

Türk Müziği Makam Eğitime Yönelik Etkileşimli Bir Yazılım Modeli: Makamlab Prototipi

An Interactive Software Model For Turkish Music Maqam Education: The Makamlab Prototype

Melih Can Atasoy¹ , Burcu Kalkanoğlu² 

¹Trabzon Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Müzikoloji Bölümü, Trabzon, Türkiye

²Trabzon Üniversitesi, Devlet Konservatuarı, Müzikoloji Bölümü, Trabzon, Türkiye

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Arel-Ezgi-Uzdilek Türk Müziği kuramında makamların temel yapı taşları olan dörtlü ve beşlilerin farklı perdeler üzerine nasıl transpoze edildiğini ve birleşerek makam dizilerini nasıl oluşturduğunu görsel ve işitsel olarak deneyimlemeye imkân tanıyan web tabanlı bir eğitim yazılımı tasarlamaktır. Araştırma, Türk müziği makam teorisine yeni başlayan öğrencilerin temel makamsal dörtlüleri ve beşlileri farklı perdeler üzerinde algılamada ve transpoze etmede yaşadıkları güçlüklerin etkileşimli bir dijital araçla nasıl giderilebileceği sorusuna odaklanmaktadır.

Tasarım Temelli Araştırma (Design-Based Research) yaklaşımı ile yürütülen bu çalışmada, mevcut Türk müziği nota yazım programlarından müzik eğitimi süreçlerinde de yararlanılmasına yönelik eksik boyutlar tespit edilmiş ve bu doğrultuda görsel/işitsel tabanlı “MakamLab” yazılım prototipi geliştirilmiştir. Örneklem olarak Arel-Ezgi-Uzdilek sistemindeki en yaygın makamsal dörtlü ve beşlilerden Rast, Uşşak/Hüseyni, Çargâh, Buselik, Kürdi ve Hicaz dörtlü ve beşlileri temel alınmıştır. Doküman analizi yoluyla toplanan Türk müziği perdeleriyle ilgili teorik müzik verileri (koma mesafeleri ve konum değerleri), HTML5, CSS ve JavaScript teknolojileri ile matematiksel algoritmalarla dönüştürülerek web teknolojileriyle işlevsel bir hale getirilmiştir.

Bulgular, Arel-Ezgi-Uzdilek sisteminin 53 komalık yapısının matematiksel olarak modellendiğini, SVG tabanlı görselleştirme algoritmasının herhangi bir karar perdesi üzerinde makamsal dörtlü-beşli kombinasyonu için tutarlı bir

Melih Can Atasoy — melihcanatasoy@gmail.com

Geliş tarihi/Received: 09.05.2026 — Kabul tarihi/Accepted: 23.05.2026 — Yayın tarihi/Published: 12.06.2026

Bu çalışma, Trabzon Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından desteklenen 26TEZ00332 proje numaralı bir Lisansüstü Tez Projesinden üretilmiştir. Ayrıca bu makale, 27-29 Nisan 2026 tarihlerinde gerçekleştirilen “V. Uluslararası Müzik Araştırmaları Öğrenci Kongresi”nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Telif hakkı © 2025 Yazar(lar). Açık erişimli bu makale, orijinal çalışmaya uygun şekilde atıfta bulunulması koşuluyla, herhangi bir ortamda veya formatta sınırsız kullanım, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren Creative Commons Attribution License (CC BY) altında dağıtılmıştır.

Copyright © 2025 The Author(s). This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium or format, provided the original work is properly cited.

Türk Müziği Makam Eğitime Yönelik Etkileşimli Bir Yazılım Modeli: MakamLab Prototipi notasyon ürettiğini ve Web Audio API aracılığıyla mikrotonal frekansların doğrudan ses olarak aktarılabilirdiğini ortaya koymaktadır. Özgün blok mimarisi sayesinde öğrenciler, makam dizilerini bileşenlerine ayırarak farklı perdeler üzerinde sesli ve görsel olarak deneyimleyebilmektedir. Sonuç olarak MakamLab, soyut makam kuramını etkileşimli bir deneyime dönüştürerek Türk müziği eğitiminde teknoloji kullanımına özgün ve uygulanabilir bir model sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Türk Müziği Makam Teorisi, Eğitim Yazılımı, Makam Dizileri, Mikrotonal Modelleme, MakamLab.

ABSTRACT

The purpose of this study is to design a web-based educational software that enables learners to visually and aurally experience how tetrachords and pentachords — the fundamental building blocks of maqams — are transposed on different pitches and how they combine to form maqam scales. The research focuses on the question of how the difficulties encountered by students new to maqam music theory in perceiving and transposing basic jins (melodic cells) across different pitches can be addressed through an interactive digital tool.

Conducted within a Design-Based Research (DBR) framework, this study identifies the educational shortcomings of existing maqam music and notation software, and accordingly develops a visually and aurally oriented software prototype called “MakamLab.” The most prevalent jins in the Arel-Ezgi-Uzdilek system — Rast, Uşşak/Hüseyni, Çargâh, Buselik, Kürdi, and Hicaz — were selected as the sample. Theoretical music data collected through document analysis, including comma intervals and positional values, were transformed into mathematical algorithms using HTML5, CSS, and JavaScript technologies.

The findings reveal that the 53-comma structure of the Arel-Ezgi-Uzdilek system is mathematically modeled, the SVG-based visualization algorithm generates consistent notation for any combination of maqam tetrachords and pentachords on any given finalis, and microtonal frequencies can be directly transmitted as audio via the Web Audio API. Thanks to its unique block architecture, students can decompose maqam scales into their constituent components and experience them aurally and visually on different pitches. In conclusion, by transforming abstract maqam theory into an interactive experience, MakamLab offers an original and applicable model for the use of technology in Turkish music education.

Keywords: Turkish Music Maqam Theory, Educational Software, Maqam Scales, Microtonal Modelling, MakamLab.

GİRİŞ

Türk müziğinde makam dizileri tarih boyunca farklı kuramcılar tarafından çeşitli biçimlerde açıklanmıştır. 20. yüzyıl başlarında Rauf Yekta Bey’in sistematik yaklaşımlarıyla başlayan bu süreç, ardından Hüseyin Sadettin Arel, Suphi Ezgi ve Salih Murat Uzdilek tarafından geliştirilen kuramsal çerçeveye kurumsallaşmıştır. Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) sistemi, makamların belirli ses dizileriyle açıklanmasına olanak tanımış ve uzun yıllar konservatuvar eğitiminde temel referans

Ancak Batı müziği temelli nota sisteminin mikrotonları sınırlı biçimde temsil etmesi, hem işitsel doğruluk hem de esneklik açısından önemli kısıtlar oluşturmıştır (Signell, 1977; Wright, 1992). Güncel literatür, makamların sabit dizilerden ziyade icra bağlamına ve melodik akışa bağlı dinamik yapılara sahip olduğunu vurgulamaktadır (Feldman, 1996; Marcus, 1989; Özkan, 2013). Türk müziği makam teorisi eğitime yeni başladığında karşılaşılan başlıca problemlerden biri, makamların oluşumunu sağlayan temel dörtlü ve beşlilerin karmaşık yapısının farklı perdeler üzerinde kolayca algılanamamasıdır.

Türk müziğinde makam öğretimi, başlangıç aşamasında genellikle dörtlü ve beşli yapıların birleşimiyle oluşturulan diziler temel alınarak yürütülmektedir. Alana yönelik mevcut müzik yazılımları ise genellikle sınırlı kapsamlı olup eğitim amacıyla kurgulanmış içerikten ziyade nota yazımına yönelik tasarlanmış programlardır. Örneğin Türk müziği özelinde nota yazımı ve seslendirme imkânı sunan Mus2 (Yarman, 2010), profesyonel kullanıcılara yönelik olması ve yalnızca masaüstü bilgisayarlarda çalışması nedeniyle eğitim amaçlı erişilebilirliği kısıtlı bir araçtır. Makamsal perdeleri seslendirebilen Sanal Kanun (Yarman, 2010) ise daha çok orta ve ileri seviyedeki kanun icracılarına hitap etmektedir. Ayrıca bu tür uygulamalar, makamları oluşturan temel makamsal dörtlü ve beşlileri doğrudan oluşturup pedagojik bir yaklaşımla sunmamaktadır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, Türk müziği alanında zaman zaman karmaşık olduğu ifade edilen kuramsal içeriğin öğrenimi kolaylaştırabilecek ve herkesin kolayca ulaşabileceği nitelikte eğitsel araçlar müzik eğitiminde önemli bir rol üstlenebilir. Bu noktadan hareketle geliştirilen yazılım modeli, temel dörtlü ve beşlilerin farklı perdelerde nasıl yapılandırıldığını görsel ve işitsel olarak göstererek öğrencilerin bu yapıları deneyimlemelerine olanak tanımaktadır. Teorik bilgilerin işitsel ve görsel pratikle bütünleştirilerek etkileşimli biçimde temsil edilmesi, literatürdeki bu eksikliği gidermek açısından kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda araştırmanın temel problem sorusu şu şekilde belirlenmiştir: Türk müziği makam teorisine yeni başlayan öğrencilerin temel makamsal dörtlü ve beşlileri algılamada ve farklı perdeler üzerine transpoze etmede yaşadıkları güçlükler etkileşimli bir dijital araçla nasıl giderilebilir? Bu ana problem çerçevesinde alt problemlere yanıt aranmıştır. Türk müziği perde sistemi yazılıma nasıl aktarılabilir? Makamsal dörtlü ve beşliler matematiksel olarak nasıl tanımlanmalıdır? Porte ve üzerindeki semboller nasıl görselleştirilebilir? Mikrotonal ses üretimi dijital ortamda nasıl yapılabilir? Makamsal dörtlü-beşliler yazılım içerisinde nasıl bir araya getirilerek makam dizilerini oluşturabilir ve farklı perdelerle göçürülebilir?

AMAÇ

Bu çalışmanın temel amacı, Türk müziği makam eğitime yönelik “MakamLab” adlı web tabanlı bir yazılım prototipi geliştirmektir. Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) sistemini temel alan bu araç; makamların yapı taşı olan dörtlü ve beşlilerin

Yazılım sayesinde kullanıcıların bilinen makam dizilerini kendilerinin oluşturması yoluyla öğrendiklerini pekiştirmeleri, farklı perdelere göçürmeleri ve farklı makamlar için dörtlü ve beşlileri eşleştirerek yeni kombinasyonlar üretmeleri hedeflenmektedir. Araştırmanın bir diğer odak noktası ise, geliştirilen bu ilk sürümün doğruluk, işlevsellik ve kullanılabilirlik açısından sistematik değerlendirmesini yaparak gelecekteki iyileştirilmiş versiyonlar için kuramsal ve teknik bir altyapı oluşturmaktır.

ÖNEM

Bu çalışma, Türk müziği makam eğitimindeki kuramsal içeriğin öğrenilmesi sürecinde karşılaşılan zorluklara teknoloji odaklı ve etkileşimli bir çözüm modeli getirmesi yönüyle önem taşımaktadır. Mevcut yazılımların erişim kısıtlılıklarını ve salt nota yazımına odaklanan yapısını aşmayı hedefleyen MakamLab, makamsal dörtlü ve beşlilerin portede serbestçe konumlandırılmasına olanak tanıyarak kullanıcılara geniş bir esneklik alanı sağlar. Araştırmanın temel özgünlüğü; yeni başlayan öğrencilerin makam dizilerini algılama ve farklı perdelere göçürme süreçlerinde yaşadıkları sorunları, anlık işitsel ve görsel geri bildirimlerle gideren dijital bir altyapı sunmasıdır. Soyut bilginin uygulamalı deneyimle kalıcı hale gelmesini sağlayan bu yaklaşım, Türk müziği teorisinin bilgisayar destekli ortamlara entegrasyonunu güçlendirerek alanın teknolojik gelişimine yenilikçi bir katkı sağlamaktadır.

YÖNTEM

Bu araştırma, Türk müziği makam dizilerinin görsel ve işitsel biçimde temsil edilmesine yönelik web tabanlı bir prototipin tasarımı ve geliştirilmesini konu edindiği için “Tasarım Temelli Araştırma” (Design-Based Research) yaklaşımı doğrultusunda yürütülmektedir. Tasarım Temelli Araştırma; bir ürünün tasarımı, uygulanması, değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi aşamalarını kapsayan döngüsel bir sürece dayanır (Brown, 1992; Reeves et al., 2005; Wang & Hannafin, 2005).

Bu makalenin kapsamı, tasarım temelli araştırma modelinin ilk aşaması olan problem analizi, kuramsal modelleme ve ilk yazılım prototipinin geliştirilmesi süreciyle sınırlandırılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle MakamLab adlı yazılımın ilk prototipi araştırmacı tarafından geliştirilmiş olup bu prototip, makam dizilerinin portede görselleştirilmesi ve mikrotonal frekanslara dayalı olarak doğru biçimde temsil edilmesine yönelik temel işlevleri içermektedir.

Yazılımın geliştirilme sürecinde öncelikle Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) sistemi temel alınarak dörtlü ve beşlilerin portede gösterilmesine ve mikrotonal frekanslarla temsil edilmesine odaklanılmıştır. Doküman analizi yoluyla toplanan teorik müzik verileri (koma mesafeleri ve konum değerleri), HTML5, CSS ve JavaScript teknolojileri ile matematiksel algoritmalara dönüştürülmüştür. Tasarımın temel parametresi olarak Neva perdesi 440 Hz referans kabul edilmiş ve

Kaba Çargâh perdesinden başlanarak 53 komalık sistemdeki tüm perdelerin frekans tablosu hesaplanmıştır. Geliştirilen web prototipi, Web Audio API aracılığıyla bu frekansları işitsel olarak üretirken SVG teknolojisi ile makamsal dörtlü ve beşlilerin portede gösterilmesi gereken konumları ve Türk müziği ses değiştirici işaretlerini hatasız biçimde çizmektedir.

BULGULAR

1. Perde Sisteminin Kuramsal Yapısı ve Matematiksel Modeli

MakamLab'ın işlevsel altyapısını oluşturabilmek için Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) sistemindeki perde yapısının matematiksel olarak tanımlanması gerekmektedir. AEU sistemine göre bir oktav 53 eşit komaya bölünmüş olup bu aralık içinde 24 eşit olmayan perde isimlendirilmiştir. Türk müziğine özgü bu perdelerin frekans değerleri, Batı müziği tampere sistemindeki frekans değerleriyle birebir örtüşmemekte; notaların isimlendirilmesinde de Türk müziği perde isimleri kullanılmaktadır.

Sistemin en küçük yapı birimi olan koma, bir tam aralığın dokuz eşit parçaya bölünmesiyle elde edilir. Farklı koma değerlerine karşılık gelen ikili aralıklar ise Koma, Eksik Bakiye, Bakiye, Küçük Mücenneb, Büyük Mücenneb, Tanini ve Artık İkili olarak adlandırılmıştır. Tablo 1'de görüldüğü üzere, her birine özgü diyez ve bemol sembolleri tanımlanmıştır

Tablo 1

Türk Müziğine Özgü İkili Aralıklar, Koma Değerleri ve Sembolleri

Aralığın Adı	Koma Değeri	Diyezi	Bemolü	Simgesi
Koma	1	#	♭	F
Eksik Bakiye	3	-	-	E
Bakiye	4	#	♭	B
Küçük Mücenneb	5	#	♭	S
Büyük Mücenneb	8	#	♭	K
Tanini	9	×	♭	T
Artık İkili	12	-	-	A ₁₂

Yazılımın tüm matematiksel hesaplamalarına temel oluşturan referans perdeyi belirlemek için A4 sesi kullanılmıştır. Bu ses, 1955 yılında Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından 440 Hz olarak standartlaştırılmıştır. Türk müziğinde Neva perdesine karşılık gelen bu ses ile Kaba Çargâh perdesi arasındaki koma farkı 62 olduğundan, Kaba Çargâh'ın frekansı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$f(Kaba \text{ Çargâh}) = \frac{440}{\frac{62}{253}} \approx 195,57Hz (1)$$

Türk Müziği Makam Eğitime Yönelik Etkileşimli Bir Yazılım Modeli: MakamLab Prototipi
Sistemdeki herhangi bir perdenin frekansı ise Kaba Çargâh ile o perde arasındaki koma farkı olan **n** değeri kullanılarak
şu formülle elde edilmektedir:

$$f(perde) = 195,57 \times 2^{\left(\frac{n}{53}\right)} (2)$$

Bu formül, MakamLab'da her perdenin doğru mikrotanal frekansını üretmesinin matematiksel temelidir.

Perde sisteminin portede doğru görselleştirilebilmesi için her perdenin porte üzerindeki konumunun da sayısal olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla Tablo 2'de görüldüğü üzere, perdelerin **n** değerleri (Kaba Çargâh'a olan koma uzaklığı) ve **konum değerleri** (notanın porte üzerindeki dikey pozisyonu) belirlenerek bir referans tablosu oluşturulmuştur. Tabloda bazı perdeler birbirine komşu iki farklı konumda gösterilebildiğinden iki ayrı değiştirici işareti karşılık gelmektedir; bu durum söz konusu perdelerin tabloda çift satır olarak yer almasına yol açmaktadır.

Perde ismi bulunmayan n değerleri tabloya dahil edilmemiştir.

Tablo 2

Perdeler Arası Koma (n) ve Porte Konum Değerleri

n	Perde İsimleri	Konum	Konum Değerine Göre Notanın Alacağı Arızma			
0	Kaba Çargah	0	-			
4	Kaba Nîm Hicaz	0 veya 1	0 için	#	1 için	b
5	Kaba Hicaz	0 veya 1	0 için	#	1 için	b
8	Kaba Dik Hicaz	0 veya 1	0 için	#	1 için	d
9	Yegah	1	-			
13	Kaba Nîm Hisar	1 veya 2	1 için	#	2 için	b
14	Kaba Hisar	1 veya 2	1 için	#	2 için	b
17	Kaba Dik Hisar	1 veya 2	1 için	#	2 için	d
18	Hüseynî Aşiran	2	-			
22	Acem Aşiran	3	-			
23	Dik Acem Aşiran	3 veya 4	3 için	#	4 için	b
26	Irak	3 veya 4	3 için	#	4 için	b
27	Geveşt	3 veya 4	3 için	#	4 için	b
30	Dik Geveşt	3 veya 4	3 için	#	4 için	d
31	Rast	4	-			
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
84	Gerdaniye	11	-			
88	Nîm Şehnaz	11 veya 12	11 için	#	12 için	b
89	Şehnaz	11 veya 12	11 için	#	12 için	b
92	Dik Şehnaz	11 veya 12	11 için	#	12 için	d
93	Muhayyer	12	-			
97	Sümbüle	12 veya 13	12 için	#	13 için	b
98	Dik Sümbüle	12 veya 13	12 için	#	13 için	b
101	Tîz Segah	12 veya 13	12 için	#	13 için	d
102	Tîz Buselik	13	-			
105	Tîz Dik Buselik	13 veya 14	-	-	14 için	d
106	Tîz Çargah	14	-			

SVG çizim algoritmasında notaların dikey eksenindeki koordinatları belirlenirken doğrudan konum değerleri temel alınmıştır. Bu sistemde 0 değeri Kaba Çargâh'ı, 14 değeri ise Tiz Çargâh'ı ifade etmektedir. Ayrıca, standart portenin dışına taşan 0, 12, 13 ve 14 konum değerlerine sahip notalar için algoritma tarafından otomatik olarak yardımcı porte çizimleri eklenmektedir.

2. Makamsal Dörtlü ve Beşlilerin Yapısal Kodlanması

Türk müziği makam dizilerinin temel yapı taşlarını oluşturan makamsal dörtlü ve beşliler, literatürde çeşni olarak da adlandırılmaktadır (Kurtuldu, 2018; Özkan, 2013). MakamLab'da kullanılan altı temel makamsal dörtlü ve beşli; Rast, Uşşak/Hüseynî, Çargâh, Buselik, Kürdî ve Hicaz'dır. Bu makamsal dörtlü ve beşlilerin her biri, karar sesine (1. ses) göre tanımlanmış sabit koma uzaklıklarıyla kodlanmıştır. Söz konusu koma uzaklıkları, birinci bölümde açıklanan n değer sistemi üzerinden ifade edilmekte; her sesin frekansı ve porte konumu bu değerden türetilmektedir.

Geleneksel teoride ve MakamLab yazılımında her makamsal dörtlü ve beşli yapısı, karar sesinin bir altında konumlanan ve makamsal seyirde karara varmayı işaret ederek makamsal dörtlü ve beşlinin karakterini pekiştiren 'yeden' sesiyle birlikte modellenmiştir. Bu yaklaşımla makamsal dörtlü ve beşliler; dörtlüler için beş, beşliler için ise altı ses olarak temsil edilmektedir. Karar sesine olan uzaklığına göre tam yeden 9 koma, yarım yeden ise 4–5 koma aralığına sahiptir. Bu doğrultuda yazılımdaki Rast ve Buselik makamsal dörtlü ve beşlileri yarım yeden, diğer dört makamsal dörtlü ve beşli ise tam yeden yapısıyla sisteme entegre edilmiştir.

Yazılımda her makamsal dörtlü ve beşli, perdelerin karar sesine olan koma uzaklıkları temel alınarak modellenmiştir. Bu sistemde karar sesi referans (sıfır) noktası olarak kabul edildiğinden; yeden sesi için negatif, karar sesinin üzerindeki perdeler için ise pozitif koma değerleri kullanılmıştır. Tablo 3, dörtlülerin; Tablo 4 ise beşlilerin karar sesine olan koma uzaklıklarını göstermektedir.

Tablo 3

Temel Dörtlülerin Karar Sesine Olan Koma Uzaklık Değerleri

		n + (1. Ses ile Koma Farkı)				
4'lüler	Sesler	Yeden	1. Ses	2. Ses	3. Ses	4. Ses
Rast		n - 5	n	n + 9	n + 17	n + 22
Uşşak		n - 9	n	n + 8	n + 13	n + 22
Çargah		n - 4	n	n + 9	n + 18	n + 22
Buselik		n - 5	n	n + 9	n + 13	n + 22
Kürdi		n - 9	n	n + 4	n + 13	n + 22

Hicaz	n - 9	n	n + 5	n + 17	n + 22
-------	-------	---	-------	--------	--------

Tablo 4

Temel Beşlilerin Karar Sesine Olan Koma Uzaklık Değerleri

Sesler 5'liler	n + (1. Ses ile Koma Farkı)					
	Yeden	1. Ses	2. Ses	3. Ses	4. Ses	5. Ses
Rast	n - 5	n	n + 9	n + 17	n + 22	n + 31
Hüseyni	n - 9	n	n + 8	n + 13	n + 22	n + 31
Çargâh	n - 4	n	n + 9	n + 18	n + 22	n + 31
Buselik	n - 5	n	n + 9	n + 13	n + 22	n + 31
Kürdi	n - 9	n	n + 4	n + 13	n + 22	n + 31
Hicaz	n - 9	n	n + 5	n + 17	n + 22	n + 31

Porte üzerindeki konum değerleri, makamsal dörtlü ve beşlinin karar sesine ait konum değeri referans alınarak belirlenmektedir. Tablo 5'de de görüldüğü üzere, karar sesinin konum değeri (KD) merkez olarak kabul edildiğinde; makamsal dörtlü ve beşliyi oluşturan sesler dörtlüler için KD, KD+1, KD+2, KD+3 konumlarına, beşliler için ise bunlara ek olarak KD+4 konumuna yerleştirilmektedir. Yeden sesi ise her iki yapıda da standart olarak KD-1 konumunda yer almaktadır.

Tablo 5

Dörtlü ve Beşlilerde Seslerin Porte Konum Değerleri

4'lünün Sesleri	Yeden	1. Ses	2. Ses	3. Ses	4. Ses	
Konum Değeri (KD)	KD - 1	KD	KD + 1	KD + 2	KD + 3	
5'linin Sesleri	Yeden	1. Ses	2. Ses	3. Ses	4. Ses	5. Ses
Konum Değeri (KD)	KD - 1	KD	KD + 1	KD + 2	KD + 3	KD + 4

Her sesin n ve KD değerleri birinci bölümde oluşturulan referans Tablo 2'den doğrudan okunmaktadır. Bu iki verinin birlikte hesaplanması, aynı perdenin birden fazla konuma yazılabileceği durumlarda uygun ses değiştirici işaretinin saptanmasını sağlar. Sonuç olarak sistem, seçilen karar perdesi doğrultusunda her makamsal dörtlü ve beşliyi hem doğru frekans değerleriyle üretir hem de porte üzerinde doğru ses değiştirici işaretleriyle çizer.

3. SVG Tabanlı Porte Görselleştirme Algoritması

Web tabanlı çalışan MakamLab yazılımında görsel çıktılar, ölçeklenebilir vektör grafikleri (SVG) kullanılarak elde edilmektedir. Bu sayede porte, nota ve ses değiştirici sembolleri tüm ekran çözünürlüklerinde kalite kaybı olmaksızın dinamik olarak boyutlandırılabilir.

Çizim sürecini yöneten görselleştirme algoritması, porte koordinat sisteminin tanımlanması, nota başlarının dikey eksene yerleştirilmesi ve uygun ses değiştirici işaretlerinin atanması adımlarını takip ederek çalışmaktadır.

Koordinat Sisteminin Kurulması

Porte, beş yatay çizgiden oluşan standart bir yapıya sahiptir. Algoritma, iki komşu porte çizgisi arasındaki dikey mesafeyi temel birim olarak tanımlamakta ve tüm koordinat hesaplarını bu birim üzerinden yürütmektedir. Portenin sol kenarına sabit bir SVG bileşeni olarak yerleştirilen sol anahtar, görselleştirmenin referans noktasını oluşturmaktadır. Notalar ise bu anahtarın sağından itibaren yatay ekseninde soldan sağa doğru sıralanmaktadır.

Konum değerleri ile porte üzerindeki dikey koordinatlar arasındaki ilişki Şekil 1’de gösterilmektedir.

Şekil 1

Konum Değerlerinin Porte Üzerindeki Yerleri



Nota Başlarının Konumlandırılması

Notaların dikey eksenindeki koordinatları, sahip oldukları konum değerleri (KD) üzerinden belirlenmektedir. Bu sistemde çift sayıdaki konum değerleri notanın bir porte çizgisi üzerine, tek sayıdaki değerler ise iki porte çizgisi arasındaki boşluğa yerleştirilmesini sağlamaktadır. Konum değerlerinin 0 ile 14 aralığındaki porte üzerindeki karşılıkları ve dizilimi Şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 2

Konum Değerlerine Göre Notaların Porte Üzerindeki Şekilleri



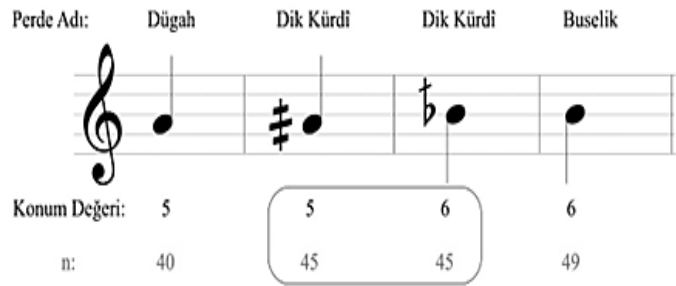
Ses Değiştirici İşaretlerin Atanması

MakamLab, Türk müziğinin mikrotanal yapısını yansıtan ses değiştirici işaretleri bağımsız SVG bileşenleri üzerinden yönetmekte ve bu görselleri ilgili nota başının soluna kusursuz bir şekilde hizalamaktadır. Yazılımın altyapısında; perde değerlerindeki 1, 4, 5, ve 8 komalık artışları temsil eden dört farklı diyez ile aynı oranlardaki azalışları ifade eden dört farklı bemol olmak üzere toplam sekiz ses değiştirici işaret tanımlanmıştır.

Hangi ses değiştirici işaretinin atanacağı, birinci bölümde sunulan referans Tablo 2'den n ve konum değerinin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenmektedir. Aynı n değerine sahip bir perde, farklı konum değerlerinde farklı ses değiştirici işaretleri almaktadır. Bu durum Şekil 3'te somutlaştırılmıştır: örneğin $n = 45$ değerine sahip Dik Kürdi perdesi konum değeri 5'te çift diyez alırken konum değeri 6'da bemol almaktadır.

Şekil 3

Aynı Perdenin Farklı Konum Değerlerindeki Ses Değiştirici İşaretlerin Gösterimi



Ses değiştirici işareti belirleme ve konumlandırma süreci şu sistematik adımları takip etmektedir:

- 1. Veri Okuma:** Seçilen karar perdesinin n değeri Tablo 2'de çekilir.
- 2. Hesaplama:** Karar Sesine olan koma uzaklık Değerleri Tablo 3 ve Tablo 4 aracılığıyla her sesin hedef n değeri belirlenir.
- 3. Eşleştirme:** Hesaplanan n değerine karşılık gelen perde ve olası konum değerleri Tablo 2'de sorgulanır.
- 4. Optimizasyon:** KD yerleşim kuralları Tablo 5 doğrultusunda en doğru konum seçimi yapılır.
- 5. Görselleştirme:** Seçilen konuma uygun ses değiştirici işareti SVG olarak nota başının soluna eklenir. Bu yapılandırılmış süreç, farklı karar perdeleri ve makamsal dörtlü-beşli kombinasyonlarında notasyonun eksiksiz üretilmesini sağlar.

4. Web Audio API ile Mikrotanal Ses Üretimi

Geleneksel MIDI protokolleri ve eşit tampere sistemine dayalı standart ses teknolojilerinin aksine Web Audio API, frekans değerlerini doğrudan osilatöre atama imkânı sunmaktadır. Bu teknolojik esneklik, Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) sisteminin 53 komalık mikrotanal yapısının gerektirdiği hassas aralıkların, aslına uygun ve hatasız bir şekilde dijital ortamda seslendirilmesi açısından avantaj sağlamaktadır.

Yazılımda sesler, en yalın ses formu olan sinüs dalgası kullanılarak üretilmektedir. Sinüs dalgası, herhangi bir ek gürültü içermediği için notanın frekansını en saf haliyle sunar. Ayrıca bu teknik sayesinde program, ağır ses dosyaları yüklemeye gerek kalmadan tüm cihazlarda hızlı ve akıcı bir şekilde çalışır.

Sesin mekanik bir dıt sesinden ziyade, doğal bir çalgı etkisine sahip olması için özel bir zamanlama sistemi uygulanır:

- **Başlangıç:** Düğmeye basıldığı anda ses en net haliyle duyulur.
- **Yavaşlama:** Ses 1,8 saniye boyunca sabit kalır ve ardından yavaşça azalmaya başlar.
- **Otomatik Kapanış:** 2,2 saniyenin sonunda ses tamamen kesilir.

Basılan notanın süresi henüz bitmeden yeni bir notaya basıldığında, sistem eski sesi çok kısa bir sürede (50 milisaniye) hızlıca kısarak kapatır. Bu mikro işlem, hoparlörden gelebilecek rahatsız edici “çıt” seslerini (ses patlamalarını) önler. Böylece notalar arası geçişler her zaman pürüzsüz ve temiz kalır.

Ses Butonlarının Arayüze Entegrasyonu

Her makamsal dörtlü ve beşli bloğunda yeden, karar ve makamsal dörtlü ve beşlinin diğer seslerine karşılık gelen ayrı ses butonları bulunmaktadır. Kullanıcı arayüzünde, yeden sesiyle birlikte dörtlüler için beş ve beşliler için altı buton yer almaktadır. Butonlar tıklandığında, yazılım ilgili perdenin doğru frekans değerleriyle çalmaya başlar. Karar perdesi değişimlerinde frekans hesaplamalarının otomatik ve anlık olarak yenilenmesi, kullanıcının farklı perdeler üzerinde doğru mikrotonal karşılıkları hatasız bir şekilde dinlemesine olanak tanır.

Ses üretim altyapısının tarayıcı tabanlı olması, MakamLab'ın herhangi bir kurulum gerektirmeksizin masaüstü ve mobil cihazlarda eşit biçimde çalışmasına imkân tanımaktadır. Bu özellik, benzer amaçlara hizmet eden ancak yalnızca masaüstü ortamında işlevsel olan mevcut araçlardan MakamLab'ı işlevsel açıdan ayıran temel etkenlerden biridir.

5. Blok Mimarisi: Makamsal dörtlü ve beşlilerin Ardışık Dizilimi ve Makam Dizilerinin Oluşumu

MakamLab'ın önceki bölümlerde açıklanan matematiksel ve görsel altyapısından işlevsel olarak ayrılan temel özelliği, birden fazla dörtlü ve beşlinin tek bir porte üzerinde yan yana dizilmesine olanak tanıyan blok mimarisidir. Geleneksel makam teorisi öğretiminde bir makam dizisi, birbirini izleyen dörtlü ve beşlilerin belirli kurallara göre birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. MakamLab bu yapıyı etkileşimli bir ortama taşımakta, kullanıcının her bloğa bağımsız makamsal dörtlü-beşli ve karar perdesi atayarak kendi dizi kombinasyonlarını özgürce kurmasına imkân sağlamaktadır.

Blok Yapısı ve Bağımsız Parametreler

Yazılımda her blok; makamsal dörtlü ve beşli türü, makamsal dörtlü ve beşlinin adı, karar perdesi ve yön bilgisinden oluşan parametre setiyle tanımlanır. Her birim, bu bilgiler ışığında frekans, konum ve ses değiştirici işaretlerini bağımsız olarak hesaplar. Bu bağımsız işleyiş sayesinde, bir bloktaki karar perdesi değişimi diğer bloklardan tamamen bağımsız bir

Bloklar arasındaki görsel ayrımı sağlamak amacıyla her bloğa otomatik olarak farklı bir renk atanmaktadır. Renk kodlaması yedi renkten oluşan sabit bir paletten döngüsel olarak seçilmekte; böylece kullanıcı ortak porte üzerinde hangi notanın hangi makamsal dörtlü-beşliye ait olduğunu anlık olarak ayırt edebilmektedir. Her bloğun başlık çubuğu ve ses butonları bu renkle işaretlenmekte, notalar ise portede aynı rengin tonu kullanılarak çizilmektedir.

Sistemdeki maksimum blok sayısı altı olarak belirlenmiştir. Bu sınırın pedagojik gerekçesi, makam dizilerinin genellikle iki ila dört birimden oluşması; teknik gerekçesi ise portenin okunabilirliğini en üst düzeyde tutma amacıdır. Altı bloklu kapasite, teorik olarak en kompleks makam yapılarının dahi eksiksiz bir şekilde yan yana getirilmesi için yeterli alanı sağlamaktadır.

Özel Yapı Tanımlama

MakamLab yalnızca önceden tanımlanmış altı makamsal dörtlü ve beşliyle sınırlı kalmamaktadır. Kullanıcılar, arayüzdeki özel yapı oluşturma seçeneği aracılığıyla kendi dizilerini tanımlayarak sisteme yeni dörtlü veya beşli ekleyebilmektedir. Bunun için kullanıcının yapıya bir ad vermesi ve karar sesine göre koma uzaklıklarını virgülle ayrılmış değerler olarak girmesi yeterlidir; dörtlü için beş, beşli için altı değer beklenmektedir. Girilen değerler doğrulandıktan sonra özel yapı yerleşik makamsal dörtlü ve beşlilerle aynı arayüzde listelenmekte ve diğer blokların tüm işlevlerini (frekans hesabı, porte görselleştirme, ses üretimi) eksiksiz biçimde desteklemektedir.

Şekil 4

Özel Yapı Oluşturma Sekmesi

MakamLab **Temel Dörtlü/Beşli Ekle** **Özel Yapı Oluştur**

Özel Dörtlü/Beşli Ekle

Tür Ad

Aralıklar (n-ofset, virgülle)

* Değerler karar perdesine göre n-ofsetlerdir. 0 mutlaka karar sesidir.

Vazgeç **Kaydet**

©2025 MakamLab — Melih Can Atasoy

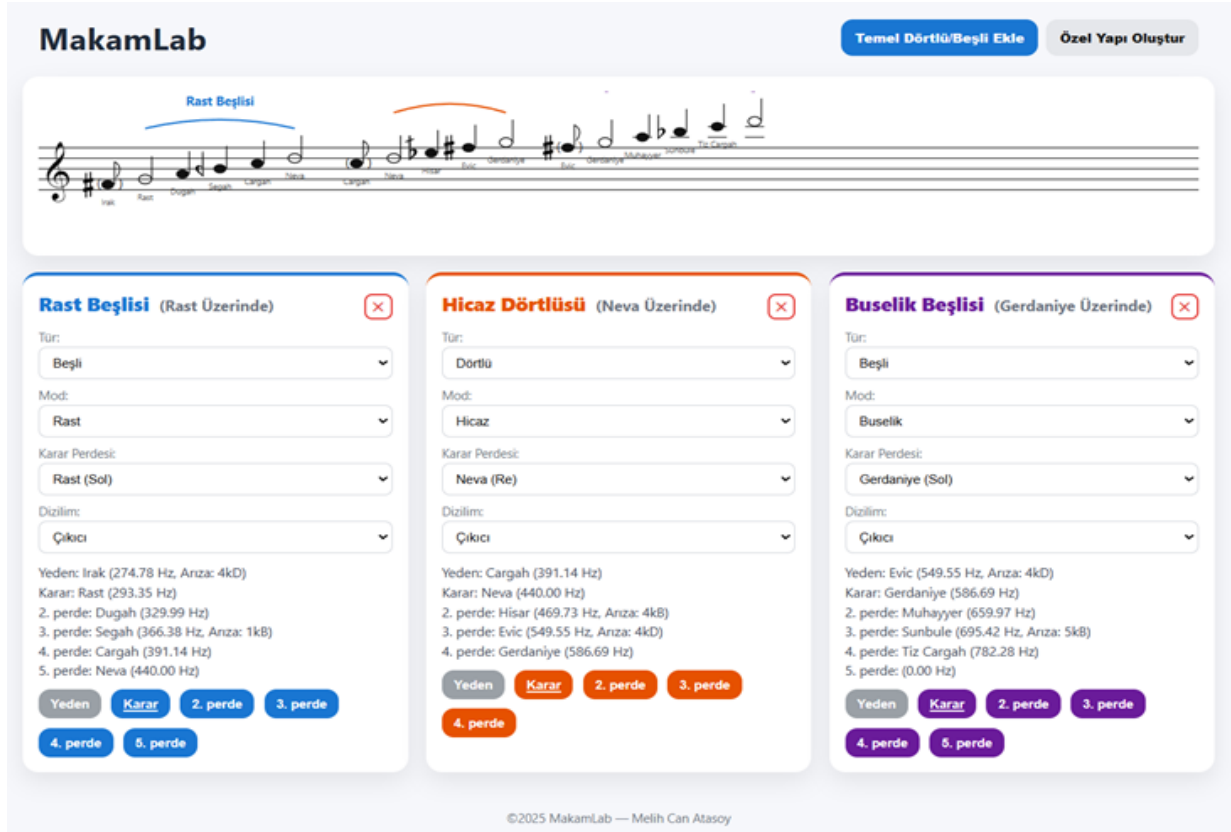
Arayüz Tasarımı

MakamLab arayüzü, üst bölümde merkezi bir görselleştirme alanı (ortak porte) ve alt bölümde blok kartlarını içeren iki katmanlı bir hiyerarşiyle sunulmaktadır. Bu yapı, kullanıcının veri girişi (kartlar) ile görsel çıktıyı (porte) aynı anda takip edebilmesine olanak tanır. Her blok kartında makamsal dörtlü-beşli türü ve adı seçim menüleri, karar perdesi seçici, ses butonları ve bloğu silme kontrolü yer almaktadır. Ortak porte tüm blokların birleşik görünümünü anlık olarak

yansıtıran blok kartları birbirinden bağımsız olarak düzenlenebilmektedir. Şekil 5’te görüldüğü üzere, arayüz, ızgara (grid) düzeniyle küçük ekranlara uyarlanmakta; bu sayede MakamLab masaüstü ve mobil ortamlarda tutarlı bir deneyim sunmaktadır.

Şekil 5

MakamLab Blok Mimarisi Arayüzü - Çoklu Makamsal Dörtlü-Beşli Dizilimi



TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Türk müziği makam teorisini öğrenmeye yeni başlayan öğrencilerin temel dörtlü ve beşlileri farklı perdeler üzerinde algılama ve transpoze etme süreçlerinde yaşadıkları güçlüklerle etkileşimli bir dijital araçla nasıl çözüm getirilebileceği sorusuna yanıt aramaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen MakamLab prototipi; makam dizilerinin görsel ve işitsel temsillerini tek bir web tabanlı platformda bir araya getirerek literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Bulgular, çalışmanın üç temel katkısını ortaya koymaktadır. İlk olarak, Arel–Ezgi–Uzdilek sisteminin 53 komalık yapısı matematiksel bir modele dönüştürülmüş; Neva perdesi referans alınarak Kaba Çargâh’tan başlayan kapsamlı bir frekans tablosu oluşturulmuştur. Bu model, her perdenin mikrotonal frekansını eşit tampere yaklaşımlarına başvurmaksızın hatasız biçimde üretmekte ve yazılımın işitsel katmanının güvenilirliğini güvence altına almaktadır. İkinci olarak, Tablo 2’de sunulan perde–konum–ses değiştirici işareti referans tablosu sistematik biçimde kodlanmıştır. Bu tablo, aynı n değerine sahip bir perdenin farklı konum değerlerinde farklı ses değiştirici işaretleri alabildiği belirsiz durumları da

kapsamakta; SVG tabanlı görselleştirme algoritması bu tabloyu kullanarak seçilen herhangi bir karar perdesi ve makamsal dörtlü-beşli kombinasyonu için tutarlı bir notasyon üretmektedir. Üçüncü olarak, blok mimarisi öğrencilerin makam dizilerini bileşenlerine ayırarak yeniden kurmasına, farklı perdeler üzerinde denemesine ve sesli olarak doğrulamasına olanak tanıyan özgün bir pedagojik yaklaşım sunmaktadır.

MakamLab'ın en belirgin işlevsel üstünlüğü, mikrotonal ses üretimini, dinamik porte görselleştirmesini ve gerçek zamanlı transpozisyonu tek bir tarayıcı tabanlı platformda birleştirmesidir. Bu özellik, masaüstüne bağımlı farklı araçlara kıyasla erişilebilirlik açısından somut bir avantaj sağlarken blok mimarisi, yalnızca icra odaklı araçların karşılayamadığı yapısal çözümleme ve sentez becerilerinin geliştirilmesine özgün bir pedagojik değer katmaktadır.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Makale, tasarım temelli araştırma modelinin ilk döngüsüyle, yani kuramsal modelleme ve prototip geliştirme aşamasıyla sınırlıdır. Yazılımın öğrenme süreçleri üzerindeki etkinliği henüz ampirik verilerle desteklenmemiş olup sonuçların genellenebilirliği, ileriki döngülerde yürütülecek kullanıcı çalışmalarına bağlıdır. Prototip şu aşamada yalnızca AEU sisteminin en yaygın altı makamsal dörtlü-beşlisini kapsamakta; Hüzzam, Saba veya Nikriz gibi ileri yapılar kapsam dışında kalmaktadır.

Bu sınırlılıkları gidermek amacıyla gelecek döngülerde, biri yazılım mühendisliği alanından olmak üzere beşi Türk müziği makam eğitimi veren akademisyenlerden oluşan altı uzmanla yarı yapılandırılmış görüşmeler yürütülmesi ve elde edilen verilerin tematik analiz yöntemiyle çözümlenmesi planlanmaktadır. Bu süreçte yazılımın görsel temsili, işitsel doğruluğu, pedagojik uygunluğu ve kullanılabilirliği uzman görüşleri çerçevesinde ele alınacak; elde edilen bulgular ikinci prototipe yansıtılacaktır. Sonraki sürümlerde sinüs dalgası tabanlı ses üretiminin yerini ses kütüphanesi (sampling) entegrasyonunun alması, sistemin MIDI enstrümanlarıyla çalışan sanal bir enstrümana dönüştürülmesi ve nihai sürümde kullanıcı girişiyle kişisel özelleştirmelerin kaydedilebilmesi öngörülmektedir.

Sonuç olarak MakamLab, Türk müziğinin en soyut kuramsal boyutlarından biri olan makamsal dörtlü ve beşlilerin AEU sistemi perde uzayında transpoze edilmesi mekanizmasını somut, işitsel ve görsel bir deneyime dönüştürmektedir. Bu çalışma, müzik teorisi eğitimindeki uygulama gücüyle etkileşimli teknoloji arasında köprü kurarak hem Türk müziği makam eğitimine hem de Türk müziği araştırmalarının teknolojik gelişimine yeniden uygulanabilir ve özgün bir katkı sunmaktadır.

Etik kurul onayı

Çalışma Trabzon Üniversitesi Etik Kurulu Tarafından onaylanmıştır (tarih: 02.01.2026, Numara: 2026-1/1.9).

Yazarlık katkısı

Araştırma makalesi ve vaka raporu için: Çalışmanın konsepti ve tasarımı: MA; veri toplama: MA; sonuçların analizi ve yorumlanması: MA, BK; taslak makale hazırlığı: MA, BK. Tüm yazarlar sonuçları gözden geçirmiş ve makalenin son halini onaylamıştır.

Finansman kaynağı

Yazarlar, çalışmanın Trabzon Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklendiğini beyan ederler, hibe numarası: [26TEZ00332].

Çıkar çatışması

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkürler

Yazarlar, Türk makam müziği teorisi konusundaki değerli fikir paylaşımlarından ve yönlendirmelerinden ötürü Öğr. Gör. Eylem Atılğan DERÇİN'e ve yazım sürecindeki kesintisiz destekleri için Celal KOKOĞLU'na teşekkürlerini sunar.

Ethical approval

The study was approved by Trabzon University Ethics Committee for Social and Humanities Sciences (date: 02.01.2026, number: 2026-1/1.9).

Author contribution

Study conception and design MA; data collection: MA; analysis and interpretation of results: MA, BK; draft manuscript preparation: MA, BK. All authors reviewed the results and approved the final version of the article.

Source of funding

The authors declare that this study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit at Trabzon University, grant number: [26TEZ00332].

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors would like to thank Eylem Atılğan Derçin for her valuable insights and guidance on Turkish makam music theory, and Celal Kokoğlu for his continuous support during the writing process.

KAYNAKÇA

Arel, H. S., ve Akdoğu, O. (1991). *Türk mûsikîsi nazariyatı dersleri*. Kültür Bakanlığı.

Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141–178. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0202_2

Ezgi, S. (1933). *Nazarî, amelî Türk musikisi* (1. Cilt). Kantçılık ve Matbaacılık Anonim Şirketi.

Feldman, W. (1996). *Music of the Ottoman court: Makam, composition and the early Ottoman instrumental repertoire*. VWB-Verlag für Wissenschaft und Bildung.

Kurtuldu, S. (2018). *Türk müziği nazariyatı: Temel teorik bilgiler makamlar usuller*. İleri Haber Ajansı.

Marcus, S. L. (1989). *Arab music theory in the modern period*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:107732144>

Özkan, İ. H. (2013). *Türk mûsikîsi nazariyatı ve usûlleri: Kudüm velveleleri*. Ötüken.

Reeves, T. C., Herrington, J., ve Oliver, R. (2005). Design research: A socially responsible approach to instructional technology research in higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 16(2), 1–36.

Uzdilek, S. M. (1977). *İlim ve mûsikî: Türk mûsikîsi üzerinde incelemeler*. Kültür Bakanlığı.

Wang, F., ve Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5–23. <https://doi.org/10.1007/BF02504682>

Wright, O. (1992). *Demetrius Cantemir: The collection of notations. Volume 1: Text*. SOAS University of London.

Yarman, O. (2010). *Türk makam müziğini bilgisayarda temsil etmeye yönelik başlıca yerli yazılımlar*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24566.19526>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Turkish makam music theory poses significant challenges for learners due to the depth of its historical roots and the complexity of its microtonal structure. Within the Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) system — the institutionalised framework that divides an octave into 53 equal commas — makam scales are constructed by combining fundamental structural units known as tetrachords (dörtlü) and pentachords (beşli). Perceiving these units on different pitches and transposing them accurately represents one of the most demanding aspects of makam music education.

Existing software tools fail to address this pedagogical problem adequately. Notation-focused applications such as Mus2 are restricted to desktop environments, while performance-oriented tools such as Sanal Kanun do not enable the structural decomposition of makam scales into their constituent units. Departing from this gap, the central research question of the study is: How can the difficulties encountered by students new to makam music theory — specifically in perceiving and transposing basic jins across different pitches — be addressed through an interactive digital tool?

Aim and Significance

The primary aim of this study is to develop a web-based software prototype called “MakamLab” as a response to the identified pedagogical problem. Built upon mathematically formalised algorithms derived from the AEU system, the tool enables users to experience, both visually and aurally in real time, how tetrachords and pentachords are constructed on any given pitch and how they combine to form complete makam scales. The original contribution of the study lies in providing an integrated model that translates abstract music theory into an interactive environment with immediate feedback.

Method

The study was conducted within a Design-Based Research (DBR) framework. This paper covers the first research cycle — problem analysis, theoretical modelling, and prototype development. The most prevalent jins in the AEU system were selected as the sample: Rast, Uşşak/Hüseyni, Çargâh, Buselik, Kürdi, and Hicaz. Theoretical data obtained through document analysis — including comma intervals and positional values — were transformed into mathematical algorithms using HTML5, CSS, and JavaScript. The pitch Neva was adopted as the reference frequency at 440 Hz, and a complete frequency table for all pitches in the 53-comma system was calculated beginning from Kaba Çargâh. In subsequent cycles, thematic analysis will be conducted through semi-structured interviews with Turkish music specialists and student users, and the findings will be integrated into an iterative development process.

Findings

The research produced a functional prototype comprising five core components. The first is a mathematical frequency model: with Neva set at 440 Hz, the frequency of Kaba Çargâh is calculated as 195.57 Hz, and all pitches in the system are generated by the formula $f = 195.57 \times 2^{(n/53)}$. The second component is the structural encoding of tetrachords and pentachords: each of the six jins — Rast, Uşşak/Hüseyni, Çargâh, Buselik, Kürdi, and Hicaz — is defined by fixed comma distances relative to the finalis, together with a leading tone (yeden). The third component is an SVG-based staff visualisation algorithm: a three-step procedure — coordinate system setup, notehead placement, and accidental assignment — generates accurate notation for any combination of finalis and jins. The fourth component is microtonal audio production via the Web Audio API: sine-wave tones reproduce the precise microtonal frequencies of the AEU system independently of equal temperament, with an envelope structure producing a natural instrumental timbre. The fifth component is the block architecture: allowing up to six tetrachords or pentachords to be arranged side by side on a shared staff, this feature enables students to construct, experiment with, and aurally verify maqam scales as assemblages of component blocks. A custom structure builder further permits users to define and add their own novel melodic units.

Discussion and Conclusion

MakamLab addresses the core limitations of existing tools by integrating microtonal audio production, dynamic staff visualisation, and real-time transposition within a single web-based platform. Its browser-based, installation-free architecture offers a clear accessibility advantage over desktop-only applications such as Mus2, while its block architecture provides a unique pedagogical value for developing structural analysis and synthesis skills that performance-oriented tools do not support.

The primary limitation of the current study is the absence of empirical user evaluation, which is consistent with the design cycle and will be addressed in subsequent phases. The planned development roadmap includes expanding the jins library with advanced structures such as Hüzzam, Saba, and Nikriz. In subsequent versions, it is envisioned that sine-wave-based audio production will be replaced by sound library (sampling) integration, the system will be transformed into a virtual instrument operating with MIDI instruments, and user input will be enabled to save personal customizations in the final release.

In conclusion, MakamLab transforms one of the most abstract theoretical dimensions of Turkish music — the transposition mechanism of jins within the AEU pitch space — into a concrete, aural, and visual experience. The study presents a domain-specific yet transferable model for bridging the abstraction barrier in music theory education through interactive technology, contributing both to the learning sciences literature and to the technological advancement of Turkish music scholarship.