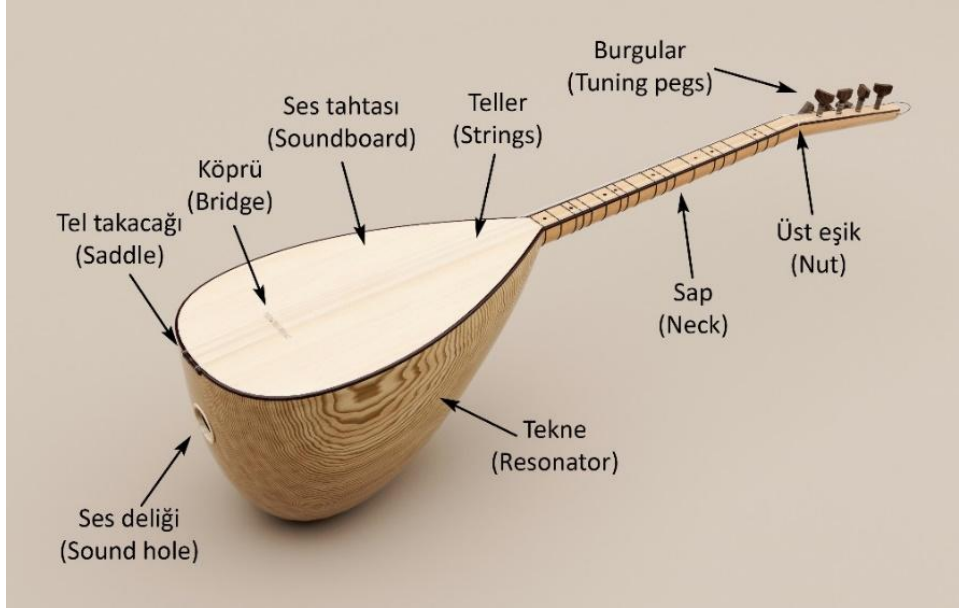
ABSTRACT

In this article, the fundamental acoustic properties of the soundboard of the baglama are examined. The aim of the study is to determine the effect of soundboard thickness on natural frequencies and mode shapes. Soundboards with thicknesses of 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm, and 4.5mm, cut from the same spruce log, were used in the measurements. These boards were first shaped into rectangular plates. Data from these plates were obtained using experimental methods known as the *Chladni* and the tapping method. In the second stage of the research, the rectangular soundboards were cut into a drop-shaped form, which is the actual form used in the baglama construction process. Measurements were also repeated for the drop-shaped soundboard. By the end of the study, data on the natural frequencies and mode shapes of soundboards with different thicknesses and geometries were obtained. According to these data, it was determined that the natural frequencies increase as the thickness increases, while the mode shapes do not change. It has been observed that, even when the thickness remains constant, variations in the form of the soundboard significantly affect its acoustic properties. This research is the first scientific study to determine the natural frequencies and mode shapes of the baglama's soundboard in both rectangular and drop-shaped forms, and to investigate how these acoustic properties are affected by the thickness of the soundboard.

Keywords: Organology, baglama making, baglama acoustics, soundboard, natural frequency, mode shape.

GİRİŞ

Anadolu'nun zengin kültürel mirasını taşıyan bağlama, Türk halk müziğinde yaygın olarak kullanılan telli çalgılardan biridir. Yapısal olarak üç ana bölümden oluşur: ses tahtası, tekne ve sap. Bu ana bölümlerin yanı sıra burgular, üst eşik, alt eşik (köprü), tel takacağı, teller ve ses deliği gibi kısımları da bulunmaktadır. Bağlamayı oluşturan tüm bu parçalar, İngilizce karşılıklarıyla birlikte Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Bağlamayı oluşturan parçalar.

Farklı boyda tekne ya da sap kullanımı, farklı tel kalınlıklarının ya da tel sayılarının tercih edilmesi, bağlama ailesi çalgılarının oluşmasına neden olmuştur. Cura, divan sazı, tambura ve meydan sazı bunlardan bazılarıdır. Örneğin tekne boyu 40cm olan ve kara düzende “do” akordu çekilen bir tambura bağlamada, teller üç grup halindedir. Alt grupta üç, orta ve üst grupta ikişer tel bulunur. Kalınlıkları birbirinden farklı olan bu teller sırayla şu seslere akort edilir: alt grup do (çelik teller C4-261Hz, bam teli C3-130Hz); orta grup fa (çelik teller F3-174Hz); üst grup la# (çelik tel A#3-233Hz ve bam teli A#2-116Hz). Bu sesler göz önüne alındığında, bu tür bir bağlamanın yaklaşık olarak iki oktavlık bir ses aralığına sahip olduğu söylenebilir.

Bağlama her ne kadar bir müzik aleti olarak bilinse de akustik bilimi açısından ele alındığında, karmaşık fiziksel bir sistem olarak değerlendirilir. Böyle karmaşık bir sistemden kaliteli ses elde edebilmek için çalgının farklı bölgelerinin farklı titreşim özellikleri göstermesi beklenir. Bu beklenti ise bağlamanın tekne, ses tahtası, köprü vb. kısımlarında farklı esneklik özelliklerine

sahip ahşap malzemeler kullanılarak karşılanmaya çalışılır. Bu doğrultuda, ses tahtası yapımında genellikle ladin ve köknar ağaçları; tekne yapımında dut, sarı gürgen, kestane, meşe, iğde, karaağaç, ceviz, ardıç, maun, vengi, paduk, gül, karaağaç, kelebek ve porsuk ağaçları; sap yapımında ise sarı gürgen, erik, kelebek, akgürgen, kırmızı gürgen, kayın, maun ve ardıç ağaçları tercih edilmektedir (Açın, 1998: 68; Doğanyigit, Şahin, Yiğiter ve Tüfekci, 2018: 472; Önal, 2002: 21).

Çalgı yapımında kullanılan farklı malzemeler ve bu malzemelerin boyutları ya da kalınlıkları gibi temel faktörler, çalgının ses kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu gibi parametrelerde meydana getirilen değişiklikler sonucunda çalgının sesinin ne yönde ve nasıl bir değişim göstereceği, müziksel akustiğin ilgi alanına girmektedir. Bu kapsamda, bir yapının akustik açıdan çözümlenebilmesi için bazı temel özelliklerinin anlaşılması ve analiz edilmesi gerekir. Örneğin doğal frekans, mod şekli, sönüm oranı, sönüm süresi, ses yayılımı ve yönelimi, ses spektrumu ve harmonik dizilim gibi özellikler, yapının akustik olarak çözümlenmesi için öncelikli olarak tespit edilmesi gereken fiziksel büyüklükler arasında yer almaktadır.

Gergin bir telin mızrapla uyarılması, temel frekansın yanı sıra birbirinden farklı ve giderek azalan genliklere sahip olan pek çok üst frekansın da (*overtone*) aynı anda oluşmasına neden olur. Teldeki bu mevcut titreşimler (temel frekans ile üst frekanslar), bağlamanın ses tahtasını da aynı frekanslarla titreştirmeye zorlar. Böyle bir sürecin sonundaki beklenti; ses tahtasının, sadece tellerden gelen titreşimlerin frekanslarında titreştirmeye başlaması şeklinde olsa da gerçekte durum biraz farklıdır.

Çalgı yapımında kullanılan ahşap malzemeler, serbest titreşimlerde bulunabileceği birden fazla frekansa sahiptir. Bu frekanslar; *doğal frekans*, *rezonans frekansı* ya da *mod frekansı* olarak ifade edilmektedir. Ahşabın doğal frekanslarından biri, teldeki titreşimin frekansıyla aynı değerde olduğunda telden ses tahtasına ya da tekneye aktarılan enerjinin miktarı çok fazla artar. Rezonans olarak bilinen bu fiziksel olaydan ötürü, eşleşen frekanstaki titreşimin genliğinde ve şiddetinde çok büyük bir artış görülür (Serway ve Beichner, 2015: 557). Çalgıların, bazı frekanslardaki titreşimlere verdiği tepkilerin diğerlerinden farklı olmasının sebebi budur. Bu nedenle, çalgı yapım sürecinde doğal frekansların tespit edilmesi ve bu frekanslara daha çalgı bitmeden müdahale edilmesi, bilinçli bir çalgı yapımcısının atacağı en önemli adımlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Telli çalgılarda ses tahtasının farklı bölgelerinin kalınlığını değiştirmek suretiyle (ahşap parça ekleyerek ya da çıkararak) uygulanan ve serbest plaka akordu (*free plate tuning*) olarak bilinen yöntem sayesinde, ses tahtasının doğal frekanslarının değerleri değiştirilebilmektedir. Her bir malzemenin ya da yapının doğal frekansı, kendine özgüdür ve malzemenin kütlesi ile direngenliğine (sertliğine, esnekliğine) bağlı olarak değişir. Doğal frekans; direngenlik ile doğru, kütle ile ters orantılıdır. Buradan; kütle tek başına ele alındığında kütledeki artışın, malzemenin doğal frekansını düşüreceği fikri akla gelebilir. Ancak, kütledeki değişim malzemenin sertliğini de doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle doğal frekans üzerindeki etki incelenirken, malzemenin kütlesi ve direngenliği bir arada değerlendirilmelidir.

Belirli bir modda titreşim yapan bir ses tahtasında, bükülmenin (*bending*) belirgin olduğu bir alandan ahşabın çıkarılması doğal frekansın düşmesine; bükülmenin az olduğu bir antinodal alandan ahşabın çıkarılması ise doğal frekansın yükselmesine neden olur. Belirgin bir bükülme alanındaki ahşabı inceltmek, sertliği kütleden daha fazla azaltır ve böylece frekans düşer. Bükülmenin az olduğu alandaki ahşabı inceltmek ise kütleyi sertlikten daha fazla azaltır, bunun sonucunda da frekans yükselir (Hutchins, 1981: 8; 1983: 31). Ahşabın hangi bölgesine nasıl müdahale edileceğini bilmek bu nedenle önemlidir. Bu gibi müdahaleler sayesinde, ses tahtasının söz konusu doğal frekansı ile teldeki titreşimin frekansının aynı değerde olmasının (rezonansın) önüne geçilebilir.

Türkiye’de bağlama yapımcılığı, büyük oranda usta-çırak ilişkisi şeklinde ilerleyen ve göz kararı ölçülerin sıklıkla kullanıldığı bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bağlama yapım sürecinde ses tahtasının doğal frekanslarının ve mod şekillerinin tespiti gibi temel fiziksel ölçümler, maalesef hala yapılmamaktadır. Bu tespitlerin çalgı yapım sürecindeki önemi, bağlama yapımcıları tarafından henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Bunda, bağlama akustiği üzerine yapılan bilimsel çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olmasının da payının büyük olduğu düşünülmektedir.

Bu bakış açısıyla bu makalede; bağlamanın serbest haldeki (tekneye yapılandırılmamış haldeki) ses tahtasının doğal frekansları ve mod şekilleri tespit edilmiş ve bu gibi akustik özelliklerin, ses tahtasının kalınlığından nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bunun için kalınlıkları birbirinden farklı olan dört ses tahtası hazırlanmış ve her biri için ölçümler tekrarlanmıştır.

Amaç ve Önem

Bu araştırmanın amacı; dikdörtgen ve damla formlarına sahip bağlama ses tahtalarının doğal frekans ve mod şekillerinin, ses tahtasının kalınlığından nasıl etkilendiğini tespit etmektir.

Ulusal ve uluslararası literatürde bağlama üzerine sınırlı sayıda çalışma yapıldığı bilinmektedir. Doğal frekans, mod şekli, sönüm süresi, frekans spektrumu ya da harmonik yapı gibi veriler, bir müzik aletinin akustik yapısı hakkında bilgi veren önemli verilerdir. Bu çalışmada olduğu gibi hem bağlamanın serbest haldeki ses tahtasının doğal frekanslarını ve mod şekillerini tespit eden hem de bu akustik özelliklerin ses tahtasının kalınlığından nasıl etkilendiğini ortaya koyan bir çalışma şimdiye kadar yapılmamıştır. Bu durum, çalışmanın özgün değerinin yüksek olduğunun bir göstergesidir.

Problem Cümlesi

Aynı ahşap malzemeden dikdörtgen ve damla formlarında kesilen ses tahtalarının doğal frekans ve mod şekli gibi temel akustik özellikleri, ses tahtasının kalınlığından nasıl etkilenmektedir?

Alt Problemler

Temel problemin çözümüne yönelik oluşturulan alt problemler aşağıdaki gibidir:

1. 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm ve 4.5mm kalınlığındaki ses tahtalarının dikdörtgen formunda biçilmiş hallerinin doğal frekansları, mod şekilleri ve tıklama tonları nedir?
2. 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm ve 4.5mm kalınlığındaki ses tahtalarının aynı bağlama teknesi için kesilmiş damla şekilli formlarının doğal frekansları, mod şekilleri ve tıklama tonları nedir?

Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, aynı ladin kütüğünden 25.4x48.4cm ebatlarında ve 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm, 4.5mm kalınlıklarında biçilmiş dört adet bağlama ses tahtası oluşturmaktadır.

Sınırlılıklar

Bu çalışmada yapılan ölçümler ve bu ölçümlerden elde edilen veriler, dört ses tahtası ile sınırlıdır.

Araştırmanın Deseni

Bu araştırma, deneysel desenin kullanıldığı nicel bir çalışmadır. Deneysel desenlerde, bağımsız değişkenin araştırmacı tarafından manipüle edilebilirliği sayesinde en az iki farklı durumda

bağımlı değişkene ait elde edilen ölçüm sonuçları arasında bir karşılaştırma yapma imkânı bulunmaktadır. Böylece, yapılan manipülasyonun etkileri açıkça gözlenebilir. (Büyüköztürk ve diğerleri, 2008: 189).

Veri Toplama Teknikleri

Araştırmanın verileri, *Chladni metodu* ve tıklama metodu aracılığıyla elde edilmiştir. Bu metotların ne olduğu ve nasıl uygulandığı, yöntem bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır.

Verilerin Analizi

DeneySEL metotlarla elde edilen veriler, her bir ses tahtası için ayrı ayrı not edilmiş ve bulgular kısmında tablolar halinde sunulmuştur. Bu tablolar yardımıyla, farklı kalınlıktaki ses tahtalarının doğal frekansları ve mod şekilleri birbiriyle kıyaslanmış ve bu akustik özelliklerin, kalınlık değişkeninden nasıl etkilendiği ortaya konmuştur.

İlgili Araştırmalar

Çalgı akustiği üzerine yapılan çalışmalarda, en çok kemana yer verildiği bilinmektedir. Bu alanın önde gelen isimlerinden olan Carleen Hutchins, keman ve keman ailesinin doğal frekansları ile mod şekillerini tespit etmeye yönelik yaptığı çalışmalarla keman akustiğinde kendinden söz ettirmeyi başarmıştır. Bir makalesinde; kemana fiziksel bir sistem olarak ele alarak kemanda ses oluşum ve yayılım süreçlerini açıklamış, üst ve arka kapaklar için elde ettiği tap tonları² sunmuştur (Hutchins, 1962).

Hutchins, sonraki süreçlerde yaptığı bilimsel çalışmalarında yine keman çalgısına odaklanmış, üst ve arka kapaklara *Chladni metodunu* nasıl uyguladığını açıklamış ve bu uygulama sonucunda elde ettiği mod şekillerini yayımlamıştır (Hutchins, 1981; Hutchins, 1983; Moral ve Hutchins, 1983). Bir diğer çalışmasında (1987) ise kemanları “öğrenci”, “orquestra” ve “solist” kemana olarak gruplandırarak, bu gruplara dâhil olacak olan kemanların 2. ve 5. mod frekanslarının hangi değerleri alması gerektiğini ortaya koymuştur.

Hutchins’in dışında keman akustiği üzerine yaptığı çalışmalarla dikkat çeken bir diğer isim, Erik Jansson’dır. Jansson (2002) yayınında; ahşap malzemelerin mekanik ve akustik özelliklerini,

² Keman yapımcıları, plakaların ana tonunu tap tone olarak adlandırırlar. Çünkü bu ton, plakaya vurulduğunda duyulan ana tondur. Tıklama metodu (tapping method) ile elde edilir.

kemanın ses tahtasının nasıl akort edileceğini, kaliteli bir kemanın üst ve arka kapaklarının doğal frekansları ile mod şekillerinin ne olduğunu açıkça ifade etmiştir.

Literatürde keman kadar çok olmasa da, diğer telli çalgıların doğal frekanslarını deneysel yöntemlerle tespit etmeye yönelik yapılan çalışmalar da bulunmaktadır. Örneğin lut çalgısının ses tahtasının akustik özelliklerini tespit etmeye yönelik yapılan bir çalışmada (Firth, 1977), *Chladni* ve hologram interferometri yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler aracılığıyla; lutun dikdörtgen formundaki ses tahtasının, dikdörtgen formuna ve biçilmiş formuna balkon çıta eklenmiş halinin ve son olarak da köprü eklenmiş halinin mod şekilleri ve doğal frekansları tespit edilmiştir. Ses tahtasına balkon çıta ekleme geleneğinin, lutun titreşim özelliklerini belirleyen önemli bir etken olduğu görülmüştür.

İran’da kullanılan setar isimli çalgının mod şekillerini ve mod frekanslarını tespit etmeye yönelik yapılan çalışmada, sayısal ve deneysel yöntemler bir arada kullanılmıştır. Deneysel yöntem olarak gezici ivmeölçer tekniği kullanılmış ve setarın doğal frekansları ile mod şekilleri tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel veriler, sayısal modelin doğrulanması için kullanılmış ve yüksek oranda uyum olduğu görülmüştür (Pedrammehr, Aghdam, Pakzad, Ettetagh ve Sadeghi, 2018).

Türkiye’de çalgı yapım alanında öne çıkmış isimlerin başında Cafer Açın gelmektedir. Açın, çalgıları; vürmalı, nefesli, mızraplı, yaylı ve tuşlu olarak gruplandırmış ve yayımladığı kitapta her birinin yapım aşamalarına ait önemli bilgiler ortaya koymuştur (Açın, 2002). Başta bağlama olmak üzere özellikle Türk halk müziğinde kullanılan çalgıların frekans ve perde aralıklarına yönelik bilgiler vermiş, çalgılarda olması gereken denge ve oranlara değinmiştir. Bu şekliyle, Türk çalgılarının standart ölçülerine yönelik ilk verilerin ortaya konduğu söylenebilir.

Değirmenli (2014) çalışmasında *Chladni* ve tıklama (tapping) metotlarını tanıttıktan sonra bu yöntemleri kullanarak altı farklı balkon çıtaya sahip udun mod frekanslarını ve mod şekillerini tespit etmiştir. Bir diğer çalışmada ise ladin ağacından kesilen dikdörtgen şeklindeki plakanın doğal frekans ve mod şekillerini *Chladni metodu*, gezici darbe testi ve sonlu elemanlar analizi yöntemleriyle tespit etmiş ve elde ettiği sonuçları birbiriyle kıyaslamıştır. Tıklama testinden elde edilen frekans değerleri ile diğer veriler arasındaki ilişkileri incelemiştir (Değirmenli, 2017). *Chladni yönteminin* yanı sıra sonlu elemanlar modeli ve sayısal modal analiz yöntemini kullanarak ud, bağlama ve tanburun doğal frekanslarını ve mod şekillerini tespit ettiği bir çalışması da bulunmaktadır (Değirmenli, 2018).

Bağlama Teknesinin Akustik Analizleri başlıklı projede (TR DİZİN, 2024), farklı tekne formlarına sahip 5 bağlamanın doğal frekans, mod şekli, ses yayılım ve yönelim gibi akustik özellikleri tespit edilmiştir. Tekne formunda meydana getirilen farklılıkların, sayılan akustik özellikler üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Deneysel çalışmalarda *Chladni yöntemi*, sayısal çalışmalarda ise sonlu elemanlar analizi üzerinden sayısal modal analiz gerçekleştirilmiştir. Sayısal modeli doğrulama çalışmaları, deneysel veriler yardımıyla yapıldıktan sonra model üzerinde meydana getirilen geometrik değişikliklerin etkileri, yapılan akustik analizlerle ortaya konmuştur.

YÖNTEM

Makalede ihtiyaç duyulan veriler, *Chladni* ve tıklama metotları yardımıyla elde edilmiştir. Bu metotların ne olduğu ve nasıl uygulandığı aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

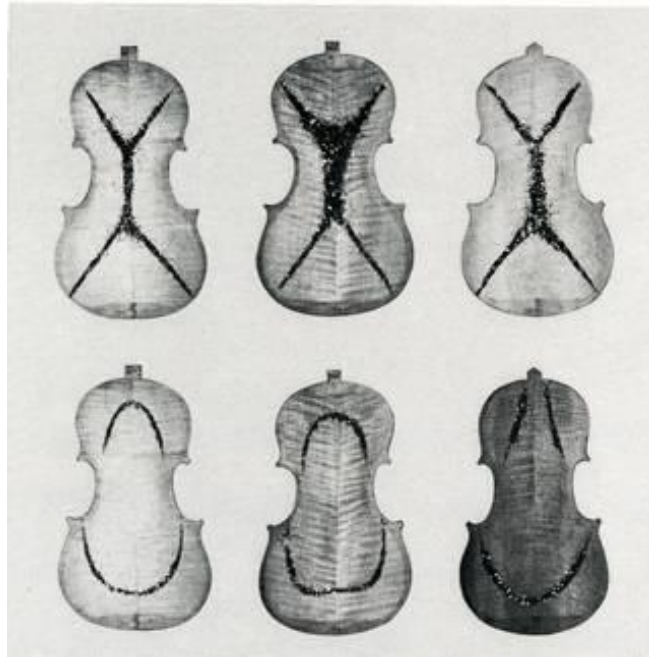
Chladni Metodu (Chladni Method)

Çalgı yapımcılarının ve araştırmacılarının, çalgı yapım sürecinde kullandığı bazı deneysel yöntemler mevcuttur. Bunlardan ilki *Chladni metodudur*. Orijinal adı *Operating Deflection Shapes (ODS)* olan bu yöntem, müziksel akustik çalışmalarında ilk olarak *Ernst Chladni* tarafından kullanıldığı için onun adıyla anılmaktadır. ODS, titreşen sistemlerde bazı özel frekanslarda görülen sapma sonucu ortaya çıkan özel şekiller (mod şekilleri) anlamına gelmektedir. Bu mod şekilleri her sistem için özeldir ve yalnızca, sistem kendi doğal frekanslarında titreştirildiğinde ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak çalgıların serbest haldeki ses tahtalarına uygulanan bu yöntemde ses tahtası, sinüs dalgası üretici tarafından beslenen bir hoparlörün üzerine, sünger gibi esnek malzemelerden oluşan desteklerle yükseltilerek yatay olarak yerleştirilir. Yatayda denge sağlandıktan sonra ses tahtasının üzerine tuz, talaş veya kuru çay gibi hafif bir toz malzeme, homojen bir şekilde serpilir. Burada, süngerlerin ses tahtası ile temas ettiği bölgelerin node (düğüm) olarak adlandırılan titreşmeyen bölgelere ve hoparlörün yerleştirildiği bölgenin ise *antinode* olarak adlandırılan titreşen bir bölgeye denk gelmesine özen gösterilir.

Deney düzeneği hazırlandıktan sonra, farklı frekanslardaki saf tonlar, hoparlörden sırayla gönderilir ve gönderilen frekanslarda ses tahtasının zorlanmış titreşim yapması sağlanır. Gönderilen sinyalin frekansı, ses tahtasının doğal frekanslarından herhangi biri ile eşleştiğinde

ses tahtası şiddetli bir şekilde titreşir ve ses tahtasının üzerinde bulunan toz tanecikleri hareket etmeye başlar. Toz taneciklerinin yer değişimi, titreşimin olduğu bölgelerden (*antinode*) titreşimin olmadığı bölgelere (*node*) doğru olur ve titreşimin olmadığı bölgelerde hareket son bulur. Toz taneciklerinin bu şekildeki hareketi sonucunda ses tahtasının ilgili doğal frekansına ait mod şekli, görselleştirilerek elde edilmiş olur. Node yani *düğüm* bölgelerinin birleşimiyle *node line* olarak adlandırılan *düğüm çizgileri* ve bu çizgilerin birleşimiyle de *nodal pattern* olarak adlandırılan *düğüm desenleri* (*Chladni desenleri*, *mod şekilleri*) elde edilir. *Chladni yöntemi*, yapının mod şekillerini ve bunlara karşılık gelen rezonans frekanslarını verir (Moral ve Hutchins, 1983: 21). Elde edilen bu mod şekilleri, yapının kendi doğal frekanslarında titreşime zorlanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Her bir rezonans frekansında farklı bir mod şekli elde edilir. *Chladni metodu* yardımıyla bir kemanın ses tahtası için elde edilen örnek mod şekilleri, Görsel 1’de yer almaktadır.



Görsel 1. Chladni metodu ile keman için elde edilen örnek mod şekilleri (Hutchins, 1981: 6).

Keman akustiği ile ilgili şimdiye kadar yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda, kemanın üst ve arka kapaklarının doğal frekansları ve mod şekilleri için bazı referans değerler elde edilmiştir. Keman yapımcıları, serbest plakaların belli bölgelerini inceltip kalınlaştırarak yapım aşamasında bu referans değerleri elde etmeye çalışırlar. Serbest plaka akordu (*free plate tuning*) olarak anılan bu yöntem yardımıyla keman plakaları akort edilir. Serbest plaka akordunun yanı sıra çift oktav

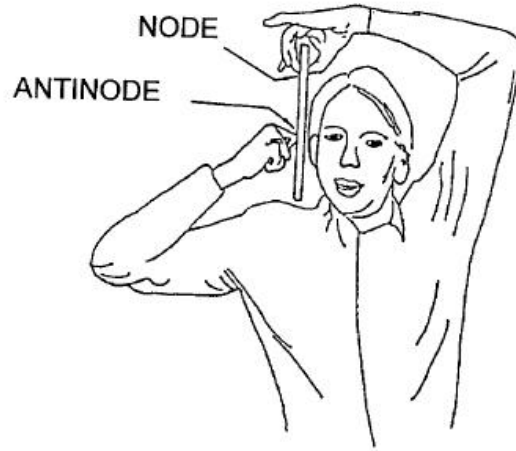
akordu (*double octave tuning*) (Fletcher ve Rossing, 1991: 253; Hutchins, 1987: 39) ve üçlü oktav (*triple octave*) (Hutchins, 1987: 40) gibi plaka akortları da mevcuttur.

Chladni yöntemi genel olarak serbest haldeki ses tahtalarına uygulanmakla birlikte bazı çalgı yapımcıları ve araştırmacılar tarafından, tellenmiş (yapımı tamamlanmış) çalgılara da uygulanmaktadır. Keman akustiğinin öncü araştırmacılarından olan Hutchins, bu yöntemi kullanarak farklı farklı kemanlar ve ses tahtaları üzerinde çok sayıda araştırma yapmıştır (Hutchins, 1962; 1981; 1983).

Tıklama Metodu (Tapping Method)

Bazı kaynaklarda *Tapping and Listening Method* olarak da geçen bu yöntem, bu makalede kısaca *tıklama metodu* olarak anılacaktır.

Kullanılan bir diğer deneysel yöntem ise tıklama metodudur. Bu yöntemde ahşap malzemenin doğal frekansı, tıklama yoluyla tespit edilir. Çalgı yapımcısı, Görsel 3'ten de görüldüğü gibi ses tahtasını bir elinin iki parmağıyla gevşek bir şekilde tutup kulak hizasına kadar kaldırır ve diğer elinin işaret ya da orta parmağıyla tahtaya hafifçe vurarak titreştirir.



Görsel 2. Tıklama metodu uygulama şekli (Jansson, 2002: 7).

Bu yöntemi uygularken dikkat edilmesi gereken nokta, ses tahtasının tutulduğu noktanın (iki parmakla tutma noktasının) bir *node* bölgesine (titreşmeyen bölge) ve hafifçe vurulan noktanın ise bir *antinode* bölgesine (titreşen bölge) denk gelmesi gerektiğidir. Çalgı yapımcısı, tıklama sonucu elde ettiği sesi anlamaya ve yorumlamaya çalışır. Bu yöntem, telli çalgıların yapımında en sık kullanılan deneysel yöntemlerden biridir ve başarı oranı, çalgı yapımcısının bilgisi ve

tecrübesiyle doğru orantılıdır. Ancak teknolojik gelişmeler sayesinde ses tahtasının ana tonunu tespit etmek günümüzde oldukça kolaylaşmıştır.

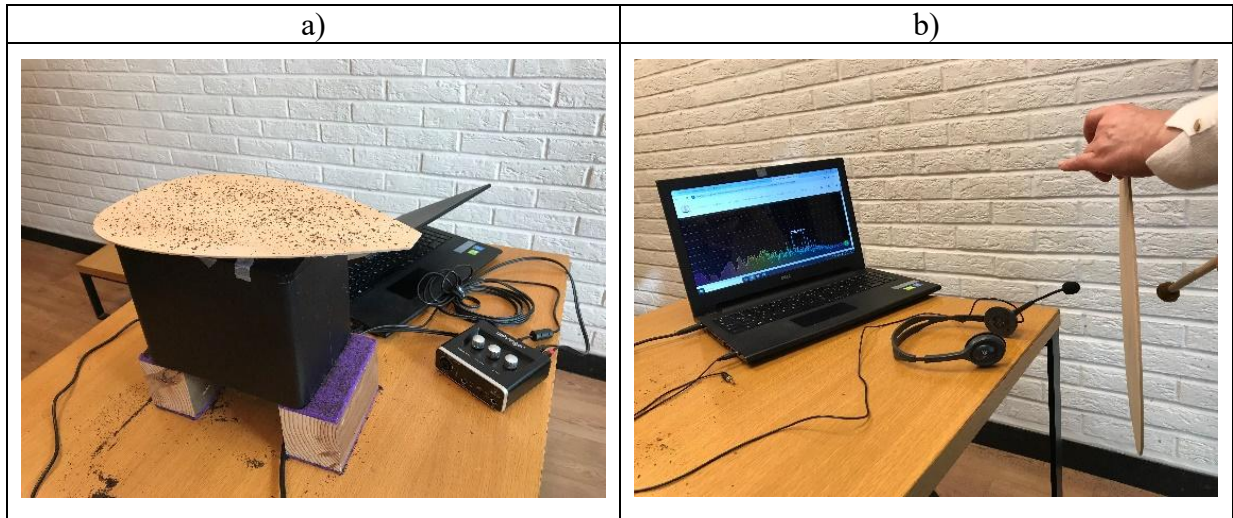
İşlem Sırası

Bu bölümde, makalenin uygulama aşamasında yapılan işlemler tek tek sıralanmış ve kullanılan deney düzenekleri tanıtılmıştır.

Uygulama aşamasında yapılan işlemlerin sırası şu şekildedir:

- Aynı ladin ağacının gövdesinden 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm ve 4.5mm kalınlıklarında ve 25.4x48.4cm ebatlarında, dikdörtgen formunda dört adet ses tahtası biçilmiştir.
- *Chladni metodu* yardımıyla her bir ses tahtasının doğal frekansları ve mod şekilleri tespit edilmiştir.
- Tıklama metodu yardımıyla her bir ses tahtasının tıklama tonları tespit edilmiştir.
- Ses tahtalarının her biri, 41cm uzunluğundaki ve 24cm enindeki bağlama teknesini kapatacak şekilde, aynı damla formunda kesilmiştir.
- Damla formunu alan ses tahtalarının doğal frekansları, mod şekilleri ve tıklama tonları tekrar aynı yöntemlerle ölçülmüştür.

Bu araştırmada kullanılan deney düzeneklerine ait görseller, Fotoğraf 1’de yer almaktadır.



Fotoğraf 1. a) Chladni metodu deney düzeni, b) Tıklama metodu deney düzeni.

Fotoğraf 1.a’da yer alan *Chladni* deney düzeninde; hoparlör olarak bir referans monitör (M-Audio BX5), referans monitörle uyumlu harici bir ses kartı (Behringer U-Phoria UM2), bir dizüstü bilgisayar ve çevrimiçi sinüs sinyal üretici kullanılmıştır. Fotoğraf 1.a’dan da görüldüğü üzere hoparlör, ağızı yukarı gelecek şekilde çevrildikten sonra arka kısımdaki kabloları

rahatlatmak adına iki adet ahşap destek ile yerden yükseltilmiştir. Hoparlörün üstte kalan köşelerine süngerler rastgele konularak ses tahtası bu süngerler üzerine yerleştirilmiştir. Süngerler, ses tahtasını hoparlör yüzeyinden yaklaşık olarak 2cm yükseltmiştir. Ölçüme başlamadan önce yatayda dengenin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Ölçüm başladıktan sonra mod şekilleri oluşmaya başlayınca her bir mod şekli için süngerlerin ve hoparlörün konumları güncellenmiş, süngerlerin düğüm çizgilerine ve hoparlörün de *antinode* bölgesine denk gelmesi sağlanmıştır. Ölçüm esnasında frekans değerleri yavaş yavaş artırılarak toz taneciklerinin en fazla sıçradığı frekanslar tespit edilmiş ve bu frekanslar, ses tahtasının rezonans frekansları olarak kaydedilmiştir.

Fotoğraf 1.b’de yer alan tıklama metodu deney düzeneğinde ise mikrofonlu bir kulaklık, bir dizüstü bilgisayar, çevrimiçi ses frekans analizörü ve tıklamaların daha kontrollü yapılabilmesi için ahşap bir tokmak kullanılmıştır. Tokmağın yuvarlak kısmı elastik bir malzemeye sarılmıştır. *Chladni metodu* ile tespit edilen düğüm çizgileri (mod şekilleri) göz önünde bulundurularak ses tahtasının tutma ve vurma noktalarına karar verilmiştir. Her bir modun tutma noktaları, ilgili modun düğüm çizgilerine göre; tıklama noktaları ise *antinode* bölgelerine göre belirlenmiştir. Mikrofon, tıklamanın yapıldığı *antinode* bölgesine yakın konumlandırılmıştır. Tıklama sonucu ses tahtasında oluşan titreşimin frekansı, bilgisayar ekranından okunarak kaydedilmiştir.

BULGULAR

Birinci Alt Problem İçin Elde Edilen Bulgular

Ses tahtalarının doğal frekansları ve mod şekilleri için elde edilen bulgular Tablo 1’de, tıklama tonları için elde edilen bulgular Tablo 2’de yer almaktadır.

Mod Sırası	3.0mm	3.5mm	4.0mm	4.5mm
	44 ± 2 Hz	46 ± 6 Hz	63 ± 5 Hz	66 ± 8 Hz
1. Mod				
	70 ± 7 Hz	78 ± 4 Hz	90 ± 10 Hz	102 ± 8 Hz

2. Mod				
	94 ± 3 Hz	106 ± 2 Hz	132 ± 3 Hz	151 ± 5 Hz
3. Mod				
	116 ± 7 Hz	126 ± 15 Hz	172 ± 16 Hz	179 ± 5 Hz
4. Mod				
	156 ± 5 Hz	171 ± 3 Hz	213 ± 4 Hz	230 ± 3 Hz
5. Mod				

Tablo 1. Dikdörtgen formundaki ses tahtalarının doğal frekansları ve mod şekilleri.

3.0mm, 3.5mm, 4.0mm ve 4.5mm kalınlığındaki ve dikdörtgen formundaki ses tahtalarının her birine ait ilk beş modun doğal frekansları ve mod şekilleri Tablo 1’de yer almaktadır. Bu verilere göre; 3.0mm kalınlığındaki ses tahtasının doğal frekansları; 44(±2)Hz, 70(±7)Hz, 94(±3)Hz, 116(±7)Hz ve 156(±5)Hz’tir. 3.5mm kalınlığındaki ses tahtasının doğal frekansları; 46(±6)Hz, 78(±4)Hz, 106(±2)Hz, 126(±15)Hz ve 171(±3)Hz’tir. 4.0mm kalınlığındaki ses tahtasının doğal frekansları; 63(±5)Hz, 90(±10)Hz, 132(±3)Hz, 172(±16)Hz ve 213(±4)Hz’tir. 4.5mm kalınlığındaki ses tahtasının doğal frekansları; 66(±8)Hz, 102(±8)Hz, 151(±5)Hz, 179(±5)Hz ve 230(±3)Hz’tir.

Tablo 1’deki mod şekilleri incelendiğinde, farklı kalınlıktaki ses tahtalarının aynı numaralı modlarının mod şekillerinin, birbirlerine çok büyük oranda benzediği görülmüştür. Birinci mod şekilleri, uçları hafif açık olan iki dikey çizgiye, ikinci mod şekilleri ise yan yatmış iki parantez işaretine benzemektedir. İlk iki moddaki *Chladni* desenlerinin iki düğüm çizgisinden, üçüncü ve

dördüncü moddakilerin üç düğüm çizgisinden ve beşinci moddakilerin ise dört düğüm çizgisinden meydana geldiği tespit edilmiştir.

Ses Tahtaları	Tıklama Tonları (Hz)				
	Yeni Mod	1. Mod	2. Mod	3. Mod	4. Mod
3.0mm	26.87	44.37	72.5	93.52	116.25
3.5mm	31	47	80.5	107	128.5
4.0mm	31.75	59	90.82	132.64	172
4.5mm	32.93	68	101	152.3	180

Tablo 2. Dikdörtgen formundaki ses tahtalarının tıklama tonları.

Tablo 1 ile 2 karşılaştırıldığında, *Chladni metodu* ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen frekans değerleri ile tıklama metodu ile elde edilen değerler arasında büyük oranda uyum olduğu görülmüştür. Tablo 2’den de görüldüğü gibi, her bir ses tahtası için birinci moddan daha düşük frekansta yeni bir mod tespit edilmiştir. Bu yeni mod; ses tahtasının dar kenarları yere paralel ve uzun kenarları da dik olacak şekilde konumlandırıldıktan sonra üstteki dar kenarın tam ortasından ve uca yakın bir yerden tutulduğunda elde edilmiştir.

İkinci Alt Problem İçin Elde Edilen Bulgular

Damla şekli formundaki ses tahtalarının doğal frekansları ve mod şekilleri için elde edilen bulgular Tablo 3’te, tıklama tonları için elde edilen bulgular ise Tablo 4’te yer almaktadır.

Mod Sırası	3.0mm	3.5mm	4.0mm	4.5mm
1. Mod	38 ± 5 Hz	42 ± 3 Hz	50 ± 3 Hz	57 ± 4 Hz
				
2. Mod	57 ± 10 Hz	68 ± 10 Hz	87 ± 7 Hz	92 ± 10 Hz
				
	113 ± 15 Hz	130 ± 18 Hz	148 ± 18 Hz	166 ± 20 Hz

3. Mod				
	136 ± 5 Hz	150 ± 10 Hz	207 ± 10 Hz	213 ± 5 Hz
4. Mod				
	177 ± 5 Hz	192 ± 5 Hz	240 ± 5 Hz	266 ± 5 Hz
5. Mod				

Tablo 3. Damla şekli formundaki ses tahtalarının doğal frekansları ve mod şekilleri.

3.0mm, 3.5mm, 4.0mm ve 4.5mm kalınlığındaki ve damla şekli formundaki ses tahtalarının her biri için tespit edilen ilk beş modun doğal frekansları ve mod şekilleri Tablo 3'te yer almaktadır. Bu verilere göre; 3.0mm kalınlığındaki ses tahtasının doğal frekansları; 38(±5)Hz, 57(±10)Hz, 113(±15)Hz, 136(±5)Hz ve 177(±5)Hz'tir. 3.5mm kalınlığındaki ses tahtasının doğal frekansları; 42(±3)Hz, 68(±10)Hz, 130(±18)Hz, 150(±10)Hz ve 192(±5)Hz'tir. 4.0mm kalınlığındaki ses tahtasının doğal frekansları; 50(±3)Hz, 87(±7)Hz, 148(±18)Hz, 207(±10)Hz ve 240(±5)Hz'tir. 4.5mm kalınlığındaki ses tahtasının doğal frekansları; 57(±4)Hz, 92(±10)Hz, 166(±20)Hz, 213(±5)Hz ve 266(±5)Hz'tir.

Elde edilen mod şekilleri incelendiğinde, farklı kalınlıktaki ses tahtalarının aynı numaralı modlarının mod şekillerinin, birbirlerine çok büyük oranda benzediği görülmüştür. Birinci ve üçüncü mod şekillerinin birbirine oldukça benzediği ve iki küçük tepeyi andırdığı; ikinci modun düşeyde iki çizgiden, dördüncü modun da düşeyde üç çizgiden meydana geldiği belirlenmiştir. Beşinci modun mod şeklinin, iki düşey çizgi ile bir yatay çizginin kesişiminden oluşmuş tek parçalı bir düğüm çizgisinden meydana geldiği tespit edilmiştir.

Ses Tahtaları	Tıklama Tonları (Hz)				
	1. Mod	2. Mod	3. Mod	4. Mod	5. Mod
3.0mm	42	58	117	136.5	181

3.5mm	41	64.2	128	153	194.1
4.0mm	50.5	89	149.4	201	243
4.5mm	59	86.45	171	218	270

Tablo 4. Damla şekli formundaki ses tahtalarının tıklama tonları.

Tablo 3 ile 4 karşılaştırıldığında, *Chladni* ve tıklama metodu ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen frekans değerleri arasında, büyük oranda uyum olduğu görülmüştür. Dikdörtgen formda olduğu gibi yeni bir alt mod tespit edilmemiştir.

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu makalede; bağlamanın ses tahtasına ait doğal frekans ve mod şekillerinin, ses tahtasının kalınlığından nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Kalınlıkları farklı olan dikdörtgen formundaki ses tahtalarının doğal frekanslarının ve mod şekillerinin ne olduğu, bu tahtaların bağlama teknesine uygun bir damla formunda kesildikten sonra söz konusu akustik özelliklerin nasıl değiştiği konularında ilgili literatürün ilk verileri sunulmuştur. Elde edilen bu veriler bağlama yapım sürecinin daha başında, ahşabı akustik açıdan tanıyabilme ve çalgı yapımına uygunluğuna karar verebilme süreçlerinde yapımcılara fikir verme açısından oldukça önemlidir.

Bu çerçevede; ses tahtasının kalınlığı bağımsız değişken olarak, doğal frekanslar ve mod şekilleri de bağımlı değişken olarak kabul edilmiştir. Ölçümler için 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm ve 4.5mm kalınlıklarına sahip, aynı ladin kütüğünden kesilmiş dört ses tahtası kullanılmıştır. Kalınlığın etkisi hem ses tahtaları aynı en ve boy oranlarına sahip dikdörtgen plakalar halindeyken hem de aynı bağlama teknesi için biçilmiş özdeş damla şekli formlarına sahipken incelenmiştir. Ses tahtalarından elde edilen veriler, ilk beş mod ile sınırlandırılmıştır.

Birinci ve ikinci alt problemler için elde edilen bulgular doğrultusunda, dikdörtgen formundaki ses tahtalarının aynı numaralı modlarının doğal frekanslarının, ses tahtasının kalınlığıyla doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Aynı durum, damla formuna sahip ses tahtaları için de geçerlidir.

Bir ses tahtasının doğal frekanslarının ses tahtasının kalınlığından etkilenmesi ve kalınlık arttıkça doğal frekansların artması, akustik bilimi açısından beklenen bir sonuçtur. Ses tahtasının kalınlığının artması, ses tahtasının hem kütlesinin hem de sertliğinin artmasına neden olur. Doğal frekans; sertlik ile doğru, kütle ile ters orantılı olan bir büyüklüktür. Ancak sertlik, kütleden çok daha hızlı değiştiği için doğal frekanslar üzerinde kütleyle göre daha fazla etkili olmaktadır. Bu

nedenle ses tahtasının kalınlığının artması, doğal frekansların da artması sonucunu doğurmaktadır (Hutchins, 1983: 31; Özgüven, 2008: 216).

Belli bir kalınlıktaki ses tahtası dikdörtgen formdan damla formuna getirildiğinde, ses tahtasının doğal frekanslarının yükseldiği tespit edilmiştir. Örneğin 3.0mm'lik ses tahtasının düzeyde iki çizgiden oluşan mod şeklinin doğal frekansı, dikdörtgen formunda 44Hz iken damla formuna getirildiğinde 57Hz değerine çıkmıştır. Diğer bir ifadeyle, ses tahtası küçülünce doğal frekansın değeri artmıştır. Benzer durum diğer mod frekansları için de geçerlidir. Hutchins bu ilişkiyi, plaka ne kadar büyükse mod frekansı o kadar düşüktür şeklinde ifade etmiştir (Hutchins, 1981: 4).

Dikdörtgen formundaki ses tahtalarının aynı numaralı modlarının tıklama tonlarının, kalınlık faktöründen etkilendiği, tıklama tonlarının kalınlık ile doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Aynı durum, damla formuna sahip ses tahtaları için de geçerlidir.

Dikdörtgen ve damla formuna sahip ses tahtalarının hem *Chladni* hem de tıklama metodu ile elde edilen doğal frekanslarının, beklenildiği üzere birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür. Sonuçların birbiriyle büyük oranda uyumlu çıkması, ses tahtalarına uygulanan deneysel yöntemlerin her ikisinin de başarı bir şekilde yapıldığı anlamına gelmektedir.

Birinci ve ikinci alt problemler için elde edilen bulgular doğrultusunda varılan bir diğer önemli sonuç, dikdörtgen formundaki ses tahtalarının aynı numaralı modlarının mod şekillerinin birbirine çok büyük oranda benzediğidir. Bu sonuç doğrultusunda; mod şekli bağımlı değişkeninin, ses tahtasının kalınlığından etkilenmediği söylenebilmektedir. Aynı durum, damla formuna sahip ses tahtaları için de geçerlidir.

Dikdörtgen ve damla formundaki aynı numaralı mod şekillerinin ses tahtasının kalınlığından etkilenmemesi, Hutchins'in sonuçlarıyla uyumlu çıkmıştır. Hutchins keman üzerine yaptığı çalışmasında, mod şekillerinin keman ailesi boyunca benzer olduğunu ancak meydana geldikleri frekansların her plakaya özgü olduğunu vurgulamıştır (Hutchins, 1981: 4).

Dikdörtgen ve damla formundaki bazı mod şekillerinin de birbirine benzemesi dikkat çekicidir. Dikdörtgen formlarındaki iki dikey, üç dikey ve iki yatay düğüm çizgilerinden oluşan *Chladni* desenleri, damla formlarında da görülmüştür.

Jansson (2002: 12) yaptığı araştırmada, dikdörtgen formundaki bir ses tahtasının en düşük ilk üç moduna ait mod şekillerini yayımlamıştır. Buna göre; birinci modun “ + ” şekline, ikinci modun “ = ” şekline ve üçüncü modun da “ || ” şekline benzediğini ifade etmiştir. Ancak bu makalede,

bağlamanın dikdörtgen formuna sahip dört ses tahtasının her biri için Jansson'ın dediği gibi “+” şeklinde olması beklenen birinci mod, *Chladni metodu* ile elde edilememiştir. Buna rağmen böyle bir gizli modun varlığı, Jansson'ın ortaya koyduğu referansın yanı sıra damla formunda iki dikey çizgiden oluşan modun öncesinde bir alt modun ortaya çıkmasıyla da kendini hissettirmiştir. Bu doğrultuda; dikdörtgen formlarına ait bu gizli alt modlar, *Chladni metoduyla* olmasa da tıklama metoduyla tespit edilebilmiştir. *Chladni metodunun* bu alt modlarda yetersiz kalmasının nedeninin, deneyde kullanılan hoparlörün bu frekanslardaki veriminin düşük olmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Damla şekilli formlara uygulanan tıklama metodu sonucunda, dikdörtgen formlarında olduğu gibi yeni bir alt mod tespit edilmemiştir. Bu durum, damla formlarının ana tonlarının *Chladni metoduyla* tespit edilebildiğinin bir göstergesidir.

Bağlama yapımında kullanılacak olan ses tahtaları, ilk aşamada dikdörtgen formda biçilir. Bu formdaki tahtaların kalınlıkları, genellikle 4.5mm ile 5.0mm arasında değişir. İkinci aşamada ise ses tahtaları, bağlama teknesinin ağız kısmına uygun damla formunda kesilir. Kesimin ardından bağlamaya monte edilir ve yapılan tesviye işlemiyle 3.0mm ile 4.0mm arasında değişen nihai kalınlığa ulaşılır. Bu makale aracılığıyla bağlama yapımında kullanılacak olan bir ses tahtasının, söz konusu ölçülerde sahip olabileceği temel akustik özelliklere ait ilk veriler ortaya konmuştur.

Makalede, farklı kalınlıktaki ses tahtaları için elde edilen veriler nasıl ki dikdörtgen formdan damla formuna geçince değiştiyse, ses tahtası tekneye monte edilince ve sonrasında tesviye işlemi yapılırken da değişecektir. Çünkü ses tahtasına yapılan her bir müdahale, hem kütleyi hem de sertliği etkileyerek akustik özelliklerde kaçınılmaz bir değişime yol açmaktadır. O nedenle bağlama yapım sürecinde ses tahtasına yapılan bu gibi işlemlerin etkileri de araştırılmalıdır.

Bağlama akustiği üzerine yapılacak olan bu ve benzeri araştırmaların, bağlamanın standardizasyonu sürecine önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir. Alana ilgi duyan araştırmacıların benzer araştırmalar yaparak bu sürece destek olmaları önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Chladni metodunda kullanılan ses sisteminin kurulumunda desteğini esirgemeyen elektrik-elektronik yüksek mühendisi Teoman Pasinlioğlu'na; ses tahtalarının temin edilmesi ve istenen ebatlarda biçilerek ölçüme hazır hale getirilmesi aşamalarında yardımcı olan bağlama yapımcısı Özkan Gezer'e teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Açın, C. (2002). *Enstrüman bilimi (organoloji)* (10. bs.). İstanbul: Emek Basımevi.
- Açın, S.Y. (1998). *Türk halk müziği sazlarından bağlama ve kemanenin son yapım teknikleri*. Sanatta Yeterlik Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Büyükoztürk, Ş., Çakmak, E.K., Akgün, Ö.E., Karadeniz, Ş. ve Demirel, F. (2008). *Bilimsel araştırma yöntemleri* (2. bs.). Ankara: Pegem Akademi.
- 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.
- Değirmenli, E. (2017). Telli çalgı yapımında kullanılan titreşim ölçüm tekniklerinin deneysel analizi. *Rast Müzikoloji Dergisi*, 5(3), 1687-1707.
(Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/rastmd/issue/36964/466608>)
- Değirmenli, E. (2018). *Türk müziği çalgılarından udda ses oluşumunun incelenmesi ve telli çalgıların ses karakteri açısından tasarımlarının belirlenmesine dair yöntem önerisi*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara.
- Doğanyığıt, S., Şahin, C., Yiğiter, M.E. ve Tüfekci, S. (2018). Bağlama yapımcılarının bağlama üretimine yönelik görüşleri. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(61), 467-478.
<http://doi.org/10.17719/jisr.2018.2937>
- Firth, I. (1977). Acoustical experiments on the lute belly. *The Galpin Society Journal*, 30, 56-63.
<https://doi.org/10.2307/841367>
- Fletcher, N.H. ve Rossing, T.D. (1991). *The physics of musical instruments*. Springer-Verlag New York Inc.
- Hutchins, C.M. (1962). The physics of violins. *Scientific American*, 207(5), 78-93.
(Erişim adresi <https://www.jstor.org/stable/24936353>)
- Hutchins, C.M. (1981). The acoustics of violin plates. *Scientific American*, 245(4), 170-187.
(Erişim adresi <https://www.jstor.org/stable/24964583>)
- Hutchins, C.M. (1983). Plate tuning for the violin maker. *Catgut Acoustical Society*, 39, 25-32.
- Hutchins, C.M. (1987). Some notes on free plate tuning frequencies for violins, violas and cellos. *Journal of the Catgut Acoustical Society*, 47, 39-41.
- Jansson, E. (2002). *Acoustics for violin and guitar makers chapter v: vibration properties of the wood and tuning of violin plates* (4th ed.). Kungl Tekniska Högskolan. Dept of Speech, Music and Hearing.

Moral, J.A. ve Hutchins, C.M. (1983). Input admittance and vibration patterns of free violin plates. *Catgut Acoustical Society, Inc. Newsletter*. 39, 18-22.

Önal, Ö. (2002). Bağlamada standardizasyon. *ODTÜ Halkbilimi Dergisi*, Yeni 17. Sayı, 18-23.

Özgüven, H.N. (2008). *Gürültü kontrolü, endüstriyel ve çevresel gürültü* (2. bs.) Ankara: Türk Akustik Derneği.

Pedrammehr, S.; Aghdam, N.J.; Pakzad, S.; Etefagh, M.M. ve Sadeghi, M.H. (2018). A study on vibration of setar: stringed Persian musical instrument. *Journal of Vibroengineering*, 20(7), 2680-2689.

(Erişim adresi <https://www.extrica.com/article/19505>)

Serway, R.A. ve Beichner, R.J. (2015). *Fen ve mühendislik için fizik 1* (5. bs.) (Çev. Ed. K. Çolakoğlu), Ankara: Palme Yayıncılık.

Web Kaynakları

TR DİZİN. (2024). TÜBİTAK Projesi: Bağlama Teknesinin Akustik Analizleri. (Erişim linki: <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/1212500/baglama-teknesinin-akustik-analizleri>), (Erişim tarihi: 15.06.2024)

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

The baglama, identified with Turkish culture, is a symbol of Anatolia's traditional musical heritage. For centuries, the baglama has played an important role in the vocalization of stories told, folk songs sung and poems recited among the people. For this reason, it can be said that the baglama serves as an important bridge in the process of transferring oral literature from generation to generation.

The baglama (also called saz), the main instrument of Turkish folk music, is a long-necked lute-type stringed instrument. It basically consists of resonator, soundboard, and neck parts. The vibrations created in the strings are transferred to the soundboard through the bridge on the soundboard and from there to the air in the resonator and the resonator. Wood materials with different vibration properties are used in the construction of the resonator, soundboard, and neck parts.

Especially by changing the size of the resonator, baglamas of different sizes and therefore timbres are produced. These types, known as 'meydan sazı', 'divan sazı', 'bağlama', 'tambura', and 'cura', constitute the basis of the baglama family instruments. Such diversity both enables the

expression of different emotions by offering a wide range of sounds, and contributes to the enrichment of traditional musical culture through the expansion of the repertoire.

In this article, the soundboard of the baglama, an indispensable instrument of Turkish folk music, is analyzed acoustically. When the scientific studies on baglama acoustics were examined, it was found that the number and scope of previous studies were quite limited. Among the basic parts of the baglama, such as resonator, soundboard, and neck, the most important part in terms of acoustics is the soundboard. Therefore, this study focuses on the soundboard.

METHOD

The aim of the research was determined to reveal how the natural frequency and mode shapes of the soundboard are affected by the thickness parameter. In this context, natural frequency and mode shapes were determined as independent variables and thickness as the dependent variable. It was analyzed how the changes in the thickness independent variable affect the dependent variables.

Firstly, 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm, and 4.5mm-thick soundboards with the same rectangular-shape form were cut from the same piece of spruce log. The natural frequencies and mode shapes of these soundboards were determined by using the *Chladni method*. The *Chladni method* is based on the principle that the soundboard placed on top of the fixed loudspeaker is vibrated by a fixed frequency sine signal sent from the sound generator.

The dust grains sprinkled on top of the soundboard begin to move as a result of the soundboard vibrating. This movement goes from the vibrating regions of the soundboard to the non-vibrating regions and the movement ends there. At the end of the process, the vibrating and non-vibrating regions are visualized with the help of dust particles. In this experiment, the frequencies at which the dust particles vibrate with maximum amplitude are recorded as mode frequencies, and the resulting patterns are recorded as mode shapes.

Another method used in the research is the tapping method. In this method, the soundboard is held loosely with the thumb and forefinger of one hand and vibrated by tapping it lightly with the index or middle finger of the other hand. In this way, the natural frequencies of the soundboard are obtained. After the natural frequencies and mode shapes of the rectangular soundboards were determined with the help of these two methods, the soundboards were cut in a drop-shaped form

suitable for the same baglama resonator. Similar measurements were repeated for the drop-shaped soundboards.

FINDINGS, DISCUSSION, AND RESULTS

At the end of the study, it was found that the thickness of the soundboard affected the natural frequencies, and the frequency values increased as the thickness increased. It was observed that the thickness change had no effect on the mode shapes. These results are valid for both rectangular and drop-shaped soundboards. When the soundboard with the same thickness is evaluated within itself, it is observed that both natural frequencies and mode shapes change when it changes from rectangular to the drop-shaped form.

Baglama making in Turkey is a field where scientific methods are rarely applied during the production stages, and sound and structural quality are developed through individual efforts. According to the literature, it is known that there are very few and limited studies on baglama acoustics. Therefore, this study is the first scientific research that identifies the natural frequencies and mode shapes of the baglama's soundboard for both rectangular and drop-shaped forms, and investigates how these acoustic properties are affected by the thickness of the soundboard. In addition, two experimental methods used to identify the vibrational properties of the soundboard are explained in detail in this study. It is believed that this study will serve as a guide for those involved in baglama making. It is recommended that instrument makers and researchers interested in instrument making use these experimental methods in their own work.