

Araştırma Makalesi

Türk müziğinin dijital temsili: 2000–2025 yılları arasında yapılan çalışmaların sistematik incelemesi

Serkan Çolak¹

Müzik Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Ankara Müzik ve Güzel Sanatlar Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş: 14 Ekim 2025

Kabul: 22 Aralık 2025

Online Yayın: 30 Aralık 2025

Anahtar Kelimeler

Türk müziği
Müzik teknolojisi
Mikrotonal sistemler
Müzik bilgisi erişimi
Dijital müzikoloji
Sistematik inceleme

2822-3195 / © 2025 TM

Genç Bilge Yayıncılık tarafından
yayınlanmakta olup, açık erişim,
CC BY-NC-ND lisansına sahiptir.



Öz

Bu çalışma, Türk müziğinin icraya dayalı zengin yapısının biçimsel ve hesaplama dayalı dijital sistemlerde nasıl temsil edildiğini incelemekte ve bu süreçte ortaya çıkan güçlü ve zayıf yönleri sistematik biçimde ortaya koymaktadır. 2000–2025 yılları arasında yayımlanan 574 akademik çalışmanın taranması ve 169 kaynağın ayrıntılı incelenmesi sonucunda, makam kuramının algoritmik temsili, mikrotonal perde sistemlerinin sayısal ortama aktarılması, usul yapılarının modellenmesi ve Türk müziği çalgılarının dijital ortamda yeniden üretilmesi alanlarında önemli ilerlemeler tespit edilmiştir. Makambox, Makampedia, KORAL ve ATMMC gibi yazılımlar, bu ilerlemelerin somut örnekleri olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte bulgular, alanın merkezinde yer alan bir “temsil sorunu”na işaret etmektedir: Türk müziği kuramının süreklilik gösteren, bağlama duyarlı ve icraya yaslanan yapısı ile yaygın dijital teknolojilerin çoğunlukla ayrık, statik ve genelleştirici mimarileri arasında belirgin bir uyumsuzluk bulunmaktadır. Seyir kavramının biçimsel olarak tanımlanmasındaki güçlükler, MIDI protokolünün mikrotonal sınırlılıkları ve ortak standartların eksikliği, bu uyumsuzluğun başlıca yansımalarıdır. Çalışma, bu ayrışmaları çözümleyerek eğitim, icra, arşivleme, besteleme ve altyapı alanlarında geliştirilebilecek somut araştırma ve tasarım yönelimlerine ilişkin öneriler sunmaktadır.

Makaleye atıf için

Çolak, S. (2025). Türk müziğinin dijital temsili: 2000–2025 yılları arasında yapılan çalışmaların sistematik incelemesi. *Türk Müziği*, 5(4), 365-382. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18019804>

Giriş

Müzik teknolojisi, 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren müzik üretimi, eğitimi, arşivleme ve analizi alanlarında devrim niteliğinde değişimler yaratmıştır (Bozkurt ve ark., 2009). Dijital ses işleme, MIDI (Musical Instrument Digital Interface) protokolü, nota yazım yazılımları, dijital ses istasyonları (Digital Audio Workstation - DAW) ve sanal enstrüman teknolojileri, müziğin yaratılması ve deneyimlenmesi biçimlerini kökten dönüştürmüştür. Ancak bu teknolojilerin büyük çoğunluğu, Batı müziği teorisi ve on iki eşit parçalı (12-TET) akort sistemini temel olarak tasarlanmıştır. Bu durum, farklı kültürel ve teorik temellere sahip müzik geleneklerinin dijital ortamlarda temsil edilmesinde ve bu geleneklere özgü araçların geliştirilmesinde önemli zorluklar yaratmaktadır (Benetos ve Holzapfel, 2013).

Türk müziği, makam sistemi, koma temelli mikrotonal perde yapısı, usul adı verilen döngüsel ritmik kalıpları ve özgün enstrüman tınları ile Batı müziğinden belirgin şekilde ayrılmaktadır (Bozkurt ve ark., 2014). Makam, yalnızca bir dizi veya ölçek olmayıp, belirli perdelerin hiyerarşik ilişkilerini, melodik gelişim yöntemlerini (seyir) ve estetik

¹ Öğretim Görevlisi Dr., Müzik Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Ankara Müzik ve Güzel Sanatlar Üniversitesi, Ankara, Türkiye. E-posta: serkancolak@mgu.edu.tr ORCID: 0000-0001-5445-6378

kuralları içeren karmaşık bir teorik ve pratik çerçevedir (Garg, 2022). Usul ise, Batı müziğindeki ölçü kavramından farklı olarak, vurguları ve süreleri belirli bir düzen içinde tekrarlayan döngüsel ritmik yapılardır (Uyar ve Bozkurt, 2015). Perde sistemi açısından ise Türk müziği, oktavı 53 eşit parçaya bölen Holderian koma sistemine veya çeşitli nazariyatçıların önerdiği farklı koma bölümlerine dayanmaktadır (Gedik, 2013). Bu teorik zenginlik ve karmaşıklık, Türk müziğinin standart müzik teknolojisi araçlarıyla doğrudan temsil edilmesini zorlaştırmaktadır.

Son yirmi yılda, Türk müziği teorisinin dijital ortamlara aktarılması ve bu müzik geleneğine özgü teknolojik araçların geliştirilmesi konusunda artan akademik ve uygulamalı ilgi gözlemlenmektedir. Müzik bilgisi erişimi (Music Information Retrieval - MIR) alanında makam tanıma, otomatik transkripsiyon ve melodik segmentasyon gibi konularda önemli çalışmalar yapılmış; eğitim amaçlı etkileşimli yazılımlar, mikrotonal MIDI arayüzleri ve makam temelli öneri sistemleri geliştirilmiştir (Bozkurt ve ark., 2009; Sentürk ve ark., 2012; Öztürk ve ark., 2018). Ancak bu çalışmaların sistematik bir şekilde derlenmesi, mevcut teknolojilerin Türk müziği teorisini ne ölçüde kapsadığının değerlendirilmesi ve gelecekteki araştırma ihtiyaçlarının belirlenmesi konusunda literatürde önemli bir boşluk bulunmaktadır.

Kavramsal Çerçeve

Türk Müziği Teorisinin Temel Kavramları

Türk müziği teorisi, yüzyıllar boyunca gelişen ve çeşitli nazariyat kaynaklarında farklı biçimlerde sistemleştirilen zengin bir bilgi birikimine dayanmaktadır. Bu bölümde, çalışmanın odak noktasını oluşturan temel kavramlar kısaca özetlenmektedir.

Makam, Türk müziğinin en temel yapı taşıdır ve yalnızca bir dizi veya ölçek olarak değil, melodik gelişimin kurallarını, perde hiyerarşilerini ve estetik tercihlerini içeren kapsamlı bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Bozkurt, 2015). Her makam, belirli bir karar perdesi (tonic), güçlü perdesi (dominant) ve bu perdeler arasındaki ilişkileri düzenleyen seyir kurallarına sahiptir. Makam sistemi, geleneksel olarak 12 temel makam ve bunların türevlerinden oluşan geniş bir repertuar içermektedir (Garg, 2022). Makam kavramının algoritmik olarak temsil edilmesi, hem teorik tanımların karmaşıklığı hem de icra pratiğindeki varyasyonlar nedeniyle önemli zorluklar içermektedir.

Türk müziği perde sistemi, Batı müziğinin on iki eşit parçalı (12-TET) akort sisteminden köklü şekilde farklılaşmaktadır. Geleneksel Türk müziği teorisinde oktav, 53 eşit parçaya (Holderian koma sistemi) veya farklı nazariyatçıların önerdiği çeşitli bölümlere ayrılmaktadır (Gedik, 2013). Bu mikrotonal yapı, Batı müziğinde bulunmayan aralıkların kullanımına olanak tanımaktadır. Perde sistemi konusunda en yaygın referans, Arel-Ezgi-Uzdilek nazariyatı tarafından sistemleştirilen 24 perdeli modeldir. Ancak bu model de pratikte gözlemlenen mikrotonal varyasyonları tam olarak kapsamamaktadır (Sentürk ve ark., 2012).

Seyir, bir makamın melodik gelişim karakteristiğini ifade eden ve makamın kimliğini belirleyen temel unsurlardan biridir (Bozkurt, 2015). Seyir, bir melodinin hangi perdelerden başlayıp hangi perdeler üzerinde gelişerek karar perdesine ulaştığını, hangi perdelerin vurgulandığını ve melodik hareketin genel yönünü (çıkıcı, inici veya inici-çıkıcı) tanımlar. Seyir kavramı, yazılı kurallara tam olarak indirgenemeyen ve icracının yorumuna bağlı estetik boyutlar içerdiği için, formalizasyon ve dijitalleştirme açısından önemli zorluklar barındırmaktadır (Garg, 2022).

Usul, Türk müziğinin ritmik organizasyon sistemidir ve Batı müziğindeki ölçü kavramından farklı olarak, döngüsel ve vurgulu vuruş kalıplarına dayanmaktadır (Uyar ve Bozkurt, 2015). Her usul, belirli sayıda zamandan (birim vuruş) oluşur. Bu zamanların düm (ağır vuruş) ve tek (hafif vuruş) gibi farklı vurgu tipleriyle düzenlenmesi, usulin karakterini belirler. Usul yapılarının dijital ortamlarda temsili, özellikle Batı müziğinin metrik yapısına göre tasarlanmış metronom ve ritim yazılımlarının bu döngüsel ve asimetrik yapıları doğrudan desteklememesi nedeniyle sorunludur.

Türk müziği enstrümanları (ud, ney, kanun, tanbur, bağlama vb.), kendine özgü tını karakteristikleri, icra teknikleri ve mikrotonal özelliklere sahiptir (Benetos ve Holzapfel, 2015). Örneğin, ud'un parmak teknikleri, ney'in nefes kontrolü ve süsleme teknikleri, kanun'un mandal sistemi ile sağlanan mikrotonal ayarlamalar, bu enstrümanların dijital ortamda yeniden üretilmesini zorlaştırmaktadır.

Müzik teknolojisi ve kültürel müzikler

Müzik teknolojinin kültürel ve yerel müzik gelenekleriyle ilişkisi, etnomüzikoloji ve müzik bilgisi erişimi (MIR) alanlarında artan bir ilgi görmektedir. Batı merkezli müzik teknolojisi paradigmasının, dünya müziklerinin çeşitliliğini yeterince temsil edemediği ve bu durumun kültürel müzik geleneklerinin dijital ortamlarda marjinalleşmesine yol açabileceği tartışılmaktadır (Benetos ve Holzapfel, 2013).

Uluslararası literatürde, farklı kültürel bağlamlarda makam veya mod temelli sistemler için geliştirilen yazılım ve donanım örnekleri bulunmaktadır. Hint müziği için raga tanıma sistemleri, Arap müziği için maqam analiz araçları ve İran müziği için dastgah tabanlı uygulamalar, Türk müziği teknolojisi geliştirme çabalarına paralel örnekler sunmaktadır (Bozkurt ve ark., 2009). 'Computer-aided ethnomusicology' yaklaşımı, geleneksel etnomüzikolojik yöntemlerin dijital araçlarla güçlendirilmesini ve kültürel müzik geleneklerinin analizi için özel yazılımların geliştirilmesini savunmaktadır (Sentürk ve ark., 2015).

Türk Müziği Bağlamında Mevcut Yazılım ve Donanımlar

Literatür incelemesi, Türk müziği için geliştirilmiş veya Türk müziği bileşenlerini içeren çeşitli yazılım ve donanım projelerinin varlığını ortaya koymaktadır.

Müzik bilgisi erişimi (MIR) araçları arasında, Bozkurt ve arkadaşları tarafından geliştirilen Makambox öne çıkmaktadır. MATLAB platformunda çalışan bu araç seti, frekans histogram tabanlı özellikler kullanarak tonik tespiti, makam sınıflandırması ve akort analizi gibi işlevler sunmaktadır (Bozkurt ve ark., 2009). Benetos ve Holzapfel'in otomatik transkripsiyon sistemleri, mikrotanal müziğe uyarlanmış çoklu-perde algılama teknikleri kullanmaktadır (Benetos ve Holzapfel, 2013, 2015).

Eğitim ve görselleştirme araçları açısından, Garg tarafından geliştirilen Makampedia, makam öğrenimi için dinamik görselleştirmeler ve etkileşimli pedagojik araçlar sunan bir platformdur (Garg, 2022). Uyar ve Bozkurt'un usul eğitim araçları, öğrenci performansını usta icracı kayıtlarıyla karşılaştıran interaktif yazılımlardır (Uyar ve Bozkurt, 2015). KORAL öneri motoru, makam ve usul benzerliklerine dayalı bir müzik öneri sistemi olarak Öztürk ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Öztürk ve ark., 2018).

Nota yazım alanında, LilyPond gibi açık kaynak yazılımların Türk müziği notasyonu desteği tez çalışmalarında örneklenmiştir (Atlı ve ark., 2017). ATMMC (Automatic Turkish Makam Music Composer), LSTM tabanlı derin öğrenme kullanarak makam yapısına uygun sembolik besteler üreten bir sistemdir (Parlak ve ark., 2021).

Yöntem

Araştırmanın Önemi

Mevcut literatür incelemesi önemli ilerlemeler göstermekle birlikte, aşağıdaki boşlukları da ortaya koymaktadır:

Sistematik derleme eksikliği, Standartlaşma sorunları - farklı projelerde kullanılan teorik modeller ve terminolojide tutarlılık yokluğu, Endüstriyel uygulama eksikliği - akademik prototiplerin ticari ürünlere dönüşmemesi, Kullanıcı değerlendirmesi yetersizliği, Donanım eksikliği. Bu çalışma, özellikle ilk ikisine odaklanarak sistematik bir derleme ve değerlendirme sunmayı hedeflemektedir.

Araştırmanın Amacı ve Problemi

Bu çalışmanın temel amacı, yazılım ve donanım temelli müzik teknolojisi araçlarının Türk müziği teorisi ve pratiklerinden ne ölçüde etkilendiğini sistematik literatür incelemesi yöntemiyle ortaya koymaktır. Çalışma, mevcut teknolojilerin Türk müziği teorisinin hangi bileşenlerini (makam, usul, perde sistemi, seyir, enstrüman özellikleri) içerdiğini, bu bileşenlerin yazılım ve donanım tasarımına nasıl yansındığını ve karşılaşılan teorik ve teknik zorlukları akademik bir perspektifle değerlendirmeyi hedeflemektedir.

Bu çalışma aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aramaktadır:

- Yazılım ve donanım temelli müzik teknolojisi araçları, Türk müziği makam teorisine, usul sistemine, perde yapısına ve enstrüman özelliklerine nasıl yer vermektedir?
- Bu araçların arayüz ve algoritmalarında Türk müziğine özgü kavramların (makam, perde, koma, usul, seyir) yansımaları nelerdir?

- Doğrudan Türk müziğine özgü tasarlanmış yazılım ve donanım cihazlar nelerdir ve bu cihazların tasarım felsefesi, hedef kullanıcı kitlesi ve müzik teorisi ile kurdukları ilişki nasıldır?
- Türk müziği teorisinin sistemleştiriliş biçimi ile yazılım/donanımın teknik tasarımı arasındaki etkileşim nasıl gerçekleşmektedir?
- Türk müziği teorisinin dijitalleştirilmesinde karşılaşılan teorik ve teknik zorluklar nelerdir?

Yöntem

Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, sistematik literatür incelemesi (systematic literature review) yöntemini benimsemektedir. Sistematik literatür incelemesi, belirli bir araştırma sorusuna yanıt vermek için mevcut literatürün kapsamlı, şeffaf ve tekrarlanabilir bir şekilde taranması, seçilmesi ve analiz edilmesi sürecidir (Kitchenham ve Charters, 2007). Bu yöntem, subjektif seçimleri minimize etmek ve araştırma bulgularının güvenilirliğini artırmak amacıyla önceden tanımlanmış protokollere dayanmaktadır.

Veri Tabanları ve Arama Stratejisi

Literatür taraması, 2025 yılı Eylül ayında gerçekleştirilmiştir. Web of Science, Google Scholar ve ArXiv veri tabanları kullanılmıştır. Arama stratejisi, hem İngilizce hem de Türkçe anahtar kelimeleri içerecek şekilde tasarlanmıştır.

İngilizce terimler: 'Turkish music technology', 'makam software', 'Turkish music notation software', 'microtonal music technology', 'Turkish music instruments digital', 'usul rhythm software', 'maqam computational analysis', 'Turkish music education software'

Türkçe terimler: 'Türk müziği teknoloji', 'makam yazılım', 'Türk müziği dijitalleşme', 'Türk müziği nota yazılımı'

Arama terimleri, Boolean operatörleri (AND, OR) kullanılarak kombinasyonlar halinde uygulanmıştır.

Dahil Etme ve Dışlama Ölçütleri

Dahil etme ölçütleri: Hakemli dergi makaleleri, konferans bildirileri, doktora ve yüksek lisans tezleri, kitap bölümleri ve teknik white paper'lar, 2000-2025 yılları arası yayınlar, Türk müziği teorisi ile müzik teknolojisi arasındaki ilişkiyi doğrudan veya dolaylı olarak ele alan çalışmalar, İngilizce veya Türkçe yayınlar, Tam metin erişimi olan veya özet bilgisi yeterli detay içeren yayınlar.

Dışlama ölçütleri: Blog yazıları, forum tartışmaları gibi akademik olmayan kaynaklar, Hakem denetimi olmayan yayınlar, Kapsam dışı çalışmalar, Tekrar eden yayınlar (en güncel ve kapsamlı versiyon dahil edilmiştir).

Tarama ve Seçim Süreci

Literatür tarama ve seçim süreci dört aşamada gerçekleştirilmiştir:

İlk Tarama: Belirlenen veri tabanlarında kapsamlı tarama yapılmış ve toplam 574 yayın tespit edilmiştir.

Başlık ve Özet İncelemesi: Yayınların başlıkları ve özetleri incelenerek dahil etme/dışlama ölçütlerine göre ön eleme yapılmıştır. Bu aşamada 169 benzersiz yayın belirlenmiştir.

Tam Metin İncelemesi: Ön elemeyen geçen yayınların tam metinleri detaylı olarak incelenmiş ve araştırma sorularına doğrudan katkı sağlayabilecek çalışmalar belirlenmiştir.

İlgililik Sıralaması: Seçilen yayınlar, araştırma sorularına sundukları katkı derecesine göre ilgililik puanlamasına tabi tutulmuş ve analiz aşamasında önceliklendirme yapılmıştır.

Veri Çıkarımı ve Analiz Stratejisi

Seçilen yayınlardan aşağıdaki bilgiler sistematik olarak çıkarılmıştır: Bibliyografik bilgiler, Araştırma odağı - ele alınan Türk müziği teorisi bileşenleri, Teknoloji türü, Yöntem ve algoritmalar, Bulgular ve katkılar, Sınırlılıklar ve zorluklar.

Çıkarılan veriler, tematik analiz yaklaşımıyla kategorize edilmiştir. Çalışmalar, işlevsel kategorilere göre gruplandırılmış ve her kategori içinde karşılaştırmalı analiz yapılmıştır.

Kalite Değerlendirmesi

Dahil edilen çalışmaların kalitesi şu kriterlere göre değerlendirilmiştir: Yayın standardı, Metodolojik açıklık, Bulgularda şeffaflık, Teorik temellendirme.

Usul Temelli Melodik Segmentasyon: Bozkurt ve arkadaşları, usul bilgisini otomatik melodik segmentasyon algoritmalarına entegre etmiştir (Bozkurt ve ark., 2014). Araştırmacılar, usul döngüsü içindeki her vuruş konumunun frase sınırı olma olasılığını istatistiksel olarak modellemişlerdir. Denetimli öğrenme yöntemi kullanılarak, makam-temelli ve usul-temelli özellikler kombine edilmiştir. Üç farklı veri seti üzerinde yapılan değerlendirmelerde, usul-temelli özelliklerin eklenmesinin segmentasyon doğruluğunu artırdığı raporlanmıştır.

Türk Müziği Enstrümanlarının Dijital Modellemesi

Türk müziği enstrümanlarının dijital ortamda temsili hem sampling hem de sentez teknikleri açısından önemli zorluklar içermektedir.

Mikrotonal Transkripsiyon ve Enstrüman Analizi: Benetos ve Holzapfel, Türk müziği enstrümanlarının mikrotonal transkripsiyonu için özel algoritmalar geliştirmiştir (Benetos ve Holzapfel, 2013, 2015). Çoklu-perde algılama algoritmasını 20 cent çözünürlüğe uyarlamışlardır. PLCA tabanlı transkripsiyon yaklaşımında, makam ölçek profilleri Dirichlet priori olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşım, her makamda hangi perdenin ne sıklıkta kullanıldığına dair önceden çıkarılmış istatistiksel bilgi olasılık hesaplayan model için başlangıç kısıtlaması olarak tanımlanmış, bu şekilde algoritmanın makama uygun perde tahminleri yapmasını sağlamaktadır. Farklı enstrümanların transkripsiyon başarı oranlarının değiştiği görülmüştür. Ney gibi nefesli enstrümanlar daha düşük, tanbur gibi telli enstrümanlar daha yüksek başarı göstermiştir. Mikrotonal transkripsiyon sisteminde F-ölçümü %56.7 olarak raporlanmıştır.

MIDI Tabanlı Enstrüman Temsili: Gedik, Türk müziği icralarının MIDI formatına dönüştürülmesi sürecindeki zorlukları ele almıştır (Gedik, 2013). Standart MIDI protokolü, 12 sesli tamperaman sistemine dayalı 128 nota değeri tanımlamaktadır. Pitch-bend mesajları kullanılarak mikrotonal aralıklar temsil edilebilse de bu yaklaşım çok sesli durumlarda pratik zorluklar yaratmaktadır. Gedik, MIDI kanallarının ve pitch-bend aralığının stratejik kullanımıyla mikrotonal temsil için bir yöntem önermektedir.

Max/MSP Mikrotonal MIDI Arayüzü: Çelik, Max/MSP platformunu kullanarak mikrotonal MIDI arayüzü geliştirmiş ve bu arayüzün Türk müziği icrası için kullanımını göstermiştir (Çelik, 2014). Arayüz, MIDI pitch-bend ve tuning mesajlarını yeniden programlayarak, her MIDI notasının farklı mikrotonal değerlere karşılık gelmesini sağlamaktadır. Max/MSP'nin görsel programlama ortamı, kullanıcıların kendi makam akort tablolarını tanımlamasına olanak tanımaktadır.

Adaptif Akort ile Sentez: Atlı ve arkadaşları, nota verilerinden türetilen skorları mikrotonal akorda göre adaptif olarak düzenleyen bir sentez yaklaşımı geliştirmiştir (Atlı ve ark., 2017). Sistem, kayıt analizinden elde edilen akort bilgilerini kullanarak sentez parametrelerini ayarlamaktadır. Bu yaklaşım, Türk müziğinin 'canlı akort' özelliğini, yani perdelerin bağlamsal olarak değişebilirliğini dikkate almaktadır.

Türk Müziği Eğitimi İçin Geliştirilen Teknolojiler

Eğitim amaçlı yazılım ve uygulamalar, Türk müziği pedagojisinin dijital ortamlara taşınmasında önemli rol oynamaktadır.

Makampedia'nın pedagojik özellikleri daha önce makam analizi bağlamında ele alınmıştı. Platform, yapılandırmacı öğrenme teorisine dayanarak, öğrencilerin aktif keşif yoluyla makam bilgisi edinmelerini hedeflemektedir. Makam tanıtımı, seyir analizi, örnek eser dinleme ve karşılaştırmalı analiz modülleri içermektedir. Garg'ın pilot çalışmaları, platformun öğrencilerin makam kavramlarını anlamalarında etkili olduğunu göstermiştir.

Mobil uygulamalar ve oyunlaştırma konusunda, literatürde Türk müziği eğitimi için mobil uygulama ve oyunlaştırılmış öğrenme yaklaşımlarının potansiyeli tartışılmaktadır (Karaseva, 2024). Mobil cihazlar, her zaman ve her yerde öğrenme imkânı, dokunmatik arayüzler aracılığıyla etkileşimli deneyimler ve multimedya içeriklerinin entegrasyonu gibi avantajlar sağlamaktadır. Ancak literatür incelemesi, bu alanda henüz sınırlı sayıda akademik olarak değerlendirilmiş uygulama olduğunu göstermektedir.

Etkileşimli melodik eğitim programı olarak, Atlı ve arkadaşları Türk makam müziğinin ezgisel boyutuna yönelik interaktif bir program geliştirmiştir (Atlı ve ark., 2016). Program, temel makam dizileri, seyir özellikleri ve melodik alıştırmaları kapsamaktadır. Öğrencilerin melodik alıştırmalardaki performansları otomatik olarak değerlendirilmekte ve anlık geri bildirim sağlanmaktadır.

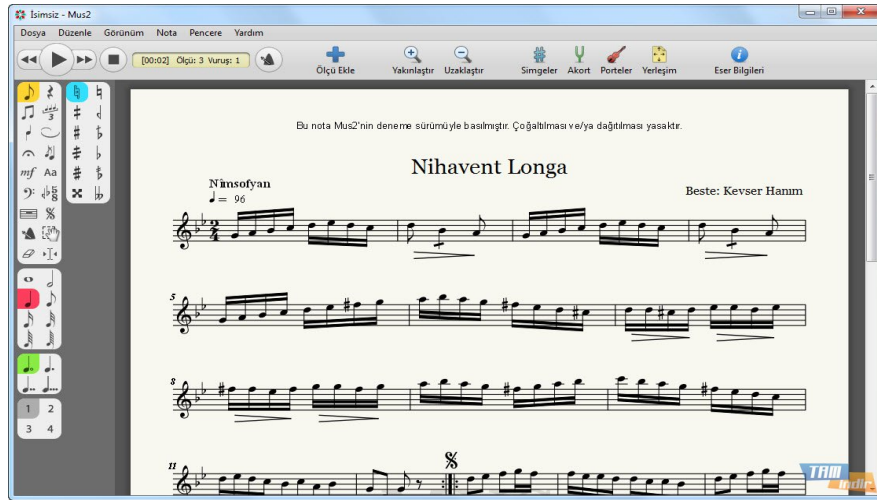
Nota Yazım Yazılımları ve Türk Müziği Notasyonu

Türk müziğinin notasyonu, Batı müziği nota sistemine dayalı yazılımlarda özel destek gerektirmektedir.

LilyPond ve Türk Müziği Desteği: LilyPond, açık kaynak ve metin tabanlı bir nota dizgi sistemidir. Atlı ve arkadaşlarının çalışmaları, LilyPond'un Türk müziği notasyonu için kullanımını örneklemiştir (Atlı ve ark., 2017). LilyPond, kullanıcı tanımlı mikrotonal değişiklikler oluşturmayı desteklemektedir. Türk müziğinde kullanılan koma işaretleri, LilyPond'da özel semboller olarak tanımlanabilmektedir. Açık kaynak olması, ücretsiz erişim ve yüksek kaliteli tipografik çıktı avantajları sunmaktadır. Ancak metin tabanlı arayüz, öğrenme eğrisi oluşturmaktadır.

Mus2 ve Mu2 Notasyon Formatları: Mus2 ve Mu2, mikrotonal müzik için Mustafa Kemanlı Karaosmanoğlu tarafından geliştirilmiş alternatif formatlardır. Parlak ve arkadaşlarının ATMMC projesinde, bu formatlar makam müziği kompozisyonlarının temsili için kullanılmıştır (Parlak ve ark., 2021). Mus2 formatı, mikrotonal aralıkları doğrudan kodlayabilmekte ve Batı notasyonunun sınırlamalarından bağımsız olarak makam perdelerini temsil edebilmektedir. Ancak, henüz yaygın nota yazım yazılımları tarafından doğrudan desteklenmemektedir.

Ticari nota yazım yazılımlarının durumu açısından, Sibelius, Finale ve MuseScore gibi yaygın yazılımların Türk müziği notasyonu desteği sınırlıdır. MuseScore, kullanıcı tanımlı mikrotonal eklentiler aracılığıyla kısmi destek sağlamaktadır. Ancak makam bilgisi entegrasyonu, usul gösterimleri ve seyir belirteçleri standart yazılımlarda bulunmamaktadır.



Şekil 4. Mus2 program görseli

Otomatik Kompozisyon ve Yapay Zekâ Uygulamaları

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin Türk müziği kompozisyonuna uygulanması, son yıllarda artan ilgi gören bir araştırma alanıdır.

ATMMC (Automatic Turkish Makam Music Composer): Parlak ve arkadaşları tarafından geliştirilen ATMMC, LSTM tabanlı derin öğrenme kullanarak makam yapısına uygun sembolik besteler üreten bir sistemdir (Parlak ve ark., 2021). Model, çok katmanlı LSTM ağları kullanmaktadır ve geniş bir Türk makam müziği eserleri veri setinde eğitilmiştir. Sistem, kullanıcıdan başlangıç melodisi ve hedef makam bilgisi alarak, bu makamın karakteristiklerine uygun devam melodileri üretmektedir. Model, makam dizileri, karar-güçlü perdeler ve tipik melodik hareketler gibi teorik bilgileri örtük olarak öğrenmektedir. Üretilen kompozisyonlar, Mus2 mikrotonal notasyon formatında kaydedilmektedir. Parlak ve arkadaşları, üretilen kompozisyonların makam uygunluğunu hem algoritmik metriklerle hem de uzman müzisyen değerlendirmeleriyle test etmiştir.

Vaka Analizi: Sentürk ve Arkadaşlarının Skor-Ses Bağlama Sistemi

Sentürk ve arkadaşlarının geliştirdiği skor-ses bağlama sistemi, Türk müziği için teorik bilgi ve icra pratiği arasındaki ilişkiyi dijital ortamda temsil etme çabasının önemli bir örneğidir (Sentürk ve ark., 2012). Bu sistem, nota bilgisi ile kayıt bilgisinin eşleştirilmesi problemine makam-bilinçli bir yaklaşım getirmektedir.

Türk müziği eserlerinin notaları ile kayıtlarının eşleştirilmesi, icracıların teorik tanımlardan sapan mikrotonal varyasyonlar kullanması ve süslemeler eklemesi nedeniyle zorludur. Sistem, hem notadan hem de ses kaydından perde

konturları çıkarmakta ve bu konturları karşılaştırmaktadır. Kritik olarak, sistem akort analizi yaparak, kayıttaki gerçek perde frekanslarını belirlemekte ve bu bilgiyi eşleştirme sürecinde kullanmaktadır.

Notadaki teorik perdeler, kayıttaki gerçek frekanslarla doğrudan eşleşmeyebilir. Sistem, önce kaydın akort yapısını analiz etmekte, sonra bu akort bilgisini kullanarak notayı ses kaydına hizalamaktadır. Sentürk ve arkadaşları, 11 kompozisyon ve 44 kayıt içeren bir test setinde sistemlerini değerlendirmiştir. Otomatik karar tespiti ile %82, yarı-otomatik karar tespiti ile %89 F3-skoru elde edilmiştir.

Bu sistem, Türk müziği teorisinin dijital ortamda temsili açısından önemli bir örnek sunmaktadır. Sistem, teorik bilgi (nota) ile pratik icra (kayıt) arasındaki farkları açıkça modellemekte ve bu farkları eşleştirme algoritmasına entegre etmektedir. Bu yaklaşım, Türk müziğinin 'canlı' ve 'esnek' doğasını dijital araçlarda temsil etmenin bir yolunu göstermektedir.

Karşılaştırmalı Analiz: Standartlaşma Sorunlarının Anatomisi

Literatür incelemesi, Türk müziği teknolojisi alanındaki standartlaşma eksikliğini, Teorik modeller- farklı nazariyat sistemlerinin kullanımı, Veri formatları- notasyon ve veri temsil standartlarındaki çeşitlilik, Terminoloji- aynı kavramlar için farklı isimlendirmeler olmak üzere üç temel boyutta kendini gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu bölüm, alandaki kilit projelerin bu boyutlardaki tercihlerini karşılaştırmalı olarak analiz etmektedir.

Teorik Modellere Dayalı Karşılaştırma

İncelenen projeler, Türk müziği teorisini modellendirirken farklı nazariyat sistemlerine dayanan yaklaşımlar benimsemektedir. Makambox (Bozkurt ve ark., 2009), belirli bir nazariyat sistemine doğrudan bağlı kalmamakta, bunun yerine perde dağılım histogramlarından istatistiksel özellikler türetmektedir. Bu yönüyle teorik modelden bağımsız bir çerçeve sunmakta, ancak elde edilen makam tanımlarının doğrulanması aşamasında dolaylı biçimde AEU sistemine atıfta bulunmaktadır. ATMMC (Parlak ve ark., 2021) ise eğitim veri setindeki eserlerin Mus2 formatında kodlanmasını gerektirmekte; söz konusu yazılım da AEU sisteminin 24 perdeli modelini esas almaktadır. Makampedia (Garg, 2022), makamları görselleştirirken AEU sistemini temel almakta, bununla birlikte icra örneklerinde gözlemlenen mikrotonal değişimleri de görünür kılmaktadır. Sentürk'ün skor-ses bağlama sistemi (2012) ise en esnek yaklaşımı temsil etmekte; hem nota verisini (çoğunlukla AEU temelli) hem de icra kayıtlarını (uygulamaya dayalı akort verisi) kabul ederek bu iki düzlem arasındaki farkları modellemeye olanak tanımaktadır.

Veri Formatlarına Dayalı Karşılaştırma

Notasyon ve veri formatları açısından bakıldığında, mevcut çalışmalar arasında belirgin bir parçalanma olduğu görülmektedir. Makambox, ses dosyaları (WAV, MP3) ve perde çıkarımı için MATLAB veri yapıları kullanmakta, sembolik notasyona ihtiyaç duymadan doğrudan işitsel veriye dayalı bir çözüm sunmaktadır. ATMMC ise Mus2/Mu2 mikrotonal notasyon formatına dayanmaktadır. Bu format, Batı notasyonundan bağımsız olarak makam perdelerini ayrıntılı biçimde kodlayabilmekte; ancak yaygın kullanılan notasyon ve DAW ortamlarıyla sınırlı düzeyde uyumluluk göstermektedir. LilyPond uyarlamaları (Atlı ve ark., 2017), metin tabanlı bir notasyon yapısı kullanmakta ve kullanıcı tanımlı mikrotonal işaretler aracılığıyla makam perdesi tanımlamalarını genişletmektedir. Açık kaynaklı ve esnek bir yapıya sahip olan bu yaklaşım, yüksek özelleştirilebilirlik sunmakla birlikte, görece yavaş fakat sürdürülebilir bir öğrenme süreci gerektirmektedir. Çelik'in Max/MSP tabanlı arayüzü (2014) ise MIDI ekosistemiyle uyumlu bir çerçeve içinde çalışmakta; ancak ilgili uygulama, pitch-bend ve akort (tuning) mesajlarının yeniden programlanmasına dayandığı için, kullanıcı açısından nispeten daha karmaşık bir yapılandırma süreci gerektirmektedir.

Terminolojik Tutarsızlıklar

Alanyazında kullanılan terminolojideki çeşitlilik, karşılaştırmalı analizlerin yürütülmesini ve farklı sistemler arasında birlikte çalışabilirliğin sağlanmasını güçlendirmektedir. "Perde" kavramı, bazı çalışmalarda AEU sistemindeki 24 perdeden biri gibi kuramsal bir soyutlama düzeyinde ele alınırken, bazı çalışmalar bu terimi doğrudan belirli bir frekans değerine (hertz cinsinden) karşılık gelecek biçimde kullanmaktadır. Benzer şekilde "akort" terimi, kimi bağlamlarda enstrümanın genel akort düzenini/sistemi, kimi bağlamlarda ise belirli bir notanın frekansının

ayarlanmasını ifade etmektedir. “Mikrotonal” kavramı ise kimi çalışmalarda 12 sesli tamperaman sistemi dışında kalan tüm aralıkları kapsayan üst bir kategori olarak, kimi çalışmalarda ise daha dar bir anlamda yalnızca çeyrek ton ve daha küçük aralıkları işaret edecek biçimde tanımlanmaktadır.

Birlikte Çalışabilirlik Sorunu

Bu parçalanmanın en somut sonucu, farklı projelerin birbirleriyle entegre çalışamamasıdır. Makambox'ın pitch histogram analizi, ATMMC'nin kompozisyon sürecine doğrudan entegre edilememektedir çünkü iki sistem farklı veri yapıları kullanmaktadır. Benzer şekilde, Mus2 formatında bestelenmiş bir eser Max/MSP arayüzü ile doğrudan icra edilememekte ve format dönüşümü gerektirmektedir. LilyPond'da notaya alınmış bir parça Makampedia'da veri modeli uyumsuzluğu nedeniyle görselleştirilemez.

Standartlaşma İçin Öneriler

Bu karşılaştırmalı analiz, alanda üç düzeyde standartlaşma gereksinimine işaret etmektedir. İlk olarak, bir üst-veri (metadata) standardına ihtiyaç bulunmaktadır. Makam, usul, form, icracı ve benzeri açıklayıcı bilgilerin tüm yazılım ve veri modellerinde tutarlı biçimde temsil edilebilmesi için Music Encoding Initiative (MEI) ya da benzeri bir çerçevenin Türk müziğine uyarlanması önem taşımaktadır.

İkinci olarak, farklı notasyon ve analiz ortamları arasında veri dolaşımını mümkün kılacak bir ara-format (interchange format) gerekmektedir. Bu kapsamda, MusicXML'e benzer ancak mikrotonal özellikleri yerel perde sistemleriyle uyumlu biçimde destekleyen bir veri formatı, mevcut projeler arasındaki kopukluğu azaltma potansiyeline sahiptir.

Üçüncü düzey ise, temel kuramsal kavramların anlam sınırlarını ve birbirleriyle ilişkilerini açık biçimde tanımlayacak bir terminoloji ontolojisinin oluşturulmasıdır. Perde, makam, usul ve seyir gibi anahtar terimlerin standart tanımlarını, hiyerarşik ve ilişkisel bağlamlarını içeren biçimsel bir ontoloji çerçevesi hem yazılım geliştiriciler hem de araştırmacılar için ortak bir referans noktası sağlayacaktır.

Bu tür bir standartlaşma sürecinin, kapalı ve tek merkezli girişimler yerine, topluluk-tabanlı, açık erişimli ve uluslararası iş birliğine dayalı bir yaklaşımla yürütülmesi, sürdürülebilirlik ve benimsenme açısından kritik görünmektedir.

İkinci Vaka Analizi: Makampedia'nın Pedagojik Tasarım Felsefesi

Garg'ın (2022) doktora tezi kapsamında geliştirdiği Makampedia, Türk müziği teknolojisi alanında kuramsal bilginin pedagojik uygulamaya nasıl aktarılabilirliğine ilişkin dikkate değer bir örnek sunmaktadır. Platform, yalnızca bir öğretim aracı olarak konumlanmamakta; aynı zamanda makam teorisinin dijital ortamda temsiline ilişkin tasarım tercihlerinin öğrenme süreçleri ve pedagojik çıktılar üzerindeki etkilerini somut biçimde görünür kılan bir laboratuvar işlevi görmektedir.

Makampedia'nın temel tasarım felsefesi, “yokluğunda öğretmen” (absent teacher) yaklaşımına dayanmaktadır. Bu yaklaşım, öğrencinin bilgiyi dışarıdan aktarılan hazır kalıplar yoluyla değil, kendi etkileşimleri ve keşif süreçleri aracılığıyla yapılandırmasını hedeflemekte ve açık biçimde yapılandırmacı öğrenme kuramını merkeze almaktadır. Platform bu felsefeyi somutlaştırmak üzere üç kritik tasarım kararı benimsemektedir.

Birincisi, perdelerin birbirlerine göre konumlarını logaritmik aralık haritaları üzerinden görselleştirmektedir. Bu tercih, makamı sabit bir “dizi” ya da “ölçek”ten ziyade, perdeler arası ilişkiler ağı olarak kavramayı teşvik etmekte ve öğrencinin aralık ilişkilerini görece ve bağlamsal biçimde düşünmesine imkân tanımaktadır. İkincisi, melodik eğrilerin zamansal gelişimini animasyonlu bir biçimde sunmakta, böylece seyir olgusunu statik bir perde diziliminden ibaret görmek yerine, zaman içinde açılan dinamik bir süreç olarak temsil etmektedir. Üçüncüsü, ses ve notayı eşzamanlı olarak sunan senkronizasyon yapısı ile işitsel ve görsel bilgiyi birlikte devreye sokmakta; bu sayede çoklu-modal öğrenmeyi destekleyerek farklı öğrenme stillerine sahip öğrencilerin aynı arayüz üzerinden makam yapısını çözümlenebilmesine olanak tanımaktadır.

Teorik Modelin Seçimi ve Sonuçları: Makampedia, Arel-Ezgi-Uzdilek nazariyatını temel almaktadır ancak bu seçimi kullanıcıya şeffaf biçimde göstermemektedir. Platform, makam dizilerini AEU sisteminin 24 perdeli modelinde

tanımlamakta; bununla birlikte icra örneklerinde gözlemlenen mikrotonal varyasyonları görselleştirmelerde yansıtmaktadır. Bu yaklaşım, normatif model ile ampirik gerçeklik arasında orta yol bulmaya çalışmaktadır. Uygulama, teorik çerçeveyi eğitim için referans olarak sunmakta ancak icra pratiğindeki esnekliği görünür kılmaktadır.

Pedagojik Etki ve Sınırlılıklar; Garg tarafından yürütülen pilot çalışmalar, platformun öğrencilerin makam kavramlarını anlamlandırma süreçlerinde belirli ölçüde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle görsel arayüzün, seyir olgusunun somutlaştırılmasında başarılı olduğu rapor edilmektedir. Bununla birlikte, platformun bazı yapısal sınırlılıkları da dikkat çekmektedir. İlk olarak, “yokluğunda öğretmen” yaklaşımı, öğrencinin yanlış kavrayışlarını anında tespit edip düzeltebilecek bir geri bildirim mekanizması sunmamaktadır. İkinci olarak, platform bünyesindeki alıştırmalar ve ölçme-değerlendirme modülleri sınırlı düzeydedir; öğrenci makamları keşfedebilmekte, ancak kendi icralarını sistematik biçimde sınama ve değerlendirme olanağına sahip değildir. Üçüncü olarak, platformun etkin kullanımının belirli bir dijital okuryazarlık düzeyi gerektirmesi, bazı öğrenci grupları açısından fiili bir erişim sorunu yaratmakta ve pedagojik potansiyelin tüm kullanıcı profillerine eşit biçimde yansıtılamamasına neden olabilmektedir.

Sentürk’ün Skor-Ses Bağlama Sistemi ile Karşılaştırma

Bu iki vaka analizi, Türk müziği teknolojisinin birbirini tamamlayan ancak farklı yönlerine işaret etmektedir. Sentürk’ün çalışması (Bölüm 4.7), teorik bilgi ile icra pratiği arasındaki mesafenin ölçülmesi ve modellenmesi sorununa odaklanırken, Makampedia bu bilginin öğrencilere hangi araçlar ve temsil biçimleri aracılığıyla aktarılacağı sorunsalını merkeze almaktadır. Her iki sistem de “temsil ikilemi”ni farklı bağlamlarda ele almaktadır: Sentürk, akort duyarlı eşleştirme teknikleri aracılığıyla kuramsal model ile icra pratiği arasında bir köprü inşa etmeye çalışırken; Makampedia, görselleştirme temelli yaklaşımlar yoluyla soyut nazari kavramları öğrenciler açısından daha somut ve izlenebilir hale getirmektedir. Bu karşılaştırma, Türk müziği teknolojisinin farklı kullanım senaryolarında (analiz, modelleme, öğretim vb.) farklı tasarım stratejileri ve öncelikler gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Standartlaştırılmış ve İsmarlama Çözümler Arasındaki Ayrışma

Üçüncü temel ayrışma hattı, teknoloji tasarımında evrensel standartlara mı (standardized) yoksa özel geliştirilmiş çözümlere mi (bespoke) öncelik verileceği sorusunda ortaya çıkmaktadır. Bu tercih, salt teknik bir karar olmanın ötesinde, doğrudan kültürel süreklilik, ekonomik sürdürülebilirlik ve ekosistem entegrasyonu üzerinde etkili olmaktadır.

Standartlaştırılmış yaklaşımın en belirgin örneği, MIDI protokolünün Türk müziği bağlamındaki kullanımıdır. 1980’lerden bu yana küresel müzik teknolojisi ekosisteminin omurgası haline gelen MIDI, hemen hemen tüm DAW yazılımları, synthesizer’lar ve dijital müzik araçları tarafından desteklenmektedir. Bu yaygın kabul, MIDI’yi son derece güçlü ve pratik bir araç konumuna getirmektedir; teorik olarak, Türk müziği alanında çalışan bir besteci, MIDI destekli herhangi bir yazılım ya da donanım ile üretim yapabilmektedir. Bununla birlikte, MIDI’nin 12 sesli tamperaman sistemine dayalı olarak tasarlanmış olması (Gedik, 2013), koma temelli Türk müziği perde örgüsü ile yapısal bir uyumsuzluk yaratmaktadır. Pitch-bend mesajları gibi ara çözümler, tek sesli bağlamlarda kısmi bir esneklik sağlasa da, çok sesli ve heterofonik dokularda her bir sesin bağımsız olarak ayarlanmasını zorlaştırmakta ve uygulamada karmaşık iş akışlarına yol açmaktadır. Çelik’in (2014) Max/MSP tabanlı mikrotonal MIDI arayüzü gibi çalışmalar, bu sınırlılıkları aşmayı hedeflemekte; ancak ortaya çıkan çözümler belirli platformlara sıkı biçimde bağımlı kalmakta ve geniş çaplı müzik teknolojisi ekosistemiyle tam entegrasyon sağlayamamaktadır.

İsmarlama (bespoke) yaklaşım ise, Mus2 ve Mu2 gibi mikrotonal müzik için özel olarak tasarlanmış notasyon ve veri formatlarıyla temsil edilmektedir (Parlak ve ark., 2021). Bu formatlar, Batı merkezli notasyon kısıtlarından bağımsız biçimde makam perdelerini doğrudan kodlayabilmekte ve Türk müziği nazariyatının ince ayrıntılarını daha isabetli bir biçimde yansıtabilmektedir. Özel tasarlanmış bu çözümlerin başlıca avantajı hem teorik çerçeveye hem de icra pratiğine yüksek düzeyde uyulanabilirlik sunmalarıdır. Ancak bu formatların yaygın nota yazım yazılımları, DAW ortamları ve ticari müzik kütüphaneleri tarafından doğal olarak desteklenmemesi, kullanım alanlarını büyük

ölçüde akademik ve dar kapsamlı araştırma bağlamlarıyla sınırlamaktadır. Bu durum, kültürel açıdan son derece isabetli olan temsil biçimlerinin, teknolojik ekosistem içinde görece marjinal pozisyonda kalmasına neden olmaktadır.

MIDI 2.0 standardı, mikrotonal müzik bağlamında bu ikilemi kısmen yeniden düşünmeye imkân tanıyan bir çerçeve sunmaktadır. 2020 yılında duyurulan MIDI 2.0, özellikle mikrotonal ifade açısından MIDI 1.0'ın en kritik sınırlılıklarına yapısal çözümler getirme potansiyeline sahiptir. MIDI 1.0'da pitch-bend mesajlarının kanal düzeyinde çalışması, çok sesli bağlamlarda her bir notanın bağımsız biçimde mikrotonal ayarlanmasını fiilen imkânsız kılmaktadır; bir kanaldaki tüm notalar aynı pitch-bend değerine tabi olmaktadır. Gedik'in (2013) de belirttiği üzere, bu durum özellikle heterofonik dokuların yoğun olduğu ya da akort değişimlerinin sık gerçekleştirildiği eserlerde ciddi pratik sorunlara yol açmaktadır. MIDI 2.0'da tanımlanan "Per-Note Controllers" (nota başına kontrolörler) özelliği, her bir notaya bağımsız perde (pitch) ve diğer ifade parametrelerinin atanabilmesini mümkün kılarak bu yapısal sınırlılığı doğrudan hedeflemektedir.

MIDI 2.0'ın Türk müziği açısından sunduğu potansiyel imkânlar birkaç başlık altında özetlenebilir: Birincisi, 32-bit çözünürlüklü perde kontrolü, MIDI 1.0'ın 14-bit çözünürlük sınırını aşarak koma düzeyinde hassas ayarlamalara olanak tanımaktadır. İkincisi, nota başına artikülasyon ve perde kontrolü, her bir perdenin bağımsız olarak ayarlanabilmesini sağlayarak makam geçkilerinin, süslemelerin ve dinamik akort değişimlerinin daha doğal ve süreklilik arz eden bir biçimde temsil edilmesini mümkün kılmaktadır. Üçüncüsü, genişletilmiş üst-veri (metadata) yapıları, makam, usul ve seyir gibi Türk müziğine özgü kategorilerin MIDI mesajlarına entegre edilmesi için kavramsal bir zemin sunmaktadır.

Bununla birlikte, MIDI 2.0'ın Türk müziği bağlamında fiilen ne ölçüde dönüştürücü olacağı, büyük ölçüde yazılım ve donanım üreticilerinin bu standardı benimseme hızına bağlıdır. 2025 itibarıyla, MIDI 2.0 desteğinin DAW'lar, ses kartları ve kontrol arabirimlerinde kademeli olarak arttığı gözlemlenmekle birlikte, henüz küresel ölçekte tam anlamıyla "varsayılan" standart haline geldiği söylenemez. Bu noktada Türk müziği teknolojisi alanındaki araştırmacılar ve uygulayıcılar açısından kritik soru, bu standardın olgunlaşma sürecine pasif tüketici olarak değil, aktif paydaş olarak katılıp katılmayacaklarıdır. Özellikle makam-temelli perde profilleri, usule dayalı ritmik şablonlar ve seyir odaklı ifade kalıplarının MIDI 2.0 ekosistemi içinde standardize edilmesi yönünde girişimlerde bulunmak, yalnızca teknik bir uyum süreci değil; aynı zamanda Türk müziği nazariyatının küresel teknoloji standartlarında görünür ve temsil edilebilir kılınması açısından stratejik bir fırsat niteliği taşımaktadır.

Bu ayrışma eksenini, daha geniş ölçekte kültürel müzik geleneklerinin dijital çağda karşı karşıya kaldığı temel bir ikilemi yansıtmaktadır. Evrensel olarak benimsenmiş standartlar, küresel erişilebilirlik, birlikte çalışabilirlik ve üretim maliyetlerinin düşmesi gibi önemli avantajlar sunarken; kültürel özgünlüğün, yerel nazari yapıların ve icra pratiklerinin kısmen silikleşmesi riskini de beraberinde getirmektedir. Özel tasarlanmış çözümler ise, kültürel hassasiyet ve nazari doğruluk açısından güçlü bir konum sağlamakta; buna karşın ekosistem dışı kalma, bakım ve sürdürülebilirlik sorunları ve sınırlı kullanıcı tabanı gibi riskler taşımaktadır. MIDI 2.0'ın mikrotonal ifade için nota başına artikülasyon imkânı sunması, bu ikilemin belirli açılardan aşılabileceğine işaret etmektedir; ancak uzun vadede en işlevsel modelin, her iki yaklaşımın güçlü yönlerini birleştiren hibrit bir mimari olacağı öngörülebilir. Böyle bir mimari, bir yandan evrensel standartların esnekliğini artırırken, diğer yandan özel geliştirilmiş formatların yaygın araçlarla entegre çalışmasını mümkün kılan bir teknoloji ekosistemi gerektirmektedir.

Temsil İkileminin Aşılmasına Doğru: Sentez ve Gelecek Yönelimleri

Sistemik literatür incelemesinin bulguları, Türk müziği teorisi ile müzik teknolojisi tasarımı arasındaki ilişkinin temelinde bir "temsil ikilemi"nin (representational dilemma) yer aldığını göstermektedir. Bu ikilem, bir yanda Türk müziğinin sürekli, dinamik ve bağlama dayalı yapısı; diğer yanda ise ana akım dijital teknolojilerin ayrık, statik ve evrenselci mimarisi arasındaki yapısal ayrışmadan kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, bu bölümde analiz edilen üç ayrışma eksenini, betimleyici/üretken, normatif/veriye dayalı ve standartlaştırılmış/ısmarlama, söz konusu temel sorunun farklı düzlemlerdeki tezahürleri olarak okunabilir. Seyir kavramının biçimselleştirilmesindeki güçlükler, MIDI altyapısının mikrotonal sınırlılıkları, standartlaşma eksikliği ve enstrüman modellemesindeki yetersizlikler, bu temsil ikileminin alandaki somut yansımaları olarak ortaya çıkmaktadır.

Bununla birlikte, bulgular bu ikilemin aşılmaz bir karşılık üretmediğine de işaret etmektedir. Sentürk’ün skor-ses bağlama çalışması (2012), teorik ideal ile icra pratiği arasındaki mesafeyi nicel olarak modelleyerek, her iki düzeyin de aynı dijital sistem içinde görünür ve analiz edilebilir kılınabileceğini göstermektedir. Benzer biçimde, ATMMC’nin derin öğrenme temelli yaklaşımı (Parlak ve ark., 2021), teorik kuralların doğrudan kodlanmasından ziyade, geniş ölçekli veri kümeleri üzerinden makam yapılarını yakalayabilmekte ve kuramsal bilgi ile icra verisi arasındaki ilişkiyi farklı bir düzlemde yeniden kurmaktadır. Bu örnekler, temsil ikileminin “ya–ya da” biçiminde katı bir ikilik olarak değil, “hem–hem de” mantığıyla ele alınabileceğini; yani teorik modeller ile icra verisinin, kuralsal yaklaşımlar ile veri güdümlü yöntemlerin aynı çerçevede bir araya getirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Gelecekteki araştırma gündeminin, bu bulgular ışığında birkaç temel yönelim etrafında şekillenmesi uygun görünmektedir. İlk olarak, hibrit modellerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır: teorik bilgi ile icra verisinin, kural tabanlı yöntemler ile derin öğrenme yaklaşımlarının, evrensel teknoloji standartları ile kültüre özgü genişletmelerin aynı mimari içerisinde bütünleştirilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, çok katmanlı temsil sistemleri, müzik bilgisini farklı soyutlama düzeylerinde – fiziksel akustik (frekans ve zaman alanı verileri), sembolik notasyon, nazari yapı (makam, usul, seyir), estetik ve bağlamsal anlam – eş zamanlı olarak temsil edebilecek bir çerçeve sunmalıdır. Üçüncü olarak, bağlam-duyarlı sistemler, kullanım senaryosuna göre (eğitim, icra, analitik çalışma, arşivleme vb.) farklı temsil stratejilerini etkinleştirebilen, dolayısıyla tekil bir “doğru model” yerine amaç odaklı çoklu modelleri merkeze alan uyarlanabilir araçlar olarak tasarlanmalıdır. Dördüncü olarak, kültürler-arası iş birliği, Türk müziği teknolojisi çalışmalarının Hint, Arap, İran ve diğer makam/maqam/raga temelli geleneklerle diyalogunu güçlendirerek, benzer sorun alanları için ortak kavramsal ve teknik çözümler geliştirilmesine zemin hazırlayabilir.

Son olarak, teknolojinin kültürel müzik geleneklerini “temsil etme” iddiasının sınırlarının kabul edilmesi önem taşımaktadır. Dijital araçlar, Türk müziğinin tüm inceliklerini bütünüyle “yakalamak”tan çok, onu üretme, öğrenme, analiz etme ve deneyimleme biçimlerini dönüştüren yeni olanaklar sunmaktadır. Bu perspektiften bakıldığında, Türk müziği teknolojisi alanı, yalnızca mevcut pratikleri dijital ortama aktaran bir çeviri faaliyeti olarak değil, aynı zamanda Türk müziğinin dijital çağda hangi biçimlerde var olabileceğini, nasıl algılanıp icra edilebileceğini ve nasıl aktarılabilirliğini yeniden tanımlayan daha geniş bir kültürel ve epistemolojik proje olarak değerlendirilmelidir.

Betimleyici ve Üretken Yaklaşımlar Arasındaki Ayrışma

Türk müziği teknolojisi alanındaki en temel paradigmatic ayrım, müzik teorisine ilişkin bilginin “betimleyici” (descriptive) mi yoksa “üretken” (generative) mi kullanılacağı sorusu etrafında belirginleşmektedir. Bu iki yaklaşım, alanın kuramsal konumlanması ve gelecekteki yönelimi açısından kritik bir eksen oluşturmaktadır.

Betimleyici yaklaşım, Bozkurt ve arkadaşlarının Makambox çalışmasında (2009) en olgun örneklerinden birini bulmaktadır. Bu çerçevede amaç, mevcut icra kayıtlarından elde edilen frekans verileri üzerinden istatistiksel özellikler çıkararak makam yapılarını çözümlemektir. Frekans histogramlarına dayalı yöntem, kayıtlardan elde edilen perde bilgileri kullanılarak her makamın kendine özgü bir dağılım profiline sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu yaklaşımın en güçlü yönü, belirli bir nazari sistem varsayımına sıkı sıkıya bağlı olmadan, geniş ölçekli veri kümeleri üzerinde tekrarlanabilir ve nesnel nitelikte sonuçlar üretebilmesidir. Nitekim Makambox, karar verici bir araç olarak özellikle tonik tespiti ve makam sınıflandırması gibi görevlerde başarılı sonuçlar üretmiş; Türk müziği odaklı MIR çalışmalarında sıkça referans verilen bir çerçeve hâline gelmiştir.

Üretken yaklaşım ise, Parlak ve arkadaşlarının ATMMC (Automatic Turkish Makam Music Composer) projesinde (2021) somutlaşmaktadır. LSTM temelli derin öğrenme modeli, geniş bir eser veri seti üzerinde eğitilerek, belirli bir makamın karakterine uygun yeni melodik diziler üretebilmektedir. Bu yaklaşım, müzik teorisi bilgisini açık ve kural tabanlı bir şema olarak kodlamak yerine, modelin veri setinden örüntüleri dolaylı biçimde öğrenmesine dayanmaktadır. Üretken yaklaşımın en önemli potansiyeli, geleneksel teorik tanımların tam olarak yakalayamadığı ince istatistiksel kalıpları, üslup özelliklerini ve stilistik tercihleri öğrenebilmesinde ortaya çıkmaktadır.

Bu iki yönelim arasındaki ayrışma, alanın bilgi kuramsal temellerini yeniden düşünmeyi gerektirmektedir. Betimleyici yaklaşım, “Türk müziği teorisi nedir?” sorusuna icra verilerinin sistematik çözümlemesi üzerinden yanıt ararken; üretken yaklaşım, “Türk müziği nasıl yaratılır?” sorusunu veri güdümlü modeller aracılığıyla tartışmaya

açmaktadır. Her iki doğrultunun da belirgin sınırlılıkları bulunmaktadır: Betimleyici yöntemler, makamın zamansal akış, yönelme ve estetik boyutlarını (seyir) ancak sınırlı ölçüde temsil edebilmekte; üretken modeller ise ürettikleri melodik materyalin nazari açıdan tutarlılığını ve gelenek içi kabul edilebilirliğini her zaman güvence altına alamamaktadır.

Bu nedenle, gelecekteki çalışmaların, bu iki uç yaklaşımı karşı karşıya koymak yerine, hibrit modellemeler etrafında birleştirmesi önem taşımaktadır. Teorik kısıtların derin öğrenme modellerine gömülmesi, betimleyici analizlerden elde edilen istatistiksel profillerin üretken sistemlerin eğitiminde girdi olarak kullanılması ya da üretken modellerin çıktılarının nazari çerçeve ile sistematik biçimde karşılaştırıldığı geri beslemeli mimariler bu bağlamda öne çıkmaktadır. Böylece hem kuramsal bilgi hem de icra verisi, tek yönlü bir hiyerarşi kurmak yerine, karşılıklı besleyici bir ilişki içerisinde yeniden konumlandırılabilir.

Normatif ve Ampirik Modelleme Arasındaki Ayrışma

İkinci temel ayrışma eksenini, Türk müziği teorisinin “normatif” (ne olması gerektiği) mi yoksa “gözleme dayalı” (fiili olarak ne olduğuna odaklanan) bir perspektiften mi modelleneyeceği sorusunda ortaya çıkmakta ve teknoloji tasarımında hangi bilgi kaynağının otorite kabul edileceğini belirlemektedir.

Normatif yaklaşım, Arel-Ezgi-Uzdilek (AEU) nazariyat sistemini referans alan yazılımlarda belirgin biçimde öne çıkmaktadır. AEU sistemi, oktavı birbirine eşit olmayan 24 perdeye indirgemekte ve makamları bu perde dizileri üzerinden tanımlamaktadır. Türkiye’deki konservatuvar ve müzik eğitimi kurumlarında standart kuramsal çerçeve olarak benimsenmesi nedeniyle, pek çok eğitim yazılımı ve notasyon aracı bu modeli temel alarak tasarlanmaktadır. Normatif yaklaşımın başlıca avantajı, tutarlılık ve öğretilebilirlik sağlamasıdır: Makam yapıları, yazılı ve kodlanabilir kurallarla açık biçimde tanımlanabildiği için hem öğrencilere aktarımı hem de yazılım geliştiriciler tarafından uygulanması görece öngörülebilir bir yapı sunmaktadır.

Gözleme dayalı yaklaşım ise Sentürk ve arkadaşlarının skor-ses eşleme çalışmasında (2012) en çarpıcı örneklerinden birini bulmaktadır. Söz konusu çalışma, notada yer alan teorik perdeler ile icrada kullanılan gerçek frekans değerlerinin sistematik biçimde farklılaştığını ortaya koymakta ve bu farkları doğrudan eşleme algoritmasının merkezine yerleştirmektedir. Sistem, önce kaydın akort yapısını analiz ederek hangi perdelerin hangi frekans bölgelerinde icra edildiğini belirlemekte, ardından bu akort bilgisini kullanarak notayı ses kaydı ile hizalamaktadır. Böylece icra pratiğinin, normatif teorik tanımlardan sapmalar içerebileceği kabul edilmekte ve yazılım mimarisi, bu çeşitliliği hata olarak değil, temsil edilmesi gereken bir pratik veri olarak ele almaktadır.

Bu ayrışma, teknoloji tasarımında köklü bir felsefi tercih dayatmaktadır. Normatif yaklaşım, müzik teorisini düzenleyici ve kural koyucu bir çerçeve olarak konumlandırırken; gözleme dayalı yaklaşım, teoriyi icra verileri üzerinden yeniden tanımlanan, betimleyici bir çatı olarak ele almaktadır. Uygulama düzeyinde her iki yönelimin de meşru ve işlevsel kullanım alanları bulunmaktadır: Eğitim odaklı yazılımlar, standart müfredatla uyumlu bilgi aktarmak amacıyla normatif modele yaslanmayı tercih edebilirken; analiz, transkripsiyon ve performans takibi gibi görevleri üstlenen araçlar, sahici icra pratiklerini yakalayabilmek için gözleme dayalı yaklaşımlara ihtiyaç duymaktadır. Buna karşın mevcut sistemlerin önemli bir kısmı, bu iki kutup arasında keskin bir tercih yapmakta; teorik ideal ile icra gerçekliği arasındaki mesafeyi açıkça görünür kılan ve bağlama göre bu iki modeli bir arada kullanabilen hibrit tasarımlar henüz yeterince gelişmiş değildir. Gelecekteki çalışmalarda, kullanıcıya bağlam-uyarlı model seçimi imkânı sunan, normatif çerçeveyi şeffaf biçimde gösterirken icra verisindeki çeşitliliği de ayrı bir katman olarak temsil eden esnek mimarilerin geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Sonuç

Bu sistematik literatür incelemesi, 2000–2025 yılları arasında yayımlanan 574 çalışmanın taranması ve kriterleri karşılayan 169 kaynağın ayrıntılı incelenmesi yoluyla, Türk müziği teorisi ile yazılım ve donanım temelli müzik teknolojileri arasındaki ilişkiyi bütüncül bir çerçevede ortaya koymuştur. Bulgular, son yirmi yılda makam tanıma, mikrotonal transkripsiyon, usul eğitimi, nota yazımı, icra analizi ve etkileşimli pedagojik araçlar gibi alanlarda belirgin bir araştırma ivmesinin oluştuğunu göstermektedir. Makambox, Makampedia, KORAL ve çeşitli usul eğitim

yazılımları gibi projeler, makam ve usul sistemlerinin algoritmik temsili ile Türk müziği nazariyatının dijital ortamlara aktarımı konusunda önemli katkılar sunmuş; müzikoloji, bilgisayar bilimleri, sinyal işleme ve eğitim teknolojileri gibi disiplinlerin kesişiminde özgün çözüm önerileri üretmiştir. Bununla birlikte, bu araçların önemli bir bölümünün akademik prototip düzeyinde kaldığı, sürdürülebilir geliştirici topluluklarına ve yaygın kullanıcı tabanına dönüşmekte zorlandığı da gözlenmektedir.

Çalışmanın ortaya koyduğu temel yapısal sorunlardan biri, MIDI protokolünün 12 sesli tamperaman sistemine dayalı tasarımının, Türk müziğinin koma temelli perde örgüsünü ve seyir kavramının süreklilik içeren karakterini temsil etmede hâlâ köklü bir engel oluşturmaya devam etmesidir. Seyrin biçimsel olarak modellenmesindeki güçlükler, çok sesli dokunun çözümlemesinde karşılaşılan sınırlılıklar, enstrüman modellemesinde kullanılan yaklaşımların çoğu zaman tek sesli ya da tek tip icra varsayımlarına dayanması ve notasyon/veri formatlarındaki parçalanmış yapı, alanın karşı karşıya olduğu başlıca teknik ve kuramsal zorluklar arasında yer almaktadır. Ayrıca, üst-veri (metadata) şemaları, notasyon biçimleri ve veri değişim formatları bağlamında ortak standartların henüz tam olarak oluşmamış olması, farklı projeler arasında birlikte çalışabilirliği (interoperability) sınırlandırmakta ve geliştirilen çözümlerin büyük ölçekli ekosistemlere entegre edilmesini güçleştirmektedir.

Bu bulgular ışığında, Türk müziği teknolojisi alanının geliştirilmesi için öncelikle dört içerik ekseninde somut araştırma ve geliştirme yönelimleri önerilmektedir. Eğitim boyutunda, mevcut yazılım ve platformların geniş ölçekli ve uzun dönemli pedagojik etki araştırmalarıyla sistematik biçimde değerlendirilmesi; dijital araçların konservatuvar ve eğitim fakültesi müfredatlarına nasıl ve hangi aşamalarda entegre edileceğine ilişkin kılavuzların hazırlanması; müzik eğitimcileri için dijital pedagojik yeterlikleri güçlendirmeye yönelik hizmet içi eğitim programlarının tasarlanması önem taşımaktadır. Buna ek olarak, farklı öğrenme stillerine ve erişilebilirlik gereksinimlerine duyarlı arayüz tasarımları ile oyunlaştırma, geribildirim ve motivasyon unsurlarını içeren, sürdürülebilir kullanım odaklı uygulamaların geliştirilmesi gerekmektedir.

İcra ve performans boyutunda, Türk müziği icracılarının dijital araçlardan beklentilerini, kullanım pratiklerini ve direnç noktalarını ortaya koyan nitel ve nicel çalışmaların artırılması; yaygın kullanılan DAW'lara entegre olabilen mikrotonal eklentilerin (plug-in) geliştirilmesi; canlı performans ortamında gerçek zamanlı koma ayarı, esnek akort ve heterofonik doku yönetimi sağlayabilen işleme araçlarının tasarlanması ön plana çıkmaktadır. Bununla bağlantılı olarak, Türk müziği enstrümanları için fiziksel modelleme sentezi ve gelişmiş örnekleme (sampling) temelli kütüphanelerin, icra nüanslarını (mızrap teknikleri, süslemeler, glissando vb.) içerecek biçimde zenginleştirilmesi ve bu kütüphanelerin hem sahne hem stüdyo bağlamında kullanılabilir hale getirilmesi önemli bir gereksinim olarak ortaya çıkmaktadır.

Arşivleme ve analiz boyutunda, tarihsel ve çağdaş repertuarı kapsayacak şekilde standart metadata şemalarının (makam, usul, form, icracı, kayıt koşulları vb.) geliştirilmesi; araştırmacı ve geliştiricilerin erişimine açık, iyi belgelenmiş, büyük ölçekli veri setlerinin oluşturulması; ses, nota, metin ve görsel veriyi bir arada işleyebilen çok modlu analiz araçlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle seyir analizine odaklanan görselleştirme araçları, icra pratiklerindeki varyasyonları sistematik biçimde incelemeye imkân tanıyarak hem müzikolojik çalışmalara hem de üretken modellerin eğitimine doğrudan girdi sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Karşılaştırmalı müzikoloji perspektifinden bakıldığında, Türk müziği kayıtlarının, diğer makam/maqam/raga gelenekleriyle ortak veri yapıları üzerinden analiz edilebileceği araçların geliştirilmesi, kültürler arası karşılaştırmaları kolaylaştıracaktır.

Besteleme ve yaratıcı üretim boyutunda, makam duyarlı kompozisyon asistanları, hibrit insan-yapay zekâ besteleme ortamları ve tarz transferi ya da yeni sentezler için deneysel araçların geliştirilmesi hem eğitim hem profesyonel üretim alanında yeni imkânlar sunmaktadır. Bu bağlamda, mikrotonal notasyon editörlerinin yaygın kullanılan platformlarla entegre çalışabilecek şekilde tasarlanması ve bestecinin hem Arel-Ezgi-Uzdilek temelli teorik yapıları hem de icra verisine dayalı esnek intonasyon modellerini aynı ortamda kullanabilmesini sağlayan arayüzlerin geliştirilmesi önemli bir hedef olarak ortaya çıkmaktadır.

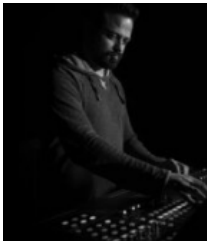
Bu içerik eksenlerinin ötesinde, standartlaşma ve altyapı alanında da kurumsal ölçekli adımlara ihtiyaç vardır. Bulgular, dağınık ve proje bazlı girişimler yerine, Türk müziği teknolojisi üzerine çalışan araştırmacı, yazılım

geliştirici, icracı ve eğitimcileri bir araya getirecek bir “Türk Müziği Teknolojisi Konsorsiyumu”nun kurulmasının, alanın bütüncül gelişimi için kritik bir rol oynayacağını göstermektedir. Bu tür bir yapı bünyesinde, mikrotonal notasyon, veri formatları, metadata şemaları ve API/web servisleri için açık ve belgelenmiş standartların geliştirilmesi; bu standartlara dayalı açık kaynak araçların ve kütüphanelerin oluşturulması; kapsamlı teknik ve pedagojik dokümantasyonun üretilmesi hem akademik projelerin sürdürülebilirliğini artıracak hem de sektörel uygulamalarla köprüler kuracaktır.

Alanının sürdürülebilir gelişimi, yalnızca teknik önerilerle sınırlı değildir; politika ve destek mekanizmaları düzeyinde de yapısal düzenlemeler gerektirmektedir. Özellikle Türk müziği teknolojisine odaklanan araştırma fon programları; üniversiteler ile yazılım/Donanım şirketleri, yayıncılık ve oyun endüstrisi gibi sektörler arasında iş birliklerini teşvik eden çerçeveler; uluslararası proje ve ağlara katılımı destekleyen mekanizmalar büyük önem taşımaktadır. Kültür politikalarının, dijital kültürel miras, mikrotonal müziklerin görünürlüğü ve yerel müzik geleneklerinin teknoloji ekosistemlerine entegrasyonu gibi başlıkları içerecek biçimde güncellenmesi; müzik teknolojisi ve Türk müziği kuramını birlikte ele alan disiplinler arası lisansüstü programların yaygınlaştırılması ve bu alanda uzman insan kaynağının yetiştirilmesi de uzun vadeli bir strateji olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, Türk müziği teorisi ile müzik teknolojisi tasarımı arasındaki ilişki hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde zengin ve çok katmanlı bir araştırma alanı sunmaktadır. Bu çalışma, mevcut durumu sistematik biçimde ortaya koyarak, alanın güçlü yönlerini, yapısal sorunlarını ve öncelikli ihtiyaçlarını bütüncül bir çerçevede görünür kılmaktadır. Elde edilen bulgular, Türk müziğinin dijital ortamlarda “eksiksiz” temsil edilmesinin teknik olarak tam anlamıyla mümkün olmasa da uygun tasarım kararları ve disiplinler arası iş birlikleriyle hem geleneksel icra pratiklerini destekleyen hem de yeni üretim, öğrenme ve deneyimleme biçimleri açan zengin bir ekosistemin inşa edilebileceğine işaret etmektedir. Türk müziği, yüzyıllar içinde oluşan kuramsal derinliği ve icra çeşitliliğiyle, küresel müzik teknolojisi literatürüne özgün katkılar sunabilecek bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi, akademisyenlerin, müzisyenlerin, yazılım ve donanım geliştiricilerin, eğitimcilerin ve politika yapımcıların ortak ve uzun soluklu çabası ile mümkün olacaktır; bu çalışma, söz konusu ortak çabanın yönünü ve öncelikli odak alanlarını çerçeveleyen bir başlangıç noktası olarak değerlendirilmelidir.

Yazar Özgeçmişi



Öğretim görevlisi Dr. **Serkan Çolak** 1990 yılında doğdu. 2007 yılında kabul edildiği Hacettepe Üniversitesi Ankara Devlet Konservatuvarı, Kompozisyon ve Orkestra Şefliği Anasanat Dalı, Bando Şefliği programından 2011 yılında mezun oldu. 2014 yılında girdiği Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ses Teknolojileri Yüksek Lisans Programından 2018 yılında “Konvolüsyon yöntemi ile elde edilen akustik modellerin gerçek mekân yansımaları ile karşılaştırılması” başlıklı yüksek lisans tezi ile mezun oldu. 2019 yılında Ankara Müzik ve Güzel

Sanatlar Üniversitesi, Müzik ve Güzel Sanatlar Enstitüsü, Müzik Bilimleri doktora programına başladı. Bu programı, 2024 yılında “Ultrasonik hoparlör sistemlerinde kullanılan modülasyon türlerinin karşılaştırmalı analizi” başlıklı doktora tezi ile tamamladı. 2019-2022 Yılları arasında Ankara Müzik ve Güzel Sanatlar Üniversitesi, Müzik Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Müzik Teknolojisi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev aldı. 2022 yılından itibaren aynı bölümde Öğretim Görevlisi unvanı ile çalışmalarını sürdürmektedir. Konser ses mühendisliği, canlı kayıt mühendisliği, miks ve mastering mühendisliği konuları ile ilgilenmektedir. Kurum: Ankara Müzik ve Güzel Sanatlar Üniversitesi, Müzik Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Müzik Teknolojisi Bölümü, Ankara, Türkiye E-mail: serkancolak@mgu.edu.tr ORCID: 0000-0001-5445-6378

Web sitesi: <https://www.mgu.edu.tr/personnel/ogr-gor-dr-serkan-colak/>

Researchgate: https://www.researchgate.net/profile/Serkan-Colak-4?ev=hdr_xprf

Kaynakça

Atlı, H. S., Bozkurt, B., & Şentürk, S. (2017). Türk makam müziğinin ezgisel boyutuna yönelik interaktif eğitim programı (*An interactive educational program for the melodic dimension of Turkish makam music*). *Müzik Eğitimi Araştırmaları Dergisi*.

- Atlı, H. S., Uyar, B., Şentürk, S., Bozkurt, B., & Serra, X. (2016). Türk makam müziğinin ezgisel boyutuna yönelik interaktif eğitim programı (*An interactive educational program for the melodic dimension of Turkish makam music*). <https://www.researchgate.net/publication/308197805>
- Babacan, O., Frisson, C., & Dutoit, T. (2012). Improving the understanding of Turkish makam music through the MediaCycle framework. In *Proceedings of the 9th Sound and Music Computing Conference*.
- Benetos, E., & Holzapfel, A. (2013). Automatic transcription of Turkish makam music. In *Proceedings of the 14th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR)*.
- Benetos, E., & Holzapfel, A. (2015). Automatic transcription of Turkish microtonal music. *Journal of the Acoustical Society of America*, 138(4), 2332–2342. <https://doi.org/10.1121/1.4930187>
- Bozkurt, B. (2015). Computational analysis of overall melodic progression for Turkish makam music. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Folk Music Analysis*.
- Bozkurt, B., Gedik, A. C., & Karaosmanoğlu, M. K. (2009). Music information retrieval for Turkish music: Problems, solutions and tools. In *Proceedings of the IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference*. <https://doi.org/10.1109/SIU.2009.5136518>
- Bozkurt, B., Karaosmanoğlu, M. K., & Karaçalı, B. (2014). Usul- and makam-driven automatic melodic segmentation for Turkish music. *Journal of New Music Research*, 43(4), 375–389. <https://doi.org/10.1080/09298215.2014.924535>
- Çelik, S. (2014). *Max/MSP ile Türk makam müziği için mikrotanal MIDI arayüzü tasarımı (Design of a microtonal MIDI interface for Turkish makam music using Max/MSP)* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Garg, P. K. (2022). *Makampedia: A dynamic representation and pedagogical tool for Turkish makam music* [Doktora tezi]. <https://doi.org/10.12681/eadd/51954>
- Gedik, A. C. (2013). Türk müziği icralarının analizi için bir MIDI projesi (*A MIDI project for the analysis of Turkish music performances*). *Porte Akademik Müzik ve Dans Araştırmaları Dergisi*, 7, 73–85. <https://doi.org/10.17484/YEDL.42614>
- Karaseva, M. (2024). Learning the modal and rhythmic patterns of non-European music: The new opportunities from mobile applications. *Музыкальное искусство и образование*, 2, 332–345.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering* (EBSE Technical Report Version 2.3). Keele University & Durham University.
- Öztürk, Ö., Özacar, T., & Abidin, D. (2018). KORAL: Türk müziği için makam tabanlı öneri motoru tasarımı (*KORAL: Design of a makam-based recommendation engine for Turkish music*). In *2018 International Congress on Big Data, Deep Learning and Fighting Cyber Terrorism (IBIGDELFT)*. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2018.8620873>
- Parlak, İ. H., Cebi, Y., Isikhan, C., & Atalay, V. (2021). Deep learning for Turkish makam music composition. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 29(4), 2361–2379. <https://doi.org/10.3906/elk-2101-44>
- Şentürk, S., Ferraro, A., Porter, A., & Serra, X. (2015). A tool for the analysis and discovery of Ottoman-Turkish makam music. In *Proceedings of the 16th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR)*.
- Şentürk, S., Holzapfel, A., & Serra, X. (2012). An approach for linking score and audio recordings in makam music of Turkey. In *Proceedings of the 2nd CompMusic Workshop*.
- Uyar, B., & Bozkurt, B. (2015). An interactive rhythm training tool for usuls of Turkish makam music. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Folk Music Analysis*.

URL

URL1. https://miracatici.com/makambox/?page_id=31

URL2. <https://makampedia.com>

URL3. <https://www.researchgate.net/profile/ChristianFrisson/publication/235677684/figure/fig1/AS:299800055566342@1448489311573/figure-fig1.png>

URL4. https://img.tamindir.com/ti_e_ul/Mystrandel/p/mus2_1_1116x688.jpg

Digital representation of Turkish music: A systematic review of studies conducted between 2000 and 2025

Abstract

This study examines how the performance-centred and richly nuanced structure of Turkish music is represented within formal, computation-based digital systems, and systematically identifies the strengths and limitations of this process. Based on a survey of 574 academic works published between 2000 and 2025 and an in-depth analysis of 169 selected sources, significant advances are identified in the algorithmic representation of makam theory, the digitization of microtonal pitch systems, the modelling of *usul* structures, and the digital reproduction of Turkish musical instruments. Software such as Makambox, Makampedia, KORAL and ATMMC stand out as concrete examples of these developments. However, the findings also point to a central “problem of representation” in the field: there is a marked mismatch between the continuous, context-sensitive and performance-driven nature of Turkish music theory and the predominantly discrete, static and generalizing architectures of mainstream digital technologies. The difficulties in formalizing the concept of *seyir*, the microtonal limitations of the MIDI protocol, and the lack of common standards are among the main manifestations of this mismatch. By analysing these divergences, the study proposes concrete future directions for research and design in the domains of education, performance, archiving, composition and technical infrastructure.

Keywords: Turkish music, music technology, microtonal systems, music information retrieval, digital musicology, systematic review